

81
29.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"LA MADERA COMO ELEMENTO DE
APOYO EN OBRAS DE INGENIERIA
CIVIL"

T E S I S
Que para obtener el título de
INGENIERO CIVIL
p r e s e n t a

JUAN ALFREDO ROBLES MEDINA



DIRECTOR DE TESIS: ING. MIGUEL MORAYTA MARTINEZ

México, D. F.

1998

TESIS CON

896-



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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/059/98

Señor
JUAN ALFREDO ROBLES MEDINA
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. MIGUEL MORAYTA MARTINEZ** que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

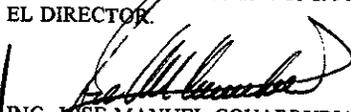
" LA MADERA COMO ELEMENTO DE APOYO EN OBRAS DE INGENIERIA CIVIL "

- I. INTRODUCCION**
- II. CARACTERISTICAS ESENCIALES DE LA MADERA**
- III. UTILIZACION DE LA MADERA EN OBRAS DE INGENIERIA CIVIL**
- IV. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA MADERA ANTE DIVERSAS CONDICIONES DE CARGA**
- V. COMENTARIOS A LAS NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS PARA LA UTILIZACION DE LA MADERA**
- CONCLUSIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 16 de abril de 1998.
EL DIRECTOR.


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS
JMCS/GMP*lmf

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Por darme salud, fuerza y por la oportunidad de conocer lo que más significa para mi: Mi familia.

A mi Madre :

Gracias por haberme concebido ya que me diste la fortuna de conocer lo que es la vida. Aunque solo Dios sabe si tu estarás presente cuando llegue a la calificación final, quiero que sepas que estoy orgulloso de tener una Madre como tú que eres una persona que lucha por todo en la vida y que me enseñó que con trabajo todo se puede lograr.

Madre, te lo prometí y con esto te cumplo por que al momento de que escribo estas líneas veo como sufres y yo sufro porque me siento impotente en no poder ayudarte en esta situación tan delicada y mortal para ti, quisiera regresar el tiempo y poder cuidarte más para evitar lo que te está pasando.

A Matey, mi esposa:

Por haber creído en mí, y por todo el amor y el apoyo que me brindaste para poder continuar con lo que en un momento pudo solo ser un sueño, gracias por todos los sacrificios que significaron para ti y mis hijos el haber terminado mis estudios, quiero que siempre tengas en cuenta que todo lo que he logrado a sido con tu valiosa ayuda y que solo Yo no lo hubiese podido lograr.

A Alfredo y Alejandra, mis hijos:

Gracias por existir y ser gran parte de la motivación que tuve para poder terminar lo que empecé a pesar de que tuvimos que sacrificar el tiempo que les pertenecía a ustedes, los amo y ustedes son de los más valioso que Dios me ha dado.

A mi Padre :

A pesar de que en un principio no me tenías confianza, con tu actitud me motivaste a ser una persona responsable y trabajadora, me enseñaste a levantarme ante las adversidades y al final te das cuenta que no te mentí, lo más importante de todo esto es que en el momento que necesité de tu apoyo me lo brindaste como buen Padre que eres, Gracias.

A mis Hermanos:

Gracias por su cariño y comprensión, pero sobre todo les agradezco que siempre hayan creído en mi.

ÍNDICE

CAPITULO I.- CARACTERÍSTICAS ESENCIALES DE LA MADERA

- I.1.- madera y árbol.
- II.- La madera en el transcurso de la Historia
 - II.1.- México Prehispánico
 - II.2.- Época clásica, Edad media, Norte de Europa, Renacimiento.
 - II.3.- Del Renacimiento a la Época Moderna
 - II.4.- Estados Unido, Canadá y México.
- III.- Evolución de los puentes de madera
- IV.- Desarrollo, composición y estructura de la madera
 - IV.1.- Planos de la Madera, Estructura celular de la madera de Coníferas y Latifoliadas
 - IV.2.- Características distintivas del plano longitudinal-tangencial en la madera de coníferas y latifoliadas. Características distintivas del plano radial.
 - IV.3.- Maderas de coníferas y Latifoliadas
- V.- Ventajas del uso de la madera.
 - V.1.- Como material de construcción, como sistema constructivo, como sistema de bajo costo.
 - V.2.- Beneficios de la madera
 - V.3.- Beneficios de la madera

CAPITULO II.- UTILIZACIÓN DE LA MADERA EN OBRAS DE INGENIERÍA CIVIL

- II.1.- Madera aserrada de origen nacional. Dimensiones
- II.2.- Cimientos
 - II.2.1.- Vigas maestras (viga madrina). Cimentaciones con postes o pilastras en edificaciones de planta baja
 - II.2.2.- Cimentaciones para edificios de planta baja apoyada sobre el terreno. Soleras de desplante y anclajes. Cimentaciones para estructuras mixtas de mampostería y madera.
- II.3.- Utilización de la madera en sistemas de piso
 - II.3.1.- Apoyo sobre vigas maestras. Cubierta estructural. Cubierta estructural de duelas. Cubierta de madera contrachapada y otros paneles estructurales.
 - II.3.2.- Sistemas de piso para entramados ligeros. Sistema Plataforma.
 - II.3.3.- Armaduras de cuerdas paralelas y viguetas para sistema de piso.
- II.4.- Muros
 - II.4.1.- Pies derechos, soleras, anclajes.
- II.5.- Duelas
 - II.5.1.- Madera contrachapada y otros paneles estructurales. Madera laminada encolada.
- II.6.- Principales consideraciones en el diseño de cimbras.
 - II.6.1.- Principales factores de diseño.
 - II.6.2.- Cantidad de material para la cimbra. Economía de los materiales. Control Financiero.
 - II.6.3.- Detalles de la cimbra. Empleo de las gráficas de diseño de cimbras,. Ejemplos.

CAPITULO III : COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA MADERA ANTE LA PRESENCIA DE DIVERSAS CONDICIONES DE CARGA.

- III.1.- Comportamiento y características resistentes de la madera ante diversas acciones mecánicas.
 - III.1.1.- Esfuerzos de trabajo para la madera estructural. Comportamiento bajo tensión, compresión, fuerza cortante, fuerza cortante horizontal en vigas, flexión y torsión.
 - III.2.- Dimensionamiento de miembros estructurales de madera.
 - III.2.1.- Miembros en tensión, compresión, miembros macizos, miembros largos, miembros intermedios, y miembros cortos .
 - III.3.- Miembros de sección compuesta. Miembros de elementos espaciados. Miembros en flexión.
 - III.4.- Diseño de Vigas

III.4.1.- Combinación de compresión axial y flexión, ejemplos.

III.4.2.- Combinación de tensión axial y flexión., ejemplos.

CAPITULO IV: COMENTARIOS A LA NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA MADERA.

IV.1.- Principios generales para diseño.

IV.2.- Madera contrachapada

IV.3.- Elementos de unión.

IV.4.- protección de la madera.

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCION

INTRODUCCIÓN

La madera fué probablemente el primer material usado para fines estructurales por el hombre y a través de los siglos, ha seguido desempeñando un papel importante en la construcción de obras de todo tipo.

En la actualidad se observa un interés creciente por este material, que obedece en gran parte a su naturaleza viva. En efecto, la madera puede reproducirse y cosecharse , es el único recurso natural renovable dotado de buenas propiedades estructurales. En esta época en que nos preocupan, por una parte, la crisis de energéticos y de minerales y por otra, la progresiva contaminación ambiental , es evidente el interés de un material como la madera, cuya transformación en material de construcción implica menor consumo de energía y menor contaminación del aire y del agua que los que caracterizan a la fabricación del acero, el cemento, el aluminio, los ladrillos y los plásticos.

La estructura fibrosa de la madera es el origen de sus características anisotrópicas, que constituyen un inconveniente desde el punto de vista de su uso como material estructural. La madera es resistente a los esfuerzos normales paralelos a la fibras , pero es débil ante estas acciones en el sentido perpendicular a ellas. También es baja la resistencia de la madera a esfuerzos cortantes paralelos a las fibras, *por otra parte, es en las fibras donde reside el atractivo estético de las variadas texturas de la madera.*

Desde el punto de vista estructural la madera tiene indudables ventajas, una de las más importantes es su ligereza; es uno de los materiales que puede desarrollar una mayor fuerza de tensión ó compresión por unidad de peso. Consecuentemente su comportamiento en flexión es también adecuado , compitiendo en esta causa con el acero y el concreto.

En cuanto a los aspectos constructivos, cabe señalar que la madera es un material relativamente fácil de trabajar con herramientas sencillas, lo que hace posible el logro de una gran diversidad de secciones y formas. Su ligereza implica costos de transporte y montaje bajos, lo que es significativo cuando se trata de sistemas de construcción a base de prefabricación.

Otras ventajas de la madera son su gran capacidad para absorber energía y resistir impactos, lo que hace que resulte particularmente apropiada para estructuras como la de los muelles , su alta resistencia a la fatiga , sus características como aislante tanto térmico como acústico y la facilidad con que su superficie puede pintarse . Además la madera es un material biodegradable que no

presenta los problemas de la eliminación de los productos de demolición propios de las estructuras de concreto.

Algunos inconvenientes de la madera como material estructural es como la madera se encuentra en la naturaleza: en piezas rectas , de longitud mayor que sus dimensiones transversales, tanto el tamaño como la forma imponen restricciones a las escuadrias posibles, otra de sus desventajas es la tendencia a las variaciones volumétricas con los cambios de humedad del ambiente, el aumento progresivo con el tiempo de las deformaciones bajo carga permanente, la dificultad de realizar uniones adecuadas, el peligro de pudrición bajo la acción de determinados organismos vivos y el peligro de incendio.

La madera, no obstante sus inconvenientes, es un material de indudable interés por su versatilidad estructural, su atractivo estético, su costo aceptable, su característica de ser un material renovable y el bajo consumo de energéticos requeridos para convertir el producto natural en elementos estructurales.

Probablemente el máximo consumo de madera para fines estructurales ha correspondido a la vivienda y aún hoy en muchos países sigue siendo el material preferido para la construcción de habitaciones. Sin embargo, el uso de la madera no ha estado limitado a edificios de dimensiones relativamente reducidas como son las viviendas , se ha empleado también con éxito en la construcción de techos, de claros considerables para iglesias , edificios industriales y lugares de reunión. Los primeros puentes indudablemente fueron de troncos de árboles y todavía se construyen puentes provisionales e incluso algunos permanentes , con madera, cuando los claros no son muy grandes. Es frecuente el uso de la madera en muelles y otras estructuras portuarias . La madera ha desempeñado siempre un papel importante en diversas estructuras auxiliares de la construcción tales como andamios, cimbras y obras falsas. Aunque en la actualidad se tiende a preferir los pilotes de concreto para cimentar estructuras en terreno de baja resistencia, en algunas circunstancias todavía se recurre a los de madera. Otras aplicaciones estructurales importantes son los durmientes de ferrocarril y los postes para líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica.

La importancia de la madera como material estructural resulta evidente de las breves consideraciones anteriores. Sin embargo, en México su uso está prácticamente restringido a obras falsas, cimbras, durmientes, y postes, siendo poco significativas las demás aplicaciones posibles . Pueden explicarse varias razones para esto, ya que existe cierta confusión sobre la importancia de nuestros recursos forestales y la posibilidad de explotarlos. La información sobre las propiedades de las maderas mexicanas es escasa. Las normas de clasificación de madera son rudimentarias y con

frecuencia se ignoran, son pocos los profesionistas , técnicos y obreros familiarizados con la tecnología de la madera.

Por lo anterior me parece de gran importancia el desarrollo de este trabajo, ya que sería importante que en México se llevara una tecnología de la madera ya que contamos con todos los elementos necesarios para poder implementarla como material principal para la construcción de viviendas de madera las cuales tendrían un costo muy inferior al de una de mampostería y concreto pero con la desventaja de que nos encontramos en el valle de México en un terreno con un alto índice de sismicidad.

CAPITULO I

CARACTERISTICAS ESENCIALES DE LA MADERA

I.- DEFINICIÓN DE MADERA

La madera viene de los árboles . Este es el hecho más importante que hay que tener presente para entender su naturaleza. El origen de las cualidades o defectos que posea pueden determinarse a partir del árbol de donde proviene. La madera fue creada como un tejido funcional de las plantas, más que como un material diseñado para satisfacer las necesidades de los carpinteros.

La madera es un material excepcional dentro de los materiales de construcción ya que en la mayoría de los casos, se utiliza tal como se encuentra en la naturaleza; los procesos industriales a que es sometida se reducen al aserrio secado, clasificación y algunos procesos de tratamiento para aumentar su durabilidad, pero sin modificar sus propiedades. La madera ha sido utilizada desde tiempos prehistóricos para resolver las necesidades de cobijo del hombre debido a su resistencia y ligereza que provienen de una de las funciones que cumple, la de soporte del organismo vivo más alto que existe : el árbol. Para su sobrevivencia los árboles requieren resistir sin fallar cargas importantes de peso propio, viento, sismo, excentricidades, etc., por lo que la madera pertenece a la gama de tejidos dentro de la que se encuentran los huesos y tendones , diseñados por la naturaleza para soportar cargas y de los cuales el hombre puede extraer una buena cantidad de enseñanzas.

I.1.- MADERA Y EL ÁRBOL

En el tronco de un árbol en pie el 95 % de las células que componen el xilema (madera) son células muertas que no cambian de aspecto y que al perder el citoplasma y conservar las paredes celulares , se han convertido en estructuras de soporte del árbol y en conductos por los que circula el agua y las sales minerales que el árbol extrae del subsuelo . El 5% restante corresponde a las células vivas ubicadas en la zona perimetral bajo la corteza del tronco que al producirse van modificando sus dimensiones de acuerdo con el tipo celular que generan.

En el árbol podemos diferenciar tres sistemas elementales: las raíces, el tronco y la corona.

Las raíces sirven como soporte del árbol anclándolo al suelo y para absorber de este el agua y los minerales que requiere su desarrollo. El tronco se apoya sobre las raíces funcionando como elemento de soporte del árbol y proporcionando al mismo tiempo un canal para transportar líquidos en dos sentidos : por la parte exterior del tronco, abajo de la corteza, descienden desde las hojas hasta la raíz las sustancias nutritivas que permiten el desarrollo de los tejidos celulares que forman el árbol y por el perímetro del xilema suben el agua y las sales minerales absorbidas por la raíz hasta las hojas. Para que el agua llegue hasta las hojas más altas de la corona el árbol hace funcionar complicados mecanismos hidráulicos que van desde los procesos de adsorción y capilaridad hasta diferencias de presión debidas a la transportación de las hojas. Por otra parte, la

madera del tronco sirve de depósito para las sustancias de desecho producidas por el metabolismo del árbol que se concentran principalmente en su parte central (duramen) . En las hojas de la copa se realiza la fotosíntesis en donde se producen los nutrientes que el árbol necesita para a partir de la energía solar. Además de sostener las hojas, el sistema de ramas y ramillas de la corona genera las flores y frutos que permiten la reproducción del árbol y que sirven como los elementos principales para identificar las diferentes especies.

Los bosques cubren aproximadamente la tercera parte de la superficie de la tierra, constituyen uno de los recursos naturales renovables con que cuenta la humanidad , indicio de ello es el hecho de que el valor de la industria usuaria de la madera representa más del 6% del valor de la producción industrial mundial.

Según la Dirección General del Inventario Nacional Forestal la superficie arbolada de México tiene aproximadamente 45 millones de hectáreas que corresponden a poco más del 22% de la superficie total del país (200 millones de hectáreas). Aunque esta proporción es menor que el promedio mundial , el total de hectáreas es considerable. El potencial económico de los bosques de México resulta evidente por comparación con las superficies arboladas comerciales de dos países que suelen considerarse como netamente forestales: Suecia y Finlandia.

De los 45 millones de hectáreas de superficie arbolada con que cuenta el país , el 66% corresponde a bosques de clima templado frío y el 34 % a bosques de clima tropical y subtropical.

El 80 % de las especies de los bosques de clima templado frío son coníferas como el pino , el oyamel, el sabino, y el cedro blanco. El resto corresponde a latifoliadas , frondosas o de hoja caduca , como el encino, el fresno y el ailé. Los bosques de coníferas se encuentran principalmente en las regiones altas de Chihuahua, Durango, Oaxaca, Michoacán, Jalisco, Guerrero y Chiapas. Las latifoliadas existen en casi todas las regiones de climas templado frío , a veces en bosques mixtos juntos con especies de coníferas.

Las especies de los bosques o selvas de las regiones de clima tropical y subtropical son predominantemente latifoliadas . Son frecuentes entre ellas las llamadas especies preciosas como la caoba y el cedro rojo. Las selvas más extensas se encuentran en Chiapas, Campeche, Quintana Roo, Veracruz, Yucatán y Oaxaca.

Los árboles de las especies coníferas (o gimnospermas) tienen hoja perenne en forma de aguja y sus semillas están alojadas en conos. Los de las especies latifoliadas (o angiospermas) son de hoja caduca de forma ancha y producen sus semillas dentro de frutas. A veces las coníferas se clasifican como árboles de madera suave o blanda , mientras que las latifoliadas se consideran árboles de madera dura.. Sin embargo, la madera de algunas especies coníferas es más dura que la de algunas latifoliadas.

Las coníferas suelen preferirse para fines estructurales puesto que la relación entre los esfuerzos permisibles aceptados y su peso es mayor que para las latifoliadas. Por otra parte las fibras de los árboles de las coníferas son más uniformes , sus troncos más rectos y con menos ramas que las de las latifoliadas, lo que facilita su corte. Además la madera de coníferas es fácil de aserrar y clavar. Por su parte las maderas de las latifoliadas y en particular las maderas preciosas son apreciadas en aplicaciones en que la apariencia y la durabilidad de los acabados son importantes, como sucede con los muebles, aunque en menor grado que las coníferas, se usan también para fines estructurales.

Se han mencionado algunas medidas que pueden contribuir a aumentar la productividad de nuestros bosques y selvas. Es importante también moderar la demanda promoviendo el uso racional de la madera . Una gran parte de la madera consumida en el país se dedica a la construcción de obras provisionales tales como cimbras y obras falsas de diversos tipos. El mejorar la tecnología con que se construyen estas obras puede aportar ahorros significativos. Deben mejorarse los métodos de clasificación de las maderas en cuanto a sus propiedades mecánicas a fin de que el dimensionamiento de las piezas de madera pueda hacerse con mayor eficiencia. La búsqueda de formas de aprovechar para fines maderas de calidades inferiores y dimensiones pequeñas puede ser interesante . En este aspecto el desarrollo de la tecnología de la madera laminada , y de los tableros de fibras ó partículas de madera puede ser provechoso . De las consideraciones anteriores puede decirse que en México se cuenta con recursos forestales importantes cuya potencialidad no está siendo aprovechada plenamente, para mejorar esta situación se requiere una planeación nacional que conduzca a acciones prácticas efectivas.

II.-LA MADERA EN EL TRANSCURSO DE LA HISTORIA

El uso de la madera como material de construcción probablemente precedió al de la piedra. Los nómadas de las épocas prehistóricas, cuando no podían encontrar cavernas donde guarecerse, debieron de preferir construir chozas de ramaje cubierto de lodo o pieles a la difícil labor de levantar muros de piedras. Estas estructuras rudimentarias parecen derivar de las tiendas fácilmente desmontables y transportables que debieron ser las primeras viviendas de las tribus nómadas. Los únicos recursos con que contaron los antiguos constructores fueron hachas , cuñas y cuchillos de piedra posiblemente sierras de hueso y para amarrar cordaje de tiras de cuero o de materiales de origen vegetal. A medida que los pueblos se volvían sedentarios sus construcciones adquirían características más permanentes . En lugar de ramaje se utilizaron troncos. La propia naturaleza les indicaba el camino, el empleo de elementos pesados para los muros y techos condujo a viviendas de planta rectangular.

Ya en el neolítico se encontraban definidos los dos sistemas básicos utilizados en las estructuras de madera hasta prácticamente la época moderna, los edificios con muros formados por troncos de madera colocados horizontal ó verticalmente y los edificios de armazones de columnas y vigas de madera rigidizados con elementos diagonales y horizontales. Los sistemas a base de troncos horizontales predominaron en los lugares donde abunda la madera como en gran parte del norte de Europa. En ellos tuvo su origen la técnica " lafte " desarrollada en los países escandinavos y otras regiones, que se caracterizaba por la forma de unir los troncos de las esquinas por medio de ranuras. El sistema constructivo era sencillo , la estructura del techo solía hacerse con elementos ligeros, las casas de troncos horizontales se siguieron construyendo en los países escandinavos hasta épocas relativamente recientes.

En las regiones mediterráneas y del cercano Oriente, a pesar de que la madera era más escasa que en el resto de Europa, desde los tiempos muy remotos fueron usuales las construcciones con armazón de madera y relleno de mampostería rústica , arcilla ó ladrillos cocidos en horno. Aún en los casos en que los muros se construían exclusivamente de mampostería , los techos y pisos solían hacerse de madera.

II.1.- MÉXICO PREHISPÁNICO

Las primeras aplicaciones estructurales de la madera en México, debieron de seguir un desarrollo semejante al de otras regiones.

En la época preclásica las viviendas eran pequeñas chozas de planta circular construidas de varas entrelazadas con arcilla y techumbre de paja. En Sinaloa y Sonora se han encontrado huellas de unas construcciones de épocas más recientes de proporciones relativamente importantes, se trata de viviendas de sección circular con diámetros hasta de 12 metros. La forma era esencialmente cónica, un agujero en el vértice del cono proporcionaba una salida para el humo del hogar .

En las construcciones del apogeo de la civilización teotihuacana, predominaron el adobe y la mampostería, sin embargo, la madera se empleaba como refuerzo de muros y columnas , de la misma manera en que hoy se refuerza el concreto simple con acero, también se empleaba madera para formar techos planos de vigas de madera, palos redondos y carrizo cubiertos de tierra.

En las viviendas del antiguo Tenochtitlán perduraron los sistemas constructivos de los primeros tiempos: chozas con techos de paja y muros de ramaje entrelazado revestido de lodo. aunque menos comunes fueron las construcciones de muros de adobe o mampostería y techos de vigas, varas y arcilla, al estilo de Teotihuacán.

Una peculiaridad de los sistemas constructivos del Valle de México fue el uso de estacas cortas de madera para cimentar estructuras pesadas sobre los poco resistentes suelos arcillosos propios de la región. La piedra es el material predominante en las grandes construcciones de los mayas, en

algunos casos se usaban piezas de maderas duras para formar los dinteles de las entradas de los templos, un ejemplo notable de la persistencia de una forma estructural es el de la choza típica de Yucatán de planta ovalada , muros escalonados formados por varas , ramaje entrelazado y barro, y techo de dos aguas formado con paja u hoja de palmera, las chozas de este tipo que todavía abundan en Yucatán, son semejantes a las que todavía aparecen representados en los frisos y pinturas de las poblaciones mayas y en los dibujos de los códices.

II.2.- LA ÉPOCA CLÁSICA, EDAD MEDIA, NORTE DE EUROPA, RENACIMIENTO

Como en otras regiones , en los países mediterráneos los primeros edificios fueron de madera. Aunque la piedra era el material dominante en los muros de los edificios como en el templo de Artemisa, la madera siguió utilizándose para formar los techos , al igual que en las construcciones más antiguas por su capacidad para salvar grandes claros. Durante el siglo VI a.J.C. los etruscos construyeron templos con muros de ladrillo reforzado con madera, sobre de los que se apoyaban techumbres, también de madera.

Mientras que los griegos se limitaban a usar la madera para columnas y dinteles, los romanos llegaron a utilizar , en forma intuitiva, el principio de la armadura, como en la antigua basilica de San Pablo, con un claro de más de 23 metros.

La madera fue un material esencial en las construcciones militares de los romanos . Los troncos labrados con sección cuadrada fueron el elemento básico para la construcción de los barracones y empalizadas de los campamentos y fortificaciones.

-LA EDAD MEDIA

Fue quizá en las islas británicas donde el uso de la madera alcanzó el máximo refinamiento artesanal y artístico. De las rudimentarias chozas de los primeros tiempos se derivaron durante la edad media diversos sistemas constructivos. Una modalidad peculiar de Inglaterra fue la casa de " cruks " que eran piezas curvas labradas de troncos de árboles con la forma apropiada, con las cuales, partiéndolas por la mitad , se formaba una especie de arco, estos constituían los elementos resistentes fundamentales. El sistema de cruks implicaba un alto consumo de piezas de madera de gran escuadría así como algunas desventajas funcionales. Cuando la madera empezó a escasear, la construcción con cruks fue desplazada por sistemas a base de poste y dintel, que requerían menos madera y permitían el uso de piezas de menor sección. En las Iglesias y otros edificios de cierta importancia se utilizaba mampostería de piedra para los muros sobre los que se apoyaba la estructura de madera del techo. Así, los muros de mampostería asumieron la función estructural que en las estructuras de armazón de madera anteriormente descritas correspondían a postes de

madera . Fue en la construcción de los techos de estos edificios en los que se combinaba la inventiva y el sentido artístico de los artesanos ingleses. La madera se utilizó incluso en las iglesias góticas con bóveda de piedra para soportar la cubierta de entarimado y láminas de plomo, cobre ó pizarra para protección contra la intemperie.

-EL NORTE DE EUROPA

El sistema estructural de las iglesias escandinavas que predominó de los siglos XI a XIV se basaba en el uso de piezas verticales de carga rigidizadas en su parte superior por elementos formando algún tipo de triangulación. Para encerrar el espacio se utilizaban tablas, generalmente los postes se apoyaban sobre zápatas de piedras en lugar de estar hincados directamente en el suelo, como en edificios de épocas anteriores, lo que favoreció su durabilidad.

-EL RENACIMIENTO

En los países europeos donde floreció el Renacimiento, sobre todo en Italia y Francia, aunque la piedra fue un material preferido para los muros y fachadas de las construcciones monumentales , la madera siguió siendo el material más comúnmente utilizado para techar. Eran frecuentes los techos artesanos elaboradamente tallados y fue en esta época cuando empezó a adquirir importancia la armadura como sistema estructural para salvar grandes claros.

En Italia, Vasari proyecta una armadura para techar la Galería Uffizi de Florencia y propone diversos tipos de empalmes para unir miembros de madera sometidos a tensión. Andrea Palladio escribe un tratado sobre arquitectura en que analiza los usos estructurales de la madera . además desarrolla diversos tipos de armaduras triangulares tanto para techos como para puentes .

II.3.-DEL RENACIMIENTO A LA ÉPOCA MODERNA

Las estructuras de madera construidas durante la época clásica y el Renacimiento, son notables, especialmente si se considera lo limitado de los recursos tecnológicos con que contaban sus creadores. Por una parte las herramientas usuales fueron rudimentarias. Los clavos y demás elementos de unión metálicos se utilizaban raramente, además no se poseían los conocimientos teóricos y matemáticos requeridos para analizar científicamente el comportamiento de las estructuras. En los siglos posteriores al Renacimiento pueden observarse varios cambios en los usos estructurales de la madera, con Galileo, Coulomb, Euler, Newton, Young, Hooke y otros se empieza a establecer los principios científicos para el análisis racional del comportamiento de los materiales y de las estructuras. Sin embargo, no es hasta el siglo XX cuando se generaliza la

aplicación de principios al diseño de estructuras de madera, con lo que se logra el aprovechamiento más eficiente de la madera que conduce a piezas más esbeltas que las típicas de épocas anteriores.

El siglo XIX se caracteriza por la mecanización de la producción industrial , proceso que se refleja en las aplicaciones estructurales de la madera. La industrialización de la fabricación de clavos que anteriormente se producían por métodos artesanales hace que estos se vuelvan más accesibles a costos más bajos, lo que simplificó más fácilmente la unión de elementos de madera.

No obstante todo este avance tecnológico, en el siglo XIX la madera pierde el papel predominante como material de construcción ante el empuje de nuevos materiales como el acero y el concreto y la introducción de nuevos métodos industrializados para la producción de materiales tradicionales como ladrillos de barro.

II.4.-ESTADOS UNIDOS Y CANADÁ MÉXICO

Mientras que en Europa en general , a partir del Renacimiento, el uso de la madera tiende a decaer a medida que disminuyen los recursos naturales y aparecen nuevos materiales de construcción , en los Estados Unidos, la madera conserva importancia relevante hasta nuestros días especialmente en la producción de viviendas, el papel que desempeñaron las casas de troncos en la colonización de gran parte de los Estados Unidos y Canadá, los edificios de amazón de madera y rellenos de mampostería construidos por los primeros pobladores del este de los Estados Unidos reflejan la influencia de los sistemas de construcción de los ingleses. Otra innovación que tuvo gran trascendencia fue el sistema de construcción conocido como construcción Chicago (ó de amazón de globo) , sistema que fue desarrollado en 1830, y que consiste en una forma evolucionada de las casas de amazón, de Nueva Inglaterra, en las que las piezas robustas de éstas son sustituidas por piezas ligeras de sección estándar, unidas con clavos y dispuestas a distancias relativamente pequeñas. En los Estados Unidos existían en 1860, varias empresas que enviaban por ferrocarril componentes prefabricados de viviendas, para 1880, la prefabricación de edificios de madera de diversos tipos se había convertido en gran industria, la modalidad más reciente a lo que corresponde un volumen de producción considerable, es la vivienda móvil totalmente construida en fábricas desde donde transportan por carretera en plataformas hasta el lugar donde la requiera el usuario.

-MÉXICO

A su llegada a México los españoles también tuvieron a su disposición importantes recursos forestales, Sin embargo, en su país de origen el uso de la madera por su escasez, no estaba tan arraigado como en Inglaterra, en la construcción predominaba la mampostería y la aplicación de la

madera solía estar restringida al refuerzo de muros y la formación de distintas modalidades de techos y pisos. En la arquitectura popular la madera llega a adquirir cierta importancia en algunas regiones . Un sistema constructivo todavía muy utilizado para techos y pisos es de la llamada bóveda catalana consistente en vigas que soportan dos ó más capas de ladrillos unidos con mortero de yeso, otro sistema es de los pisos de terrado en los que las vigas sostienen un entarimado sobre el que se coloca una capa de tierra protegida por un enladrillado , estos sistemas se utilizan en combinación con muros de mampostería de diversos tipos , en algunas regiones la madera se utiliza como material principal aunque en forma bastante rudimentaria.

