Directorio de Profesores del Curso Usos Estructurales de la Madera y sus Aplicaciones en la Vivienda Noviembre de 1980.

1. Arq. Héctor Ceballos Lascurain
   Subdirector Técnico
   FOVI Banco de México, S.A.
   Insurgentes Sur 1106-5° Piso
   México 11, D.F.
   559 99 00 Ext. 25

2. M. en C. Raymundo Dávalos Sotelo
   Instituto Nacional de Investigaciones
   sobre Recursos Bióticos
   Jefe de Proyecto de Calificación y Clasificación
   de Materias de Pino para Fines Estructurales
   Heróico Colegio Militar No. 7
   Xalapa, Ver.
   527 91

3. Dr. Ramón Echenique Manrique
   Subdirector
   Instituto Nacional de Investigaciones
   sobre Recursos Bióticos
   Heróico Colegio Militar No. 7
   Xalapa, Ver.
   527 91

4. Arq. Manuel Elorza W. (Coordinador)
   Gerente Técnico
   Consejo Nacional de la Madera en la Construcción, A.C.
   Popocatepetl No. 10
   México 11, D.F.
   574 47 93

5. Ing. Federico Hach (Coordinador)
   UAM
   Av. Sn. Pablo S/N
   Azcapotzalco
   Z.P.16
   382 50 00 Ext. 298

6. Arq. Juan Diego Jiménez Rueda
   Director General
   Jiménez Rueda y Asociados, S.C.
   Alvaro Obregón No. 284-403
   México 7, D.F.
   514 20 20

7. Ing. James Lynch Shea
Directot Técnico
Paneles de Madera y Concreto, S.A.
Electrón 22
Parque Industrial
Naucalpan, Edo. de Mex.
576 03 99

8. Ing. Federico Martínez de Hoyos
Aprovechamientos Forestales de Nayarit
Tabasco 173
México 7, D.F.
528 65 84

9. Ing. Víctor Angel Pérez Guillén
Industrias Papanoa, S.A.
Fuego 622
Pedregal de San Angel
México, D.F.
568 15 76

10. Ing. Francisco Robles Gálvez
Asesor Técnico
Depto. de Supervisión Técnica
Dirección General de Aprovechamientos Forestales
S A R H
Netzahualcoyotl No. 109-4°
México 1, D.F.
521 93 09

11. Ing. Francisco Javier Salas
Protectora Industrial de Bosques
Villada No. 505 Sur
Toluca, Edo. de Mex.
51900

12. Ing. Guillermo Salazar Polanco
Presidente del Consejo de Administración
GSP e Ingenieros Asociados, S.A.
Manuel Ma. Contreras 96-402 y 403
Col. Sn. Rafael
México 4, D.F.
566 06 11

'edcs.

USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES EN LA VIVIENDA
( 10 al 26 de noviembre de 1980)

| FECHA | HORARIO | TEMAS | PROFESORES |
|---|---|---|---|
| 0 de noviembre | 18 a 18:30 | INTRODUCCION | |
| | 18:30 a 21 | ASPECTOS GENERALES DE LA MADERA<br>Ventajas y desventajas que ofrece la madera como material estructural, cantidad y distribución de los recursos forestales. Panorama de la situación en México en lo que se refiere al aprovechamiento de los bosques, a la situación del mercado y las perspectivas futuras de la tecnología en madera. | Dr. Ramón Echenique Manrique |
| 11 y 12 de noviembre | 18 a 21<br>cada día | CARACTERISTICAS TECNOLOGICAS DE LA MADERA<br>Propiedades físicas y mecánicas de la madera. Factores que influyen en el comportamiento mecánico de la madera. Durabilidad. Objetivos del secado. El secado en México. Tratamientos para la madera contra hongos, insectos y fuego. | Dr. Ramón Echenique Manrique |
| 13 de noviembre | 18 a 19:30 | FINANCIAMIENTO Y NORMAS<br>Financiamiento, seguros, normas y carácter técnico para la construcción de viviendas de interés social con estructuras de madera. | Arq. Héctor Ceballos Lascuráin |
| | 19:30 a 21 | FORMAS COMERCIALES DE UTILIZACION DE LA MADERA<br>Descripción de productos derivados de la madera. Piezas sólidas, madera laminada, tableros contrachapados, aglomerados y de fibra | M en C Raymundo Dávalos Sotelo |
| | | REGLAS DE CLASIFICACION Y NORMAS<br>Reglas de clasificaciones y clasificación existentes, sus aplicaciones actuales y perspectivas futuras. | M en C Raymundo Dávalos Sotelo |
| | | ESFUERZOS EN MADERAS MEXICANAS Y AGRUPAMIENTO<br>Proceso de derivación de esfuerzos permisibles en madera laminada y en madera contrachapada. | |

| FECHA | HORARIO | TEMAS | PROFESORES |
|---|---|---|---|
| 14 de noviembre | 18 a 21 | REGLAMENTOS<br>Reglamentos de construcción, sus bases y distintos enfoques. | M en C Raymundo Dávalos Sotel |
| 15 de noviembre | 10 a.m. | VISITA TECNICA A PROTINBOS<br>Industrialización de la madera | Ing. Francisco Javier Salas y<br>Arq. Manuel Elorza W. |
| 17 de noviembre | 18 a 21 | DIMENSIONAMIENTO DE MIEMBROS ESTRUCTURALES SENCILLOS<br>Comportamiento y dimensionamiento de elementos estructurales a tensión, compresión, flexión y esfuerzos combinados, ejemplos. | Ing. Francisco Robles Galvez |
| 18 de noviembre | 18 a 21 | CONEXIONES(CLAVOS,TORNILLOS,PERNOS,PEGAMENTOS ESTRUCTURALES)<br>Diferentes tipos de unión existentes, sus ventajas y desventajas. Comportamiento y criterios de diseño. Ejemplos. | Ing. Francisco Robles Gálvez |
| 19 de noviembre | 18 a 21 | USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA EN LA VIVIENDA<br>Aspectos prácticos de la construcción con madera construcción, adquisición, transporte, manejo, maquinaria para madera, maniobras y montaje. Inspección Supervisión. | Arq. Juan Diego Jiménez Rueda<br>Ing. James Lynch Shea<br>Ing. Víctor Angel Pérez Guillé |
| | | Sistemas Constructivos.<br>Formas, componentes y sistemas estructurales para piso, muros y techos. Detalles de armado, anclaje y contraventeo. | Ing. Federico Martínez de Hoyo |
| 24 y 25 de noviembre | 18 a 21<br>cada día | INTRODUCCION AL DISEÑO DE ARMADURAS<br>Tipos de armaduras (de elementos sencillos o especiales), claros, conexiones y su dimensionamiento. Armado, montaje y contraventeo. Ejemplo de dimensionamiento de una armadura ligera con carteles clavadas. | Ing. Guillermo Salazar Polanco |
| 26 de noviembre | 18 a 21 | DISEÑO Y PROTECCION CONTRA EL FUEGO<br>Comportamiento de la madera bajo fuego. Requerimientos estructurales y de protección. | Ing. Federico Martínez de Hoyo |
| | | MESA REDONDA | |

pmc.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES EN LA VIVIENDA

# SECADO DE LA MADERA

DR. RAMON ECHENIQUE MANRIQUE

NOVIEMBRE, 1980

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

# SECADO DE LA MADERA

Son dos los objetivos principales los que se persiguen en secar la madera.

1. Reducir la humedad de la madera hasta el contenido de humedad al cual se va a usar.

2. Secarla de la manera más economicamente posible con un mínimo de defectos, en el tiempo mas corto posible y con el equipo mínimo.

Algunas de las características de la madera que se ven afectadas grandemente por el secado son las siguientes:

1. Estabilidad de la madera.- Podemos minimizar los cambios dimensionales que una pieza de madera experimentará y a esta la secámos hasta un contenido de humedad cercano al promedio al cual va ser usada.

2. Peso de la madera.- Facilita y reduce los costos de transporte, al reducirse el peso de la madera.

3. Resistencia mecánica.- Debido a la pérdida de humedad la pared celular aumenta en rígidez y por

lo tanto en resistencia mecánica (por abajo del P.S.F.). Las piezas de madera grandes al secarse por lo regular sufren defectos los cuales reducen la resistencia mecánica de la pieza por lo que en esta forma igualan el aumento en resistencia debido al secado.

4. Resistencia a la pudrición.- La pudrición no se puede desarrollar en madera seca con un C.H. por abajo del P.S.F.

5. Propiedades térmicas.- La tasa de conducción de calor se reduce conforme el contenido de humedad de la madera se reduce

6. Propiedades eléctricas.- Entre más seca esta la madera, mayor es la resistencia al flujo de corrientes eléctricas.

7. Aplicación de adhesivos.- Dos piezas de madera que se unen con un adhesivo, deben tener el mismo contenido de humedad o de lo contrario se desarrollarán esfuerzos a lo largo de la línea de pegamento cuando se seca la madera y se uniformiza el contenido de humedad, causando distorsiones y en ocasiones fallas.

8. Acabados.- Un acabado de la madera no se puede aplicar adecuadamente si el contenido de humedad no es

el correcto para el tipo de acabado que se aplica.

9. Preservación.- En la mayoría de los casos cuando se aplican preservadores, las celulas deben estar vacias para que la solución preservadora penetre la madera. Un contenido de humedad cercano al P.S.F. podría considerarse el más apropiado.

10. Maquinado.- Estos procesos los mejores contenidos de humedad fluctuan entre 6 y 12%, pero varía según la especie.

Factores físicos que afectan el secado de la madera.-

La madera es un material higroscópico, es decir adsorbe humedad cuando es expuesta bajo condiciones en que la presión relativa de vapor de la atmósfera circundante es mayor que la de la madera. La Desorción ocurre cuando se tienen las condiciones opuestas.

Las dos formas más comunes de secar madera, es decir secado al aire libre y secado en estufa, involucran una combinación de evaporación de agua dentro de la madera y su difusión a la superficie y la difusión de agua fija hacia la superficie y su evaporación. En algunos casos esto se combina con movimiento de agua líquida hacia la superficie bajo la influencia de tensión o presión creada internamente seguida después por evaporación.

El medio con el que se seca la madera es aire y son tres los factores principales que afectan la capacidad de secado del aire.

1. Calor.- Afecta la evaporación de humedad de la superficie, y también tiene un efecto profundo sobre la tasa de movimiento con la que se translada la humedad a la superficie de la madera.

2. Humedad.- Afecta la tasa de eva oración de la humedad de la superficie de la madera a cierta temperatura.

3. Circulación de aire.- Lleva el calor a la madera para lograr su efecto sobre la evaporación y también se lleva la humedad después que esta se evaporó de la superficie de la madera.

Calor es una forma de energía que puede ser transferida de un cuerpo a otro cuando existe una diferencia de temperatura entre los dos cuerpos. La transferencia consiste en el calentamiento de uno y en el enfriamiento del otro. El calor se mide con las unidades calorías.

La temperatura es la intensidad del calor, es decir el grado de caliente o frío de un cuerpo y es lo que determina la dirección hacia la cual el calor se moverá.

Movimiento de Humedad.-

En realidad es poco lo que se sabe sobre este ema, sobre todo si se toma en cuenta la importancia económica que se tiene en secar madera.

Tenemos tres superficies en la madera en la que se lleva a cabo la sorción:

1. La superficie externa
2. La superficie de las cavidades celulares y espacios intercelulares.
3. La superficie de las fibrillas (menos orientadas) en las paredes celulares.

Según Stamm si se tiene un cubo de madera de una pulgada por lado y de una gravedad específica de 0.40 PA/VV, las superficies para la sorción serían:

1. Superficie externa = 6 $in^2$ = ,0039 $m^2$
2. Superficie de cavidades celulares = 15 $ft^2$ = 1.39$m^2$
3. Superficie de las fibrillas cuando la pieza esta en la condición "hinchada" = 1/2 Acre=2000.00$m^2$

Ya que la sorción es un fenómeno de superficie es obvio que la correspondiente al interior de las paredes celulares es la más importante de todas debido a su magnitud.

Vías para el movimiento de humedad.-

1. Lumenes de celulas.- Funcionan principalmente en la dirección longitudinal. El movimiento de humedad (agua líquida) tiende a ser más lento en el duramen que en la albura, debido a la deposición de extractivos en los lumenes.

2. Aberturas en las membranas de puntuaciones y cavidades de puntuaciones.- Actuan en el movimiento de humedad en las direcciones longitudinal y transversal. La presencia de extractivos pueden hacer más lento el movimiento de humedad a través de estas vías. En las coníferas existen pequeñas aberturas en la membrana (margen) entre el toro y la pared celular. En las angiospermas la membrana es sólida

y no tiene aberturas.

3. Celulas de rayo.- Agua libre y vapor de agua pasan por ellas. Se piensa son importantes en las especies que tienen muchos rayos.

4. Canales resiniferos y espacios intercelulares.- Su importancia depende en las características anatómicas de la especie. Nuevamente la presencia de extractivos afecta la velocidad del movimiento de la humedad. En algunas especies los espacios intercelulares comunmente comprenden una gran porción del área de la superficie transversal de la madera.

5. Capilares transitorios de las paredes celulares.- Se presentan en las regiones menos ordenadas de la pared celular y varían en tamaño de acuerdo al contenido de humedad de la madera. El tamaño máximo es cuando la madera basta con contenidos de humedad iguales o por arriba del P.S.F., y mínimo cuando la madera esta seca al horno. El agua unicamente puede estar en forma líquida en esta región. Las fuerzas de atracción de la celula por el agua son tan grandes que cuando vapor de agua entra al sistema se condensa.

Fuerzas responsables del movimiento de humedad.-

1. La acción capilar causa que el agua libre fluya principalmente a través de las cavidades celulares, cavidades de puntuaciones y aberturas en las cavidades de las puntuaciones. Esta acción es relativamente poco importante en secar madera en tamaños de tablas y tablones, ya que es efectivo en una capacidad secundaria, usualmente en el interior de las piezas.

2. Diferencias de presión de vapor causan que la humedad que esta en forma de vapor fluya a través de cavidades celulares, cavidades de puntuaciones, aberturas en membranas de puntuaciones y espacios intercelulares. Son particularmente efectivas a altas temperaturas y bajos contenidos de humedad y en maderas de gravedad específica baja (Difusión).

3. Diferencias en contenido de humedad que causan movimiento a través de los capilares transitorios del agua líquida fija. Son muy importantes en el secado a bajas temperaturas (Difusión). - Opera unicamente a contenidos de humedad por abajo del punto de saturación de la fibra. Las moléculas de agua tienden a moverse de regiones de poca a regiones de más atracción de la celulosa por el agua. Existe una diferencia en contenidos

de humedad entre dos lados de la pared celular.

El movimiento de humedad a bajos contenidos de humedad como agua fija es muy difícil por lo que la difusión de vapor de agua es mucho más importante.

Algunos factores importantes en el movimiento de humedad por abajo del punto de saturación de la fibra.

1. Baja temperatura.- Menor movimiento de vapor y menos vibración de las moléculas de agua en las paredes celulares.

2. Altos contenidos de humedad.- Entre más bajo sea el contenido de humedad es más difícil extraer las moléculas de agua de la celulosa.

3. Altas gravedades específicas.- Entre más sustancia madera tenga que atravesar las moléculas de agua, será más lento el movimiento de humedad.

Consideraciones adicionales sobre las etapas de secado.-

1. Durante las etapas iniciales del secado, teóricamente se asume que el factor que está controlando el proceso es la remoción de humedad de las capas exteriores de la madera.

2. Durante las últimas etapas del secado, teóricamente el factor que controla el proceso es la difusión de la humedad del interior de la pieza a las superficies externas.

3. En etapas intermedias ambos factores, difusión de humedad del interior y exterior y la remoción de humedad de las superficies externas son las que controlan el proceso. Se puede decir que el secado de la madera es un balance dinámico entre la transferencia de calor de la corriente de aire a la madera, evaporación de las superficies de la madera, difusión de humedad dentro de la madera y flujo de agua líquida en la madera.

<u>Factores que afectan la velocidad de secado:</u>

1. La madera de albura de cada especie se seca con más rapidez que el duramen.

2. La velocidad de secado por los extremos de las fibras (sección transversal) es de 10 a 15 veces más rápido que por las superficies radiales y tangenciales.

3. Por lo regular la madera de coníferas se seca más rápido que la madera de angiospermas.

4. La velocidad de secado, tomando como fijos otros factores, depende de la velocidad del aire que pasa por las estibas de madera.

5. La velocidad de secado es directamente proporcional a la temperatura e indirectamente proporcional a la humedad relativa.

6. Para cada cambio unitario en contenido de humedad, una mayor cantidad de agua (gr) se necesita extraer de las superficies de secado correspondientes a piezas gruesas, y también a las de más densidad. (Recordemos que C.H. se expresa como la relación de agua extraída entre el peso anhídro de la madera).

7. El tiempo que se requiere para reducir cierto porciento de contenido de humedad es directamente proporcional al grueso de la pieza y a la densidad de la madera. (Es porque el peso del agua que se evapora de las superficies de la pieza en cierto tiempo es independiente del grueso y densidad de la pieza, pero el contenido de humedad que cierto peso representa, es directamente proporcional a ambas, densidad y grueso).

GRUPO 1

a) Tiempo es directamente proporcional al grueso.

$$\text{Tiempo} \propto \text{grueso}$$

b) Tiempo es directamente proporcional a densidad.

$$\text{Tiempo} \propto \text{densidad}$$

c) Tiempo es inversamente proporcional a la diferencia en temperaturas entre bulbo seco y humedo.

$$\text{Tiempo} \propto 1/\text{depresión bulbo humedo}$$

d) Tiempo es aproximadamente inversamente proporcional a la velocidad del aire

$$\text{Tiempo} \propto 1/\text{velocidad del aire}$$

8. Si la tasa o velocidad de difusión de humedad del interior a la superficies externas de la pieza es el factor que controla o limita, entonces el tiempo que se requiere para conseguir cierta reducción en contenido de humedad es directamente proporcional al cuadrado del grueso o la densidad de la pieza. Si la densidad o el grueso de las piezas se incrementan es más difícil para que cierta cantidad o peso de agua logre llegar a la superficie

de la madera y también una mayor cantidad de agua, se requiere para cierta reducción en contenido de humedad.

GRUPO 2

a) Tiempo es directamente proporcional al cuadrado del grueso de pieza.

$$\text{Tiempo} \propto (\text{grueso})^2$$

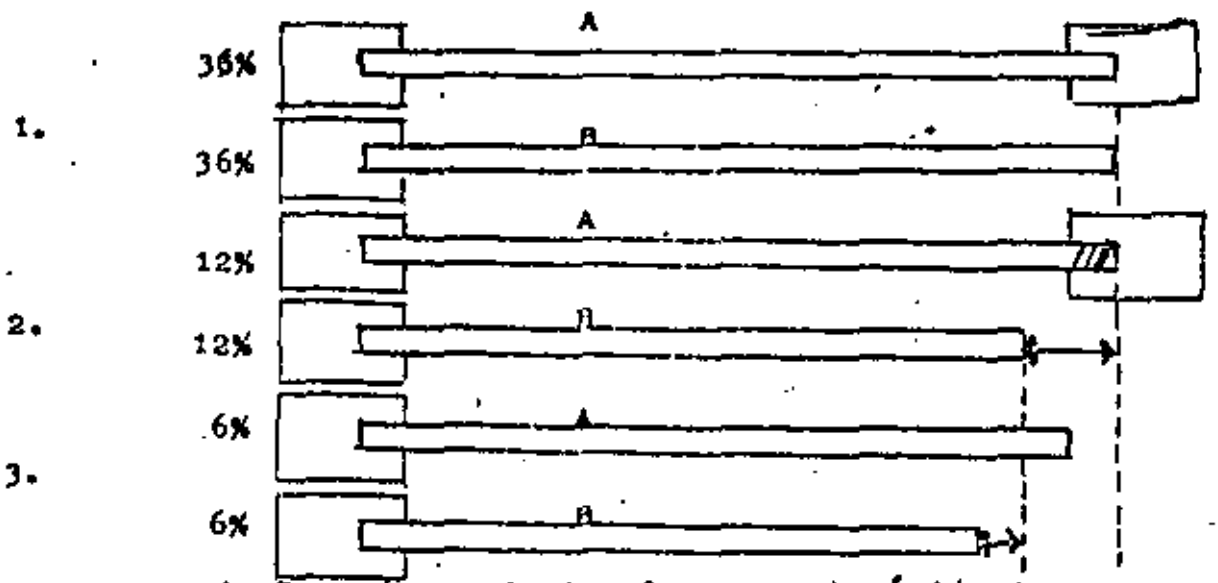
b) Tiempo es directamente proporcional al cuadrado de la densidad de la pieza.

$$\text{Tiempo} \propto (\text{densidad})^2$$

Una especie de madera impermeable, como por ejemplo algún encino, se puede esperar que el secado siga las "recetas" o "reglas" del segundo grupo ya que el secado de especies impermeables, se puede asumir que está controlado por difusión, teniendo velocidad cero cuando seca. Para muchas de las especies permeables, se puede decir que en los inicios del secado siguen las "recetas" o "reglas" del grupo 1 pero generalmente cambian a las del grupo dos en etapas posteriores, cuando la resistencia interior al exterior se convierte en el factor de control. Por lo tanto se ha dicho que una "regla

seguir" es que el tiempo total de secado es directamente proporcional al grosor y a la densidad de las piezas elevada al 1.5.. El tiempo total requerido para secar madera aumenta con aumentos en el contenido inicial de humedad, para especies impermeables, en donde la tasa de remoción de humedad de la superficie es el factor limitante, y también para especies impermeables en que la difusión es el factor limitante para no existe movimiento de agua - libre. Sin embargo para las especies moderadamente permeables que exhiben un gradiente de humedad parabólico durante el tiempo de secado, el tiempo total puede ser independiente del contenido de humedad inicial. Por lo que el contenido de humedad tiende a ser más importante con las especies más impermeables.

Deformación permanente (set)




1. Dos piezas de iguales características. - Una de ellas esta fija en ambos extremos, la otra unicamente de uno.

Contenido de humedad en equilibrio (C.H.E) –

La madera es un material higroscópico, y éste significa que absorverá agua de aire humedo o la dejará escapar a aire relativamente seco. Así tenemos por ejemplo que si una pieza de madera seca con un contenido de humedad en equilibrio con la atmósfera circundante de 9%, la trasladamos del interior de una oficina a un invernadero en donde hay una gran cantidad de humedad en la atmósfera, la madera adquirirá moléculas de agua del aire hasta que su contenido de humedad llegue a equilibrarse con el del aire que la rodea, pudiendo ser esto de 18%. Por lo tanto el C.H.E. es el contenido de humedad en el cual la madera no gana o pierde humedad cuando está rodeada de aire con cierta temperatura y humedad relativa.

Métodos comunes de secado:

Métodos comunes de secado:

El método más común es extraer humedad de la madera en forma de vapor de agua para lo cual es necesario suministrarle calor. Existen dos formas principales de como es que el calor se le puede hacer llegar a la madera. Una de ellas es el secado al aire libre o a temperaturas ordinarias del medio ambiente, y la otra es en estufas en donde se eleva la temperatura artificialmente por arriba de la del medio ambiente sin exceder en la mayoría de los casos los 100°C. Ambas formas en realidad se pueden considerar fundamentalmente como la misma, ya que se usa el aire como el medio a través del cual se conduce el calor a la madera y recoge el vapor extraído.

En el secado al aire libre, la madera se dispone en capas con tiras separadoras, formando paquetes, para

que el aire circule entre las piezas de madera llevándose el vapor de agua. En el secado en estufa se dispone la madera en forma similar y se coloca dentro de cuartos cerrados en donde se controla artificialmente el calor, humedad relativa y circulación del aire, hasta que la madera alcance el contenido de humedad deseado. En ambas formas la capacidad de secado se ve afectada por los siguientes factores, los cuales en los procesos se tratan de optimizar.

Calor: Afecta la evaporación de la humedad de la superficie de la madera, y también tiene un gran efecto sobre la tasa a la que la humedad se mueve a la superficie de la madera.

Humedad: Afecta la tasa de evaporación de humedad de la superficie de la madera.

Circulación de aire: Como se mencionó anteriormente conduce el calor a la madera y se lleva el vapor de agua de la superficie de las piezas.

Secado aire libre:

Como se mencionó anteriormente este método consiste esencialmente en disponer la madera en paquetes formando capas con separadores entre ellas y colocados en exteriores para que el aire de la atmósfera circule entre

ellas y lleve a cabo el secado. Una modificación de este método es localizar los paquetes bajo una estructura techada pero sin paredes, la cual protege a la madera de la lluvia y de los rayos directos del sol, pero permite que el aire de la atmósfera circule libremente entre las capas de madera. Mediante este método la madera se deja en los patios de secado hasta que alcance un contenido de humedad entre 15% y 23%. En México este es el método más usual de secar madera, y los contenidos de humedad que se logran son en la mayoría de los casos suficientes para ser usada para fines estructurales.

La ventaja principal de este método sobre otros en su bajo costo inicial, ya que la inversión es relativamente baja (no tomando en cuenta la madera que se tiene "atada" durante el proceso que puede ser de dos a tres meses). Las limitaciones más importantes están relacionado con el poco control que se tiene sobre los factores de secado, y depende en gran medida del clima y variaciones diarias de éste.

Secado en estufa:

Tal como lo apuntamos antes, el método consiste basicamente en colocar la madera en paquetes dispuesta en capas entre separadores dentro de un cuarto en donde se tiene control del calor, humedad relativa y circulación de aire hasta que la madera alcanza un contenido de humedad predeterminado, inferior al 15%. Mediante este método el proceso de

secado se puede acelerar considerablemente (de 1/10 a 1/30 del tiempo requerido al aire libre), reducir los defectos causados durante el proceso y secar la madera a contenidos de humedad deseados y apropiados para el uso al que se le va a dar. Los costos directos de secado en estufa son mucho más altos que los de secado al aire libre/ En México se ha venido incrementando el uso de estufas paulatinamente, sobre todo para secar madera para muebles, pisos y lambrines.

Secuelas de secado.-

Son guías para el uso apropiado de temperatura y humedad relativa dentro de estufas de secado para ciertas especies y dimensiones de piezas. La selección de la secuela se basa en los siguientes factores:

1. Especie
2. Contenido de humedad inicial
3. Grueso
4. Uso al que se destinará la madera
5. Tipo de estufa
6. Calidad de madera

Temperatura inicial.-

La experiencia nos ha demostrado que existe para cada especie de madera una temperatura crítica que no se debe exceder durante las etapas iniciales de secado. Una temperatura alta debilita la madera lo suficiente para que se produzcan hendiduras en la superficie y colapsos. La madera es más débil a temperaturas altas, también es más plástica y puede sufrir deformaciones permanentes a esfuerzos más bajos que a temperaturas menores.

Es necesario mantener relativamente baja la temperatura, mientras que la madera está sujeta a fuerzas de

capilaridad y al incremento de esfuerzos en compresión, los cuales continúan aumentando hasta un poco antes de que cambien los esfuerzos de sentido.

Es obvio que si las celulas de la madera estan completamente llenas de agua y si las condiciones de humedad relativa son tales que extraigan esa agua por capilaridad, las paredes celulares resistirán menos esta fuerza si la temperatura es alta.

La aparición de hendiduras superficiales esta más relacionado con la humedad relativa que con la temperatura. Sin embargo, las hendiduras pueden aparecer más rapidamente cuando se usan altas temperaturas iniciales y si el operador de la estufa falla en mantener condiciones de humedad relativa alta.

Temperaturas intermedias y finales.-

Durante las etapas intermedias del secado, se ha pasado ya del peligro de aparición de hendiduras superficiales, pero los esfuerzos y deformación permanente en compresión en el interior de las piezas continúa en aumento, por lo que es recomendable no exceder cierta temperatura crítica en esta etapa, de lo contrario se obtiene excesiva deformación permanente en compresión.

Después del cambio en el sentido de los esfuer

zos unicamente nos debemos preocupar del efecto de temperaturas altas sobre los esfuerzos a tensión en las capas del centro.

Se ha determinado que el apanalamiento no puede aparecer cuando la zona mas humeda de la madera pasa abajo del punto de saturación de la fibra. De todas maneras, madera con un contenido de humedad entre 20 y 30 porciento de contenido de humedad se debe de considerar como zona marginal, y bajo ciertas circunstancias, el uso de temperaturas muy altas podría propiciar la aparición de apanalamiento. Usualmente esto sucede en las etapas más tempranas en la última parte del secado.

Después de que ha pasado el peligro de apanalamiento es recomendable usar temperaturas lo más altas posibles para ayudar a que desaparezcan las deformaciones permanentes previas en tensión y compresión.

Por lo tanto la secuela de secado en estufa de carácter práctico, para material verde, consistiría probablemente en una temperatura baja inicial, después una temperatura intermedia y al final una temperatura alta.

Efecto de temperatura sobre las contracciones.-

Entre más alta es la temperatura, la madera es más plástica y también incrementa las contracciones.

Por lo regular 6/10 de la pieza tiene deformación permanente en compresión y 4/10 en tensión. De donde se deduce que la cantidad de deformación permanente en compresión gobierna las contracciones o por lo menos tiene mayor influencia que la deformación permanente en tensión.

La etapa inicial en el secado es crítica en el desarrollo de las deformaciones permanentes. Aparece conveniente llevar a cabo el secado inicial bajo temperaturas bajas (secado al aire libre antes de secar en estufa). Esto disminuye la cantidad de deformación permanente, y los esfuerzos en tensión y compresión son menos y obtenemos menos contracciones en esta manera.

Factores de Humedad Relativa.-

La severidad de los esfuerzos de secado está íntimamente asociada a la pendiente del gradiente de humedad dentro de la madera. Cuando los esfuerzos de tensión en la superficie se incrementan más alla de la resistencia de la madera, aparecen hendiduras. Por lo que está bien claro que la humedad relativa se tiene que controlar para mantener inicialmente un alto contenido de humedad en equilibrio.

Después que los esfuerzos a tensión en la superficie alcanzan su máximo e inician a cambiar de sentido hacia compresión, no es necesario mantener una humedad -

relativa alta. En la práctica a un ligero cambio en humedad relativa, le sigue otro y luego otro incrementando la magnitud del cambio, y esto trae como consecuencia cambios correspondientes en el Contenido de Humedad en Equlibrio.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

# USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES EN LA VIVIENDA

## FINANCIAMIENTO Y NORMAS

ARQ. HECTOR CEBALLOS LASCURAIN

NOVIEMBRE, 1980

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

# PROGRAMA FINANCIERO DE VIVIENDA

UNO DE LOS MECANISMOS ESTRUCTURADOS POR EL GOBIERNO FEDERAL PARA COADYUVAR A LA SOLUCION DEL PROBLEMA HABITACIONAL, ES EL PROGRAMA FINANCIERO DE VIVIENDA, PUESTO EN MARCHA EN EL AÑO DE 1963. DICHO PROGRAMA REPRESENTO EN SU MOMENTO EL ESFUERZO MAS IMPORTANTE EN MATERIA DE HABITACION YA QUE LOS BENEFICIOS DEL MISMO ESTAN DIRIGIDOS A PROPORCIONAR VIVIENDA EN PROPIEDAD A UN GRAN NUMERO DE FAMILIAS DE MEDIANOS Y ESCASOS RECURSOS. ACTUALMENTE, DENTRO DEL CONTEXTO NACIONAL DE LOS PROGRAMAS INSTITUCIONALES ORIENTADOS A ATENDER A ESOS SECTORES, TIENE UNA SIGNIFICATIVA PARTICIPACION, YA QUE DE LA SUMA DE RECURSOS INVERTIDOS EN 1979 POR LOS PRINCIPALES ORGANISMOS DE VIVIENDA DEL SECTOR PUBLICO (INFONAVIT, FOVISSSTE, INDECO, BANOBRAS) MAS LOS QUE SE CANALIZARON A TRAVES DEL CITADO PROGRAMA FINANCIERO, ESTOS ULTIMOS REPRESENTARON APROXIMADAMENTE EL 25% DEL TOTAL.

PARA LA IMPLEMENTACION DEL PROGRAMA HUBO NECESIDAD DE ADECUAR DIVERSAS DISPOSICIONES EXISTENTES, CON EL OBJETO DE DESTINAR PARTE DE LOS RECURSOS QUE CAPTA EL SISTEMA BANCARIO A LA CONSTRUCCION DE VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL, FACILITANDO EL ACCESO A LOS CANALES ORDINARIOS DE CREDITO A UN AMPLIO SECTOR DE LA POBLACION.

LOS OBJETIVOS FUNDAMENTALES DEL PROGRAMA FINANCIERO DE VIVIENDA, PUEDEN RESUMIRSE EN LA SIGUIENTE FORMA:

A.- INCREMENTAR LA OFERTA DE VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL, MEDIANTE LA REALIZACION DE ESFUERZOS CONJUNTOS Y DE LARGO ALCANCE, POR PARTE DEL ESTADO, DEL SISTEMA BANCARIO Y DE OTROS SECTORES DE LA COLECTIVIDAD.

B.- LOGRAR QUE LAS INSTITUCIONES DE CREDITO CONCEDAN FINANCIAMIENTOS ESPECIALES A TASAS PREFERENCIALES PARA LA CONSTRUCCION, ADQUISICION O MEJORA DE VIVIENDAS, APLICANDO PARA ELLO UNA PARTE DE LOS AHORROS QUE CAPTAN DEL PUBLICO.

C.- PROMOVER LA GENERACION DE AHORROS EN UN AMPLIO ESTRATO DE LA POBLACION MEXICANA, SIMPLIFICANDO LA ADQUISICION DE LAS VIVIENDAS Y ACRECENTANDO ASI SU PARTICIPACION EN EL PROCESO DE CAPITALIZACION INTERNA.

D.- AUMENTAR LA OCUPACION DE LA MANO DE OBRA, CON BASE EN LA CONSTRUCCION, A ESCALA SIGNIFICATIVA, DE CONJUNTOS HABITACIONALES, Y DINAMIZAR LA ACTIVIDAD DE LAS INDUSTRIAS Y ARTESANIAS, DEDICADAS A PRODUCIR MATERIALES O ARTICULOS QUE DEMANDA SU EDIFICACION.

FONDO DE OPERACION Y DESCUENTO BANCARIO A LA VIVIENDA

PARA FACILITAR LA REALIZACION DE ESTOS OBJETIVOS, EL MISMO GOBIERNO FEDERAL CONSTITUYO EN EL BANCO DE MEXICO, S. A., UN FIDEICOMISO DENOMINADO "FONDO DE OPERACION Y DESCUENTO BANCARIO A LA VIVIENDA" (FOVI), CUYAS PRINCIPALES FUNCIONES SE SEÑALAN A CONTINUACION:

1.- PROMOVER Y COORDINAR EL PROGRAMA FINANCIERO DE VIVIENDA, ORIENTANDO LA INVERSION DE LA BANCA A LA REALIZACION DE PROGRAMAS HABITACIONALES DE INTERES SOCIAL EN TODA LA REPUBLICA, EN FORMA CONGRUENTE CON LOS LINEAMIENTOS ESTABLECIDOS EN LOS DIVERSOS PLANES SECTORIALES, PRINCIPALMENTE, POR LO

QUE SE REFIERE AL PLAN NACIONAL DE DESARROLLO URBANO, INCLUIDO EL PROGRAMA NACIONAL DE VIVIENDA. TODOS ELLOS INSCRITOS EN EL PLAN GLOBAL DE DESARROLLO 1980-82.

2.- OTORGAR APOYO FINANCIERO A LAS INSTITUCIONES DE CREDITO, EN OPERACIONES PARA LA VIVIENDA DE INTERES SOCIAL. AQUELLAS INSTITUCIONES BANCARIAS CUYOS RECURSOS NO SON EN UN MOMENTO DADO SUFICIENTES PARA PODER FINANCIAR EL DESARROLLO DE DETERMINADOS PROGRAMAS HABITACIONALES, O QUE HAN CUMPLIDO EN EXCESO CON LA INVERSION OBLIGATORIA EN ESTE RENGLON, OBTIENEN A TRAVES DE FOVI, EL APOYO FINANCIERO QUE COMPLEMENTA SUS RECURSOS Y QUE LES PERMITE DESTINARLOS A LA CONSTRUCCION Y ADQUISICION DE VIVIENDA DE INTERES SOCIAL, DE MANERA QUE LOS PROYECTOS PUEDAN REALIZARSE.

3.- OTORGAR APROBACIONES TECNICAS A LOS PROYECTOS HABITACIONALES DE INTERES SOCIAL, PARA QUE ESTOS SEAN ADECUADOS EN CUANTO A SUS COSTOS, CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS Y SOCIOECONOMICAS, Y CUANDO SE ESTIME NECESARIO SUPERVISAR SU EJECUCION.

4.- IMPARTIR ASESORIA TECNICA PARA LA ELABORACION DE PROYECTOS, QUE CONSISTE PRINCIPALMENTE EN LA SELECCION DE TERRENOS, DE SISTEMAS DE CONSTRUCCION, ELABORACION DE ESTUDIOS FINANCIEROS Y SOCIOECONOMICOS, ASI COMO ASPECTOS DE CARACTER JURIDICO.

5.- LLEVAR A CABO EN FORMA CONJUNTA CON LA SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Y OTRAS ENTIDADES DEL SECTOR VIVIENDA, PROGRAMAS DE INVESTIGACION RESPECTO A LA APLI-

CACION DE NUEVOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS Y AL USO DE MATE - RIALES DIFERENTES.

ES CONVENIENTE MENCIONAR, QUE LA ACTIVIDAD DEL FOVI EN VIRTUD DE LA NATURALEZA DE SUS FUNCIONES, SE VINCULA EN FORMA COORDINADA A LA QUE REALIZAN OTROS ORGANISMOS PUBLICOS Y PRIVADOS - QUE PARTICIPAN EN EL CAMPO DE LA VIVIENDA. SU PAPEL DE ORGANISMO PROMOTOR Y ORIENTADOR DE LOS RECURSOS DE CREDITO INTERNO - QUE EL SISTEMA BANCARIO DESTINA A PROGRAMAS HABITACIONALES, LE PERMITE PARTICIPAR, BENEFICIANDO A TRAVES DE ORGANISMOS PUBLICOS Y PRIVADOS, A SECTORES DE POBLACION CON INGRESOS MINIMOS - EQUIVALENTES A 2 A 4.5 VECES EL SALARIO MINIMO QUE NO SON DERECHOHABIENTES DE LOS FONDOS INSTITUCIONALES DE VIVIENDA COMO INFONAVIT, FOVISSSTE Y EL FONDO DE LA VIVIENDA MILITAR, O QUE POR LA PRESION DE UNA GRAN DEMANDA, NO PODRAN SER ATENDIDOS POR ESTOS EN EL CORTO PLAZO.

## VIVIENDA DE INTERES SOCIAL

ESTAN REGLAMENTADAS LAS CARACTERISTICAS DE LA VIVIENDA DE INTERES SOCIAL MEDIANTE CIRCULARES EMITIDAS POR EL BANCO DE MEXICO Y LA COMISION NACIONAL BANCARIA Y DE SEGUROS, POR CUANTO A ASPECTOS CONSTRUCTIVOS, VALORES Y FINANCIAMIENTOS PARA SU CONSTRUCCION, ADQUISICION O MEJORA.

PARA QUE UNA VIVIENDA SEA CONSIDERADA COMO DE INTERES SOCIAL, UNA DE SUS CARACTERISTICAS ESENCIALES ES EL VALOR DE VENTA DE LA MISMA, PUESTO QUE ESTA DIRIGIDA A SATISFACER LA NECESIDAD DE PERSONAS DE ESCASOS Y MEDIANOS RECURSOS.

PARA LA FIJACION DE ESTOS VALORES, SE DIVIDIO LA REPUBLICA MEXICANA EN CUATRO ZONAS, AGRUPANDO EN CADA UNA, LAS ENTIDADES FEDERATIVAS O LOCALIDADES QUE PRESENTAN CONDICIONES SIMILARES.

ACTUALMENTE SE CONTEMPLAN DENTRO DEL PROGRAMA FINANCIERO TRES TIPOS DE VIVIENDA DE INTERES SOCIAL, LA VIVIENDA PARA ACREDITADOS DE INGRESOS MINIMOS- Y LOS TIPOS "A" Y "B", CUYAS DIFERENCIAS FUNDAMENTALES ESTRIBAN EN SUS ESPECIFICACIONES MINIMAS DE PROYECTO, EN SUS VALORES DE VENTA Y EN LAS TASAS DE INTERES PARA LOS ACREDITADOS FINALES, QUE VAN DEL 9.5 AL 13% ANUAL Y SE PACTAN VARIABLES.

## CREDITOS PARA LA VIVIENDA DE INTERES SOCIAL

EL CREDITO BANCARIO PARA VIVIENDA DE INTERES SOCIAL PUEDE DESTINARSE A LAS SIGUIENTES FINALIDADES:

A) A FINANCIAR EL CREDITO PUENTE, O SEA EL QUE LA INSTITUCION OTORGA AL CONSTRUCTOR PARA QUE EDIFIQUE LAS VIVIENDAS, INCLUYENDO EN SU CASO, LA URBANIZACION RESPECTIVA. EL CREDITO PUENTE PUEDE COMPRENDER LA ADQUISICION DEL TERRENO CUANDO SE TRATA DE LA REALIZACION DE PROYECTOS DE LAS ENTIDADES FEDERATIVAS, DE LOS MUNICIPIOS O DE ORGANISMOS DEL SECTOR PUBLICO QUE TENGAN POR OBJETO FOMENTAR LA VIVIENDA DE INTERES SOCIAL.

B) A OTORGAR CREDITOS INDIVIDUALES EXCLUSIVAMENTE PARA LA ADQUISICION DE VIVIENDAS.

C) A OTORGAR A PERSONAS QUE YA SON PROPIETARIOS DE TERRENOS APTOS PARA LA CONSTRUCCION DE VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL,

CREDITOS INDIVIDUALES PARA QUE REALICEN LA CONSTRUCCION.

D) A OTORGAR CREDITOS PARA MEJORA DE VIVIENDA, PREFERENTEMENTE A PERSONAS NO ASALARIADAS.

c) AL OTORGAMIENTO DE CREDITOS PUENTE PARA LA REMODELACION - URBANA.

FONDO DE GARANTIA Y APOYO A LOS CREDITOS PARA LA VIVIENDA DE INTERES SOCIAL

EN LA MISMA FECHA DE CONSTITUCION DEL FOVI, LA SECRETARIA DE - HACIENDA Y CREDITO PUBLICO ESTABLECIO OTRO FIDEICOMISO EN EL BANCO DE MEXICO, S. A., DENOMINADO FONDO DE GARANTIA Y APOYO A LOS CREDITOS PARA LA VIVIENDA DE INTERES SOCIAL (FOGA) CON EL - OBJETO DE COMPENSAR A LAS INSTITUCIONES DE CREDITO, LOS COSTOS DE LOS CREDITOS QUE OTORGAN PARA VIVIENDA DE INTERES SOCIAL Y DAR - LES UNA MAYOR GARANTIA EN LA OPERACION DE DICHOS CREDITOS PARA EVITARLES QUEBRANTOS. ESTOS APOYOS SE APLICAN ACTUALMENTE TRATAN DOSE DE VIS-A Y VAIM EN LAS SIGUIENTES SITUACIONES:

1.- PARA EFECTOS DE LIQUIDEZ, POR FALTA DE PAGO PUNTUAL EN QUE INCURRAN LOS ACREDITADOS EN LAS OPERACIONES ANTES MENCIONADAS.

2.- PARA LA MISMA FINALIDAD, POR DEFICIENTES DE RECUPERACION FINAL EN LAS ALUDIDAS OPERACIONES DE CREDITO.

3.- PARA REGULAR LOS TIPOS DE INTERES DE LAS MISMAS OPERACIONES.

4.- PARA REDUCIR LAS PRIMAS DE LOS SEGUROS DE VIDA E INVALIDEZ Y DAÑOS DEL INMUEBLE, QUE DEBEN TOMAR OBLIGATORIAMENTE LOS AD- QUIRENTES DE LAS VIVIENDAS O LOS PROPIETARIOS AL MEJORARLAS.

ACTUALMENTE AMBOS FIDEICOMISOS SE ENCUENTRAN INTEGRADOS ADMINISTRATIVAMENTE Y OPERAN BAJO UNA MISMA DIRECCION, CON LO CUAL SE HA LOGRADO MAYOR CONGRUENCIA EN EL CUMPLIMIENTO DE SUS OBJETIVOS.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES EN LA VIVIENDA

# RECURSOS FORESTALES DE MEXICO

DR. RAMON ECHENIQUE MANRIQUE
Laboratorio de Ciencia y Tecnología
de la Madera (LACITEMA)
Instituto Nacional de Investigaciones
sobre Recursos Bióticos, A.C.
Jalapa, VER.

NOVIEMBRE, 1980

# RECURSOS FORESTALES DE MEXICO

El país tiene aproximadamente 200 millones de hectáreas de extensión superficial, parte de ellas cubiertas con bosques y selvas. Es interesante detectar el concepto que mucha gente tiene sobre los recursos forestales del país en el sentido de que son muy raquíticos o casi por extinguirse. Como se verá más adelante, esta gente está mal informada, ya que México cuenta con una superficie forestal total y volumen de madera en pie mayor del que tienen otros países considerados como netamente forestales, como es Finlandia.

## Situación actual

El 45.9 por ciento de la superficie del país, es decir, 90 millones de hectáreas, han sido clasificadas como forestales, sin embargo, únicamente 44.7 millones de hectáreas pueden considerarse como arboladas, ya que las demás han sido desprovistas de su cubierta arbórea. De éstas, un poco más de la mitad, 24.10 millones de hectáreas, corresponden a bosques de clima templado y frío y los 20.60 millones de hectáreas restantes, están cubiertas por bosques tropicales, o mejor expresado, por selvas.

## Productividad

El volumen total de madera en pie del país es de 3460 millones de $m^3$ en rollo, de las que 1780 corresponden a bosques de clima templado y frío, y 1680 a selvas. Además, sin

cultivar el bosque o las selvas se obtiene un rendimiento anual, es decir, un aumento en el volumen de madera, dado por el crecimiento de los árboles de 23.5 millones de $m^3$ en rollo. De este aumento anual, en 1979 y en todo el país, para todos los usos, se aprovecharon únicamente 8.3 millones de $m^3$ en rollo. Estas cifras son indicativas que apenas se aprovecha aproximadamente el 26 % del volumen que nuestros recursos forestales producen cada año, y ésto sin cultivar el bosque, es decir, únicamente con un manejo forestal extensivo y no intensivo, que de practicarlo, sería muy factible de aumentar en 50 % el rendimiento anual. Es importante hacer notar que en la actualidad no todas las existencias volumétricas son comerciales, por lo que de los 23.5 millones de $m^3$ en rollo de rendimiento anual, solamente 15 millones se consideran como comerciales, que es aproximadamente el doble de la producción nacional maderable de 8.3 millones de $m^3$ en rollo correspondiente al año de 1979; además el 85 por ciento de la madera cosechada en este año, provino de bosques de clima templado y frío, principalmente de pino.

El 51 % de la producción se destinó para ser usada en la construcción, 4.2 % para chapa y triplay y 0.4 para postes de luz y teléfono. Como se puede apreciar, gran parte

de la producción maderera en México es utilizada en la construcción, sin embargo, poca de ella para fines permanentes, ya que la mayor parte de la madera se utiliza en cimbra y obras falsas.

Industria

Hasta el año de 1975 el país contaba con 605 aserraderos, 80 por ciento de los cuales tenían una capacidad instalada de no más de 10 millones de pie tabla. Además funcionaban 25 plantas de tableros de madera contrachapada, 9 plantas de tableros de partículas, 2 fábricas de tableros de fibras y 10 plantas de impregnación de preservadores de madera. Estas instalaciones industriales no trabajaron hasta la capacidad de sus instalaciones. Así por ejemplo, en el año de 1978 se calculó que los aserraderos funcionaron a 64 % de su capacidad, las fábricas de madera contrachapada a 62 % y las de tableros de partícula a 58 %. Podemos interpretar estos datos como indicativos de que el país cuenta con una base industrial firme, sobre la cual fincar la futura expansión industrial forestal, para satisfacer las demandas de productos forestales, especialmente aquellas que vendrán de la industria de la construcción.

La información presentada nos indica que México tiene una gran superficie forestal, un considerable incremento

anual de volúmenes comerciales de madera, el cual puede incrementarse aún más si se practica una silvicultura intensiva en lugar de extensiva y una buena base industrial, por lo que se puede concluir, sin lugar a dudas, que el uso de la madera en la construcción de estructuras permanentes tiene un gran potencial.

La madera la podemos definir como un conjunto de células, huecas, alargadas y cementadas longitudinalmente entre si. En el árbol vivo estas fibras a través de sus paredes celulares funcionan para el sotén del mismo y como conductoras de soluciones alimentácias y de desecho, ya que sus porciones huecas estan interconectadas lateralmente, formando un sistema continuo a lolargo del tronco.

Los tres componentes básicos de las paredes de las fibras son la celulosa (40-50%) que se puede considerar como el armazón, hemicelulosas varias (20-35%) que actuan como matríz y la lignina (15-35%) que es el cementante de los componentes. Desde el punto de vista de resistencia mecánica estos son los componentes importantes. Además pueden existir en cantidades y tipos variables, extractivos que son sustancias órganicas depositadas en los espacios libres de la madera y le imparten caracteristicas como olor, color, sabor e influyen sobre su permeabilidad.

A causa de la extructura de la madera, esta es un material anisotrópico, es decir que todas sus propiedades varian de acuerdo con sus ejes estructurales, los cuales desde un punto de vista teórico forman ángulos rectos entre si. El eje longitudinal o axial (L) puede definirse como aquel que corre paralelamente a lo largo del tronco o de las fibras; el radial (R) es perpendicular al longitudinal, paralelo a los rayos (Los rayos son conjuntos de fibras que corren paralelas a una línea recta de la médula o centro del árbol a la corteza del tronco); y tangencial (T) perpendicular al axial y al radial y tangente a los anillos de crecimiento o circunferencia del tronco. En forma similar la madera tiene tres planos estructu

rales perpendiculares entre sí: el transversal (TR) delimitado por los ejes tangencial y radial; el radial (RL) comprendido entre los ejes radial y longitudinal; y el tangencial (TL) que se forma con la intersección de los ejes tangencial y longitudinal.

Tipos de Madera.

La madera proviene de dos grandes grupos de árboles:

a. Maderas de angiospermas, latifoliadas, hojosas o de hoja caduca. Ejemplo de este grupo son: caoba, encino chicozapote, cedro rojo, etc.

b. Maderas de gimnospermas o coníferas. La madera de pino, xcadra enebro, oyamel, etc. son ejemplos de este grupo.

En México la madera de pino es la mas abundante en el mercado y la más comúnmente usada en la construcción. Aunque son muy numerosas las especies de pino que vegetan en el país la madera proveniente de ellas no se comercializa por especies o grupos de especies con características de resistencia similares. También, en el mercado nacional la madera no se clasifica con base a sus posibles usos estructurales, sino únicamente desde el punto de vista del uso que se le puede dar, en la manufactura de muebles, canceles, etc.

Al observar una pieza de madera en su plano transversal por lo regular se distinguen una serie de bandas contiguas que corresponden a los anillos de crecimiento del árbol. Cada banda consiste de una porción color claro en donde las fibras tienen paredes delgadas (madera temprana) y otra porción más obscura con las fibras de paredes gruesas (madera tardía). La proporción

de madera temprana en una pieza, es importante desde el punto de vista de resistencia cuando, esta tiene un valor muy alto, significando que la pieza esta compuesta en gran parte por fibras de paredes delgadas indicando que probablemente la pieza tiene una capacidad de carga muy por abajo de lo esperado. Las normas utilizadas para clasificar madera desde el punto de vista estructural toman en cuenta este hecho, para desechar piezas de baja resistencia.

Otra característica importante de la madera es la que se observa, también en el plano transversal de los troncos de los árboles. Con frecuencia la porción central es de un color más obscuro que la periferia. La madera que se asierra del area central se dice que es madera de duramen y la que proviene de la periferia madera de albura. Desde el punto de vista de resistencia mecanica no existe ninguna da diferencia significativa entre la madera de duramen y albura, una no es mas dura que la otra ni más o menos deseable para fines estructurales. El duramen sin embargo, debido precisamente a la presencia de extractivos que son los que le dan el color, olor y sabor, es por lo regular mas resistente al ataque destructor de organismos y también es un poco mas difícil de secar o impregnar con soluciones de sustancias preservadoras ya que es menos permeable que la albura.

Características Físicas.-

Peso.

El peso total de una pieza de madera esta dado por la suma del peso del agua que contiene y el peso de la madera en sí. La cantidad de agua en la madera puede contribuir significativamente al peso total de la pieza, llegando para las especies

de pino a más del 200 porciento. La madera de pino que comunmente se usa en la construcción y con un contenido de humedad de 15 porciento tiene pesos que van de 390 a 710 kg/m$^3$.

Contenido de Humedad.

El contenido de humedad de la madera se define como la relación entre el peso del agua en la madera respecto al peso anhidro de la misma, relación que se expresa en forma de porcentaje.

$$\text{Contenido de humedad } \% = \frac{\text{peso del agua}}{\text{peso de la madera anhidra}} \times 100 \quad [1]$$

Madera de pino recien aserrada puede tener contenidos de humedad hasta de mas de 200 porciento. Esta misma madera después de secada al aire libre o en estufa se puede adquirir en las madererias con contenidos de humedad de 7 a 50 porciento aproximadamente.

La humedad dentro de la madera se localiza principalmente en dos zonas: en los huecos o luces de las fibras como agua "libre" de las paredes celulares como agua "fija". Al someter madera humeda a algún proceso de secado, el agua libre en los huecos de la fibra es la primera y mas fácil de extraerse, siguiendole el agua fija. El contenido de humedad de la madera correspondiente a la humedad que queda saturando las paredes celulares (toda el agua libre en los huecos de las fibras ha sido extraida quedando unicamente el agua fija en las paredes celulares) se le llama punto de saturación de la fibra (PSF), siendo el intervalo de valores para la madera de pino del país de 25 a 30 porciento. Es muy importante señalar que todas las caracteristicas de la madera, en especial su resistencia mecánica cambian notablemente cuando su contenido de humedad

es inferior al del punto de saturación de la fibra, por lo que es muy recomendable tener siempre en cuenta este fenomano, al utilizar la madera en cualquiera forma.

Cambios de Humedad-Cambios Dimensionales

La higroscopicidad de la madera es otra caracteristica importante que el usario debe de ~~conocer~~ conocer y tener siempre en mente. La madera es un material que tiene la capacidad de tomar o dejar escapar humedad a la atmosfera dependiendo del contenido de humedad de la madera y de la presión de vapor relativa del aire circundante. Este es un proceso permanente, aunque llegue el momento enque se tenga un equilibrio, es decir que la madera absorbe y deja escapar en forma continúa la misma cantidad de moleculas de agua. Este punto de balance se le conoce como contenido de humedad en equilibrio (CHE). Por lo tanto, debido a la higroscopicidad de la madera su contenido de humedad (CHE) variará según la temperatura y humedad relativa de la atmosfera que la rodea. Es importante hacer notar que esté fenómeno unicamente lo puede experimentar la madera cuando tiene contenidos de humedad inferiores al punto de saturación de la fibra (PSF) que corresponde a valores menores de 25 a 30 porciento.

Cuando la madera sufre cambios en su contenido de humedad (CHE) por abajo del PSF, la cantidad de agua fija dentro de las paredes de las fibras, también varía. El aumento o disminución de la cantidad de este tipo de agua causa que las paredes celulares aumenten ~~dx~~ o disminuyen en su dimensiones, o sea que la madera ~~s~~se hinche o se contraiga. Este cambio dimensional generalmente se define caomo la relación entre el cambio sufrido

respecto a la dimensión original, relación que se expresa en forma de porcentaje.

$$\text{Cambio dimensional } \% = \frac{\text{dimensión A-dimensión B}}{\text{dimensión A.}} \times 100 \qquad [2]$$

XD

dimensión A= es aquella de mayor magnitud de los dos (A y B) la cual generalmente es la que la pieza tiene cuando su contenido de humedad es superior al PSF.

dimensión B= es la menor de los dos (A y B), que por lo general es la que la pieza tiene cuando su contenido de humedad es inferior al PSF.

Los cambios dimensionales totales que puede sufrir la madera son los correspondientes a cuando su contenido de humedad disminuye de por arriba del punto de saturación de la fibra ("verde") a la condición anhidra. Estos cambios en la dirección longitudinal (L) son insignificantes, ya que pueden tener valores hasta un máximo de 0.9 porciento; en la dirección radial (R) son del orden de 2.4 a 11 por ciento y en la tangencial (T) de 3.5 a 15 porciento. Para la madera de pino del país que se usa en la construcción, los valores aproximados de las contrucciones totales son:

longitudinal L = 0.3%
radial R = 4%
tangencial T = 8%

Expansión Térmica.

En la mayoría de de las veces cuando se proyecta en madera, los cambios dimensionales debidos a las variaciones de temperatura no se toman en cuenta, por su poca magnitud en la madera o porque los cambios dimensionales causados por variaciones de humedad son mayores y encubren los térmicos. La expansión térmica perpendicular a las fibras (dirección R o T) es de 10 a 15 veces mayor que en la dirección longitudinal. Para la madera de pino del país se pueden asumir los siguientes coeficientes de expansión térmica lineal los cuales pueden ser usados en la expresión. (3):

longitudinal $L=3.6 \times 10^{-6}/°C$

transversales T y $R= 64.0 \times 10^{-6}/°C$

$AL = \delta \, Li \, AT$

donde:

AL= cambio dimensional lineal, cm.

$\delta$ = coeficiente de expansión lineal 1/C°

Li = dimensión lineal inicial, cm.

AT = cambio de temperatura sufrida, °C.

Conductividad térmica.

La madera es buen aislante térmico y su baja conductividad térmica la ha hecho un material preferido en la construcción. En la dirección longitudinal L la conductividad térmica es aproximadamente 2.5 veces mayor que en las direcciones transversales R y T. Un aumento en la densidad o en el contenido de humedad traen como consecuencia incrementos en la conductividad térmica de la madera. Para la madera de pino del país con un contenido de humedad de aproximadamente 12 porciento, se pueden asumir los siguientes coeficientes de conductividad térmica K:

longitudinal L= 0.00003 K-Cal/M seg°C.

transversales T y R=0.00003 K- Cal /M seg°C

Conductividad electrica.

La madera es un excelente aislante a corriente eléctrica en estado anhidro, mas al aumentar su contenido de humedad, su conductividad aumenta significativamente. A corriente directa la resistividad de la madera anhidra varia entre $3X\ 10^{17}$, $3X10^{13}$ ohm-cm comparándose favorablemente con la de bakelita que es de $1X10^{12}$ ohm-cm. La resistávidad de la madera en la dirección longitudinal L es aproximadamente la mitad que en la perpendicular a las fibras RyT. Cuando elcontenido de humedad de la madera aumenta a 30 porciento la resistividad se reduce a valores cercanos a $1X10^{6}$ ohm-cm.

Cuando la corriente alterna es de baja frecuencia, las relaciones que existen entre este tipo de corriente y la madera son muy similares a las de corriente directa. Unicamente cuando el fluido es de la clase de radiofrecuencias la madera no actua como una simple resistencia, sino como un material dieléctrico. Como en la construcción la madera unicamente podrá relacionarse con corrientes alternas de baja frecuencia, es suficiente tener presente que este material actúa de manera similar cuando la corriente es directa o alterna de baja frecuencia.

Sonido.

Respecto al aislamiento de sonido, la madera por si sola al igual que otros materiales, no constituye una barrera contra el sonido, pero cuando se combina con diversos elementos se puede obtener una unidad estructural con propiedades satisfactias de aislamiento. El problema de absorción de sonido es diferente que el de aislamiento, ya que este último requiere de material pesados y densos, mientras que el primero necesita de

Anteriormente se indico que la madera es un material anisotropico y por lo tanto las caracteristicas mecanicas son diferentes en dirección de cadauno de sus tres ejes principales. Sin embargo en muchas ocasiones estas diferencias entre las direcciones radial y tangencial son mínimas, por lo que se ha optado por hablar únicamente de las resistencias mecánicas en la dirección paralela (ll) y en dirección perpendicular a las fibras (⊥).

Tensión.

La resistencia de lamadera en tensión paralela a las fibras (T ll) es la más alta de todas las resistencias de este material, y tiene una deformación plástica minima antés de fracturarse cuando se sujeta a este tipo de esfuerzo. Comúnmente la resistencia en T ll es 40 veces mayor que en T ⊥. Ya que los resultados de pruebas de flexión estática (esfuerzo al momento de la ruptura EMR) se asemejan mucho a los de T ll, estos ultimos son los que se utilizan para valorizar la madera en T ll. El rango de valores de resistencia en T ll para madera en general con un contenido de humedad de 12 por ciento es de 300 a 3000 kg/cm$^2$ dependiendo de la densidad de la especie de que se trate; la madera de pinos mexicanos tiene valores alrededor de 800 kg/cm$^2$

Compresión.

Para el caso de compresión paralela a las fibras C ll la porción plastica de la curva esfuerzo-deformación, en contraste a la de T ll, es mayor, además tiene un límite de proporcionalidad bien definido. Aunque las resistencias son diferentes para T ll y C ll, los módulos de elasticidad se consideran iguales. La resistencia de la madera en C ll es de 3 a 10 veces mayor que

que en C ⊥ O. A un contenido de humedad de 10 porciento y dependiendo de la densidad de la madera de que se trata esta tiene resistencias en C ∥ que van de 100 a 1600 kg/cm$^2$ ; las especies de pino del país tienen valores cercanos a 150 kg/cm$^2$ a un contenido de humedad de 12 porciento.

La resistencia en C ⊥ está intimamente relacionada a la dureza y resistencia al corte perpendicular a las fibras U ⊥ . Cuando la madera se comprime perpendicularmente a las fibras, estas tienden a compactarse y la densidad de la madera a incrementarse conforme va aumentando la carga, razón por la cual es practicamente imposible determinar el máximo esfuerzo, por lo que se trabaja unicamente con el esfuerzo al límite de proporcionalidad E L P. Para madera en general, dependiendo de la densidad de la especie que se trate, y con un contenido de humedad de 12 porciento se tiene un rango de valores de ELP en C ⊥ de 22 a 225 kg/cm$^2$ ; las maderas de pino mexicanas tienen valores cercanos a 60 kg/ cm$^2$.

Flexión estática

Generalmente en flexión estática la fractura total en la madera no es instantánea, sinoque se desarrolla poco a poco, primeramente fallando las fibras en la superficie sujeta a compresión y mas tarde las sujetas a tensión, produciendo una serie de ruido peculiares conforme la fractura avanza paulatinamente . Madera que ha sido atacada aunque sea levemente por hongos, se fractura repentinamente en flexión estática. Dependiendo de la densidad de la q especie de madera que se trate, y con un contenido de humedad de 12 porciento, los valores de

EMR van de 300 a 2100 kg/cm$^2$ y ~~d~~ los de módulo de elasticidad ME de 40 000 a 300 000 kg/cm$^2$; las especies de pino del país tiene valores de EMR de alrededor de 850 kg/cm$^2$ y de ME ~~M~~ de aproximadamente 100 000 kg/cm$^2$ .

La madera tiene una alta capacidad de absorber energia por lo que es mas resistente a cargas de impacto que a las aplicadas estáticamente, siendo en flexión 60 a 60 porciento mas resistente al impacto.

Corte.

Al imponerse a la madera un esfuerzo cortante en dirección perpendicular a las fibras V⊥, la fractura que puede sufir no ocurre en el plano transversal como se esperaría, ya que antes de que este pudiese suceder la madera falla en el plano longitudinal (TL ó RL) a causa de esfuerzos en C⊥ y corte paralelo ~~ca~~ a las fibras V∥. Cuando el esfuerzo cortante es paralelo a las fibras y el plano donde se aplica es el radial RL, en ocasiones la resistencia se ve afectada muy seriamente por la presencia de pequeñas rajaduras o grietas resultantes del secado de la madera. Entre las diferentes especies de madera que existen y dependiendo de su densidad se tiene un rango de valores de EMRC∥ de 22 a 225 kg/cm$^2$, á un contenido de humedad de 12 porciento: las especies de pino nacionales tienen valores alrededor de 40 kg/cm$^2$.

Dureza.

La dureza es indicadora de la resistencia de la madera a indentarse y a la abresión. El metodo Jenka es ~~x~~ el que utiliza para determinar la dureza en madera y consiste basicamente en determinar la fuerza en kilos que se necesita para introducir

en la madera una esfera de acero de cierta dimensión, hasta la mitad del diámetro de la misma. La dureza D en las superficies radial RL o tangencial TL es prácticamente la misma, sin embargo la que se presenta en la transversal TR es por lo general mayor que alas de los planos laterales. Para especies de diversas densidades con contenido de humedad de 12 por ciento la dureza lateral RL y TL va de 110 a 1550 kg y la de los extremos TR de 150 a 1560; la madera de pino del país tiene una dureza lateral de aproximadamente 360 kg y en las superficies transversales de alrededor de 460 kg.

Factores que Afectan la Resistencia Mecánica.

Variabilidad natural.

Todo lo que se ha dicho hasta aqui sobre las caracteristicas fisicas y mecánicas de la madera, se refiere a madera en general y continuación se describirán brevemente los principales factores que afectán las caracteristicas mecanicas de la madera.

Como sabemos bien, la madera proviene de árboles que son seres vivientes y como todo organismo en la tierra sus caracteristicas exhiben cierta variabilidad natural. Así tenemos que las características mecánicas de muestras de madera de un mismo árbol ó entre árboles de la misma especie exhiben diferencias en sus valóres. Por ejemplo el módulo de elasticidad en flexión estatica para una especie de pino determinada puede tener un coeficiente de variación de 22 porciento y el EMR de 16 porciento peculiaridad de la madera que el usuario debe de conocer y que se toma en cuenta en la derivación de esfuerzos permisibles de trabajo.

Densidad.

La densidad indicadora de la cantidad de madera por unidad de volumen, esta intimamente relacionada con la resistencia mecánica, de donde resulta que un aumento o disminución de la densidad de la madera de una especie o entre especies tiene como consecuencia igual efecto en la capacidad de resistir esfuerzos mecánicos. Para usar a la densidad como indice de la resistencia mecánica de la madera, es importante especificar el contenido de humedad correspondiente al valor de la densidad. Por ejemplo una misma pieza de madera de pino puede tener un valor de 0.45 gr/cm$^3$ a un contenido de humedad de 12 porciento da y de 1.35 gr/cm$^3$ a un contenido de humedad de 200 porciento. Para evitar este tipo de confusiones, y por tradición los valores de densidad de la madera estan basados en las siguientes condiciones:

Peso anhidro y volumen anhidro

Peso anhidro y volumen "verde" (Vol. a c.h. por arriba del PSF)

Peso anhidro y volumen intermedio (Vol.a.c.h. entre 0 y el PSF.)

Peso y volumen a contenido de humedad de 12 o 15 porciento.

Contenido de humedad.

Al igual que la densidad el contenido de humedad, es un factor de gran importancia en la resistencia mecánica de la madera. Así tenemos que la capacidad de la madera de resistir esfuerzos mecanicos cuando su contenido de humedad es superior al PSF, es se mantiene igual a todos los contenidos de humedad hasta saturación total. Por abajo del PSF la resistencia mecánica aumenta conforme la madera tiene menor humedad. Por ejemplo si una muestra saturada de agua se seca hasta un contenido de humedad 8 porciento, el cambio de humedad que experimentará a partir de un PSF de 30 porciento será

de 22 porciento y es posible que el EMR en flexión estática aumente en un 88 porciento, es decir, 4 porciento de incremento en resistencia por cada uno porciento de disminución en el contenido de humedad a partir del PSF. Este ejemplo ilustra la profunda ~~xxxxxx~~ influencia que tiene la humedad en la resistencia mecánica en la madera, factor que también se toma en cuenta en la derivación de los esfuerzos permisibles de trabajo.

Temperatura.

La influencia de la temperatura sobre las propiedades mecánicas de la madera puede ser considerable en ciertas condiciones, y la magnitud de esta influencia depende de la combinación del contenido de humedad y tiempo de exposición a temperaturas extremosas. Es decir, cuando la madera tiene un alto contenido de humedad, o se expone en una atmosfera de gran humedad a temperaturas elevadas, la perdida de resistencia es mayor que si la atmósfera y madera tuvieran humedad menor. Sin embargo, se puede decir que las temperaturas a las que la madera en estructuras estará expuesta en el país, no son tan extremosas como para influenciar significativamente la resistencia de la madera, por lo que el constructor no tendrá necesidad de tomar en cuenta este factor, a menos de que la humedad y temperaturas dentro de la estructura sean realmente extremosas (humedades relativas, constantes de más de 80% junto con temperaturas de mas de 60°C).

## TRATAMIENTO Y CONSERVACION DE LA MADERA

La madera como todos los materiales de construcción, es susceptible a deteriorarse con el tiempo, característica que en México, especialmente en forma errónea, se le considera como defecto incorregible. La madera es de origen orgánico, por lo que organismos como hongos e insectos son los principales causantes de su deterioro, aunque en ciertos casos agentes físicos como fuego ó intemperismo, pueden ser los principales destructores de la madera. Como se verá más adelante, existen una diversidad de técnicas preventivas y tratamientos de preservación mediante los cuales la susceptibilidad de la madera a deteriorarse con el tiempo puede atenuarse y en algunos casos hasta eliminarse.

### Intemperismo

La madera expuesta a la lluvia, sol, viento, polvo, etc., con el tiempo su color se transforma en grisáceo, debido a que las capas superficiales de fibras se deterioran por las hinchazones y encogimientos que experimenta con los cambios de humedad. Además los polisacáridos de la madera han venido sufriendo hidrólisis, proceso que es acelerado por la energía de las radiaciones infrarrojas y ultravioletas del sol.

Este tipo de deterioro es relativamente sencillo de evitar, cubriendo la madera periódicamente con capas de pintura o barniz, las cuales actúan como barreras a los rayos del sol y retardan la penetración de humedad y por lo tanto, retardan los cambios dimensionales. Además se puede tratar la madera con una solución de parafina, la cual una vez en la madera retardaría los cambios en el contenido de humedad de la madera y por lo tanto, las dimensionales, especialmente aquellas que pudieran presentarse en períodos cortos (después de un chubasco). Por lo general, la madera se pinta una vez tratada con la parafina, para darle aun mayor protección contra el intemperismo.

## Organismos

Los principales destructores de la madera, en orden de importancia por la cuantía de daños que causan, son: hongos, insectos y taladradores marinos.

### Hongos

Estos organismos, a diferencia de las plantas verdes o con clorofila, no pueden manufacturar sus alimentos, por lo que son parásitos y se alimentan de materias orgánicas como la madera. Estos están bien adaptados para

deteriorar a la madera, ya que su cuerpo está constituído por finos filamentos llamados hifas, los cuales penetran y se desarrollan por los poros y cavidades, elaborando exoenzimas que descomponen la celulosa, hemicelulosas y lignina en productos digeribles,los cuales son absorbidos y aprovechados como nutrientes por el hongo.

La gran mayoría de los hongos que producen esta degradación, necesitan de ciertas condiciones para su desarrollo.

1. Alimento.- El alimento consiste en la celulosa, hemicelulosas y lignina de las paredes celulares y de los almidones y azúcares almacenados en algunas células.

2. Humedad.- Los hongos necesitan de cierta humedad, para que las exoenzimas que producen sus hifas puedan transladarse por difusión a las paredes celulares. Cuando la madera tiene contenidos de humedad inferiores al 18 por ciento (del peso seco de la madera), éstos no son suficientes para permitir la difusión de las enzimas degradadoras.

3. Oxígeno.- Estas plantas necesitan de un mínimo de aire ($O_2$) dentro de la madera para respirar, y se estima que corresponde entre 80 y 50 por ciento del total de su espacio libre (porosidad). Si la madera está completamente saturada con agua, no contiene aire y los hongos no pueden respirar.

4. Temperatura.- El rango de temperatura para el desarrollo de los hongos en la madera es de 20 a 36°C, pero pueden tolerar temperaturas más bajas.

5. pH.- La actividad de las exoenzimas de los hongos requieren de un grado de acidez entre 4.5 y 5.5 en la madera.

Si alguno de estos factores no se encuentra entre los valores indicados, el hongo no puede desarrollarse en tal pieza de madera, por lo que estará a salvo de ser degradada. Los "secretos" de preservación de la madera residen en modificar alguno de estos cinco factores para impedir el desarrollo del hongo.

Con base al tipo de deterioro que causan los hongos se clasifican en tres grupos principales. Un grupo el que mancha la madera sin reducir significativamente la

resistencia mecánica de la madera se alimenta principalmente de las sustancias almacenadas en cierto tipo de células de la madera (parenquima). La mancha que causan puede ser de varios colores, pero por lo general es azulosa, la cual en ocasiones penetra profundamente en la pieza de madera y puede aumentar la permeabilidad a líquidos en la madera de albura después de exposición prolongada. El efecto principal de este grupo de hoggos sobre la madera consiste en que afean el aspecto de la pieza, reduciendo su valor y haciéndola inservible para algunos usos donde el color y veteado natural de la madera sean requisitos.

Un segundo grupo es aquel que causa pudriciones, y que no únicamente manchan a la madera, sino que la destruyen al alimentarse de los componentes de las paredes celulares. La degradación puede ser profunda y extensa que provoca grietas a través y a lo largo de las fibras, junto con cambios a un color pardo oscuro, llamada pudrición morena o la degradación deja un material residual esponjoso de color blanquecino, como la pudrición blanca. Con ambos tipos de pudrición la madera se ve afectada grandemente en su apariencia y en su resistencia mecánica, lo mismo que en su densidad, permeabilidad a líquidos y gases y en sus características de secado. Este grupo es el más importante por la gran cantidad de daños que causan a la madera en servicio.

El tercer grupo es el responsable de las llamadas pudriciones blandas, que es un tipo de pudrición muy especializado y únicamente ocurre cuando la madera está sujeta a temepraturas y humedades altas, como las existentes en las estructuras de torres de enfriamiento. El deterioro consiste en un ablandamiento de las capas superficiales de la madera, las cuales son erosionadas por la acción del agua y ésto permite que la pudrición penetre a mayor profundidad de la madera. Afecta notablemente la apariencia de la madera lo mismo que su resistencia a esfuerzos mecánicos.

Insectos

A estos organismos se les considera como segundos en importancia a los hongos por la cantidad y valor de los daños que causan.

Los insectos más conocidos y más dañinos son las termitas o polilla que son insectos sociales que forman colonias bien organizadas en nidos. Existen dos tipos principales, las termitas subterráneas y la polilla de la madera seca.

Las termitas subterráneas construyen su nido bajo el suelo o en pedazos de madera en contacto con éste, a fin

de hacer túneles hasta los sitios donde se encuentra su alimento. Estos insectos de cuerpo blando, son muy sensibles a cambios de temperatura, pero especialmente a cambios de humedad, ya que sus cuerpos no tienen protección adecuada para evitar su desecación en ambientes que no se caracterizan por tener una alta humedad relativa. Es por ésto que construyen galerias de sus nido a los sitios donde se alimentan ya que dentro de ellos mantienen condiciones óptimas de medio ambiente para sus actividades. Al atacar una pieza de madera consumen las porciones internas, dejando un cascarón hacia el exterior que proteje a los organismos dela luz y cambios de temperatura y humedad. Esta característica es la razón por la que en muchas ocasiones no se detecta el daño causado por estos organismos hasta que la pieza o piezas han sido severamente atacadas. Cuando la madera no está en contacto directo con el suelo los insectos construyen galerías sobre o aprovechando hendiduras en concreto y mampostería, hasta llegar a la madera y a través de estos ductos mantienen la comunicación con el nido y las condiciones ambientales deseadas.

Las polillas de la madera seca no necesitan conexión alguna con el suelo y resisten bien los cambios de temperatura y humedad, ya que sus cuerpos están cubiertos con

una capa protectora que evita su desecación. Este tipo de termitas no son tan dañinas ni tan numerosas como las subterráneas y su presencia y por lo tanto, daño, se nota cuando los individuos adultos que son alados (palomillas de San Juan) emergen de la madera a través de pequeños orificios para transladarse a otras piezas de madera e iniciar nuevas colonias. En otras ocasiones la presencia de estos insectos se detecta por la presencia de acumulaciones de "aserrín" bajo los orificios de salida de los adultos.

Las termitas usan a la madera como alimento y pueden digerir la celulosa y hemicelulosas, debido a que protozoarios que viven en los estomagos, transforman los polisacáridos en estructuras más sencillas capazes de ser "digeridas" por el insecto. Alteran severamente todas las características físico-mecánicas de la madera.

Taladradores marinos

Estos organismos adquirieron gran notoriedad durante la época de oro de los fenicios, ya que fueron responsables de que los cascos de los barcos de madera se fracturaran, debido al daño causado por "lombrices marinas". Además de causar daños a embarcaciones de madera, estos organismos deterioran la madera de instalaciones marinas, sobre

todo aquéllas que se localizan en mares tropicales o en zonas costeras salobres.

Los dos tipos principales de taladradores pertenecen a los grupos de moluscos o crustáceos y para ambos el deterioro consiste en que cavan túneles en la madera, ya sea para alimentarse de ella o para usarla como morada y alimentarse del planhton que es acarreado por el agua hacia ellos y/o de los hongos que crecen en las paredes de los túneles en la madera, los cuales pueden variar en lon longitud y diámetro, según el organismo y condiciones ambientales en las que se desarrolla.

## Prevención y Control

Sin lugar a dudas es más sencillo, más eficiente y mucho más económico prevenir daño a la madera por organismos que controlar su desarrollo una vez en la madera.

Para prever el deterioro por hongos se puede utilizar un o una combinación de métodos, de acuerdo al valor de la madera y riesgo a la que está expuesta. En algunos casos es conveniente usar madera de especies que tengan gran durabilidad natural, entre las cuales tenemos a:

durámen

barí o santamaría (*Calophyllum brasiliensi*)

cedro rojo (*Cedrela odorata*)

cuapinol (*Hymenaea courbaril*)
chicozapote (*Manilkara zapota*)
gateado (*Astronium graveolens*)
guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*)
guayacán (*Guaiacum sanctum*)
hormiguillo (*Cordia alliodora*)
machiche (*Lonchocarpus castilloi*)
mora (*Maclura tinctoria*)
puktó (*Bucida buceras*)

El aumento en durabilidad natural de estas especies se debe a que por razones poco conocidas el duramen o centro de los árboles queda impregnado con sustancias químicas que son eficaces preservadores. Otra forma de proteger la madera del ataque de hongos es diseñar las estructuras de tal forma que el contenido de humedad de la madera se mantenga a menos de 18 por ciento. En algunos casos ésto consiste en cubrir las tuberías de agua fría con algún aislante para evitar la caida de agua condensada sobre la madera, un buen techado que no tegan goteras y sobresalga lo suficiente, ayudará a proteger los muros de la lluvia, ventilas en los desvanes o en el espacio entre techo y plafón, etc. Si la madera va a estar en contacto directo con el suelo su contenido de humedad probablemente sobrepase el 18 por ciento por lo que debe tratarse con algún preservador por métodos de presión prefe-

rentamente o baño en caliente y frío. Cuando la madera no está en contacto directo con el suelo, pero si expuesta directamente a la lluvia, ésta tiene menos riesgo de ser degradada por hongos, por lo que un tratamiento de preservador por imersión es satisfactorio para protegerla. Cuando la aplicación de la solución preservadora se hace con brocha o por aspersión, la protección que se obtiene es mínima, debido a ésto, únicamente se recomienda para casos de muy poco riesgo.

El tipo de solución preservadora que se emplea depende en muchas ocasiones del uso final de la pieza. Si esta no se va a pintar y la apariencia de la superficie no es importante, la creosota o pentaclorofenol disuelto en aceite oscuro podrían usarse. En cambio, si las piezas de madera se van a pintar o la apariencia es un factor muy importante, entonces lo mejor es utilizar soluciones de sustancias tóxicas en agua o en aceites ligeros o claros (sales tipo CCA o pentaclorofenol.

En el caso de termitas, es aún mucho más importante prevenir el daño que en el caso de los hongos, debido a que una vez que los insectos están en la madera, los métodos de control son muy costosos y difíciles de llevar a cabo con éxito. Cuando sea posible, las construcciones de madera no deben

estar en contacto directo con el suelo a menos que la madera haya sido impregnada correctamente con algún preservador por medio de tratamiento a presión o baño caliente y frío, o sea de alguna especie de conocida resistencia natural a las polillas. En las estructuras de anclaje o cimientos y tuberías de toma o drenaje, instalar escudos metálicos que impiden el paso de termitas subterráneas, cubrir con telas de alambre mosquitero ventanas y ventilas y remover toda la madera cercana a la construcción. En áreas de alto riesgo de ataque por termitas subterráneas, se puede añadir alguna solución insecticida al suelo alrededor de la estructura. Inspeccionar períodicamente (dos veces al año) los cimientos de cóncreto o mampostería y detectar algún inicio de daño causado por los insectos y destruir los túneles que se localicen sobre los cimientos, recordando que estos insectos para sobrevivir necesitan estar comunicados con su nido por medio de ellos para mantener condiciones necesarías de temperatura y humedad. Para evitar el daño por la polilla seca, utilizar especies de madera con resistencia natural a este insecto o aplicar a la madera algún preservador mediante tratamientos de inmersión, aspersión o brocha.

El ataque de taladradores marinos se ha evitado a cierto punto mediante, barreras físicas, así por ejemplo los fenicios recubrían la madera del casco de sus barcos con laminillas de plomo. En épocas recientes se han usado fundos o revestimientos de concreto, arcilla vidriada, hierro fundido, cobre, neoprano, etc., todos ellos con resultados variables y no confiables en alto grado. En ocasiones la coraza o recubrimiento se agrietaba por alguna razón, permitiendo la entrada de los organismos a la madera, la cual degradaban sin ser detectados hasta que el daño estaba muy avanzado, siendo necesario reemplazar la pieza. La mejor protección se le da a la madera impregnándola a presión con altas retenciones de sales hidrosalubles tipo CCA o con una combinación de creosota y alquitrán de hulla.

## Fuego

Otro factor muy importante responsable del deterioro de la madera es el fuego, el cual, al igual que hongos e insectos, no está bien entendido por la mayoría de la gente.

Los principales componentes químicos de la madera, celulosa, hemicelulosas y lignina, son cumbustible, por lo que la madera también lo es, sin embargo, no porque tenga esta propiedad quiere decir que si se usa en una estructura, ésta no puede ser resistente al fuego en caso de incendio.

Mecanismos de combustión en madera

La madera sometida a altas temperaturas sufre una descomposición o pirólisis, produciéndose alquitranes y gases que al mezclarse con aire pueden inflamarse. La temperatura a la que se inicia la combustión es de 330 a 600°C, dependiendo de que el calor sea convectivo (transmitido por aire) o conductivo (transmitido por otros cuerpos). En presencia de llama, la ignición depende además de la temperatura y del tiempo de exposición a ella.

Para el caso de la madera y su resistencia al fuego, es muy importante la relación entre forma y dimensiones de la pieza. Una astilla prende fácilmente, el fuego se propaga con rapidez y se consume en segundos o minutos. En el caso de una pieza grande con mucho volumen en comparación a su área (ejemplo: una columna de 10 X 10 X 400 cm)

ésta se prende con mayor dificultad que una astilla, la propagación de la flama se reduce considerablemente y se consume muy lentamente. En la superficie se forma una capa de carbón que actúa como aislante, además, a causa de la baja conductividad térmica de la madera, el interior de la pieza se conserva a temperaturas bajas, aunque en el exterior se esté quemando, por lo que la pieza conserva por mucho tiempo gran parte de su resistencia mecánica. La velocidad de penetración para madera de pino puede ser de 4 cm por hora.

La propagación superficial de las llamas en la madera se debe a la combustión de gases producidos por pirólisis, cuando el proceso llega a ser exotérmico.

Durante la combustión parcial de la madera, ya sea en forma de brasa o con la formación de llama, se producen gases y humos tóxicos, especialmente en el primer caso; sin embargo, estos no son tan peligrosos como los producidos por otros materiales, plásticos, fibras, sintéticas, etc. de uso común y extendido en muchas estructuras.

## Protección de la madera contra el fuego

Hasta la fecha, no se ha encontrado ningún tratamiento que convierta a la madera en un material incombustible.

Pero tampoco existe estructura alguna que sea cien por ciento a prueba de incendios, no importa si está hecha con materiales incombustibles.

El uso de piezas de madera de grandes dimensiones y combinaciones de varios materiales como tableros de yeso, asbesto, asbesto cemento o mampostería, son técnicas efectivas para que las estructuras resistan incendios, ya que proporcionan aislamiento térmico, se evita la propagación de llamas y previenen el paso de gases entre recintos contiguos.

Para evitar que el fuego se propague de una estructura a otra, es importante que exista una separación entre edificios y los techos y muros exteriores puedan cubrirse con materiales aislantes o incombustibles.

Otro de los recursos preventivos consiste en darle a la madera tratamientos con compuestos químicos hidrosolubles que actúan como retardantes de fuego, especialmente para piezas de pequeñas dimensiones, es decir, poco volumen en relación a una gran superficie.

Lo más importante en los incendios son los contenidos de las estructuras y no el material de que está hecha la estructura.

## Preservación de la Madera

Si mediante la utilización de especies de madera con durabilidad natural alta y/o factores de diseño no se puede tener gran confianza en que la madera en uso queda protegida contra el ataque de organismos, entonces es necesario que se le proteja mediante la aplicación de algún preservador.

### Consideraciones generales

En la actualidad en México se dispone de varios tipos de preservadores de madera, los cuales pueden ser aplicados mediante varios métodos por firmas comerciales o por los mismos usuarios, dependiendo en gran medida de la cantidad y tipo de madera por preservar, tipo de servicio y especialmente el riesgo a la que va a estar sujeta cuando en servicio.

### Características de principales preservadores

Los preservadores contienen una serie de principios activos, dependiendo de su composición química. En general, estos productos son, oppuedan ser por la propia actividad de los organismos, solubles en sus líquidos corporales o celulares, y al entrar en ellos bloquean la respiración o el metabolismo celular, inhibiendo o matando al organismo.

En el caso de algunos preservadores, su modo de acción consiste en actuar como repelentes, especialmente de insectos. Estos preservadores reunen características como: ser tóxicos a los organismos destructores de madera, penetrar fácilmente a la madera, ser poco lixiviables y por ello, tener alto poder residual, poder ser manejados y usados sin peligro a la salud, no dañar a la madera ni a los metales y ser accesibles y económicos en el mercado como en sus métodos de aplicación. Algunos de ellos, además son limpios, incoloros, compatibles con pinturas y barnices, resistentes al fuego o combinaciones de algunas de estas propiedades.

Las soluciones de preservadores más conocidos y usados en México son a base de creosota, pentaclorofenol y sales de cobre-cromo y arsénico.

La creosota es un producto de la destilación de carbón bituminoso, consistente en una mezcla de más de 40 importantes compuestos tóxicos a hongos e insectos. Su aplicación por lo general es por medio de métodos a base de presión. Una desventaja para ciertos usos, que la superficie de la madera queda muy sucia, imposibilitando su pintado, además del mal olor que despide.

El pentaclorofenol es un compuesto de cloro y fenol en forma de polvo verde-grisáceo. Es soluble en aceites y generalmente se aplica concentraciones del 5 por ciento. Se pueden utilizar aceites ligeros claros con los que se obtienen buenas apariencias de la madera tratada, además puede pintarse. Su aplicación puede ser por inmersión, aspersión o a base de métodos a presión.

Las sales hidrosolubles de cobre, cromo y arsénico, comunmente llamadas sales CCA, vienen en varios tipos, todos ellos contienen básicamente los mismos elementos tóxicos a los organismos destructores de la madera pero en diferentes proporciones, razón por la cual la madera tratada con algún tipo necesita una mayor o menor cantidad de sales por unidad de volumen que con la de otro tipo. Todos los tipos de estas sales son igualmente efectivos. La madera tratada con estas sales hidrosolubles queda limpia y se le puede aplicar toda clase de acabados. Por lo general la madera se impregna con métodos a base de presión. Una desventaja es que es necesario volver a secar la madera después de tratada.

Los productos retardantes de fuego actuan en varias formas: aumentan latemperatura requerida para ignición,

previenen o impiden la combustión sotenida, sus propios gases producidos por altas temperaturas diluyen a los gases inflamables y disminuyen la velocidad de propagación de las llamas. Los retardantes de fuego más efectivos son soluciones solas o en combinación de fosfato mono y dibásico de amonia, sulfato de amonia, bórax, ácido bórico y cloruro de sinc. El más eficaz es el fosfato de amonia, ya que no únicamente reduce la inflamabilidad de la madera, sino que previene la formación de brasa. Los retardantes de fuego, por lo general hidrosolubles, se aplican con tratamientos a presión.

En la madera tratada, los preservadores oleosos penetran a los lúmenes y espacios intercelulares, mientras que los hidrosolubles reaccionan químicamente y se precipitan en las paredes celulares.

Métodos de tratamiento

Los métodos de aplicación de preservadores son muy variados, van desde los de tipo doméstico hasta los que requieren de modernas plantas de impregnación. En muchas ocasiones la selección del método depende del grado deseado de penetración y retención del preservador, éste último expresado en Kg de preservador por $m^3$ de madera. El grado

de penetración y retención depende además del método de aplicación, de la anatomía y contenido de humedad de la madera. De éstos, el único factor que no se puede controlar es la anatomía de la madera.

Métodos sin presión

La gran ventaja de estos métodos es que no requieren de equipo caro o complicado y se pueden llevar a cabo con un mínimo de inversión. Tienen como desventajas importantes el que no se pueden alcanzar altas penetraciones y retenciones por lo que no se recomienda para tratar madera con poca permeabilidad o cuando ésta estará expuesta en condiciones con altos riesgos de ser deteriorada por organismos. Los métodos más simples consisten en aplicar la solución preservadora por brocha y por aspersión o baño. Se utilizan cuando los riesgos de deterioro son mínimos o como técnicas de mantenimiento en casos en que la madera ha sido tratada previamente por otros métodos. Con el método de inmersión (por lo regular por períodos de 3 a 5 minutos) se obtienen mayores retenciones y penetraciones y es el más comunmente usado para tratar ventanas y puertas fabricadas con maderas permeables. El método que le sigue en efectividad es el llamado "baño caliente y frío" que consiste básicamente en sumergir la madera en un

recipiente con la solución preservadora a temperatura alta hasta que ésta tenga la misma temperatura que la solución e inmediatamente después sumergirla en otro tanque.con la solución preservadora a temperatura ambiente. Esto causa un vacío parcial dentro de las celulas de la madera que facilita que mediante la presión atmosférica penetre más profundamente y una mayor cantidad de solución preservadora. Con especies de madera permeable se llegan a obtener penetraciones y retenciones de soluciones preservadoras, suficientes para proteger la madera que va a estar en contacto con el suelo. Otro método sin presión muy efectivo pero que se utiliza únicamente con preservadores a base de boro o fluor es el de difusión en madera verde. Esto consiste en sumergir madera con un alto contenido de humedad (entre más cerca a saturación mejor) en tanques de solución de preservadores a base de las sales arriba señaladas, después se estiba la madera muy junta para evitar que la madera se seque y permitir que los ingredientes activos se difundan de la superficie hacia el interior de las piezas de madera. Este método es muy efectivo y se recomienda para maderas poco permeables como son muchas de las tropicales.

Métodos a presión

Estos son los métodos que se utilizan para la aplicación de retardantes de fuego y de insecticidas y fungicidas cuando la madera estará sometida a altos riesgos de ser deteriorada por organismos como es el caso de madera susceptible de ser atacada por taladradores marinos. Estos procesos requieren de autoclaves o cilindros de tratamiento capaces de resistir altas presiones positivas y negativas. Se utilizan bombas neumáticas o hidráulicas y a veces calefacción para calentar la solución preservadora dentro y fuera del cilindro de tratamiento. Estos son los métodos de uso más común.

a) Proceso de célula llena.- Este comprende las siguientes fases: introducción de la madera al cilindro de tratamiento, aplicación de un vacío inicial para extraer el aire de la madera, en seguida, sin romper el vacío se introduce la solución preservadora al término de la cual se aplica presión hidráulica hasta lograr la retención y penetración deseada, se elimina la presión y se desaloja la solución del cilindro. Este proceso se usa comunmente para aplicar preservadores hidrosolubles y retardantes de fuego.

b) **Procesos de célula vacía.** Son usados principalmente dos tipos, el Rueping y el Lowry. En el primero después de introducir la madera al cilindro de tratamiento, se inyecta aire a presión, e inmediatamente de introduce la solución preservadora y se añade calor, se mantienen estas condiciones hasta lograr la retención deseada, después de la cual se translada la solución preservadora remanente a un tanque de almacenamiento y se aplica un período de vacío para remover solución de la madera y únicamente dejar recubiertas las paredes celulares con el preservador. El proceso Lowry consiste esencialmente de aplicar a través de la solución preservadora, una presión hidráulica a la madera dentro del cilindro de tratamiento hasta obtener la retención y penetración deseada, desalojar el cilindro y aplicar un vacio final. Los procesos de célula vacía se emplean para preservadores oleosos, y dan la oportunidad de economizar solución preservadora, recubriendo únicamente las paredes celulares y dejando poca solución en los lúmenes. Proporciona a la madera una adecuada protección cuando ésta no va a estar sujeta a riesgos muy altos de ser atacada por organismos.

A continuación se presenta un cuadro-guía que puede ser útil en la selección de preservador y método de aplicación, según el riesgo de daño al que va a estar sujeta la madera en uso.

| Tipo de solución preservadora | Método de tratamiento | Riesgo de daño |
|---|---|---|
| Hidrosolubles, pentaclorofenol, insecticidas | Con brocha, aspersión o baño | Bajo |
| Hidrosolubles, pentaclorofenol, insecticidas | Inmersión | Bajo |
| Creosota, pentaclorofenol | Baño caliente-frío | Moderado-Alto |
| Hidrosolubles (boro y fluor) | Difusión en madera verde | Moderado-Alto |
| Creosota, pentaclorofenol | Célula vacía | Alto |
| Hidrosolubles, retardantes de fuego, creosota, pentaclorofenol | Célula llena | Alto-Severo |

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

# USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES EN LA VIVIENDA

## C O M P L E M E N T O

DR. RAMON ECHENIQUE MANRIQUE

NOVIEMBRE, 1980

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

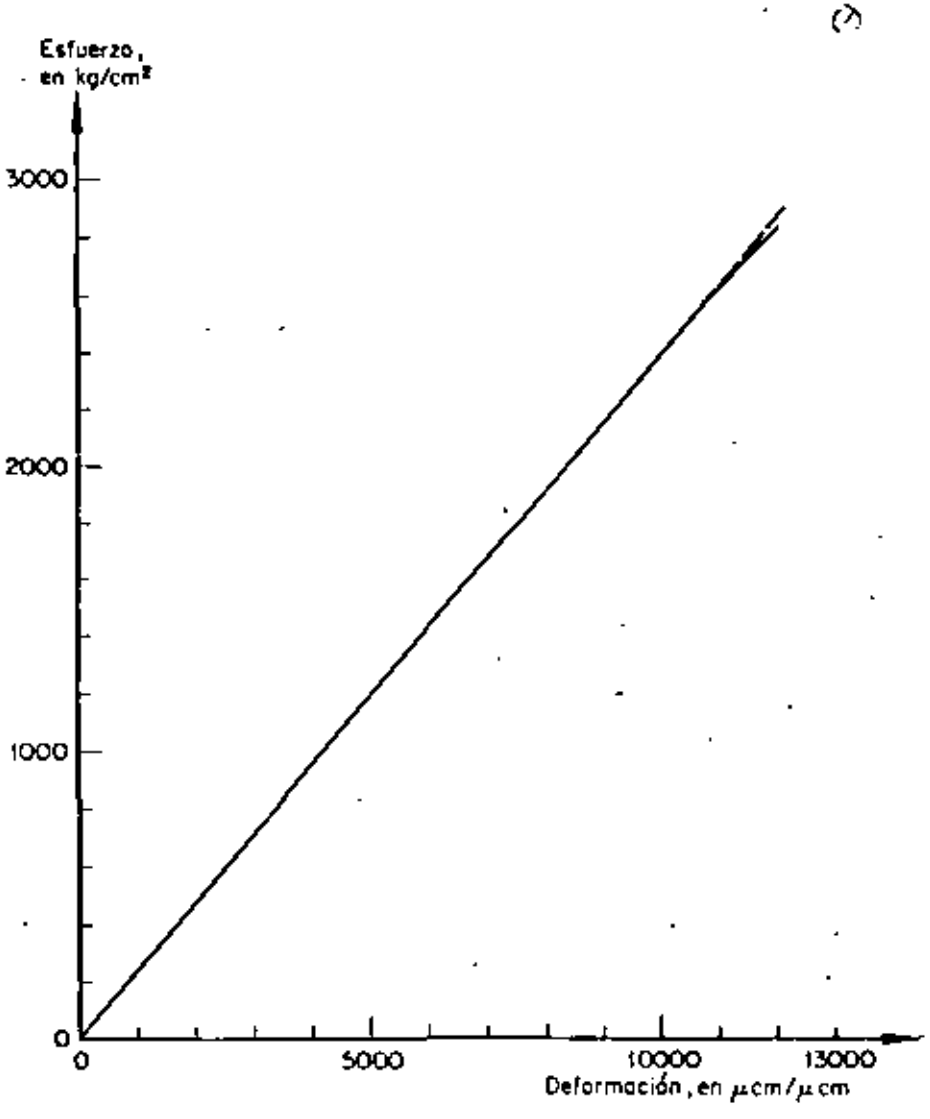



Fig. 3.1 Gráfica esfuerzo-deformación de una probeta ensayada en tensión II. *Enterolobium schomburgkii* de 0.98 DA y VV de gravedad específica y contenido de humedad de 11.37 por ciento.

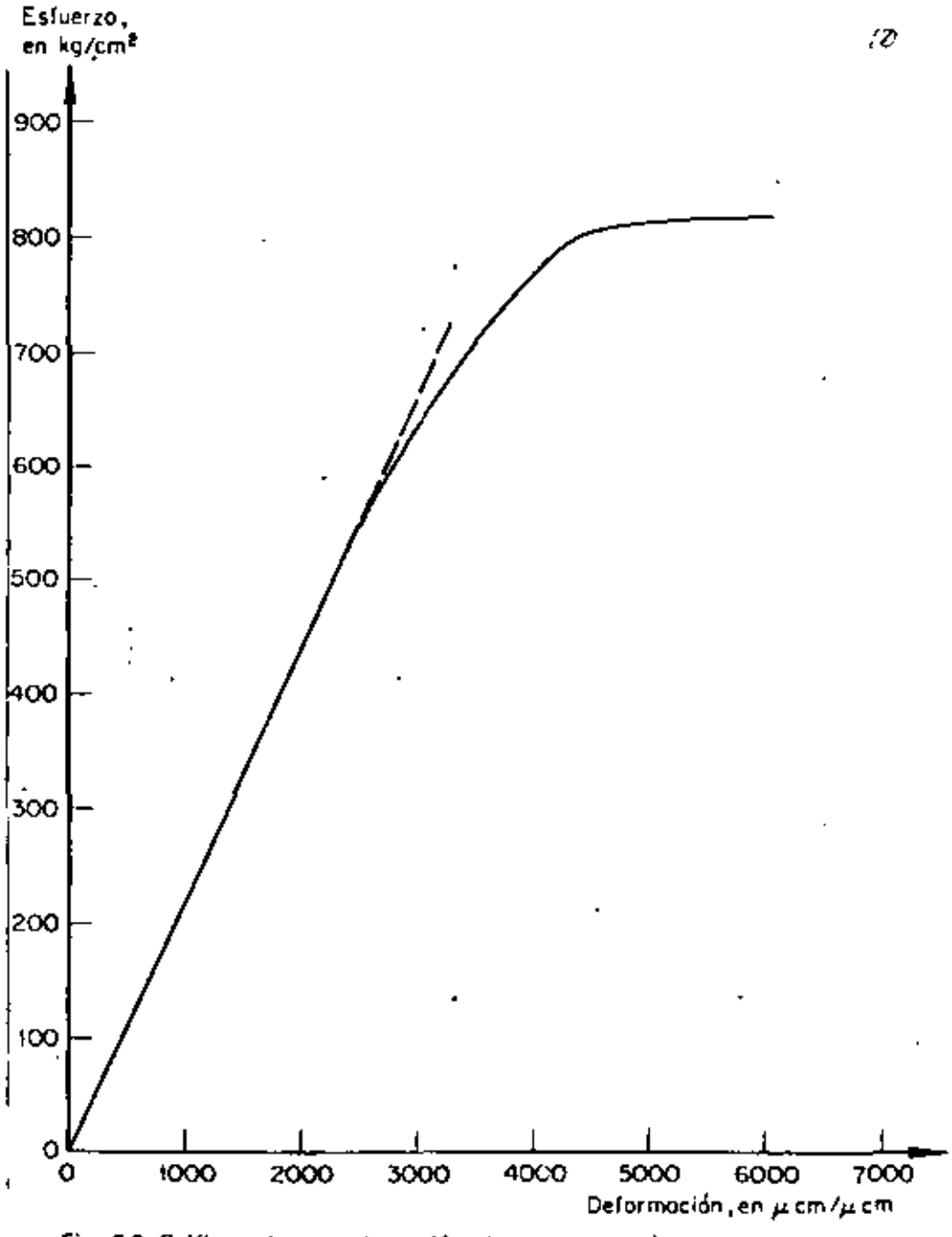



Fig. 3.2 Gráfica esfuerzo-deformación de una probeta ensayada en compresión II. *Enterolobium schomburgkii* de 0.98 PA y VV de gravedad específica y contenido de humedad de 7.30 por ciento

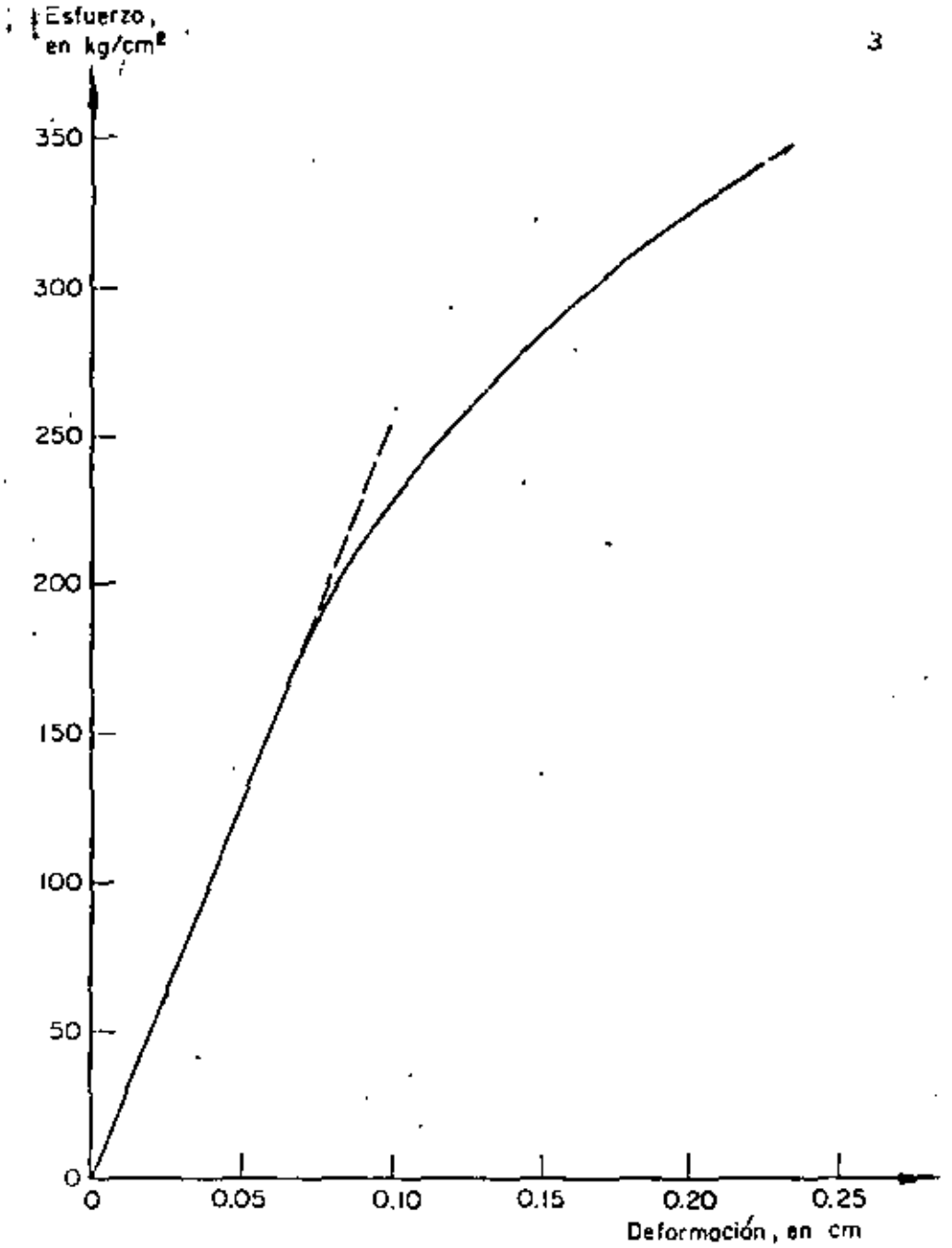



Fig. 3.3 Gráfica esfuerzo-deformación de una probeta ensayada en compresión L *Lophira alata* de 1.00 PA y VV de gravedad específica y contenido de humedad de 31.93 por ciento.