III.- EVOLUCIÓN DE LOS PUENTES DE MADERA

Desde los tiempos remotos los puentes han sido uno de los campos de la Ingeniería Estructural en que la madera ha encontrado aplicaciones más interesantes. Los primeros puentes probablemente consistieron en troncos de árboles tumbados sobre un arroyo ó un barranco, una variante interesante es la construcción en voladizo utilizada por los galos y los chinos de la antigüedad, para salvar claros mayores de los posibles con los troncos se desarrollaron armaduras sencillas.

Durante el siglo XVIII , los suizos construyeron una serie de puentes de madera , algunos de ellos con claros muy notables . En estas estructuras se recurrió a armaduras triangulares. Sin embargo, como aún no se tenía una idea clara de los principios de la triangulación , las armaduras se combinaban con arcos, una forma estructural de eficacia comprobada a través de la experiencia acumulada durante siglos de aplicación en la construcción de obras de mampostería.

Las primeras estructuras importantes para puentes combinaron los principios del arco y al armadura. En 1820 , Ithiel Town patentó un sistema estructural en que se prescindía el principio del arco, lo que eliminaba los empujes horizontales sobre los estribos. Consistía este sistema en una armadura formada por tablonces diagonales cruzados por el alma y piezas horizontales para las cuerdas superior e inferior , constituyendo en conjunto una especie de celosía., las armaduras de Town con las que se llegó a salvar claros hasta de 60 metros, fueron muy utilizadas sobre todo en puentes para ferrocarril. Su éxito se debió a su sencillez , las piezas del alma eran tablonces de dimensiones relativamente pequeñas fáciles de conseguir que podían unirse con clavos y pernos ordinarios.

En 1840, W. Howe , patentó un sistema en que se utilizaba hierro forjado para los miembros verticales y madera para los demás elementos. Poco después, T y C. Pratt patentaron un sistema semejante en que el hierro forjado se utilizaba para los miembros diagonales.

El primero en aplicar principios científicos al diseño de puentes de madera fue Squire Whipple que publicó un folleto sobre el tema en 1847. Le siguió poco después Haupt, que publicó una obra de

alcanza parecido en 1851, sin embargo, los métodos formales de la Estática para el análisis de la armadura no fueron desarrollados en su forma completa , sino hasta finales del siglo XX, por Ritter, Clark, Maxwell, Culman, Mohr y Bow.

En el siglo XIX, el siglo de los ferrocarriles, una de las cosas que hicieron posible la rápida expansión de la red de líneas fue el desarrollo de los puentes de caballetes de madera.

IV.-DESARROLLO , COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA MADERA

La madera desde siempre ha ocupado un lugar importante en el progreso y en la economía de la humanidad. Los árboles nos proporcionan energía, formación de estructuras para edificación y materia prima para la manufactura de todo tipo de instrumentos artísticos, muebles así como la fabricación de papel.

La madera es el conjunto de elementos conductores endurecidos de los árboles; es una sustancia orgánica, compuesta principalmente de celulosa empaquetada en lignina y en una serie de compuestos llamados hemicelulosas y su función biológica es la de sostén y transporte de agua y de sales minerales desde la raíz hasta las hojas.

Para fines prácticos, se consideran dos grupos de árboles : las coníferas que pertenecen a las gimnospermas (también llamados árboles de madera blanda), y las latifoliadas ó angiospermas conocidas también como árboles de madera dura. La dureza de la madera no siempre está acorde con esta división, así tenemos que la madera de balsa y el colorín son latifoliadas y su madera no es dura, sin en cambio algunos pinos presentan una dureza bastante elevada y pertenecen a las coníferas.

El crecimiento normal de cualquier vegetal es progresivo e irreversible, y es promovido por tejidos no diferenciados llamados meristemos. Estos meristemos pueden ser de dos tipos: los primarios que dan el crecimiento en longitud (yema apical y yema lateral) y los secundarios, que dan el crecimiento en grosor (cambium y falógeno). A partir de estos tejidos indiferenciados , se forman todos los demás tejidos de la planta, y por lo tanto todos los elementos que van a formar la madera. Así la madera proviene de los troncos vegetales provistos de crecimiento secundario que se produce por divisiones del cambium. El crecimiento de los árboles se efectúa en forma de conos elongados y superpuestos los cuales en un corte transversal se ven como anillos concéntricos de crecimiento . En cada anillo de crecimiento se puede distinguir dos tipos de maderas que corresponden a dos tipos de crecimiento en el mismo árbol: la madera de primavera y la madera de invierno, también llamadas temprana y tardía respectivamente, aunque no en todas las especies de árboles se distinguen ambos tipos de crecimiento ya que depende de la zona climática donde crece el árbol. La llamada madera de primavera está compuesta por elementos celulares más grandes , con paredes más delgadas de lumen amplio y de crecimiento más firme, que se desarrolla durante

la época de primavera y verano . La madera de Invierno ó madera tardía es de crecimiento mucho más lento con células de paredes mucho más gruesas y de lumen menor que se desarrolla durante la época de frío y escasez de agua.

En la sección transversal del tronco de un árbol maduro se pueden distinguir las siguientes partes:

a) **Corteza Exterior:** es la cubierta que protege al árbol de los agentes atmosféricos . Esta formada por células muertas procedentes de la corteza interior.

b) **Corteza Interior :** proporciona las células para la corteza exterior conforme aumenta el diámetro del árbol. Dentro de ella está además el floema que conduce el alimento elaborado en las hojas hasta las ramas, troncos y raíces.

c) **Cambium vascular :** Es un tejido microscópico de una célula de espesor que se encuentra entre la corteza interior y el xilema (madera), las células del cambium se dividen incrementando el diámetro del tronco al generar células de xilema hacia el interior y de floema hacia el exterior.

d) **Madera o Xilema :** es la parte maderable o leñosa del tronco; se distinguen tres zonas : La albura, el duramen y la médula.

e) **Albura:** es la zona periférica de ancho variable en el tronco que generalmente es más clara que el resto, sus funciones son dos: la de soporte del árbol que comparte con el duramen y al de conducción del agua y sales minerales desde las raíces hasta las hojas donde se emplea para la fotosíntesis.

f) **Duramen :** es la parte interior del xilema generalmente de color más oscuro que la albura por el depósito de material orgánico y residuos que en conjunto se denominan extractivos. Estos no modifican significativamente las propiedades mecánicas del xilema , pero proporcionan al duramen mayor resistencia al ataque de hongos e insectos que la albura.

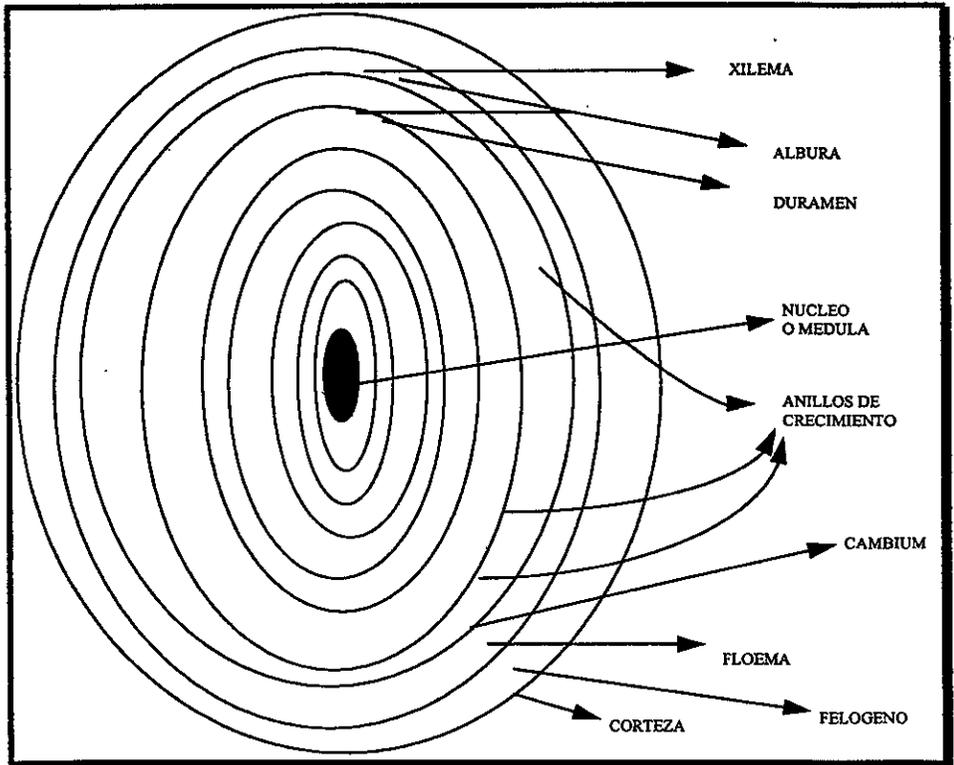
g) **Médula :** es el xilema de relleno que ocupa la parte central del tronco. En general está formada por células con poca resistencia mecánica y es muy susceptible al ataque de hongos (pudrición).

h) **Anillos de crecimiento :** la formación de células de xilema a partir del cambium depende de las condiciones climáticas exteriores ; cuando existen estaciones marcadas se forman anillos bien diferenciados por capas de madera dura y oscura alternadas. En las estaciones favorables se

forma la madera de las capas claras o madera temprana y en las desfavorables la de las capas oscuras o de madera tardía.

k) Radios : son estructuras celulares orientadas radialmente a partir de la médula. En general son visibles a simple vista o con una lupa y tienen como finalidad el almacenamiento y distribución de materias alimenticias del exterior al interior del xilema.

FIG 1.- ESQUEMA DEL TRONCO TRANSVERSAL DE UN ÁRBOL



El cambium forma una capa continua entre el Xilema y Floema del tallo ó tronco . El Xilema es el tejido de las plantas vasculares que se encarga del soporte mecánico, la conducción ascendente de agua y sales minerales y el almacenamiento de sustancias nutritivas . Es la parte interna del tronco.

El floema es el tejido de las plantas vasculares que se encarga de la conducción descendente de la savia elaborada y la distribución de sustancias nutritivas.

Del interior al exterior , el tronco de un árbol consta principalmente del duramen y la albura, que juntos forman el xilema ó madera propiamente dicha, luego esta capa celular del cambium, después el floema enseguida el felógeno y finalmente la corteza.

IV.1.- PLANOS DE LA MADERA : ESTRUCTURA CELULAR DE LA MADERA DE CONIFERAS Y LATIFOLIADAS.

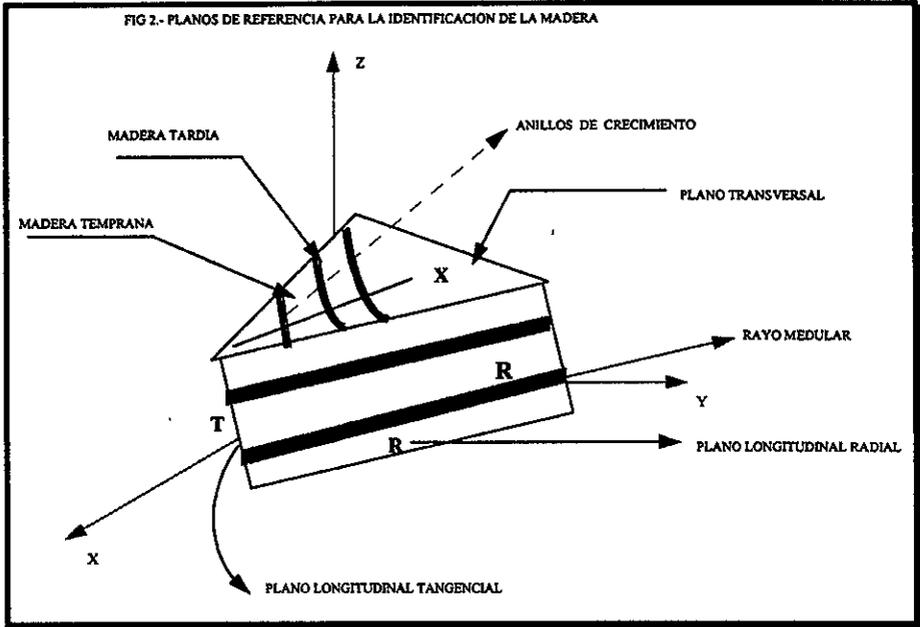
La madera en el árbol en pie tiene como una de sus funciones la de resistir cargas tanto del mismo árbol como de las acciones exteriores principalmente el viento, por lo que las células que lo componen están orientadas de tal manera que le proporcionan una mayor capacidad de carga en la dirección en que las solicitaciones son mayores, es decir, en la dirección paralela al tronco llamada dirección longitudinal. Perpendicularmente al tronco la capacidad de carga es menor que a lo largo del mismo . Aquí se distinguen dos direcciones , una que es paralela a los anillos de crecimiento llamada dirección tangencial y una perpendicular a esta última llamada dirección radial. Esta diferencia de resistencias le confiere a la madera un comportamiento anisotrópico , es decir, que es un material en el que sus características físicas como mecánicas dependen de la dirección en que son medidas.

En la madera aserrada estos diferentes ejes ó direcciones se idealizan en un sistema cartesiano de coordenadas en donde no se toma en consideración la curvatura de los anillos de crecimiento de la madera, simplificando las direcciones en los planos siguientes :

- a) Plano Transversal (X) : el cual corta al tronco horizontalmente si este se encuentra de pie y es perpendicular al eje de crecimiento en altura del árbol.

- b) Plano Tangencial (T) : el cual corta al tronco a lo largo del eje de crecimiento en altura y es tangente a los anillos de crecimiento.

- c) Plano longitudinal Radial (R) : El cual corta al tronco a lo largo del eje de crecimiento en altura y es perpendicular a la corteza



Las diferentes especies de madera pueden ser agrupadas por sus propiedades fisicomecánicas y de resistencia biológica. El conocimiento de estas propiedades como son la dureza, absorción y desorción de sustancias, resistencia mecánica, capacidad de contracción, resiliencia y resistencia al ataque biológico dan la pauta para elegir el tipo de madera de reintegración que debe usar y en la elección del tratamiento preventivo para proteger la obra en madera. Estas propiedades están en función de la estructura anatómica de la madera principalmente.

ESTRUCTURA CELULAR DE LA MADERA DE LAS CONIFERAS

En las maderas blandas ó de coníferas el corte transversal presenta el conjunto de células llamadas traqueidas. En algunas especies de coníferas se encuentran de trecho en trecho los canales resiníferos que están bordeados por células epiteliales secretoras de resinas y también se observan los anillos de crecimiento.

En este corte de la madera de coníferas se hacen observaciones sobre el diámetro, el espesor de la pared y la forma de la traqueida , la presencia ó ausencia de canales resiníferos y la transición abrupta ó gradual de la madera temprana ó tardía.

Las traqueidas son células alargadas con extremos puntiagudos que tiene como función :

a) Soportar cargas axiales y conducción de líquidos.

Están orientadas paralelamente al eje del tronco y además forman el 95 % del peso total de la madera en estado seco. Sus espacios centrales o lúmenes están vacíos y se comunican entre sí por medio de orificios llamados punteaduras , los cuales permiten la circulación de líquidos .

Dependiendo de la época del año se generan traqueidas de dos tipos :

a) Las producidas en la primavera (llamada madera temprana) , las cuales tiene paredes delgadas y lúmenes amplios.

b) Las producidas en invierno (llamada madera tardía) , las cuales tienen paredes gruesas y lúmenes pequeños.

Esta diferencia se puede notar a simple vista como anillos concéntricos de crecimiento, en los que la madera temprana es más clara que la madera tardía. Los radios están formados por células horizontales mucho más cortas y con paredes mucho más delgadas que las traqueidas . Tienen como función el almacenamiento y la distribución de materias alimenticias , líquidos y residuos hacia el interior del tronco.

ESTRUCTURA CELULAR DE LA MADERA DE LAS LATIFOLIADAS

La estructura de las maderas duras ó de latifoliadas es mucho más compleja que las maderas de coníferas, por lo que es muy fácil distinguir una de otra en un corte transversal ó cualquiera de los otros dos cortes. En el corte transversal de las coníferas se encuentra un solo tipo de células que son las traqueidas longitudinales y que le dan el aspecto más homogéneo en el corte transversal. En cambio, las latifoliadas presentan transversalmente vasos ó poros cuya agrupación , presentación, diámetro y cantidad varía mucho de una especie a otra. Además de los vasos se debe caracterizar el parenquima , este es un tejido que se encuentra en el xilema y es el encargado del almacenamiento de los materiales de reserva en la planta. En este corte también se observan las fibras definiéndose el diámetro y el grosor de la pared.

IV.2.- CARACTERÍSTICAS DISTINTIVAS DEL PLANO LONGITUDINAL TANGENCIAL EN LA MADERA DE CONÍFERAS Y LATIFOLIADAS

En el corte longitudinal tangencial se presenta el lumen de las células que forman los radios de la madera, cortadas transversalmente., de estos rayos se debe caracterizar la altura, cantidad, tipo y clase, además en las maderas de las latifoliadas se observan las puntuaciones de las paredes de los vasos.

CARACTERÍSTICAS DISTINTIVAS DEL PLANO RADIAL

El corte radial es importante sobre todo en el estudio comparativo de las coníferas. La madera blanca presenta en este corte unas perforaciones llamadas puntuaciones que sirven de comunicación entre los elementos celulares donde se cruza una traqueida longitudinal con un rayo y se forman los campos de cruzamiento, aquí se localizan perforaciones de formas características.

IV.3.- MADERAS DE CONÍFERAS Y LATIFOLIADAS

MADERAS DE CONÍFERAS

De todo lo anterior referente a las maderas de coníferas , se puede mencionar:

- a) Todas las coníferas presentan anillos de crecimiento bien definidos.
- b) La pared de las traqueidas es más ó menos delgada en todas las coníferas.
- c) Todas las coníferas presentan rayos homogéneos en el corte tangencial.
- d) El tipo de rayos que se observa en todas las coníferas es uniserado.
- e) La cantidad de rayos que se observan en el corte tangencial son numerosos ó poco numerosos. Es la cantidad de rayos que se observan en el corte tangencial por unidad de área.

En el corte transversal los canales resiníferos pueden estar presentes en los géneros de Picea, Pinus y Pseudotsuga. Ausentes como en los géneros Abies, Podocarpus, Taxodium y Cupressus.

MADERAS DE LATIFOLIADAS

En la gran mayoría de las latifoliadas en el corte transversal, los vasos se presentan solitarios y agrupados radialmente (múltiples radiales), es decir, siguiendo la trayectoria de los rayos medulares desde la médula hasta la corteza. También presentan los vasos en disposición difusa, es decir, que el tamaño y distribución por unidad de área es homogéneo. En muchas de las latifoliadas, el parénquima se presenta vasicéntrico. Las fibras de la gran mayoría de las especies

presentan un diámetro fino, por lo que la forma del lumen celular no es apreciable; en último caso podría decirse que presentan forma redonda aplastada.

V.- VENTAJAS DEL USO DE LA MADERA: COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN, COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO, COMO SISTEMA DE BAJO COSTO.

V.1.1- COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

- a) Ligereza: No solo en su transportación , sino que reduce los costos por este concepto.
- b) Trabajabilidad y alta resistencia mecánica : Favorece la fabricación de elementos constructivos, lo cual facilita el control de la calidad de la misma.
- c) Aislante Térmico : En este sentido la madera alcanza valores superiores de aislamiento hasta de cuatro veces los valores del tabique y hasta de diez veces sobre los de concreto.
- d) Aislante Acústico : Está comprobado que la madera tiene buena capacidad para absorber las vibraciones producidas por ondas sonoras , en comparación con diversos materiales que se usan en la construcción tradicional, es superior al acero, el cual tiene valores de quince veces inferiores a la madera.

V.1.2.-COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO

- a) El poco peso que transmite al terreno da como resultado que se puedan lograr cimentaciones de menor costo.
- b) Se evitan movimientos de tierra innecesarios en terrenos con pendiente y por consiguiente economiza costos , ya que la construcción con madera tiene la facilidad de adecuarse a este tipo de terrenos.
- c) Alta resistencia a los movimientos sísmicos debido a que la masa total de un edificio de madera es muy inferior, a la masa de una construcción tradicional y cuanto mayor es la masa, mayores son los efectos causados en caso de sismo.
- d) La mayoría de los sistemas constructivos cuentan con paneles de madera en muros y espacios de ventilación en el techo, lo que le permite contar con cámaras térmicas , las cuales proporcionan mayor capacidad de aislamiento térmico y acústico. Cuando los pisos a base de madera de las viviendas están a un nivel superior del terreno y con un entresuelo de por medio, esta capacidad aislante se ve incrementada.

- e) Las diferentes vetas y texturas de la madera proporcionan mayor belleza en los acabados a precios accesibles.
- f) El conocimiento de las diferentes tecnologías existentes en México permitirá contar con una mayor versatilidad en los diseños arquitectónicos.

V.1.3.- COMO SISTEMA DE BAJO COSTO

- a) En comparación con los sistemas tradicionales a base de tabique, acero y concreto, el sistema a base de paneles de madera reduce de un 10 % a un 15 % los costos. Además cuando se realiza en conjunto de cien unidades como mínimo se obtienen economías del orden del 30 % , las cuales alcanzan el 40 % de reducción cuando se trata de conjuntos de vivienda popular.
- b) La rapidez con que se fabrican las construcciones utilizando el sistema de paneles de madera permite abatir costos indirectos; lo más importante es que con esta rapidez se cuenta con mayor resolvenca de los fondos de una inversión, es decir, que esto permite la posibilidad de que se pueda recuperar la inversión en un tiempo menor.
- c) La rapidez con que se fabrican los sistemas constructivos con madera, permite abatir el costo de los intereses bancarios, el cual llega a ser hasta de un 250 % más en la construcción tradicional y en una construcción con madera que se edifique en 90 días de calendario , se puede economizar entre un 10% y un 11 % del valor total de la construcción de la vivienda.

V.2.- BENEFICIOS DE LA MADERA

- a) El uso de la madera en la construcción no perjudica los ecosistemas de las regiones , porque al sanear los bosques de plagas y aprovechar racionalmente los árboles plagados se evita realizar un uso inadecuado de los recursos forestales.
- b) Al utilizar sistemas de estructuras ligeras con componentes de madera se fomenta el uso racional de los recursos naturales renovables.
- c) La energía que se requiere para producir componentes metálicos ó de concreto es mucho mayor que la que se necesita para producir elementos de madera.
- d) La inversión en la infraestructura industrial para construir casas de madera es considerablemente más baja que la que se requiere para instalar la infraestructura para construir casas habitación con sistemas tradicionales , por ejemplo, la inversión que se requiere para montar una siderúrgica cementera.
- e) Construir en zonas de vocación forestal permite que los recursos económicos se distribuyan en la región.

VI.- PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA

A) PROPIEDADES FÍSICAS :

LA MADERA Y EL AGUA

La madera es un material absorbente , entonces tiene la característica de que las paredes de sus células toman humedad del vapor existente en el medio ambiente . Estas variaciones de humedad afectan las dimensiones, peso, resistencia mecánica y prácticamente todas las propiedades físicas de la madera.

Existen tres valores que son importantes para definir la relación entra la madera y el agua : el contenido de humedad (CH), el contenido de humedad en equilibrio (CHE) y el punto de saturación de la fibra (PSF).

1) *CONTENIDO DE HUMEDAD (CH)* : Se define como la relación entre el peso del agua contenida en una pieza de madera y su peso cuando es secada al horno, expresada en porcentaje, esto es:

$$(\%) CH = (W_a / W_o) * 100$$

donde: CH= contenido de humedad

W_a= peso del agua contenida en la pieza de madera

W_o= peso de la pieza de madera secada al horno

En madera recién aserrada (llamada madera verde) el CH puede variar de 40 - 200 % . Para maderas de coníferas en condiciones de uso , cuando la madera ya está seca el CH varia entre 5 - 20% en un ambiente seco.

2) *CONTENIDO DE HUMEDAD EN EQUILIBRIO (CHE)* : El contenido de humedad de la madera recién aserrada va reduciéndose conforme la madera esta en contacto con el aire durante su proceso de secado. Este proceso continúa hasta que la cantidad de agua que se evapora es equilibrada por la cantidad de agua que es absorbida del medio ambiente dando como resultado que el secado se detenga antes de que la madera pierda totalmente el agua. A lo anterior se le denomina contenido de humedad en equilibrio y depende básicamente de la humedad relativa del aire, aunque también varía ligeramente con la temperatura y con las diferentes especies de madera.

3) **PUNTO DE SATURACIÓN DE LA FIBRA (PSF)** : Cuando la madera está verde las paredes celulares se encuentran totalmente saturadas de agua, existiendo además cierta cantidad de agua absorbida y de vapor dentro de sus lúmenes . Conforme avanza el proceso de secado se evapora el agua que se localiza en los lúmenes sin que se modifiquen las condiciones de humedad de las paredes celulares, hasta que desaparece la totalidad del agua, al contenido de humedad que corresponde a este momento se le denomina punto de saturación de la fibra.

B) CONTRACCIÓN:

Cuando el contenido de humedad de la madera esta por debajo del punto de saturación de la fibra la ganancia o perdida de humedad ocurrirá en las paredes celulares provocando entre otros efectos, la modificación de sus dimensiones. Conforme la madera pierde humedad, sus dimensiones disminuyen , estos cambios están directamente relacionados con la estructura celular y presentan un comportamiento diferente en cada uno de los ejes estructurales de la madera en que se midan (radial, tangencial o longitudinal) . El porcentaje de contracción se expresa como el cociente de la diferencia de dimensiones de una pieza dada medida en dos diferentes contenidos de humedad divididos entre la dimensión original, esto es:

$$C = ((Lo - Li) / Lo) * 100$$

donde C= contracción en %
 Lo= dimensión inicial
 Li = dimensión final

La contracción máxima en una pieza de madera (Cmax) se obtiene considerando Lv para madera verde y Li para madera secada al horno con un CH = 0 , esto es:

$$C_{max} = ((Lv - Li) / Lv) * 100$$

C) PESO ESPECIFICO

Una de las características físicas más importantes de la madera es su peso específico o densidad relativa, ya que existe una buena correlación entre esta y su resistencia mecánica. Sin embargo, tanto el peso como el volumen de una pieza de madera son cantidades variables que dependen del contenido de humedad. La densidad relativa o peso específico se define como el cociente entre la densidad del material o peso volumétrico y la densidad ó peso específico del agua a 4°C . Para fines prácticos y de comparación al definir el peso específico de la madera, comúnmente se utilizan dos valores: el correspondiente al peso y volumen para un CH = 12 % (Pe 12 %) que puede

considerarse como el valor para la madera para su condición de uso y el que corresponde a la relación entre el peso de la pieza de madera seca (W_o) y el volumen verde (V_v) . El peso específico es variable entre las diferentes especies e inclusive presenta variaciones dentro de una misma especie.

D) COEFICIENTE DE DILATACIÓN

Es una medida del cambio de dimensión producido por una variación en la temperatura.

Para calcular la deformación total de un elemento de madera seca se utiliza la siguiente expresión :

$$\Delta L = A * L * \Delta T$$

donde ΔL = cambio dimensional lineal

A = coeficiente de dilatación ($1^\circ C$)

L = dimensión lineal inicial (cm)

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

Cuando la madera está húmeda su comportamiento ante los cambios de humedad es diferente del que se exhibe cuando está seca. Al ser calentado, la madera húmeda sufre una dilatación por el efecto de dilatación térmica normal 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 causadas por variaciones de humedad son de mayor magnitud que los térmicos por lo que esos no suelen tomarse en cuenta en el diseño de estructuras de madera.

E) CONDUCTIVIDAD

Es una medida de la rapidez con que fluye la energía térmica o calor a través de un material sometido a un gradiente de temperatura. Se evalúa a través del coeficiente térmico (K) , que se define como la energía térmica Q , en kilocalorías que fluye en un tiempo unitario en " t " horas, a través de una muestra de material de espesor " s " en metros en dos caras de superficie A en m^2 , sujetas a una diferencia de temperatura constante entre caras, igual a ($T_2 - T_1$) , así :

$$K = [(Q * S) / A * t (T_2 - T_1)] \quad [Kcal^\circ C / m] [BTU]$$

La conductividad de la madera es menor que la mayoría de los demás materiales de construcción.

La del acero en promedio es mayor 400 veces , la del concreto es 10 veces mayor.

Son varios los factores que incluyen en la conductividad térmica de la madera , entre los más importantes figuran el peso específico, el contenido de humedad y la estructura celular. Las maderas ligeras tienen mayor conductividad que las densas , aumentando con el contenido de humedad puesto que el agua que ocupa los huecos intercelulares es mejor conductor que el aire. En la dirección radial es solo ligeramente mayor que la tangencial, mientras que en la dirección longitudinal es del orden de tres veces mayor que en las direcciones transversales.

F) PROPIEDADES ELÉCTRICAS

La madera es un excelente aislante de la corriente eléctrica cuando está totalmente seca . Sin embargo, se convierte en un conductor cuando se encuentra en estado húmedo. El grado de conductividad está relacionado en el contenido de humedad.

G) PROPIEDADES ACÚSTICAS

Son de mayor interés en sus aplicaciones como material de construcción son el aislamiento y la absorción del sonido. La primera se refiere a la reducción en la intensidad del sonido cuando pasa a través de una barrera y la segunda, a la cantidad de sonido sobre una superficie que es absorbida por ella. Los valores de aislamiento de sonido se miden en decibeles . Dependen de la intensidad inicial del sonido producido en la cara opuesta de una barrera y de la masa y rigidez de esta. La madera por sí sola no constituye una buena barrera para el sonido , pero cuando se combina con diversos elementos se puede obtener una unidad estructural con propiedades de aislamiento satisfactorias.