TABLA 5.5. PROPIEDADES DE ALGUNAS MADERAS MEXICANAS

- 58 -

| NOMBRE CIENTIFICO | NOMBRE COMUN | RELACION PESO ANHIDRO/VOLUMEN VERDE (gr/cm³) | FLEXION ESTATICA: MODULO DE ROTURA (kg/cm2) | FLEXION ESTATICA: MODULO DE ELASTICIDAD (kg/cm2) | MODULO DE ROTURA EN COMPRESION PARALELA A LA FIBRA (kg/cm2) | ESFUERZO AL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD EN COMPRESION PERPENDICULAR A LA FIBRA (kg/cm2) | ESFUERZO CORTANTE PARALELO A LA FIBRA (kg/cm2) | DUREZA JANKA PERPENDICULAR A LA FIBRA (kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **EN CONDICION VERDE** | | | | | | | | |
| Terminalia amazonia (S.23) | Canshán, Tepesuchil | 0.62 | 741 | 119000 | 375 | 50 | 102 | 458 |
| Calophyllum brasiliense (S.23) | Barí, lechugaría | 0.57 | 745 | 106000 | 343 | 50 | 94 | 407 |
| Cordia alliodora (S.21) | Bajón, hormiguero | 0.44 | 636 | 90000 | 293 | 48 | 80 | 363 |
| Dialium guianense (S.21) | Guapinol, guapinol | 0.71 | 910 | 129000 | 408 | 115 | 124 | 893 |
| Lonchocarpus castilloi (S.23) | Muchicho, chaperio | 0.73 | 1256 | 140000 | 511 | 100 | 121 | 797 |
| Simarouba glauca (S.21) | Pasá ak, pajuité | 0.40 | 442 | 75800 | 207 | 27 | 55 | 175 |
| Vochysia hondurensis (S.21) | Mucablanco, apostoso | 0.33 | 390 | 73000 | 152 | 29 | 50 | 181 |
| Pinus cooperi (S.19) | Pino amarillo | 0.39 | 349 | 69300 | 124 | 21 | 49 | 154 |
| Pinus durangensis (S.19) | Pino blanco | 0.46 | 450 | 90200 | 166 | 30 | 62 | 223 |
| Pinus patula (S.24) | Pino colorado | 0.47 | 407 | 81000 | - | 28 | 65 | 240 |
| Pinus montezumae (S.24) | Chamite | 0.42 | 330 | 65000 | - | 22 | 59 | 260 |
| Pinus lawsoni (S.18) | Pino ortigulillo | 0.51 | 307 | 77000 | - | - | - | 241 |
| **EN CONDICION SECA, A UN CONTENIDO DE HUMEDAD DEL 12%** | | | | | | | | |
| Terminalia amazonia (S.21) | | 0.64 | 1275 | 159000 | 695 | - | 147 | 780 |
| Calophyllum brasiliense (S.21) | | 0.52 | 1040 | 126000 | 484 | 62 | 146 | 515 |
| Cordia alliodora (S.21) | | 0.44 | 856 | 106000 | 445 | 58 | 86 | 367 |
| Dialium guianense (S.21) | | 0.71 | 1364 | 152000 | 669 | 132 | 174 | 1066 |
| Lonchocarpus castilloi (S.21) | | - | 1882 | 151000 | 862 | - | 194 | 1150 |
| Simarouba glauca (S.21) | | 0.40 | 625 | 86800 | 379 | 42 | 81 | 195 |
| Vochysia hondurensis (S.21) | | 0.33 | 555 | 81000 | 290 | 31 | 78 | 180 |
| Pinus cooperi (S.18) | | 0.39 | 872 | 114000 | 453 | 47 | 96 | 238 |
| Pinus durangensis (S.18) | | 0.46 | 1035 | 121000 | 475 | 63 | 105 | 346 |
| Pinus patula (S.20) | | 0.48 | 965 | 128000 | 448 | 50 | 102 | 359 |
| Pinus montezumae (S.20) | | 0.42 | 782 | 110000 | 378 | 45 | 99 | 302 |
| Pinus lawsoni (S.18) | | 0.51 | 850 | 92000 | - | - | - | 401 |

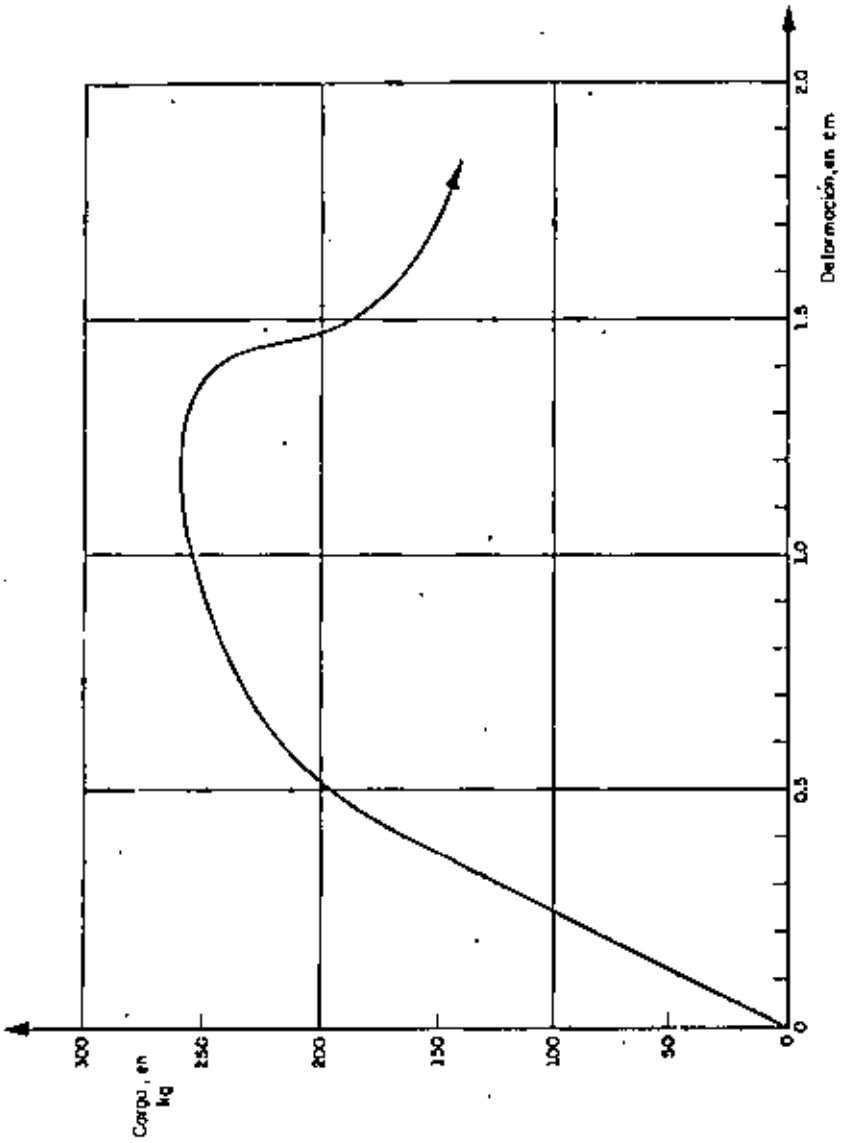



Fig. 3.4 Gráfica carga deformación de una probeta de pino ensayado en flexión estática. *Pinus arizonica* de 0.42 PA y VV de gravedad específica y contenido de humedad de 12.5 por ciento

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

# USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES EN LA VIVIENDA

## FORMAS COMERCIALES DE UTILIZACION DE LA MADERA

M. EN C. RAYMUNDO DAVALOS SOTELO

NOVIEMBRE, 1980

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

# 5. FORMAS COMERCIALES DE UTILIZACION DE LA MADERA

## 5.1 DESCRIPCION DE PRODUCTOS DERIVADOS DE LA MADERA

La madera tiene diversas aplicaciones. Se acostumbra clasificar a los productos de madera en los siguientes productos primarios (Robles F-V 1980): leña madera en rollo, madera labrada, madera aserrada, tableros y productos derivados de la pasta. La madera rolliza es la que no se elabora antes de su uso y no se emplea como leña. La madera labrada es la que se obtiene dándole la forma requerida con hacha o zuela. La madera aserrada es la que recibe la geometría especificada a través de un proceso mecánico o manual de aserrado. Los tableros o paneles son elementos planos obtenidos por diversos procedimientos industriales. Se incluyen dentro de esta categoría el triplay o madera contrachapada y los diversos tipos de tableros de fibras o aglomerados. La importancia económica relativa de estos productos primarios puede apreciarse en la tabla 1, tomada de ña referencia (Robles F-V1980).

TABLA 1. Valor de la Producción Mundial de Productos de Madera (Datos Correspondientes a 1960, en miles de millones de dólares, E.U.A.)

| | |
|---|---|
| Leña | 4.8 |
| Madera | 1.6 |
| Madera aserrada | 16.9 |
| Productos derivados de la pasta | 27.1 |

En la tabla 2 se dan algunos datos sobre el consumo mundial de los principales productos de madera, también tomada de la referencia (Robles F-V, 1980.)

TABLA 2. Consumo Mundial de Productos de Madera (Datos Promedio 1960-62)

| PRODUCTOS | UNIDADES DE MILLON |
|---|---|
| Madera aserrada | 346 $m^3$ |
| Productos derivados de la pasta de madera | 78 ton |
| Paneles | 31 $m^3$ |
| Madera rolliza | 188 $m^3$ |
| Leña | 1088 $m^3$ |

Según información de la FAO el consumo mundial de madera tiende a aumentar. El aumento en términos absolutos, se atribuye fundamentalmente al incremento de la población. Sin embargo, el consumo per cápita tiende a disminuir por la mayor eficiencia en la utilización de la madera. La madera en rollo y la leña son los únicos productos forestales cuyo uso tiende a disminuir a nivel mundial; el consumo de madera aserrada aumenta a un ritmo relativamente lento mientras que la utilización de la madera laminada y de los tableros de diversos tipos se incrementa de manera acelerada.

Si se comparan las tendencias y los consumos de las

diversas regiones del mundo se aprecian fuertes contrastes. Por ejemplo, en América del Norte el consumo de madera en sus diversas formas es del orden de 400 millones de $m^3$ (rollo), mientras que en América Latina no llega a los 50 millones. En general, los consumos por habitantes en los países desarrollados son por lo menos cinco veces superiores a los de los países Latinoamericanos. Además, el uso de las formas más industrializadas de la madera es más marcado en las regiones industrializadas que en las regiones menos desarrolladas.

Como se mencionó al principio del curso, México cuenta con recursos forestales de cierta importancia. Sin embargo, las tablas 3 y 4 tomadas de la referencia (Robles F-V, 1980). En estas tablas se comparan los consumos y producciones de los principales productos forestales de México con los de varios países de diversas regiones.

TABLA 3. Consumo Anual de Productos Forestales por Millar de Habitantes (Datos promedio de 1960 - 1962).

| | México | E.U.A. | Japón | Brasil |
|---|---|---|---|---|
| Madera aserrada ($m^3$) | 27.5 | 467.4 | 308.7 | 75.7 |
| Paneles ($m^3$) | 1.9 | 80.0 | 16.0 | 3.3 |
| Papel y cartón (ton.) | 15.4 | 190.9 | 53.1 | 9.4 |
| Madera rolliza ($m^3$) | 30.5 | 93.6 | 72.6 | 34.1 |
| Leña ($m^3$) | 239.0 | 214.0 | 167.0 | 1462.0 |

TABLA 4. Producción Anual de Productos de Madera Expresada en Miles de $M^3$ de madera Rolliza empleada en su obtención (Datos promedio de 1960 - 62)

| | México | E.U.A. | Japón | Brasil |
|---|---|---|---|---|
| Trozas de aserrio, rollos para chapas y trozas para traviesas | 2160 | 170 694 | 31 308 | 14 169 |
| Madera para pasta y puntales para minas | 697 | 71 916 | 13 302 | 1 063 |
| Otras maderas industrializadas | 1 050 | 15 275 | 4 063 | 1 400 |
| Leña | 8 463 | 38 949 | 15 608 | 105 000 |
| Total | 12 550 | 296 834 | 64 011 | 122 632 |

En las secciones siguientes se presentan algunos comentarios sobre las formas de utilización de la madera para fines estructurales en México.

### 5.1.1 Madera rolliza

La madera rolliza (madera sin elaborar), es de uso bastante frecuente en México en construcciones rurales y tradicionales. En varias regiones todavía se emplea en andamios, cimbras y obras falsasde diversos tipos. Un empleo bastante exitoso de este producto es en el caso de lineas de transmisión de energía eléctrica y de teléfono. En algunos puentes de caballete todavía se emplea como elementos verticales de carga. Un uso algo difundido en otras regiones del mundo

es la construcción de viviendas y en construcciones industriales y rurales como elementos soportantes de la cubierta,como los muros y, en ocasiones hasta los pisos.

Un uso tradicional que tiende a desaparecer es la construcción de cabañas con troncos (Fig.1)[1].

5.1.2 Madera labrada

Se llama madera labrada a la que se obtiene dándole la forma requerida con hacha o azuela. Las piezas de madera labrada son todavía de uso común en las construcciones rústicas, aunque es de esperarse que esta manera de elaborar la madera sea sustituida por la aserrada puesto que la elaboración de la madera labrada implica desperdicios importantes.

Los miembros de madera labrada generalmente son piezas relativamente robustas utilizadas como vigas, postes, pilotes o cabezales de caballetes para puentes. Para cabezales y usos semejantes son comunes las piezas cuadradas de 30 a 35 cm de lado y longitudes de unos cuatro a seis metros. Para postes de diversos tipos normalmente se utilizan secciones menores. Las dimensiones apróximadas más usuales para las secciones de vigas son de 10 x 20cm y 20 x 40cm. Las longitudes no suelen pasar de unos 8.5m. Una aplicación típica de las vigas labradas está en los techos denominados de bóveda catalana (Fig.2). (Robles F-V 1980).

1) Tomada de la referencia (Robles F-V, 1980).

### 5.1.3 Madera Aserrada

El volumen de madera aserrada utilizado en la construcción excede con mucho al de los demás productos forestales con algún grado de elaboración, en todas partes del mundo, como pudimos observar en las tablas 1 a 4. En México aproximadamente el 8% procede de las especies coníferas. Alg-nas otras especies de las que se obtiene madera aserrada son la caoba, el cedro, el ayacahuite, el encino y el nogal.

En nuestro país, a diferencia de lo que ocurre en otras naciones, la mayor parte de la madera aserrada se destina a obras provisionales de diversos tipos (cimbras y obras falsas). En México son poco frecuentes las estructuras permanentes a base de madera.

Desde nuestro punto de vista, son dos los principales problemas que contribuyen a crear esta situación desfavorable para el uso de la madera en la construcción:

1) El escaso control sobre las dimensiones reales de la madera aserrada y

2) La inoperancia de las reglas de calificación y clasificación para fines estructurales que existen en México.

El problema de las dimensiones será tratado en cierto detalle en esta sección. Las observaciones acerca de la inefi-cienciade los sistemas de clasificación se harán en el siguien-te tema.

Los párrafos que se citan a continuación fueron reproducidos de la referencia (Robles F-V, 1980).

"Comercialmente la madera aserrada se consigue en México con una variedad relativamente amplia de dimensiones. Por tradición es costumbre dar las medidas en unidades inglesas: pulgadas para anchos y espesores, pies para longitudes. Todavía es usual estimar las columnas en pies-tablón* aunque existe una tendencia a usar el metro cúbico como unidad. Las dimensiones utilizadas para identificar las piezas de madera son nominales y suelen corresponder a las dimensiones de la pieza en estado verde..."

"...Las discrepancias entre las medidas nominales y las medidas reales dependen de la forma de aserrado, del acabado de la pieza (cepillada o simplemente aserrada) y de la contracción por secado. En algunos casos las diferencias en las dimensiones transversales son del orden de 1/2 a 3/4 de pulgada"

"* El pie-tablón (o board-foot en la terminología inglesa) es el volumen de un prisma de 12 x 12 x 1 pulgadas. Esto

equivale apróximadamente a 0.00236 $m^3$ . Comercialmente los volumenes de madera suelen determinarse en base a las dimensiones nominales."

"Existe poco control sobre el contenido de humedad: a veces la madera aserrada se pone a la venta prácticamente verde. En general el tratamiento de la madera bajo tehcado, apilada de tal manera que el aire circula libremente entre las piezas. Es poco frecuente el secado en estufa. Son raros los tratamientos fungicidas, insecticidas es de protección contra incendios."

"Las dimensiones de las piezas de madera aserrada comúnmente utilizadas en México suelen ser combinaciones de las siguientes medidas (Gracia-García, 1974).

Ancho: 4,6,8,10,12 pulgadas

Grosor: 1/2, 3/4, 1, 1/2, 2, 2-1/2, 3, 3 1/2, 4 pulgadas

Largo: 8-1/2, 10, 14, 16, y 20 piezas".

"Un estudio reciente (García-García, 1974 ), indica que las clasificaciones de las piezas de madera ofrecidas comercialmente en el Distrito Federal para fines estructurales se encuentra todavía en estado bastante rudimentario. Por ejemplo, no parecen existir normas sobre tolerancias en dimensiones. Como se señaló anteriormente, el contenido de humedad está poco controlado. La información sobre las especies de madera ofrecidas es escasa..."

"Es convenitnes tomar medidas tendientes a estandarizar las dimensionew de las piezas de madera aserrada y establecer tolerancias realistas para estas dimensiones. Esto es de especial interés en relación con el desarrollo de métodos de producción industrializada de componentes estructurales y de sistemas a base de prefabricación. Preferiblemente las medidas adoptadas deben concordar con las de otros países con el fin de facilitar el intercambio de productos..."

"...Cualquier conjunto de medidas que se adopte debe basarse en el sistema métrico (SI) que incluso en los Estados Unidos parece será reconocido oficialmente en fecha no muy lejana".

## 5.2 Madera Laminada y Contrachapada

### 5.2.1. Madera Laminada

Muchos ejemplos de construcciones con madera encolada se han conocido desde hace mucho tiempo, debido a su utilidad para la fabricación de botes y barcos. Sin embargo, la tecnología realmente importante de combinar pequeñas piezas de madera para formar grandes secciones de madera, con la resistencia y durabilidad de la madera de una sola pieza, es ciertamente un producto reciente de los últimos cuarenta años.

El término "adera laminada" es utilizado para clasificar aquellas vigas, columnas, o arcos, los cuales son producto uniendo entre sí con un adhesivo piezas de madera, en un alineamiento de cara contra cara y paralelo al grano. Este tipo de produc-

to es por lo mismo distinguido de la madera contrachapada, donde las capas de madera, ú hojas de chapa, son unidas entre sí con el grano a ángulo recto, y donde se debe usar un número impar de capas para obtener un sistema balanceado, libre de pandeo o torceduras (Moult, 1977).

La técnica de la madera laminada encolada adquieió gran auge a partir de la segunda Guerra Mundial gracias al desarrollo de los pegamentos a base de resinas sintéticas. Las piezas utilizadas para formar los elementos de madera laminada son tablas con espesores de 1.5 a 2.5cm. La longitud de estas tablas puede ser relativamente pequeña, pero pueden obtenerse piezas de longitudes importantes utilizando varias tablas en cada capa. Como el pegamento utilizado entre las uniones de los extremos de las tablas es por lo menos tan fuerte como la madera misma, el comportamiento de elementos laminados es semejante al de piezas macizas. (Robles F-V, 1980).

Los tipos de adhesivos apropiados para los elementos laminados están restringidos por las condiciones de aplicación y por los requerimientos de uso. Los pegamentos que curan a temperaturas ambientales, con buena durabilidad para uso expuesto a la intemperie, son los que se utilizan casi exclusivamente hasta la fecha. Los adhesivos a base de resorcinol son el único tipo que cumple con los requerimientos industriales comúnmente aceptados. Las vigas laminadas modernas son demasiado grandes o tan poco manejables como para poder ser transferidas a hornos o áreas con temperatura elevada. Por lo tanto, los pegamentos deben de ser capaces de secar sin la aplicación de calor externo. (Moult, 1977).

La fabricación de elementos laminados requiere equipo especial, personal técnico calificado y una supervisión cudadosa. Por ejemplo, las tablas utilizadas en la manufactura de las piezas laminadas deben ser cepilladas antes de unirse entre sí. Si se utiliza madera sin cepillar, las tablas estarían separadas por grandes vacíos cuando se colocaran cara contra cara debido a asperezas superficiales, alabeos, etc. No sería económico rellenar estos huecos con un adhesivo que es caro.

El contenido de humedad de la madera ejerce una influencia muy importante sobre el proceso de pegado y sobre los propios adhesivos. Es muy conveniente fabricar las vigas laminadas con madera secada a rangos normales de equilibrio de 8 a 15 porciento. A níveles mayores de contenido de humedad, la absorción de líquido de la película de adhesivo se retarda y esto retrasa o dificulta un curado apropiado. A niveles menores de humedad, la contratación excesiva y las grietas por secado disminuyen la resistencia de la unión. (Moult, 1977).

El diseño de estructuras laminadas es algo más complejo que el de estructuras de madera maciza. Sin embargo, la madera laminada exhibe considerables ventajas que compensan este inconveniente. Permite el aprovechamiento de piezas pequeñas de madera de calidad inferior, para formar elementos estructurales de grandes dimensiones. Por medio de un diseño cuidadoso se puede lograr un aprovechamiento óptimo de la madera disponible, ya que la madera más resistente puede colocarse en aquellas partes del elemento donde los esfuersos sean sríticos, y la de calidad inferios,donde

los esfuerzos sean menores. 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.

Otro factor importante que el ingeniero debe considerar en el diseño de un sistema estructural es que los miembros de madera laminada tienen una alta relación resistencia al peso. Por esta razón, los sistemas de techo con madera laminada usualmente resultan en requerimientos de carga muerta menor, lo que conduce a un costo de construcción mas bajo para el diseño de conexiones, columnas; contrafuertes y cimientos. (Stadelmann, 1971).

Otra de las grandes ventajas en el diseño de elementos laminados es la habilidad de dimensionar y proporciohar los miembros según sea requerido por lasfuerzas de diseño calculadas.

Desde un punto de vista arquitectónico la madera laminada tiene gran atractivo por su textura y por la gran variedad de formas estructurales que pueden lograrse. La viga recta, de peralte constante y sección rectangular, T o I es probablemente la aplicación más común. Sin embargo pueden fabricarse vigas curvas o de peralte variable e incluso arcos de diversos tipos. Los elementos de madera laminada son especialmente apropiados para edificios públicos donde se requieren claros de cierta importancia como es el caso de salas de espectáculos, gimnasios y locales para exposiciones.

Hasta la fecha son contadas las estructuras construidas en México con madera laminada. Sin embargo, dada la importancia de las ventajas que ofrece parece probable una tendencia a un uso creciente

de este material (Pobles F-V, 1980).

5.2.2 Madera Contrachapada

La madera contrachapada es un material con una alta resistencia, durabilidad y eficiencia estructural inherente, lo cual la hace un material de construcción ideal para casos, oficinas y usos industriales.

La madera contrachapada se fabrica uniendo tres o más hojas de chapa o láminas con una sustancia adhesiva de tal manera que el hilo o las fibras de la madera de capas adyacentes esté en ángulo recto una con respecto a la otra. La madera contrachapada o triplay se manufactura siempre con un número impar de capas, cada una perpendicularmente a las otras, para evitar alabeos por falta de simetría. Las capas pueden consistir de una, dos o más hojas de chapa lamina das con la dirección del grano paralelo. (Fig.3)

Las trozas, después de ser cortadas a la longitud necesaria, son colocadas en un gran eje el cual se hace girar mientras una cuchilla presionada por otra la troza desarrolla una delgada capa de madera (Figs. 4 y 5). Se recortan los defectos de esta capa delgada ó hoja de chapa, la cual finalmente se corta a lo ancho apropiado para la fabricación del triplay. Las chapas también se pueden obtener mediante una guillotina o cuchilla que se desliza paralelamente a la superficie de corte del tronco, cuadrado o tablón, sin que haya giro.

En la planta, las hojas de chapa son unidas bajo presión

con adhesivos para crear un panel con una liga entre las capas tan fuerte, o más fuerte que la madera misma.

Las dos superficies exteriores del tablero son llamadas caras (a menudo una superficie será llamada la cara y la otra superficie el fondo). La capa intermedia es llamada el centro en una configuración de tres capas. Las otras capas son también llamadas centros.

La construcción de madera contrachapada se refiere a la composición de las capas interiores. Las caras son por lo general hojas de chapa pero los centros pueden consistir de cuatro diferentes tipos de productos de madera; todas las capas inferiores de (1) chapas de madera; (2) tiras de madera unidas entre sí; (3) tableros de particulas; y (4) tagleros de fibras.

Antes de aplicar adhesivos a las hojas de chapa una cantidad de agua muy grande debe ser removida de la madera para asegurar un correcto curado del adhesivo. Las estufas de secado de una planta de triplay son grandes cámaras equipadas con equipo de calefacción y con ventiladores y utilizan sistemas de transporte automático para el manejo de las hojas de chapa. Algunas estufas se colocan detrás del eje rotatorio, lo cual permite que las chapas desenrolladas se sequen en una lámina ó banda continua y después de este secado son recortadas al ancho deseado. Usualmente la humedad en las chapas no debe ser mayor que el 7 porciento porque los adhesivos típicos a base de resinas de fenol formaldehido no curarán adecuadamente a contenidos de humedad substancialmente mayores. (Seller,1977).

Después de que las chapas han sido secadas propiamente son transportadas a la operación de aplicación del pegamento. El triplay se distribuye en cuanto a su resistencia, la humedad, de acuerdo con el tipo de adhesivo utilizado; a) triplay para uso interior, resistente a la humedad, con resinas de urea-formal de hído como adhesivo , b) triplay para uso exterior, resistente al agua y moderada exposición a la intemperie, fabricado con resina de fenol-formaldehido; y c) triplay marino, a prueba de agua y con gran resistencia a la intemperie, también fabricado con resinas fenólicas (Robles F-V, 1980).

El último paso en el proceso fabricación de la madera contrachapada es la unión de las hojas de chapa bajo presión y a alta temperatura. Después de esta aplicación de presión y calor, los paneles son apilados para acondicionamiento, aserrado a la dimensión final y lijado. Entonces están listos para inspección, clasificación, atado y distribución.

El triplay utilizado en México para fines estructurales generalmente es de madera de pino. Las dimensiones más comunes de las láminas de triplay son 1.22 x 2.44m (4 x 8 pies), con espesores de 9mm (3/8 de pulgada), 12mm (1/2 pulgada), 16mm (5/8 pulgada) y 21mm (7/8 pulgada). El triplay de angiospermas se emplea en la fabricación de muebles.

En nuestro país el uso estructural más común de la madera contrachapada es en la construcción de cimbras. Se utiliza poco en estructuras permanentes a pesar de que por sus formidables propiedades puede tener muy variadas aplicaciones en la construcción

En Norteamérica y Europa el triplay desempeña un papel de gran importancia en la construcción de viviendas.

5.2.3 Tableros Aglomerados y de Fibra

La industria de los tableros de fibras y de partículas ha crecido rápidamente en los países desarrollados desde su inicio en Europa durante la segunda Guerra Mundial. Su desarrollo original fue una respuesta a la demanda de un panel barato que pudiera ser producido de madera de baja calidad inapripiada para el triplay. En los años 50's la industria de los tableros de particular se estableció en los Estados Unidos más que como respuesta a la demanda del producto, en respuesta a la disponibilidad de residuos baratos generados por los aserraderos. Su introducción en México es Relativamente reciente, pero parece clara la tendencia a un uso creciente de esta forma de aprovechar la madera.

Los tableros de fibra o de particulas se producen en grandes plantas, con fuertes inversiones de capital y con equipo altamente automatizado. Aunque existen variaciones en el equipo entre las diversas planras, en todas ellas, se siguen procesos similares de fabricación. Los pasos que se siguen son preparación de las partículas, secado de las mismas, mezclado y adhesión de las partículas, la formación del colchoncillo, el prensado en caliente, y el terminado, para los tableros de partículas.

El tablero de partículas es un producto industrial hecho de partículas o fragmentos pequeños unidos entre sí o fragmentos pequeños unidos entre si con un adhesivo bajo condiciones controladas

de presión y temperatura. Una diferencia básica entre los tableros de partículas y los tableros de fibras es el grado de desintegración de la estructura de la madera. Las partículas componentes de los tableros de fibras pueden ser fibras individuales de la madera o racimos de fibras, la unión entre las partículas se logra por un sistema adhesivo añadido. Algunos tipos de tableros de fibras también están compuestos de fibras y racimos de fibras pero la unión entre las partículas se debe a la auto-adhesión por presión en el panel de alta densidad no a un adhesivo externo. (Kelly, 1977).

Los tableros en su forma final conservan propiedades de la madera original, pero adquieren nuevas propiedades según el procedimiento de fabricación al que son sometidas.En algunos casos sus propiedades físicas, que varían mucho de un producto a otro, son superiores a las de la madera natural. (Robles, F.V., 1980)

TABLEROS DE PARTICULAS

Los tableros de particulas, ó aglomerados, como a veces se denominan, se fabrican con fragmentos pequeños de madera natural (astillas, hojuelas, virutas, etc.) de cualquier especie, unidas por medio de algún adhesivo, bajo determinadas condiciones de presión y temperatura. Comúnmente se emplea un amplio rango de tamaños de partículas desde gránulos de aserrin hasta hojuelas de tres pulgadas de longitud, aunque raramente incluye el rango entero de la distribución de tamaños en un solo tipo de tablero. Las diferencias principales de los tableros de partículas respecto a los de fibras consiste en el estado físico en que se encuentra la madera utilizada y el hecho de que en los de partículas es necesario emplear adhesivos.

Los adhesivos más ampliamente utilizados para la fabricación

estos tableros son los basados en urea-formaldehído. Sus ventajas son que tienen un bajo costo, curado rápido, y no tienen calor. Sus desventajas son que tiene poca durabilidad y su picante olor característico a formaldehido. Los adhesivos a base de fenol-formaldehído son los únicos otros sistemas de adhesivos utilizados en cantidad significativa en la producción de estos tableros. Este tipo de adhesivos se utiliza cuando se requiere mayor resistencia a la húmedad y a la intemperie. Las resinas utilizadas como aglomerantes representan del cinco al diez por ciento del material de madera seco. En algunos tableros se emplea cemento portland como aglomerante. En tal caso se prescinde de los tratamientos térmicos. (Robles, F.V.,1980).

En nuestro país se producen tableros de peso volumétrico promedio de 400 a 800 $Kg/m^3$. Algunos constan de tres capas, siendo, las dos externas más comprimidas y de partículas más pequeñas que la central.

Las medidas de los tableros de partículas producidas comercialmente son las siguientes (Robles, F. V., 1980):

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

Anchos: 0.91, 1.22, 1.83 m

Largos: 1.83, 2.44, 3.05, 3.66, 4.27 y 4.88 m

Los tableros a base de cemento portland tienen los siguientes medidas:

Espesores: 25 y 50 mm

Ancho: 0.61 m

Largo: 2.44 m

TABLEROS DE FIBRA

Los tableros de fibra, se fabrican de fibras obtenidas de pulpa o pasta de madera natural por algún procedimiento y sometidos a presión, bajo determinadas condiciones de temperatura, para formar láminas. Las densidades de los tableros de fibra son muy variables, según el tratamiento de presión utilizado (Robles F-V, 1980).

Este tipo de tableros se utilizan en la construcción de casas-habitación y de mobiliario como recubrimiento en los muros, aislantes, acabados, y en las puertas. Esta industria empezó a desarrollarse en 1914 con el desarrollo de los tableros aistalntes (Spalt, 1977). En la tabla 5 se muestra la clasificación de los tableros de fibra. (Spalt, 1977).

TABLA 5

Clasificación de los tableros de Fibra

| Clase | Densidad $Kg/m^3$ | ¿Densificado? |
|---|---|---|
| Aislantes | | |
| Semirígidos | | No |
| rígidos | | No |
| Duros y Estraduros | | |
| Densidad Media | | Sí |
| Densidad Alta | | Sí |
| Especial Densificado | | Sí |

La manipulación de la materia prima y de los procesos hace posible que se produzcan tableros de fibras con diversas propiedades. Por ejemplo, los tableros de baja densidad con características de aislamiento de calor y absorción del sonido también poseen suficiente resistencia para aplicarse como revestimiento de muros, y como falso plafón. Los tableros de alta densidad poseen buenas características de maquinado, embossability. y adecuadas características de impresión para aceptar diseños decorativos de alta fidelidad en color y textura lo que los hace adecuados para decoración interior, revestimiento de puertas, o como componentes de muebles. Los tableros de densidad media combinan un nivel adecuado de trabajabilidad, y embossability con una alta resistencia al intemperismo así como facilidad para ser pintados, lo que los hace excelentes como revestimientos exteriores. (Spalt, 1977).

La materia prima para la manufactura de los tableros de fibra proviene de varias fuentes incluyendo madera natural, como ya dijimos, aserrín y residuos de aserraderos, desechos de papel, desechos agrícolas, así como otros tejidos de plantas diferentes a los troncos de árbol. Los aditivos usualmente permiten obtener las propiedades deseadas pero la madera natural reducida a pulpa virgen a menudo puede ser convertida a un tablero de propiedades impresionantes con muy pocos aditivos. El alto contenido de lignina de las pulpas de fibra virgenes usualmente se citan como la fuente de esta superioridad (Spalt, 1977).

Los procesos que se utilizan para fabricar tableros de fibra aislantes y tableros duros y extraduros son básicamente similares y se pueden dividir fácilmente en la fase de preparación de las fibras y en la fase de conversión en tablero. Los procesos para los tableros duros difieren en que la conversión a tablero utiliza presión para densificar la lámina mientras que los procesos para los tableros aislantes no la utilizan. Ambos procesos sujetan las láminas de fibras a altas temperaturas en la fase de conversión a tableros (Spalt, 1977).

El rango de densidades de los tableros de fibra producidos en México va de 230 a 400 $Km/m^3$ ; el rango de densidades para los tableros duros y extraduros es de 800 a 1,200 $Kg/m^3$. Esta información, como la que se presenta a continuación fué tomada de la referencia (Robles F-V, 1980).

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

Espesores: 9,12,19 mm

Anchos: 1.22 m

Largos: 1.83,2.44 y 3.05 m

Además, se venden losetas de 30.5 x 30.5 cm.

Los tableros duros y extraduros que se fabrican aquí tienen las siguientes medidas:

Espesores 2,3,5,6.5 y 7 mm

Anchos: 0.61,0.91 y 1.22 m

Largos: 1.22,1.83,2.44,2.75,3.05,3.66y 6.59 m

Referencias del Tema 5 (Formas Comerciales de Utilización de la Madera).

Gracia- García Sánchez, J.A. y A. Fuentes Zenón, 1974. Algunos aspectos del dimensionamiento de Estructuras de madera. Tesis profesional, Facultad de Ingeniería,UNAM, México, D.F.

Kelly, M.W. 1977. Review of Particle board Manufacture and Processing, en Wood Technology: Chemical Aspects, chemical Society Symposium Series 43, ACS, Washington, D.C.

Moult, R.A. 1977. The Bonding of Ghred-Laminated Timbers, en Wood Technology: Chemical Aspects, I.S. Goldstein. ed. American chemical Society Symposium Series 43, ACS, Washington, D.C.

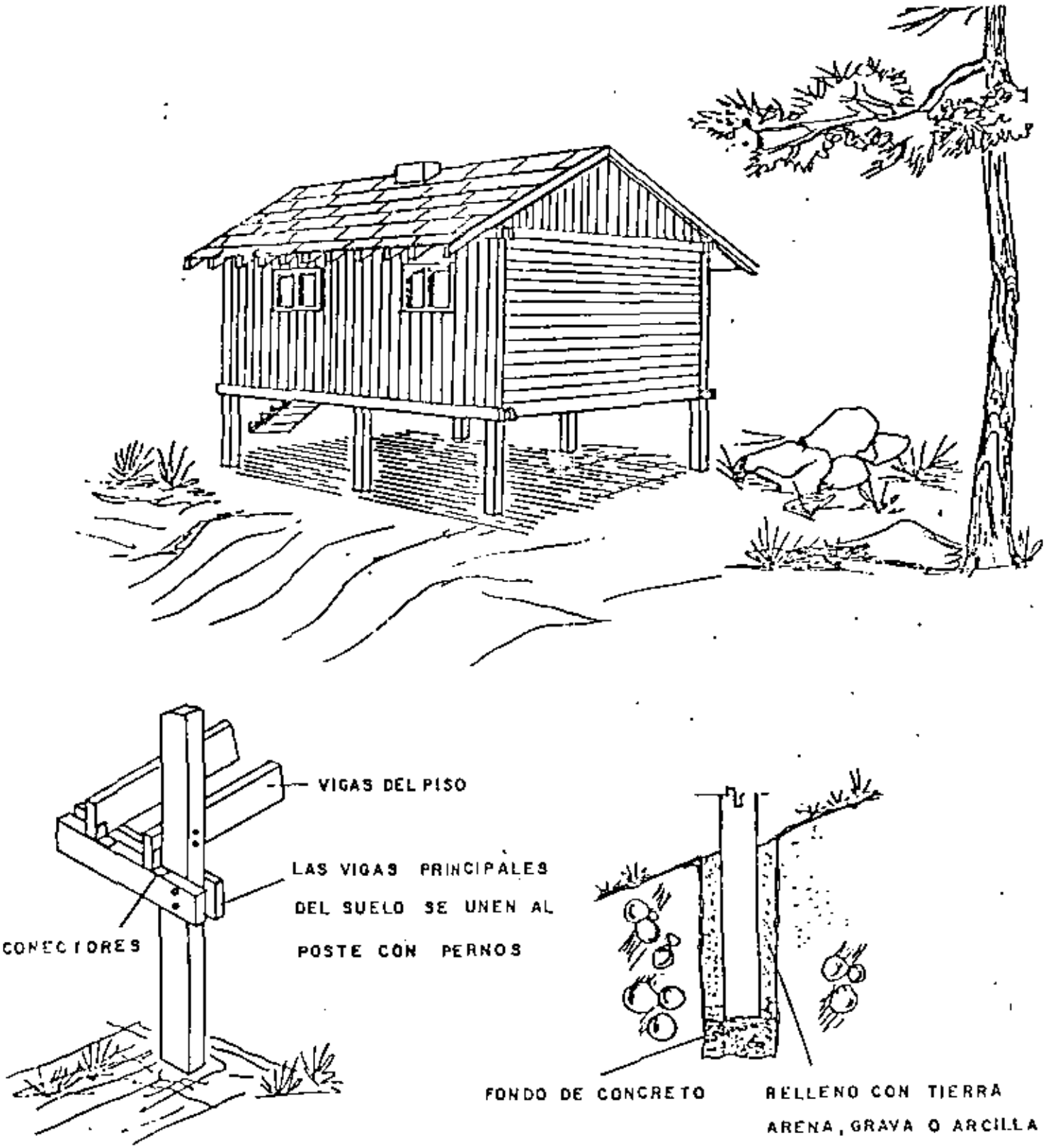
Robles F-V, Francisco,1980. Usos Estructurales de la madera en México. La madera y su uso en la Construcción No. 5, LACITEMA-INIREB, Xalapa, Ver. México.

Sellers, Jr, Terry,1977. A Plywood Revierw and its Chemical Implications: en Wood Technology: Chemical Aspects, I.S. Goldstein ed. American Chemical Society Symposium Series 43, ACS, Wasington, D.C.

Spalt, H.A. 1977. Chemical changes in wood Associated with wood Fiberboard Manufacture, en Wood TEchnology: Chemical Aspects, I.S. Goldstein, ed., American chemical Society Symposium Series 43, ACS, Washington, D.C.

Atadelmann, D. H. 1971. A Structural engineer's system of laminated wood Systems. Reprinted from Wood Preserving Magazine. American Wood Preservers Institute.

FIG. 1 construcción de postes hincados en el suelo
(TOMADA DE LA REF. ROBLES F-V, 1980)



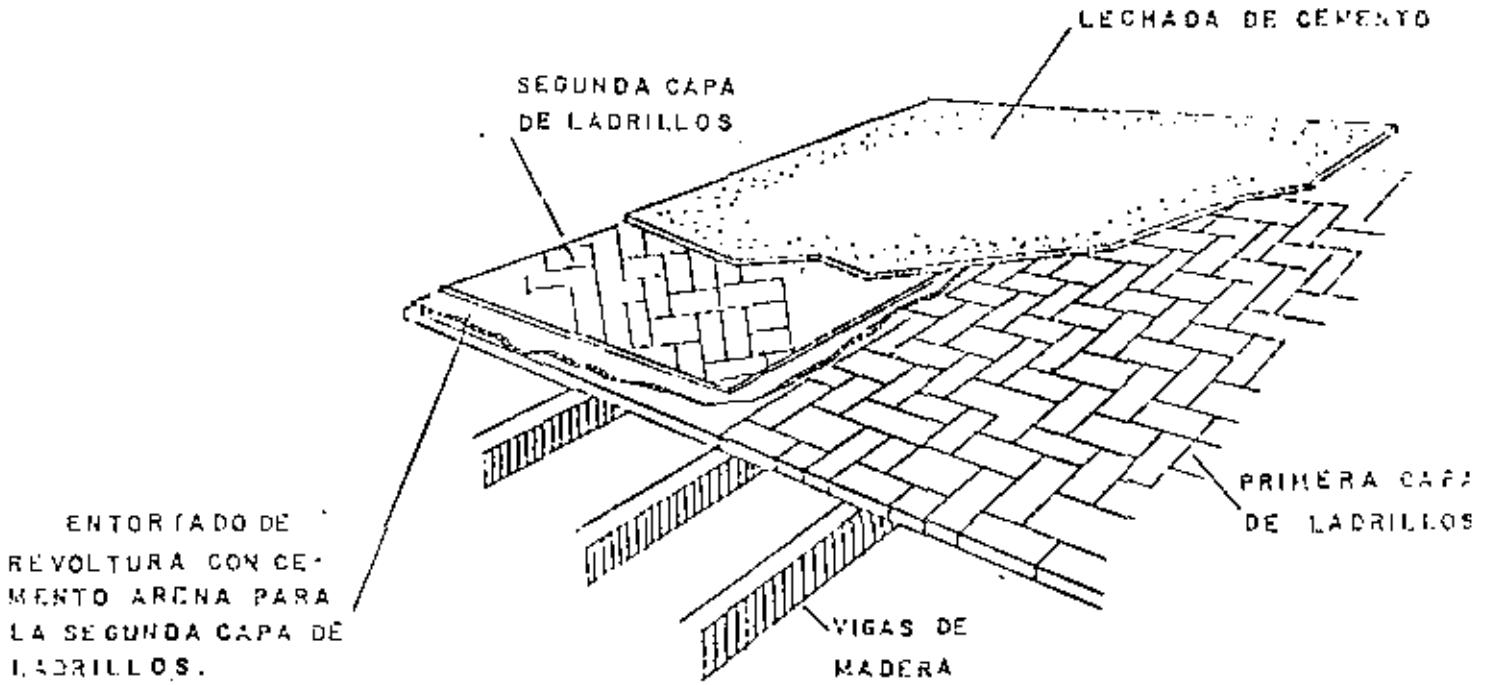



FIG 2 BOVEDA CATALANA

TOMADA DE LA REF. CROBLES, P.V., 1980)

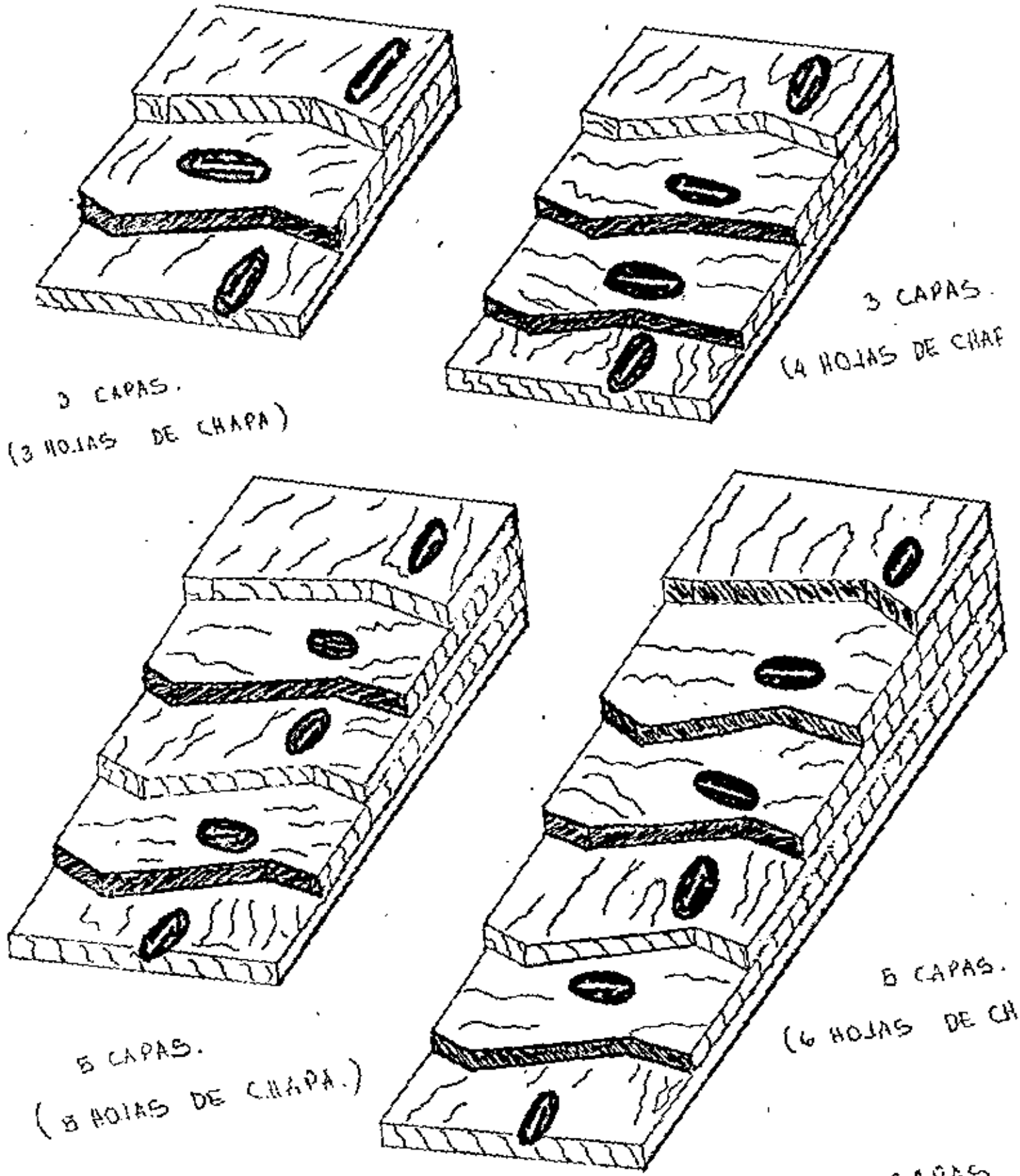



FIG. 3 TIPICA CONSTRUCCION DE 3 Y 5 CAPAS C
LAMINACIONES PARALELAS EN LOS PANEL
DE 4 Y 6 CHAPAS.

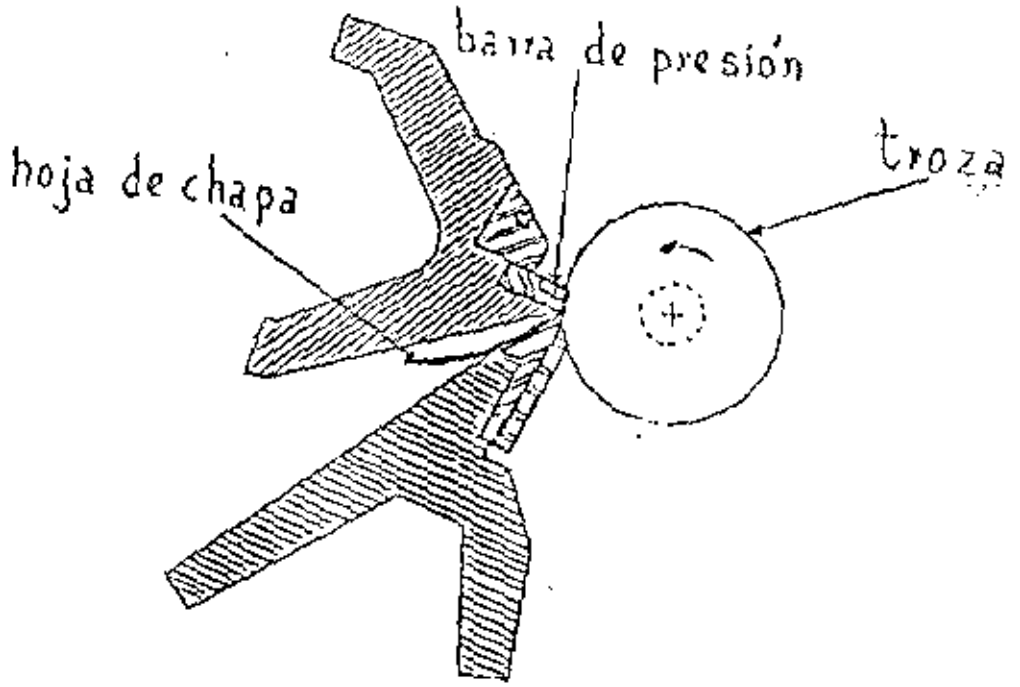



Figura 4 Esquema de un torno cortador de hojas de chapa.

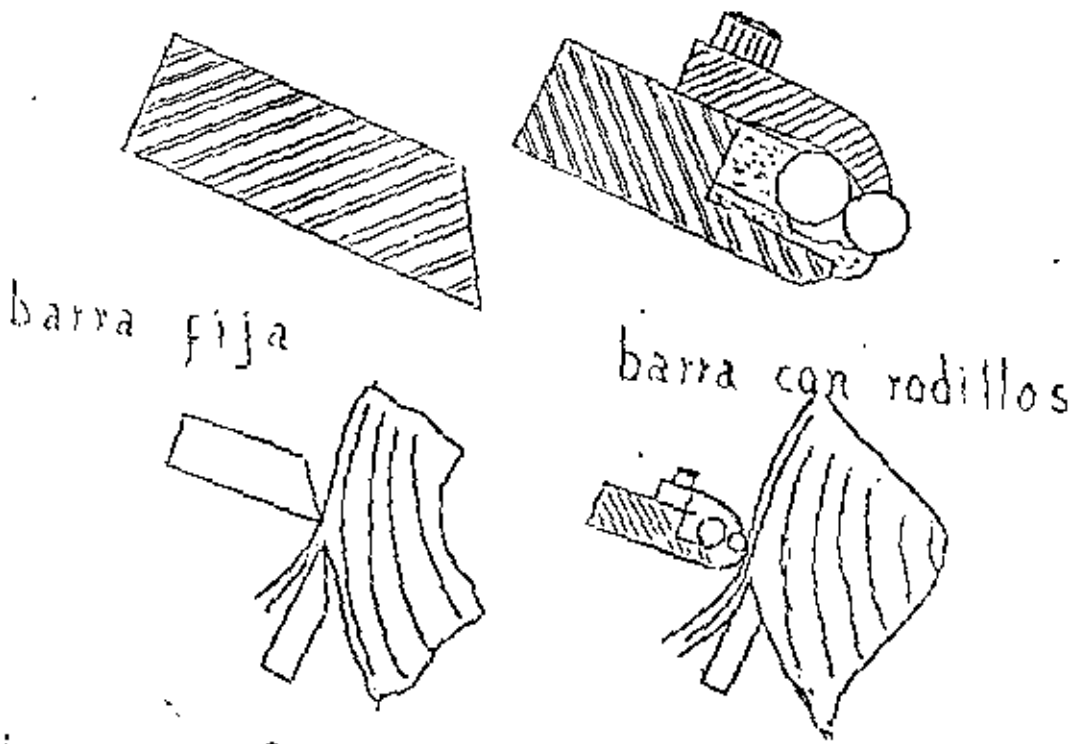



Figura 5 Barras de presion

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES EN LA VIVIENDA

# REGLAS DE CLASIFICACION Y NORMAS

M. EN C. RAYMUNDO DAVALOS SOTELO

NOVIEMBRE, 1980

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

# 6. REGLAS DE CLASIFICACION Y NORMAS

M.en C. RAYMUNDO DAVALOS SOTELO
Instituto Nacional de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos
Xalapa, Ver.

La madera es el producto del metabolismo de un organismo vivo, que es un vegetal. Por ese es que sus propiedades presentan amplias variaciones ocasionadas por factores externos que afectan el crecimiento de dicho organismo.

Debido a esta tremenda variabilidad se requieren métodos para agrupar piezas de madera con propiedades similares para usarlas para los mismos propósitos.

Desde el punto de vista estructural los factores que tienen importancia son la resistencia y la rigidez del material. Es preciso entonces contar con métodos que nos permitan identificar las características de la madera que afecten a estas propiedades.

Los primeros sistemas de clasificación se basaron en las características de la madera que se pueden detectar, a simple vista. Algunos de los más antiguos intentos datan del siglo XIX y se originaron en Escandinavia.

Fué a principios del siglo XIX cuando se empezaron a hacer las primeras pruebas de Laboratorio para determinar la resistencia de piezas de madera con ciertas características. Estos estudios se llevaron a cabo en Norteamérica en el Laboratorio de Productos Forestales de Madison. La meta específica de estas pruebas era la de determinar las diversas clases de madera para las distintas especies y los esfuerzos resistentes asociados a las mismas clases.

Como resultado de este Programa de Investigación se propusieron unas reglas de clasificación para madera de coníferas por los años 1920.

A causa de la II Guerra Mundial hubo necesidad de revisar las calidades de madera existente y sus esfuerzos de diseño asociados. Estas nuevas investigaciones condujeron a incrementar en los esfuerzos.

Cabe recalcar aquí que la madera no se volvió más resistente, simplemente, los métodos para determinar la resistencia y los efectos de las características de crecimiento ó defectos sobre la misma se volvieron más refinados.

En Norteamérica no ha habido cambios sustanciales en la manera de derivar los esfuerzos de diseño en los últimos 60 años. En Europa si ha habido cambios en los últimos 20 años.

Los principios generales para la derivación de esfuerzos de diseño por especie, son los siguientes:

1. Se realizan ensayos mecánicos con probetas pequeñas libres de defectos en condición verde, para tomar en cuenta la variabilidad (Figura 1)

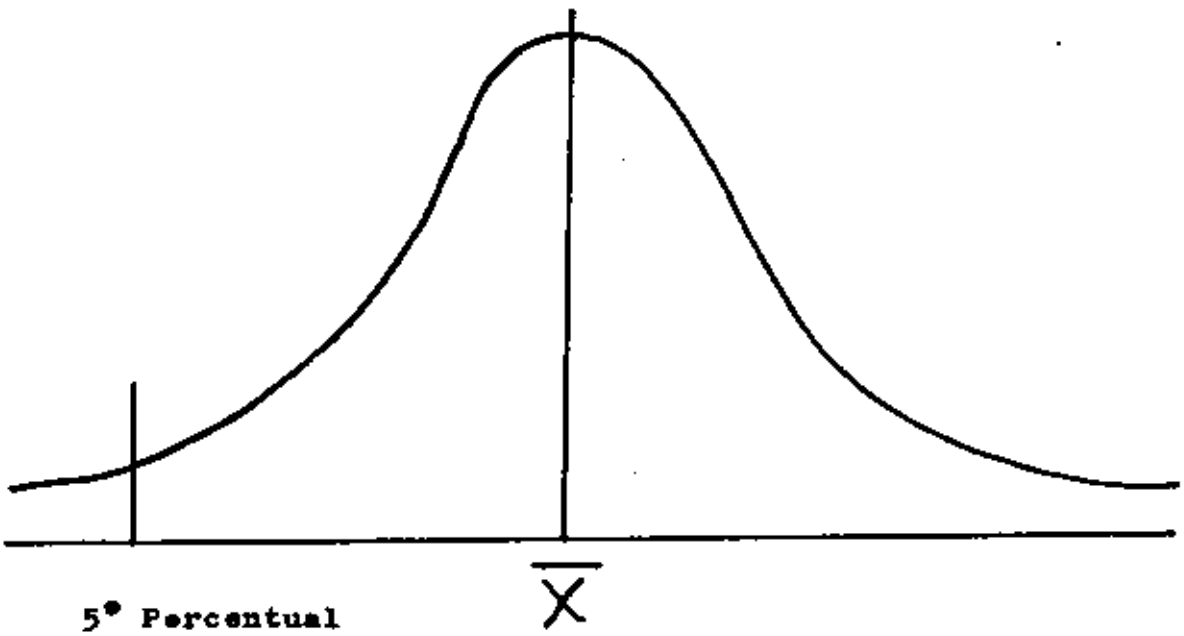



Figura 1. Distribución de probabilidades de la resistencia de la madera libre de defectos (Distribución normal).

2. Se evalúa el efecto del contenido de humedad sobre la resistencia de la madera. Para el caso de las pequeñas probetas libres de defectos, se observa un incremento en la resistencia con la disminución en contenido de húmedad. (Figura 2).

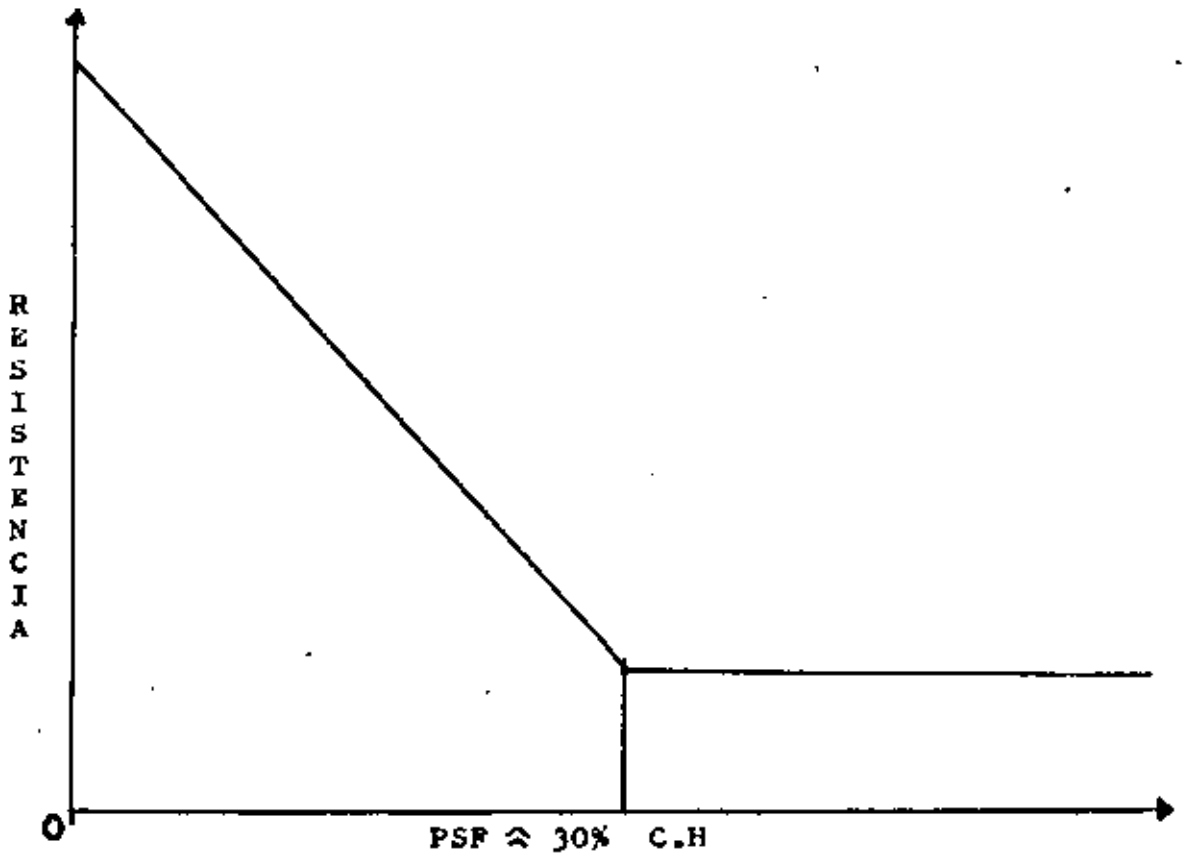



Figura 2. Efecto del contenido de humedad sobre la resistencia de la madera de pequeña probetas libres de defectos.

3. Como siguiente paso se considera el efecto de la duración de la carga (Figura 3). En este paso se obtiene un factor de reducción, porque entre más tiempo esté aplicada la carga, se obtiene una menor resistencia.

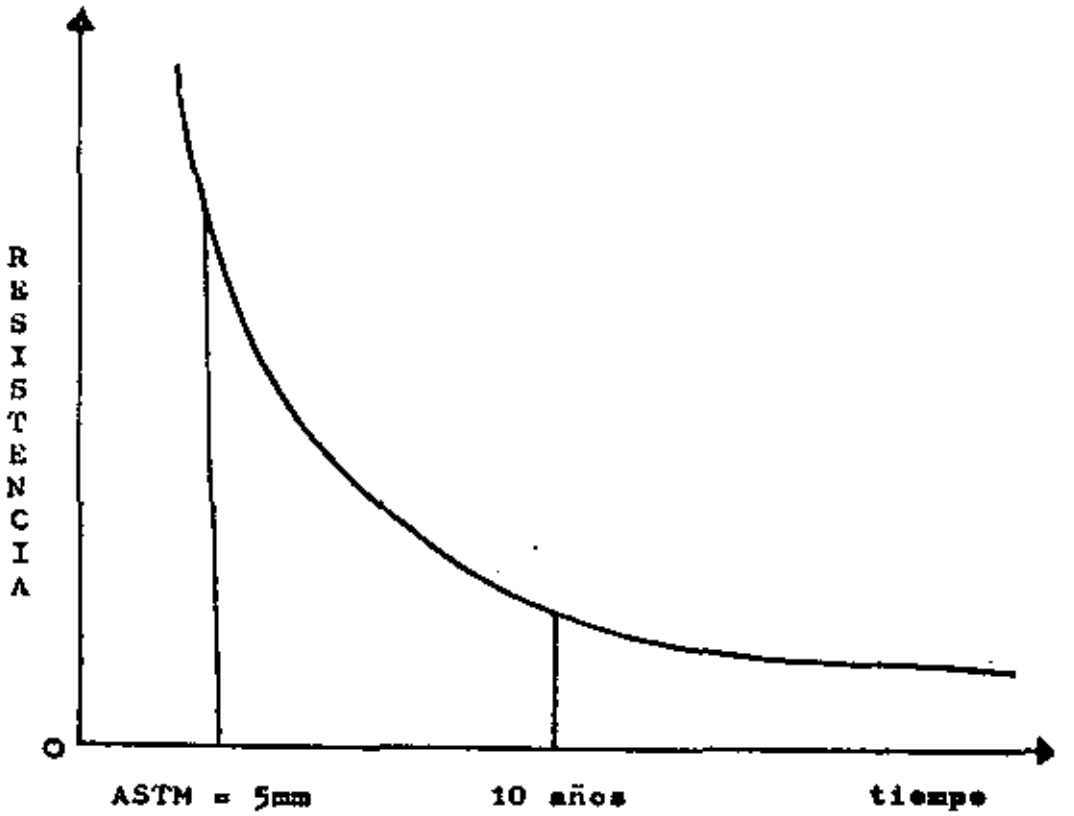



Figura 3. Efecto de la duración de carga sobre la resistencia de la madera libre de defectos.

4. El siguiente punto es la obtención de los esfuerzos básicos (que actualmente se nombren esfuerzos unitarios). Para obtener este valor se considera un factor de peralte para el caso de la flexión y un factor de seguridad siempre. El factor de peralte que es una reducción manifiesta el hecho observado de que a mayor peralte, se observa una disminución en resistencia. El Factor de seguridad cubre todas las incertidumbres en el diseño y en el proceso de derivación de esfuerzos.

Asi, los esfuerzos básicos se obtienen de la siguiente manera (para el case de la flexión):

$$f_B = MOR\ 5\%\ XF_H \times \frac{1}{F_T} \times \frac{1}{F_S} \times \frac{1}{F_P} \quad (1)$$

donde:

$f_B$= esfuerzo básico en flexión para madera sin defectos.

$MOR_{5\%}$= 5% precentual dela distribución de resistencia

$F_H$= factor de humedad

$F_T$= factor de duración de carga

$F_S$= factor de seguridad

$F_P$= factor de peralte

Es conveniente señalar que los varios factores que afectan la resistencia difieren en su efecto, dependiendo de la clase deesfuerzo involucrado.

5. El último paso consiste en considerar el efecto producido por los defectos sobre la resistencia.

Para obtener la resistencia de la madera con defectos $F_B$ se multiplica por un factor de reducción $F_D$ De acuerdo con la clase. Por ejemplo en Norteamérica, los valores de esfuerzos básicos $F_B$, se multiplican por los factores 0.65, 0.45 y 0.26 para la madera de la clase Selecta Estructural, No.1, No.2, y No.3, respectivamente.

$$\left.\begin{array}{l} f_{SE} = f_B \times 0.65 \\ f_1 = f_B \times 0.55 \\ f_2 = f_B \times 0.45 \\ f_3 = f_B \times 0.26 \end{array}\right\} \quad (2)$$

En este sistema, la clase selecta Estructural tiene menos defectos que los demás; le siguen la clase 1, la clase 2 y, la clase 3, que es la que presenta mayores defectos.

Las piezas con defectos mayores que los permitidos para la clase 3 no se deben usar en estructuras soportando cargas.

La norma que se utiliza en México para clasificar la madera estructural es la C18-46 emitida en el año 1946 por la entonces Secretaría de Economía Nacional. Esta regla fué adoptada por la Dirección General de Normas y es la que se utiliza en el reglamento de construcciones del D.F.

Esta norma mexicana, así como la mayoría de las reglas de clasificación existentes en el mundo, adolece de serios defectos que producen los defectos de la madera en las propiedades importantes para el diseño estructural.

En el capítulo siguiente indicaremos cuales son estas deficiencias.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES EN LA VIVIENDA

# ESFUERZOS EN MADERAS MEXICANAS Y AGRUPAMIENTO

M. EN C. RAYMUNDO DAVALOS SOTELO

NOVIEMBRE, 1980

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

# 7. ESFUERZOS EN MADERAS MEXICANAS Y AGRUPAMIENTO

M.en C. RAYMUNDO DAVALOS SOTELO
Instituto Nacional de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos
Xalapa, Ver.

Anteriormente se indicó el predecimiento actual para la derivación de esfuerzos de diseño con método de las pequeñas probetas. Para abordar más adelante nuestra discusión de la confiabilidad estructural señalaremos a continuación los inconvenientes y deficiencias del método, para resaltar la necesidad de un método más realista y racional.

1. El comportamiento de la madera estructural sometida a esfuerzos no se ajusta a la distribución normal (Figura 4).

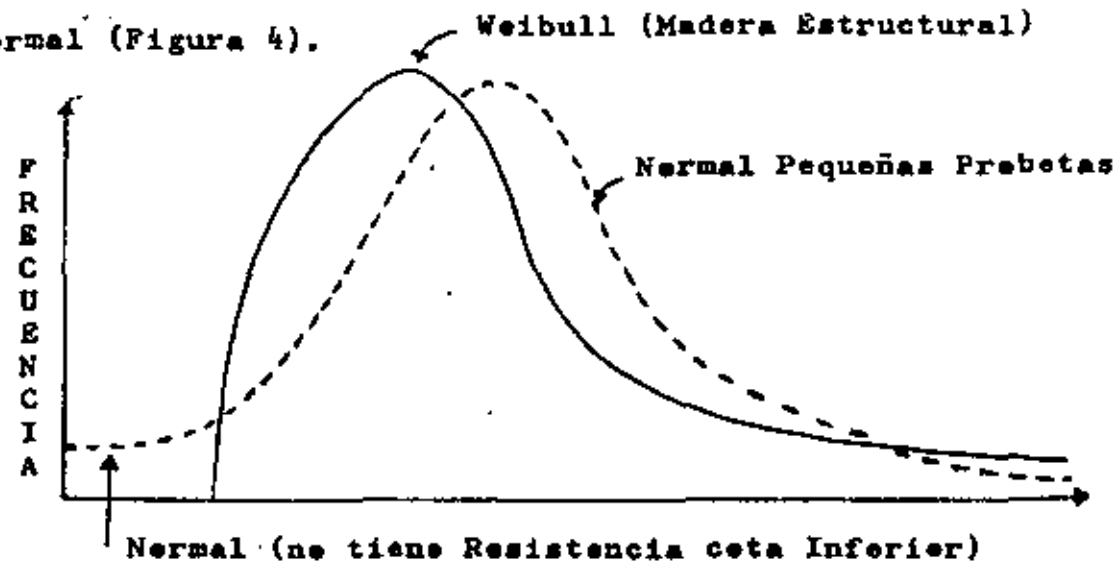



Figura 4. Distribución de resistencias de la madera libre de defectos (pequeñas probetas) y de la madera estructural.

La distribución que mejor describe el comportamiento de la madera estructural es la distribución Weibull, la cual difiere de la normal, en que si tiene cota inferior y no es una distribución simétrica sino sesgada.

Cabe enfatizar la importancia de la "cola" inferior de la distribución, que es la region donde se localiza del 5º pordentual de la distribución, el cual es la base para la derivación de los esfuerzos permisibles o de diseño.

2. Según estudios recientes, la variación del contenido de humedad de la madera estructural no afecta la resistencia a niveles bajos de esfuerzo resistente. (Figura 5). De nueva cuenta es necesario insistir en que estas regiones de niveles bajos de resistencia son los niveles utilizados en la derivación de esfuerzos de diseño.

Este fenómeno se explica porque los defectos producidos por el secado anulan el incremento en resistencia.

Las grietas que se producen alrededor de los nudos provocan concentraciones de esfuerzos que contrarestan el incremento en resistencia de la madera alrededor del nudo.

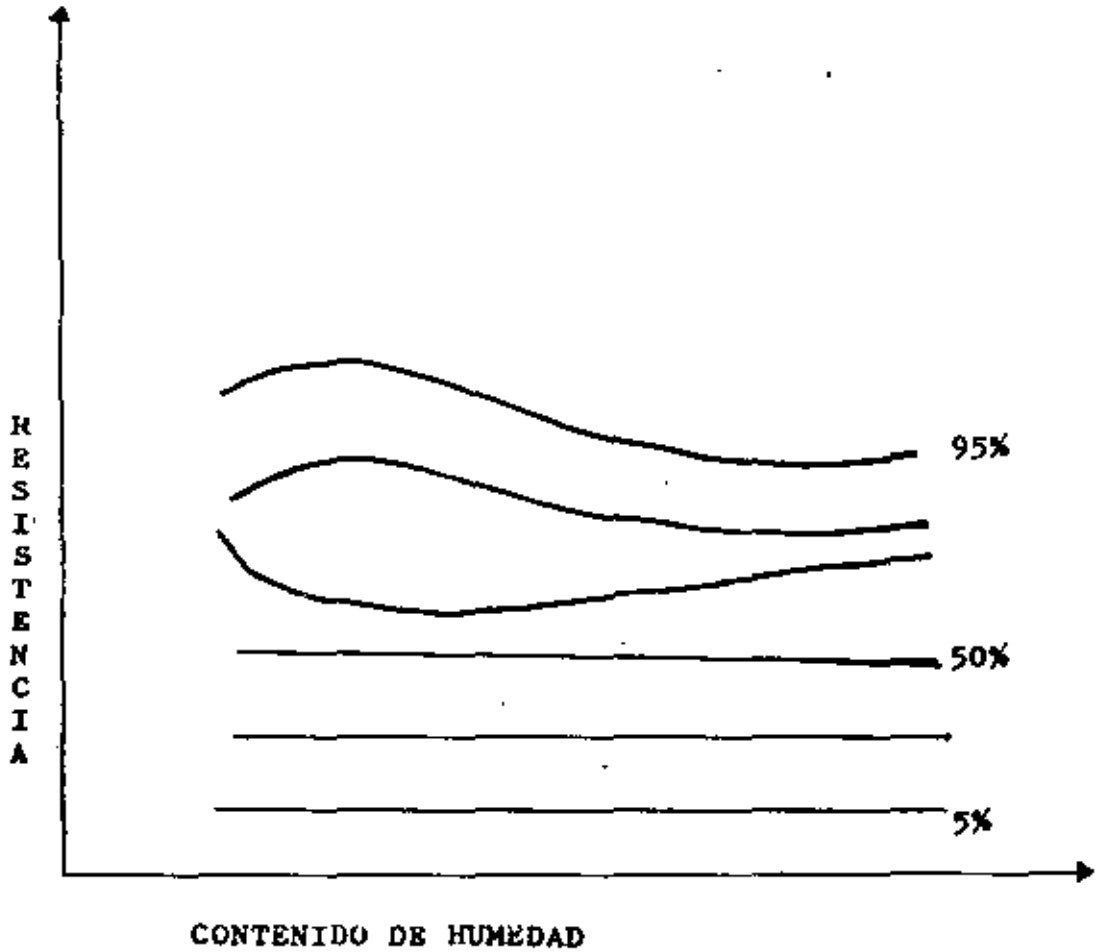



Figura 5. Efecto del contenido de humedad sobre la resistencia de la madera estructural.

3. Otro factor de ajuste tomado incorrectamente en la actualidad es el efecto de la duración de carga. Aunque no se ha determinado con presición la magnitud de este efecto para la madera estructural, se tienen bases muy firmes para sospechar que es diferente que para el caso de las pequeñas probetas. Resultados concluyentes se obtendrán hasta dentro de 10 años apróximadamente, en que se terminen los estudios iniciados recientemente en Europa y en Norteamérica. (Figura 6).

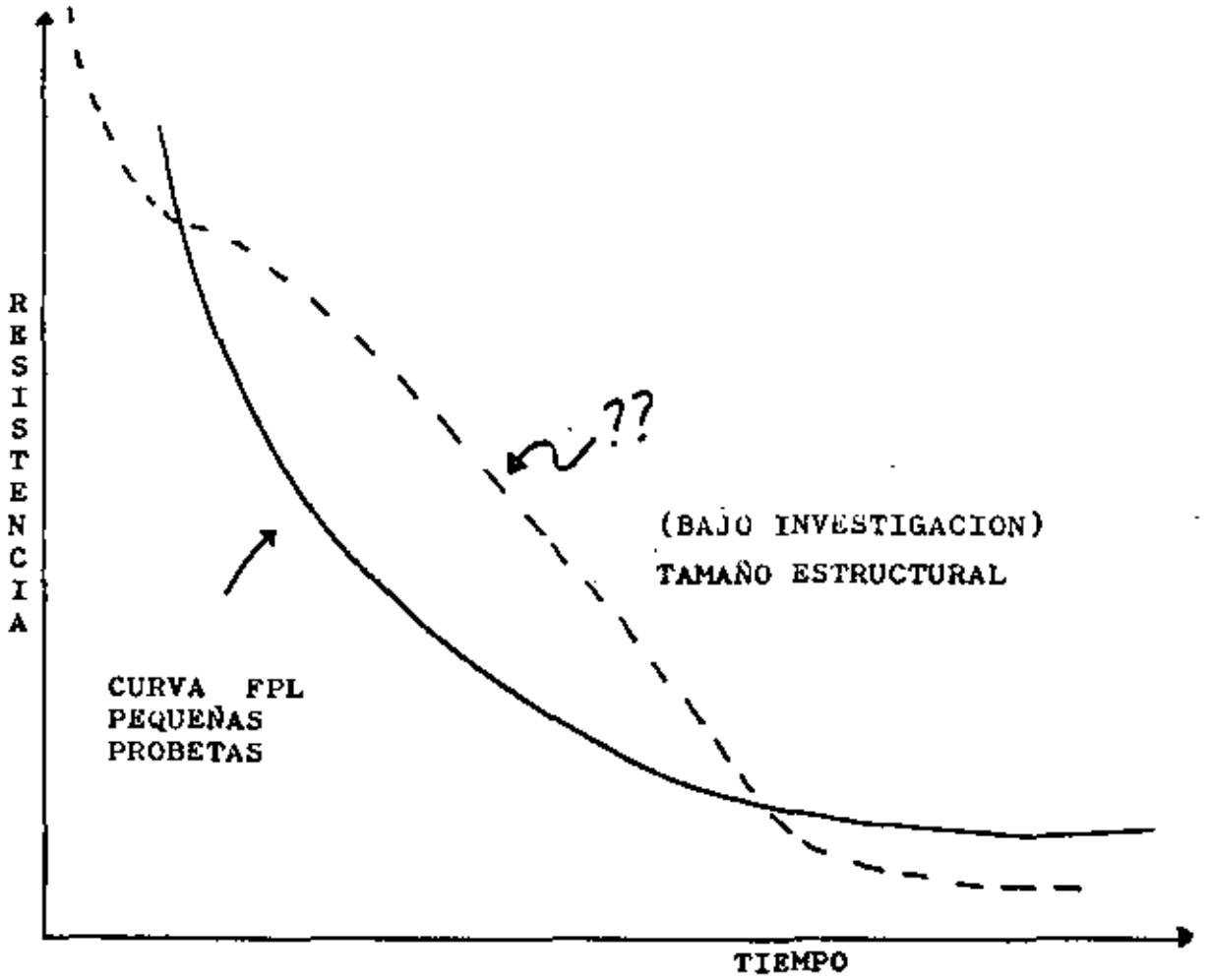



Figura 6. Efecto de la duración de carga sobre la resistencia de la madera.

Aparentemente la madera estructural es menos sensible al efecto de la duración de carga que la indicada por los estudios con pequeñas probetas, pero algunos investigadores estiman que después de un período suficientemente largo puede haber un descenso brusco en la resistencia de la madera. Dicha hipótesis (algo dudosa) está por comprobarse.

4. Hemos mencionado que el efecto del tamaño de las piezas no ha sido tomado en cuenta debidamente en los reglamentos de diseño. El factor de peralte incluído en el cálculo de los esfuerzos básicos fué obtenido en estudios con material libre de defectos y el efecto del volumen en

las piezas de tamaño estructural es más pronunciado que en el caso de madera sin defectos según se ha comprobado recientemente.

La teoría desarrollada por Weibull basada en el concepto del eslabón más débil es bastante adecuado para describir este fenómeno, como lo han corroborado varios investigadores.

Un factor que también incide negativamente en el aspecto de la confiabilidad estructural es la relativamente poca certeza que se tiene con las reglas de clasificación actual. Debido al alto volumen de producción en los aserraderos el tiempo de que dispone el clasificador para calificar y clasificar una pieza es bastante limitado. Aunado a ello tenemos la certeza de que se maneja actualmente un exceso de clases. En Norteamérica existen 4 clases estructurales y las piezas rechazadas y, además tienen varías categorías de uso y diversas reglas para diversos tamaños.

Todos estos factores los tiene que ponderar un clasificador en un espacio de tiempo mínimo, por lo que está propenso a cometer muchos errores en su clasificación.

Varios investigadores han comprobado el hecho de que existe un exceso de clases y, de que con 3 clases que hubiera como máximo, sería suficiente. El clasificador que no es capaz de sicernir a cual de las cinco categorías corresponde una pieza, en muchos casos. Este problema es más palpable

con las clases No.1 y No.2. Si es gráfica la frecuencia o rango contra la resistencia, no se observa una distinción entre una clase y la otra.

Como resultado final de todas las deficiencias e inconvenientes mencionados tenemos que las reglas de clasificación actuales de Norteamérica y en México son pocas satisfactorias e ineficientes y conducen a esfuerzos de diseño conservadores por el alto nivel de incertidumbre que se tiene con los factores de corrección presentes.

En las páginas siguientes se muestran los valores de esfuerzos permisibles indicados en el Reglamento de Construcciones del D.F., otros valores que se propusieron por LACITEMA-INIREB y, a guisa de comparación los que se obtuvieron de un estudio que recientemente se realizó en LACITEMA-INIREB.

## 2. ESFUERZOS PERMISIBLES Y MODULOS DE ELASTICIDAD BAJO ACCIONES PERMANENTES

### 2.1 Esfuerzos permisibles para madera clasificada según la norma DGN C18-1946

Cuando la madera se clasifique como selecta, de primera, de segunda o de tercera, de acuerdo con la citada norma, los esfuerzos permisibles correspondientes para cualquier especie serán los dados en la tabla 2.1.

TABLA 2.1

ESFUERZOS PERMISIBLES,
en kg/cm$^2$; condición verde

| Solicitación | | Selecta | Primera | Segunda | Tercera |
|---|---|---|---|---|---|
| Flexión y tensión | | 80 | 60 | 30 | 20 |
| Compresión paralela a la fibra | | 70 | 50 | 25 | 17 |
| Compresión perpendicular a la fibra | | 14 | 14 | 9 | 7 |
| Cortante paralelo a la fibra | | 14 | 14 | 7 | 5 |
| Módulos de elasticidad (x $10^3$) | media | 70 | 70 | 70 | 70 |
| | mínimo | 40 | 40 | 40 | 40 |

Cuando se use madera estructural en forma permanente, no se empleará con calidad inferior a la segunda.

## 2.2 Esfuerzos permisibles para madera clasificada estructuralmente en forma visual

### 2.2.1 Esfuerzos permisibles para todas las especies

Los esfuerzos permisibles para madera clasificada como V-75, V-65, V-50 ó V-40, considerando la localización y las dimensiones máximas de los defectos de la madera de acuerdo con las figs I y II y con las tablas I y II, serán los dados en la tabla 2.2.

TABLA 2.2

ESFUERZOS PERMISIBLES
en $kg/cm^2$; condición verde

| Solicitación | V-75 | V-65 | V-50 | V-40 |
|---|---|---|---|---|
| Flexión y tensión | 80 | 70 | 50 | 40 |
| Compresión paralela a la fibra | 60 | 50 | 40 | 30 |
| Compresión perpendicular a la fibra | 12 | 12 | 11 | 11 |
| Cortante paralelo a la fibra | 11 | 9 | 7 | 6 |
| Módulos de elasticidad ($\times 10^3$) medio | 70 | 70 | 70 | 70 |
| Módulos de elasticidad ($\times 10^3$) mínimo | 40 | 40 | 40 | 40 |

Se podrán usar valores diferentes a los dados en las tablas 2.1 y 2.2 siempre y cuando se demuestre a satisfacción del Departamento del Distrito Federal que dichos valores satisfacen los requisitos de seguridad implícitos en estas Normas.

Los valores finales adoptados de estas curvas y que se muestran en la siguiente sección (Tabla 2), representan los valores de resistencia aproximados para la madera de pinos mexicanos de cualquier especie, después de haber sido ajustados para usarlos como esfuerzos básicos.

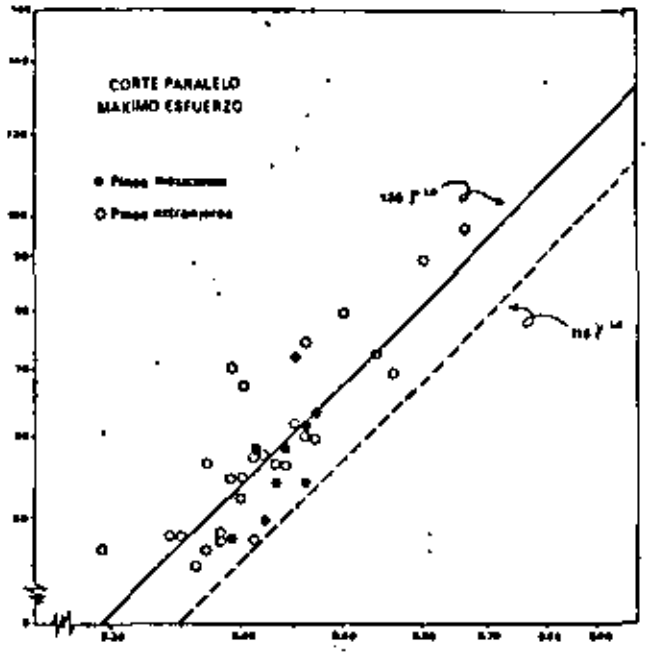


Fig. 5.- Correlación entre gravedad específica y resistencia al cortante

El punto crítico en el ajuste se encuentra en la reducción por variabilidad natural, debido a que no existe una manera segura de diferenciar en el campo a las diversas especies de pino (Echenique-Manrique, 1971), lo cual sería muy deseable para poder comercializarlas por separado.

Para derivar los esfuerzos básicos se siguieron dos procedimientos, el primero consistió en usar los datos consignados en la Tabla 1, aplicándoles los consabidos factores de reducción. Se tomaron como medida de la dispersión, con respecto al promedio, los valores del coeficiente de variación señalados para madera en general (Forest Products Laboratory, 1974), los que a continuación se presentan (c.v.):

| | |
|---|---|
| Esfuerzo al momento de la ruptura en la flexión estática . . . . . | 16% |
| Esfuerzo al momento de la ruptura en compresión paralela a la fibra | 18% |
| Esfuerzo al límite de proporcionalidad en compresión perpendicular a la fibra . . . . . | 28% |
| Esfuerzo máximo en corte paralelo a la fibra . . . . . | 14% |
| Gravedad específica . . . . . | 10% |

Utilizando estos valores el factor de reducción por variabilidad natural a un límite de exclusión del 5% sería: $F_{v.05} = 1 - (1.645 \times c.v.)$ Si asumimos que los valores promedios de las propiedades de resistencia de los pinos mexicanos son los que aparecen en la Tabla 1, lo único que sería necesario hacer sería multiplicar estos factores por dichos valores promedio para obtener la reducción necesaria por este concepto y llegar a los esfuerzos básicos que se presentan en la Tabla 3. Como no se conocen con certeza los valores promedios de las propiedades de resistencia de los pinos mexicanos, se recurrió al auxilio de las correlaciones entre gravedad específica y resistencia mecánica. Como se puede observar en las Figs. 1 a 5, para cada una de ellas existen 2 curvas: una de ellas, la superior, representa la curva que mejor se ajusta a los valores promedios representados por los puntos. La curva inferior, llamada "curva mínima" o "curva del límite de exclusión del 5%" es una curva para la cual el 95% de los valores caerían por arriba de ella y sólo el 5% caerían por abajo. Es decir, que esta "curva mínima" lleva implícito un valor de reducción por su construcción, y es la que se utilizó finalmente para derivar los valores de esfuerzos básicos. En otras palabras, para cualquier valor de gravedad específica con que se entre a esta curva, se tiene sobre ella el valor correspondiente al límite de exclusión del 5%.

Tabla 2.- Esfuerzos permisibles para tablas y tablones de pino[1]

| Grupo estructural | Relación de resistencia (2,3) % | Esfuerzo en flexión estática $F_b$ Miembros aislados $Kg/cm^2$ | Esfuerzo en flexión estática $F_b$ Miembros en conjunto(4) $Kg/cm^2$ | Esfuerzo en compresión paralela a la fibra $F_c$ $Kg/cm^2$ | Esfuerzo en compresión perpendicular a la fibra(5) $F_{c\perp}$ $Kg/cm^2$ | Esfuerzo en corte paralelo a la fibra (6) $F_v$ $Kg/cm^2$ | Módulo de elasticidad E x 1000 $Kg/cm^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Selecta | 65 | 100 | 115 | 60 | 30 | 5.5 | 100 |
| R.B.1 | 55 | 85 | 100 | 55 | 30 | 5.5 | 100 |
| R.B.2 | 45 | 70 | 80 | 45 | 30 | 5.5 | 90 |
| R.B.3 | 26 | 40 | 45 | 30 | 30 | 5.5 | 85 |

1. Valores obtenidos de las curvas de regresión de las Figs. 1 a 5.

2. Las relaciones de resistencia en $F_c$ son 74, 67, 55 y 35% respectivamente para los grupos selecta, RB.1, RB.2 y RB.3.

3. Las relaciones de resistencia en E son 100% para los grupos selecta y RB.1; 90% para el RB.2 y 80% para el RB.3.

4. Definido como el uso de 3 o más miembros para resistir una carga común, distribuída entre ellos.

5. La resistencia en compresión perpendicular a la fibra es poco afectada por las características reductoras de resistencia, y se asumen relaciones de resistencia de 100% para todos los grupos.

6. Los valores de los esfuerzos permisibles en cortante $F_v$ han sido reducidos para tomar en cuenta la máxima cantidad de rajaduras o reventaduras que pueden presentarse, consecuentemente se mantienen para todos los grupos (Tabla 6).

TABLE 12. DESIGN VALUES FOR MEXICAN PINE LUMBER ($Kg/cm^2$) (1,2,3)

| Stress Grade | Static Bending, Fb (4) Isolated members | Static Bending, Fb (4) Load-Sharing members.(5) | Modulus of Elasticity E x 1000(4) | Compression Parallel to Grain, Fc(6) | Compression perpendicular to Grain, Fc⊥ (6) | Shear Parallel to grain Fv (6) | Tension Parallel to grain $F_t$ (6) | Lower 5% Exclusion Limit $E_s$ x 1000 (4) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 140 | 160 | 115,000 | 70 | 12 | 5 | 80 | 80,000 |
| B | 80 | 90 | 90,000 | 50 | 12 | 5 | 60 | 65,000 |

(1) These values are for 2 x 4 lumber.

(2) Allowable stresses derived are for normal loading conditions. For other durations of load other than normal loading allowable stresses may be modified using Fig. 5. of ASTM D245.

(3) Design values in the table are aplicable to lumber 4 in or less in thickness when it is at a maximum moisture content of 19 percent. In table 13 of this report are given moisture adjustment factors for lumber that will be above 19 percent moisture content in use. There is no adjustment factor for bending properties.

(4) When designing 4 x 8 members, multiply the allowable stress and moduli of glasticity values in bending by 0.8; when designing 4 x 4 elements, only the modulus of elasticity values should be multiplied by 0.8.

(5) Defined as three or more load-carrying members such as joists, rafters, studs, or decking which are contiguous or are spaced not more than 60 cm in frame construction and are joined by transverse floor, roof, or other load distributing elements.

(6) The same allowable stresses should be used for any size members.

PROJECT: TIMBER GRADING IN MEXICO

FINAL REPORT TO IDRC - OTTAWA, CANADA

R. Echenique-Manrique, F. Robles F-V y R. Dávalos. 1980.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES SOBRE RECURSOS BIÓTICOS, XALAPA, VER.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

# USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES EN LA VIVIENDA

## REGLAMENTOS

M en C Raymundo Dávalos Sotelo

Noviembre, 1980

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

## 8. REGLAMENTOS

M.en C. RAYMUNDO DAVALOS SOTELO
Instituto Nacional de Investigaciones
Sobre Recursos Bióticos
Xalapa, Ver.

Generalmente se acepta que la especificación de recomendaciones de diseño en términos de conceptos sofisticados es indeseable para los reglamentos de construcción. Estos no solamente hacen el procedimiento de diseño antieconómico con relación al tiempo invertido en él, sino que también la sofisticación de conceptos no es compartible con la impresión en los datos (tales como cargas y resistencias) en los cuales se basa el diseño estructural.

Existen sin embargo, muchas sólidas razones para el uso de los más sofisticados conceptos estructurales contemporáneos en la preparación de un código aún cuando los datos estructurales sean magros los conceptos proveen alguna idea de valores de resistencia relativos. Esto indicará cuales parámetros estructurales tienen la suficiente influencia para ser incluídos en recomendaciones de diseño del reglamento, y también indicará en donde se requiere urgentemente datos de pruebas.

Desde hace algunos años se ha vuelto aparente que muchos aspectos de los reglamentos de construcción y manuales para la madera no estaban de acuerdo con los conceptos correspondientes de teoría estructural contemporáneos. Como

resultado, se iniciaron muchos programas de investigación en diversas partes del mundo sobre varías de las áreas de los reglamentos más conflictivos. A continuación se analizarán los conceptos básicos de estas investigaciones.

Existe considerablemente más variabilidad en la resistencia de los elementos estructurales de madera en que los de acero y concreto reforzado. Consecuentemente es importante que los efectos de la variabilidad sean tomados en cuenta correctamente.

Es esencial recordar que el diseño estructural es un proceso de decisiones que involucran costo; y que la desición correcta u óptima es la que conduce al menor costo total. La decisión está basada en datos de prueba, experiencia previa y juicios subjetivos. El costo de una decisión incluye tanto el costo de la estructura como el costo adicional efectivo si ocurriera alguna falla.

Los reglamentos estructurales actuales están escritos en un lenguaje de conceptos deterministas y consecuentemente un código para el diseño de estructuras de madera debe contener numerosos factores que tomen en cuenta las características de resistencia que son debidas solamente a la heterogeneidad del material. Puesto que una estructura construída con el material heterogéneo tenderá a fallar en sus puntos más débiles, el volumen de material sujeto a niveles altos de esfuerzo es importante. Los efectos de este tipo, los cuales pueden llegar a sér grandes, no son considerados en la mayoría de los reglamentos actuales.

Una omisión similar en los reglamentos actuales es el efecto del "eslabón más débil" para miembros conectados en secuencia o en serie, como es el caso de una armadura. El despreciar completamente el efecto del eslabón más débil pudiera ser una práctica peligrosa.

Los nuevos métodos de diseño más sofisticados requieren de información más precisa y confiable tanto sobre la resistencia de los materiales como sobre las cargas que actúan sobre las estructuras. Para la madera estructural el método más adecuado para determinar su resistencia es el derealizar ensayos con la madera en tamaño comercial para no tener que aplicar todos los factores de corrección como ya vimos son inoperantes.

Un nuevo concepto que introduciremos en este capítulo será el de Estados Límite. Los estados límite se definen como Las condiciones bajo las cuales una estructura se vuelve incapaz de satisfacer los requerimientos para los cuales fué diseñada. Estos estados límite pueden dividirse en dos categorías:

1) Estados límite últimos (pandeo, ruptura de un miembro principal, colapso debido a fatiga ó fluje, etc.) y

2) Estados límite de funcionalidad (deflexión excesiva, vibración excesiva, agrietamiento de elementos no estructurales, etc.).

En los problemas de diseño, la meta que deseamos alcanzar es erigir una construcción de tal manera que la proba-

bilidad de alcanzar alguno de estos estados límite sea mínima. La probabilidad de falla en este caso, es una medida del riesgo que estamos corriendo. La medida de seguridad correspondiente, llamada la confiabilidad, se define como la probabilidad de no falla. Las dos probabilidades están relacionadas como sigue:

$$P_f = 1 - P_{nf} \quad (1)$$

donde $P_f$ es la probabilidad de falla y $P_{nf}$ es la confiabilidad.

La confiabilidad no es fácil de calcular exactamente. Existe un requerimiento práctico de que los métodos de diseño sean simples, compactos y baratos, para que justifiquen su existencia. De esta manera, se han propuesto varias aproximaciones. La más popular de éstas es el modelo de los segundos momentos. Este utiliza el llamado índice de seguridad, $\beta$ el cual es una transformación apróximada de la confiabilidad.

Para diseñar una estructura necesitamos predecir tanto su resistencia, como las cargas que actúen sobre la misma. Ambas son variables aleatorias, las cuales son caracterizadas completamente por su función de densidad de probabilidad.

La figura 8 nos muestra las funciones de densidad de probabilidad para la carga, C, y la resistencia, R. Un evento típico de falla también se muestra en el diagráma de este es, una instancia en la cual R es menor o igual que c.

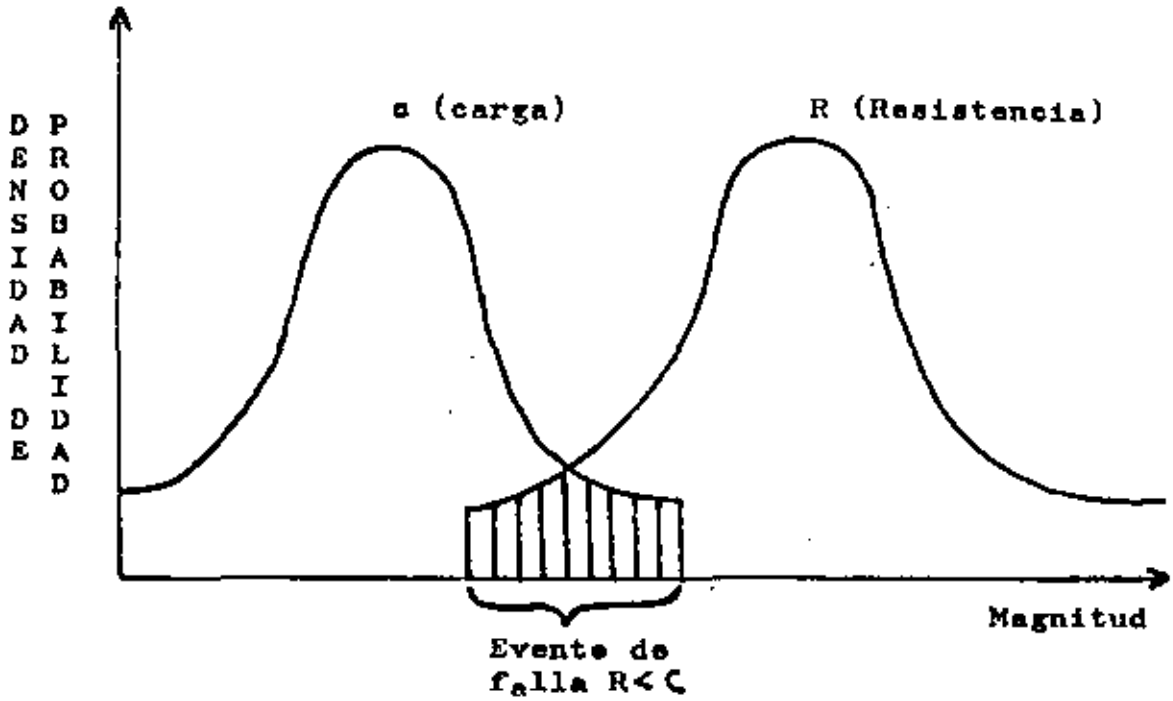



Figura 8. Funciónes de densidad de probabilidad de carga y resistencia mostrando un evento típico de falla.

La probabilidad de falla es la probabilidad del evento

$$R \leq C \qquad (2)$$

utilizando logaritmos

$$\ln \frac{R}{C} \leq 0 \qquad (3)$$

de esta manera la probabilidad de falla es:

$$P_f = Pr\left[\ln \frac{R}{C} \leq 0\right] \qquad (4)$$

$$P_f = Pr\left[H \leq 0\right] \qquad (5)$$

donde

$$H \equiv \ln \frac{R}{C} \qquad (6)$$

Si la distribución de H. fuera conocida, podría ser usada para calcular la probabilidad de falla:

$$P_f = P_r\left[H \leq 0\right] = F_H(0) \qquad (7)$$

Aún cuando no se conozca $F_H$, la variable alentoria H puede ser caracterizada apreximadamente por sus dos primeros momentos

(la medida y la variancia). La medida y la variancia de H se calculan utilizando las ecuaciones (8) y (9(.

$$\mu_H \approx \ln \frac{\mu_R}{\mu_c} \qquad (8)$$

$$\sigma_H^2 \approx \Omega_R^2 + \Omega_c^2 \qquad (9)$$

y una H estandarizada se define como

$$\chi = \frac{H - \mu_H}{\sigma_H} \qquad (10)$$

asi que

$$P_f = Pr\left[\chi \leq -\frac{\mu_H}{\sigma_H}\right] \qquad (11)$$

$$P_f = F_A \left(F - \frac{\mu_H}{\sigma_H}\right) \qquad (12)$$

El argumento de $R_A$ puede ser usado como un índice de falla ó, de manera equivalente, el negativo de su argumento puede utilizarse como un índice de seguridad. Asi, el índice de seguridad se define como

$$\beta = \frac{\mu_H}{\sigma_H} = \frac{\ln \frac{\mu_R}{\mu_c}}{\sqrt{\Omega_R^2 + \Omega_c^2}} \qquad (13)$$

Resolviendo la ecuación (13) para el factor central de seguridad $\frac{\mu_R}{\mu_c}$ obtenemos la condición de diseño seguro

$$\frac{\mu_R}{\mu} \geq e^{\left[\beta\sqrt{\Omega_R^2 + \Omega_c^2}\right]} \qquad (14)$$

Asi una $\beta$ prescrita corresponde apróximadamente a un grado de seguridad realtiva prescrite. Su relación aproximada con la confiabilidad es:

| Indice de seguridad | Negativo | Cero | Positivo |
|---|---|---|---|
| Confiabilidad, $P_{nf}$ | $< \frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ | $> \frac{1}{2}$ |

Como podemos observar en la Tabla 1, está relacionado con las consecuencias de falla. La importancia de una estructura puede ser tomada en cuenta con valores grandes de $\beta$ para hospitales y valores chicos para bodegas rurales, por ejemplo:

Tabla 1. Valores del Indice de Seguridad B

| Estado Limite | Consecuencias de falla | |
|---|---|---|
| - Deflexión excesiva | Molestia | 1.5 |
| - Ruptura de un miembro | Daño a la propiedad | 3.0 |
| - Colapso de la estructura | Pérdida de vida | 4.5 |

Existen muchas incertidumbres ó incógnitas de diseño para las cuales los datos son escasos. Para cada variable aleatoria acerca de la cual existe incertidumbre no estadística, podemos escribir.

$$X = N_x \hat{X} \qquad (15)$$

donde X es el valor verdadero de la variable aleatoria.

$\hat{X}$ es el estimador disponible de la variable aleatoria y

$N_x$ es el factor correctivo con media $N_x$ y coeficiente de variación $\Delta x$

Ejemplo de Diseño (Resistencia Ultima).

Consideramos una viga con carga uniformemente distribuida. Entonces si el evento de falla es la ruptura en flexión de la viga, podemos decir.

Evento de falla: módulo de ruptura $F \leq$ esfuerzo en flexión f, o

$$F \leq \frac{PaL^2}{8} \qquad (16)$$

donde

P es la carga distribuida (fuerza por unidad de área).

a es el espaciamiento de las vigas

L es el claro de la viga, y

s es el módulo de sección de la viga.

Esto puede reescribirse como:

$$R \equiv \frac{8FS}{aL} \leq P \equiv C \qquad (17)$$

a yL las consideramos en este caso como variables no aleatorias. R y S si son variables aleatorias

$$F = N_F \hat{F} \qquad (18)$$

donde F $(M_B, \Omega F)$ es el módulo de ruptura efectivo, $N_F$ $CN_F, \Delta_F)$ es la corrección para el efecto de redundancia paralela, y $\hat{F}$ $(F, \delta_F)$ es el estimador disponible del módulo de ruptura.

Para el ejemplo:

$\hat{N}_F = 1.10$ (19)

y $\Delta_F = 0.045$ (20)

Supongamos pinos del sur (EUA) de la clase No.2. Los datos disponibles indican.

$F = 6{,}870 \times \frac{9}{16} = 3{,}864 \ \frac{16}{2}$ para duración de carga normal (21)

y

$\delta_F = 0.38$ (22)

El módulo de sección se trata de una manera similar

$S = N_S \hat{S}$ (23)

donde $N_S$ toma en cuenta la acción combinada entre la viga y la cubierta.

suponemos

$\hat{N}_S = 1.05$ (24)

y $S = 0.024$ (25)

$\bar{S}$ = incógnita de diseño (26)

y $\delta_S = 0.04$ (27)

donde $\delta_S$ toma en cuenta el error en tamaño

$\mathcal{M}_R$ y $\Omega_R$ son funciones de F y de S

Supongamos un espaciamiento de 16 in, un claro L= 12 ft 3 in Entonces:

$$\mu_R = 14.87\ \bar{S} \quad lb/ft^2 \qquad (28)$$

$$y\ R = 0.385 \qquad (29)$$

Por definición:

$$C \equiv P \qquad (30)$$

donde la carga distribuida es la suma de la carga viva $p_v$ y la carga muerta $p_m$:

$$C = P \times P_m \qquad (31)$$

La carga viva se tomará como:

$$\bar{P}_v = 27.0\ \frac{lb}{ft^2} \qquad (32)$$

y su coeficiente de variación como

$$\Omega_v = 0.24 \qquad (33)$$

para la carga muerta.

$$\bar{P}_m = 7\frac{lb}{ft^2} \qquad (34)$$

$$y\ \Omega_m = 0.214 \qquad (35)$$

Haciendo operaciones obtenemos

$$\mu_c = 34.0\ \frac{lb}{ft^2} \qquad (36)$$

$$y\ \Omega_c = 0.196 \qquad (37)$$

En este caso estamos tratando la factura de un sólo miembro y por lo tanto el valor $\beta$ es 3. Entonces la desigualdad de diseño se convierte.

$$\mu_R \geq \mu_c e^{\left[\beta\sqrt{\Omega_R^2 + \Omega_c^2}\right]} \qquad (38)$$

$$14.875 \geq 34.0\, \rho \left[3\sqrt{0.385^2 + 0.196^2}\right]$$

$$\bar{S} \geq 8.36 \text{ in}^3 \qquad (39)$$

Entonces se escoge un 2 x 8 nominal, para el cual $S = 13.14 \text{ in}^3$. Este mismo miembro se debe diseñar para cumplir los requerimientos de estado límite de funcionalidad o de deflexión excesiva.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES EN LA VIVIENDA

# COMPORTAMIENTO Y DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES A TENSION, COMPRESION, FLEXION Y ESFUERZOS COMBINADOS

ING. FRANCISCO ROBLES GALVEZ

NOVIEMBRE, 1980

# COMPORTAMIENTO Y DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES A TENSION, COMPRESION, FLEXION Y ESFUERZOS COMBINADOS.