Un material con buenas características de absorción de sonido debe de ser blando y poroso , al contrario de los materiales aislantes que deben ser densos . La absorción de sonido de la madera es relativamente alta comparada con la de materiales como el acero o la piedra.

2) PROPIEDADES MECÁNICAS

Al hablar de propiedades mecánicas es preciso especificar además del tipo de acción la dirección en que se aplican de acuerdo con un sistema de ejes ortogonales (longitudinal, radial, tangencial), sin embargo, las diferencias en el comportamiento de la madera cuando las acciones mecánicas se aplican paralelas a los ejes radial y tangencial son pequeñas comparadas con las que se obtienen cuando las acciones se aplican paralelamente al eje longitudinal, por lo que generalmente se indican solo las propiedades en dos direcciones : paralela a las fibras (eje longitudinal) y perpendicular a ellas.

CAPITULO II

UTILIZACION DE LA MADERA EN OBRAS DE INGENIERIA CIVIL

II.- LA MADERA COMO INSUMO EN LAS CONSTRUCCIONES

La madera para aplicaciones estructurales en la construcción se utiliza con diferentes niveles de industrialización. La forma más rudimentaria es la madera en rollo o madera rolliza, es decir los troncos descortezados de árboles sin mayor elaboración posterior. A veces se emplea en andamiajes, obras falsas de diversas formas y cimbras, en las minas es un elemento básico en obras de apuntalamiento y en algunos puentes de caballete para ferrocarril se emplea en forma de elementos verticales de carga.

Una aplicación es en las construcciones pequeñas (viviendas), en donde las piezas de madera rolliza se emplean con doble función formando parte de la estructura y actuando como pilotes para transmitir la carga al suelo, por ejemplo, el requerir una cimentación simple, la posibilidad de construir en terrenos con pendientes pronunciadas, sin trabajos adicionales para acondicionar el terreno; en tiempos cortos se puede construir la estructura con la cubierta y bajo esta protección el resto de la vivienda.

La madera labrada se produce dándole la forma requerida con hacha o azuela. Su uso es frecuente en la construcción rústica. La madera aserrada es la que ha recibido una geometría determinada a través de un proceso de aserrado manual o mecánico. En México la madera aserrada tiene el primer lugar entre los productos forestales, puede emplearse tal como se obtiene del aserrado como es el caso de la construcción de cimbras y obras falsas o con las caras cepilladas. El cepillado de las caras es esencial en construcciones moduladas como los sistemas prefabricados, donde la precisión de las dimensiones de la madera es importante.

Los tableros o paneles son elementos planos que se obtienen modificando las características de la madera en su estado natural por medio de un determinado proceso industrial, además se distinguen tres tipos de tableros:

- a) los de madera contrachapada**
- b) los tableros de fibras**
- c) los tableros de partículas**

De estos, solamente los contrachapados y los tableros estructurales de partículas pueden ser de aplicación estructural, los de fibras no tienen las propiedades requeridas para poder utilizarlas en la construcción.

En el mercado nacional las dimensiones que más frecuentemente se encuentran son las de 122 x 244 mm, aunque también se fabrican tableros de anchos de 76 y 91 cm en algunos productos. Los tableros de madera contrachapada están formados por tres o más hojas o chapas unidas con una sustancia adhesiva y dispuestas de tal forma que las fibras de cada capa son perpendiculares

respecto de las capas contiguas. Son de uso común en cimbras y en la fabricación de muebles . También son un elemento básico en la construcción de viviendas donde se utilizan como diafragmas de los que depende la estabilidad de las construcciones . Se fabrican con grosores de 3 a 38 mm siendo los mas usados en sistemas estructurales los de 6, 9, 12, 16, 19 y 25 mm.

Un aspecto interesante de estos productos es la posibilidad de aprovechar en su fabricación , madera rolliza de pequeñas dimensiones o residuos y desperdicios de otras industrias forestales , otro es el hecho de que pueden diseñarse para satisfacer necesidades específicas incorporando diversas sustancias o modificando convenientemente los tratamientos térmicos o mecánicos a los que pueden ser sometidos con el fin de lograr tableros con determinadas características de resistencia al agua , al fuego a la pudrición o a acciones mecánicas requeridas por aplicaciones estructurales. Los elementos estructurales de madera laminada, son generalmente de grandes dimensiones formulados al unir piezas de madera relativamente pequeñas por medio de adhesivos. La técnica de madera laminada permite fabricar elementos estructurales de longitudes mucho mayores que las que son posibles con madera sólida ordinaria , con configuraciones curvas y peraltes variables . En México el uso de la madera laminada es todavía poco frecuente y su utilización se ve restringida a elementos que rebasen las dimensiones comunes de la madera aserrada particularmente en su longitud.

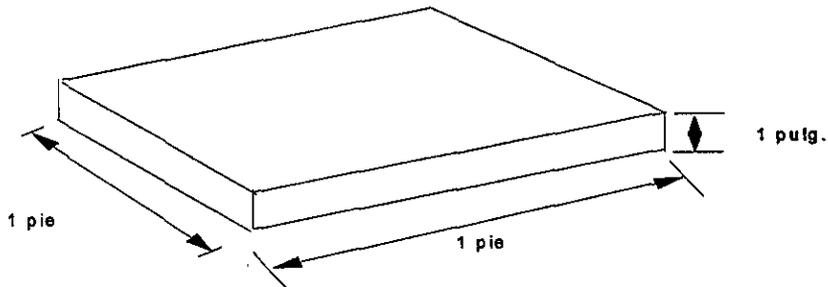
II.1.- MADERA ASERRADA DE ORIGEN NACIONAL

La madera aserrada se usa principalmente en cimbras, obras falsas, ademes , apuntalamiento de minas, excavaciones y otras obras provisionales. Se empiezan a reconocer las ventajas de la madera en la construcción de estructuras permanentes para viviendas , escuelas, clínicas rurales, locales comerciales, etc.

DIMENSIONES

La construcción de estructuras de madera requiere que las secciones de las piezas cumplan con ciertas normas de dimensiones para reducir los problemas constructivos que se presentan cuando las dimensiones de los elementos tienen una variabilidad grande. Tradicionalmente y por el predominio del equipo extranjero en los aserraderos , las dimensiones de la madera se establecen en unidades inglesas, (pulgadas y pies) , las cuales son utilizadas para cuantificarla en su comercialización : Sin embargo , las dimensiones reales de la madera seca y cepillada son la establecidas por la norma NMX - C - 224 - 1983 (DGN, 1983) .

La unidad que se utiliza para comercializar la madera es el " pie- tablón " la cual equivale al volumen de una tabla de 1 pie x 1 pie x 1 pulgada de espesor. (como se puede apreciar en la siguiente figura)



La norma NMX - C. 224 -1983 (DGN,1983), establece las características que debe cumplir la madera aserrada en cuanto a dimensiones , así como las tolerancias aceptables. Esta norma es aplicable a madera seca y cepillada entendiéndose como madera seca la que tenga un contenido de humedad (CH) menor o igual al 18 %.

Dependiendo del tamaño de la sección y su aplicación , los elementos de madera en la construcción se pueden identificar con los siguientes términos usuales en México: duela, tablón, polen, vigueta (o larguero) , y durmiente.

a) Las duelas se identifican por ser maderas de grosor menor o igual a 2.4 cm. Su utilización mas común se encuentra en techos, muros y pisos como cubierta o forro . Se pueden emplear con sus cantos a escuadra machihembrada o con traslapes a media madera.

b) Los tablonos son elementos para cubierta en techos y pisos en los cuales las cargas son mayores que las usuales o la separación entre los miembros de soporte rebasa los 120 cm . Su grosor es de normalmente 3.8 cm , aunque se usan hasta de 8.7 cm : Pueden ser de cantos o escuadra o machihembrados : es recomendable que con grosores mayores a 3.8 cm se fabriquen con machiembrado doble.

c) Las viguetas o largueros se utilizan como soporte en sistemas ligeros de construcción de pisos y techos colocandolas a separaciones entre 40 y 120 cm , su grosor es de 3.8 cm

d) Las vigas tienen grosores mayores de 3.8 cm . Son los elementos que soportan cargas transversales en sistemas de poste y viga , marcos rígidos , como apoyo de viguetas y otras situaciones donde se requiere una considerable capacidad de carga mayor que las viguetas.

e) Los polines son secciones cuadradas de 6.4 u 8.7 cm de lado, los cuales son de características aptas para usarse como miembros a compresión (columnas) o elementos de armaduras. En la construcción en México comúnmente se utilizan como elementos de compresión (columnas) en cimbras y obras falsas.

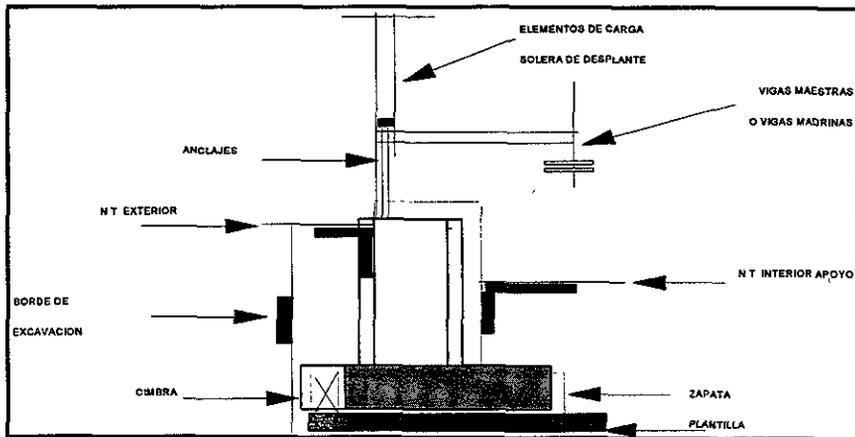
f) Los durmientes se usan como soporte de los rieles en las vías de ferrocarril y como miembros de algunas estructuras para puentes . Por extensión se denominan durmientes a las piezas de sección cuadrada de 8 pulgadas nominales de ancho.

Debido a la ligereza de las construcciones de madera , generalmente en las excavaciones que se realizan para la construcción de los cimientos , son menores que aquellas para construcciones con materiales tradicionales.

II.2.- CIMIENTOS

Una de las ventajas del uso de la madera en la construcción de edificios es el bajo costo de la cimentación, como resultado del reducido peso de la estructura . Algunos aspectos particulares que se deben de tomar en cuenta al diseñar los cimientos de estructuras de madera son : que estas estén adecuadamente ancladas a los cimientos y que estén lo suficientemente alejadas del suelo (mas o menos de 15 a 20 cm) para que los efectos perjudiciales de la humedad sean mínimos y además tomar medidas para evitar el ataque de organismos dañinos.

A falta de una nomenclatura generalmente aceptada para definir los elementos de cimentación para estructura de madera se usan los nombres que se indican en la siguiente figura cuyas funciones son:



1) Plantilla: Se coloca a nivel de desplante en la excavación, para aumentar la estabilidad del suelo, *protegiéndolo contra, el agua, mejorando las condiciones de trabajo y evitando la contaminación por tierra ó lodo de los armados ó de los otros elementos de la cimentación.*

2) Zapata: Se denominan a los elementos que se utilizan para distribuir las cargas sobre el terreno.

3) Apoyos Intermedios: En muchos sistemas de cimentación se usan muros ó dados para recibir las cargas de la superestructura y transmitir las hasta las zapatas. Cuando se requiere funcionan también como muros de contención ó delimitan el espacio bajo los sistemas de piso cuando se construye una planta baja elevada del terreno.

4) Vigas maestras (ó vigas mdrinas): Cuando se utilizan sistemas de piso de madera en planta baja, se colocan vigas maestras que sirven de soporte al sistema de piso y se apoyan en los apoyos intermedios (Soportes aislados ó muros corridos perimetrales).

5) Anclajes: Son elementos que fijan los edificios a la cimentación, son importantes en todos los casos, sobre todo en zonas donde las fuerzas horizontales de viento ó sismo rijan el diseño de la estructura.

Estos elementos se combinan de diversas maneras y con diferentes materiales para formar sistemas básicos de cimentación. De una manera general, los sistemas de cimentación para estructuras de madera pueden clasificarse en dos grupos.

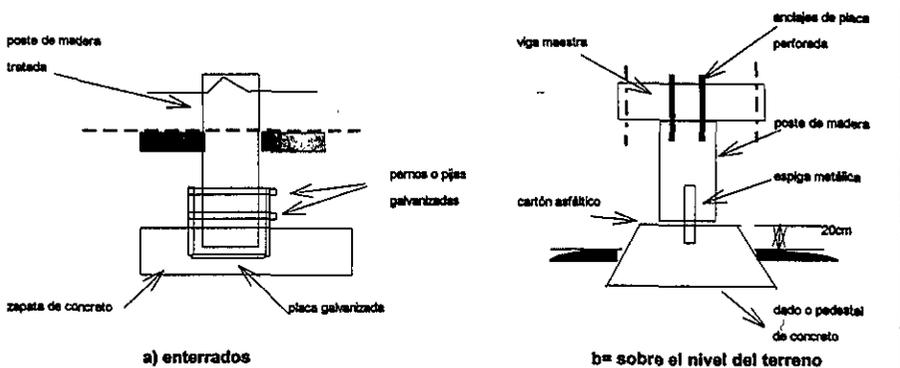
a) Cimentaciones con el sistema de piso de planta baja elevado, de madera en donde queda un espacio entre el sistema de piso y el terreno.

b) Cimentaciones de edificios en los que la planta baja está apoyada sobre el terreno.

Normalmente la carga viva del piso de planta baja es mayor que el de la cubierta, y las viguetas no tienen capacidad suficiente para salvar el claro entre muros perimetrales. En estos casos se requieren vigas maestras y soportes interiores aislados para apoyar las viguetas.

La resistencia de la estructura a las acciones horizontales de sismo o viento normalmente es proporcionada por el sistema de muros perimetrales, los cimientos interiores solamente soportan las cargas que les transmiten las vigas maestras. Sin embargo, en zonas de riesgo es práctica usual diseñar detalles con alguna capacidad a tensión para mejorar las condiciones generales de

estabilidad de la estructura. Entre los tipos de cimientos aislados interiores más comunes figuran los postes de madera sobre zapatas de concreto .

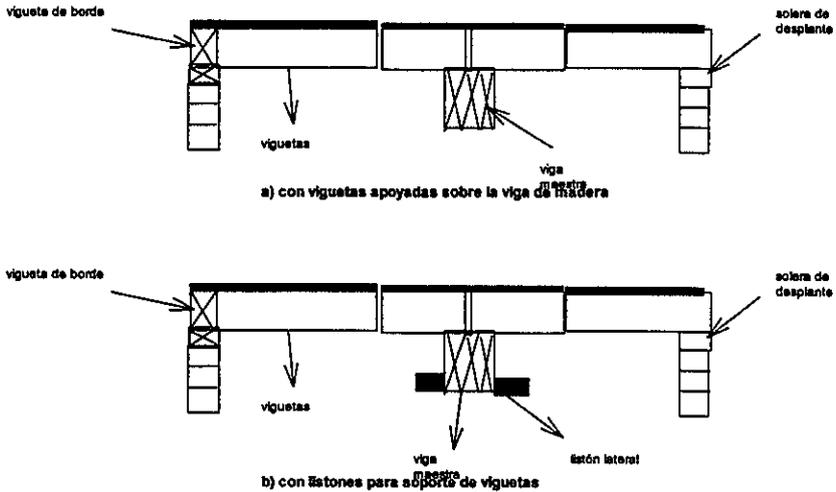


poste de madera

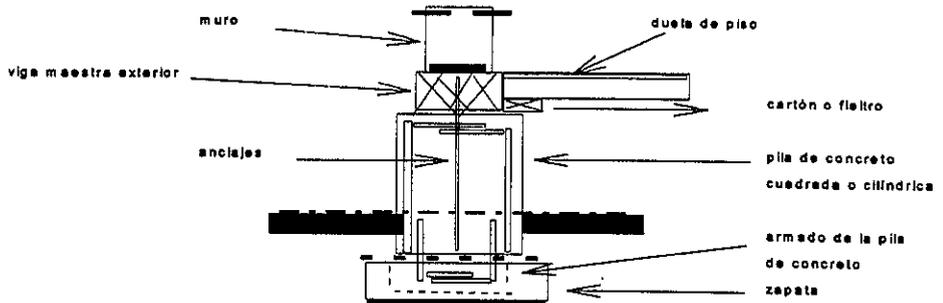
Normalmente son de sección rectangular de madera maciza de 8.9 cm (4 in), aunque se usan también postes circulares ó cómputos con varios tablones de 3.8 cm unidos con clavos. Cuando los postes están en contacto con el terreno deben someterse previamente a un tratamiento preservador para alto riesgo.

II.2.1.- VIGAS MAESTRAS (VIGAS MADRINAS)

En la siguiente figura, se ilustra un sistema de piso elevado típico con viguetas apoyadas sobre una viga maestra (viga principal) que descansa sobre los muros perimetrales y sobre soportes intermedios. En algunos casos las viguetas se apoyan sobre el techo superior de las vigas maestras (fig. a) en otros, con el fin de reducir la altura ocupada por el sistema de piso, las viguetas descansan sobre una pieza de madera clavada a los costados de la viga (fig. b). Las vigas maestras pueden ser de tres tipos: macizas, de madera laminada, o compuestas de dos ó más piezas de 38 mm de grosor y de 20, 25 ó 30 cm de peralte.



Para que las vigas compuestas proporcionen una seguridad adecuada y actúen conjuntamente como un miembro macizo, los muros perimetrales deben ser de concreto, y los extremos de las vigas pueden apoyarse en una caja abierta en el muro que debe proporcionar una longitud mínima de apoyo de 10 cm. Si se desea apoyar los extremos de las vigas maestras sobre muros perimetrales de bloque hueco deben reforzarse adecuadamente las zonas donde descansan las vigas. El riesgo de pudrición o deterioro por termitas ó por otros insectos, es mayor en las piezas de madera que están próximas al suelo por lo que hay que tomar precauciones constructivas para proteger los elementos de madera de la cimentación proporcionando ventilación adecuada, rejillas contra insectos, capas de impermeabilizantes etc. Además la madera que se usa en las cimentaciones (vigas maderas, viguetas de planta baja, solera de desplante, etc.) deben de someterse aparte de los tratamientos anteriores, a otros más sofisticados .



cimientos y apoyos de vigas maestras para edificios soportados con bases de concreto

II.2.2.- CIMENTACIONES CON POSTES Ó PILASTRAS EN EDIFICIOS DE PLANTA BAJA:

En cimentaciones con postes ó pilastras, se debe revisar la estabilidad de la cimentación bajo acciones horizontales, ya que en este caso no se cuenta con la resistencia de los muros perimetrales y la estabilidad de la estructura depende de los postes mismos o de sistemas de refuerzo tales como contravientos ó armaduras verticales.

En el caso de cimientos con postes ó pilastras, el espacio entre el nivel del terreno y la estructura de planta baja queda libre, dejando los elementos de madera más expuestos a los efectos de la humedad y los organismos que cuando se tienen cimientos perimetrales continuos, por lo que es más importante tratarlos con algún preservador.

Un caso particular de los sistemas con planta baja suspendida construidos a base de postes ó pilastras, son las estructuras de postes de madera hincados en el suelo. Cuando las cargas son pequeñas y el suelo bueno, se usan los postes sin zapatas, empotrándolos en excavaciones circulares con un diámetro de aproximadamente igual al doble del diámetro del poste. En caso de disponer del equipo adecuado, los postes se hincan con piloteadora con los que evitamos la excavación y el relleno.

CIMENTACIONES PARA EDIFICIOS CON PLANTA BAJA APOYADA SOBRE EL TERRENO

En las zonas donde existe el recurso forestal, es frecuente encontrar viviendas de madera en las que la estructura se apoya sobre algún tipo de cimiento y el piso de la vivienda es el terreno firme

sobre el terreno, independiente de los apoyos de la estructura. En la actualidad los sistemas constructivos rurales tradicionales satisfacen las necesidades de vivienda de una parte importante de la población. Sin embargo, cuando se hace el diseño de la estructura es necesario proporcionar sistemas de cimentación a base de muros corridos ó zapatas aisladas que garanticen protección y seguridad y además de que mejoren las condiciones del piso en el interior de la vivienda, para que sea capaz de recibir los acabados usuales en la construcción

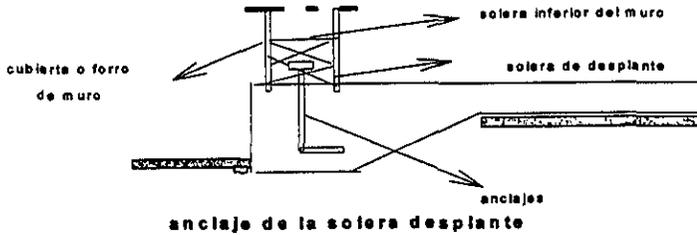
Las estructuras de madera, en las que la planta baja está sobre el terreno pueden cimentarse básicamente de dos maneras:

- 1) Construyendo zapatas y dados independientes de la losa de planta baja, para bajar las cargas hasta el terreno.
- 2) Integrando las zapatas y los dados a la losa de concreto, con la que se tienen menores excavaciones y se aprovecha parte de la losa de planta baja, como zapata.

SOLERAS DE DESPLANTE Y ANCLAJES

La solera de desplante es un elemento esencial en la construcción de edificaciones de madera, tanto en el caso de cimentaciones de losa integral con zapatas, como en muros perimetrales continuos. Su función consiste en transmitir las cargas verticales y los efectos de las fuerzas horizontales al muro ó losa de cimentación y proporcionar una base para la erección del entramado de la superestructura. El anclaje adecuado de esta pieza a la cimentación y los detalles de unión con los elementos de la superestructura son básicos para el comportamiento bajo fuerzas horizontales, y de su colocación depende que el entramado de la superestructura quede bien nivelado, con las esquinas a escuadra y los pies derechos correctamente espaciados.

Para estructuras de entramados ligeros en las cuales la estabilidad de la construcción depende de los diafragmas formados por la cubierta estructural ó forro con los pies derechos de muros, la unión de la solera de desplante con la superestructura se logra clavando el contrachapado ó las duelas que forman la cubierta de los muros a la solera de desplante, como se indica en la figura, con lo que se proporciona la resistencia requerida por los diafragmas de los muros en su plano.



En estructuras apoyadas sobre losas de concreto es frecuente la colocación de una solera de desplante anclada a la cimentación independiente de la solera inferior de los bastidores del muro ver figura anterior, aunque en ocasiones, los bastidores de muro se anclan directamente prescindiendo de la solera de desplante (fig b). En el sistema plataforma (figura c), la cubierta estructural de los muros se clava tanto a la solera de desplante como a la vigueta de borde y a los pies derechos , generalmente se utilizan como soleras de desplante piezas de 3.8 cm x 14 cm (2 x 65 pulg) y en algunos casos de 3.8 x 8.7 cm (2x4 pulg).

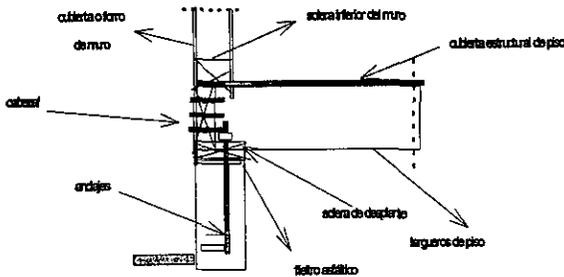


fig (c)

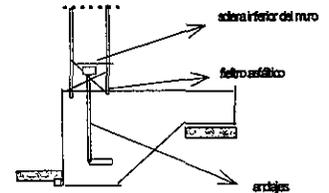


fig (b)

En regiones de vientos fuertes es necesario que la superestructura quede bien clavada a la solera de desplante : esto puede lograrse incrementando el número de clavos entre la cubierta estructural y la solera de desplante y por medio de flejes metálicos , que pueden estar clavados directamente a los pies derechos. (ver figura), o a las viguetas de borde. En el caso de remodelaciones o de refuerzos de estructuras existentes a los flejes, se pueden clavar a los pies derechos a través de la cubierta estructural del muro.

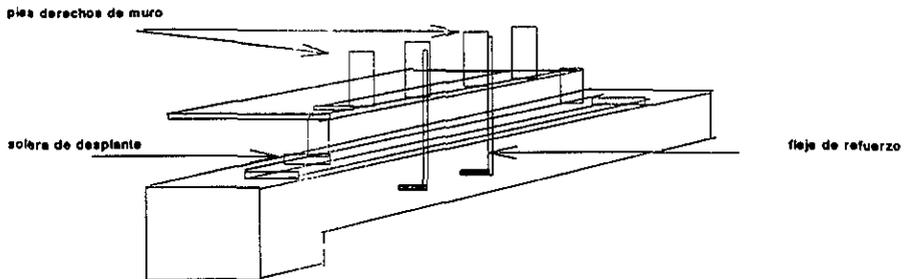


fig: flejes metálicos para reforzar el anclaje de la superestructura a la solera de desplante.

La madera utilizada para las soleras debe de ser tratada a presión y con piezas lo mas largas posibles para optimizar el trabajo de las anclas. Cuando la longitud requerida de la solera sea demasiado grande para una sola pieza , es posible combinar varias piezas , siempre que tengan una longitud mínima de 2 a 2.4 m y cuando menos 2 anclas por pieza de solera.

La solera de desplante debe de estar bien anclada al muro de cimentación para evitar fallas por desplazamiento lateral y / o volteo de la estructura . Para evitar esto existen varios métodos entre los que destacan el usar pernos galvanizados o anclas de 13 mm (1/2 pulg),y de 25 o 30 cm de largo mínimo que son ahogados en el muro de cimentación. Las anclas se colocan con espaciamentos que varían de 80 a 240 cm , según la importancia de las fuerzas horizontales y no deben distar de los extremos de la pieza que formen la solera de desplante mas de 30 cm. Al colocar las anclas debe cuidarse que no queden sobre las viguetas del sistema de piso o sobre los pies derechos de los muros.

CIMENTACIONES PARA ESTRUCTURAS MIXTAS DE MAMPOSTERIA Y MADERA.

En México, las construcciones a base de muros de mampostería y entrepisos soportados con vigas de madera es muy frecuente, de hecho este sistema constructivo fue empleado tradicionalmente en el país desde la época de la colonia hasta antes de la aparición de las estructuras de concreto y en la actualidad es uno de los sistemas constructivos con elementos de madera más utilizados.

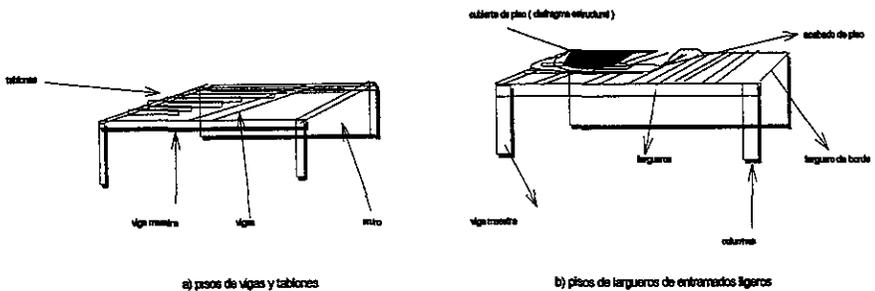
En este caso, las cimentaciones son más robustas que las usadas en estructuras en las que los muros y los pisos se construyen con madera; normalmente se llevan zapatas corridas de concreto reforzado ó mampostería de piedra bajo todos los muros, rigidizando la cimentación con cadenas

de concreto reforzado que sirven como elementos de amarre y para distribuir las cargas de la superestructura.

II.3.- UTILIZACIÓN DE LA MADERA EN SISTEMAS DE PISO

Los sistemas de piso deben proporcionar una base sobre la que puedan realizarse las actividades durante su vida útil con seguridad razonable y sin que se presenten deformaciones ó vibraciones indeseables. Además, con frecuencia deben de tener capacidad para actuar como diafragmas que puedan transmitir fuerzas horizontales a los elementos resistentes verticales. Están integrados por elementos que proporcionan resistencia estructural y materiales de recubrimiento para acabado de piso. Los sistemas estructurales de pisos de madera pueden clasificarse en dos grupos:

- a) Los de entramados ligeros
- b) y Los integrados por vigas robustas



Los principales elementos que integran los sistemas de piso de entramados ligeros son los largueros y la cubierta estructural, a veces denominada forro, bajo - piso o sub-piso (ver figura). Los largueros se apoyan sobre vigas maestras o sobre la solera de desplante que transmite las cargas a los diferentes sistemas de cimentación o de muros.

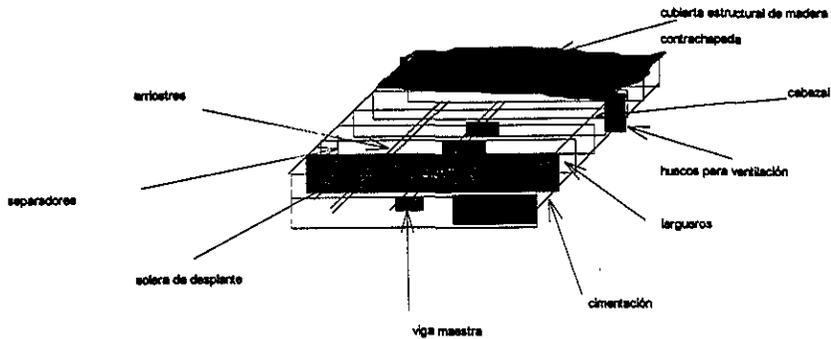


fig. elementos principales de los sistemas de piso de estructuras ligeras

La cubierta estructural que puede ser de duela ó de madera contrachapada cumple una doble función; funciona como soporte de las cargas gravitacionales del entrepiso sobre el cual se tiende el material para acabado de piso y también como diafragma que proporciona la rigidez necesaria al sistema de piso para transmitir las cargas horizontales a los elementos resistentes.

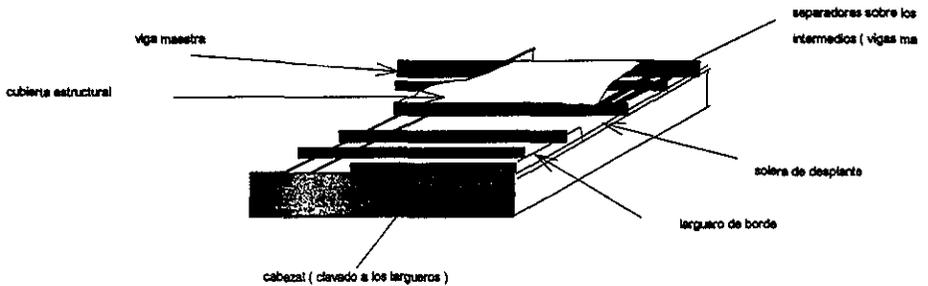
Una ventaja de los sistemas de piso de entramados ligeros es la flexibilidad que brindan en cuanto a estructuración.

Los largueros son los elementos horizontales para soporte del piso ó en planta baja y se apoyan sobre las soleras de desplante de la cimentación ó sobre vigas maestras y en planta alta sobre elementos horizontales apropiados del sistema de muros o sobre las vigas de superestructura. Generalmente su grosor es de 3.8 cm (2 pulg) con peraltes de 14, 19,24 ó 29 según las NMX-c-224-1983 DGN-1983).

Los espaciamientos suelen ser submódulos de 122 ó 244 cm, que corresponde a las dimensiones de los tableros de madera contrachapada y otros materiales usados en la construcción con madera. Normalmente todos los largueros de una planta se orientan en la misma dirección, aunque esto no es indispensable; otro criterio usual para orientar los largueros es ubicarlas de modo que cubran el claro más corto de cada tablero. En la colocación de los largueros hay que considerar dos factores básicos, por un lado el arriostramiento para evitar el pandeo ó volteo de los largueros y por otro, la continuidad y el apoyo de los largueros sobre vigas mdrinas ó soportes intermedios.

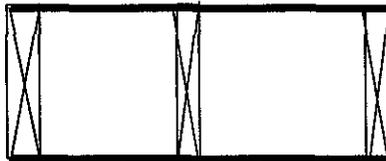
En el arriostramiento lateral, debido a la esbeltez de las secciones utilizadas, es necesario proporcionar elementos que impidan la traslación y/o rotación de los largueros cuando están sujetos a flexión.

En los sistemas de pisos de entramados ligeros, cuando la cubierta estructural está bien clavada a los largueros, proporciona un soporte lateral efectivo a todo lo largo de la capa superior de las vigas. Además para resolver el problema de pandeo lateral, se colocan separadamente sobre los soportes interiores y piezas de corte en los extremos exteriores de los largueros, con lo que en la mayoría de los casos, se resuelven los problemas de pandeo lateral.



elementos utilizados para arriostramiento lateral de los largueros sobre los apoyos.

En ocasiones se recomienda la colocación a separaciones de $\pm 2m$ de algún tipo de arriostramiento en puntos intermedios de largueros que cubren grandes claros, utilizando algunos de los sistemas mostrados en la siguiente figura con la intención de mejorar la rigidez general de las plataformas de piso y contribuir a la distribución de cargas concentradas.



a) arriostramiento con piezas macizas

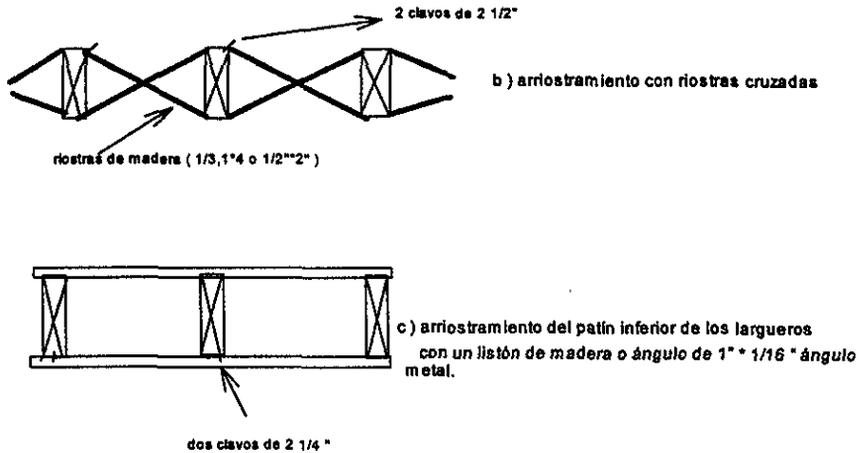


fig: sistemas para arriostamiento lateral en puntos intermedios entre apoyos de los largueros

II.3.1.- APOYO SOBRE VIGAS MAESTRAS

Es una manera muy sencilla de apoyar los largueros sobre vigas maestras ya que consiste en descansar sobre el lecho superior de la viga maestra, ya sea traslapándolos ó colocándolos a tope . Normalmente las uniones se hacen con clavos de 76 mm (3 pulg) clavando los largueros a la viga maestra y clavando los largueros entre sí en la zona de traslape. La unión entre largueros cuando se colocan a tope, se hace con piezas metálicas, piezas laterales de madera ó clavándolos a la cubierta cuando se usan paneles estructurales en la cubierta. Para evitar el volteo adicionalmente se colocan separadores, clavándolos a los largueros y a la viga maestra. Una ventaja al apoyar los largueros sobre el paso superior de las vigas maestras es que se puede aprovechar su continuidad en claros contiguos traslapándolos a una distancia de $1/3$ ó $1/4$ del claro, con lo que se mejoran las condiciones generales de los largueros, reduciendo las deformaciones del sistema de piso y permitiendo, al mismo tiempo, el uso de piezas cortas .

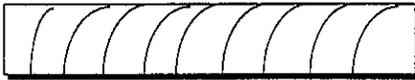
CUBIERTA ESTRUCTURAL

La cubierta estructural, también llamado forro ó bajo piso, tiene como funciones transmitir las cargas gravitacionales a los largueros que forman el entramado del sistema de piso, contribuir a la acción de diafragma del piso frente a las acciones horizontales transmitiéndolas a los elementos verticales resistentes, además proporciona una superficie sobre la que se puede trabajar durante la

construcción del resto del edificio y una base para la colocación del recubrimiento ó acabado del piso. Los materiales más usados para la cubierta son duelas o tablas, tableros de madera contrachapada y otros paneles estructurales.

CUBIERTA ESTRUCTURAL DE DUELAS :

Las duelas pueden ser de cantos ó escuadras, con cortes a media madera ó machiembrada .



a) cantos a escuadra



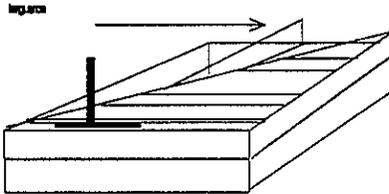
b) a media madera



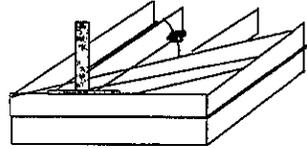
c) machiembrada

TIPOS DE DUELA

Las que tienen cortes a media madera y las machiembradas ofrecen la ventaja de que las duelas adyacentes pueden contribuir a soportar cargas concentradas en forma solidaria. Los anchos más usuales de duelas son de 8.7, 14 y 19 cm . No es recomendable usar duelas de más de 19 cm (8 pulg) ya que estas se arquean con mayor facilidad debido a su dimensión transversal pequeña. Su grosor no suele ser inferior a 1.9 cm (3/4 pulg). Las duelas pueden colocarse perpendicularmente a los largueros ó en un ángulo de 45° respecto a ellos .



a) duelas perpendiculares a los largos



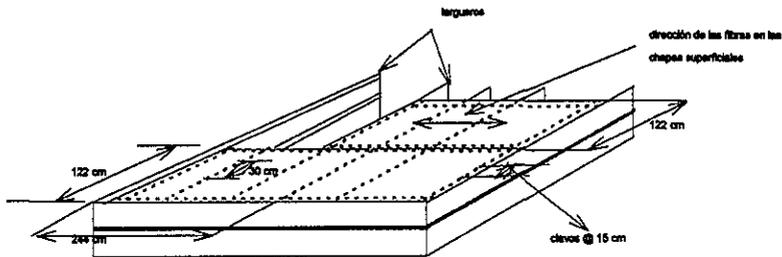
b) duelas a 45° respecto a los largos

Las duelas puestas diagonalmente tienen mayor desperdicio y su instalación es más lenta; sin embargo, forman diafragmas con una mejor rigidez que los de duelas perpendiculares.

CUBIERTA DE MADERA CONTRACHAPADA Y OTROS PANELES ESTRUCTURALES

Los paneles estructurales proporcionan una superficie lisa, plana y sólida para la colocación del acabado de los pisos. Las dimensiones de los tableros (122 X 244 cm) propicia la rapidez de construcción y su peso ligero hace que sean fáciles de manejar e instalar. Así, las cubiertas de paneles estructurales se construyen con mayor rapidez que los de duela. El hecho de que los tableros estén fabricados con las fibras de las diversas capas perpendiculares entre sí les da gran rigidez, haciendo que sean particularmente apropiados para formar diafragmas, además de facilitar la distribución de cargas concentradas.

Los tableros se instalan con las fibras de las caras exteriores perpendiculares a los largos y deben ser continuos por lo menos en dos claros. Las juntas en los lados cortos de los tableros deben contrapesarse ó desfasarse, como se indica en la siguiente figura:



colocación de tableros de madera contrachapada para cubiertas estructurales

En general, para colocar los tableros se usan clavos comunes de 5.0 ó 6.4 cm (2 ó 2 1/2 pulg) espaciados a 15 cm a lo largo de los bordes y a 30 cm sobre apoyos intermedios ver figura anterior. Sin embargo, si el sistema de piso va a funcionar como diafragma deben colocarse separadores para apoyar los bordes libres, utilizando clavos espaciados a 15 cm en todo el perímetro de los tableros y a 20 cm en los apoyos intermedios, ó efectuar un análisis de las acciones sobre el diafragma para determinar tanto el diámetro como la separación de los clavos.

Para esto pueden distinguirse tres tipos de sistemas de piso con madera contrachapada, cuyas características son:

a) Pisos en los materiales de acabado con cierta rigidez (duela, parquet ó concreto), se apoyan directamente sobre la cubierta de los tableros (fig. a). En este caso se pueden prescindir de apoyo en los bordes libres aún cuando los bordes de los tableros sean encuadrados, salvo en el caso del parquet, donde se requiere que los bordes estén machihembrados ó se apoyen sobre separadores. La capa de concreto debe tener un espesor mínimo de 4 cm.

b) Pisos con doble carga de panel estructural (fig. b). En esa modalidad, sobre la cubierta estructural se tiende una capa de madera contrachapada, generalmente de 6.4 a 12.7 mm (1/4 a 1/2 in) de grosor. Se utiliza con materiales de acabado de piso flexibles, como la loseta asfáltica ó vinílica, el linóleo y las alfombras, que requieren una superficie de apoyo más lisa y plana que la que suelen proporcionar los tableros estructurales ordinarios.

c) Cubiertas con paneles estructurales que, además proporcionan una superficie apropiada para la colocación de materiales flexibles . Pueden fabricarse tableros estructurales que cumplan con la doble función de cubierta estructural y base para la colocación de acabados de piso flexibles, como el linóleo, la loseta vinílica o asfáltica y las alfombras. De esta manera se evita la necesidad de usar una segunda capa de madera contrachapada. Si los bordes no están machihembrados, deben

colocarse separadores de 38 mm de grosor bajo los bordes libres. El grosor mínimo de los tableros es de 1.6 cm

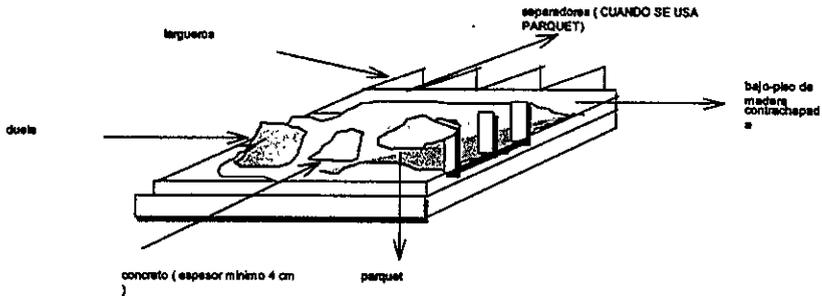


fig a: cubierta estructural de madera contrachapada y acabado de piso actuando de refuerzo.

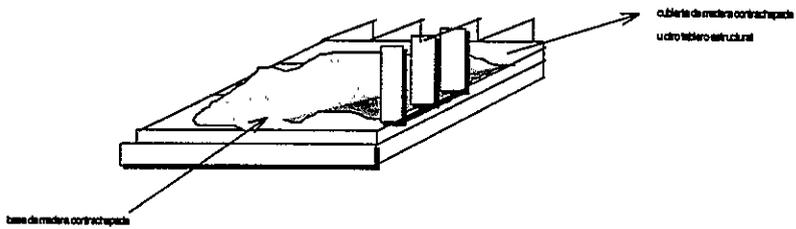


fig b : piso con doble capa de madera contrachapada

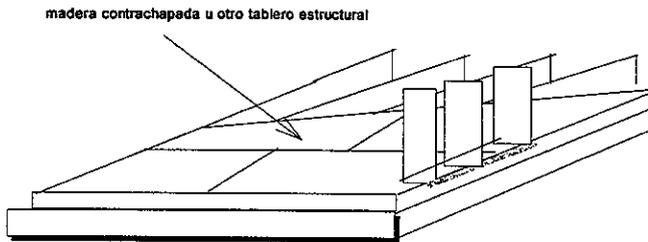


fig c : tableros de madera contrachapada con doble función , cubierta estructural y base para acabados flexibles de piso.

II.3.2.- SISTEMA DE PISO PARA ENTRAMADOS LIGEROS

A partir de los elementos básicos, largueros y cubierta estructural, se han desarrollado algunos sistemas de piso de entramados ligeros, ya sea formando parte de marcos ligeros ó asociándolos con sistemas estructurales diversos, como los sistemas de piso apoyados sobre estructuras pesadas, postes hincados en el suelo, muros de mampostería etc. En cada uno de estos casos los detalles de unión; entre el sistema de piso y los muros o cimientos forman parte importante de los sistemas estructurales.

SISTEMA PLATAFORMA

Se denomina sistema plataforma por que con los elementos del sistema de piso de entramados ligeros se forman plataformas continuas que interrumpen la estructuración de los muros tanto en la cimentación como en los entresijos .

En la periferia del sistema de piso se llevan piezas perimetrales lo que son largueros de borde y piezas cabeceras apoyadas sobre las soleras de desplante; generalmente son de las mismas dimensiones que los largueros, aunque a veces su grosor es de 2.5 cm. Estas piezas son utilizadas para mantener a los largueros en su posición, restringiendo su tendencia a voltearse, tapan los espacios entre largueros y proporcionan un apoyo para la cubierta estructural y para los muros en el perímetro del edificio. En este sistema se tiene la ventaja de que una vez colocado el piso, se dispone de una plataforma sobre la que se puede trabajar para fabricar y levantar los muros. Esta ventaja hace que el sistema plataforma sea usual cuando se utilizan pisos de entramados ligeros combinados con estructuras pesadas, como poste-viga ó postes hincados en el suelo.

II.3.3.- ARMADURAS DE CUERDAS PARALELAS Y VIGUETAS PARA SISTEMAS DE PISO

En lugar de utilizar largueros macizos, los sistemas de piso pueden construirse con armaduras de cuerdas paralelas o viguetas I formadas por patines de madera pegados con adhesivos a un alma de tablero estructural. Los tipos más comunes de armadura son la Pratt y la Warren, que suelen tener una relación peralte/claro del orden de 1/8. El apoyo de las armaduras puede disponerse bajo la cuerda inferior o la superior.

Estas armaduras permiten salvar claros relativamente grandes de manera que puede prescindirse de las vigas maestras requeridas en los sistemas de largueros así como de columnas y muros de carga interiores. En las armaduras, los ductos para las instalaciones eléctricas, sanitarias, de calefacción y de acondicionamiento de aire pueden fácilmente acomodarse pasándolos entre los

huecos del alma. Estas ventajas explican la tendencia creciente al empleo de armaduras ligeras en lugar de largueros.

II.4.- MUROS

En el diseño de los muros intervienen además de las consideraciones estructurales, otros aspectos. Los muros exteriores protegen a los edificios de la intemperie, los interiores definen los espacios destinados a diversos usos, deben de ser duraderos y estéticamente aceptables, contribuir a mantener un ambiente grato con un mínimo de energía, evitar la entrada de agua de lluvia, disponer de una razonable resistencia a los incendios y contar con suficiente aislamiento acústico; a veces es también necesario prever el espacio para alojar los ductos para distintos tipos de instalaciones.

Además de la realización de estas funciones, tanto los muros exteriores como los interiores se ven expuestos a cargas que deben ser capaces de soportar y transmitir a los cimientos adecuadamente. Los muros exteriores deben resistir las cargas verticales debido a su peso propio y al de los sistemas de piso y techo apoyados sobre ellos, así como los empujes y succiones del viento proporcionando además, la resistencia y rigidez requeridas para garantizar la estabilidad general del edificio. Los muros interiores, en algunos casos, también deben resistir fuerzas verticales y horizontales, aunque muchas veces sirven como muros divisorios y su función estructural se limita a la de soportar su peso propio.

Los muros se pueden construir según dos conceptos estructurales fundamentales:

- a) ***Los sistemas de entramados ligeros***
- b) ***Los sistemas pesados como los de poste y viga, postes hincados en el suelo ó marcos rígidos***

Los principales elementos que integran los muros de entramados ligeros son:

- a) El entramado propiamente dicho, formado por: elementos verticales (pies derechos) y elementos horizontales (soleras y separadores).
- b) Una cubierta estructural o forro construida a base de tableros de madera contrachapada, tableros de otros materiales ó duela, que se apoyan sobre el entramado.
- c) Recubrimientos aplicados a las caras exterior e interior de los muros.

- d) Materiales para la protección contra, la humedad (barrera impermeable) y para proporcionar aislamiento térmico y acústico.
- e) Duchos para instalaciones diversas.

En los sistemas pesados las cargas verticales procedentes de las vigas o armaduras de los techos y pisos, son transmitidos a los cimientos por medio de columnas o postes robustos espaciados a distancias considerablemente mayores que las usuales para los pies derechos de los entramados ligeros. En los espacios entre columnas se colocan pantallas ó paneles formados por tableros o duelas soportados por piezas horizontales que se apoyan sobre las columnas ó por piezas verticales semejantes a los pies derechos de los muros de entramados ligeros.

En general, la función de estas pantallas ó paneles es exclusivamente la de cerrar los espacios y se diseñan para resistir los empujes y succiones del viento. La resistencia requerida para garantizar la estabilidad general de la estructura, y para soportar las fuerzas horizontales es proporcionada por diafragmas verticales o por sistemas triangulados de arriostramiento convenientemente distribuidos; en algunas ocasiones, la resistencia a fuerzas horizontales se logra formando marcos rígidos con uniones continuas entre las vigas y columnas de la estructura. En la actualidad, los procedimientos predominantes en la construcción de muros para edificios de madera, son los basados en sistemas de entramados ligeros, debido a su sencillez constructiva, flexibilidad en el manejo del espacio, facilidad con que pueden realizarse adaptaciones y ampliaciones, el hecho de que se basan en el uso de piezas de dimensiones relativamente pequeñas fácilmente accesible en el mercado, y su posibilidad de adaptarse a los diversos grados de industrialización o prefabricación. Además en muchos casos los paneles para los muros de estructuras pesadas son similares a los de sistemas de entramados ligeros.

La función principal de un entramado de los muros, es la de transmitir a los cimientos las cargas de los pisos y techos, así como el peso propio de los diversos componentes del muro. Además proporcionan una base para la fijación ó clavado de la cubierta estructural y de los materiales de recubrimiento exteriores e interiores. Para evitar problemas de cambios dimensionales, es conveniente que el contenido de humedad de los miembros de los entramados no exceda del 19%.

II.4.1.- PIES DERECHOS, SOLERAS, ANCLAJES

Los pies derechos son piezas cuyas principales funciones estructurales son:

- a) Transmitir a la cimentación las cargas gravitacionales procedentes del techo y de los pisos intermedios, así como su peso propio.
- b) Soportar los efectos de empujes y succiones del viento que le son transmitidos por la cubierta estructural de los muros.
- c) Junto con las soleras y otras piezas horizontales, proporcionan un entramado al cual se clavan la cubierta estructural y los recubrimientos exteriores e interiores.

Generalmente la sección de los pies derechos de los muros exteriores es de 2 X 4 pulgadas, aunque, cuando se desea contar con espacio para la instalación de materiales aislantes u otros elementos se emplean pies derechos de 2 X 5 ó 12 X 6 pulgadas, colocándolos de tal manera que su dimensión mayor quede perpendicular al muro. En edificios de un piso y en los muros interiores que no son de carga se usan pies derechos de 2 X 3 pulg.

SOLERAS

Las soleras inferiores son piezas horizontales que sirven de base a los pies derechos. Generalmente las soleras tienen las mismas dimensiones que los pies derechos, sin embargo cuando estos se apoyan directamente sobre los largueros del entrepiso , el grosor de la solera se reduce a 1.90 cm. Las soleras deben de ser continuas salvo en aberturas para puertas.

Las soleras superiores son de las mismas dimensiones que los pies derechos y se colocan dobles, con el fin de proporcionar una resistencia adecuada y facilitar el amarre de los diversos componentes de los muros.

Para garantizar la seguridad y rigidez de los edificios de madera frente a las fuerzas horizontales de viento y sismo , es necesario que los muros sean capaces de resistir fuerzas en su plano, esto se consigue con tres tipos de arriostramiento:

- a).- Barras diagonales (riostras) alojadas en los entramados de los muros.
- b).- Tableros de resistencia y rigidez apropiadas como los de madera contrachapada adosados a los bastidores de los muros.
- c).- Entablados formados por duelas diagonales generalmente a 45 grados respecto a la horizontal elevados a los entramados de los muros.
- d).- Arriostramiento horizontal en intersecciones de muros.

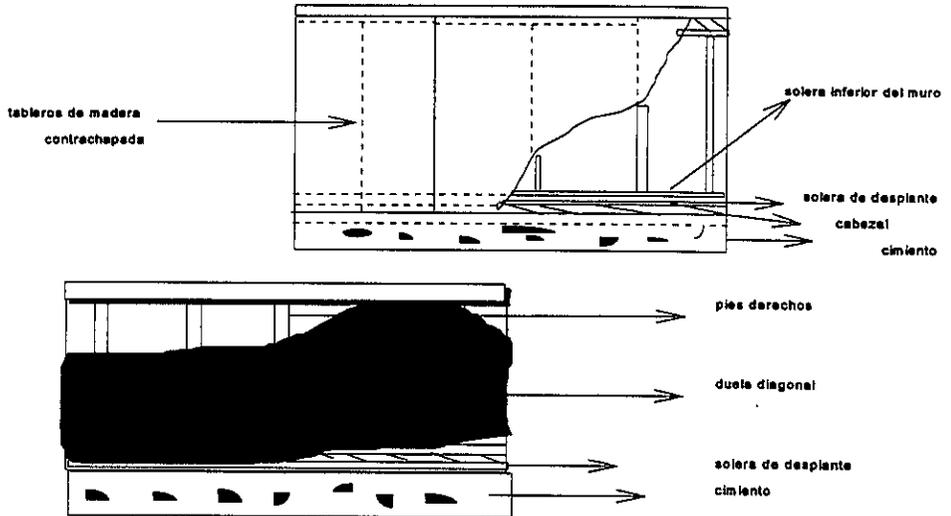


fig: materiales usados en arriostramientos.

En algunos casos bastan los materiales de recubrimiento interiores y/o exteriores para asegurar la estabilidad de la estructura. Actualmente se tiende a preferir el arriostramiento a base de tableros de madera contrachapada o similares, ya que existen dudas respecto a la eficacia de las riostras diagonales, cuya colocación requiere mas tiempo y mano de obra mas costosa que la de los tableros.

ANCLAJES

Una condición fundamental para garantizar la estabilidad de las estructuras de madera frente a las acciones horizontales es que los muros estén adecuadamente anclados a los cimientos; esto se logra de diversas maneras. Si la cubierta estructural es de tableros de madera contrachapada o de duelas diagonales, este puede extenderse hasta la solera de desplante, a la que se une por medio de clavos. La solera de desplante debe de estar bien anclada a la cimentación. Puede lograrse un anclaje eficaz a la solera de desplante por medio de placas de acero galvanizado de por lo menos 0.40 mm (5/32 pulg) de grosor, clavadas a los pies derechos y abrazando la solera de desplante.

II.5.- DUELA

Las duelas para cubiertas estructurales deben tener un grosor mínimo de 1.9 cm y anchos menores de 14 cm , con un máximo recomendable de 29 cm. Los tres tipos de duelas usuales son las de cantos escuadrados, traslapadas a media madera (cantos escalonados) y machihembradas. Las de cantos escalonados o machihembradas proporcionan una mayor protección contra la filtración de aire. Conviene que la madera con que se fabriquen las duelas sea fácil de trabajar y clavar , y que su contenido de humedad no exceda del 15 % para evitar separaciones excesivas de las duelas por contracción.

Las duelas pueden colocarse horizontal ò diagonalmente , aunque es mas usual que la instalación se haga en forma horizontal ya que la colocación es mas sencilla y rápida , además no se originan los desperdicios de madera propios de la colocación en diagonal por la necesidad de hacer cortes sesgados en los extremos. Otra ventaja de la colocación horizontal es que proporcionan una mejor base para el clavado de los materiales de recubrimiento que las duelas diagonales o la madera contrachapada . Sin embargo, cuando las duelas se disponen horizontalmente se reduce notablemente la resistencia y rigidez de los muros por lo que se requiere adicionalmente el uso de riostras diagonales o tableros de madera contrachapada en las esquinas.

La colocación diagonal de duelas es mucho mas rígida que cuando se usa horizontalmente y no requiere arriostramientos adicionales en las esquinas . Cuando se usan duelas diagonales debe procurarse que la distribución de las duelas en planta quede balanceada , es decir, que al existir fuerzas horizontales en una dirección las cargas sean soportadas por proporciones iguales de duelas a 45 grados y a 135 grados.

Las duelas horizontales se unen a cada pie derecho con clavos de 64 mm (2 ½ pulg) dos clavos para duelas con un ancho de 14 o 19 cm y tres clavos para anchos de 24 y 29 cm. El uso de tres clavos no aumenta la resistencia del sistema para soportar cargas horizontales ,pero evita el alabeo de las tablas. Cuando se usan duelas diagonales , es recomendable usar un clavo mas en la unión con cada pie derecho y tres clavos de 64 mm (2 1/2 pulg) en el apoyo de las duelas sobre los postes de esquinas. Las juntas en los extremos deben de estar desfasados una distancia igual a por lo menos , el doble de la separación entre los pies derechos y ocurrir sobre un pie derecho, a menos que tanto los extremos como los costados de las duelas estén machihembrados , procurando siempre que cada tramo de duela este apoyada por lo menos en dos pies derechos.

II.5.1.- MADERA CONTRACHAPADA Y OTROS TABLEROS ESTRUCTURALES

Las funciones de la cubierta estructural consiste en transmitir las presiones y succiones del viento a los pies derechos y soleras de los muros y , junto con estos elementos formar diafragmas verticales que actuando como muros de rigidez o de cortante resistan fuerzas en su plano. La madera contrachapada contribuye también a soportar las cargas verticales aumentando la rigidez de los pies derechos aunque en el diseño se considera únicamente como soporte continuo que los restringe para efectos de pandeo.

Los tableros de madera contrachapada con acabado aparente en una cara , pueden cumplir simultáneamente las funciones de cubierta estructural y las de recubrimiento exterior.

La madera contrachapada esta constituida por tres o mas hojas de chapa ò laminas unidas por una sustancia adhesiva y dispuestas de tal forma que las fibras de cada capa quedan perpendiculares respecto a las de capas contiguas . Para evitar alabeos por falta de simetría el numero de laminas generalmente es de tres ò cinco o sea es siempre impar , colocandose pares de hojas a los lados de una hoja central de tal manera que para cada lamina exista una opuesta , similar y paralelas.

Para especificar la calidad se considera la calidad de las caras exteriores que depende de los defectos de la superficie. Las calidades de las chapas se designan con las letras N, A, B, C, D, en orden descendente de calidad. La calidad de un triplay se designa especificando las calidades de laminas externas., en cuanto a su resistencia a la humedad, la madera contrachapada se clasifica en tres tipos:

- 1).-Triplay para uso interior , resistente a la humedad, con urea-formaldehído como adhesivo.
- 2).- Triplay para uso exterior , resistente al agua y a moderada exposición a la intemperie , fabricado con resinas fenólicas.
- 3).- Triplay marino , a prueba de agua y con gran resistencia a la intemperie.

El triplay utilizado en México para fines estructurales suele ser de madera de pino. Su aplicación mas común es en la construcción de cimbras , por la calidad de los acabados que se logran con el, la sencillez constructiva de los sistemas de cimbrado en que se emplea, la facilidad con que permite formar superficies curvas y su durabilidad.

La madera contrachapada ofrece un sinnúmero de posibilidades y ventajas para la construcción. Una de las razones por las que en México su uso esta restringido a aplicaciones no estructurales o estructuras de diseño empírico , como es el caso de las cimbras , es la falta de información

adecuada sobre las propiedades mecánicas del triplay disponible. Influye también la escasa experiencia de los proyectistas en el diseño de elementos estructurales de madera contrachapada.