ING. FRANCISCO ROBLES GALVEZ.

NOVIEMBRE DE 1980.

ING. FRANCISCO ROBLES GALVEZ.

# COMPORTAMIENTO Y DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES A TENSION, COMPRESION, FLEXION Y ESFUERZOS COMBINADOS.

## Introducción.

Sobre este tema, existe poca información en nuestro país con respecto al diseño de elementos estructurales con madera así como de las propiedades de ésta, por lo que para hacer más explícito este capítulo haremos una breve descripción de el material con que vamos a trabajar a fin de conocerlo y minimizar los errores en que podamos incurrir al tratarlo como estamos acostumbrados al diseñar con acero y concreto.

La madera es un material anosótropo, es decir, sus propiedades físicas y mecánicas no son iguales en cualquier dirección en que se analicen. En este material existen, sin embargo, tres sentidos principales característicos, según los cuales se estudian, definen, y se miden las propiedades que se consideren.

Estos tres sentidos que forman las aristas de un triedro de referencia son (Fig. No. 1).

1o. El sentido AXIAL o sentido del hilo de la madera, paralelo al eje de crecimiento del árbol.

2o. El sentido RADIAL, tomado en una sección recta ortogonal al sentido axial y orientado según un radio de esta sección, es decir, normalmente a los anillos de crecimiento sobre dicha sección.

3o. El sentido TANGENCIAL, tomado, como el precedente, en una sección recta, pero dirigida tangencialmente a los anillos de crecimiento, es decir, perpendicularmente al sentido radial.

El sentido radial y el sentido tangencial reciben también la designación común de sentido transversal de la madera, por oposición al sentido del hilo de la misma.

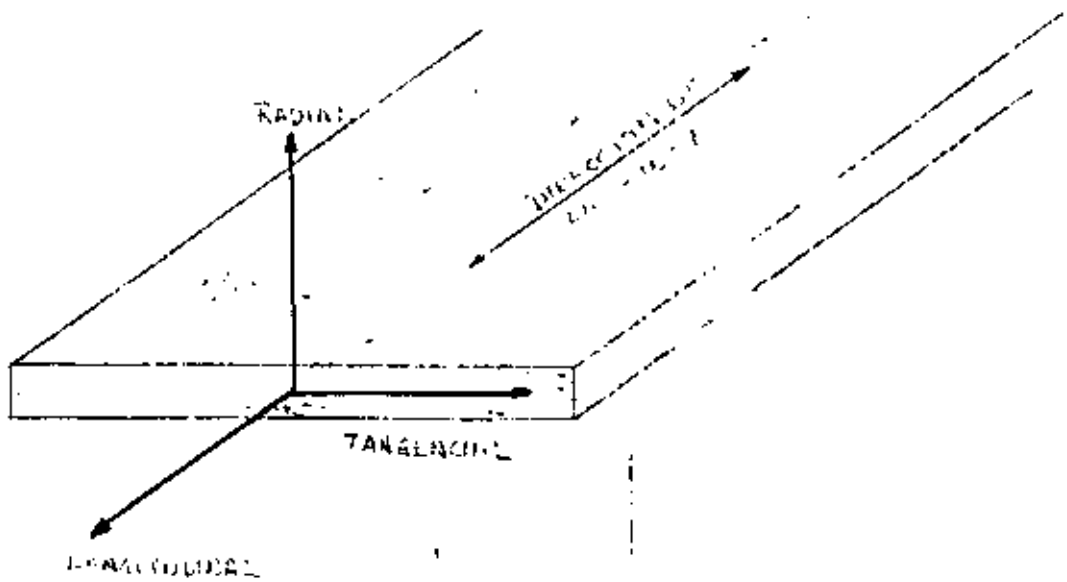



FIG. 1 EJES PRINCIPALES DE LA MADERA, CON RESPECTO A LA DIRECCION DEL HILO Y DE LOS ANILLOS.

Comportamiento de la madera.

Para el fín que aquí perseguimos, que es el de conocer el comportamiento que tendrá la madera al trabajar como elemento estructural, citaremos la influencia que tiene el arreglo estructural de ésta en las propiedades físicas y mecánicas.

Influencia de la estructura de la madera.

Las fibras constituyen, como se ha visto, el elemento resistente de la madera. Cuando existe cantidad de espacios (en número y diámetro) se tienen maderas blandas, poco resistentes. Cuando las fibras son largas se tiene una mejor unión en los tejidos, más resistentes a la flexión. Una fuerte proporción de fibras o fuertes haces de fibras proporcionan rigidez y compacidad. Una proporción regular de flexibilidad.

Los vasos y los canales secretores constituyen vacíos y por ende, puntos débiles.

Los rayos medulares también son elementos de debilidad y forman planos de menor resistencia según los cuales pueden determinarse hendiduras o separaciones transversales.

La rectitud de éstos radios en las coníferas explica su fácil fisu-

ramiento o hendibilidad. En las latifoliadas, en que los radios medulares no son rectilíneos y hacen sufrir desviaciones a las fibras próximas a ellos, la resistencia al hendimiento es más grande.

Las células de parénquima, poco rígidas, dan plasticidad a la madera y permiten el juego de los otros elementos, principalmente durante la desecación; bien distribuídas, pueden evitar la aparición de hendiduras de contracción. En masas demasiado importantes, pueden causar rupturas prematuras.

Cabe mencionar, finalmente, como una consecuencia que se deriva de la estructura misma de la madera, que la noción de LIMITE ELASTICO - es difícil de precisar, en cuanto a casi todos los tipos de esfuerzos, incluso en el sentido de las fibras, y que, consecuentemente,- no es posible sino caracterizar su resistencia a un esfuerzo dado por el límite de ruptura bajo la acción de este esfuerzo.

Variabilidad de las propiedades

Se advierte pues, que la relativa proporción de los diversos elementos constitutivos de la madera, su distribución, cualidades propias, que a la vez varían con la especie, el sitio de origen, el árbol, e incluso la parte del árbol que se considera, determinan diferencias importantes en las propiedades físicas, al igual que en las propiedades mecánicas.

En general, en materia de construcción o de empleo de las maderas - en elementos estructurales lo que prioritariamente importa conocer son los esfuerzos admisibles o esfuerzos permisibles; y considerando que éstos no son más que valores relativamente bajos de los es - fuerzos de ruptura, resulta de ello que los límites correspondientes a estos esfuerzos permisibles son considerablemente más bajos que - los relativos a los esfuerzos de ruptura, de tal forma que, en definitiva, para las necesidades de la práctica, pueden darse valores - de base bastante precisos para hacer posible el cálculo de las obras, con solo utilizar convenientemente las propiedades de la madera y - tomando en cuenta la heterogeneidad de este material, así como los defectos de las piezas empleadas.

Sin embargo, debe quedar entendido que para obras permanentes de considerable importancia o para aquellas en las cuales se desearía reducir al mínimo estricto coeficiente de seguridad, convendrá apelar a los ensayos mecánicos (con elementos estructurales), destacándose - que es fácil mediante ensayos simples y poco numerosos, determinar de un modo suficientemente aproximado, en un conjunto de maderas de construcción de una calidad comercial determinada, el valor de sus características físicas y mecánicas.

Comportamiento de la madera a la Tensión paralela, Compresión paralela, Flexión estática.

Como consecuencia de la estructura fibrosa de la madera, así como de su anisotropía, concíbese que las resistencias mecánicas de dicho material varíen no solamente con arreglo al género de esfuerzos a los que se les somete, sino también según la dirección de aplicación de dichos esfuerzos.

Así es como desde el punto de vista de las resistencias a la Compresión paralela, Tensión paralela, y correlativamente también a la Flexión estática, existe una dirección privilegiada, la del eje de crecimiento del árbol o sentido del hilo de la madera, dirección a la cual son paralelas las fibras que constituyen los ELEMENTOS RESISTENTES, en tanto que las otras dos direcciones que en la madera se consideran, la radial y la tangencial, son contrariamente, las de las partes poco resistentes.

En conclusión, la madera es:

Rígida, paralela al hilo.

Plástica, perpendicular al hilo (sección transversal)

De esta separación entre las cohesiones al hilo o axial, y transversal o lateral, resulta la hendibilidad, es decir, la tendencia a la ruptura de la adherencia de las fibras, bajo la acción del hendimiento (esfuerzo de tracción tendiente a separar las fibras).

A continuación citaremos algunos valores para el módulo de elasticidad, que ejemplifican claramente las diferencias señaladas.

Recordando que:

$$E = \frac{\frac{R}{w} \text{ fuerza por unidad de superficie}}{\frac{\Delta l}{l} \text{ alargamiento o acortamiento por unidad de sup.}}$$

Por otra parte, los módulos de elasticidad se refieren a débiles deformaciones, caso en el cual se admite que los módulos de elasticidad longitudinales de la madera son iguales a la tracción y a la compresión.

CUADRO No. 1 MODULOS DE ELASTICIDAD PARA DIFERENTES GRUPOS DE MADERA

| GRUPO | Módulo de elasticidad en $Kg/cm^2$ sentidos | | | Valor relativo de los módulos | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Axial $E_1$ | Radial $E_2$ | Tang. $E_3$ | $\frac{E_2}{E_1}$ | $\frac{E_3}{E_1}$ |
| Maderas fuertemente anisótropas<br>Coníferas livianas | 100,000<br>a 140,000 | 7,500<br>a 10,000 | 4,000<br>a 5,000 | 1/15 | 1/25 |
| Maderas de anisotropía media<br>Coníferas semi-pesadas | 120,000<br>a 160,000 | 11,000<br>a 13,000 | 6,000<br>a 8,000 | | |
| Latifoliadas livianas | 90,000<br>a 120,000 | 11,000<br>a 12,000 | 6,000<br>a 8,000 | 1/10 | 1/20 |
| Maderas débilmente anisótropas<br>Latifoliadas semi-pesadas y pesadas | 130,000<br>a 180,000 | 15,000<br>a 20,000 | 8,000<br>a12,000 | 1/7 | 1/12 |

Analizando los datos anteriores deducimos que:

1o. El sentido tangencial es el menos favorecido ($E_3$ es casi igual a $\frac{E_2}{2}$); este valor menor, probablemente resulte de que los rayos medulares, al abrirse o cerrarse, pueden provocar sensibles deformaciones.

2o. Si no quieren tenerse deformaciones que sobrepasen el orden de 1/1,000, no deberá aplicarse en el sentido radial o tangencial, esfuerzos superiores a 5 ó 10 $Kg/cm^2$ respectivamente, mientras que en el sentido axial esos esfuerzos podrán tener el valor de 140 $Kg/cm^2$.

Todas las consideraciones efectuadas con anterioridad, relativas a las ventajas que presenta el sentido axial, suponen que los esfuerzos de compresión o de tracción se aplican paralelamente a las fibras y que los esfuerzos de flexión se refieren a las piezas cuyo eje longitudinal es paralelo a las fibras de la madera. ESTAS CONDICIONES SON ESENCIALES. En cuanto existe una oblicuidad en el esfuerzo, con relación a las fibras o en cuanto la pieza es cortada oblicuamente con respecto a la dirección del eje del árbol (fibras oblicuas, fibras cortadas), los valores de la resistencia se hacen mucho más débiles.

En cuanto a la resistencia al cortante, el sentido axial no es ya el privilegiado, pues las fibras tienden entonces a ser separadas

por deslizamiento y separación de las partes blandas. En los sentidos transversales (radial y tangencial) la resistencia es más grande, ya que las fibras y las partes blandas resisten conjuntamente a los esfuerzos de cortante propiamente dichos.

En realidad, la madera no se cizalla transversalmente; se destruye rajándose (hendiéndose) y resulta entonces inapta para resistir otro tipo de esfuerzos.

Por otra parte es necesario aclarar que es difícil, sino imposible, provocar la ruptura por cortante transversal, dado que, para producir esfuerzo de esta naturaleza debe ejercerse sobre la pieza un esfuerzo compresión perpendicular. Ahora bien, resiste mal a tal esfuerzo, mucho antes de que el esfuerzo cortante se haya hecho peligroso queda sobrepasada la resistencia de rotura de la madera a dicho esfuerzo.

En conclusión, el cortante que se ejerce paralelamente a las fibras o cortante paralelo, es el único que en la práctica debe considerarse.

Con lo anteriormente expuesto, tenemos ya un conocimiento mejor de el material que vamos a emplear durante nuestras siguientes exposiciones, por lo que entraremos al análisis del comportamiento mecánico que se establece en la resistencia de los materiales para posteriormente concluír en el dimensionamiento de los elementos estructu

rales requeridos de acuerdo con las solicitaciones de esfuerzos - generados.

MIEMBROS EN TENSION.

Para el diseño de elementos a tensión utilizaremos la fórmula si - guiente:

$$F_T = A_n f_t \qquad (1)$$

En donde:

$F_T$ = Fuerza de tensión que puede soportar el miembro en condiciones de servicio.

$A_n$ = Area neta o efectiva de la sección del miembro. El área neta se define como la sección total menos las reducciones debidas a ranuras o agujeros para los conectores.

$f_t$ = Esfuerzo permisible de tensión paralela a las fibras.

Como se ha visto la mayor resistencia de la madera es a la tensión paralela a las fibras, ya que en dirección perpendicular a ellas, - solo se tiene un valor de 1/40 de la primera. Por lo que en todo - miembro a tensión se diseña de tal forma que los esfuerzos longitudinales sean paralelos a la dirección de las fibras, teniéndose fre-

cuentemente que las dimensiones de un miembro en tensión no se determinen en si por la resistencia a la tensión que presenta la madera, sino principalmente por los esfuerzos cortantes que se presentan en los detalles de conexión. Esto se ejemplifica en la siguiente figura, la cual muestra un detalle típico de conexión.

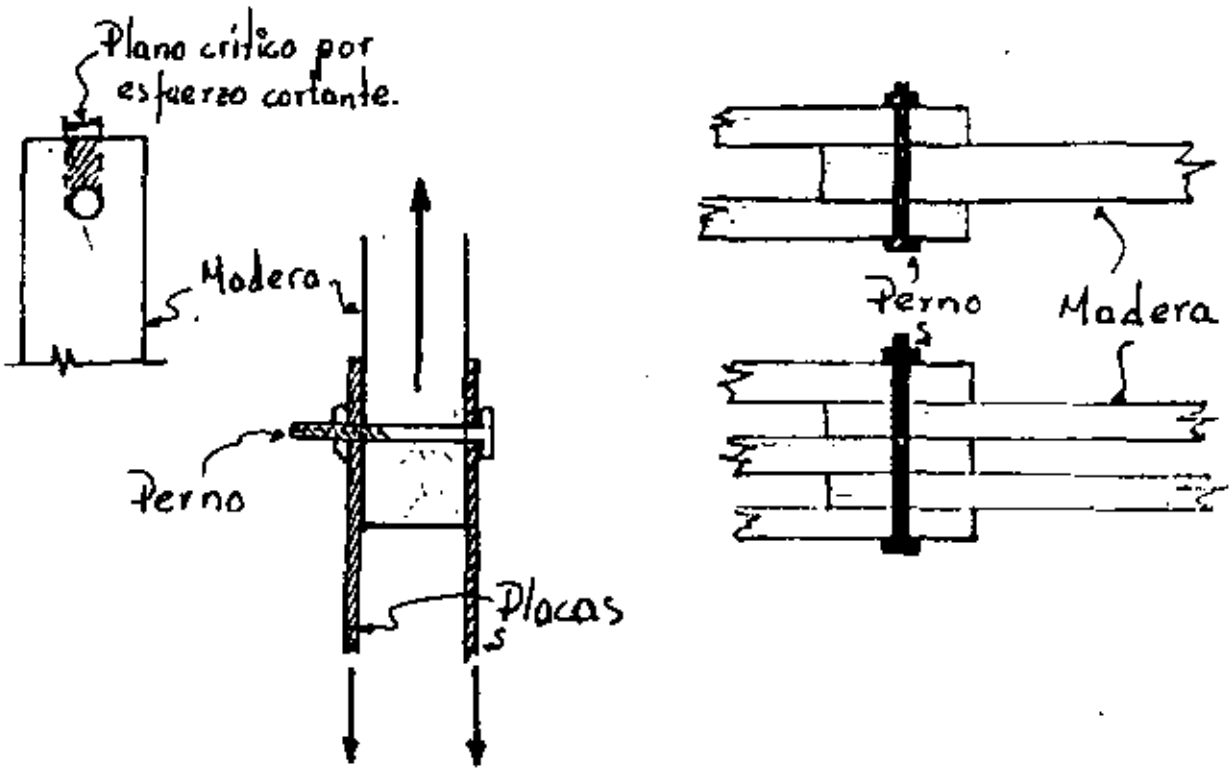



FIG. 2. CONEXION EN MIEMBROS DE MADERA SOMETIDOS A TENSION

Las alternativas que existen para aumentar la capacidad de unión en la mayoría de las conexiones de miembros en tensión, es utilizando adhesivos y placas, siendo estas metálicas o de triplay; procedimiento muy generalizado en la conexión de miembros en armaduras ligeras.

MIEMBROS EN COMPRESION.

Generalidades.

Los miembros estructurales sometidos a compresión se presentan o denominan como columnas, miembros de armaduras, puntales, pilotes.

Deben habilitarse de tal manera que las fibras queden paralelas a los esfuerzos de compresión ya que, como se recordará, la resistencia a la compresión perpendicular a las fibras es baja.

Los miembros de madera sujetos a compresión podemos habilitarlos de tres maneras:

a) Madera maciza.
b) De sección compuesta.
c) De elementos espaciados.

Este primer tipo de columnas, es decir, de madera maciza están formadas por una sola pieza, pudiendo ser esta de sección cuadrada, rectangular o circular dependiendo de los cortes que se hagan (Ver figura 3a).

Las columnas de sección compuesta están formadas por varias piezas ligadas entre sí (figura 3b). La unión puede hacerse por medio de

clavos, pijas o pernos o adhesivos. Un caso típico de este tipo de miembro es el de las columnas de madera laminada.

Las columnas de elementos espaciados están formadas por dos o más - piezas, con los ejes longitudinales paralelos y ligadas por empaques y pernos o conectores (Fig. 3c).

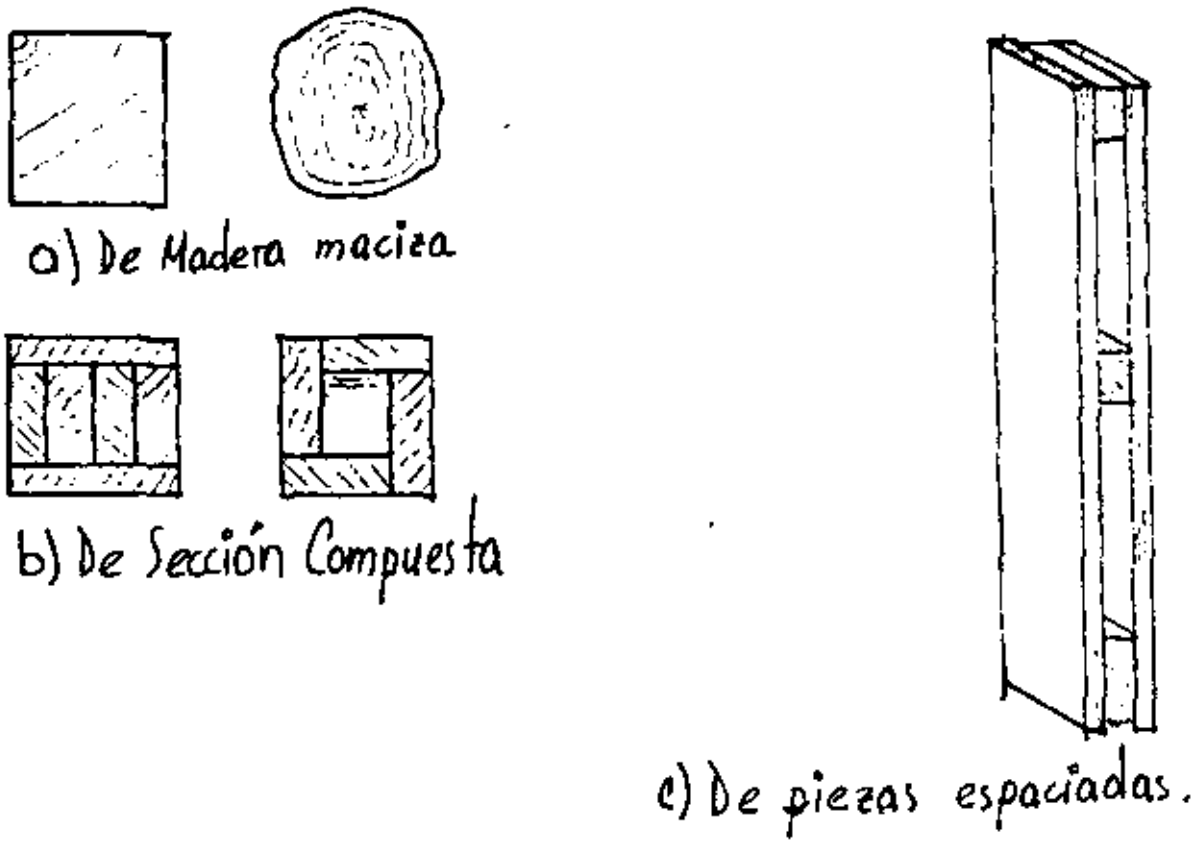
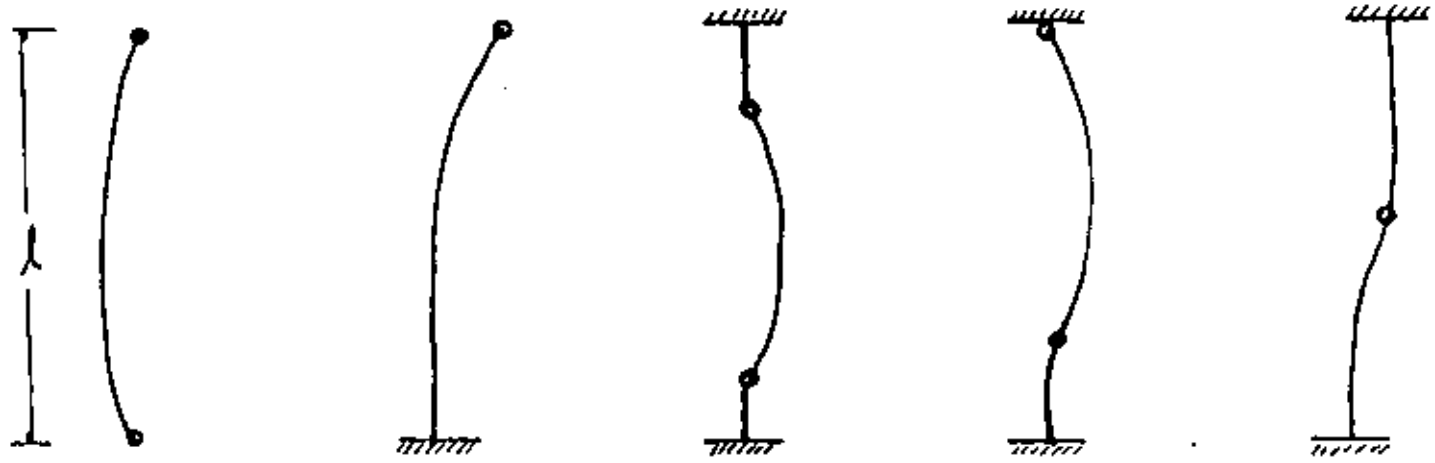



FIG. 3. TIPOS DE MIEMBROS DE MADERA SOMETIDOS A COMPRESION

CONDICION DE RESTRICCION



| | Articulada en ambos extremos y restringida al desplazamiento. | En voladizo. | Empotrada y restringida contra el desplazamiento en ambos extremos | Empotrada y articulada, sin desplazamiento. | Empotrada en ambos extremos, con desplazamiento. |
|---|---|---|---|---|---|
| VALOR TEORICO DE k | 1 | 2 | 0.50 | 0.707 | 1 |
| VALOR DE k PARA DIMENSIONAMIENTO | 1 | 2 | 0.65 | 0.800 | 1.2 |

FIG. 3' LONGITUDES EFECTIVAS PARA ALGUNAS SITUACIONES TIPICAS.

En la práctica es poco común encontrar miembros estructurales sujetos a carga axial de compresión exclusivamente, debido a la dificultad que presenta el evitar la excentricidad por curvatura del eje - debida a errores de fabricación, momentos introducidos en los detalles de conexión, o efectos de acciones previstas en el análisis. Por lo tanto, se tiende a considerar una excentricidad mínima aún - cuando el análisis de la estructura no indique la presencia de momentos. Teniéndose entonces, que todas las columnas y miembros semejantes se calculen como miembros sometidos a flexocompresión. A continuación se considerará el dimensionamiento para condiciones de carga axial ideal. Más adelante se dimensionarán miembros sometidos a combinaciones de momento y carga axial.

DIMENSIONAMIENTO DE MIEMBROS DE MADERA MACIZA SOMETIDOS A COMPRESION AXIAL.

Los miembros de madera maciza sometidos a compresión puede clasificarse en dos tipos:

Columnas cortas, en las que los efectos de esbeltez pueden despreciarse, y

Columnas largas, que fallan por inestabilidad antes de que el miembro alcance su capacidad en compresión.

El esfuerzo crítico de pandeo para columnas largas está dado por la

ecuación de Euler:

$$f'_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(kl/r)^2} \qquad (2)$$

Donde:

k = factor de longitud efectiva.

l = longitud libre de la columna.

r = radio de giro mínimo de la sección.

El producto kl recibe el nombre de longitud efectiva y, físicamente, es la distancia entre puntos de inflexión. En la figura 4 se dan los valores teóricos de k para algunas situaciones típicas junto con valores recomendables para el dimensionamiento. Los valores sugeridos para dimensionamiento son, en general, algo mayores que los teóricos para tener en cuenta que en situaciones reales es difícil lograr empotramientos perfectos. En otros casos puede estimarse la longitud efectiva en forma aproximada, dibujando la forma deformada de la elástica y midiendo la distancia entre puntos de inflexión. Son útiles los nomogramas para determinación de longitudes efectivas que presentan los manuales y reglamentos del American Institute of Steel Construction y de el American Concrete Institute. Estos nomogramas se basan en las gráficas preparadas originalmente por Jackson y Moreland.

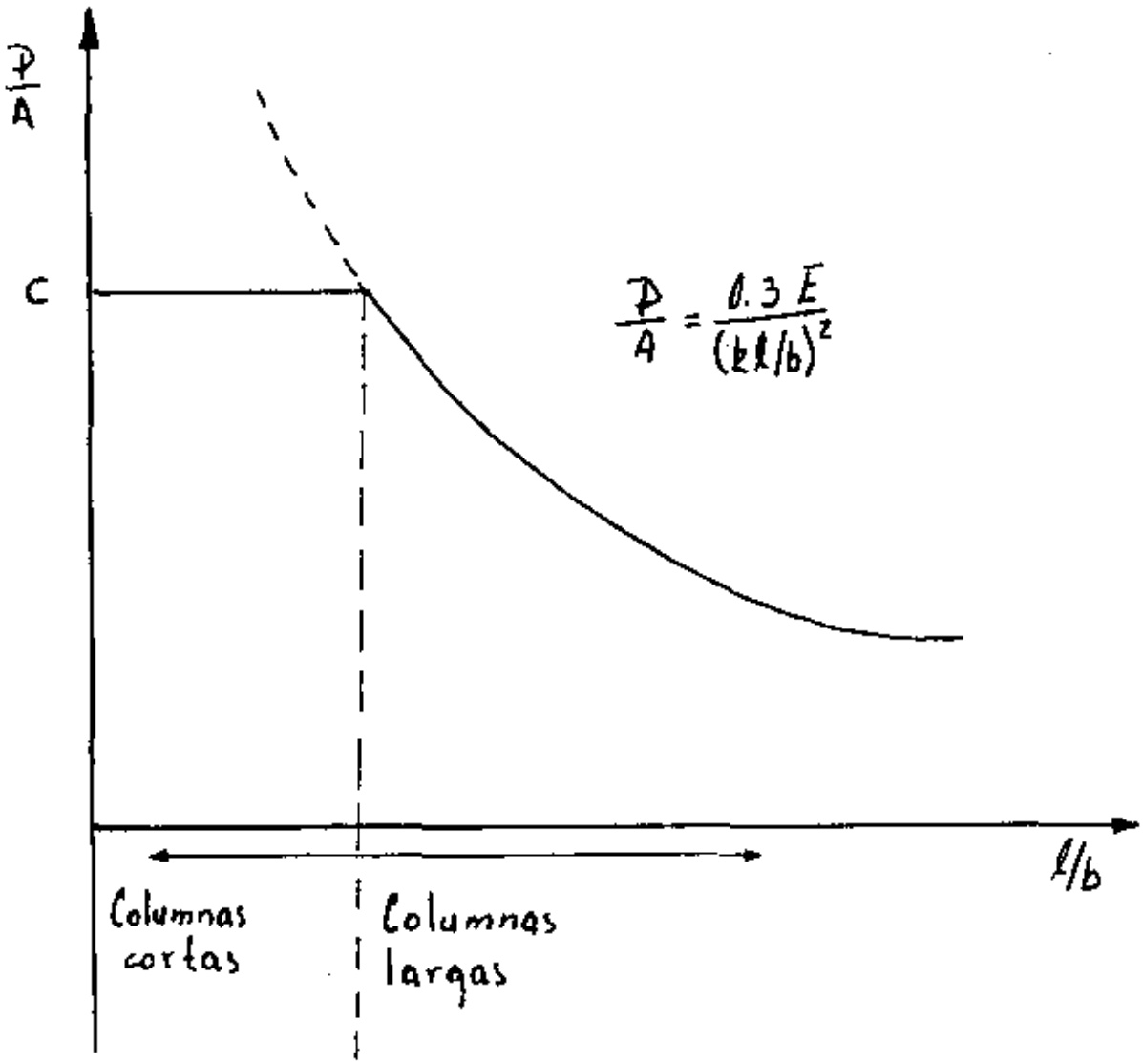



FIG. 4. CURVA DE DIMENSIONAMIENTO PARA COLUMNAS DE MADERA BAJO CARGA AXIAL DE COMPRESION

En nuestro caso, que estamos dimensionando con madera, para miembros rectangulares sustituiremos a l/r por l/b, en donde b es la dimensión de la sección perpendicular al eje de pandeo, es decir, la sección mínima. Recordando que el radio de giro de una sección rectangular esta dado por:

$$r = \frac{b}{\sqrt{12}}$$

sustituyendo r por su valor, en la ecuación ( 2 ) tenemos:

$$f'cr = \frac{\pi^2 E}{\left[kl/(b/\sqrt{12})\right]^2} = \frac{0.82\ E}{(kl/b)^2} \qquad (3)$$

si utilizamos un factor de 2.75 contra la falla por pandeo, la ecuación anterior se transforma en

$$c = \frac{0.82\ E}{2.75\ (kl/b)^2} = \frac{0.3\ E}{(kl/b)^2} \qquad (4)$$

Donde:

c = esfuerzo de dimensionamiento para la columna.

La ecuación es válida siempre y cuando c sea menor al esfuerzo permisible en compresión paralela de la madera, para miembros de esbeltez despreciable.

Los valores de l/b para los cuales ya no se cumple la ecuación anterior, varían de 16 a 20 según el módulo de elasticidad y el esfuerzo permisible en compresión paralela. Con la finalidad de ejemplificar ésta situación, en la fig. 4 se muestra una curva de dimensionamiento típico en la que define la relación de esbeltez, a partir de la cual, la columna falla por aplastamiento del material y debe dimensionarse como columna corta. Por lo general la relación de esbeltez se limita a 50. En el caso de que el miembro que se este dimensionando no sea de sección rectangular, sustituyase en las ecuaciones anteriores a b por $\sqrt{12}$ el radio mínimo de giro.

Hasta aquí lo expuesto, no debe tomarse sino como recomendaciones para el diseño preliminar aproximado o miembros estructurales de poca importancia en los que no actuará un momento de magnitud significativa.

Dimensionamiento de miembros compuestos, sometidos a carga axial.

Los elementos compuestos son aquellos que se encuentran constituídos por varias piezas cuyos ejes longitudinales están dispuestos paralelamente y conectados mediante elementos de unión. Esta situación hace que estos miembros, sean de menor resistencia que los miembros de madera maciza de iguales dimensiones.

Para el dimensionamiento de estos miembros compuestos, se aplicará un factor de conexión a lo determinado para un miembro de madera -

maciza de sección transversal.

| L/B | FACTOR |
|---|---|
| 2 | 0.88 |
| 6 | 0.82 |
| 10 | 0.77 |
| 14 | 0.71 |
| 18 | 0.65 |
| 22 | 0.74 |
| 26 | 0.82 |
| 30 | 0.91 |
| 34 | 0.99 |

Dimensionamiento de miembros espaciados.

Los elementos espaciados son aquellos que están constituídos por dos o más piezas macizas separadas por bloques de madera, frecuentemente se utilizan en barras de compresión de las armaduras.

Para el dimensionamiento utilizaremos la fórmula general de:

$$\frac{\frac{P}{A_n}}{f_{c_d}} + \frac{\frac{M}{S} + \frac{P}{A_n} \cdot \frac{6e\beta}{d_e}}{f_{b_d} \cdot C_f} \leq 1 \quad , \qquad (5)$$

donde:

P = fuerza normal de compresión.

$A_n$ = área neta de la sección transversal final del elemento.

$f_{c_d}$ = esfuerzo de compresión paralelo a las fibras .

$f_{b_d}$ = esfuerzo de diseño en flexión.

M = momento flexionante máximo.

S = módulo de sección del elemento.

$d_e$ = dimensión de la sección transversal en dirección de la excentricidad.

$\beta = 1$ cuando $kl/b \leq \sqrt{\frac{0.3E}{f_{c_p}}}$

$\beta = 1.25$ cuando $kl/b > \sqrt{\frac{0.3E}{f_{c_p}}}$

El valor de $f_{c_d}$ será el menor de los siguientes:

1. El dado por la fórmula ( 4 ), donde L es la distancia entre separadores, b el espesor de una de las hojas y k = 1.

2. El dado por la fórmula ( 4 ), considerando la posibilidad de pandeo de la sección separada alrededor del eje x-x. En este caso b será igual a la dimensión de la sección transversal medida paralelamente y-y y L será la longitud total de la columna.

3. El dado por la fórmula ( 4 ), considerando la posibilidad de pandeo de la sección espaciada alrededor del eje y-y. En este caso b será la dimensión total de la sección transversal - medida paralelamente al eje x-x y L será la longitud total de la columna multiplicada por los factores de la tabla siguiente :

Para los casos 1 y 2 k se tomará de la Fig. 3'

| a/b<br>Elementos de unión | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| Clavos | 2.6 | 3.1 | 3.5 |
| Tornillos o Pernos | 2.4 | 2.8 | 3.1 |
| Conectores | 1.8 | 2.2 | 2.4 |

La longitud de separadores estará en función del número de elementos de unión y espaciamiento mínimo entre éstos. El número de elementos de unión en los extremos será tal que transmitan una fuerza cortante entre caras de contacto de las piezas y los separadores - igual a:

$$V = \frac{1.5 \times \text{Fuerza total de compresión}}{\text{número de piezas macizas componentes (sin separadores)}} \quad (6)$$

Además, la longitud de los separadores extremos no será menor de 6 veces el espesor de una de las piezas.

El número de separadores intermedios será tal que la máxima relación de la distancia entre centros de gravedad de grupos de elementos de unión al espesor de una pieza componente sea menor o igual a 20.

El número de elementos de unión en los separadores intermedios será la cuarta parte correspondiente en los separadores extremos.

MIEMBROS EN FLEXION.

Los plantemientos que a continuación establezcamos, se referirán a elementos sometidos a cargas transversales, siendo éstos vigas de madera maciza.

Recordemos lo que antes hemos planteado, en cuanto al arreglo anatómico que presenta la madera, la cual hace presentar tres ejes de referencia, siendo estos:

El axial o paralelo al hilo, en el que hemos planteado los esfuerzos que se presentan, así como, las fórmulas establecidas para verificar o determinar éstos. Ahora analizaremos que esfuerzos y su magnitud nos provocan las cargas actuantes normalmente a las fibras, es decir, éstas estan orientadas paralelamente a la longitud o claro de la viga.

La madera en éstas condiciones de carga, resiste acciones flexionantes con gran eficiencia, ya que la relación entre su rigidez en flexión y su peso es alto.

En la siguiente figura explicaremos esta situación.

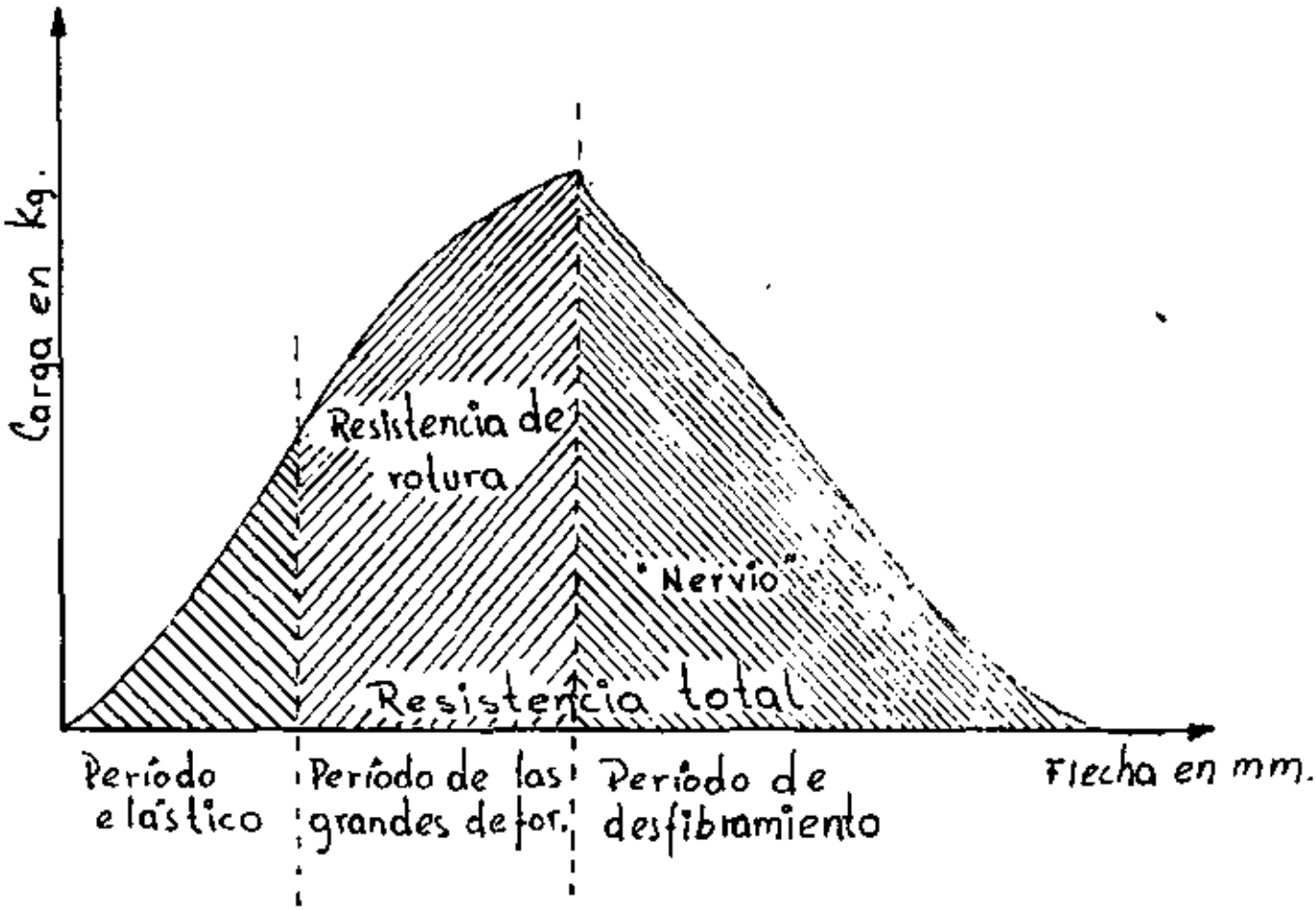



Fig. 5. Diagrama de flexión que mide la resistencia total de la madera.

Cuando una pieza de madera se rompe bajo la acción de un esfuerzo de flexión, no se separa inmediatamente en dos partes, debido a su razón fibrosa, la madera ofrece, una gran capacidad de trabajo -

que se opone a la separación de las dos partes. En otras palabras, la madera, puede resistir todavía mucho después de su rotura, propiedad que aumenta apreciablemente la seguridad de su empleo. El trabajo que efectúa la madera, después de la rotura mecánica se llama "trabajo de desfibramiento".

Considerense tres períodos en el trabajo de la madera:

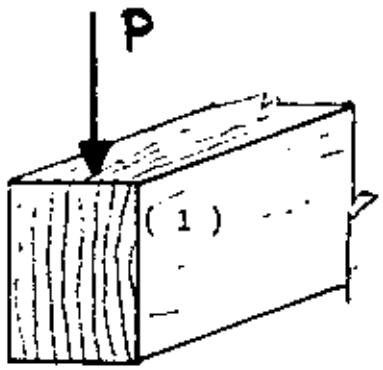
1o. Período de las deformaciones elásticas (deformaciones proporcionales a las cargas).

2o. Período de las grandes deformaciones (No proporcionales a las cargas).

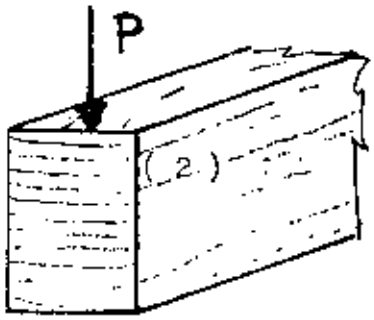
3o. Período de desfibramiento.

Para representar la capacidad de la madera, es decir, la resistencia total, se toma como base el producto de la carga por la flecha de la deformación causada por esta carga. Este producto se mide por el área del diagrama de cargas.

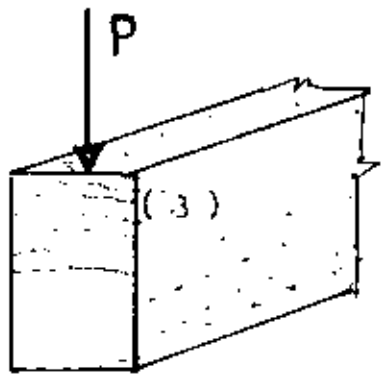
Para obtener una mejor ventaja de la resistencia de la madera es necesario se consideren las situaciones siguientes:




La madera presenta la resistencia mínima, cuando el esfuerzo se dirige tangencialmente a los anillos de crecimiento.




La madera presenta la resistencia máxima, cuando el esfuerzo se dirige en el sentido radial centrífugo, ya que en este caso trabaja como un resorte de láminas superpuestas.




La madera presenta una resistencia media, cuando el esfuerzo se dirige en el sentido radial centrípeto.

Recordemos que para poder dimensionar este tipo de elementos, es decir, de madera maciza, tendremos que efectuar el análisis de los efectos debidos a:

- Momento flexionante.
- Esfuerzo cortante paralelo a las fibras.
- Aplastamiento en los apoyos (compresión perpendicular).
- Deflexiones.

Momento flexionante. (Flexión).

Como hemos mencionado anteriormente, la madera no tiene un comportamiento elástico riguroso, aplicaremos la teoría convencional de la flexión, según la cual los esfuerzos se calculan de acuerdo a la fórmula de la escuadría o de Navier:

$$f = \frac{M}{S} \qquad (7)$$

donde:

f = esfuerzo

M = momento máximo

S = módulo de sección.

Los esfuerzos calculados con ésta expresión deben ser menores a los permisibles para flexión, corregidos por los siguientes factores, que toman en cuenta ciertas particularidades del comportamiento de vigas de madera.

Factor de forma por efecto de Peralte.

El laboratorio de productos forestales de los Estados Unidos, ha propuesto la siguiente fórmula empírica para vigas rectangulares.

$$C_d = 0.81 \frac{d^2 + 922}{d^2 + 568} \qquad (8)$$

donde:

$C_d$ = factor menor que la unidad, para disminuír el esfuerzo permisible a la flexión.

d = peralte en cm.

Bohannan propone que:

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

en donde

d = peralte en pulgadas

Los valores del factor de corrección obtenido por ambas fórmulas varía entre 0.8 y 1.0.

Estas ecuaciones son aplicables a peraltes mayores de 30 cm, por lo que para encontrar el momento permisible de una viga donde se considere el efecto de peralte tendremos que:

$$M \text{ permisible} = C_d \, f_{f_p} \, S \qquad (10)$$

donde:

$f_{f_p}$ = esfuerzo permisible de flexión.

S = módulo de sección.

Factor de forma.

El efecto que provoca el grado de apoyo proporcionado por las fibras vecinas a las fibras sometidas a esfuerzos críticos de compresión, - también debe considerarse en secciones que no son rectangulares ver fig. 6 . En los casos ( a ) y ( b ), el ancho en la región de las fibras extremas es pequeño, existiendo gran cantidad de fibras contiguas que proporcionan apoyo porque el ancho de la sección aumenta al ir aumentando a la fibra extrema superior. Si analizamos la viga cajón del caso ( c ), encontramos que tiene zonas en compresión relativamente pequeñas y las fibras extremas no cuentan con mucho - apoyo de las fibras vecinas. En si los factores de forma que deben tomarse son:

$C_f$ = 1.18 para secciones circulares.

$C_f$ = 1.414 para secciones cuadradas.

Gurfinkel, propone ecuaciones para el cálculo del factor de forma - para secciones "I" y de cajón, aplicándose éste a los esfuerzos per

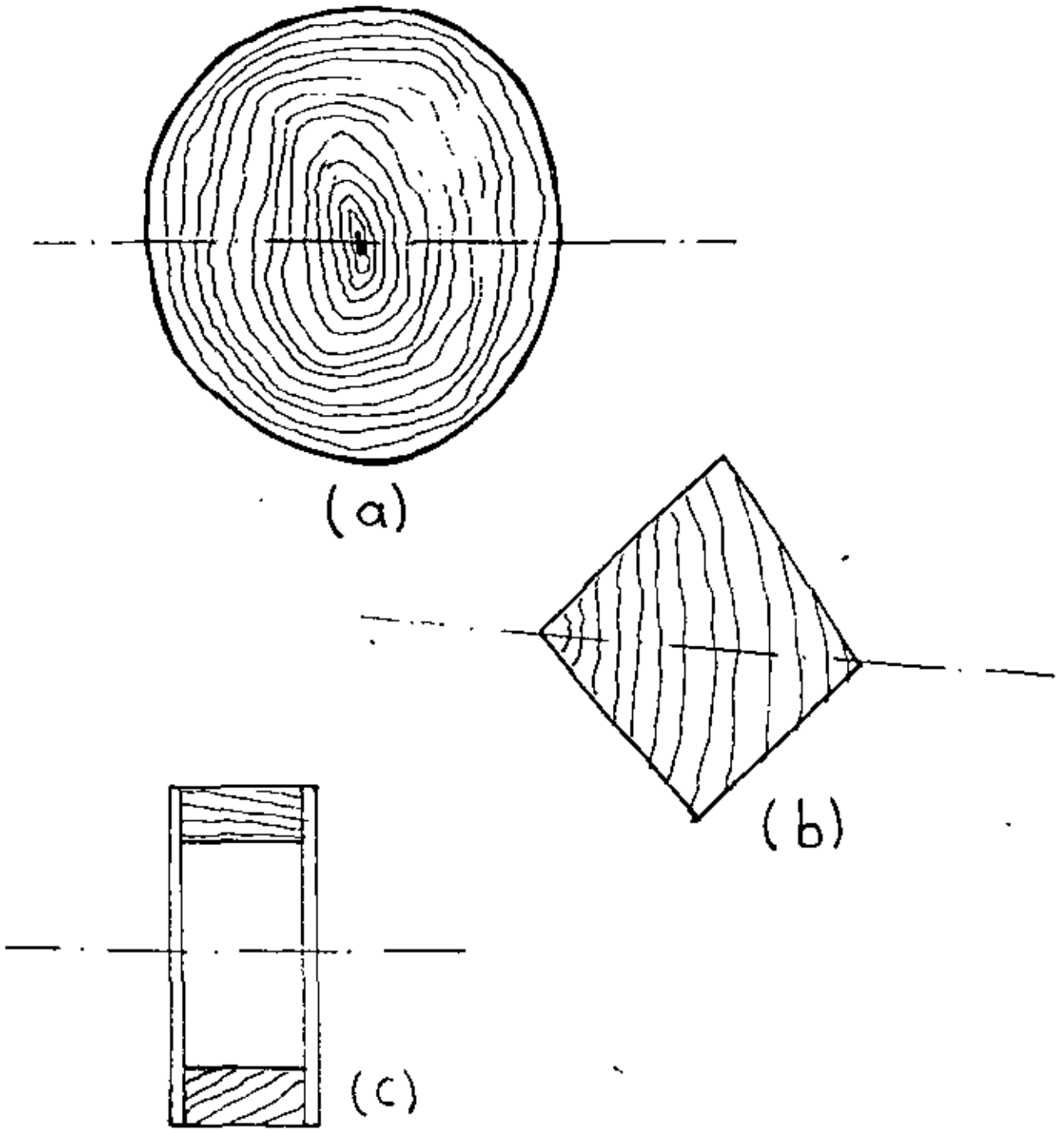



FIG. 6. SECCIONES DE VIGAS DE MADERA.

misibles de flexión, de manera que el momento permisible se obtiene.

$$M \text{ permisible} = C_f \, f_{f_p} \, S \qquad (11)$$

Cuando se consideran los dos factores, el cálculo del momento será:

$$M \text{ permisible} = C_d \, C_f \, f_{f_p} \, S \qquad (12)$$

Las consideraciones anteriores son válidas cuando existen soportes laterales en la cara de compresión de las vigas. Cuando no se tienen éstos soportes, puede presentarse una tendencia al pandeo lateral, que puede provocar la falla a cargas menores que las correspondientes a la carga de flexión.

Esfuerzo cortante.

Es frecuente, que al dimensionar los miembros en flexión, el momento es el que rige el diseño, pero pueden presentarse situaciones en las que el esfuerzo cortante es crítico, particularmente en el caso de claros cortos con cargas grandes.

Recordemos que, en un elemento sujeto a cargas transversales, el esfuerzo cortante actúa en planos perpendiculares y paralelos al eje del elemento. Sabemos que la madera tiene considerable resistencia a esfuerzos cortantes, perpendiculares a las fibras, pero, en el -

sentido paralelo a la fibra ésta resistencia es muy baja.

Ya que las vigas se elaboran de tal manera que su longitud sea paralela al sentido axial que guardan las fibras, cuando la fuerza cortante resulta crítica, provoca fallas en planos horizontales, debidas a esfuerzos cortantes horizontales (esfuerzos rasantes). Este tipo de esfuerzos se revisan por medio de la ecuación establecida para materiales elásticos.

$$\nu = \frac{VQ}{Ib} \qquad (13)$$

Para secciones rectangulares esta expresión se convierte en

$$\nu = \frac{3}{2}\,\frac{V}{bd} \qquad (14)$$

donde:

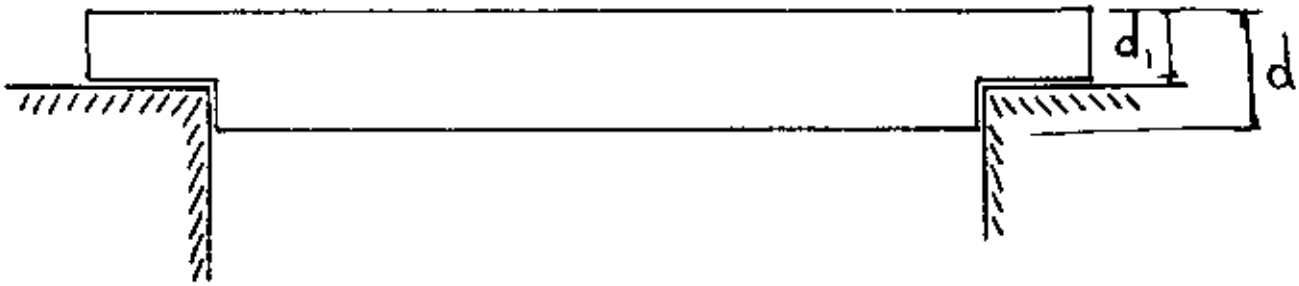
$\nu$ = esfuerzo cortante aplicado.