MADERA LAMINADA ENCOLADA

Esta técnica consiste en formar elementos estructurales de grandes dimensiones uniendo piezas de madera relativamente pequeñas con algún adhesivo . Las vigas son la aplicación estructural mas importante de la madera laminada . Aunque la sección rectangular es la mas común , pueden fácilmente lograrse secciones I,T y otras . La fabricación de elementos de madera laminada requiere equipo especial , personal técnico calificado y una supervisión cuidadosa, además de que el diseño de estructuras laminadas es mas complejo que el de estructuras de madera maciza. Sin embargo, la madera laminada exhibe considerables ventajas que compensan los anteriores inconvenientes:

- a).- Permite el aprovechamiento de piezas pequeñas de madera de calidad inferior para formar elementos estructurales de grandes dimensiones.
- b).- Puede lograrse una gran variedad de formas.
- c).- Se puede lograr un aprovechamiento óptimo de la madera disponible ya que la madera de calidad mas resistente puede colocarse en aquellas partes del elemento donde los esfuerzos sean críticos , y la de calidad inferior , donde los esfuerzos sean menores.
- d).- La resistencia a incendios de estructuras con las piezas de grandes dimensiones que caracterizan a la madera laminada , es superior a la de construcciones a base de piezas pequeñas aisladas .
- e).- Una ventaja de especial interés es la posibilidad de admitir esfuerzos permisibles mayores que para elementos macizos hechos con madera de calidad semejante.

II.6.- PRINCIPALES CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE CIMBRAS

El sistema de cimbrado implica un conjunto de elementos perfectamente compatibles entre sí que al ser ensamblados, deben reunir los siguientes requisitos:

- a) Soportar y moldear el concreto en estado plástico.

- b) Contener toda la mezcla sin que haya escurrimientos o distorsiones causadas por las presiones del concreto, las cargas de construcción y las fuerzas externas.
- c) Proporcionar el número de usos que se pretende, conservando al mismo tiempo el estándar satisfactorio de exactitud y el acabado final.
- d) Separarse del concreto sin dañarse o sin causar daños al concreto recién colado.
- e) Tomar la geometría y el perfil requeridos, con una cantidad mínima de mano de obra posterior al colado para lograr acabado final especificado.
- f) Ofrecer la posibilidad de ser trabajado y manejado con el equipo y la mano de obra disponibles.

El diseñador debe respetar los criterios que rigen el funcionamiento de la estructura ya terminada, al igual que cumplir con los requisitos prácticos esenciales estipulados por los responsables de los rendimientos y estándares durante la construcción.

Dentro de los detalles preliminares que tenemos que tomar en cuenta durante el diseño de cimbras, están:

- Escala y proporción del trabajo.
- Política de la compañía respecto a las normas de construcción.
- Detalles de las especificaciones que gobiernan la obra: funcionamiento exactitud y acabado de la superficie.
- Aspectos económicos.
- Disponibilidad de la mano de obra y preparativos de supervisión.
- Evaluación de la habilidad del ingeniero y el arquitecto.

En cierto modo, el diseñador de la cimbra actúa como coordinador, ya que es él quien recibe la información y datos, los que aunados a las diversas ideas y puntos de vista que también les son comunicados. Cambiando todo ello con su entrenamiento y experiencia, debe dar como resultado el diseño adecuado de la cimbra.

Las fechas para la emisión de los planos de detalle, los programas de abastecimiento del acero y cualquier otro tipo de programa deben de fijarse de común acuerdo con las autoridades. Para ello,

el diseñador de la cimbra debe estudiar perfectamente los detalles de ingeniería estructural y los planos de ingeniería civil.

Durante el trabajo preliminar, el diseñador de cimbras debe tener cuidado de interpretar correctamente las cláusulas de las especificaciones de ingeniería relacionadas con los alineamientos y niveles de construcción al igual que los detalles de construcción importantes. No obstante, los diseñadores de estructuras saben que, a excepción de algunos puntos críticos de la estructura o cuando el aspecto visual es importante, tanto, el alineamiento como la nivelación, y la verticalidad, pueden ser difíciles de lograr. Aún cuando las diferencias son normalmente tolerables, a veces pueden surgir malentendidos en el lugar de la obra cuando el residente, o el maestro de obra interpretan de manera diferente algún detalle especificado en el contrato. Durante el proceso de revisión, el diseñador de la cimbra debe de establecer una buena relación de trabajo, con el proyectista contratado por los ingenieros civiles y estructurales.

Durante las etapas preliminares, el diseñador de la cimbra debe ponerse en contacto con el especialista en concreto con objeto de hacer una evaluación durante el proceso de construcción. Entre los temas a tratar deben incluirse: acabados de superficie, colocación y compactación del concreto, trabajabilidad, aditivos, tiempo de fraguado, velocidad de adquisición de resistencia y apariencia final del concreto en la estructura.

II.6.1.- PRINCIPALES FACTORES DE DISEÑO

El proceso de diseño se desarrolla de acuerdo con una evaluación sistemática de lo siguiente:

- i) Perfil y cantidad de la cimbra
- ii) Mano de obra
- iii) Instalaciones y equipos
- iv) Materiales
- v) Adaptaciones y auxiliares

En el perfil y cantidad de la cimbra el diseñador debe tener ya un buen conocimiento de toda la estructura, de manera que junto con los detalles respecto a la altura de los colados, dimensiones los claros y posición de las juntas de construcción, se puedan seleccionar los materiales adecuados para los revestimientos y acabados, así como determinar los pasos preliminares en cuanto apoyos, manejo y operación de la cimbra.

Dentro de las consideraciones para la mano de obra, el diseño de un sistema de cimbrado puede verse seriamente afectado por la calidad y disponibilidad de esta, al igual que por la experiencia de los trabajadores; la cimbra debe diseñarse en función de la capacidad y habilidad de la mano de obra aprovechables, pues esto repercute en la selección tanto de materiales como de instalaciones y equipo al momento de decidir la cantidad de cimbra que debe proveerse.

Por otro lado, gran parte del diseño de la cimbra depende de las instalaciones y equipos de que se disponga en la obra, los cuales deben ser estudiados por el diseñador con mucha atención pues dichas instalaciones y equipos están relacionados con las exigencias del contrato.

Algunas veces es necesario contar en la obra con una grúa viajera para efectuar las operaciones normales de construcción de edificios, las cimbras pueden constituir la mayor carga unitaria, que va a ser manejada, de modo que la capacidad de la grúa estará en relación con el peso de la sección transversal del muro o del alcance necesario para la extracción de un tablero de determinado lugar, por lo general, en los trabajos de construcción es necesario complementar los grandes equipos de izamiento con otros, tales como malacates, bombas, montacargas y elevadores para que las operaciones normales de colocación del concreto puedan continuar sin interrupción conforme al programa principal de construcción.

Muchos proyectos se ejecutan a base de la conocida "cimbra tradicional" , es decir de madera y triplay, fabricada o ensamblada en la obra. Durante las primeras etapas de la construcción se pueden obtener bastantes usos y lograr acabados aceptables. Sin embargo, la calidad de los acabados y exactitud , decaen a menos que se usen refuerzos adicionales o sujetadores especiales patentados en los marcos de los moldes, para evitar que estos se deformen y deterioren por el uso y el intemperismo.

Existen algunos proveedores que suministran el equipo auxiliar requerido en la construcción. Por ejemplo, vibradores internos y externos, llanas para vibración, equipo para tratamiento al vacío del concreto recién colado, productos para acelerar el fraguado, etc.

II.6.2.- CANTIDAD DE MATERIAL PARA LA CIMBRA

Una de las decisiones más importantes que se tienen que tomar al momento de diseñar una cimbra, es la de definir la cantidad de material requerido para un proyecto determinado. La cantidad de cimbra suministrada tal vez represente sólo una pequeña parte del área de la superficie de

concreto, aún cuando a veces se intenta minimizar todavía más la cantidad de cimbra necesaria. Esto puede reducir la viabilidad de la construcción total debido a demandas simultáneas y excesivas de cierta mano de obra o a la interrupción en la continuidad de los trabajos en algunas otras actividades que depende de la cimbra para lograr una labor continua y productiva. Al diseñar la cimbra se debe prever que el trabajo sea continuo y siempre que sea posible, proporcionar suficiente material para cimbra con el fin de satisfacer las demandas de los técnicos de las instalaciones mecánicas y eléctricas, calefacción, ventilación y aire acondicionado. El material para soporte y reapuntalamiento debe cumplir con las especificaciones establecidas en función de la resistencia que vaya adquiriendo el concreto y su capacidad para soportar las cargas vivas y muertas consideradas como aceptables para el ingeniero. Hay sistemas de cimbrado para losas y vigas que permiten remover el forro inferior sin quitar los soportes o puntales importantes del sistema, facilitando que el material se pueda usar repetidas veces de esta manera se logran grandes economías tanto de material como de equipo para este tipo de colados.

Los costos de los materiales deben ser comparados con los de la mano de obra, requerida para su recuperación de cimbrado y uso posterior, con objeto de lograr un equilibrio entre ambos.

Dentro de las cantidades de cimbra que se requieren cuando se utilizan diversas técnicas de construcción cíclica, como por ejemplo en columnas las cuales pueden y deben ser colocadas diariamente, el número previsto de moldes simples para columna debe estar coordinado con el método de construcción de vigas y losas, ya que no tiene objeto dar por anticipado una cantidad excesiva de columnas.

En los muros de carga para losas perimetrales, la cantidad de cimbra está basada en el módulo tipo, ya que sea para oficinas o vivienda y depende de la forma final de la estructura. Por lo general, los muros se construyen en ciclos diarios y la cantidad de cimbra necesaria tiene que cumplir con este requisito.

Para pisos y losas estructurales de concreto reforzado es práctica normal colocar un tablero completo para el colado de una losa de piso o asignar una superficie suficiente para el lecho de un elemento, lo que permite dar continuidad al montaje mediante la utilización del material de cimbra que se va retirando del concreto previamente colado.

En los muros de contención es difícil determinar la cantidad de cimbra que debe de preverse para ellos, como es natural, los carpinteros no pueden empezar a trabajar sino hasta que haya espacio disponible y como la construcción de la cimbra y del apuntalamiento son actividades

particularmente interdependientes, el montaje debe coordinarse con las operaciones de remoción e inserción de apuntalamientos. cuando se requieren muros de contención muy largos para diques u obras portuarias o cuando se necesitan muros continuos como estructuras de contención y obras de defensa de oleaje, las operaciones de cimbrado son mucho mas predecibles y se pueden planear, programar y diseñar con anticipación. Cuando se usan cimbras de madera o formas compuestas, es normal emplear dos o tres moldes típicos para mantener el ciclo diario de trabajo el cual también puede cumplirse mediante el uso de formas especiales patentadas y de grúas viajeras para su manejo.

Para claros con un colado de altura considerable se recomienda el uso de cimbras de la misma altura manejadas por medio de grúas, sin embargo cuando el apuntalamiento debe ser retirado dentro de una secuencia de trabajo, entonces será necesario usar moldes de menor altura. Cuando se usan cimbras móviles, y no se requiere de grúas, es mas económico utilizar cimbras de toda la altura.

Las juntas colado determinadas mediante el análisis de ciertos factores ocasionan costos de un hasta 40% del costo total de la cimbra, por lo que es necesario prever cuidadosamente su localización en especial cuando se trata de estructuras como cimentaciones flotantes o construcciones con vigas que soportan cargas muy pesadas. Debe reducirse al mínimo el número de juntas de colado, sobre todo cuando se tiene que cortar la cimbra alrededor del acero de refuerzo continuo.

Los altos costos incurridos para el cimbrado y el descimbrado así como la posibilidad de no contar con mano de obra eficiente a menudo influye en el constructor, quien trata de colar los mayores volúmenes que le permita el ingeniero.

ECONOMIA DE LOS MATERIALES

Cuando se usan materiales inadecuados para la construcción de la cimbra, ya que se carezca de un control correcto de los pedidos de materiales o que haya retraso en la devolución de equipos patentados, esto puede ocasionar gastos superfluos que tienen u efecto adverso sobre el costo de la cimbra.

CONTROL FINANCIERO

Es indispensable contar con la suficiente información financiera para el control adecuado de las actividades que requieren de gran cantidad de mano de obra, por lo que se debe conocer la siguiente información:

- 1) Número de trabajos. Número de horas trabajados por los operarios de la cimbra.
- 2) Eficiencia al tomar las medidas correctas de la cimbra para muros, columnas, cubiertas, vigas y escaleras (incluyendo el tiempo de cimbrado y descimbrado).
- 3) Demoras por causa de otros trabajadores.
- 4) Pagos extras por algunos programas de incentivos o bonos.
- 5) Costo de alquiler semanal de instalaciones y equipos.
- 6) Pagos por partidas a subcontratistas.
- 7) Reclamaciones por trabajos defectuosos.

II.6.3.- DETALLES DE LA CIMBRA

Los detalles elaborados por el diseñador de la cimbra se clasifican dentro de las siguientes categorías:

- 1) Planos que muestran los métodos propuestos para discusión.
- 2) Planos generales de montaje con los métodos aprobados.
- 3) Detalles de paneles individuales enfocados a la fabricación y construcción de la cimbra.

Los planos de las dos primeras categorías sirven para las discusiones tanto con el personal del contratista como con las autoridades involucradas en un proyecto particular. Dado el reciente énfasis en la calidad la apariencia de la superficie no es extraño que se pidan copias de los planos del arreglo de la cimbra. A su vez, el ingeniero podría estar autorizado por el contrato para inspeccionar todos los planos de la cimbra, al igual que los trabajos temporales.

Los planos comprendidos en la tercera categoría se relacionan parcialmente con la construcción de la cimbra y pueden usarse en la obra, en el taller del subcontratista, o en el proveedor y son además los que se utilizan para la construcción real de la cimbra.

EMPLEO DE LAS GRAFICAS

1.- Con base en la gráfica de presión del concreto incluidas al final de este capítulo y valiéndose de la fig. 6.1, encontrar la presión ejercida sobre la cimbra, haciendo los ajustes necesarios para cimbras inclinadas.

2.- De acuerdo con la experiencia, seleccionar el espesor del triplay, o bien comenzar con 18 mm. Utilizando la figura 6.3 encontrar el claro L; éste será el espaciamiento para los largueros. Como alternativa se pueden emplear tablas, cuyos claros deben encontrarse empleando las figuras 6.4, 6.5, 6.6, 6.7 ó 6.8.

3.- Calcular la carga distribuida sobre el larguero [presión del concreto (KN/M²) por claro del triplay (m) y seleccione la distancia entre apoyos (claro) para obtener un tamaño conveniente de los largueros (utilizar las figuras 6.4, 6.5, 6.6, 6.7 ó 6.8).

4.- Calcular las cargas sobre las mdrinas { presión del concreto KN/m²} por claro de larguero (m). Y redúzcala a la mitad para encontrar el tamaño cuando se usa un par de maderas para formar la pieza. El claro escogido debe encontrarse generalmente entre 1 y 1.5 veces el valor del claro del larguero horizontal.

5.- El espaciamiento del tirante separador será el claro de la mdrina en una dirección, y el larguero horizontal en la otra. La carga del tirante (KN)será la presión del concreto (KN/m²) por la separación del larguero horizontal (m) por la separación de la mdrina vertical.

6.- Verifique las presiones de apoyo bajo las rondanas y entre los largueros.

7.- Seleccione los contravientos necesarios para resistir las fuerzas del viento, mantener la correcta alineación de la cimbra y soportar las fuerzas de manejo y descimbrado.

8.- Repita los pasos anteriores de diseño empleando diferentes medidas y seleccionando lo más económicos. Los valores indicados solo sirven de guía;; las dimensiones mayores obviamente serán más baratas por m³ que las más pequeñas.

Cuando la madera está expuesta a compresión pura (puntales, pies derechos, postes, etc.), debe tenerse en consideración la relación de esbeltez de la pieza, a fin de evitar una posible falla por flameo. Si la cimbra se halla en contacto directo con el concreto, se estima que puede utilizarse

cuatro a seis ocasiones. Cuando no existe ese contacto, como puntales, pies derechos, vigas mdrinas, postes, contraventeos, etc., se considera que puede usarse de diez a doce veces aproximadamente.

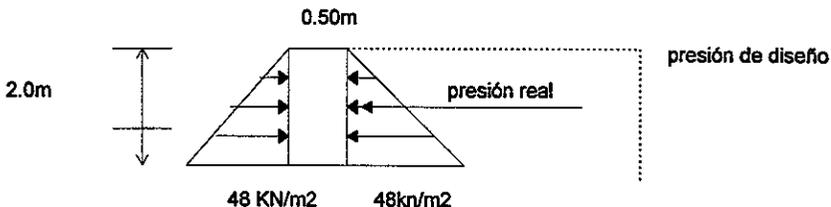
Utilizando las gráficas que se mencionaron anteriormente, desarrollar los siguientes ejemplos :

1.- Escoger la cimbra para muro vertical en lugar sin viento de 50cm de espesor y 2m de alto, con una densidad del concreto de 2400 kg/m³ y un revestimiento S=5cm y una temperatura de colocación de 15°C para llenarse uniformemente en una hora.

SOLUCIÓN:

Partiendo de la gráfica de presión del concreto (apéndice 1), la presión máxima debe ser el menor de:

a) Presión hidrostática = altura de vaciado x 24
 $= 2 \times 2400$
 $= 4800 \text{ KG/m}^3 \text{ (48KN m}^3 \text{)}^* \quad * \text{ KN/M}=0.0102 \text{ KG/cm}^2$



b) Efecto del arco:

Velocidad de colocación = altura de vaciado/ tiempo de llenado
 $= 2/1$
 $= 2 \text{ m/h}$

De la gráfica (apéndice 1), la velocidad de colocación de 2 m/h cruza la línea de espesor d = 1 línea de 5cm a 71 KN/m².

c) Endurecimiento:

Partiendo de la gráfica (apéndice 1), la velocidad de colocación de 2m/h cruza la línea de los 15°C y S= a una línea de 5cm a 57 kN/m².

De estos tres puntos el más bajo es de 48 kN/m².

Como está es la presión que desarrolla el concreto en estado líquido aumenta en forma uniforme desde cero en la superficie a 48 kN/m² a una profundidad de 2m. Pero normal mente no resulta económico diseñar para una presión más baja cerca de la parte superior de la cimbra, de todo que se considera una presión general de diseño de 48 kN/m² en toda la cimbra.

Si observamos la figura 6.3., para un triplay de 18mm nos da un claro de 30 cm para una carga de 48 kN/m².

Carga del larguero = presión del concreto X claro del triplay

$$= 48 * 0.300$$

$$= 14.4 \text{ KN/m}^2$$

De la fig. 6.5, seleccionamos los larguero horizontales de 5 X 10 cm de madera blanca (abeto europeo), grado SS, Para un claro de 0.430m.

La mitad de la carga sobre la madrina vertical = presión del concreto X claro de larguero horizontal/2

$$= 48 X 0.430/2$$

$$= 10.3 \text{ KN/m}^2$$

La figura 6.5 indica que se escogen maderas verticales de 5 X 10cm de madera blanca (abeto europeo). Grado SS, para un claro de 0.60m.

Carga tirante = presión del concreto X claro del larguero horizontal X claro de la madrina vertical

$$= 48 X 0.430 X 0.60$$

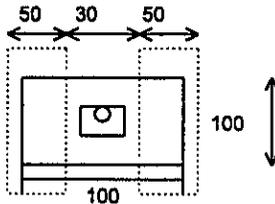
$$= 12.4 \text{ KN}$$

Area del soporte que se requiere debajo de la rondana = Carga del tirante X la conversión de KN a N entre la resistencia a la presión de la madera (tabla 6.2).

$$= 12.4 X 1000 = 667 \text{ mm}^2$$

1.86

Las rondanas de 100 por lado darán esta área, a condición de que las maderas verticales no tengan una separación mayor de 33mm y que las rondanas se coloquen en ángulo recto a las maderas verticales.



$$\begin{aligned} \text{Area entre rondana y madera} &= (100 - 33) \times 100 \\ &= 67 \times 100 = 6700 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Esfuerzo de compresión entre larguero horizontal y madrina vertical} \\ &= \frac{\text{carga sobre la mitad del claro del larguero horizontal} \times \text{KN a N}}{\text{ancho del larguero horizontal} \times \text{ancho de la madrina vertical}} \\ &= \frac{1}{2} \frac{(14.4 \times 0.430 \times 1000)}{50 \times 50} = 1.24 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Por lo tanto: **1.24 N/mm² es menor a 1.86 N/m² por lo que es permitido**

EJEMPLO 2

Diseñar una cimbra de madera y triplay con un módulo de 2.44 X 1.22m para las caras superiores e inferiores de un muro de 7m de altura y 40 cm de espesor, con una inclinación de 30° de la vertical a una elevación de 100m arriba del piso. El concreto tiene un revenimiento de 10cm y una densidad de 2,400 KG/m³ con una temperatura de colación de 20°C. Tiempo de llenado: tres horas.

SOLUCIÓN:

Velocidad de colación = altura

$$\text{tiempo de llenado} = T = 2 \frac{1}{3} \text{ m/h}$$

De la gráfica del apéndice 1., la presión del concreto sobre la superficie superior de la cimbra debe ser menor de:

a) **Presión hidrostática** = densidad del concreto X kg a N X altura de vaciado

N a KN

$$= 2400 \text{ kg/m}^3 \times 7\text{m} = 16800 \text{ kg/m}^2$$

$$= 168 \text{ KN/m}^2$$

b) **Efecto de arco** (se toma de la gráfica)

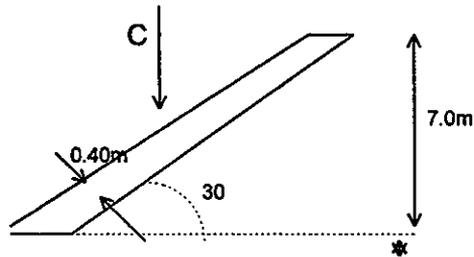
$$\text{Presión} = 62 \text{ KN/m}^2$$

c) **Endurecimiento** (Tomado de la gráfica)

$$\text{Presión} = 69 \text{ KN/m}^2$$

La presión del concreto es de 62 KN/m²

La presión del viento, tomada de la fig 6.1 es de 1 kn/m²



La carga resultante debida al peso muerto del concreto y resulta en ángulos rectos a la cara inferior

= Densidad del concreto X volumen en 1m² de cimbra X kg a N X sen 30°

N a KN

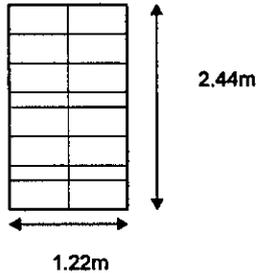
$$= \frac{2400 \times 1 \times 10 \times 0.40 \times \text{SEN } 30^\circ}{1000} = 4.80 \text{ ES DECIR } 5 \text{ KN/M}^2$$

1000

Por lo tanto, la presión sobre la superficie inferior será:

$$= 62 + 1 + 5 = 68 \text{ KN/m}^2$$

De la fig. 6.3 esta presión se toma de un triplay de 18mm sobre un claro de 27.1 cm, el cual da 9 espaciamientos que conforman el módulo de 2.44mm



Las cargas sobre los largueros serán:

$$= 68 \times 0.271 = 18.5 \text{ KN/m}$$

De acuerdo con la fig. 6.6, debe elegirse un larguero de madera Hemlock de 5 X 12.4cm, grado M75, para un claro de 0.610m, el cual da dos espaciamientos que conforman el módulo de 1.22m

Media carga de la madrina vertical:

$$= \frac{18.5 \times 0.610 \times 1000}{2 \times 50 \times 38} = 2.97 \text{ N/mm}^2$$

La resistencia promedio a la compresión perpendicular a la fibra tomada de la tabla 6.2 es de 2.60 N/mm², valor que al ser multiplicado por un factor de modificación de 1.33 tomado de la tabla 6.3, da un esfuerzo permisible de 3.46 N/mm²

Carga del tirante = Presión del concreto en superficie superior X claro del larguero horizontal X claro de madrina vertical.
 $= 62 \times 0.610 \times 0.813 = 30.8 \text{ KN}$

El tramo de apoyo abajo de la rondana para soportar la carga del tirante sobre las maderas verticales Kerving con un esfuerzo de 5.40 N/mm²

$$= \frac{30.8 \times 1000}{5.4 \times (38+38)} = 75 \text{ mm}$$

Por tanto, bastarán unas rondanas cuadradas de 100mm².

Para la superficie superior, el claro del triplay de 18mm podría aumentarse a 27.8cm para soportar la carga reducido de 62KN/m² pero debe mantenerse en 27.1cm para simplificar la construcción y dar 9 espaciamientos con una distancia modular de 2.44m.

$$\text{Carga del larguero horizontal} = 62 \times 0.271 = 16.8 \text{ KN/m}$$

Esta carga tiene que ser distribuida sobre un claro de 0.610m exigido por el espaciamiento del tirante. Según la fig. 6.6, esta carga puede ser soportada por un elemento de 3.8 X 15cm de madera de Hemlock, grado M75, pero sin abarcar una relación de espesor / ancho mayor de 3 (considerada demasiado inestable) y el seguimiento tamaño apropiado es de 5 X 12.5cm que es igual a la cara inferior.

$$\text{Media carga del larguero} = \frac{1}{2} \times 62 \times 0.610 = 18.9 \text{ KN/m}$$

Esto requiere todavía de 2 yugos verticales de 3.8 X 15 cm como en la cara inferior.

Verificando el peso de cada elemento para revisar la capacidad a carga de viento de las cimbras vacías. Peso de 1m² por ambas caras.

$$= 2 \times (\text{peso del triplay} + \text{peso de largueros} + \text{peso de madrinas})$$

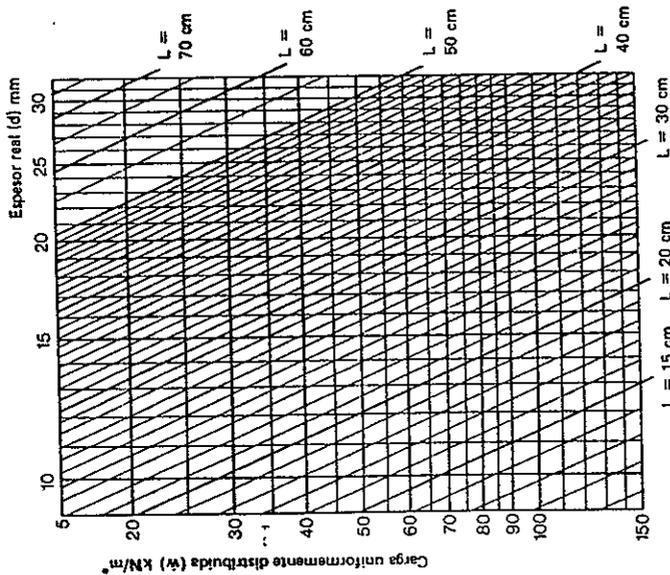
$$= 2 \times (600 + 0.018 + \frac{530 \times 0.050 \times 0.125}{0.271} + \frac{720 \times 2 \times 0.038 \times 0.150}{0.610})$$

$$= 2(10.8 + 12.2 + 13.5) = 73 \text{ KG/m}^2$$

El componente de este peso actuando en ángulo recto a la cara

$$= 73 \times \frac{10}{1000} \times \text{sen}30^\circ = 0.36 \text{ KN/M}^2$$

Es inadecuado para resistir con su propio peso la presión ascendente del viento. Por lo tanto, la obra falsa que soporta a esta cimbra tendrá que sostenerla cuando esté vacía, así como resistir el peso muerto de la cimbra más el del concreto más el del viento en dirección opuesta.