V = esfuerzo cortante perpendicular a las fibras .

b = ancho de la sección transversal.

d = peralte de la sección transversal.

Con esta expresión se obtienen los esfuerzos máximos localizados en el plano neutro.




$$v = \frac{3V}{2bd_1} \cdot \frac{d}{d_1}$$

V = reacción en el apoyo
b = ancho de la viga
$d_1$ = peralte sobre la sección rebajada
v = esfuerzo cortante aplicado
d = peralte total.

FIG. 7. ESFUERZO CORTANTE EN VIGAS CON RECORTES EN LOS EXTREMOS

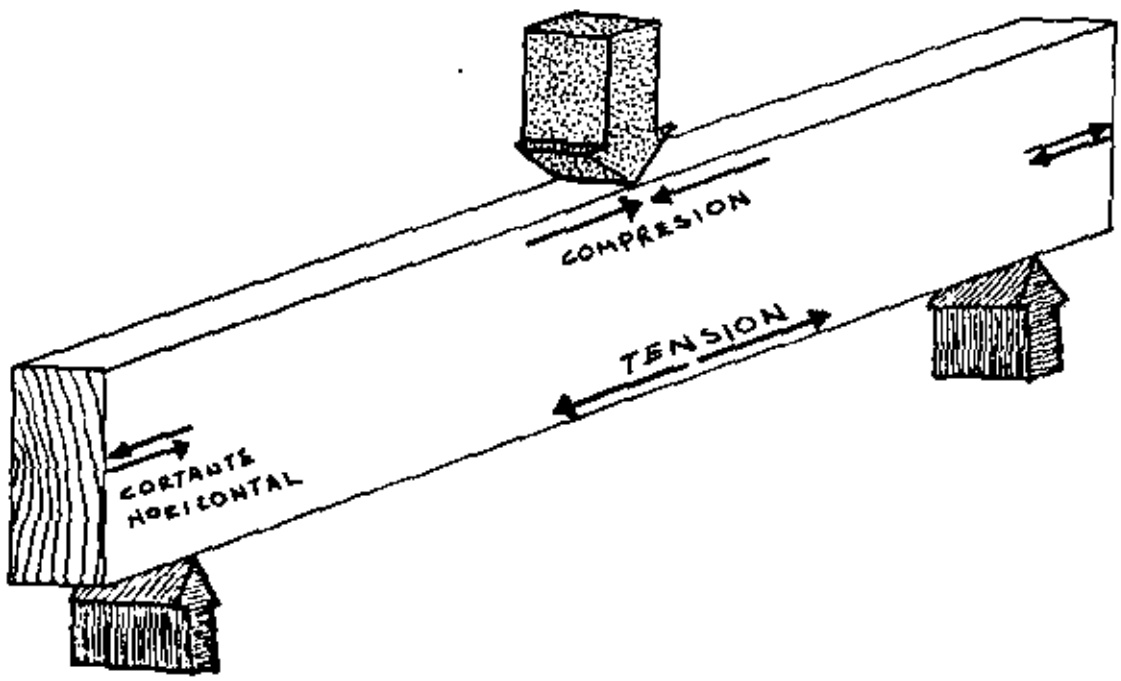



FIG. 8 ESFUERZOS PROVOCADOS POR UNA CARGA CONCENTRADA, EN UN MIEMBRO A FLEXION

Normalmente esta revisión por cortante, se efectúa en una sección a un peralte del apoyo.

Hay casos en los que se requiere "recortar" los extremos de las vigas, por lo que se presentan c ncentraciones de esfuerzos siendo necesario calcular los esfuerzos cortantes con un criterio más conservador y tenemos que:

$$v = \frac{3V}{2bd_1} \cdot \frac{d}{d_1} \qquad (15)$$

Se ilustra mejor esta situación en la fig.

Aplastamiento en los apoyos (Compresión Perpendicular).

En las vigas se presentan esfuerzos de compresión perpendiculares a las fibras, debidos a cargas concentradas, distrubuídas o a otro tipo de acción, por lo que es necesario cuantificar este tipo de esfuerzos, dividiendo la carga entre el área en que se aplica ésta, (Ver fig. 9 ) siendo menores los valores obtenidos, a los permisibles.

Deflexión.

Para el cálculo de la deflexión en miembros a flexión, emplearemos las fórmulas empleadas en la Mecánica de los Materiales con sus respectivos postulados: de Navier, Bernoulli y Hooke, que establecen:

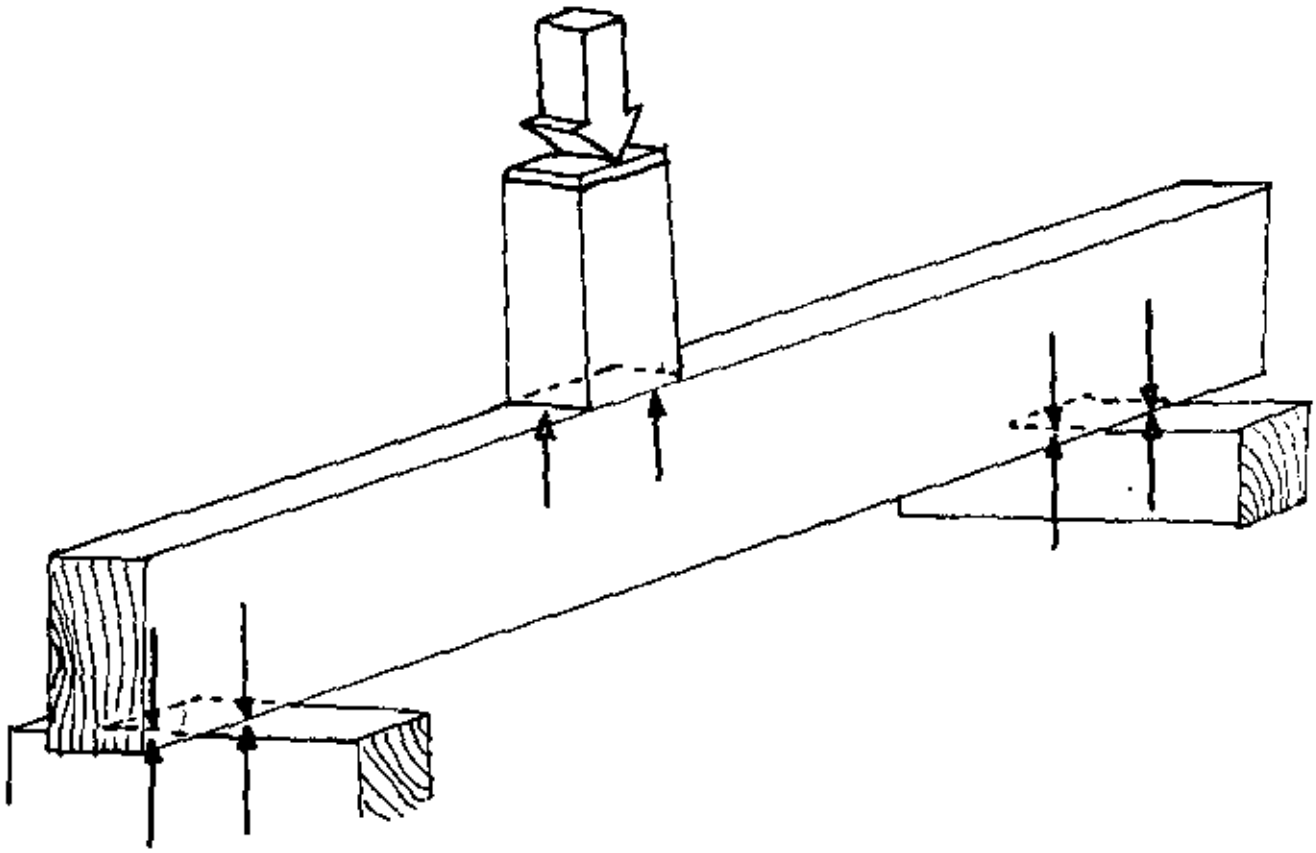


FIG. 9. ACCIONES NORMALES A LAS FIBRAS
APLASTAMIENTO EN LOS APOYOS Y
BAJO CARGAS VERTICALES

- "Las deformaciones unitarias son proporcionales a sus distancias al eje neutro".

- "Las secciones planas antes y después de las deformaciones permanecen planas".

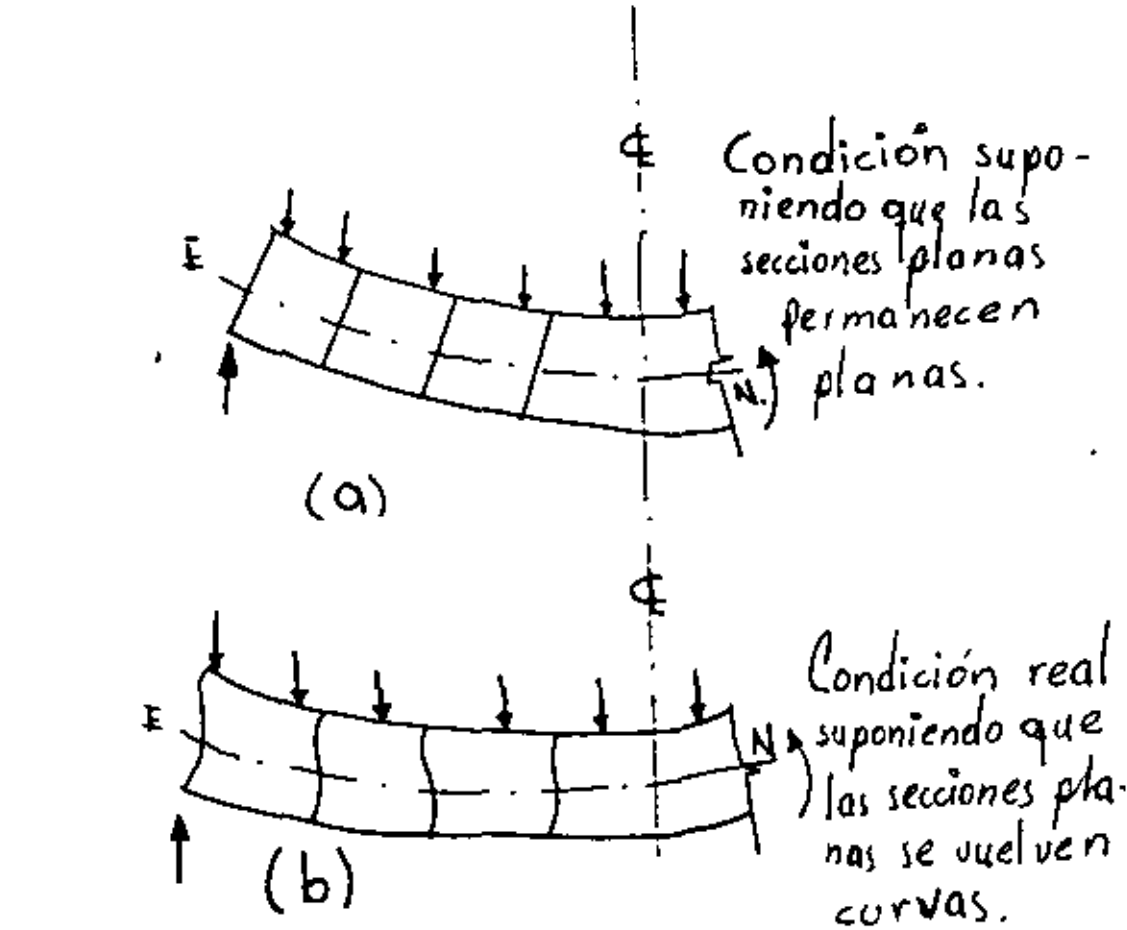
- "Las deformaciones son proporcionales a las cargas que las producen".

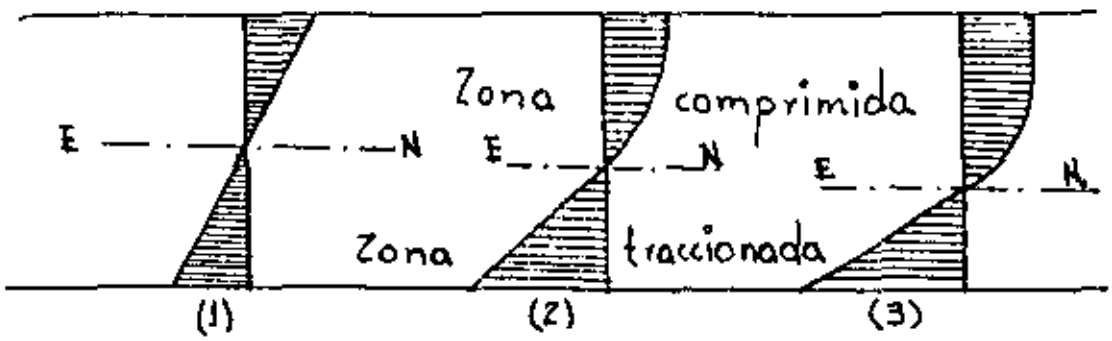
Al estudiar las deformaciones de las estrucutras de madera, debe tenerse en cuenta que las vigas, cuando quedan sometidas a cargas que actúan durante largo tiempo, adquieren deformación adicionales que pueden ser del mismo orden que las que resultan de un cálculo elástico.

La deformación debida a cortante es despreciable, (fig. 10 a), lo cual no se cumple rigurosamente debido a la resistencia a esfuerzos rasantes de la madera que es muy baja. (fig. 10 b).

Para el cálculo de las deflexiones emplearemos el módulo de elasticidad que varía en valor al cambiar el contenido de humedad de la madera.

En general las deformaciones tolerables dependen del tipo de acabado deseado, existiendo dos maneras de especificarlas.




(c) Distribución de tensiones

(1) Comienzo de la deformación
(2) Durante la deformación
(3) Cerca de la rotura

FIG. 10. DEFLEXION DE VIGAS

Como una magnitud independiente del claro, como una función del claro.

Como una magnitud independiente del claro; para duela y triplay en contacto con concreto se tiene 1/16".

Para miembros menores que 1.5 m. se tiene 1/8".

Para miembros mayores que 1.5 m. se tiene 1/4".

En función del claro, las deflexiones admisibles recomendables va de $\frac{1}{360}$ a $\frac{1}{500}$

MIEMBROS A ESFUERZOS COMBINADOS.

Miembros sometidos a combinación de momento y carga axial.

Es muy frecuente encontrar esta combinación de esfuerzos ya que por lo general siempre encontraremos miembros sometidos a flexocompresión (columnas con cargas excéntricas o expuestas a cargas verticales). El comportamiento se puede ilustrar por medio del diagrama de interacción adimensionales como el representado en la curva (a), de la fig. 11 , basado en ensayes efectuados sobre modelos de columnas de madera. En forma conservadora la interacción puede representarse por la recta (b) que une a P/Po=1 con M/Mo=1 donde:

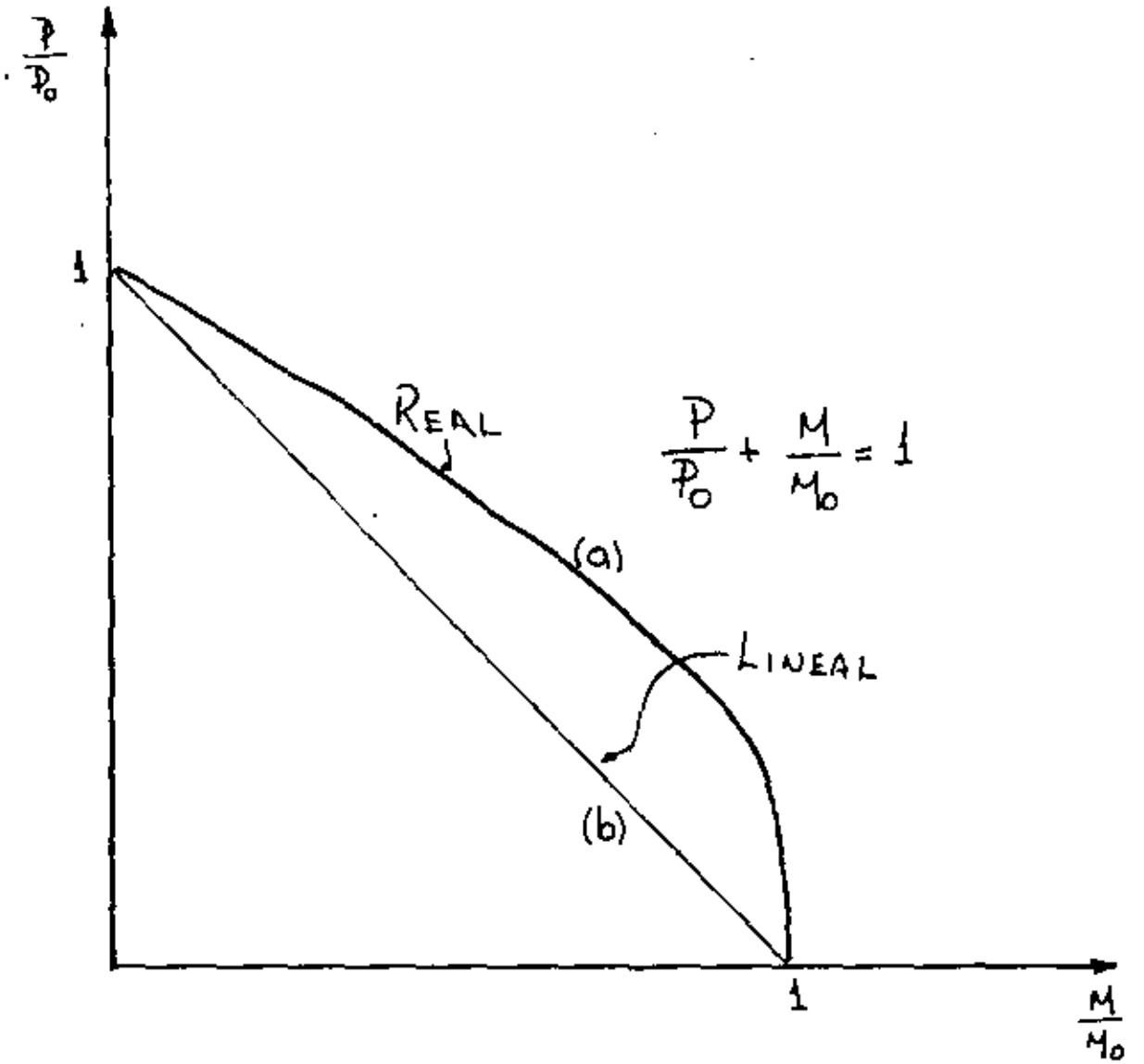



FIG. 11. DIAGRAMAS DE INTERACCION CARGA AXIAL - MOMENTO.

Po = capacidad para resistir carga axial.

Mo = capacidad para resistir momento.

P y M= acciones aplicadas a la columna.

La ecuación de la recta es:

$$\frac{P}{Po} + \frac{M}{Mo} = 1 \qquad (16)$$

Los esfuerzos de una columna sometida a flexocompresión deben cumplir con:

$$\frac{f_c}{f_{c_p}} + \frac{f_f}{f_{f_p}} \leq 1.0 \qquad (17)$$

donde:

$f_c = \frac{P}{A}$ = esfuerzo axial de compresión aplicado.

$f_{c_p}$ = esfuerzo axial de compresión permisible.

$f_f = \frac{M}{S}$ = esfuerzo de flexión aplicado.

$f_{f_p}$ = esfuerzo de flexión permisible.

Para el análisis de la combinación de esfuerzos supongamos que una

parte de la capacidad de la columna es absorbida por la carga axial y el resto por la flexión. El procedimiento no toma en cuenta el efecto de esbeltez.

Para elementos a flexotensión se empleará la expresión anterior, sustituyendo los valores respectivos de $f_c$ y $f_{c_p}$ por $f_t$ y $f_{t_p}$ que son:

esfuerzo de tensión axial y esfuerzo de tensión permisible respectivamente. En este caso los efectos de esbeltez no existen. Este tipo de combinación de esfuerzos se presenta en miembros sometidos a cargas transversales además de cargas axiales de tensión propias de las cuerdas inferiores de las armaduras.

A continuación se describe uno de los métodos más preciso y que toma en cuenta los efectos de esbeltez. Es aplicable a miembros rectangulares sometidos simultáneamente a carga axial de compresión excéntrica y a momento debido a cargas transversales.

$$\frac{\frac{P}{A}}{C} + \frac{\frac{M}{S} + \frac{P}{A} \cdot \frac{6e}{d}\beta}{C_d\, f_{f_p} - \gamma \frac{P}{A}} \qquad (13)$$

en donde:

P = carga axial

A = área de la sección

d = dimensión del lado mayor de la columna

e = excentricidad de la carga axial

M = momento debido a las cargas transversales

S = módulo de sección del miembro

$f_{f_p}$ = esfuerzo permisible en flexión

$C_d$ = factor de tamaño

c = esfuerzo permisible en compresión paralela a las fibras, corregido por esbeltez.

$\alpha$ = factor de duración de la carga (0.9 para cargas permanentes, 1.0 para cargas de duración normal, 1.15 para nieve, 1.33 para viento o sismo, 2 para impacto).

$\beta, \gamma$ = coeficientes de ampliación.

El valor de c , está dado por $0.3\ E/\ (\ l/b\ )^2$

donde

E = módulo de elasticidad en dirección paralela a la fibra

l = longitud libre de la columna

b = dimensión del lado menor de la columna.

Este valor no debe ser superior a $f_{c_p}$, el esfuerzo permisible a compresión en dirección paralela a las fibras, en miembros cortos.

Los coeficientes de amplificación $\beta$ y $\gamma$ dependen de la relación $l/b$, que no debe exceder de 50. Se consideran como columnas cortas aquellas en que $l/b \leq 0.3E/f_{c_p}$. En este caso se toma $\beta = 1$ y $\gamma = 0$.

Para columnas largas $\beta = 1.25$ y $\delta = 1$.

La ecuación (18) se basa en las consideraciones que se resumen a continuación.

Se parte de las hipótesis siguientes:

1a. La madera se comporta como un material elástico, isótropo y homogéneo bajo las cargas de servicio.

2a. El diagrama de interacción de cargas axiales y momentos a nivel de condiciones de servicio es lineal.

3a. La columna es de sección rectangular y está articulada en ambos extremos.

4a. Ambos extremos de la columna están restringidos contra los desplazamientos laterales y la columna está deformada en curvatura simple.

5a. La columna está sometida a carga axial excéntrica y a carga transversal simétrica respecto al claro.

En la sección crítica el momento es igual a M, el momento debido a la carga transversal, mas Pe que es el momento producido por la -

carga excéntrica, multiplicado por un factor de magnificación $\beta > 1$. El valor de $\beta$ que se propone para uso en la ecuación (18) cuando la columna es larga es 1.25. Evidentemente para columnas cortas, en donde la deformación transversal puede considerarse despreciable, el valor de $\beta$ será 1. El esfuerzo máximo de flexión está dado por $M/S + (P/A) / (6e/d)$. El esfuerzo directo de compresión está dado por $P/A$.

Suponiendo un diagrama de interacción lineal resulta

$$\frac{P/A}{c} + \frac{\frac{M}{S} + \frac{P}{A}\frac{6e}{d}}{f_{f_p}} \qquad (19)$$

El valor de c depende de la relación de esbeltez de la columna, $l/b$; si el miembro está arriostrado en la dirección del lado mínimo, se toma como relación de esbeltez, el valor $l/d$.

Para tener en cuenta la influencia del tamaño en la resistencia a flexión, el esfuerzo permisible $f_{f_p}$ debe multiplicarse por el coeficiente $C_d$. Con un criterio conservador, se considera que en el dimensionamiento de columnas largas debe tomarse la diferencia entre $C_d\ f_{f_p}$ y $P/A$, como esfuerzo neto permisible en flexión. Cuando la columna es corta, es decir, cuando $l/b < 0.3E/f_{c_p}$, está claro que no habrá efecto de esbeltez significativo, por lo que no es necesario restar el término correctivo $P/A$. Para que la expresión

sea aplicable tanto a columnas cortas, como a columnas largas, el esfuerzo neto permisible en flexión puede hacerse igual a $C_d\ f_{f_p} - \beta\ P/A$ en donde $\beta = 1$ para columnas largas y $\beta = 0$ para columnas cortas. Sustituyendo este valor por $f_{f_p}$ en la expresión (19) se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{P/A}{c} + \frac{M/S + \beta \frac{P}{A} \frac{6e}{d}}{C_d\ f_{f_p} - \beta \frac{P}{A}} \leq 1 \qquad (20)$$

En otra parte de estas notas se vió que la resistencia de la madera disminuye con la duración de la carga. La influencia de la duración de la carga se mostró en la fig. 12. Se puede tener en cuenta multiplicando los esfuerzos permisibles que figuran en la expresión 20 y que corresponden a duración normal de carga por el factor de duración de carga, , que fué definido anteriormente.

La expresión 20 se convertirá, entonces, en

$$\frac{P/A}{\alpha\ c} + \frac{M/S + \frac{P}{A} \frac{6e}{d}}{\alpha\,(C_d\ f_{f_p} - \beta \frac{P}{A})} \leq 1 \qquad (21)$$

Multiplicando ambos lados de la desigualdad (21) por se obtiene la expresión general (18) que se presentó inicialmente.

Como se vió, la expresión (18) es aplicable, en rigor, al caso de miembros cuyos extremos están articulados y restringidos contra

los desplazamientos laterales. De una manera aproximada para calcular el valor de c , pueden tenerse en cuenta condiciones distintas, utilizando las longitudes efectivas estimadas. En el caso particular de columnas muy esbeltas en estructuras no restringidas contra los desplazamientos laterales es recomendable hacer un análisis más preciso que tenga en cuenta de una manera más rigurosa el efecto de las deformaciones secundarias.

Se indicó que, en la actualidad se tiende a considerar siempre una excentricidad mínima en el dimensionamiento de columnas. Los valores de la excentricidad mínima que suelen dar los reglamentos son del orden de 0.1b ó 0.1d, según sea el sentido crítico de la columna, pero siempre por lo menos igual a 2.5 cm.

El dimensionamiento de columnas, de acuerdo con la expresión (18), suele requerir un proceso de tanteos en el que se suponen y revisan secciones sucesivas hasta encontrar una que cumpla con las condiciones implícitas en la expresión citada.

Las consideraciones anteriores se refieren a columnas rectangulares enterizas. Para columnas compuestas y columnas formadas por piezas especiales deben tenerse en cuenta las modificaciones y ajustes particulares que recomiendan los reglamentos.

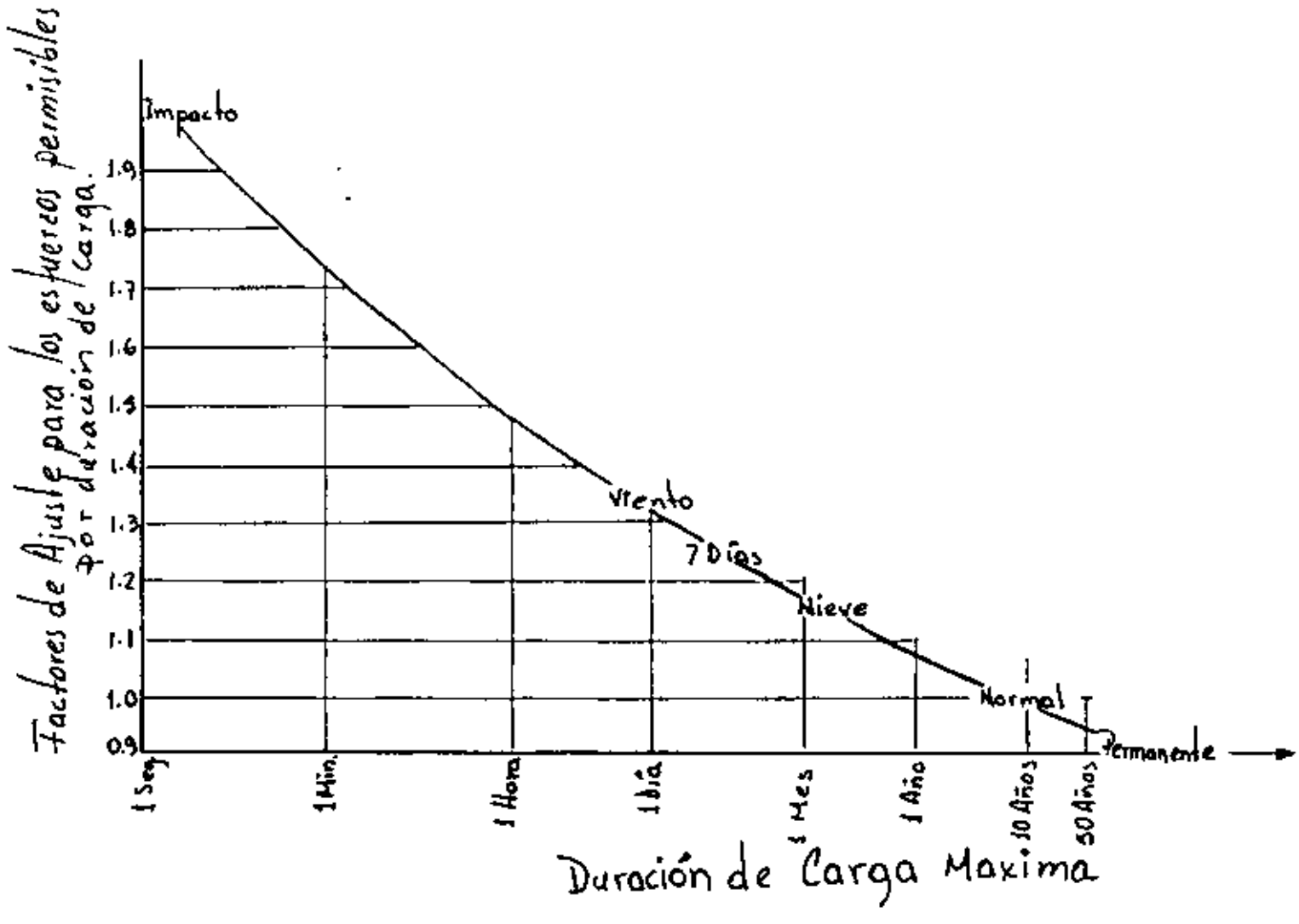



FIG. 12 DIAGRAMA DE LOS FACTORES DE AJUSTE A LOS ESFUERZOS DE TRABAJO, POR DURACION DE CARGA.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES EN AL VIVIENDA

# ELEMENTOS DE UNION

ING. FRANCISCO ROBLES GALVEZ

NOVIEMBRE, 1980

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

# ELEMENTOS DE UNION

Ing. Francisco Robles Cálvez

Noviembre de 1980.

ELEMENTOS DE UNION.

Introducción.

A través de la historia el hombre ha enfrentado la necesidad de conjuntar los elementos y materiales que la naturaleza le proporciona, para satisfacer sus necesidades de alimento, vestido, vivienda, transporte, implementos de trabajo, etc. De todos es sabido que uno de los materiales inmediatos a su uso, lo ha constituído la madera desde las formas más primitivas hasta las más sofisticadas, teniendo que desarrollar para este uso, otros implementos del mismo material o diferente, para lograr mediante uniones mayor longitud, o mayor sección, en los casos más generales.

En este tema trataremos de describir los principales elementos de unión empleados y los actualmente de uso más común.

Es necesario citar que este punto es el que mayor dificultad presenta en el diseño de elementos estructurales, ya que deben desarrollarse por separado al análisis de cada elemento, el propio análisis en particular para cada unión; ya que, de ésta dependerá el perfecto funcionamiento estructural del conjunto.

El comportamiento de toda conexión depende de la carga, pero en madera este factor es más crítico, dada la constitución fibrosa de la misma, siendo tan complejo este comportamiento que es difícil establecer métodos de análisis racionales y matemáticos.

Por lo tanto, el diseño de las conexiones se basa en tablas de capacidades y en fórmulas empíricas.

Elementos de unión más comunemente utilizados en las conexiones.

- Clavos
- Pernos
- Pijas
- Tornillos
- Placas de madera y triplay metálicas.
- Pegamentos y colas.

Otros elementos de unión de uso frecuente en Europa y Estados Unidos.

- Anillo Abierto.
- Placa para esfuerzo cortante
- Rejilla.

A continuación se citan algunas recomendaciones generales para elementos de unión del Reglamento de las Contrucciones para el Distrito Federal.

TABLA 1. Incrementos por duración de carga de las capacidades de carga permisible permanente de elementos de unión (%).

| Duración tipo de carga conector. | Carga viva (10 años) | N i e v e (2 meses) | Viento o sismo (1 hr.) | Impacto (1 min) |
|---|---|---|---|---|
| Clavos, tornillos, - pernos con $t/D \geq 6$ | 8 | 13 | 25 | 50 |
| Pernos con $t/D < 6$ | 15 | 25, | 50 | 100 |

Recordemos que la madera es un material higroscópico, cede o absorve - humedad del medio ambiente con gran facilidad, por lo que los valores reportados son aplocables a maderas con un contenido de humedad superior al 18%, o a uniones que quedan expuestos a la intemperie.

Para uniones que se realicen en madera con un contenido de humedad inferior al 18%, las cargas permisibles podrán incrementarse en un 40%.

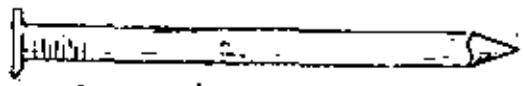
Cuando concurren varios elementos de unión a una conexión, la capacidad permisible de carga será la suma de las capacidades de carga de los conectores considerados individualmente.

Descripción de los elementos de unión.

CLAVOS.

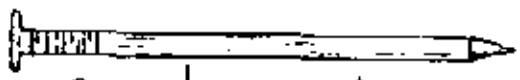
Dentro de estos elementos de unión, existe una gran variedad, siendo diferentes por el tipo de cabeza y de punta, así como por el diámetro y el tratamiento que recibe la superficie del caño. La fabricación comunmente se hace alambre liso y las longitudes varían de 3/4" a 8". El diámetro de un clavo -- de 4" es de aproximadamente 4 mm, La manera más sencilla para determinar la longitud del clavo requerida, debe partirse de suponer el doble de el miembro que se va a unir.

Las características principales de uso de los clavos es la de aprovechar la resistencia a cargas laterales o su resistencia a la extracción, siendo la óptima la de resistnecia a cargas laterales. La limitante de uso de este tipo de - elementos de unión es el espesor de los miembros estructurales, no siendo recomendables en aquellos que tengan un espesor mayor a los 5 cm.



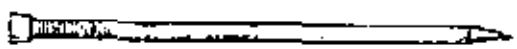
Construcción en general

3/4" – 8"



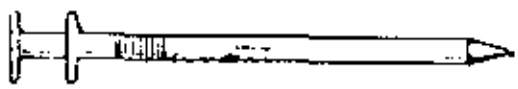
Construcción ligera

3/4" – 5"



Trabajos ligeros diversos

3/16" – 3"



Cimbras

FIG. 1 ALGUNAS FORMAS DE CLAVOS

Resistencia a las cargas laterales.

Para el cálculo de ña capacidad de carga permisible en Kg. de una unión de los miembros de madera, se calcula con la siguiente fórmula:

$$P = 12.75\,\gamma D^{1.5} \quad \text{----------} \quad (1)$$

donde:

P= capacidad permisible de carga. (Kg)

$\gamma$ = densidad relativa de la muestra de madera.

$$\left(\frac{PA}{VV}\right)$$

D= diámetro del clavo en mm.

PA= Peso anhídro.

VV= Volumen verde.

Nota. Si no se conoce $\gamma$, se permite usar un valor de $\gamma$ = 0.4 gr/cm3; que es un valor conservador de la densidad.

Para que se cumpla lo anterior, es decir, la capacidad dada por la fórmula, es necesario que la penetración del clavo en el miembro que la recibe, sea por lo menos de 14 veces el diámetro del clavo; y el miembro en contacto con la cabeza deberá tener por lo menos 10 veces el diámetro del clavo.

Para los espaciamientos entre clavos se recomiendan los siguientes valores mínimos, en donde la D es el díametro en mm.

I) Fuerza actuando en dirección de las fibras.

5D entre hileras de clavos.

5D de los bordes

20 D de los extremos

20 D entre clavos a lo largo de las fibras.

II) Fuerza actuando perpendicularmente a las fibras.

10 D entre hileras de clavos

5 D del borde no cargado

10 D del borde cargado

20 D entre clavos a lo largo de las fibras.

Es necesario aclarar que para clavos hincados en el extremo de un miembro, paralelamente a las fibras la carga será del 60% de la correspondiente al ser hincadas normalmente a estas.

Hasta aquí, no se ha hecho referencia a la variante que involucra la especie de la madera, en el reglamento del D. F. se citan otros valores para cuando se hace intervenir la especie.

Resistencia a la extracción.

Este tipo de resistencia está altamente influenciada por la dirección de penetración del calvo con respecto a la dirección de las fibras, el tipo de punta, la profundidad de penetración, el diámetro, el acabado superficial y la especie, la densidad y contenido de humedad de la madera.

Por medio de la siguiente expresión podenis calcular la capacidad permisible en extracción en Kg/centímetro de penetración en la pieza que contenga la punta.

Por lo que:

$$P = 11\, \rho^{5/2}\, D \quad \text{----------} (2)$$

P= capacidad permisible en extracción (Kg)

= densidad relativa de la muestra de la madera.

$$\left(\frac{PA}{VV}\right)$$

D= diámetro del clavo en mm.

Las cargas dadas por la ecuación (2) son aplicables a clavos de superficie lisa empleadas en uniones hechas con madera, ya sea seca o en condición verde.

No se permiten clavos hincados paralelamente a las fibras, sujetos a cargas de extracción.

Los espaciamientos mínimos entre clavos serán los correspondientes al -- caso de carga lateral cuando la fuerza actúa en la dirección de las fibras.

Detalles de Unión con Clavos.

Miembros inclinados entre sí.

Obsérvese el arreglo estructural mostrado en la Fig.2 en la que el clavo debe quedar perpendicular a las fibras en el miembro que recibe la punta y debe diseñarse de tal manera que resista la componente horizontal de la carga. En esta misma figura se observa que la componente vertical de la fuerza en el miembro inclinado, implica una carga de extracción sobre el clavo. En este caso el clavo debe dimensionarse para resistir tanto la carga de extracción así como el empuje lateral debido a la componente horizontal.

Clavos inclinados.

Hay gran cantidad de detalles que requieren que los clavos se hinquen en dirección inclinada. En la fig. se muestran uniones entre elementos machihembrados para sistemas de pisos o techos. En este caso los clavos deben diseñarse para resistir las fuerzas laterales y de extracción debidas a las cargas verticales, ya que como se ha mencionado la madera absorbe o cede humedad, lo cual provoca en ella cambios volumétricos. La función más específica de los clavos en este sistema es el de transmitir las fuerzas cortantes entre las duelas, siendo ésto fundamental cuando el piso debe actuar como diafragma, por lo que los clavos quedan sujetos a empu

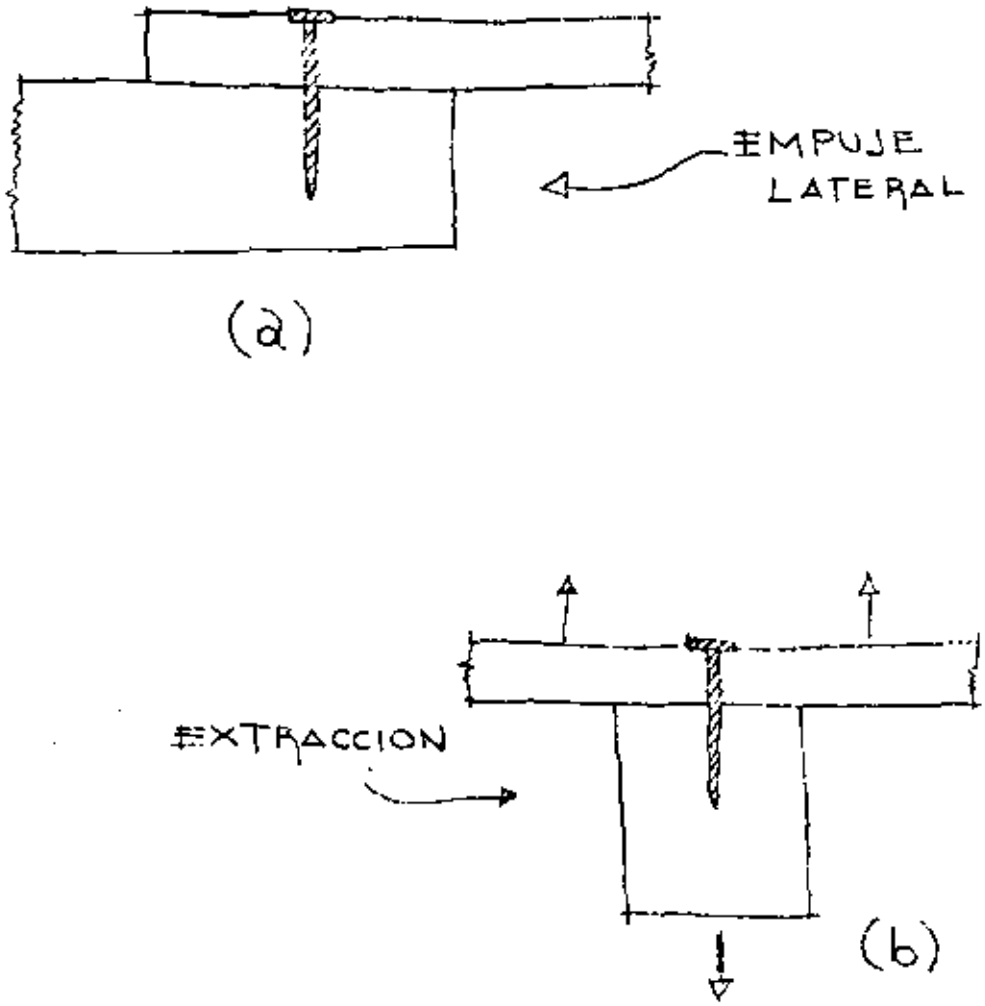



FIG. 2 FORMA DE TRABAJO DE LOS CLAVOS

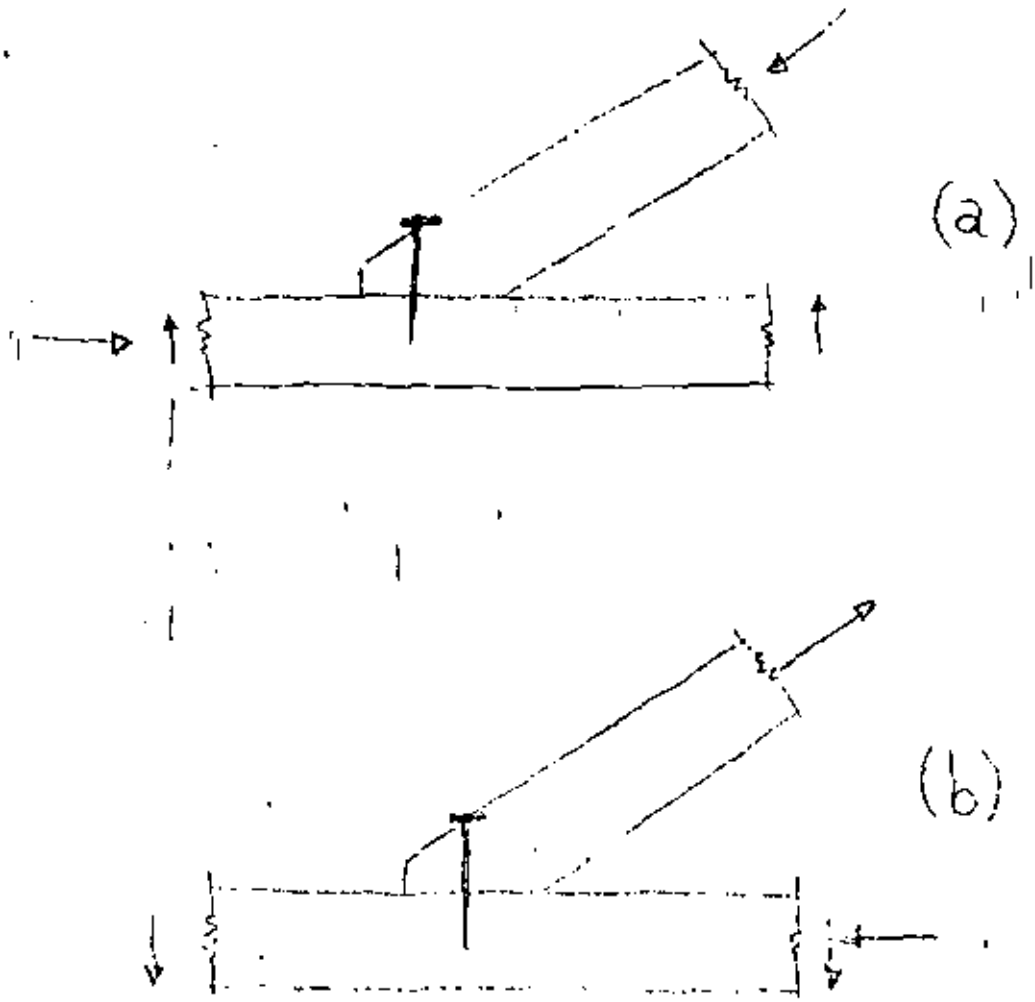
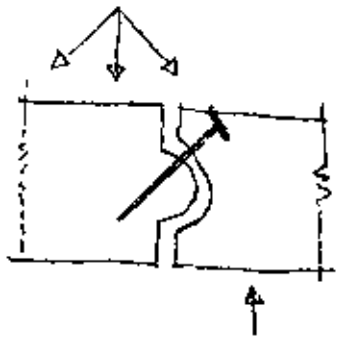


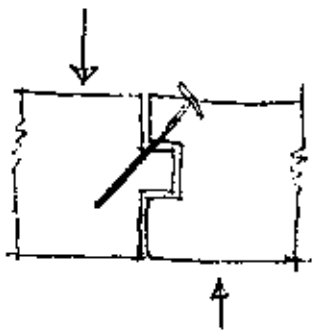

FIG.3 UNIONES EN ANGULO, CON CLAVO

a)



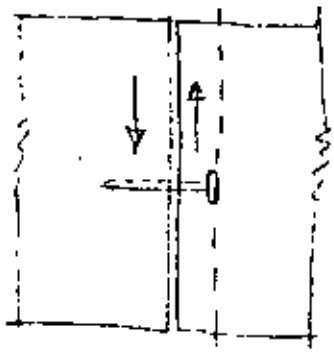
JUNTA CON HOLGURA
(CLAVO TRABAJA)

b)



JUNTA SIN HOLGURA
(CLAVO NO TRABAJA)

c)



TRANSMISION
FUERZA CORTANTE
EN PLANO DUELAS

FIG. 4 UNION DE DUELAS CON CLAVOS INCLINADOS

jes laterales exclusivamente.

La "Toe/nailed connection" es un tipo de unión en el que es necesario utilizar clavos inclinados, se trata de uniones entre dos miembros cuyos ejes longitudinales se encuentra en el plano de una unión fig. 5. Si los clavos se hincaran en dirección paralela a las fibras de uno de los miembros la resistencia a la extracción sería demasiado baja. Se consideran como cargas permisibles para clavos inclinados en este tipo de uniones, el 83% de carga lateral y 67% de carga permisible de extracción, si los clavos se hincan con una inclinación de unos 30° y se introducen a una distancia del extremo de la pieza igual a la tercera parte de la longitud del clavo aproximada.

Tornillos y Pijas.

Además de los clavos, citaremos una breve descripción acerca de los tornillos y pijas; que por ser similares como elementos de unión, el reglamento del D.F., propone recomendaciones comunes a ambos. Como en el caso de las recomendaciones para clavos, las capacidades permisibles dependerán exclusivamente de la densidad de la madera, así como del arreglo anatómico que esta presente, es decir, de el hilo, ya sea éste, recto, espiralado o entrecruzado; sin llegar a considerar los efectos que pueda involucrar la especie. La forma más adecuada para elegir un tornillo o una pija, es que la longitud debe ser tal que de la mitad a un tercio de dicha longitud penetre

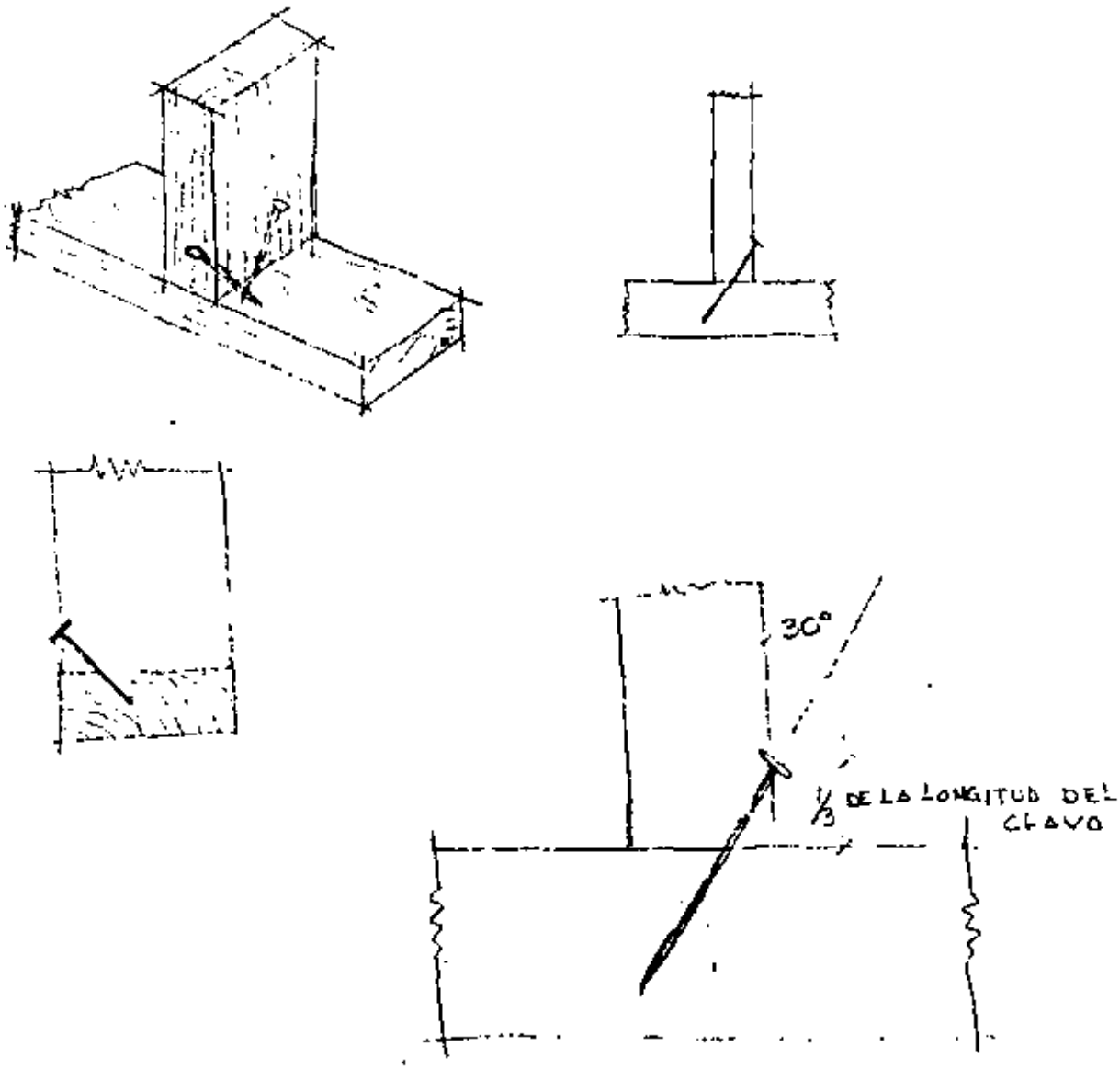



FIG. 5 UNION CON CLAVOS INCLINADOS

("TOE - NAILED CONNECTION")

en el material de la base. (Fig. 6).

Longitud más común de los tornillos y pijas.

Tornillos: de 1/2" a 3", diámetros variables.
Pijas: hasta 12", diámetros 1/2" a 1".

Uso: tornillos y pijas de rosca fina, para maderas duras.
tornillos y pijas de rosca gruesa, para madera blandas.

Aprovechando su resistencia a la extracción o su resistencia a las cargas laterales.

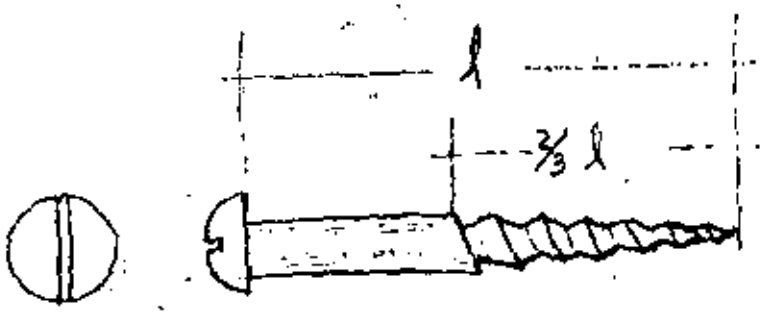
Recomendaciones.