Deflexión = $\frac{3 \times L}{1000} = \frac{12 \times w \times L^4}{185 \times 1000 \times E d^3}$

Si E = 5000 N/mm², w = 231250 $\frac{d^3}{L^3}$ kN/m²

* kN/m = 100 kg/m

Distancia en dirección de la superficie de la fibra (L) cm fija en un extremo y simplemente apoyada en el otro

Se puede incrementar la carga en un 30% si la madera está seca (10% humedad). Triplay (E = 6500 N/mm²)

Figura 6.3. Gráfica de cargas permisibles para triplay saturado

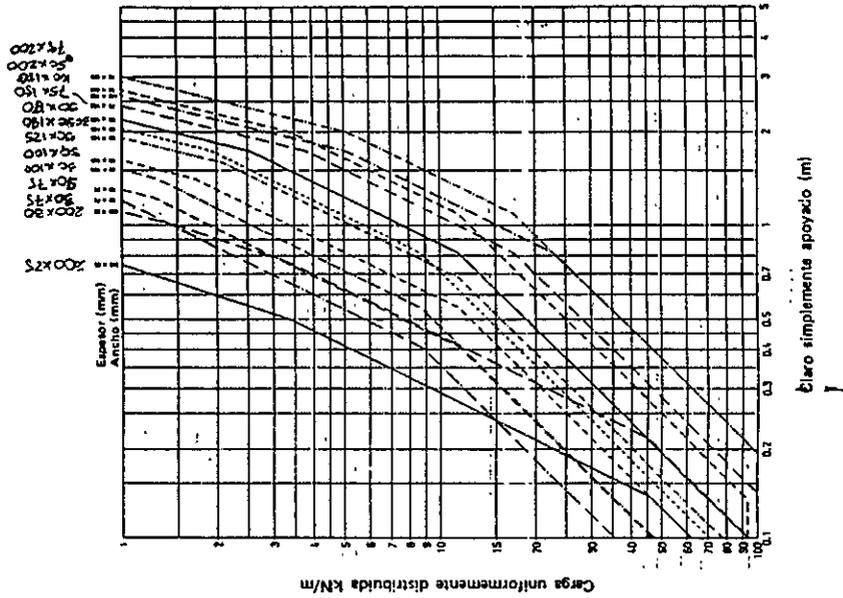


Figura 6.4. Gráfica de carga permisible para vigas rectangulares, grado de humedad GS, madera clase S2

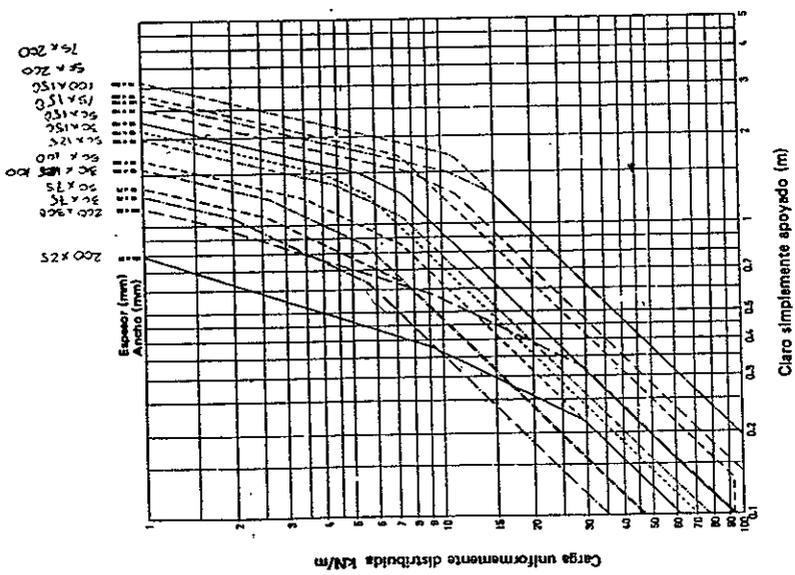


Figura 6.5: Gráfica de carga permisible para vigas rectangulares de grado de humedad S.S. Madera blanca (Abeto europeo)

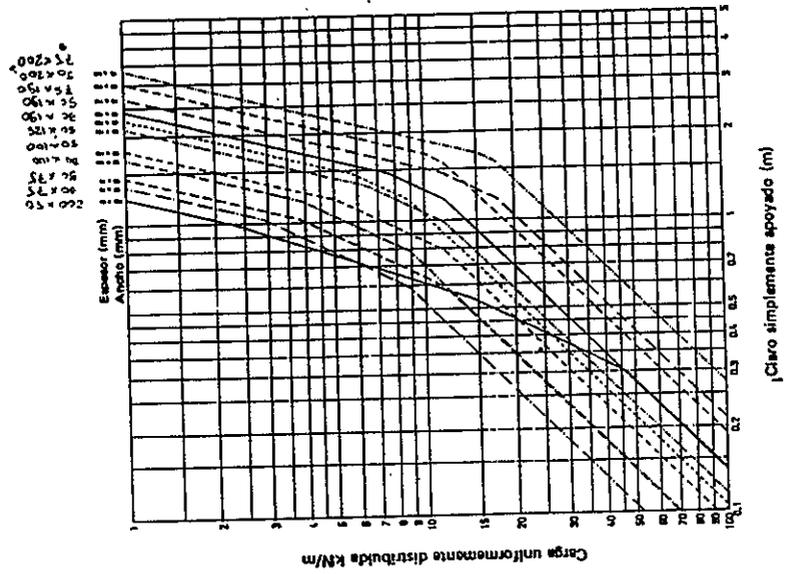


Figura 6.6: Gráfica de carga permisible para vigas rectangulares de grado de humedad M 75. Pineda (madera comestible del Oeste de los Estados Unidos)

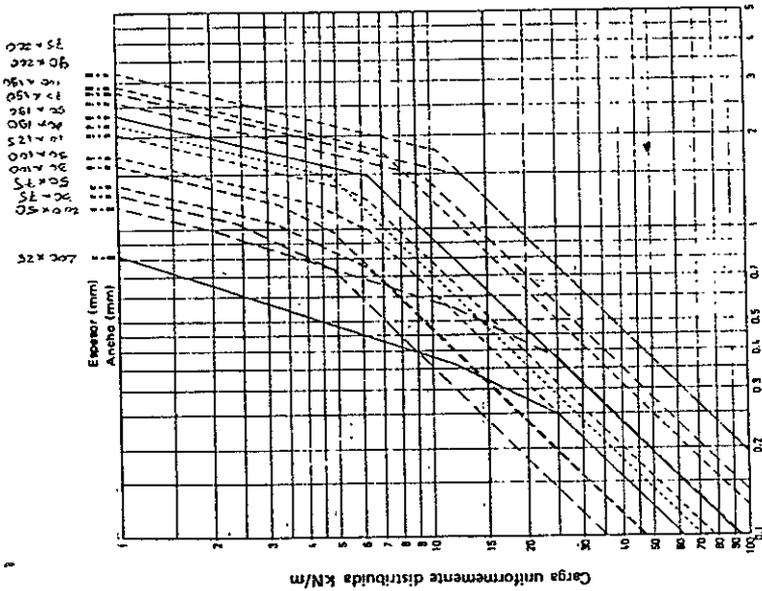
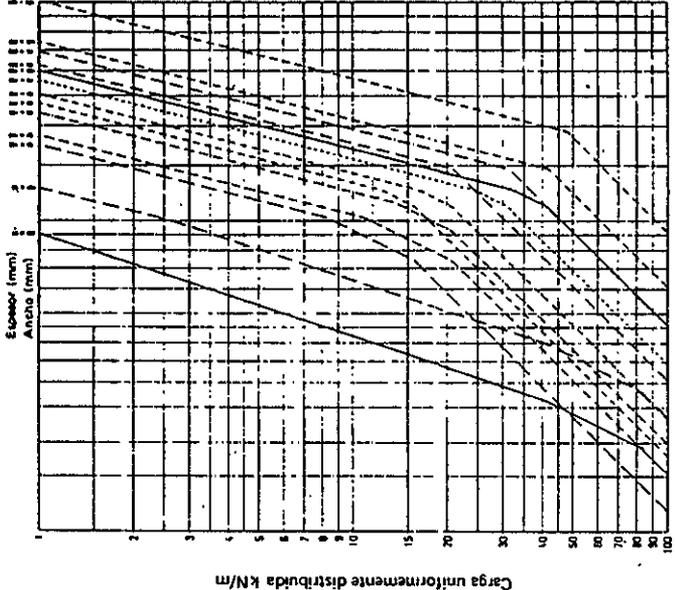


Figura 6.7: Gráficas de carga permisible para vigas rectangulares de grado de humedad 55, madera especie ST



• k N/m = 100 Kg/m

Figura 6.8: Gráficas de carga permisible para vigas rectangulares de grado de humedad 75 Guajun/Keving

CAPITULO III

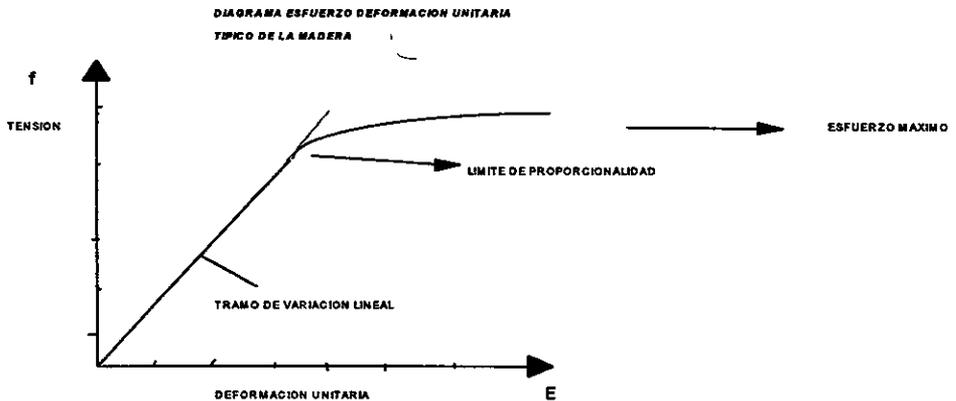
COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA MADERA

CAPÍTULO III : COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA MADERA ANTE LA PRESENCIA DE DIVERSAS CONDICIONES DE CARGA.

La madera como ya se ha estado analizando, es un material complejo y variable ya que procede de los árboles cuyas características de resistencia así como su estructura , forma y rapidez de crecimiento son función de las condiciones particulares del clima y del suelo . Su comportamiento ante las distintas acciones o fuerzas a las que puede estar sometida cuando se utiliza como material estructural depende de su estructura y composición.

La estructura peculiar de la madera explica su naturaleza heterogénea y anisotrópica . Las características físicas de la madera varían de un punto a otro de un mismo árbol, y sus características resistentes varían según la dirección considerada. La madera puede idealizarse como un material ortotrópico en el que se distinguen tres direcciones mecánicas o estructurales , perpendiculares entre sí, que coinciden como ya vimos , con las direcciones longitudinal, radial o tangencial del árbol, por lo que es necesario considerar tres juegos de propiedades mecánicas , una por cada eje.

Las relaciones esfuerzo - deformación de la madera son muy variables según la especie , el tipo de acción , la forma en que se hace el ensayo , las características de crecimiento y otros factores. En general , cualquiera que sea el tipo de esfuerzo , la forma de la gráfica esfuerzo - deformación correspondiente es semejante a la siguiente gráfica:



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

Los procedimientos utilizados para obtener información sobre el comportamiento mecánico y la resistencia de la madera se apoyan en dos enfoques básicos .

El primero de ellos es que se pretende eliminar la influencia que pueda tener en el comportamiento de la madera la presencia de irregularidades como son nudos y rajaduras . Para ello , la prueba para determinar la resistencia a diversas acciones se realizan sobre probetas pequeñas que no tengan nudos ni rajaduras y con las fibras rectas y paralelas a los lados . las pruebas deben hacerse en condiciones estándar de temperatura , contenido de humedad y duración de la carga.

Los reglamentos suelen establecer los esfuerzos permisibles de diseño con base en los resultados de pruebas de probetas limpias. Sin embargo, podría objetarse que la información obtenida por este procedimiento es de utilidad limitada puesto que los resultados no reflejan la influencia de características como los nudos, la inclinación de las fibras y las rajaduras. De estas consideraciones nace el otro enfoque , que es posible utilizar para estudiar las propiedades resistentes de la madera y que consiste en ensayar a escala natural piezas estructurales sometidas a distintas condiciones de carga . Evidentemente este tipo de pruebas proporciona información más completa que la que resulta del ensaye de probetas pequeñas , puesto que se tiene en cuenta en forma directa la influencia de los defectos e irregularidades propias de la madera en la forma en la que esta se utiliza en aplicaciones estructurales.

III.2.- COMPORTAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS RESISTENTES DE LA MADERA ANTE DIVERSAS ACCIONES MECÁNICAS

III.2.1.- ESFUERZOS DE TRABAJO PARA LA MADERA ESTRUCTURAL

Al determinar los esfuerzos de trabajo de la madera, hay que considerar muchos factores , mediante pruebas hechas por el departamento de Agricultura en los Estados Unidos en materiales libres de todo defecto se ha obtenido un tabulador conocido con el nombre de esfuerzos básicos. Para obtener esfuerzos de trabajo , los esfuerzos básicos se reducen por medio de factores que toman en cuenta la pérdida de resistencia por defectos , tamaño y posición de los nudos , inclinación del hilo, tamaño del miembro, su densidad, condiciones de exposición y magnitud de grietas radiales y circulares.

Los esfuerzos o grados estructurales se describen en las reglas para clasificar maderas de las diferentes asociaciones del ramo y pueden obtenerse solicitándolas a las asociaciones respectivas.

El diseñador de madera estructural naturalmente debe satisfacer los requisitos y esfuerzos de trabajo establecidos en el reglamento local de construcción. En la siguiente tabla (A) se presenta una parte de la tabla de esfuerzos de trabajo para madera clasificada de acuerdo con la National Lumber Manufacturers Association, donde los esfuerzos de trabajo que aparecen en esta tabla se pueden usar

CAPITULO III : COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA MADERA

como datos generales para diseñar con éxito estructuras de madera y se refieren a condiciones de carga normales.

Las pruebas de resistencia de las diferentes especies de madera se hacen comúnmente con probetas de 2x2 plg de sección transversal. En los proyectos de madera estructural los esfuerzos de trabajo que se requieren como datos son los de la fibra de los extremos en flexión y tensión paralela a la veta , el cortante horizontal ,la compresión paralela a la veta , la compresión perpendicular a la veta y el módulo de elasticidad, estos valores se encuentran en la siguiente tabla.

Especie y grado comercial	ESFUERZOS UNITARIOS PERMISIBLES (lb / in 2)					módulo de elasticidad
	fibra en los extremos a la flexión	esfuerzo cortante horizontal , H	compresión perpendicular a la veta , c	compresión paralela a la c		
		f y tensión paralela a la veta t				
GRANDES DEL NOROCCIDENTE						
GRADO 1700 F	VYT Y VYL	1700	143	360	1,423	1,320,000
GRADO 1300 F	VYT Y VYL	1300	120	360	1,123	1,320,000
GRADO 1450 C	PYM	-	-	360	1,450	1,320,000
GRADO 1200 C	PYM	-	-	360	1,200	1,320,000
ALTA MONTAÑA						
ESTRUCTURAL DENSA, SELECTA	VYT	2000	120	453	1,650	1,760,000
ESTRUCTURAL SELECTA	VYT	1900	120	415	1,500	1,760,000
CONSTRUCCIÓN, DENSA	VYT	1750	120	483	1,400	1,760,000
CONSTRUCCIÓN	VYT	1500	120	390	1,200	1,760,000
ESTANDAR	VYT	1200	85	360	1,000	1,760,000
ESTRUCTURAL DENSA, SELECTA	VYL	2050	120	453	1,500	1,760,000
ESTRUCTURAL SELECTA	VYL	1900	120	415	1,400	1,760,000
CONSTRUCCIÓN DENSA	VYL	1750	120	453	1,200	1,760,000
CONSTRUCCIÓN	VYL	1500	120	390	1,000	1,760,000
ESTRUCTURAL DENSA, SELECTA	PYM	1900	120	453	1,650	1,760,000
ESTRUCTURAL SELECTA	PYM	1750	120	415	1,500	1,760,000
CONSTRUCCIÓN DENSA	PYM	1500	120	453	1,400	1,760,000
CONSTRUCCIÓN	PYM	1200	120	390	1,200	1,760,000
ALTA MONTAÑA DEL ESTE						
ESTRUCTURAL SELECTA	VYT - VYL	1300	85	360	650	1,210,000
ESTRUCTURAL ESCOGIDA	VYT	1200	80	360	775	1,210,000
ESTRUCTURAL COMAN	VYT	1100	80	360	650	1,210,000
ESTRUC P/USO GRAL	VYT	950	80	360	600	1,210,000
ESTRUCTURAL SELECTA	PYM	-	-	360	650	1,210,000
GRANDES DEL SURESTE						
ESTRUCTURAL DENSA 96	3"Y 4" GRUESO	2900	150	453	2,200	1,760,000
ESTRUCTURAL DENSA 72	3"Y 4" GRUESO	2350	135	453	1,500	1,760,000
ESTRUCTURAL DENSA 65	3"Y 4" GRUESO	2050	120	453	1,600	1,760,000
ESTRUCTURAL DENSA 56	3"Y 4" GRUESO	1750	105	453	1,450	1,760,000
No. 1 DENSA CR	3"Y 4" GRUESO	1750	120	453	1,750	1,760,000
No. 2 DENSA CR	3"Y 4" GRUESO	1500	120	390	1,500	1,760,000
No. 2 CR	3"Y 6" GRUESO	1400	105	453	1,050	1,760,000
ESTRUCTURAL DENSA 86	GROSOR DE >5	1200	185	390	900	1,760,000
ESTRUCTURAL DENSA 72	GROSOR DE >5	2400	150	453	1,800	1,760,000
ESTRUCTURAL DENSA 65	GROSOR DE >5	2000	135	453	1,550	1,760,000
ESTRUCTURAL DENSA 56	GROSOR DE >5	1800	120	453	1,400	1,760,000
No. 1 DENSA CR	GROSOR DE >5	1600	105	453	1,300	1,760,000
No. 1 CR	GROSOR DE >5	1400	120	390	1,500	1,760,000
No. 2 DENSA CR	GROSOR DE >5	1400	120	453	1,050	1,760,000
No. 2 CR	GROSOR DE >5	1200	105	390	390	1,760,000
GRANDES DEL SUROCCIDENTE						
GRADO 12150	VYT	2150	143	600	1,550	1,650,000
GRADO 11800	VYT - VYL	1900	145	600	1,375	1,650,000
GRADO 11700	VYT - VYL	1700	145	600	1,200	1,650,000
GRADO 11450	VYT - VYL	1450	120	600	1,050	1,650,000
GRADO 11300	VYL	1390	120	600	950	1,650,000

GRADO I 1225	PYM	-	-	900	1.325	1.640.000
GRADO I 1200	PYM	-	-	900	1.200	1.640.000
GRADO I 1075	PYM	-	-	600	1.075	1.640.000
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN						
ESTRUCTURAL DENSA	VYT Y VY'L	1700	110	320	1.460	1.320.000
ESTRUCTURAL DE CORAZÓN	VYT Y VY'L	1300	95	320	1.100	1.320.000
ESTRUCTURAL DENSA	PYM	-	-	320	1.450	1.320.000
ESTRUCTURAL DE CORAZÓN	PYM	-	-	320	1.100	1.320.000
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN						
GRADO ESTRUCTURAL I 1450	VYT	1450	110	300	10.500	1.320.000
GRADO ESTRUCTURAL I 1300	VYT	1300	95	300	975	1.320.000
GRADO ESTRUCTURAL I 1200	VYT	1200	95	300	900	1.320.000

ABREVIAURAS VYT= VIGUETAS Y TABLEROS, VY'L= VIGAS Y LARGUEROS, PYM= POSTES Y MADERA CORUELA, CM= CLASIFICADA POR RESISTENCIA

III.2.2.- COMPORTAMIENTO BAJO TENSION

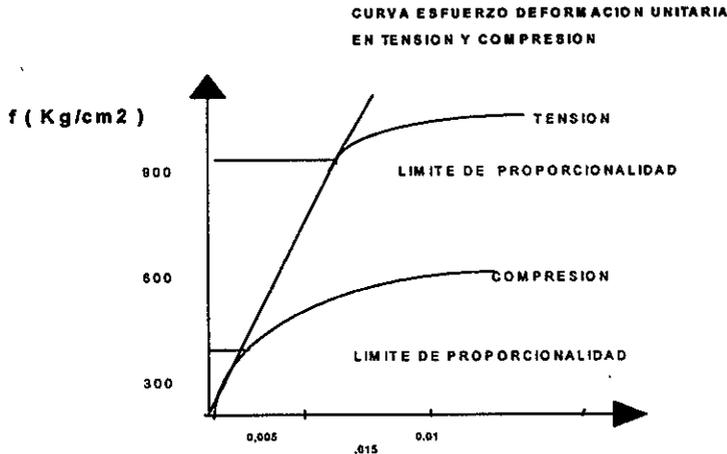
La máxima resistencia a tensión de la madera se presenta en la dirección en que están orientadas las cadenas de moléculas de celulosa . Suele ser superior que la resistencia a las demás acciones mecánicas : en la siguiente gráfica se presenta la curva esfuerzo-deformación típica . Se observa que la deformación es proporcional a la carga prácticamente hasta la carga máxima y que el límite de proporcionalidad no está bien definido.

Existe poca información sobre el comportamiento de la madera sometida a tensión paralela a las fibras . Esto se debe a que no ha sido posible idear un tipo de ensaye sencillo que de resultados confiables. Como medida de la resistencia a este tipo de acción suele tomarse el módulo de rotura, o sea, el esfuerzo al fallar en la fibra extrema de las probetas sometidas a flexión. Este criterio es conservador puesto que los valores obtenidos de pruebas de flexión son menores a los que resultan de pruebas de tensión axial, 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.

Para un contenido de humedad de 12 % , las resistencias a tensión paralela a las fibras varían desde unos 300 Kg/cm² hasta unos 3,000 Kg/cm² , según la densidad de la especie. En general, la resistencia a tensión de las coníferas es mayor que las de las latifoliadas .

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. En el diseño de armaduras de madera se encuentra que la resistencia de los miembros en tensión se determina usualmente por la resistencia de la conexión en las uniones , y no en la sección transversal del miembro. Los esfuerzos de trabajo para miembros en los que se aplican fuerzas de tensión paralelas al hilo , el esfuerzo de trabajo t

es igual a f el de la fibra de los extremos en flexión, que se da en la tabla A. En el diseño de armaduras de madera se encontrará que la resistencia de los miembros en tensión se determina usualmente por la resistencia de la conexión en las uniones, y no en la sección transversal del miembro.



III.3.2.- COMPORTAMIENTO BAJO COMPRESIÓN

Con excepción de algunas maderas duras en las que las resistencias a tensión y compresión son del mismo orden, la resistencia a compresión de la madera en dirección paralela a las fibras varía de la mitad a la tercera parte de su resistencia a tensión en la misma dirección. Esta diferencia 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 anterior, apreciamos una curva esfuerzo-deformación típica de madera sometida a compresión longitudinal, ahí observamos que el comportamiento en compresión es fundamentalmente elástico, como en el caso de la tensión y que el módulo de elasticidad es casi idéntico para los dos tipos de esfuerzo. Sin embargo, puede comprobarse que el comportamiento en compresión es algo más dúctil que en tensión, siendo mayor la diferencia entre las deformaciones unitarias correspondientes al límite de proporcionalidad y las correspondientes al esfuerzo máximo. Además, el límite de proporcionalidad para compresión está más claramente definido que para tensión.

Suele considerarse que las resistencias obtenidas en probetas sometidas a compresión paralela a las fibras constituyen el mejor índice del comportamiento mecánico de la madera. Las resistencias a compresión paralela a las fibras para un contenido de humedad de 10 % varían de 100 a 1,600 Kg/cm² , según la densidad de la especie . 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. Pueden llegar a ser semejantes a la resistencia en compresión paralela 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. Cuando se carece de datos sobre esfuerzos en el límite de proporcionalidad puede tomarse un valor igual al 20 % de la resistencia a compresión paralela a las fibras.

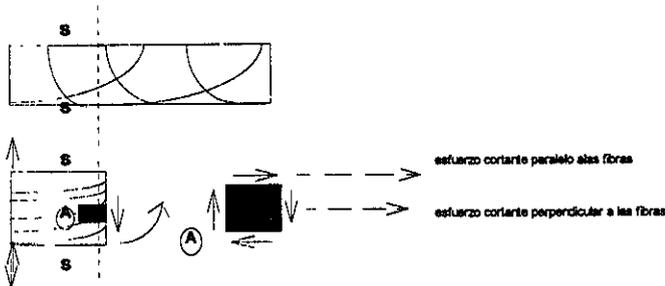
Entre las maderas mexicanas pueden encontrarse especies con valores del esfuerzo de compresión perpendicular a las fibras, al límite de proporcionalidad , de 22 a 225 Kg/cm² a un contenido de humedad próximo al 12 % . Las maderas de pino tienen valores del orden de 60 Kg/cm².

III.3.4.- COMPORTAMIENTO BAJO FUERZA CORTANTE

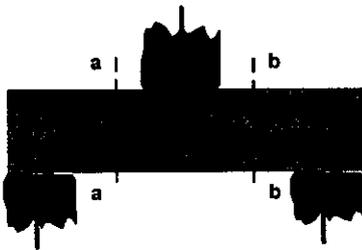
Pueden distinguirse varios tipos de esfuerzo cortante en la madera, el más importante para el dimensionamiento de elementos estructurales es el *esfuerzo cortante paralelo a las fibras*. Es difícil determinar la verdadera resistencia de la madera a este tipo de esfuerzo ya que los resultados que se obtienen en los diversos tipos de pruebas que se han utilizado están influenciados por los esfuerzos de tensión perpendiculares a las fibras que se generan simultáneamente. De una manera aproximada puede estimarse que la resistencia a esfuerzo cortante paralelo a las fibras es de 10 a 15% de la resistencia a tensión paralela a las fibras. Para especies mexicanas se han encontrado valores que varía de 20 a 225 Kg/cm² para un contenido de humedad de 12 % . Las especies de pino del país tienen valores de alrededor de 40 Kg/cm² , la resistencia de la madera a esfuerzo cortante perpendicular en las fibras es mucho mayor que su resistencia al esfuerzo cortante paralelo. La rotura en planos transversales no llega a presentarse por que antes de que esto puede suceder el elemento sujeto a la acción cortante falla, sea por esfuerzo cortante paralelo a las fibras o sea por el aplastamiento en compresión de las fibras. Así, por ejemplo, en la viga representada en la siguiente figura (a) 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.

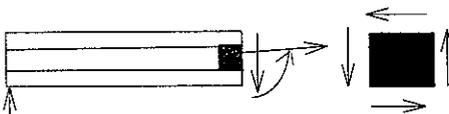
a) esfuerzo cortante en vigas



b) elemento que falla por compresión perpendicular a las fibras y no por cortante



c) esfuerzo cortante rodante



Un tipo de esfuerzo cortante peculiar de la madera es el **esfuerzo cortante rodante o de rolado**, llamado así porque tiende a ser 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. Esta condición de carga es rara en general, pero puede ser crítica en algunas de las capas de elementos de triplay como se indica en la figura anterior (c) . La resistencia de la madera a esfuerzo cortante rodante es de 10 a 20% de su resistencia a esfuerzo cortante paralelo a las fibras.

III.3.2.1.- FUERZAS CORTANTES HORIZONTALES EN LAS VIGAS RECTANGULARES

Toda viga sujeta a una fuerza cortante vertical está también sujeta a la fuerza cortante horizontal, que es la tendencia de una parte de la viga a deslizarse horizontalmente sobre una parte adyacente. Los esfuerzos no están igualmente distribuidos en el área de la sección transversal, y en las vigas rectangulares, el mayor esfuerzo cortante unitario está en la superficie neutra. La expresión que se usa para calcular el esfuerzo cortante unitario horizontal máximo en una viga rectangular que no tenga rajaduras es:

$$q = 3/2 (V/bh)$$

en donde: q = esfuerzo cortante máximo horizontal (kg / cm²)

V = fuerza cortante vertical máxima (kg)

b = ancho de la viga (cm)

h = peralte de la viga (cm)

Esta expresión se aplica únicamente a las secciones rectangulares. Produce un pequeño error del lado de la seguridad porque indica esfuerzos cortantes mayores a los que existen realmente. Al determinar el esfuerzo cortante se acostumbra empezar usando la fórmula anterior, si se encuentra que, $q < H$ (esfuerzo cortante permisible), implica que la viga resiste el esfuerzo cortante, sin embargo, si $q > H$, se calcula q de nuevo. En casi todas las maderas estructurales existen reventaduras entre anillos y rajaduras, debido a esto, las porciones inferiores y superiores de una viga trabajan parcialmente como dos vigas y parcialmente como si formaran una unidad. Para calcular el esfuerzo cortante unitario horizontal en la superficie neutra en vigas rectangulares agrietadas entre anillos, el Forest Products Laboratory recomienda:

a) usar la fórmula ordinaria para el esfuerzo cortante ($q = 3/2 (V / bh)$)

b) usar el esfuerzo cortante unitario permisible H , que se da en la tabla A

En los últimos años se han hecho grandes adelantos en la fabricación de vigas de madera de varios tamaños y formas. Se emplean con frecuencia vigas laminadas y pegadas, formándose vigas con sección "I" y de cajón para satisfacer requisitos especiales. Para determinar los esfuerzos cortantes horizontales en vigas cuya sección transversal no es rectangular, usaremos la siguiente fórmula:

$$q = VQ / Ib$$

en la que: q = es el esfuerzo cortante unitario horizontal en cualquier punto específico de la sección transversal de la viga.

V = fuerza cortante vertical total de la viga en la sección elegida

Q = momento estático con respecto al eje neutro del área de la sección transversal arriba o abajo del punto en donde ha de determinarse q

I = momento de inercia de la sección transversal de la viga con respecto a su eje neutro

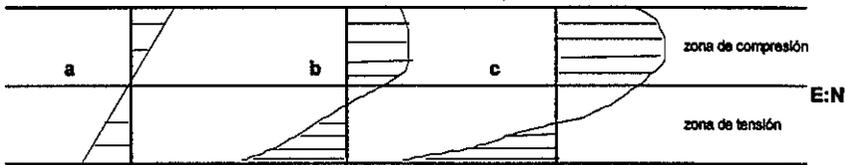
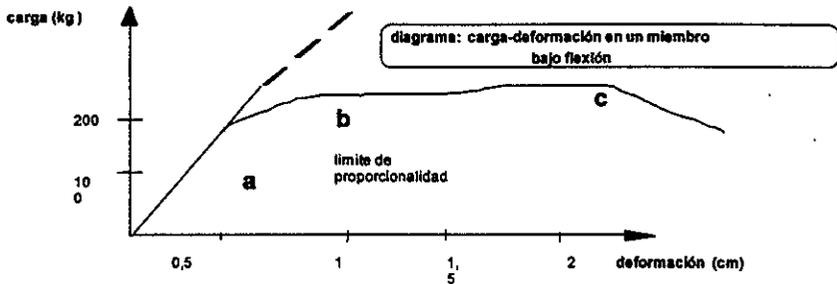
b = ancho de la viga en el punto donde se calcula q

Los esfuerzos cortantes horizontales no están igualmente distribuidos en el área de la sección transversal, estos esfuerzos se indican con las longitudes de las flechas presentándose el máximo esfuerzo en la superficie neutra de la sección.

III.3.3.- COMPORTAMIENTO BAJO FLEXIÓN

En la siguiente figura se presenta una gráfica carga-deformación de una muestra de madera de pino sometida a una carga transversal que produce flexión. Aquí podemos apreciar que el límite de proporcionalidad está claramente definido. Después de que la carga alcanza su valor máximo el espécimen sigue deformándose paulatinamente a medida que la carga va disminuyendo. Así en flexión estática la fractura de la madera no es repentina. Para valores de la carga transversal inferiores a la correspondiente al límite de proporcionalidad, la distribución de esfuerzos, si la sección de la muestra o elemento de ensaye es simétrica, es lineal y el eje neutro se encuentra a la mitad del peralte, como se muestra en el siguiente diagrama (a), esto indica que para niveles bajos de carga la madera se comporta, en flexión, como material elástico. A medida que la carga va aproximándose a su valor máximo, la distribución de esfuerzos deja de ser lineal y la profundidad del eje neutro aumenta diagramas (b) y (c), este comportamiento se debe a las diferencias a las relaciones esfuerzo-deformación de la madera sometida a compresión o a tensión. Por regla general 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 . Sin embargo , en algunas maderas duras de especies latifoliadas el comportamiento puede ser inverso, iniciándose la falla en las fibras extremas sometidas a tensión.



DISTRIBUCIONES DE ESFUERZOS EN MIEMBROS SOMETIDOS A FLEXIÓN CRECIENTE

Del ensaye de las probetas limpias sometidas a flexión estática se obtienen diversos índices del comportamiento de la madera de importancia para el dimensionamiento de elementos estructurales.

El módulo de rotura, es la medida más usual de la resistencia a tensión de la madera , se obtiene sustituyendo en la fórmula de la flexión ($f = M c / I$), el momento que produjo la rotura , esto implica que se acepta un comportamiento elástico hasta el momento de la falla ; dependiendo de la densidad de la especie de la madera de que se trate , los valores del módulo de rotura varían de 300 a 2,100 Kg / cm². Sin embargo, las especies de pino del país tiene valores del orden de 850 Kg / cm².

Por otro lado, el trabajo hasta el límite de proporcionalidad indica la energía que la madera puede absorber bajo flexión estática sin sufrir deformaciones permanentes . Es de mayor interés el trabajo requerido para alcanzar el esfuerzo máximo y el trabajo total, es decir, el trabajo necesario para producir la falla . Estos valores son una medida de la **tenacidad de la madera**, es decir, la capacidad que tiene la madera para absorber energía. La tenacidad es una propiedad de interés en elementos estructurales

sometidos a cargas que presentan gran incertidumbre como sucede en las piezas para entibar las galerías de minas. Un elemento estructural con un alto grado de tenacidad exhibe deformaciones significativas antes de la falla que avisan de la existencia de una condición de carga peligrosa dando tiempo a que se tomen las medidas de seguridad oportunas.

Los valores del trabajo o energía mencionados pueden calcularse determinando el área correspondiente bajo las gráficas de carga-deformación o de esfuerzo-deformación unitaria. En el primer caso se obtiene el trabajo realizado expresado en kg-cm o en otras unidades equivalentes ; en el segundo se obtiene el trabajo localizado por unidad de volumen expresado en kg-cm/cm³. En general las coníferas parecen tener mayor tenacidad que las latifoliadas , aunque su resistencia suele ser menor. El comportamiento descrito se deduce de pruebas de flexión estática, también se realizan pruebas en que las cargas se aplican por impacto, comprobándose con estas pruebas que las resistencias obtenidas son superiores en 50 % ó 60 % a las que resultan de pruebas estáticas bajo cargas transversales de igual magnitud. La información obtenida de pruebas de impacto es de gran importancia para la estimación de la resistencia de vigas bajo cargas aplicadas repentinamente , además también proporcionan un Índice de la tenacidad de la madera , el módulo de elasticidad es otro dato que puede obtenerse de los resultados de pruebas de flexión.

III.3.5.- COMPORTAMIENTO BAJO TORSIÓN.

La resistencia de la madera a esfuerzos producidos por torsión es del mismo orden que su resistencia a esfuerzo cortante paralelo a las fibras. El esfuerzo cortante por torsión, en el límite de proporcionalidad es aproximadamente igual al 70 % del esfuerzo cortante correspondiente a la falla.

El módulo de elasticidad de mayor interés para efectos de diseño es el correspondiente a la dirección longitudinal (EL) . Se determina por medio de pruebas de carga de compresión axial o de flexión . Si los valores del módulo de elasticidad se obtienen a partir de pruebas de flexión bajo una carga concentrada los resultados obtenidos involucran la influencia de la fuerza cortante . Pueden obtenerse valores no afectados por la fuerza cortante , directamente a partir de ensayos de flexión bajo dos cargas concentradas , simétricas considerando el tramo entre las dos cargas en la cual la fuerza cortante es nula. Para un contenido de humedad del 12 % el módulo de elasticidad varía de 40,000 a 300,000 kg/cm².

Los módulos de rigidez ó módulos elásticos a esfuerzo cortante promedio se expresan en función del módulo de elasticidad en dirección longitudinal (E_l) como sigue :

$$G_t = 0.06 E_l = G_{tr} = 0.012 E_l$$

Estos módulos se refieren a la deformación unitaria por cortante en los planos TL, TR y LR.

Como sucede con cualquier material orgánico, las propiedades de la madera exhiben considerable variabilidad. Aún cuando se mantengan constantes el contenido de humedad y la temperatura, ó que se considere únicamente los resultados obtenidos de probetas limpias en que se ha eliminado la influencia de características irregulares de crecimiento y se apliquen en condiciones estándar las acciones, la variabilidad en el comportamiento es mayor que para la mayoría de los materiales artificiales.

3.4.- DIMENSIONAMIENTO DE MIEMBROS ESTRUCTURALES DE MADERA

3.4.1.- 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 a cargas axiales. También son comunes en distintos tipos de contraventeo. La resistencia de la madera a tensiones perpendiculares a las fibras es considerablemente menor que su resistencia a tensión paralela a ella. Por ello los miembros de madera se calculan por medio de la expresión

$$T = A_n F_{tp}$$

donde A_n = es el área neta o efectiva de la sección del miembro.

T = es la tensión que puede soportar el miembro

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

El área neta la definimos como la sección total menos las reducciones por las ranuras o agujeros requeridos para alojar elementos de unión: la capacidad del miembro estará regida por la sección que tenga el área neta mínima. Los esfuerzos permisibles en tensión para madera en condición verde recomendada por las Normas Técnicas Complementarias de Construcción varían de 70 a 115 Kg / cm² según sea su calidad (A o B). Debe tenerse en cuenta que con frecuencia las dimensiones de un miembro en tensión no están determinadas por la resistencia a tensión de la madera sino por los esfuerzos cortantes que se presentan en los detalles de conexión.

3.4.2.- MIEMBROS EN COMPRESIÓN.

Los miembros estructurales de madera sometidos a compresión se presentan bajo la forma de columnas , miembros de armaduras y puntales , se construyen de manera que las fibras queden paralelas a los esfuerzos de compresión , ya que la resistencia a este tipo de esfuerzos en sentido perpendicular a las fibras es baja. Los miembros de madera sometidos a compresión se clasifican en tres tipos; a) macizos, b) de sección compuesta, c) de elementos espaciados.

Las columnas o miembros macizos están formados por una sola pieza, los de sección compuesta están formados por varias piezas ligadas entre sí y los elementos espaciados están formados por dos o más piezas con los ejes longitudinales paralelos , ligados por empaques y clavos,

3.4.2.1.- Miembros macizos

Los miembros macizos son los más comúnmente utilizados en columnas de madera y en otras piezas sometidas a cargas axiales de compresión. Se clasifican en tres categorías según los susceptibles que sean al pandeo : *miembros largos*, *miembros intermedios* y *miembros cortos*, aunque las Normas Técnicas Complementarias solo distinguen a los miembros cortos y largos.

La susceptibilidad al pandeo depende de la relación de esbeltez , que se define como la relación entre la longitud efectiva , KL , y el radio de giro mínimo , r , de la sección del miembro, donde K es el factor de longitud efectiva y L es la longitud del miembro, el valor de K lo podemos encontrar de acuerdo a la siguiente tabla:

CONDICIÓN DE RESTRICCIÓN	VALOR TEÓRICO DE K	VALOR DE K PARA DIMENSIONAMIENTO
ARTICULADA EN AMBOS EXTREMOS Y RESTRINGIDA AL DESPLAZAMIENTO	1	1
EN VOLADIZO	2	2
EMPOTRADA Y RESTRINGIDA CONTRA EL DESPLAZAMIENTO EN AMBOS EXTREMOS	0,5	0,65
EMPOTRADA Y ARTICULADA SIN DESPLAZAMIENTO	0,707	0,8
EMPOTRADA EN AMBOS EN AMBOS EXTREMOS CON DESPLAZAMIENTOS	1	1,2

Los valores sugeridos para el dimensionamiento son en general algo mayores que los teóricos para que se tenga en cuenta que en situaciones reales es difícil lograr empotramientos perfectos. En otros casos puede estimarse la longitud efectiva en forma aproximada, dibujando la elástica deformada y midiendo la distancia entre puntos de inflexión, En columnas rectangulares , como la mayoría de las columnas de madera , la relación

de esbeltez suele darse en función de la dimensión mínima de la sección , de esta forma si b es la dimensión mínima , la relación de esbeltez será :

$$KL / b$$

3.4.2.2.- MIEMBROS LARGOS

Se consideran miembros largos aquellos que fallan por inestabilidad, es decir, por pandeo. El esfuerzo crítico de pandeo para miembros largos está dado por la fórmula de Euler:

$$f_{cr} = \pi^2 E / (KL/r)^2$$

donde E es el módulo de elasticidad de la madera y los demás términos son los mismos que se definieron anteriormente. Para términos rectangulares de madera se puede sustituir L/r por L/b donde b es la dimensión mínima de la sección.

3.4.2.3.- MIEMBROS INTERMEDIOS

La National Forest Products Association define a miembros con un comportamiento intermedio entre el de miembros largos, que fallan por pandeo , y miembros cortos que fallan por aplastamiento. El esfuerzo con que deben dimensionarse estos miembros está dado por la expresión :

$$f_{cd} = f_{cp} [1 - 1/3 (KL/b/k)^4]$$

en la que los símbolos tienen el significado que se indicaron anteriormente. Esta expresión es válida para valores de la relación de esbeltez comprendidos entre 11 y $k = 0.671 [(E/f_{cp})]^{exp 1/2}$

3.4.2.4.- MIEMBROS CORTOS

Se consideran miembros cortos aquellos en que los efectos de pandeo son despreciables de manera que fallan por aplastamiento del material. Según la National Forest , son miembros cortos aquellos cuya relación de esbeltez es igual o menor que 11. Según las Normas Técnicas complementarias se dimensionan como miembros cortos aquellos para los cuales la expresión:

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

da valores superiores a f_{cp} (que es el esfuerzo permisible en compresión paralela a las fibras en miembros en el que el efecto del pandeo es despreciable); en ambos casos la capacidad de miembros se determina multiplicando por f_{cp} el área de la sección transversal del miembro.

3.4.3.- MIEMBROS DE SECCIÓN COMPUESTA

Los miembros de sección compuesta son como ya mencionamos miembros compuestos por varias piezas unidos con elementos de unión. La resistencia a la compresión de miembros de esta clase es superior a la suma de las resistencias de las piezas que las integran consideradas individualmente, pero inferior a la de un miembro macizo de las mismas dimensiones . La resistencia de los miembros compuestos varía considerablemente según el número, el tamaño y la disposición de los elementos de unión empleados , de manera que es difícil establecer reglas sencillas de dimensionamiento de validez general.

3.4.4.- MIEMBROS DE ELEMENTOS ESPACIADOS

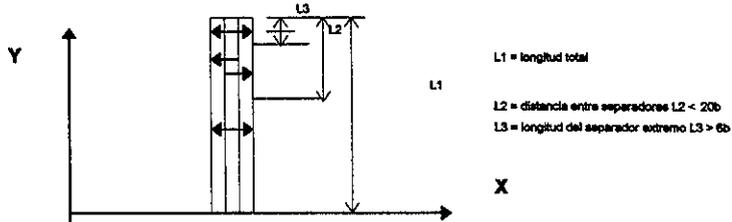
Los miembros de elementos espaciados están constituidos por dos o más piezas separadas por empaques o bloques separadores, se usan con bastante frecuencia para columnas y para las barras de armaduras . Cuando forman parte de armaduras se toma como longitud del miembro la distancia entre nudos con arriostramiento transversal ; los miembros del alma unidos a cuerdas formadas por elementos espaciados pueden considerarse como empaques de estos. Si la unión entre los empaques extremos de un miembro de elementos espaciados y las piezas longitudinales es adecuada se reduce la longitud efectiva del miembro de manera que su capacidad es superior a la de los elementos que la componen considerados individualmente. En un análisis riguroso de la capacidad de miembros de elementos , es necesario determinar la fuerza cortante que deben ser capaces de transmitir los elementos de unión entre empaques y piezas verticales. Algunas de las recomendaciones que hacen las Normas Técnicas complementarias para dimensionamiento de miembros espaciados son:

Según estas recomendaciones , la capacidad de miembros de elementos espaciados sometidos a cargas axiales de compresión puede determinarse con base en la expresión :

$$f_{cd} = 0.3 E / (KL / b) \exp 2$$

deben considerarse dos valores del esfuerzo de diseño , f_{cd}

- El que resulta de tomar L como la distancia entre separadores , b como espesor de una de las piezas y $K=1$
- El que resulta de tomar como valor de b la dimensión de la sección transversal medida paralelamente al $Y-Y$ y L como la longitud total de la columna , esto equivale a suponer pandeo en torno al eje $X-X$. El valor de K depende de las condiciones de restricción de los extremos.



La capacidad del miembro se calcula con el menor de estos valores de f_{cd} .

La longitud de los empaques debe ser suficiente para alojar los elementos de unión requeridos, que en los extremos, deben ser capaces de transmitir una fuerza cortante entre caras de contacto de las piezas y los separadores igual a:

$$V = \frac{1.5 \text{ fuerza total de compresión}}{\text{número de piezas longitudinales}}$$

La longitud mínima admisible de los empaques extremos debe ser seis veces el espesor de las piezas longitudinales y su espesor no debe ser menor que el de dichas piezas. El número de empaques intermedios debe ser tal que la relación de la distancia entre centroides de grupos de elementos de unión al espesor de una pieza componente sea menor o igual a 20, el número de los elementos de unión para estos empaques puede reducirse a la cuarta parte de los necesarios en los extremos.

3.5.- COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN

1. La deformación que acompaña a la flexión se llama flecha. Es la distancia vertical que se mueve un punto de la superficie neutra cuando la viga se flexiona. Es importante comprender que las dimensiones de una viga pueden ser las adecuadas para soportar las cargas aplicadas, pero la flecha puede ser tan grande que pueden producirse grietas en los cielos rasos de yeso que quedan debajo o el piso puede vibrar notablemente, las vigas deben diseñarse por la resistencia a la flexión y al mismo tiempo por la rigidez.

El límite admisible para la flecha en las vigas en la construcción de pisos que soportan cielos enyesados, o tabiques, se toma generalmente de $1/360$ del claro.

Cuando se usa madera verde , la flecha aumenta después de la que ocurre inmediatamente de que se aplica la primera carga , a esto se le llama flambeco. Cuando la madera está verde, se acostumbra en los cálculos duplicar la carga muerta, pero no la viva, para tomar en cuenta el flambeco. Cuando la carga de diseño se aplica permanentemente , la madera adquiere una deformación permanente aproximadamente igual a la flecha original, pero la resistencia no disminuye.

3.6.- DISEÑO DE VIGAS

Una viga es un miembro estructural que está sujeto a cargas transversales. Generalmente, las cargas obran en ángulo recto al eje longitudinal de la viga. Comparadas con otros miembros estructurales, las cargas sobre una viga así como el mismo peso de la viga , tienden a flexionar en vez de alargar o acortar el miembro. En las vigas simples , los apoyos están en los extremos y las fuerzas resistentes dirigidas hacia arriba se llaman reacciones. Una viga que soporta a otras pequeñas se llama trabe.

En la construcción de entramados , las vigas que soportan directamente las tablas del piso se llaman viguetas. En el reglamento de construcción se utiliza el término vigueta y tablón para identificar madera de sección transversal rectangular que tiene un espesor nominal de hasta 2 plg , pero sin incluir los de 5 plg , y anchos nominales de 4plg o más. Las vigas que soportan cubiertas de techos se llaman pares ; con frecuencia son inclinados . En la construcción de puentes , las vigas longitudinales en las que se colocan los travesaños o durmientes se llaman largueros . En el reglamento reciente se usan los términos vigas y largueros refiriéndose a la madera de sección transversal rectangular que tiene dimensiones nominales de 5 plg o más de espesor y de 8 plg o más de ancho.

El primer paso en el diseño de una viga es el cálculo de la carga o cargas que es necesario que soporte la viga . El diseño de una viga consiste primero en determinar por cálculos las dimensiones de una sección transversal en la que no se exceda el esfuerzo permisible en la fibra extrema , según el material usado., la viga se diseña primero por resistencia a la flexión , luego investigamos si el esfuerzo cortante horizontal permisible no se ha excedido , en dado caso de que este esfuerzo este sobrado se procede a emplear una sección mayor. En seguida se calcula la flecha, para ver si la flecha real no excede el límite establecido; cuando una sección transversal satisface estos requisitos se determinan las dimensiones de los apoyos de los extremos para comprobar que los esfuerzos en compresión , perpendiculares a la veta no exceden de los admisibles estipulados en el reglamento de construcción.

En el diseño de vigas la sección que tiene para nosotros especial interés es aquella en la que el momento flexionante es máximo. Esta es la sección en la que existe mayor probabilidad de que la viga falle por flexión, es decir , el momento flexionante debe de ser igual al momento resistente, es decir :



$$M = f \cdot S$$

en el que M = momento flexionante

f = esfuerzo unitario en la fibra más alejada de la superficie neutra

S = módulo de sección de la sección transversal

Esta expresión se conoce como la fórmula de la flexión y nos sirve para diseñar vigas homogéneas con respecto a la flexión. Entonces, si queremos diseñar una viga por flexión, se divide el momento flexionante máximo entre f , que es el esfuerzo admisible en la fibra extrema, y el cociente es el módulo de sección buscado.

Aunque en algunas consideraciones prácticas, las construcciones adyacentes pueden limitar el peralte de un miembro, es decir, una viga que es relativamente angosta tiende a pandearse lateralmente, pero cuanto menor sea el peralte de la viga menor será su flecha. Es importante señalar que el peso de la viga produce esfuerzos de flexión, sin embargo el peso de las vigas de madera es generalmente pequeño comparado con las cargas que soporta y por lo tanto se puede despreciar en los cálculos realizados, y en caso de que se emplee el peso de la viga se acostumbra tomar un peso de la madera de 40 lb/ft³.

La utilidad de lo anterior quedará demostrada en los siguientes ejemplos:

Ejemplo 1.- Diseñar por flexión una viga simple que tiene un claro de 14 pies con una carga uniformemente distribuida, incluyendo el peso de la viga, de 800 lb por pie lineal. El esfuerzo admisible en la fibra es de 1,400 lb / plg².

SOLUCIÓN :

Como la fórmula de la flexión es $M / f = S$, y tenemos una viga con carga uniformemente distribuida donde el valor del momento máximo es $wl^2 / 8$, entonces:

$$M = wl^2 / 8 = (800 \cdot 14 \cdot 14 \cdot 12) / 8 = 235,200 \text{ plg/lb}$$

el momento flexionante máximo es:

$$M / f = S = 235,200 / 1,400 = 168 \text{ plg } 3, \text{ que es el módulo de sección buscado}$$

Ejemplo 2 .- Una viga simple tiene un claro de m , con dos cargas concentradas de 4,000 kg cada una colocadas en los tercios del claro. Si el esfuerzo admisible en la fibra extrema es de 1,200 kg/m², diseñar la viga por flexión.

SOLUCIÓN :

Para dos cargas concentradas sobre una viga, el momento máximo vale $M = P L / 3$

por lo que : $M = (4,000 * 15 * 12) / 3 = 240,000 \text{ kg-m}$

que es el valor del momento flexionante máximo

Calculando el modulo de sección :

de la Fórmula de la flexión : $M / f = S = 240,000 / 1,200 = 200 \text{ m}^3$

que es el módulo de sección buscado.

3.6.1.- COMBINACIÓN DE COMPRESIÓN AXIAL Y FLEXIÓN

La gran mayoría de armaduras para techos se construye de manera que las cargas de los techos se transmiten a la armadura solamente en los nudos, esto da como resultado que los miembros de la armadura estén sujetos a tensión o a compresión . De manera usual , los polines transmiten las cargas del techo a la armadura en los nudos y la cuerda superior está sujeta a esfuerzos de compresión únicamente.

Cuando un miembro está sujeto al mismo tiempo a compresión axial y flexión deberán darse dimensiones al miembro de tal modo que las cantidades : $\frac{P / A}{c} + \frac{M / S}{f}$ debe ser menor a la unidad.

donde : P= es la fuerza axial de compresión

A= área de la sección transversal del miembro

P / A= esfuerzo de compresión producido por la carga axial

c= esfuerzo permisible en compresión paralelo a la veta que se permitirá en la columna si solo existieran esfuerzos axiales

M= momento flexionante máximo que resulta de las cargas que producen flexión

S= modulo de sección transversal

M / S= esfuerzo de flexión inducido por la carga de flexión

f = esfuerzo permisible en la fibra extrema en flexión que se permitirá si solamente existieran esfuerzos de flexión

3.6.2.- COMBINACIÓN DE TENSIÓN AXIAL Y FLEXIÓN

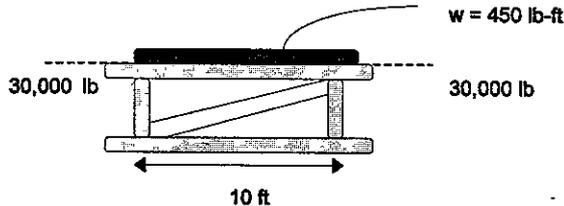
Algunas ocasiones se sujeta un miembro al mismo tiempo a tensión axial y a esfuerzos de flexión . Una cuerda inferior de una armadura de techo con esfuerzos flexionantes que resultan de los pares del techo puede ser un ejemplo. Las dimensiones de un miembro así deben ser tales que :

$$\frac{P/A}{t} + \frac{M/S}{f}$$

no excedan de la unidad. En la cantidad $\frac{P/A}{t}$ el término t es el esfuerzo unitario de tensión paralelo a la veta, y los otros términos son los mismos que se dieron anteriormente.

Ejemplo 3.- El miembro de la cuerda superior de una armadura de techo de cuerdas paralelas tiene un claro de 10 ft y una fuerza de compresión axial de 30,000 lb. Además de esta carga axial, la carga uniformemente distribuida del techo es de 450 lb-ft y produce flexión. La madera es del pino del sur de grado No. 1 CR que tiene un esfuerzo admisible en la fibra extrema de 1,400 lb/plg², un esfuerzo permisible a la compresión paralelo a la veta de 1,300 lb/plg² y un módulo de elasticidad de 1,760,000 lb/plg². ¿ Cual es la escuadría del miembro ?

SOLUCIÓN:



El diseño de estos miembros se efectúa proponiendo secciones y se hace el cálculo por tanteos, en este caso supongamos un miembro de 6 X 10 plg de la tabla A, con el eje mayor colocado verticalmente, para este caso sabemos por tablas que el área = 52.25 plg, el módulo de sección $S = 82.73$ plg³ y el ancho efectivo es de 5.5 plg por lo que:

$$\frac{I}{d} = 10 * 12 = 21.8$$

$$d = 5.5$$

si sustituimos las cantidades en la fórmula de la columna:

$$P/A = \frac{0.3 * E}{(l/d)^2} = \frac{0.3 * 1,760,000}{21.8^2 * 21.8} = 1,110 \text{ lb / plg}^2$$

Este esfuerzo de compresión es menor que $c = 1,400 \text{ lb / plg}^2$. El área de la sección transversal es $5.5 * 9.5 \text{ ó } 52.25 \text{ plg}^2$

por lo que

$$\frac{P/A}{c} = \frac{30,000 / 52.25}{1,100} = 0.516$$

La cuerda superior de la armadura trabajando a la flexión es parecida al claro extremo de una viga continua con carga uniformemente distribuida por lo que:

$$M = wl^2 / 10 \quad M = (450 * 10 * 10 * 12) / 10 = 54,000 \text{ plg-lb}$$

Que es el momento flexionante máximo, el módulo de sección $S = 82.73 \text{ plg}^3$

$$\text{Entonces: } \frac{M/S}{f} = \frac{54000 / 82.73}{1,400} = 0.466$$

$$\text{Así } \frac{P/A}{c} + \frac{M/S}{f} = 0.516 + 0.466 = 0.982 < 1 \text{ por tanto se acepta la sección de } 6 \times 10 \text{ plg}$$

Ejemplo 2.- Un miembro de la cuerda inferior de una armadura tiene una longitud de 8 pies, una carga axial de tensión de 30,000 lb y además una carga uniformemente distribuida de 300 lb-pie que produce flexión. Suponiendo que la madera tiene una $f = 1,200 \text{ lb/plg}^2$, diseñar el miembro de la armadura.

SOLUCIÓN :

Suponiendo el miembro de $6 \times 8 \text{ plg}$, donde su área = 41.25 plg^2 y el módulo de sección es $S = 51.56 \text{ plg}^3$

Entonces:

$$\frac{P/A}{t} = \frac{30,000 / 41.25}{1,200} = 0.606$$

$$M = wl^2 = \frac{300 * 8 * 8 * 12}{10 * 10} = 23,040 \text{ plg-lb}$$

$$\frac{M/S}{f} = \frac{23,040 / 51.56}{1,200} = 0.37$$

Por lo tanto: $\frac{P/A}{t} + \frac{M/S}{f} = 0.606 + 0.37 = 0.976$, como es menor a 1 la sección es aceptable.

CAPITULO IV

COMENTARIOS A LAS NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS

Las normas técnicas complementarias nos dan las disposiciones aplicables a elementos estructurales de madera aserrada de cualquier especie cuya densidad relativa promedio sea igual o superior a 0.35 y a elementos estructurales de madera contrachapada. Para estas Normas , las maderas usuales en la construcción se clasifican en coníferas y latifoliadas , en donde las latifoliadas se subdividen a su vez en tres grupos de acuerdo al módulo de elasticidad correspondiente al quinto percentil $E_{(0.005)}$ para madera seca donde el contenido de humedad está dentro del límite :

$$CH < 18 \% \pm 2 \%$$

por lo tanto, la clasificación es : grupo I > 120,000 (kg / cm²)

grupo II 85,000 - 119,000

grupo III 50,000 - 84,000

Dentro de la clasificación estructural de las maderas de coníferas deben de apegarse a la NOM-C - 239-1985 " Calificación y Clasificación visual para madera de pino en usos estructurales " la cual establece dos clase de madera estructural : la del tipo A y la del tipo B.

En las dimensiones se utilizan de preferencia las secciones especificadas en la NOM-C-224-1983 "Dimensiones de la madera aserrada para su uso en la Construcción".

IV.1.- PRINCIPIOS GENERALES DE DISEÑO

El diseño de elementos de madera y de los dispositivos de unión requeridos se llevan a cabo utilizando los criterios de estados límite establecidos en el capítulo anterior. El diseño puede efectuarse por medio de procedimientos analíticos o experimentales . En el diseño por métodos analíticos las acciones internas se determinan considerando que los elementos estructurales y las estructuras tienen un comportamiento elástico-lineal.