Se recomienda que los agujeros guía para los tornillos tengan los siguientes diámetros: el correspondiente a la caña lisa, para recibir a ésta y el correspondiente a las 2/3 partes del de la caña lisa, como máximo, para recibir la parte roscada.

Resistencia a cargas laterales.

Observese la unión mostrada en la fig. 8a, en la que el tornillo es insertado perpendicularmente a las fibras, la capacidad de carga en Kg. está dada por

$$P = 3.75 \delta D^2$$




TORNILLO

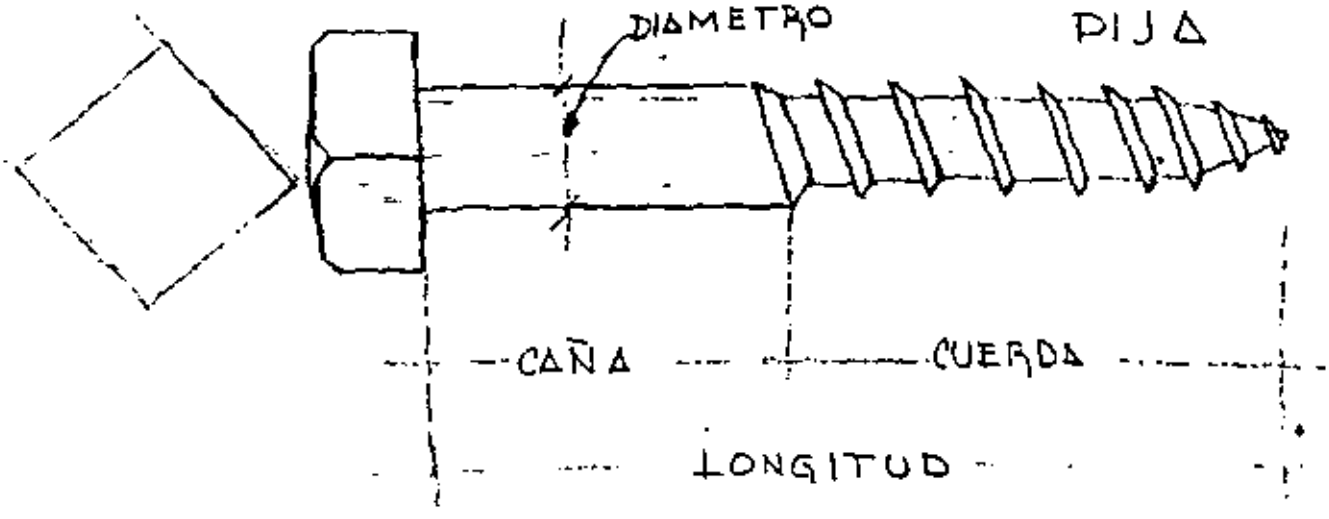



FIG. 6. TORNILLO Y PIJA

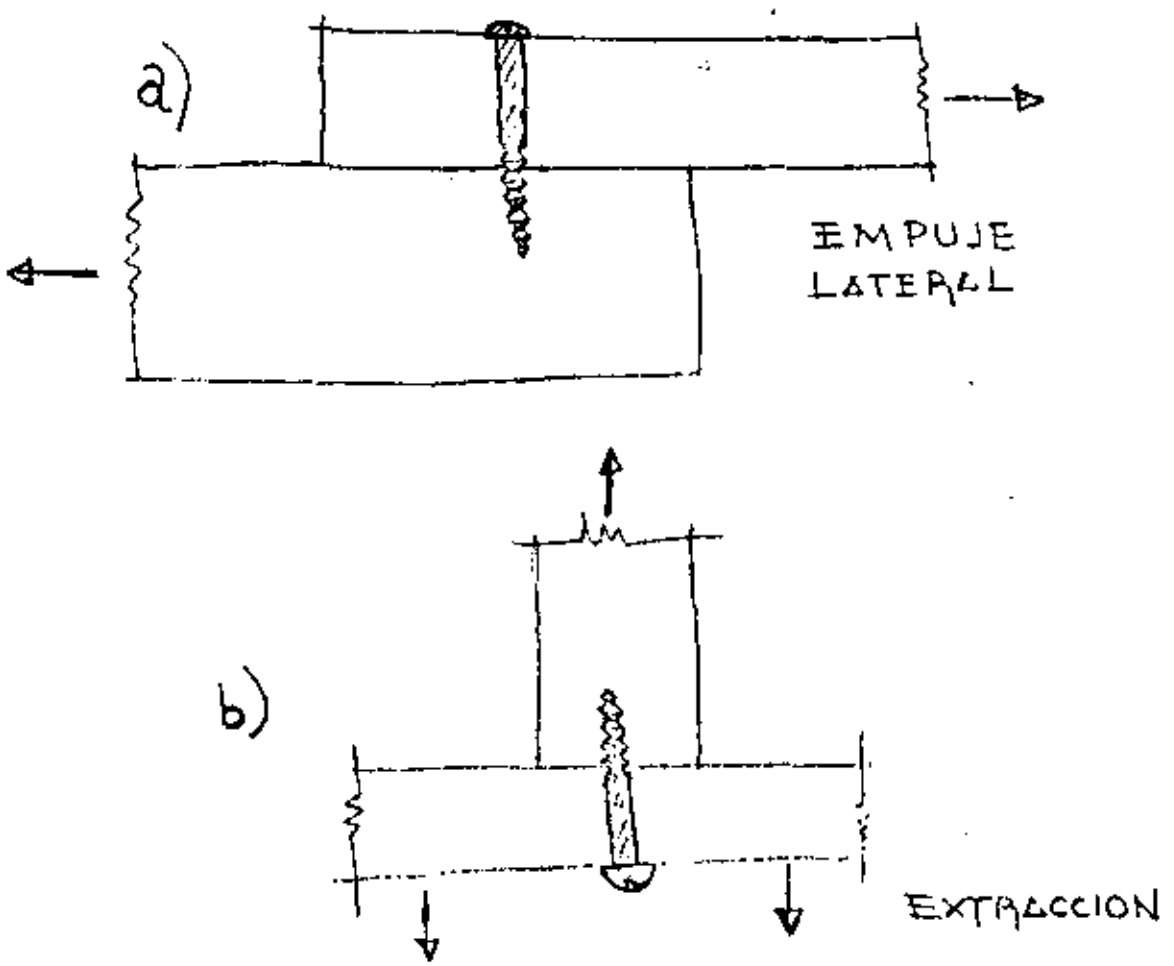



FIG 7. FORMAS EN QUE TRABAJAN LOS TORNILLOS Y PIJAS

Estas capacidades de carga serán aplicables cuando los tornillos sean insertados mediante rotación en agujeros hechos previamente, la penetración del tornillo en el miembro que recibe la punta sea igual a 7 veces el diámetro de la caña lisa y los espaciamientos mínimos de los tornillos sean los siguientes:

1) Cuando la fuerza actúa en dirección de las fibras.

3D entre hileras de tornillos.

5D de los bordes.

10D entre tornillos adyacentes en la dirección de las fibras.

10D de los extremos.

Para tornillos insertados a una menor distancia en el miembro que recibe la punta, insertados paralelamente a las fibras, utilizados en uniones con placas metálicas y en uniones con más de un plano cortante, la capacidad de carga se modificará siguiendo los mismos criterios que se establecieron para los clavos.

Carga Permisible a la Extracción.

Los tornillos sujetos a cargas de extracción tendrán una capacidad en $Kg/cm^2$ de penetración de la caña roscada en la pieza que contenga la punta de:

$$P = 15\gamma^2 D$$

Esta expresión será válida cuando los espaciamientos mínimos para los tornillos sean los correspondientes al caso de carga lateral, la fuerza sea paralela con las fibras y la resistencia del tornillo a la tensión no se sobrepase.

La capacidad a la extracción de un tornillo insertado paralelamente a las fibras será el 75% de la correspondiente al insertado perpendicularmente a ellas. La distancia entre tornillos no será menor de 10D .

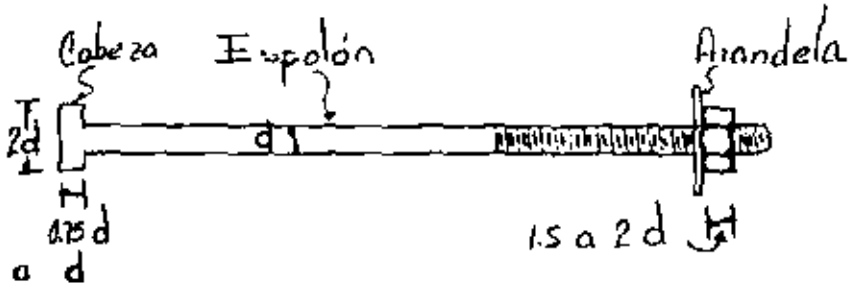
Pernos.

Generalidades.

Los pernos fig. 7' son piezas alargadas de acero redondo, terminados en un lado por una cabeza ya sea plana y cilíndrica o prismática (de sección hexagonal o cuadrada) y redonda, y en el otro lado, por una parte roscada que termina en una tuerca, generalmente hexagonal, permitiendo oprimir fuertemente las piezas atravesadas por el perno.

Cuando son muy largos, los pernos son a menudo roscados y provistos de tuercas en cada uno de sus extremos.

a)




b)

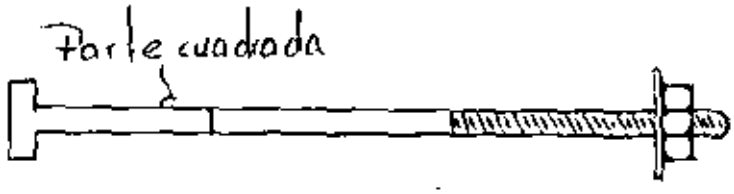



FIG. 7. NOMENCLATURA DE LOS PERNOS.

Los diámetros comerciales en milímetros son los siguientes:

10, 12, 14, etc.; de 2 en 2 mm hasta 24 mm

27, 30, 33, etc.; de 3 en 3 mm hasta 48 mm.

Para evitar que el cuerpo del perno gire durante el ajuste de la tuerca, se emplearán uno de los dispositivos siguientes:

1o. La cabeza se encastra en la pieza de madera sobre la cual se apoya.

2o. En el extremo del lado de la cabeza, el cuerpo del perno lleva un espolón, hecho de forja o colocado y ajustado posteriormente (Fig. 7a).

3o. Hacia cierta altura, el perno presenta del lado de la cabeza una sección cuadrada (Fig. 7b).

Con el objeto de distribuír convenientemente la presión y de impedir que, bajo la acción del esfuerzo de ajuste, la tuerca destruya la madera penetrando en ella, se interpone entre la tuerca y la pieza de madera una placa o arandela llamada de ajuste.

Dado que la presión trasmitida por la placa de ajuste ejerce sobre la madera, sobre una parte relativamente blanda, importa dar a dicha pla

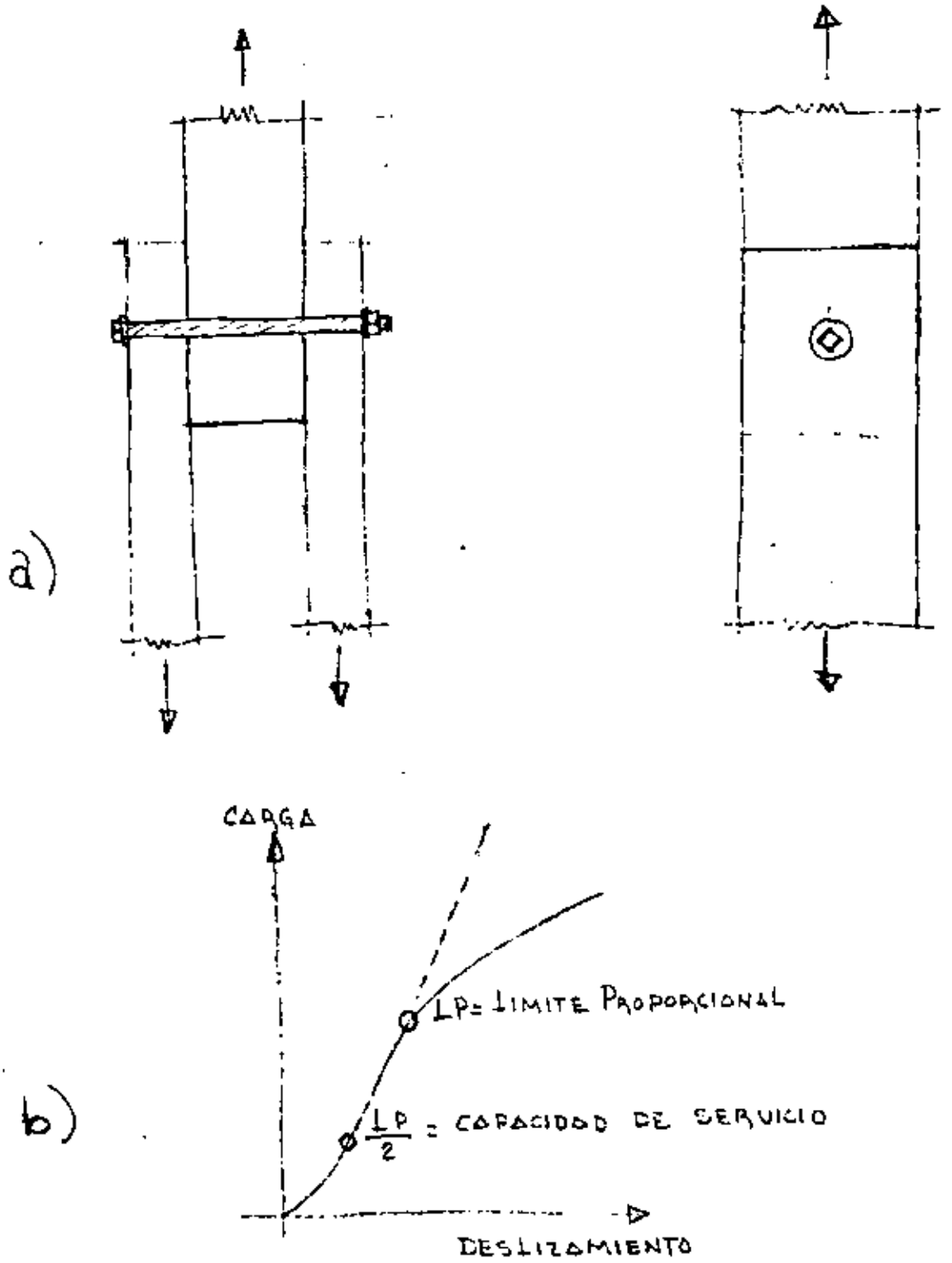



FIG. 8. UNION CON PERNOS DE PIEZAS CON LOS EJES LONGITUDINALES PARALELOS

ca o arandela de ajuste una superificie sensiblemente mayor.

Los pernos han constituído un elemento de unión de uso más común en las conexiones ya que permiten obtener conexiones de resistencia considerable con relativa sencillez. Sobre este tema se ha desarrollado una metodología amplia en la que diferentes autores han determinado los métodos de trabajo de los pernos y el comportamiento que éstos tienen dependiendo de la especie de madera que se use, el contenido de humedad que esta tenga, la clasificación estructural de la misma y sobre la geometría de la unión que se presente se ha determinado también las distancias de los pernos a los bordes y extremos de los miembros que se unen. Así encontramos que Monnin realiza estudios sobre la resistencia de los pernos, y determina un método para el dimensionamiento con pernos.

Posteriormente Gesteschi modifica el método de Monnin con algunas implementaciones técnicas lo cual lo hace más versátil.

Así sucesivamente fueron generándose más métodos como el llamado método simplificado, método de la norma alemana, método de la norma francesa y finalmente el método de Caquot; en los cuales se analiza la esbeltez del perno los esfuerzos de adherencia entre las piezas de madera unidas, las cargas máximas que debe soportar un perno a los esfuerzos cortantes, etc.

Con la finalidad de ejemplificar lo anteriormente expuesto entremos en la parte práctica de las conexiones de dos, tres, cuatro o más miembros que concurren a una conexión.

Consideremos primero, la unión de dos piezas de madera unidas a una tercera como se ilustra en la figura 8a. Así también se ejemplifica la forma en que es aplicada la carga. Como el agujero en que se coloca el perno es un poco mayor que el diámetro de éste se presenta un deslizamiento inicial en el momento en que se aplica la carga. Una vez que el perno se ha apoyado firmemente contra la madera, la relación carga-deslizamiento es lineal hasta una carga que es bastante menor que la resistencia última de la conexión. A partir de este momento la carga produce aplastamiento en las zonas de contacto entre la madera y los pernos. La curva se va tendiendo a medida que progresa el aplastamiento de las fibras y se va deformando el perno (Fig. 8'). Las cargas permisibles suelen establecerse de manera que sean del orden de la mitad del límite elástico.

De la unión descrita anteriormente podemos hacer las siguientes consideraciones:

a) A mayor densidad y resistencia de la madera y mayor diámetro de perno, se obtendrá mayor resistencia en la unión.

b) La resistencia del perno no afecta el límite elástico de la

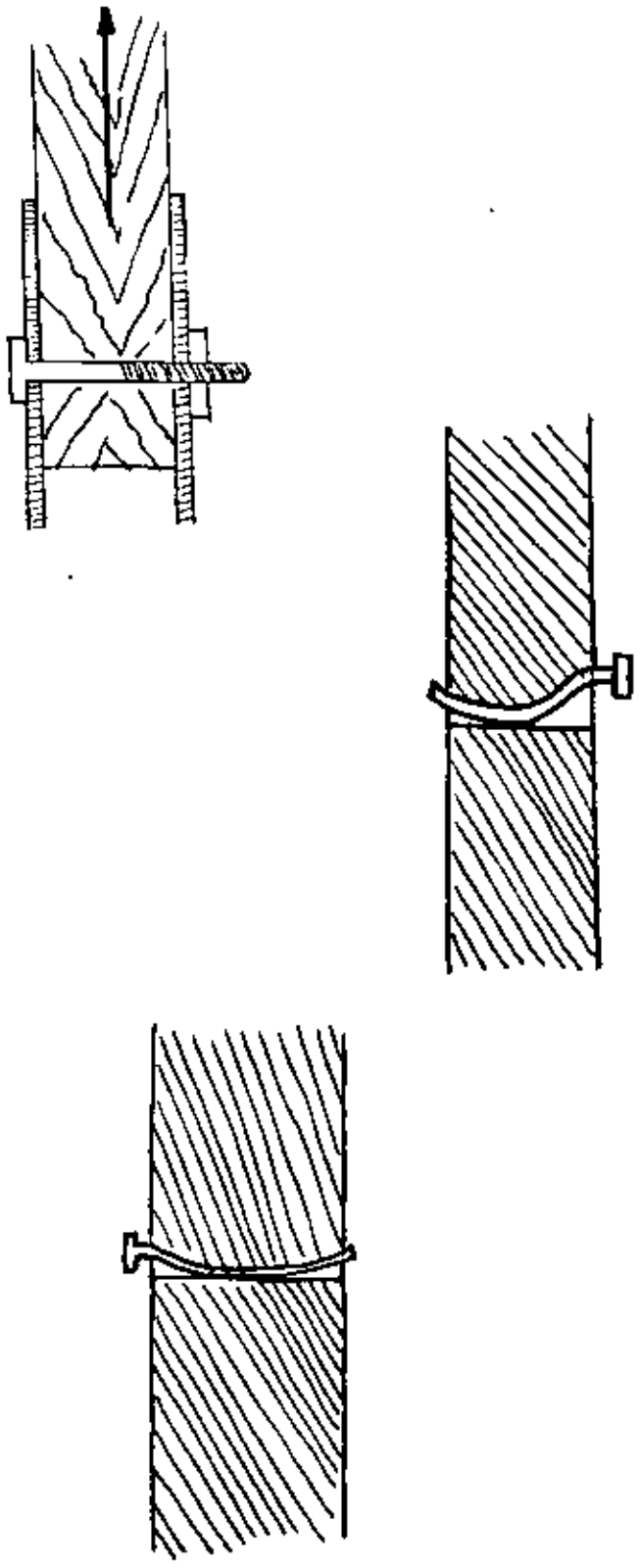


FIG. 8'. DEFORMACION DE LOS PERNOS BAJO LA ACCION DE FUERZAS

conexión a no ser que el perno sea tan débil que empiece a doblarse antes de que se inicie el aplastamiento de las fibras de la madera; cuanto más tiempo permanezca recto el perno más uniforme será la distribución de esfuerzos de aplastamiento de la madera.

Una conexión con los miembros laterales o el centro lateral muy delgado fallará a una carga baja, existe una condición balanceada entre los espesores de los miembros unidos, tal que, los tres miembros alcancen un estado crítico simultáneamente. Si el perno está demasiado cerca del extremo de los miembros el comportamiento es muy distinto, la falla sobreviene por rajaduras longitudinales de la madera.

Si los miembros se unen como en la figura 9, de manera que en los miembros laterales las fuerzas actúan en sentido perpendicular a las fibras, la resistencia que puede desarrollar esta conexión es mucho menor que en el caso anterior.

Con frecuencia se presenta la necesidad de tener que unir miembros con sus ejes inclinados entre sí (Fig. 10), como sucede en las armaduras, crucetas o contraventeos. En tal caso debe recurrirse a la fórmula de Hankinson.

Otro ejemplo de uniones es como el que se presenta en la figura 11

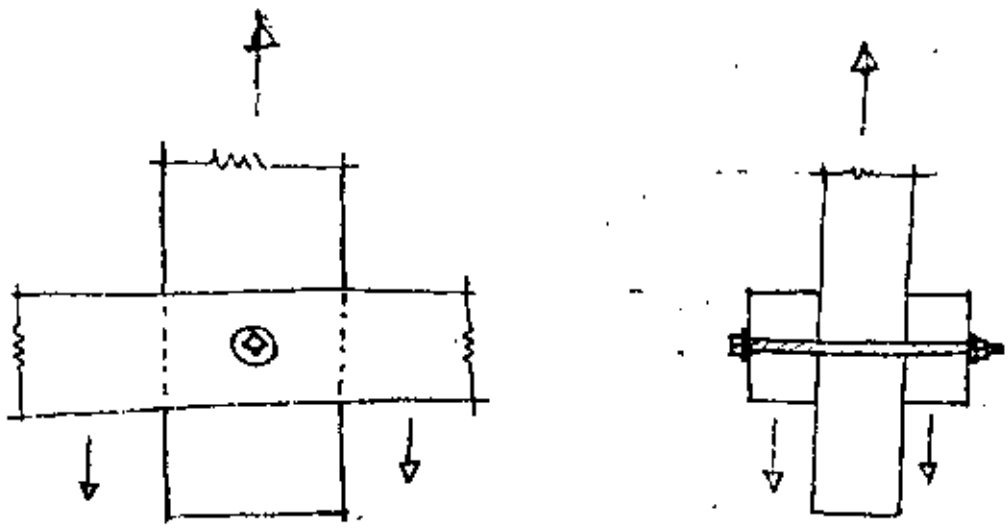
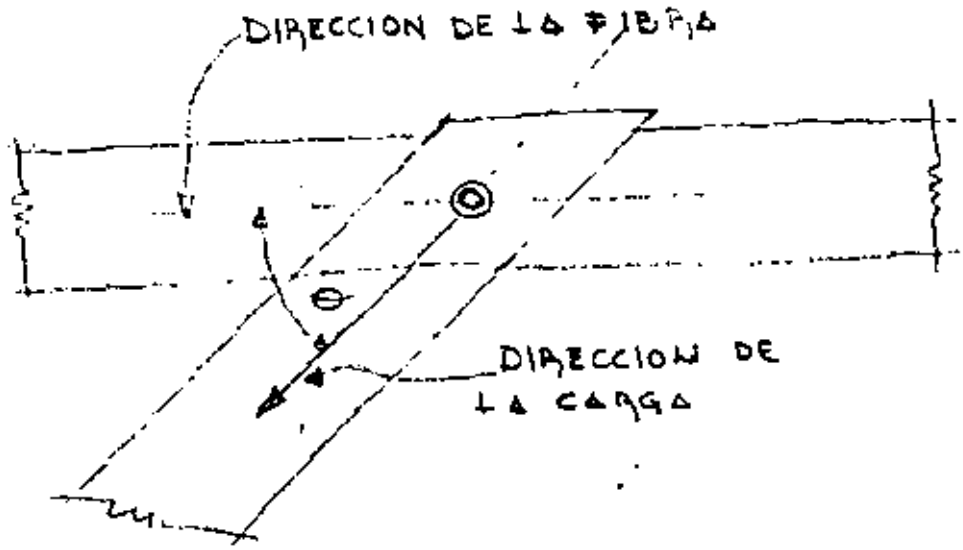


FIG. 9. UNION CON PERNO DE PIEZAS CON LOS EJES LONGITUDINALES PERPENDICULARES ENTRE SI




FORMULA DE HANKINSON, APLICADA A UNIONES CON PERNOS

$$P_\theta = \frac{P_0}{1 + \left[\frac{P_0}{P_{90}} - 1\right] \operatorname{sen}^2 \theta}$$

DE DONDE:

$P_\theta$ = CAPACIDAD PARA $\measuredangle\, \theta$

$P_0$ = CAPACIDAD PARA PIEZAS CON EJES COLINEALES

$P_{90}$ = CAPACIDAD PARA PIEZAS CON EJES NORMALES

FIG. 10

en el que el comportamiento de este tipo de conexión es menos favorable que el de los descritos anteriormente, ya que se cuenta con un solo plano de resistencia al cortante, las fuerzas actúan excentricamente, por lo que el perno queda sujeto a una flexión fuerte y el aplastamiento de la madera se inicia a una carga baja.

En la figura 12 se muestran dos tipos de conexiones con cuatro pernos; en una, los miembros laterales son paralelos al miembro central de manera que en todos los miembros las fuerzas actúan paralelamente a la dirección de las fibras. En la otra, los miembros laterales son perpendiculares al miembro central y las fuerzas están aplicadas de manera que en el miembro central actúan en dirección perpendicular a las fibras.

Experimentalmente se ha comprobado que la resistencia del conjunto de 4 cuatro pernos es sólo ligeramente inferior a la suma de las resistencias de los pernos considerados individualmente. Como es lógico suponer, la resistencia de uniones en las que las fuerzas actúan en dirección perpendicular a las fibras es considerablemente menor que la del caso en que todas las fuerzas son paralelas a las fibras.

Capacidad de uniones con pernos.

Para poder iniciar la determinación de la capacidad de unión con per

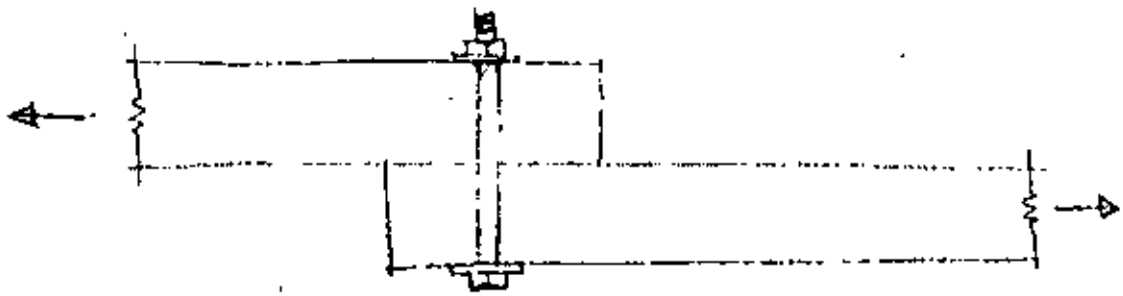


FIG. 11. DOS MIEMBROS UNIDOS
CON UN PERNO

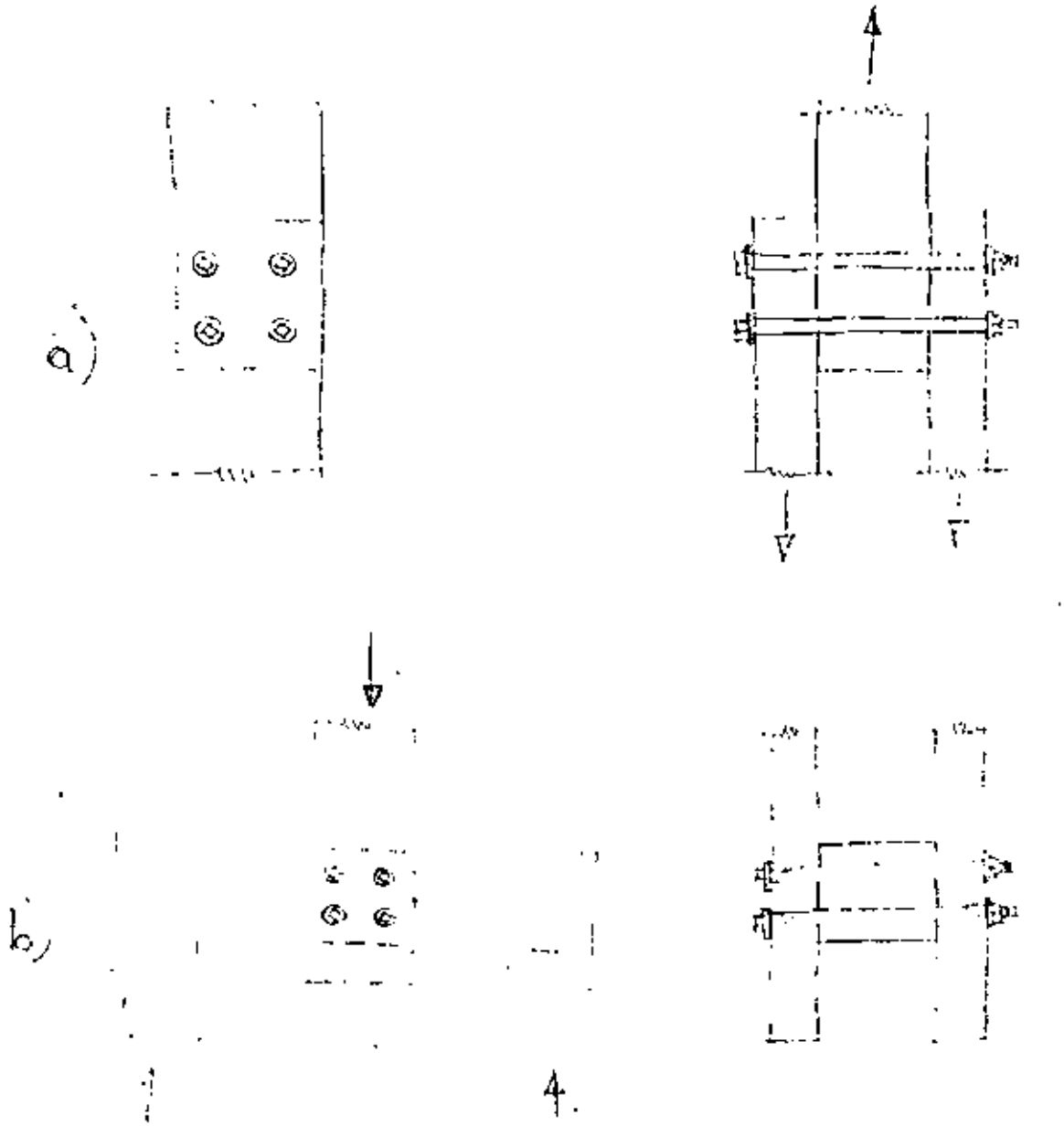



FIG.12 CONEXCIONES CON CUATRO PERNOS

nos, es necesario plantear lo siguiente:

1) Las disposiciones siguientes se aplicarán a pernos de acero. Se usarán tuercas y roldanas para complementar la unión.

2) Los diámetros de los agujeros no excederán en más de 1.6 mm a los de los pernos.

Carga lateral permisible para uniones con un perno.

I. Uniones en que los ejes longitudinales de los elementos por - unir son colineales o paralelos.

a) Caso base. Unión de tres piezas en que las exteriores tienen por lo menos la mitad del espesor de la pieza - principal (pieza central); su capacidad en Kg. se obtiene por la siguiente fórmula:

$$P = 1.12\,\rho \cdot k_1 \cdot D \cdot t$$

donde:

$\rho$ = Densidad de la madera.

$k_1$ = Al valor reportado en la siguiente tabla, está en función de t/D.

t = Espesor de la pieza principal.

Valores de $k_1$

| t/D | $k_1$ | t/D | $k_1$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 1.00 | 8 | 0.57 |
| 2 | 1.00 | 9 | 0.51 |
| 3 | 1.00 | 10 | 0.46 |
| 4 | 0.97 | 11 | 0.41 |
| 5 | 0.88 | 12 | 0.38 |
| 6 | 0.76 | 13 | 0.35 |
| 7 | 0.65 | | |

b) Unión de tres piezas, en que las piezas exteriores tienen un espesor menor de la mitad de la pieza principal. La capacidad de carga se toma igual a la mitad del caso base tomando t igual a dos veces el espesor menor.

c) Unión de dos piezas. La capacidad de carga se toma igual a la mitad del caso base, considerando t como dos veces el espesor de la pieza más delgada.

d) Unión de más de tres piezas de madera, la capacidad de carga será la suma de las capacidades de carga de las uniones componentes con un solo plano de cortante, re-

sultantes de considerar las piezas intermedias divididas, cada una, a la mitad.

e) Unión de tres piezas en que las piezas exteriores sean de acero, la capacidad de carga estará dada por la del caso base incrementada en un 25% siempre y cuando no se sobrepasen los esfuerzos permisibles en las piezas de acero.

II. Uniones en que los ejes longitudinales de las piezas por unir son perpendiculares.

a) Unión de tres piezas con las exteriores de acero o de madera con espesores de por lo menos la mitad del de la pieza principal, su capacidad de carga en Kg está dada por:

$$P = 0.35\,\sigma \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot D \cdot t$$

en donde:

$\sigma$ ,D y t tienen el significado y las unidades dadas en incisos anteriores.

$k_2$ y $k_3$ = al valor reportado en la tabla siguiente, en función de t/D y D, respectivamente.

VALORES DE $k_2$ y $k_3$

| t/D | $k_2$ | D mm (pulg) | $k_3$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 1.00 | 6A (1/4) | 2.50 |
| 2 | 1.00 | 9.5(3/8) | 1.95 |
| 3 | 1.00 | 12.7(1/2) | 1.68 |
| 4 | 1.00 | 15.0(5/8) | 1.52 |
| 5 | 1.00 | 19.1(3/4) | 1.41 |
| 6 | 1.00 | 22.2(7/8) | 1.33 |
| 7 | 1.00 | 25.4(1 ) | 1.27 |
| 8 | 0.96 | 31.8(1-1/4) | 1.19 |
| 9 | 0.86 | 38.1(1-1/2) | 1.14 |
| 10 | 0.76 | 44.5(1-3/4) | 1.10 |
| 11 | 0.68 | 50.8(2) | 1.07 |
| 12 | 0.61 | 59.2(2-1/3) | 1.03 |
| 13 | 0.55 | 76.2(3) y Mayores | 1.00 |

Para otros casos, se calcularán las cargas permisibles de acuerdo con el inciso I y considerando el caso base de este artículo.

III. Uniones en que los ejes longitudinales de las piezas por unir - forman un ángulo $\theta$ entre sí.

La capacidad de carga de estas uniones se calculará usando la fórmula de Hankinson, utilizando las capacidades de carga de dicha unión para $\theta = 0^\circ$ y $\theta = 90^\circ$ (Véase Fig. 10).

Al detallar las uniones a base de pernos deben respetarse los siguientes espaciamientos mínimos.

a) Cuando la fuerza actúa en la dirección de las fibras:

| | |
|---|---|
| 4 D | entre pernos adyacentes en la dirección de las fibras |
| 1.5D | entre hileras de pernos |
| 7 D | del extremo cargado |
| 4 D | del extremo no cargado |
| 1.5D | de los bordes |

b) Cuando la fuerza actúa perpendicularmente a la dirección de las fibras:

| | |
|---|---|
| 4 D | entre pernos adyacentes en la dirección de las fibras |
| 4 D | de los extremos |
| 4 D | del borde cargado |
| 1.5 D | entre hileras de pernos para $t/D > 6$ |
| 2.5 D | entre hileras de pernos para $t/D = 2$ |

(Interpolar entre los dos últimos valores para $2 < t/D \leq 6$.)

PLACAS.

Existe diversidad de uniones en las que es necesario combinar clavos, tornillos o pernos con placas de triplay (Cartelas) o de acero. Algunos reglamentos permiten incrementar las conexiones reforzadas con placas de acero en un porcentaje del orden de 25.

Debido a la demanda que han tenido las armaduras ligeras de madera, utilizadas para cubiertas de techos de vivienda específicamente, y en general para todas aquellas construcciones ligeras, que requieren de sistemas constructivos sencillos de poco peso y de rápida ejecución, se vino modificando el uso de las cartelas de triplay, placas de acero por elementos más sofisticados como la placa de clavo múltiple ("gang-nail"), consistiendo ésta en una placa troquelada la cual, tiene salientes integrados que actúan como clavos. Existen diversos tipos de éstas placas, generalmente patentadas.

Para la colocación de ésta placa en las armaduras, se requieren prensas hidráulicas o hidroneumáticas o herramientas especiales.

CONECTORES DIVERSOS.

Generalidades.

Los conectores de madera son elementos de unión que se colocan entre

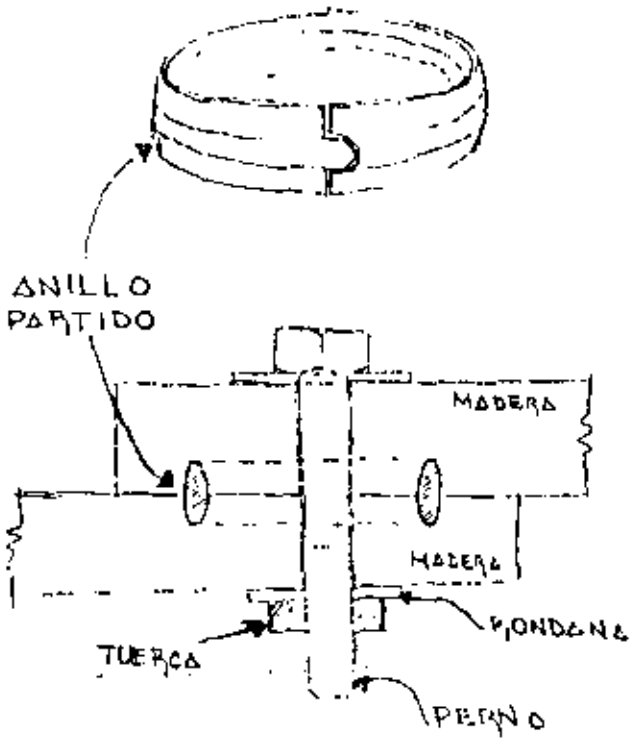
las caras de contacto de los elementos por unir.

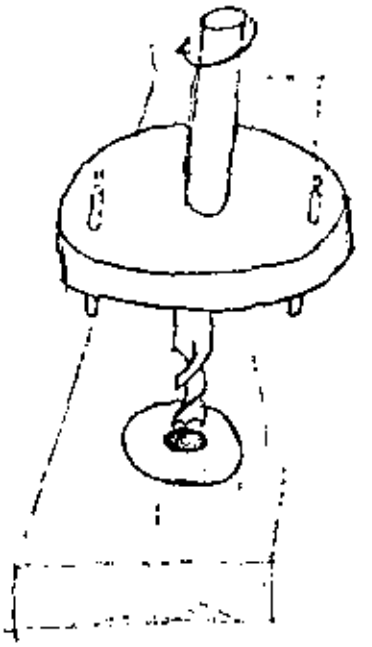
Existe gran diversidad de estos conectores los que en la mayoría de los casos están patentados. Las capacidades de carga están tabuladas en las especificaciones de los fabricantes o en los manuales de diseño para estructuras de madera. En nuestro país estos, son practicamente desconocidos.

Estos tipos de conectores son empleados en la unión de estructuras pesadas, en combinación con pernos. Se ha encontrado que con esta combinación se logran capacidades del orden hasta de 5 veces las correspondientes al empleo de pernos solos. El objeto principal del uso de estos conectores es el de repartir las fuerzas en superificies de la madera relativamente grandes con lo que se reducen las concentraciones de esfuerzos de aplastamiento cuando los pernos se utilizan solos. Su instalación requiere herramientas especiales y personal debidamente capacitado.

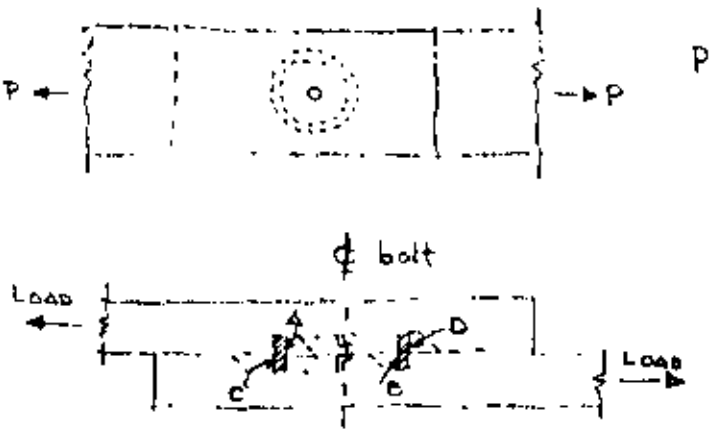
CONECTORES DE ANILLO PARTIDO ("split-ring").

Con la finalidad de ejemplificar el conector de anillo partido observese la fig. 13 y la manera de que éste funcione. Este anillo se coloca en una ranura circulares formadas en las superificies de las piezas por unir, manteniendo las piezas unidas por medio de un perno. Las fuerzas en los miembros se transmiten a través de la conexión



HERRAMIENTA PARA FORMAR RANURA




PRINCIPIO DE ANILLO PARTIDO

FIG. 13 CONECTOR DE ANILLO PARTIDO

por medio de los esfuerzos de aplastamiento distribuídos en la superficie relativamente grande del anillo. El anillo se parte para facilitar la distribución de la carga en el interior y el exterior del anillo y para tomar en cuenta los cambios volumétricos de la madera.

OTROS CONECTORES METALICOS.

Dentro de los conectores metálicos con que se cuenta además del de anillo partido se tiene el conector de placa de cortante (Fig. 14), el conector de anillo dentado y conectores de rejilla (Fig. 15).

PEGAMENTOS.

Existe una gran diversidad de pegamentos y colas, unos de origen natural como la caseina, fabricada de leche cuajada mezclada con cal, sal de sodio,y otros artificiales como las resinas sintéticas, dentro de éstos por su uso tres tipos son los más comunes siendo éstos:

Resinas Fenólicas.

Son resinas sintéticas, difíciles de aplicar, pero constituyen el pegamento más satisfactorio desde el punto de vista de resistencia y durabilidad. Son resistentes a la humedad por lo que se recomiendan para uso exterior.

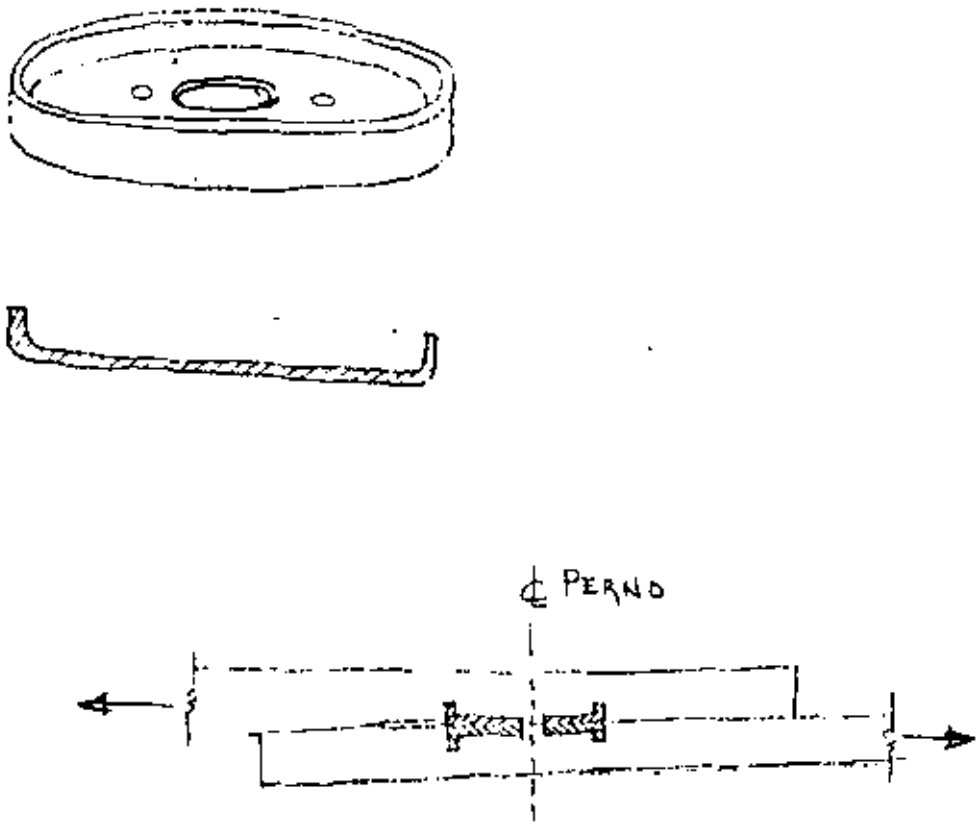
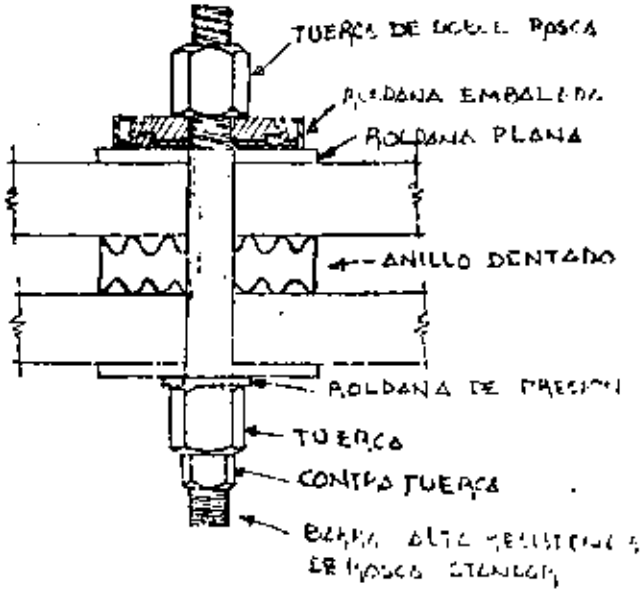
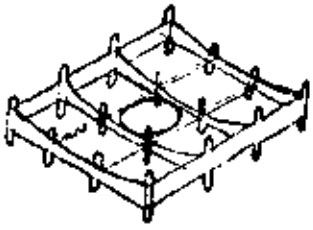



FIG.14 CONECTOR DE PLACA PARA ESFUERZO CORTANTE

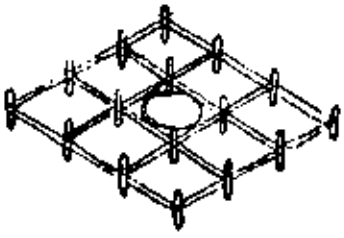
ANILLO DENTADO



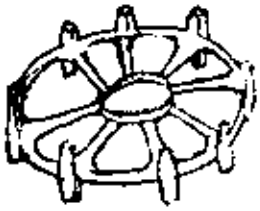

INSTALACION DE ANILLO DENTADO



CURVA SIMPLE



REJILLA PLANA



ANILLO DENTADO CIRCULAR

FIG. 15 CONECTORES DIVERSOS

Caseína.

Es más fácil de aplicar que las resinas fenólicas sintéticas, pero más sensible a la humedad. Su uso debe limitarse para usos interiores.

Urea.

Es también una resina sintética, se aplica con facilidad pero su comportamiento es dudoso. Por lo que se tiende a prescindir del uso de este pegamento.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES EN LA VIVIENDA

# BRACING WOOD TRUSSES : COMMENTARY AND RECOMMENDATIONS

NOVIEMBRE, 1980.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

# BRACING WOOD TRUSSES:

# COMMENTARY AND RECOMMENDATIONS

# BWT-76

7100 Baltimore Avenue
College Park, Maryland 20740

Prepared By
TRUSS PLATE INSTITUTE, INC.
In Consultation With Its
COMPONENT MANUFACTURERS COUNCIL

TRUSS PLATE INSTITUTE, INC.

An association of manufacturers actively engaged in the production of metal connector plates for the wood truss industry and individuals or firms engaged in related activities, the Truss Plate Institute was organized in 1961 for the purpose of maintaining the industry on a sound engineering basis. To accomplish its purpose, the Institute establishes methods of design and construction for wood trusses using metal connector plates, supports and disseminates test and research data, assists in the development of proper building code regulations, recommends quality control standards, and distributes information on the use of wood trusses in the interest of public safety.

© TRUSS PLATE INSTITUTE, INC., 1976

# INTRODUCTION

In recognition of the inherent safety of a properly braced roof system, the apparent lack of knowledge of how, when, and where to install adequate bracing, and in the interest of public safety, the Truss Plate Institute, Inc., in consultation with its Component Manufacturers Council membership, has undertaken the preparation of these recommendations.

Substantial concentrated study and deliberative review by the TPI Technical Advisory Committee (comprising a membership of the chief structural engineers of member plate manufacturing companies, representatives of the academic community, and independent consulting engineers) have been devoted to this effort. Consultation with the TPI Component Manufacturers Council has resulted in bringing practical field handling and erection problems into a sharper focus. Inclusion of the tentative recommendations for on-site handling and erection procedures is one direct result of the consultations. It is planned to study further and enlarge upon these tentative recommendations.

While the recommendations for bracing contained herein are technically sound, it is not intended that they be considered the *only* method for bracing a roof system. Neither should these recommendations be interpreted as superior to or a standard that would necessarily be preferred in lieu of an architect's or engineer's design for bracing for a particular roof system.

These recommendations for bracing wood trusses originate from the collective experience of leading technical personnel in the wood truss industry, but must, due to the nature of responsibilities involved, be presented only as a *guide* for the use of a qualified building designer, builder, or erection contractor. Thus, the Truss Plate Institute expressly disclaims any responsibility for damages arising from the use, application, or reliance on the recommendations and information contained herein by building designers or by erection contractors.

However carefully wood trusses are designed and fabricated, all this is at stake in the final erection and bracing of a roof or floor system. It is at this critical stage of construction that many of the really significant design assumptions are either fulfilled or ignored. If ignored, the consequences may result in a collapse of the structure, which at best is a substantial loss of time and materials, and which at worst could result in a loss of life.

The Truss Plate Institute "Design Specifications for Light Metal Plate Connected Wood Trusses" are recommended for the design of individual wood trusses as structural components only.

Lateral bracing, as may be required by design to reduce buckling length of individual truss members, is a part of the wood truss design and is the only bracing that will be specified on the truss design drawings. Lateral bracing is to be supplied in the size specified and installed at the location specified on the truss design drawings by the builder or erection contractor. The building designer or inspector must ascertain that the specified lateral bracing is properly installed and that this bracing is sufficiently anchored or restrained by diagonal bracing to prevent its movement.

Special design requirements, such as wind bracing, portal bracing, seismic bracing, diaphragms, shear walls, or other load transfer elements and their connections to the wood trusses must be considered separately by the building designer. He shall determine size, location, and method of connections for diagonal bracing as needed to resist these forces. Diagonal or cross bracing is recommended in the plane formed by the top chords, in the plane formed by the bottom chords and perpendicular to the truss web members, as needed for the overall stability of the entire structure. Truss bracing and connection details should be shown on the building designer's framing plan as part of the design drawings. Bracing materials are not usually furnished as part of the wood truss package, and should be provided by the builder or erection contractor.

The builder or erection contractor is responsible for proper wood truss handling and for proper temporary bracing. He must assure that the wood trusses are not structurally damaged during erection and that they are maintained in alignment before, during, and after installation. Temporary or erection bracing may follow, but not necessarily be limited to, the building designer's framing plan.

The gn of wood trusses in accordance with TPI design criteria assumes:

1. Truss members are initially straight, uniform in cross section, and uniform in design properties.
2. Trusses are plane structural components, installed vertically, braced to prevent lateral movement, and parallel to each other at the design spacing.
3. Truss members are pinned at joints for determination of axial forces only.
4. There is continuity of chord members at joints for determination of moment stresses.
5. Compression members are laterally restrained at specific locations or intervals.
6. Superimposed dead or live loads act vertically, wind loads are applied normal to the plane of the top chord, and concentrated loads are applied at a point.
7. In addition to the lateral bracing specified by the truss designer, the building designer will specify sufficient bracing at right angles to the plane of the truss to hold every truss member in the position assumed for it in design.
8. The building designer (not the truss designer) will specify sufficient bracing and connections to withstand lateral loading of the entire structure.