Las normas proporcionan valores especificados de resistencia y rigidez para maderas de coníferas de las clases estructurales A y B que van desde :

	A	B	
flexión (f_b)	170	100	kg/cm ²
tension paralela a la fibra (f_{\parallel})	115	100	kg/cm ²
compresión paralela a la fibra (f_{\parallel})	120	95	kg/cm ²
compresión perpendicular a la fibra (f_{\perp})	40	40	kg/cm ²
cortante paralelo a la fibra (f_v)	15	15	kg/cm ²
módulo de elasticidad $E_{0.005}$	100,000	80,000	kg/cm ²

Para maderas de latifoliadas los valores que presentan las Normas Técnicas Complementarias para las diferentes condiciones de carga a la que pueden estar sometidas son en (kg/cm²) :

	I	II	III
Flexión	300	200	100
Tensión paralela a la fibra	200	140	70
Compresión paralela a la fibra	220	150	80
Compresión perpendicular a la fibra	75	50	25
Módulo de elasticidad promedio	160,000	120,000	75,000

Y para maderas contrachapadas de especies de coníferas los valores especificados de resistencia, módulo de elasticidad y módulo de rigidez son en (kg/cm2) :

Flexión	f_{fu}	190
Tensión	f_{tu}	140
Tensión: fibra en las chapas exteriores perpendicular al esfuerzo (3 chapas)	f_{fu}	90
Compresión en el plano de las chapas perpendicular al plano de las chapas	f_{cu}	160
Cortante	f_{ru}	25
A través del grosor	f_{vu}	20
En el plano de las chapas	f_{ru}	5
Módulo de elasticidad promedio	$E_{0.50}$	105,000
Módulo de rigidez promedio	$G_{0.50}$	5,000

Los factores de reducción de resistencia (F_R) para madera maciza y madera contrachapada se muestran en la siguiente tabla:

	madera maciza	madera contrachapada
Flexión	0.8	0.8
Tensión paralela	0.7	0.7
Compresión paralela y en el plano de las chapas	0.7	0.7
Compresión perpendicular	0.9	0.9
Cortante paralelo, a través del espesor y en el plano de las chapas	0.7	0.7

En los cálculos de las resistencias y deformaciones de diseño de los miembros o uniones se tomará como resistencia o módulo de elasticidad del material o del elemento de unión el valor modificado que resulta de multiplicar el valor especificado correspondiente por los factores de modificación apropiados, de acuerdo a las siguientes tablas:

Factor de modificación por humedad (K_h) (aplicable cuando $CH > 18 \% \pm 2 \%$)

Madera maciza de coníferas	
Compresión paralela a la fibra	0.80
Compresión perpendicular a la fibra	0.45
Cortante	0.85
Madera maciza de latifoliadas	
Compresión paralela a la fibra	0.80
Compresión perpendicular a la fibra	0.45
Cortante	0.85
Módulo de elasticidad	0.80
Madera contrachapada	
Flexión , Tensión, Compresión paralela y perpendicular a la cara, cortante a través del grosor y en el plano de las chapas	0.80
Módulos de elasticidad y rigidez	0.85

Factor de modificación por duración de carga (K_d) (aplicables para madera maciza y madera contrachapada)

Condición de carga	K_d
Carga continua	0.90
Carga normal, carga muerta más carga viva	1.00
Carga muerta más carga viva en cimbras, obras falsas y techos (pendiente $< 5 \%$)	1.25
Carga muerta más carga viva más viento o sismo , y carga muerta más carga viva en techos (pendiente $> 5 \%$)	1.33
Carga muerta más carga viva más impacto	1.60

Factor de modificación por peralte (aplicables a secciones que tengan un peralte , d, menor o igual a 140 mm) , (Kp) :

Concepto	Kp
Flexión	1.25
Tensión y compresión paralela a las fibras	1.15
Módulo de elasticidad	1.10
Todos los demás casos	1.00
Factores de modificación por clasificación para madera maciza de coníferas, Kcl	

Regla de clasificación (según NOM-C-239-1985)	Kcl
(I) Para valores especificados de resistencia de cualquier sección transversal	
Regla general (para cualquier sección transversal)	0.80
Reglas especiales (todas las de 38 mm de grosor y las de 87*87mm y 87*190mm	1.00
Regla industrial (para secciones transversales de 38 mm de grosor únicamente)	1.25
(II) Para valores de módulo de elasticidad	
Regla general (para cualquier sección transversal)	0.90
Reglas especiales (todas las de 38 mm de grosor y las de 87*87mm y 87*190mm	1.00
Regla industrial (para secciones transversales de 38 mm de grosor únicamente)	1.15

Factores de modificación por tamaño de la superficie de apoyo , Ka

Longitud de apoyo o diámetro de rondana (cm)	1.5	2.5	4.0	5.0	7.5	10.0	15.0
	o menor						o mas
Ka	1.80	1.40	1.25	1.20	1.15	1.10	1.00

Nota. este es aplicable solamente cuando la superficie de apoyo diste por lo menos 8 cm del extremo del miembro

El factor de comportamiento sísmico para estructuras de madera de las Normas Técnicas Complementarias para diseño por sismo , podrán utilizarse los siguientes valores de Q para estructuras cuya resistencia a fuerzas horizontales sea suministrada por sistemas estructurales a base de elementos de madera:

Q=3.00 Para diafragmas contruidos con madera contrachapada , diseñados de acuerdo con lo indicado en el diseño sísmico.

Q=2.00 Para diafragmas contruidos con duelas inclinadas y para sistemas de muros formados por duelas de madera horizontales o verticales combinadas con elementos diagonales de madera maciza.

Q=1.50 Para marcos y armaduras de madera maciza.

En el encharcamiento en techos planos, las Normas nos indican que la superficie de los techos debe tener una pendiente mínima de 3% hacia las salidas del drenaje para evitar la acumulación de agua de lluvia. Deberán revisarse periódicamente estas salidas para mantenerlas libres de obstrucciones, cada porción del techo debe diseñarse para sostener el peso del agua de lluvia que pudiera acumularse sobre ella si el sistema de drenaje estuviese bloqueado.

En lo que se refiere a la resistencia en el diseño de miembros de madera maciza, el reglamento de construcción de estructuras de madera nos dice:

1.- Para miembros en tensión:

La resistencia de diseño, T_R , de miembros sujetos a tensión a la fibra se obtendrá por medio de la expresión:

$$T_R = F_R \cdot f_{tu} \cdot A_n$$

Donde $F_R = 0.7$

f_{tu} f($f_{tu}, K_h, K_d, K_c, K_{py}, K_{cl}$) vistos en las tablas anteriores

A_n = área neta. Definiéndose como área neta la que resulta de deducir de la sección bruta el área proyectada del material eliminado para taladros o para otros fines.

2.- Para miembros en flexión :

La resistencia de diseño, M_p , de miembros sujetos a flexión se obtiene por medio de la expresión :

$$M_R = F_R \cdot f_{tu} \cdot S \cdot \phi$$

Donde $F_R = 0.8$

ϕ = factor de estabilidad lateral

f_{tu} = f($f_{tu}, K_h, K_d, K_c, K_p, K_{cl}$) vistos en las tablas anteriores

S = módulo de sección

Para obtener el factor de estabilidad lateral, tenemos que tomar en consideración los siguientes requisitos generales:

a).- Para vigas sin soportes laterales en sus apoyos que impidan la traslación y la rotación de sus extremos, el factor de estabilidad lateral (ϕ), podrá tomarse igual a la unidad, si la relación entre el peralte y el grosor de la viga no excede de 1.0

b).- Cuando dicha relación excede a 1.0, deberá proporcionarse soporte lateral en los apoyos de manera que se impida la traslación y la rotación de los extremos de la viga; el valor de la estabilidad lateral se determinará de acuerdo al procedimiento siguiente a menos que se cumplan

con las condiciones de la tabla que se muestra a continuación cuando es que se puede tomar el valor de la estabilidad lateral como la unidad.

<i>Relaciones d/b máximos admisibles para los cuales puede tomarse $\phi = 1$</i>	
Condición de soporte lateral	relación máxima d/b
1.- Cuando no existan soportes laterales intermedios	4.0
2.- Cuando el miembro se mantenga soportado lateralmente por la presencia de viguetas o tirantes	5.0
3.- Cuando la cara de compresión del miembro se mantenga soportada lateralmente por medio de una cubierta de madera contrachapada o duela, o por medio de viguetas con espaciamentos < 61 cm	6.5
4.- Cuando se cumplan las condiciones de (3) y además exista bloqueo o arriostramiento lateral a distancias no superiores a 8d	7.5
5.- Cuando tanto la cara de compresión como la de tensión se mantengan eficazmente soportadas lateralmente	9.0

Si no se cumplen las condiciones anteriores dadas en la tabla , entonces se calculará el factor de estabilidad lateral de la siguiente manera:

1.- Tenemos que calcular el valor de Lu (longitud sin soporte lateral)

1.1.- Cuando no existan soportes laterales intermedios , la longitud sin soportes laterales Lu, se tomará como la distancia entre apoyos ; en voladizos, se tomará como su longitud.

1.2.- Cuando existan viguetas perpendiculares a la viga , conectadas a esta de manera que impidan el desplazamiento lateral de la cara de compresión , Lu, se tomará como el espaciamento máximo entre viguetas.

1.3.- Cuando la cara de compresión de la viga esté soportada en toda su longitud de manera que los desplazamientos laterales queden impedidos, Lu, podrá tomarse igual a cero. Para poder considerar que la cubierta proporciona suficiente restricción lateral deberá estar firmemente unida a la viga y a los miembros periféricos de manera que se forme un diafragma rígido.

2.- Enseguida calcular el factor de esbeltez Cs:

$$Cs = \sqrt{\frac{Lu \cdot d}{b^2}}$$

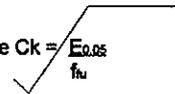
3.- Determinación del factor de estabilidad lateral, ϕ

El valor de estabilidad lateral se determinará como sigue:

- a).- Cuando $C_s < 6$ el valor de ϕ se tomará igual a la unidad.
 b).- Cuando $6 < C_s < C_k$, el valor de ϕ se determinará con la expresión :

$$\phi = 1 - 0.3 (C_s / C_k) \exp 4$$

donde $C_k = \frac{E_{0.85}}{f_u}$



- c).- Cuando $C_s > C_k$, el valor de ϕ , se determinará con la expresión :

$$\phi = 0.7 (C_k / C_s) \exp 2$$

Nota: no se admiten vigas cuyo factor de esbeltez, C_s , sea superior a 30

RESISTENCIA A CORTANTE

La resistencia a cortante de diseño V_R , en las secciones críticas de vigas se obtienen por medio de la expresión:

$$V_R = \frac{F_R f_{vu} b d}{1.5}$$

Donde F_R (factor de reducción de resistencia) = 0.7

f_{vu} F($f_{vu}, K_h, K_d, K_c, K_r, K_v$)

Además $K_v = 2$ solo en los siguientes casos:

- a) en las secciones críticas de apoyos continuos
 b) en todas las secciones críticas de vigas de sistemas estructurales con compartición de carga. En todos los demás casos $K_v = 1.0$

MIEMBROS SUJETOS A COMBINACIONES DE MOMENTO Y CARGA AXIAL DE COMPRESIÓN

Toda columna debe diseñarse como miembro sujeto a flexocompresión independientemente de que el análisis no haya indicado la presencia de momento. La resistencia a carga axial, se obtendrá por medio de la expresión :

$$P_R = F_R f_{cu} A$$

Donde $F_R = 0.7$ y A = área de la sección

Los efectos de esbeltez se tomarán en cuenta a través de la amplificación de momentos , en el caso de columnas compuestas de dos o más elementos, la esbeltez se considerará de manera independiente para cada elemento a no ser que se prevea un dispositivo que una los extremos de los elementos rígidamente con espaciadores adecuados.

La longitud sin soporte lateral L_u , de miembros bajo compresión se tomará como la distancia centro a centro entre soportes laterales capaces de proporcionar una fuerza de restricción lateral por lo menos igual al 4 % de la carga axial sobre el miembro.

Por otra parte, los miembros en compresión se dimensionarán considerando una longitud efectiva , $L_e = K L_u$, tomando $K = 1.0$, para miembros bajo compresión arriostrados contra desplazamientos.

Para miembros no arriostrados, los efectos de esbeltez podrán despreciarse si:

$$K L_u / r < \phi = 40$$

siendo r el radio de giro e la sección. Y para miembros arriostrados , los efectos de esbeltez podrán despreciarse si :

$$K L_u / r < \phi = 60 - 20 (M_1 / M_2)$$

donde M_1 y M_2 son los momentos actuantes en los extremos multiplicados por el factor de carga apropiado.

M_1 , es el momento menor y se considera negativo cuando ambos momentos producen curvatura

M_2 , es el momento mayor y siempre se considera positivo.

No se admiten valores de $K L_u / r$ superiores a 120

FORMULA DE INTERACCION PARA FLEXION UNIAIXIAL

Los miembros sujetos a compresión y flexión uniaxial deben satisfacer la siguiente expresión:

$$\frac{P_u}{P_R} + \frac{M_c}{M_R} < \phi = 1.0$$

$$P_R \quad M_R$$

Donde M_c es el momento amplificado que se aplicará para diseño con la carga axial P_u

y P_u es la carga axial última de diseño que actúa sobre el elemento y es igual a la carga de servicio multiplicada por el factor de carga apropiado.

Para determinar el momento tenemos que utilizar la expresión $M_c = \beta M_o > M_1$, en esta expresión M_o es el máximo momento sin amplificar que actúa sobre el miembro en compresión y es igual al momento de servicio multiplicado por el factor de carga apropiado, por lo que ;

$$\beta = C_m / (1 - P_u / P_{cr})$$

y $P_{cr} = F_R (\pi^2 E_{0.05} / (K L_u)^2) K_d K_c K_h ; F_R = 0.7$

Para miembros restringidos contra el desplazamiento y sin cargas transversales entre apoyos, el valor de $C_m = 0.6 + 0.4 (M_1/M_2) > 0.4$; para otros casos $C_m = 1.0$

Todos los miembros bajo compresión deberán dimensionarse para excentricidades en cada extremo iguales o mayores que :

- a) las correspondientes al máximo momento asociado a la carga axial
- b) 0.05 de la dimensión del miembro paralela al plano de flexión considerado , se supone que esta excentricidad ocasiona flexión uniaxial y curvatura simple.

FORMULA DE INTERACCION PARA FLEXION BIAxIAL

Cuando un miembro bajo compresión se encuentra sujeto a flexión respecto a ambos ejes principales , el momento de diseño respecto a cada eje se amplificará multiplicando por ϕ , calculada de acuerdo con las condiciones de restricción y rigidez a la flexión respecto al eje en cuestión , los miembros bajo compresión sujetos a flexión biaxial deben satisfacer la siguiente expresión :

$$\frac{P_u}{P_R} + \frac{M_{xua}}{M_{xR}} + \frac{M_{yua}}{M_{yR}} < \phi = 1.0$$

donde M_{xua} es el momento amplificado respecto al eje X

M_{yua} es el momento amplificado respecto al eje Y

M_{xR} es la resistencia de diseño a momento respecto al eje X

M_{yR} es la resistencia de diseño a momento respecto al eje Y

Los miembros sujetos a momento uniaxial y tensión deberán satisfacer la siguiente expresión:

$$\frac{T_u}{T_r} + \frac{M_u}{M_r} < \phi = 1.0$$

donde los numeradores son acciones de diseño y los denominadores son resistencias de diseño, los miembros sujetos a momento biaxial y tensión deberán de satisfacer la siguiente expresión:

$$\frac{T_u}{T_r} + \frac{M_{xua}}{M_{xR}} + \frac{M_{yua}}{M_{yR}} < 1.0$$

donde: M_{xua} es el momento amplificado respecto al eje X

M_{yua} es el momento amplificado respecto al eje Y

M_{xR} es la resistencia de diseño a momento respecto al eje X

M_{yR} es la resistencia de diseño a momento respecto al eje Y

IV.2.- RESISTENCIA DE DISEÑO DE PLACAS DE MADERA CONTRACHAPADA

Las propiedades de resistencia y rigidez deberán ser determinadas experimentalmente para el tipo de acción a que vayan a estar sometidos en la estructura y su comportamiento estructural deberá estar sujeto a criterios aprobados por el Departamento del Distrito Federal.

Cuando las placas se utilicen para soportar cargas en estructuras permanentes , deberán ser del tipo 3 (exterior a prueba de fuego) , y la calidad de las chapas exteriores deberá ser del tipo C o D

En la tabla A.1. se presentan las propiedades de la sección para una serie de combinaciones adecuadas de chapas para placas de madera contrachapada . Las propiedades de la sección para cualquier otro tipo de combinación deben ser calculadas a partir de los grosores de las chapas. En esta tabla, se presentan las propiedades efectivas de la sección que pueden ser utilizadas en el diseño estructural con placas de madera contrachapada, estas pueden ser fabricadas con un número de combinaciones diferentes de chapas, para cada uno de los grosores nominales de las placas , entendiéndose como grosor nominal la designación comercial del grosor de las placas de las chapas. Para determinar las propiedades de las diferentes secciones incluidas en la tabla se considerarán chapas de grosores nominales comerciales disponibles en México.

Las propiedades de la sección incluidas en la tabla para flexión , tensión , compresión y cortante en el plano de las chapas , se calcularán considerando únicamente las chapas con la fibra paralela a la dirección del esfuerzo. Para los cálculos de resistencia a cortante a través del grosor deberá utilizarse el área total de la sección transversal de la placa de madera contrachapada.

TABLA A.1.- Valores para obtener propiedades efectivas de las placas de madera contrachapada

No. De chapas	Orientación	Módulo de Sección	Momento de Inercia
3	90	2.0	1.5
4	90	1.2	1.2
todas las chapas	0	1.0	1.0

Las placas de madera contrachapada son un material ortotrópico y, por lo tanto, las propiedades efectivas de la sección usadas en los cálculos serán las correspondientes a la orientación de la fibra de las chapas exteriores prevista en el diseño.

La resistencia de diseño , T_R , a tensión paralela al canto de una placa de madera contrachapada se calculará como:

$$T_R = F_t f_{tu} A ; F_t = 0.7$$

La resistencia de diseño, P_R , a compresión paralela al canto de una placa de madera contrachapada se calculará como:

$$P_R = F_c f_{cu} A ; F_c = 0.7$$

La resistencia de diseño, M_p , de una placa de madera contrachapada sujeta a flexión por cargas perpendiculares al plano de la placa de determina por medio de:

$$M_p = F_b f_{bu} S ; F_b = 0.9$$

La resistencia de diseño a cortante en el plano de las chapas , V_{R1} , para las placas sujetas a flexión se calculará como :

$$V_{R1} = F_v (I_b / Q) F_{fv} ; F_v = 0.7$$

La resistencia de diseño a cortante a través del grosor, V_{R2} , de una placa de madera contrachapada se calculará como:

$$V_{R2} = F_v f_{vgn} A ; F_v = 0.7$$

La resistencia de diseño al aplastamiento normal al plano de las chapas , N_R , se calculará como:

$$N_R = F_c F_{nu} A_n ; F_c = 0.9$$

Las deflexiones de las placas de madera contrachapada sometidas a cargas transversales a su plano, o de las vigas con alma de madera contrachapada y patines de madera maciza, deberán calcularse utilizando las fórmulas apropiadas basadas en la hipótesis de un comportamiento elástico. Para las vigas con alma de madera contrachapada, la deflexión total calculada deberá ser igual a la suma de las deflexiones debidas a momentos y debidas a cortante . Solo que cuando se calcule la deflexión por cortante en forma separada de la deflexión por flexión , el valor del módulo de elasticidad podrá incrementarse en 10 %.

IV.3.- ELEMENTOS DE UNION

Las siguientes son algunas de las consideraciones que se tiene para la utilización de clavos, pijas o pernos en las uniones con madera.

Las uniones clavadas deberán de tener como mínimo dos clavos, y los espaciamientos entre clavos deberán ser tales de manera que se eviten las grietas en la madera.

La longitud de penetración en la madera deberá de ser igual a por lo menos la mitad de la longitud del clavo.

Las uniones con pernos y pijas deberán realizarse de manera que exista contacto efectivo entre las piezas unidas. Si el contenido de humedad es superior $18\% < CH < 20\%$, al efectuarse el montaje de la estructura en cuestión deberán hacerse inspecciones a intervalos no superiores a seis meses hasta verificar que los movimientos por contracción han dejado de ser significativos. En cada inspección deberán apretarse los elementos de unión hasta lograr un contacto efectivo entre las caras de las piezas unidas. Los agujeros deberán localizarse con precisión. Cuando se utilicen piezas metálicas de unión, los agujeros deberán localizarse de manera que estén bien alineados con los agujeros correspondientes en las piezas de madera.

Un grupo de elementos de unión está constituido por una ó más hileras de elementos de unión del mismo tipo y tamaño, dispuesta simétricamente con respecto al eje de la carga. Una hilera de elementos de unión está constituida por uno o más pernos del mismo diámetro, bajo cortante simple o múltiple, colocados paralelamente a la dirección de la carga, o por una o más pijas de las mismas características, bajo cortante simple, colocadas paralelamente a la dirección de la carga.

En lo que respecta a los grosores de los pernos, en las uniones que están sometidos a cortante simple se tomará como grosor efectivo el menor valor de dos veces el grosor de la pieza menor o el grosor de la pieza mayor. En uniones en cortante doble se tomará como grosor efectivo el menor valor de dos veces el grosor de la pieza lateral más delgada y no el grosor de la pieza central. Las piezas laterales metálicas deberán tener un espesor mínimo de 6 mm. Se dimensionarán de manera que sean capaces de resistir las cargas que transmiten.

Para colocar las pijas en las uniones debe hacerse con un taladro el cual tiene que satisfacer los requisitos especificados en el reglamento el cual nos dice que el taladro guía para la caña deberá tener el mismo diámetro que la caña y su profundidad debe ser igual a la longitud del tramo liso de la caña; también el taladro guía para el tramo con rosca deberá tener un diámetro entre 65 y 85% del diámetro de la caña para maderas latifoliadas del grupo I, a 60 a 75 % del diámetro de la caña para maderas de latifoliadas del grupo II, y a 40 y 70 % del diámetro de la caña para maderas del grupo III y coníferas.

Los espaciamientos y las distancias a los bordes y los extremos para uniones con pijas deber ser iguales a los especificados en el caso de los pernos con un diámetro igual al diámetro de la caña de la pija en cuestión.

La resistencia a la extracción de diseño de un grupo de pijas hincadas perpendicularmente a la fibra o determinada por la siguiente expresión, deberá ser igual o mayor que la carga de diseño.

$$Pr = Fr Ye Ip n$$

donde F_r = factor de reducción de resistencia = 0.7

n = número de pijas en el grupo

Y_e = resistencia especificada de extracción en kg/mm de penetración (de tablas)

l_p = longitud efectiva de penetración de la parte roscada de la pija en el miembro que recibe la punta (mm)

La resistencia de pijas hincadas paralelamente a la fibra deberá tomarse igual a la mitad de la correspondiente a las pijas hincadas perpendicularmente a la fibra.

Uniones con placas dentadas o perforadas

Se entiende por uniones con placas dentadas o perforadas , a uniones a base de placas de pequeño calibre en las que las transferencias de carga se efectúan por medio de dientes formados en las placas o por medio de clavos. Las placas deberán de ser de lámina galvanizada. Las uniones deberán detallarse de manera que las placas en los lados opuestos de cada unión sean idénticas y estén colocadas en igual posición.

Cuando se trate de placas clavadas deberá entenderse el término clavo en lugar de diente ; para que sean aplicables las reglas de dimensionamiento deberán satisfacerse las siguientes condiciones:

- a) que la placa no se deforme durante su instalación.
- b) que los dientes sean perpendiculares a la superficie de la madera.
- c) que la madera bajo las placas no tenga defectos ni uniones de " cola de pescado "
- d) que el grosor mínimo de los miembros sea el doble de la penetración de los dientes.

El dimensionamiento de uniones a base de placas dentadas o perforadas podrá efectuarse por medio de los siguientes procedimientos:

- a) Demostrando experimentalmente que las uniones son adecuadas mediante pruebas de los prototipos de las estructuras en que se utilicen dichas uniones. Las pruebas deberán realizarse de acuerdo a los lineamientos que establezca el Departamento del Distrito Federal.

b) Determinando las características de las placas requeridas de acuerdo con las capacidades de las placas obtenidas por medio de las pruebas que especifique el Departamento del Distrito Federal.

IV.4.- PROTECCION DE LA MADERA

Dentro de las consideraciones generales que debemos tomar en cuenta para el buen uso y manejo de la madera como elemento estructural, es que debe de estar exenta de infestación activa de agentes biológicos como hongos e insectos. Solo se permite cierto grado de ataque de insectos, siempre y cuando estos hayan desaparecido al momento de usar la madera en la construcción. No se debe admitir madera con pudrición en ningún estado de avance, solo se podrá usar maderas de coníferas de clases A o B , o maderas latifoliadas de calidad estructural.

Antes de la construcción, la madera deberá secarse a un contenido de humedad apropiado y tan parecido como sea práctico al contenido de humedad en equilibrio promedio de la región en la cual estará la estructura. Si el contenido de humedad de la madera excede el límite para madera seca que es del $18\% < CH < 20\%$, el material solamente podrá usarse si el riesgo de pudrición en el tiempo que dure el secado es eliminado.

La madera deberá ser almacenada y protegida apropiadamente contra cambios en su contenido de humedad y daño mecánico , de tal manera que siempre satisfaga los requerimientos de la clase estructural especificada. Además, se cuidará que la madera este debidamente protegida contra cambios de humedad, insectos, hongos y fuego durante toda la vida útil de la estructura, protegiéndosele ya sea por medio de tratamientos químicos , recubrimientos apropiados o prácticas de diseño adecuados.

Los preservadores solubles en agua o en aceite utilizados en la protección de la madera deberán de cumplir con las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM C-178-1993 " preservadores solubles en agua y en aceite", así como para tratamientos a presión los cuales deben cumplir la Norma Oficial Mexicana NOM -33 -1981, y para disminuir el riesgo por termitas subterráneas y termitas de madera la Norma Oficial Mexicana NOM -222 -1983.

El ensamblaje de estructuras deberá llevarse a cabo de tal forma que no se produzcan esfuerzos excesivos en la madera no considerados en el diseño. Los miembros torcidos o rajados más allá de los límites tolerados por las reglas de clasificación, deberán ser reemplazados. Los miembros dañados o apiastados localmente no deberán ser usados en la construcción. Además, deberá evitarse sobrecargar o someter a acciones no consideradas en el diseño a los miembros estructurales durante almacenamiento, transporte y montaje.

CONCLUSIONES

Como ya vimos es importante que en México se fomente más el uso de la madera explotando en forma adecuada los recursos naturales renovables que proporciona el territorio nacional ya que tendríamos una excelente producción de material para edificar construcciones y otras aplicaciones de este material.

Aunque, como en todos los materiales empleados en la Industria de la Construcción la madera nos ofrece ventajas y desventajas pero utilizándola de una manera racional podemos llegar a la conclusión que sería un material al alcance para economías de bajos recursos puesto que es de los de más bajo costo comparándolo con el acero y el concreto, además de que generaría más fuentes de empleo y menos daños al medio ambiente por que los métodos para obtenerla requieren de menos procesos químicos .

Por otro lado nos encontramos con el inconveniente de que los métodos estructurales para hacer el análisis de resistencia de miembros de madera aún es en la actualidad muy rudimentario en virtud de que nos tenemos que apoyar en gráficas y tablas de resistencia que a la postre resultan complicadas para su utilización pero que vale la pena ya que al final del proceso constructivo reditúa en gastos menores.

Actualmente, con la introducción en el mercado de productos químicos que nos sirven para hacer los acabados estéticos de alguna edificación , las cubiertas de madera han sido desplazadas quizá por la manejabilidad que tienen estos materiales, sin embargo tenemos que tener presente que el emplear la madera como acabado ya sea como duela o como cubierta, además de ser altamente estético da mayor realce a la habitación, no olvidando las características que esta nos proporciona como son el aislante térmico, acústico y la poca conductividad eléctrica que presenta este material.

Otro de los inconvenientes que pudiera presentarse al emplear la madera en las construcciones es que se tiene que tener especial cuidado en la preservación del material ya que además de cuidarlo de los ataques naturales de se presentan como son la infestación de hongos y termitas, tenemos que darle un mantenimiento periódico, pero aún con esto , me parece que es un material muy noble que nos brinda la naturaleza para hacer uso de él. Afortunadamente existen en el mercado productos químicos que acaban con el ataque de agentes dañinos para la madera por lo que por este motivo estamos protegidos, de los demás son inconvenientes que pueden presentarse con otros materiales tal vez en mayor o en menor grado , pero que se presentan.

Es por eso que me parece muy necesario crear una conciencia en el Ingeniero Civil , para que este trate de tomar los recursos que la naturaleza proporciona para transformarlos en un bien para la sociedad , que al fin de cuentas es el objetivo de esta profesión.

Es importante que dejemos de lado ese concepto que tenemos de la utilización de la madera en la Industria de la Construcción , ya que como gente ajena a esta actividad solo la vemos como un material de apoyo en obras provisionales como son las cimbras, utilizándola y desechándola en la mayoría de las veces, producto esto de la poca información que tenemos sobre de este material , pero que en realidad, nos presenta una gran variedad de usos.

Inclusive, las Normas Técnicas Complementarias nos dan la pauta para hacer un buen uso de ella ya que nos informan desde el diseño de miembros sujetos a compresión, flexión, cortante, flexocompresión, flexotensión y torsión , inclusive de los cuidados que se tiene que tener en la conservación de la madera, los elementos de unión existentes de acuerdo al elemento estructural que vaya a utilizarse y las medidas que tenemos que tomar como medida de emergencia para prevenir un incendio.

En fin , tenemos todos los elementos necesarios para hacer un buen uso de la madera, solo falta que tratemos de utilizarla razonablemente y en circunstancias favorables para la buena ejecución de una obra civil.

BIBLIOGRAFIA

BILBIOGRAFIA

- 1.- ESTRUCTURAS DE MADERA, ROBLES FERNANDEZ, VILLEGAS FRANCISCO
- 2.- LA MADERA: ESTUDIO ANATOMICO Y CATALOGO DE ESPECIES MEXICANAS, CAMACHO URIBE, DANIEL.
- 3.- ESCALERAS, INTERIORES Y EXTERIORES, PRANCHT T / KLAUS
- 4.- CARPINTERIA Y EBANISTERIA, GRONEMAN , CHRIS HAROLD
- 5.- CIMBRAS, INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO
- 6.- LEGISLACION DE MONTES, MASA ORTIZ MIGUEL.
- 7.- FUNDAMENTOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL, HILL LOUIS.
- 8.- CALCULOS DE CONSTRUCCION, COMPANY VARELA, MANUEL.
- 9.- CONSTRUCCION DE MADERA, TIMBER ENGINEERING COMPANY.
- 10.- ENCOFRADOS, GRIÑAN PEREZ, JOSE.
- 11.- CUBIERTAS PARA TABIQUES DE MADERA.
- 12.- MANUAL DE MADERAS, ERNITZ, ANATOLIO.
- 13.- RECOPIACION DE CONSTRUCCIONES DE MADERA, PUNTOS COMES, RICARDO.
- 14.- PRONTUARIO DE LA MADERA, COMA BALBUENAS , PEDRO.
- 15.- RECUBRIMIENTOS DE MADERA EN PAREDES Y TECHOS, GANTZ, CONRAD.
- 16.- DIVISIONES INTERIORES DE MADERA, GANTZ, CONRAD.
- 17.- INTRODUCCION A LA MECANICA DE SOLIDOS, EGOR, POPOV.
- 18.- ANALISIS ELEMENTAL DE ESTRUCTURAS, NORRIS Y WILBUR.
- 19.- MANUAL DEL CARPINTERO DE OBRA NEGRA, INSTITUTO DE CAPACITACION DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.
- 20.- DISEÑO DE CIMBRAS DE MADERA, ALCARAZ LOZANO, FEDERICO.
- 21.- COSTO Y TIEMPO EN EDIFICACION, SUAREZ SALAZAR.
- 22.- DISEÑO SIMPLIFICADO DE ESTRUCTURAS DE MADERA, PARKER, HARRY.
- 23.- REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES DEL DISTRITO FEDERAL. NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS PARA ESTRUCTURAS DE MADERA.