The theory of bracing is to apply sufficient support at right angles to the plane of the truss to hold every truss member in the position assumed for it in design. This theory must be applied at three stages.

STAGE ONE: During Building Design and Truss Design individual truss members are checked for buckling, and lateral bracing is specified as required for each truss member. The building designer must specify how this lateral bracing is to be anchored or restrained to prevent lateral movement should all truss members, so braced, tend to buckle together as shown in Figure 1(b). This may be accomplished by:

1. Anchorage to solid end walls (Figure 1(c)).
2. Diagonal bracing in the plane of web members (Figure 1(d)).
3. Other means as determined by the building designer.



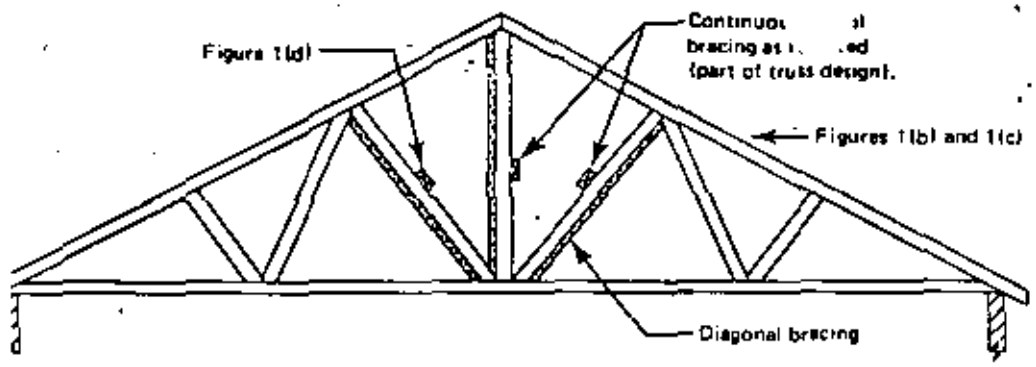



Figure 1(a)

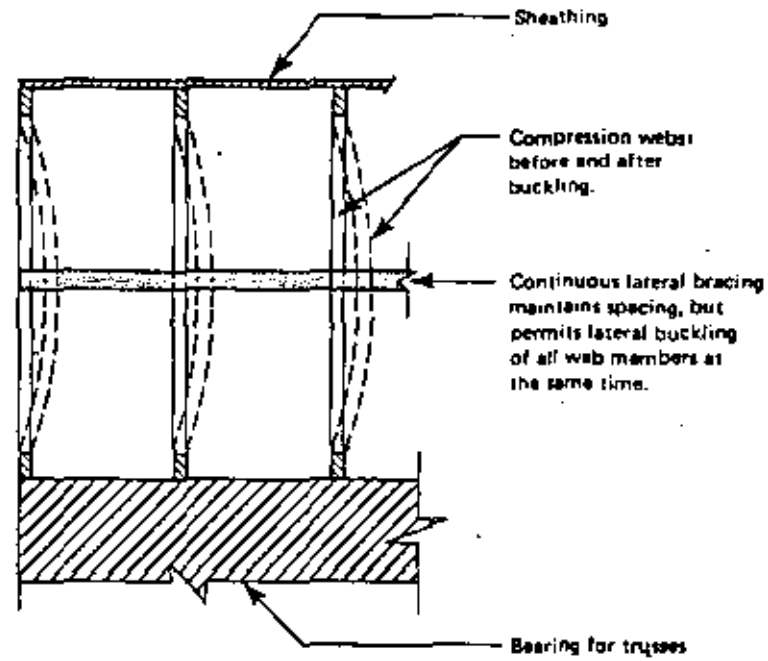



Figure 1(b)

It is recommended that diagonal bracing (minimum 2-inch thick nominal lumber) be installed at approximately a 45 degree angle to the lateral brace. Diagonal bracing should be attached to the opposite side of the same member requiring lateral bracing.

This bracing may be continuous or intermittent at the building designer's option; however, it is recommended that intermittent spacing not exceed 20 feet, or twice the horizontal run of the diagonal bracing.

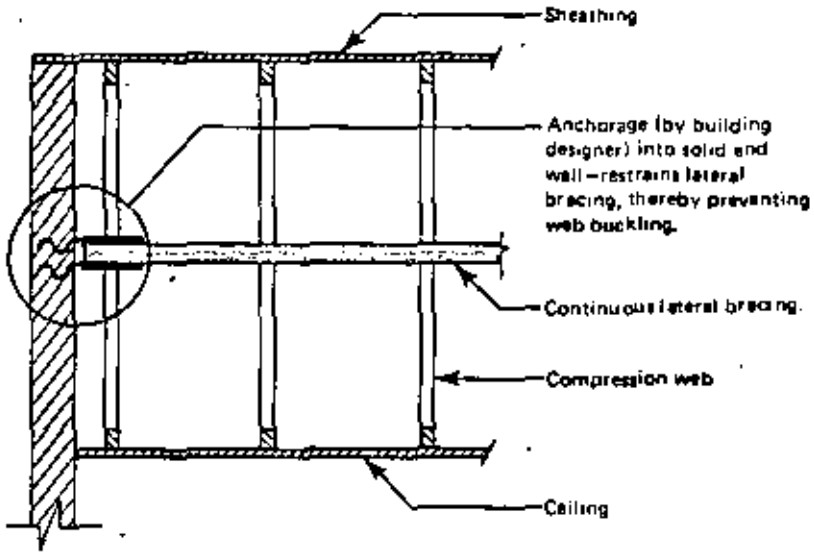



Figure 1(c)

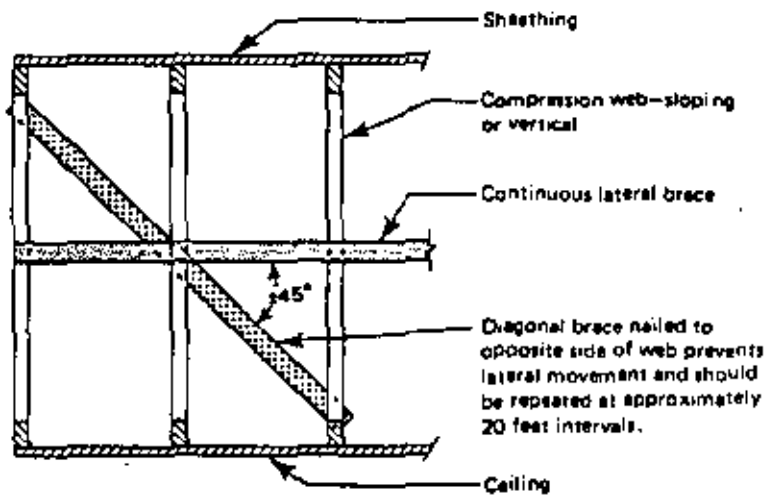



Figure 1(d)

STAGE TWO: During Truss Erection the builder or erection contractor must take adequate precautions to assure that the wood trusses are not structurally damaged. Proper rigging, including the use of spreader bars and multiple pick-up points, where required, is necessary to prevent damage during handling; tentative recommendations are presented in the Appendix hereto.

It is most important to brace the first truss at the end of the building securely. All other trusses are tied to the first truss, thus the



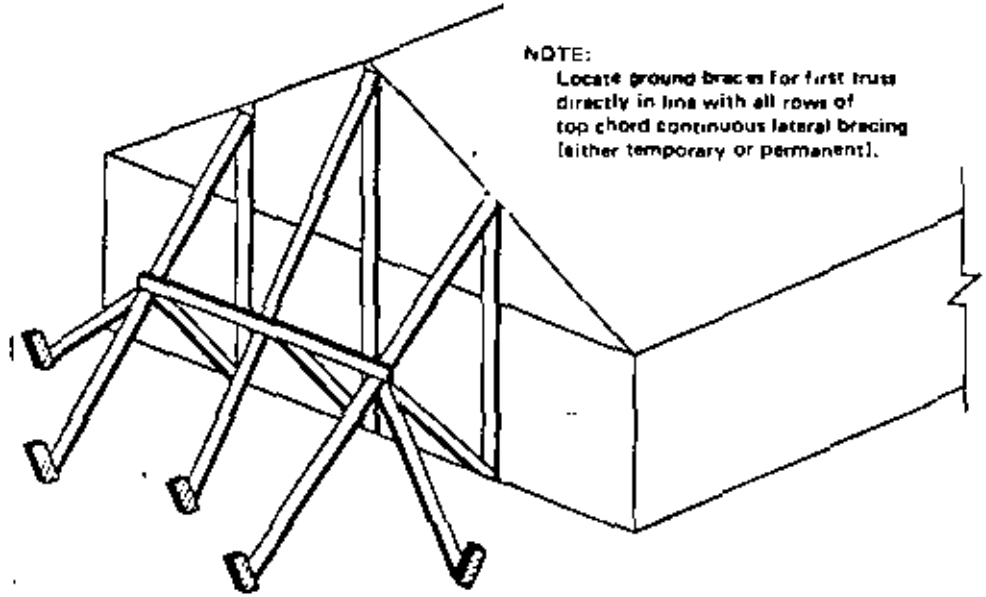



Figure 2(a)

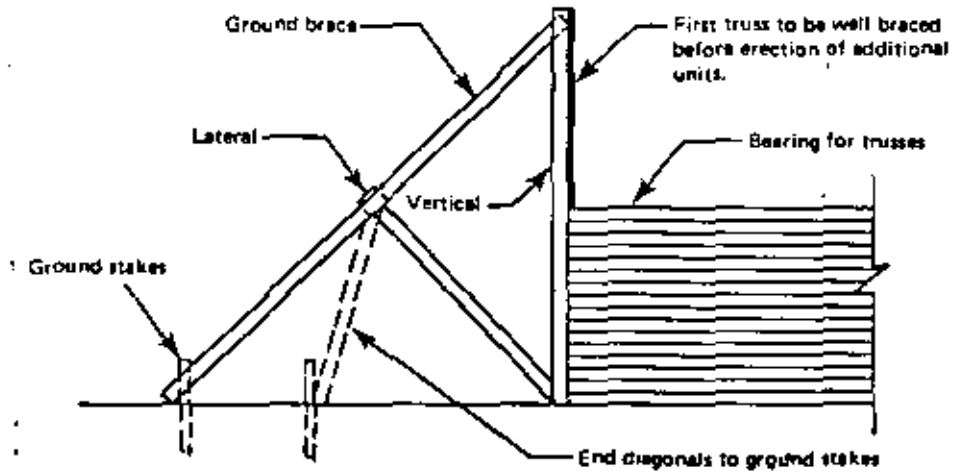



Figure 2(b)

bracing system depends to a great extent on how well the first truss is braced.

One satisfactory method is for the first truss top chord to be braced to a stake driven into the ground and securely anchored. The ground brace itself should be supported as shown in Figure 2 or it is apt to buckle. Additional ground braces, in the opposite direction, inside the building are also recommended.

The end braces should be located directly in line with all rows of top chord continuous lateral bracing. Otherwise, the top chord of the first truss can bend sideways and allow the trusses to shift. This shift, however slight, puts a tremendous strain on all connections of the bracing system, i.e., the weight of the trusses would then be added to any wind force or construction load such as bundles of plywood or roof shingles tending to tip the trusses over.

All nailing of bracing should be done so that if the trusses should tend to buckle or tip, the nails will be loaded laterally, not in withdrawal.

It is not recommended to nail scabs to the end of the building to brace the first truss. These scabs can break off or pull out, thus allowing a total collapse.

As trusses are set in place, the builder or erection contractor must apply sufficient temporary bracing to hold the trusses plumb, in alignment and in a safe condition until the permanent bracing, decking, and/or sheathing can be installed. Temporary bracing should be not less than 2x4 dimension lumber and should be as long as practical for handling. The use of short spacer pieces of lumber between adjacent trusses is *not recommended*, unless used temporarily in preparation for immediate installation of longer continuous bracing (8-feet minimum length). Temporary bracing lumber should be nailed with two double headed 16d nails at every intersection with the braced member.

Pre-assembly of groups of trusses, on the ground, into structurally braced units which are then lifted into place as assemblies is an acceptable alternate to the one-at-a-time method.

Exact spacing between trusses should be maintained as bracing is installed to avoid the *hazardous* practice of removing bracing to adjust spacing as sheathing is applied. This act of "adjusting spacing" can cause trusses to topple if a key connection is removed at the wrong time.

Truss bracing must be applied to three planes of reference in the roof system to insure stability: 1. Top chord (sheathing) plane, 2. web member plane or vertical plane perpendicular to trusses, and 3. bottom chord (ceiling) plane.

**1. Top Chord Plane.** Most important to the builder or erection contractor is bracing in the plane of the top chord. Truss top chords are susceptible to lateral buckling before they are braced or sheathed. It is recommended that continuous lateral bracing be insta within 6 inches of the ridge line or center line and at approximately 8 feet to 10 feet intervals between the ridge line of sloped trusses or center line of flat trusses and the eaves. For double member trusses this spacing between laterals may be increased to 12 feet to 14 feet. Diagonals, located between the lateral bracing and set at approximately 45 degree angles, form the triangles required for stability in the plane of the top chord. NOTE: Long spans or heavy loads may require closer spacing between lateral bracing and closer intervals between diagonals.

Figure 3(a) illustrates temporary bracing in the plane of the top chord for gable trusses.

If possible, the continuous lateral bracing for the top chord should be placed on the underside of the top chord so that it will not have to be removed as the plywood decking is applied. The trusses are then held securely even during the decking process.

It is equally important for the builder or erection contractor to install bracing in the plane of the top chord for flat roof or floor trusses. The use of a similar bracing pattern is recommended for all flat trusses. Particular attention is directed to bracing at the end of flat trusses as shown in Figure 3(b).

**2. Web Member Plane.** It is also necessary to install temporary bracing in the plane of the web members. This bracing is usually

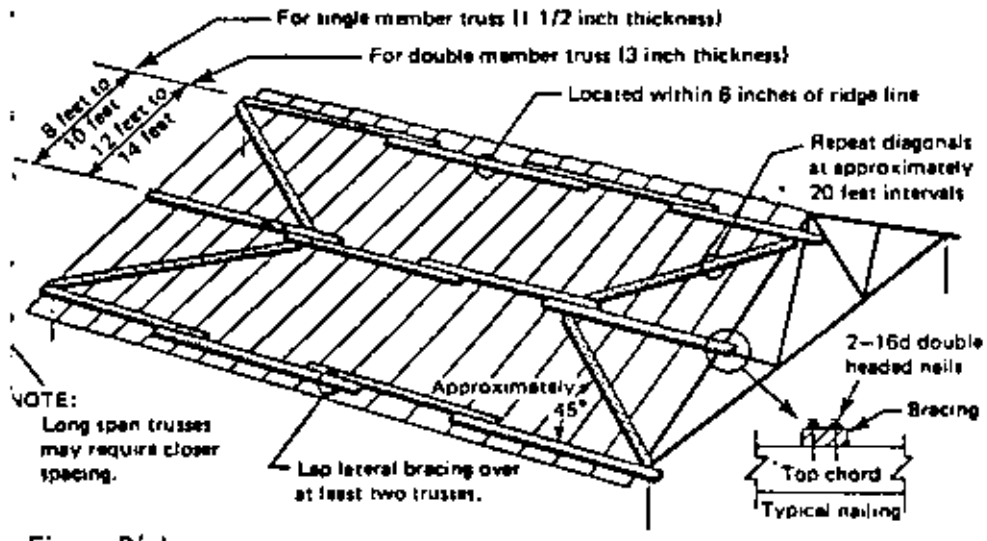



Figure 3(a)

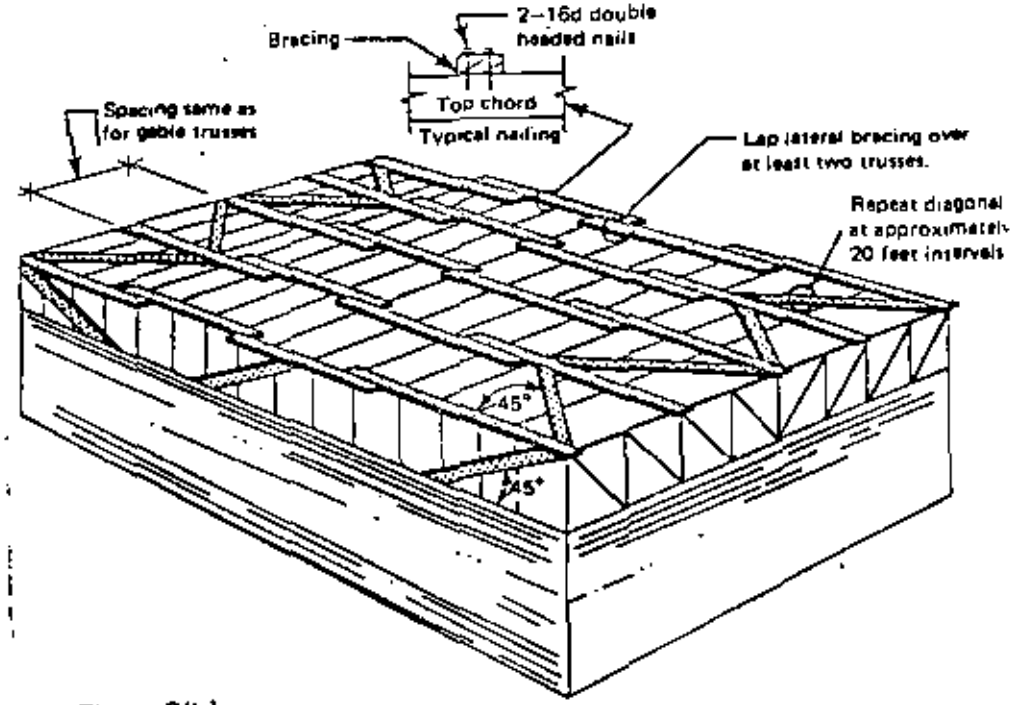



Figure 3(b)

installed at the same locations specified on the architectural plan for permanent bracing, and may become part of the permanent bracing. It is recommended that diagonal bracing be added at each web member requiring continuous lateral bracing. If none is specified, it is recommended that it be placed at no greater than 16 feet intervals along the truss length for roof trusses and 8 feet intervals for floor trusses.

It is not generally necessary for diagonal bracing to run continuously for the full length of the building but it is recommended that the spacing between sets of diagonal bracing not exceed 20 feet, or twice the horizontal run of the diagonal bracing. Rows of 2x6 strong-backs may also be used to brace floor trusses where diagonal bracing is impractical. Figure 4(a) illustrates diagonal bracing in the plane of the web members; Figure 4(b) illustrates the lateral movement that may occur if lateral bracing is used without diagonal bracing.

3. **Bottom Chord Plane.** In order to hold proper spacing on the bottom chord, temporary bracing is recommended in the plane of the bottom chord. Continuous lateral bracing at no greater than 8 feet to 10 feet on centers along the truss length is recommended full length of the building, nailed to the top of the bottom chord. Diagonal bracing



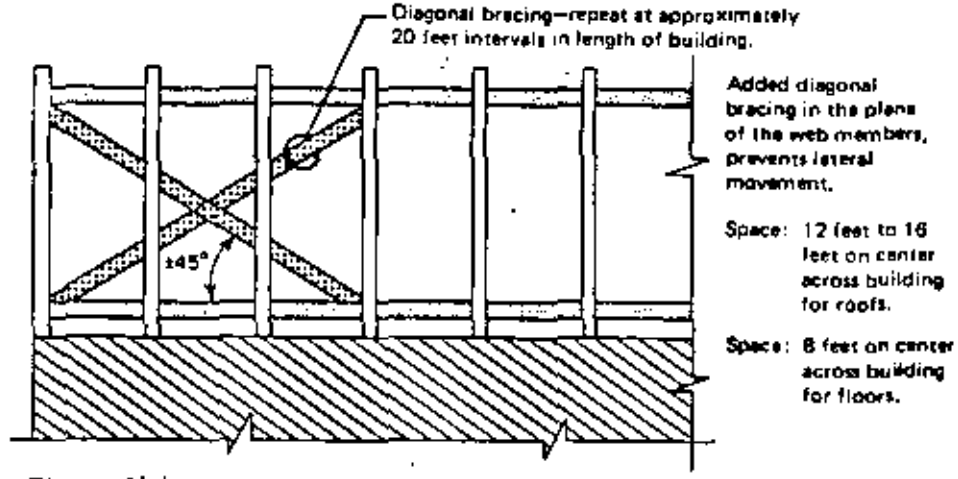



Figure 4(a)

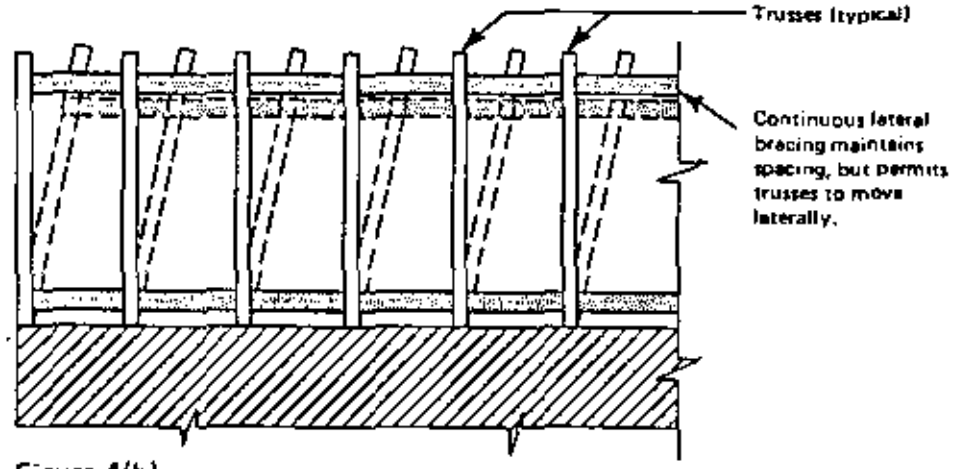



Figure 4(b)

between laterals placed at approximately 45 degrees is recommended for stability of the bottom chord. Diagonal bracing in the plane of the bottom chord is generally not required throughout the length of the building, but it is recommended that it be located at least at each end of the building. In most cases, temporary bracing in the plane of the bottom chord is installed at the locations specified on the architectural plan for permanent bracing, and is, therefore, left in place as permanent bracing. Figure 5 illustrates bracing in the plane of the bottom chord.

Full bundles of plywood should not be placed on trusses. This construction load should be limited to 8 sheets of plywood on any pair of trusses and should be located adjacent to the supports. No excess concentration of any construction materials (such as gravel or shingles)

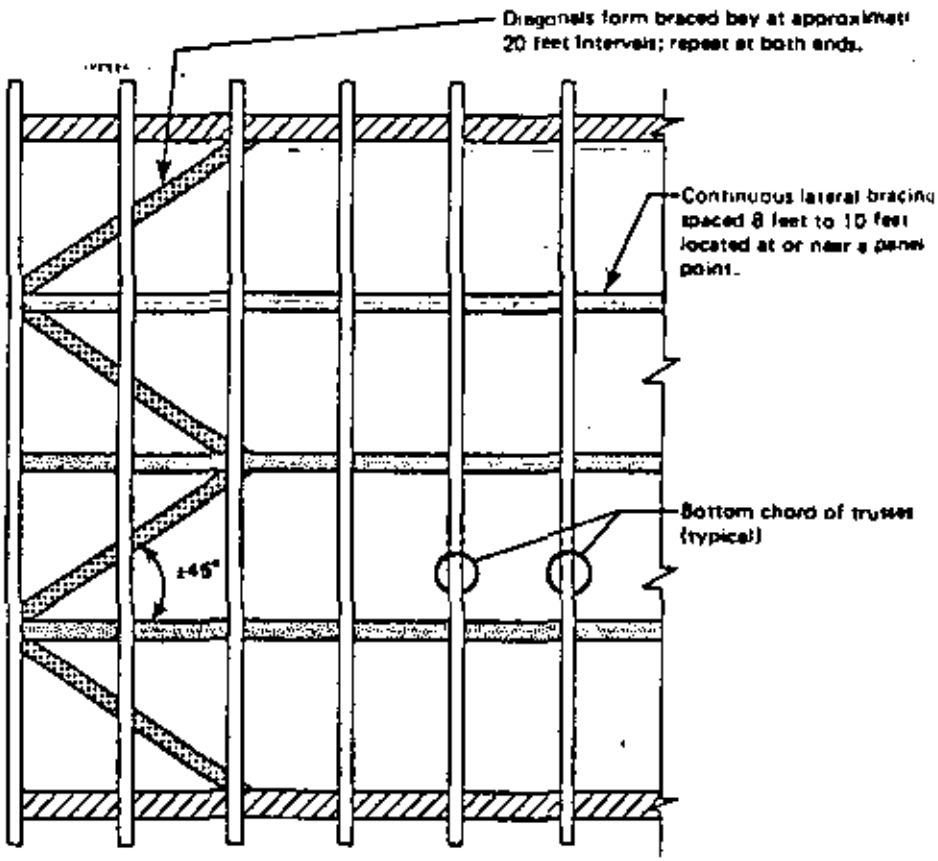



Figure 5

should be placed on the trusses in any one area; they should be spread out evenly over a large area so as to avoid overloading any one truss. All mechanical equipment should be located only on the trusses specifically designed to support it. It should not be dropped or even set temporarily in any other area unless the trusses are adequately shored. All floor trusses should be adequately shored if pallets of masonry materials are to be stored temporarily until the next higher walls are finished.

STAGE THREE: Permanent Bracing is designed and specified by the architect or engineer for the structural safety of the building. It is the responsibility of the building designer to indicate size, location, and attachments for all permanent bracing as required by design analysis. In general, it is desirable to design and locate all bracing so that it may work together with other structural parts of the building (such as shear walls, portal frames, bearing walls, columns, beams, etc.) to achieve total structural integrity.



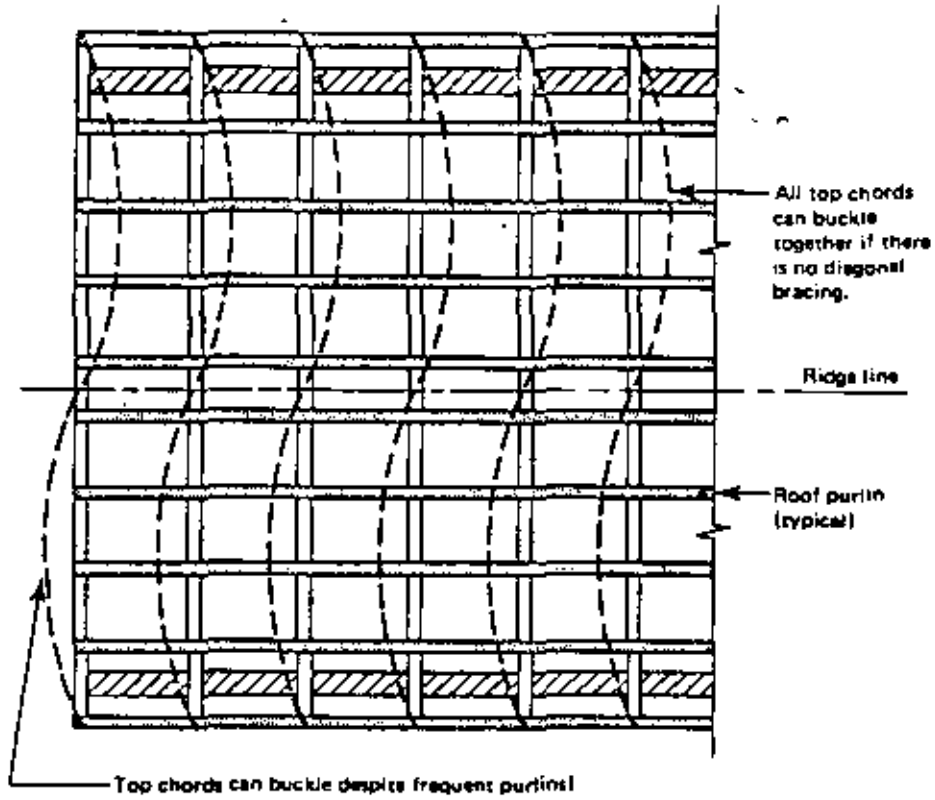



Figure 6(a)

Permanent bracing must provide sufficient support at right angles to the plane of the truss to hold every truss member in the position assumed for it in design. In addition, permanent bracing must be designed to resist lateral forces imposed on the completed building by wind or seismic forces.

Permanent bracing may be subdivided into three logical components:

1. Top Chord Plane. This bracing is designed to resist lateral movement of the top chord. If plywood floor or roof sheathing is properly applied with staggered joints and adequate nailing, a continuous diaphragm action is developed and additional bracing in the plane is generally not required.

Some metal roofing materials may be depended upon to act as a diaphragm when properly lapped and nailed. Selection and use of these materials is at the discretion of the building designer.

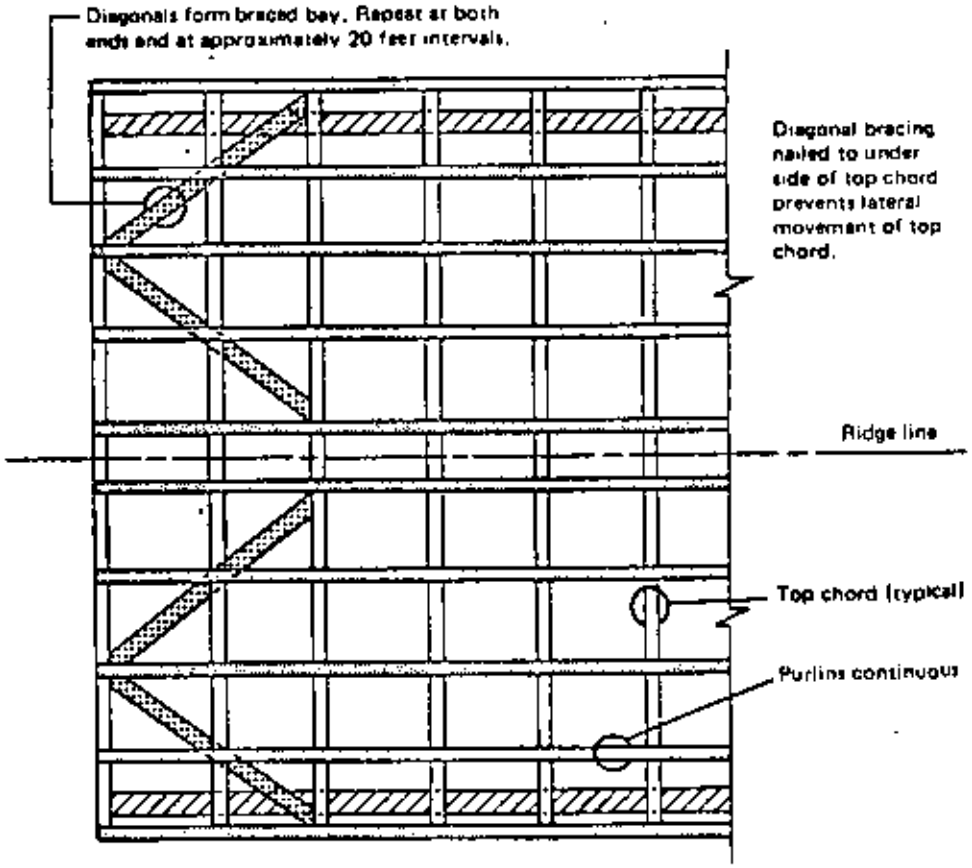



Figure 6(b)

If purlins are used, spaced not to exceed the buckling length of the top chord, and adequately attached to the top chord, it is recommended that diagonal bracing be applied to the underside of the top chord to prevent lateral shifting of the purlins.

Figure 6(a) illustrates the necessity for applying diagonal bracing in the plane of the top chord despite the use of closely spaced purlins.

It is recommended that this diagonal bracing, as shown in Figure 6(b), be installed on both sides of the ridge line in all end bays. If the building exceeds 60 feet in length, this bracing should be repeated at intervals no greater than 20 feet.

2. Web Member Plane. The purpose of this bracing is to hold the trusses in a vertical position and to maintain the design spacing. In addition, this lateral bracing may be required to shorten the buckling



length of a web member. As described earlier in the discussion of building design and truss design (STAGE ONE), diagonal bracing or end anchorage is essential to stabilize the lateral bracing.

Diagonal bracing in the plane of the web members is also used to distribute unequal loading to adjacent trusses and to spread lateral forces to diaphragms or shear walls. Spacing of rows of diagonal bracing in the plane of the webs is a matter of judgment to be made by the building designer, and will depend upon the truss span, truss configuration, type of building, and the loading.

Generally, for roof trusses, the spacing ranges from 12 feet to 16 feet depending upon how it relates to the bracing in the plane of the top chord. For floor trusses the cross bracing should be approximately 8 feet on centers. Lateral 2x6 strong-backs may also be used for some floor systems.

Figure 1 and Figure 4 illustrate bracing in the plane of the webs.

3. Bottom Chord Plane. This bracing is required to maintain the truss design spacing and to provide lateral support to the bottom chord to resist buckling forces in the event of reversal of stress due to wind uplift or unequal roof or floor loadings.

For multiple bearing trusses or cantilever conditions, portions of the bottom chord become compression members and should be braced laterally to resist buckling in the same manner as the top chord of simple span trusses.

Bracing in the plane of the bottom chord is also designed to transfer lateral forces due to wind or seismic loads into side walls, shear walls or other resisting structural elements. Diagonals between continuous lateral bracing serve to stabilize the bottom chord. It is recommended that one complete bay of diagonal bracing be installed at each end of any building, and additional such bays be located at specified intervals not to exceed 20 feet. Figure 5 illustrates the use of bracing in the plane of the bottom chord.

These recommendations for bracing wood trusses have been derived from the collective experience of leading technical personnel in the wood truss industry but must, due to the nature of responsibilities involved, be presented only as a *guide* for the use of a qualified building designer, builder, or erection contractor.

## APPENDIX

It is intended that this appendix contain only tentative recommendations that may be used as a guide for on-site handling and erection until a more complete statement can be prepared. There may be some instances in which additional precautions will be necessary.

UNLOADING. If possible, trusses shall be unloaded on relatively smooth ground. They shall not be unloaded on rough terrain that would cause undue lateral strain that might result in distortion of truss joints. Dumping of trusses is an acceptable practice provided that the trusses are not damaged or excessively stressed in the act of dumping.

The builder shall provide protection from damage that may be caused by on-site construction activity.

STORAGE. Care shall be taken so as not to allow excessive bending of trusses or to allow tipping or toppling while the trusses are banded or when the banding is removed.

If trusses fabricated with fire retardant treated wood must be stored prior to erection, they should be stored in a vertical position to prevent water containing chemicals leached from the wood from standing on the plates. A further precaution may be taken by providing a cover for the trusses that will prevent moisture from coming in direct contact with the trusses and which can be ventilated to prevent condensation.

ERECTING TRUSSES. The truss erector or builder shall take the necessary precautions to insure that handling and erection procedures do not reduce the load-carrying capacity of the truss.

Trusses shall be installed plumb, at specified spacing and in-plane (i.e., trusses will be properly aligned).



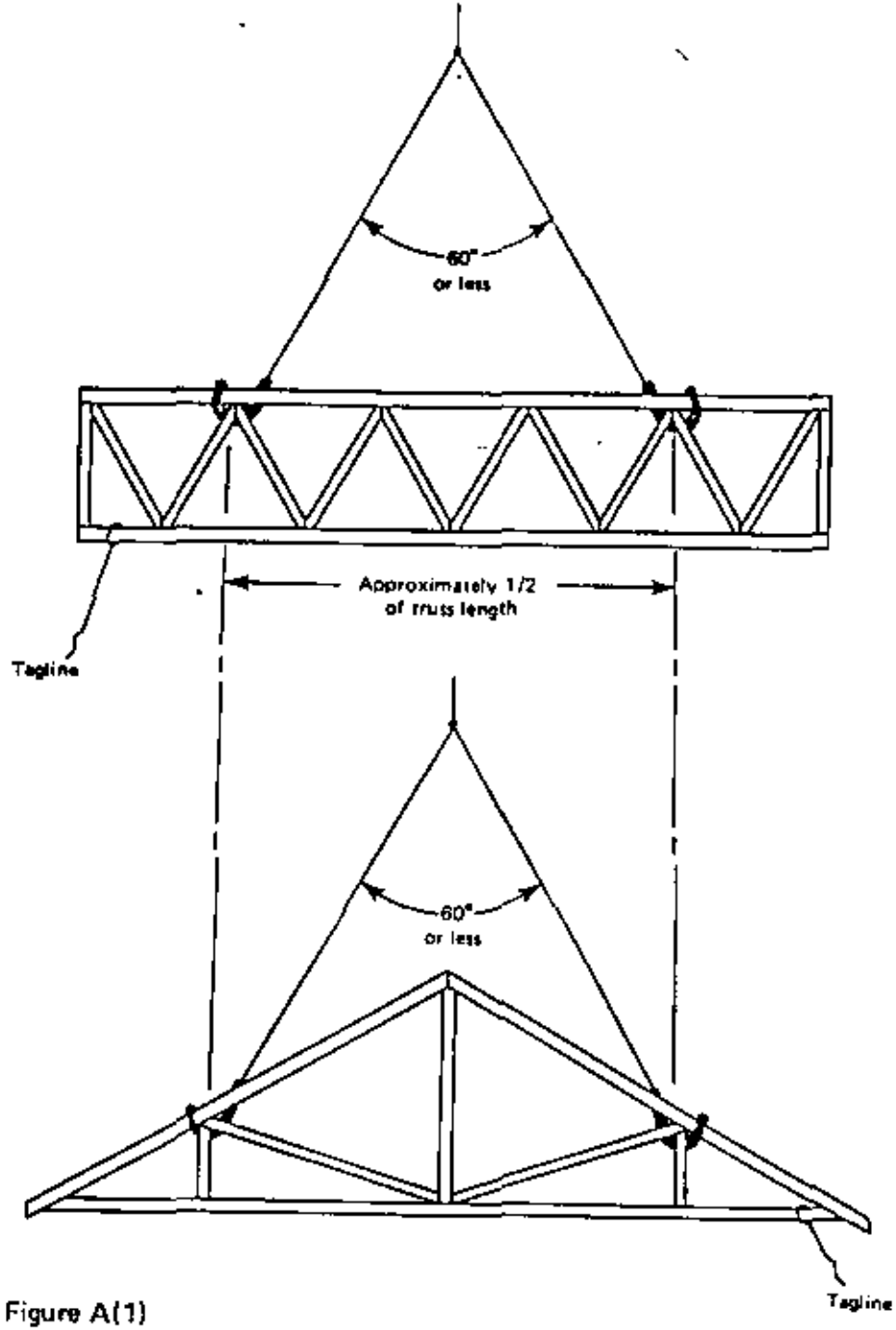



Figure A(1)

A suggested procedure for lifting trusses is illustrated in Figure A(1) if the truss span does not exceed 30 feet.

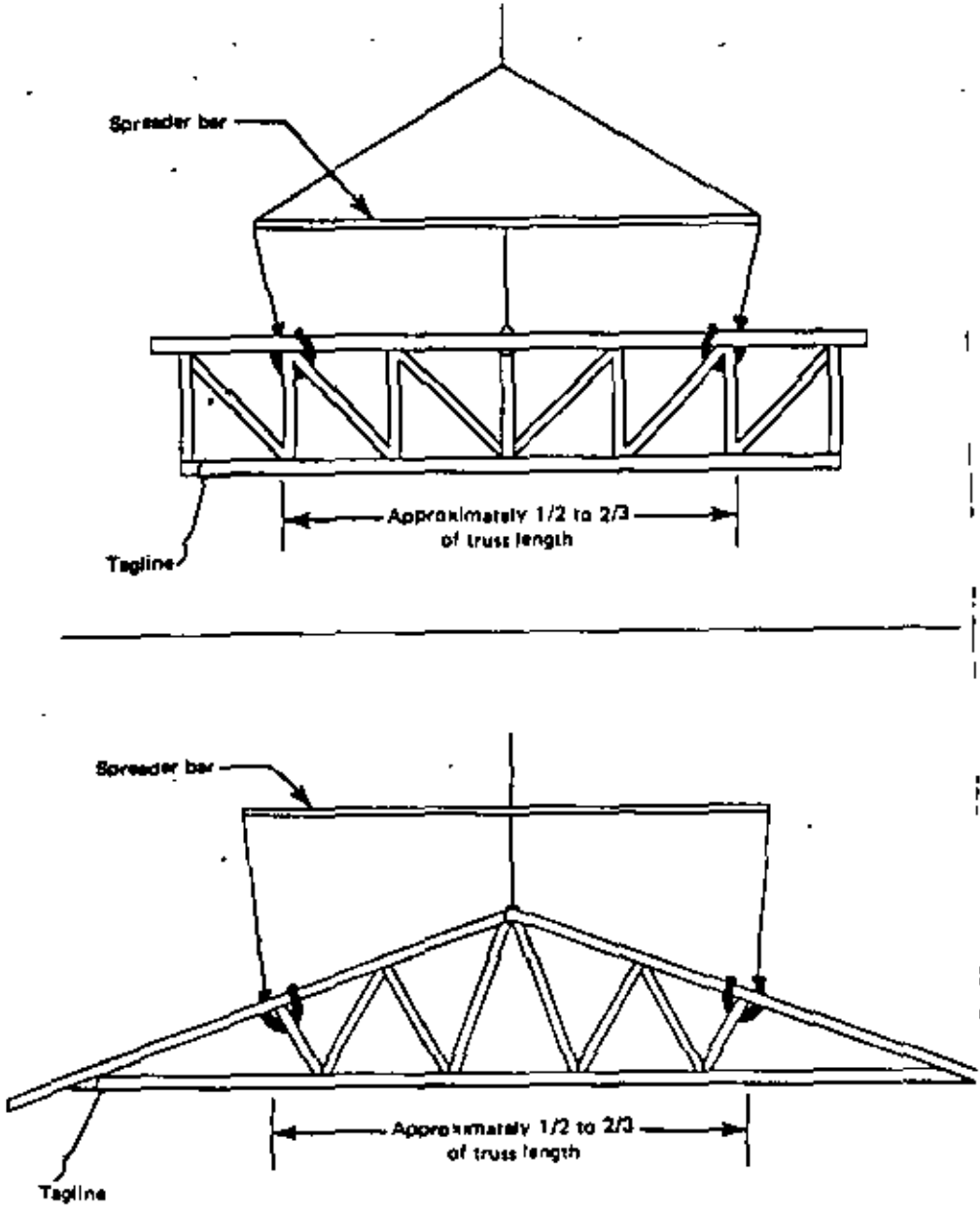



**Figure A(2)**

For truss spans between 30 feet and 60 feet a suggested lifting procedure is shown in Figure A(2). It should be noted that the lines from the ends of the spreader bar "toe-in." If these lines should "toe-out," they will tend to cause buckling of the truss.



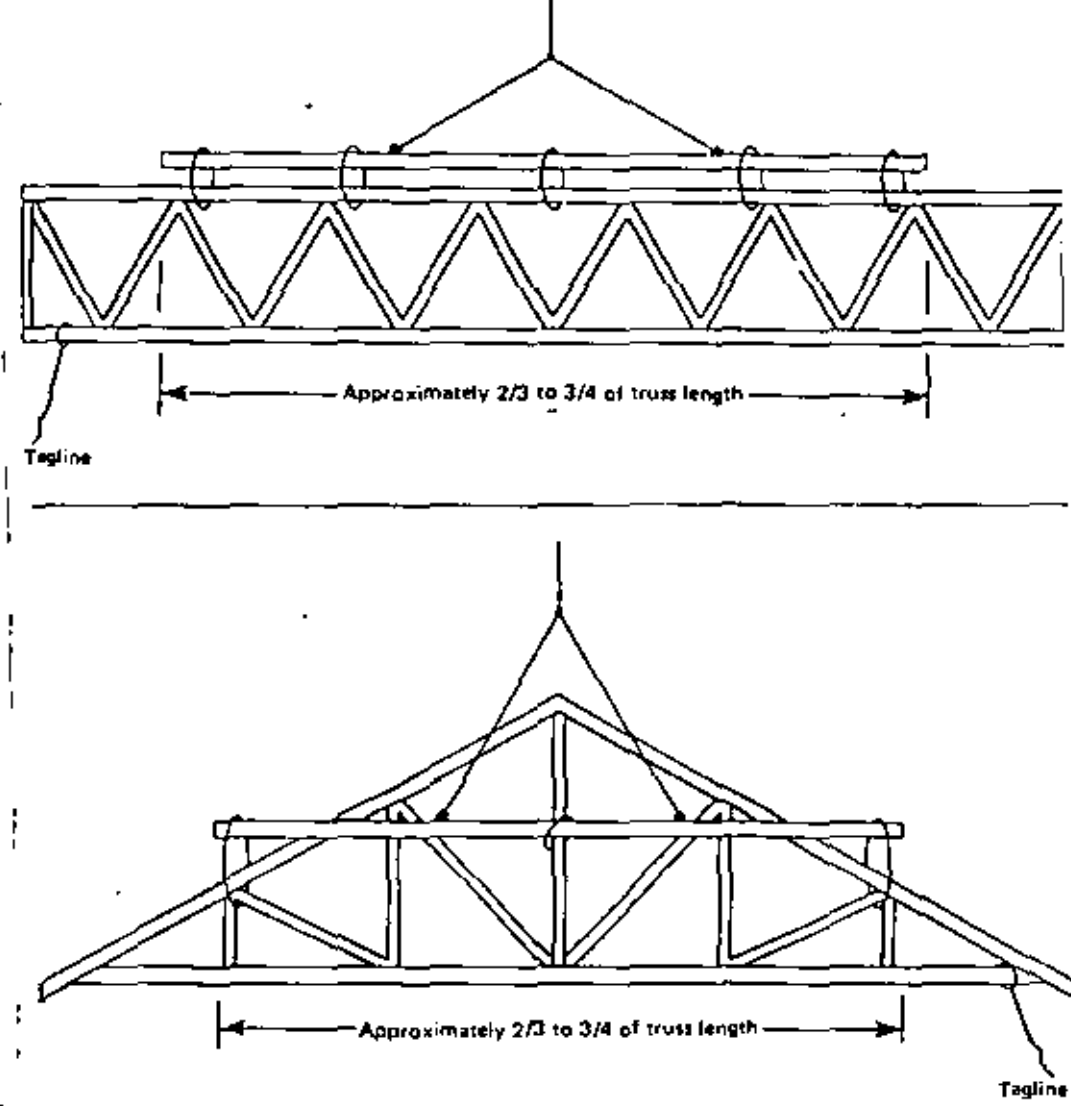



**Figure A(3)**

For lifting trusses with spans in excess of 60 feet, it is recommended that a strong-back be used as illustrated in Figure A(3). The strong-back should be attached to the top chord and web members at intervals of approximately 10 feet. Further, the strong-backs should be at or above the mid-height of the truss so as to prevent overturning. The strong-back can be of any material with sufficient strength to safely carry the weight of the truss and sufficient rigidity to adequately resist bending of the truss.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

# USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES EN LA VIVIENDA

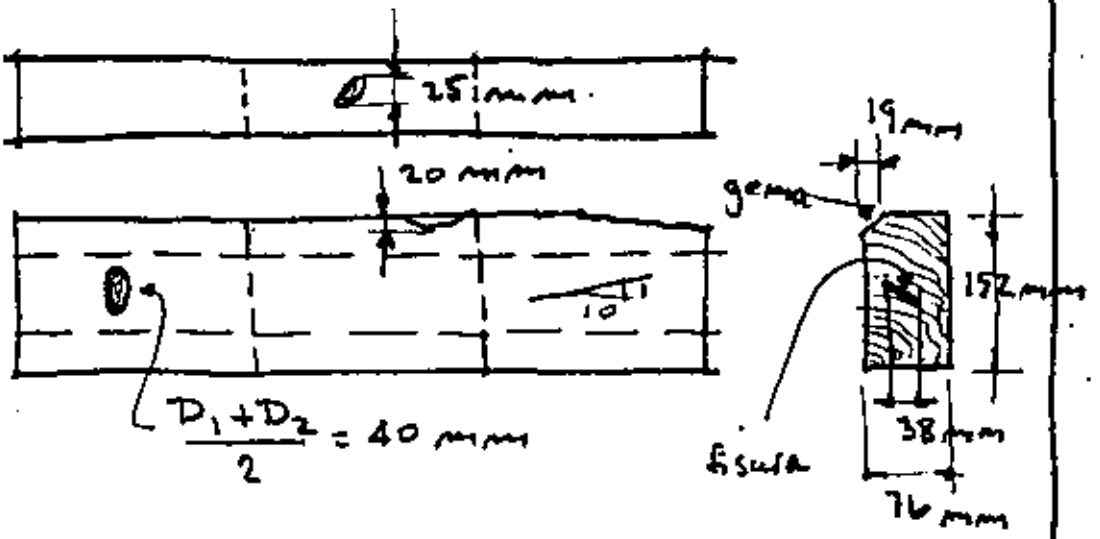
## EJEMPLOS

NOVIEMBRE, 1980.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

# EJEMPLO ① CLASIFICACION MADERA SEGUN NORMAS PROYECTO REGL. DDF

OBTENER: Calidad estructural del elemento de la figura sometido a flexión y apoyado libremente. Las caras mostradas son las más desfavorables. El contenido de humedad es superior al 18 %.




## Dimensiones de los defectos

1) Nudos

| Localización | Dimensión máxima |
|---|---|
| Canto | 25 mm |
| Zona central | 40 mm |
| Zonas de borde o en aristas | 20 mm |

2) Inclinación de la fibra 1:10

3) Gema 1/4 del espesor

EJEMPLO ① (Continuación)

4) Fisuras 1/2 del espesor

5) Velocidad de crecimiento 12 anillos / 5 cm

CALIDAD ESTRUCTURAL CORRESPONDIENTE A CADA DEFECTO

1) Nudos

Canto V-65
Zona central V-65
Zonas de borde o en las aristas V-65

2) Inclinación de las fibras V-50

3) Fisuras o grietas V-50

4) Gema V-50

5) Velocidad de crecimiento V-65

Se escoge la mínima calidad, es decir V-50.

# EJEMPLO (2) DETERMINACION DE ESFUERZOS PERMISIBLES

**OBTENER** los esfuerzos permisibles para elementos estructurales que se instalará en condición verde, pero en servicio quedará con un contenido de humedad menor del 18 %. Los elementos estarán sometidos a la acción de cargas muertas, cargas vivas, ~~[illegible]~~ granizo, y viento. La madera será de calidad V-65.

## FLEXION Y TENSION

Incrementos

a) Por encontrarse en condición seca: 10 %

b) Por corta duración: 50 %

(Cuando un elemento estructural esta sujeto a la acción simultánea de cargas con diferentes duraciones, se forma el correspondiente a la carga de menor duración.)

El esfuerzo permisible para flexión y tensión en condición verde es 70 kg/cm² (tabla 2.2).

$$f_{fp} = 70\,[1 + 0.10 + 0.50) = \underline{\underline{112}}\ kg/cm^2$$

EJEMPLO 2 (Continuación)



COMPRESION PARALELA A LAS FIBRAS

Incrementos

a) Por encontrarse en condición seca: 20%

b) Por corta duración: 50%

El esfuerzo permisible para compresión paralela a las fibras es 50 kg/cm² (Tabla 2.2)

$$f_{cp} = 50\,(1 + 0.20 + 0.50) = \underline{\underline{85\ kg/cm^2}}$$

COMPRESION PERPENDICULAR A LAS FIBRAS

Incrementos

a) Por encontrarse en condición seca: 50%

b) Por corta duración: 50%

El esfuerzo permisible para compresión perpendicular a las fibras es 12 kg/cm² (Tabla 2.2)

$$\therefore f_{mp} = 12\,(1 + 0.50 + 0.50) = \underline{\underline{24\ kg/cm^2}}$$

EJEMPLO (2) (Continuación) 

CORTANTE PARALELO A LAS FIBRAS

Incrementos

a) Por encontrarse en condición seca: 0 %
b) Por corta duración: 50 %

El esfuerzo permisible para cortante paralelo a las fibras es 9 kg/cm² (Tabla 2.2)

$\therefore \sigma_{rp} = 9(1+0+0.50) = \underline{\underline{13.5}}$ kg/cm²

MODULO DE ELASTICIDAD

Incrementos

a) Por encontrarse en condición seca: 10 %
b) Por corta duración: 0 %

El módulo de elasticidad medio es 70 000 kg/cm². (Tabla 2.2)

$E = 70\,000(1+0.10+0) = \underline{\underline{77\,000}}$ kg/cm²

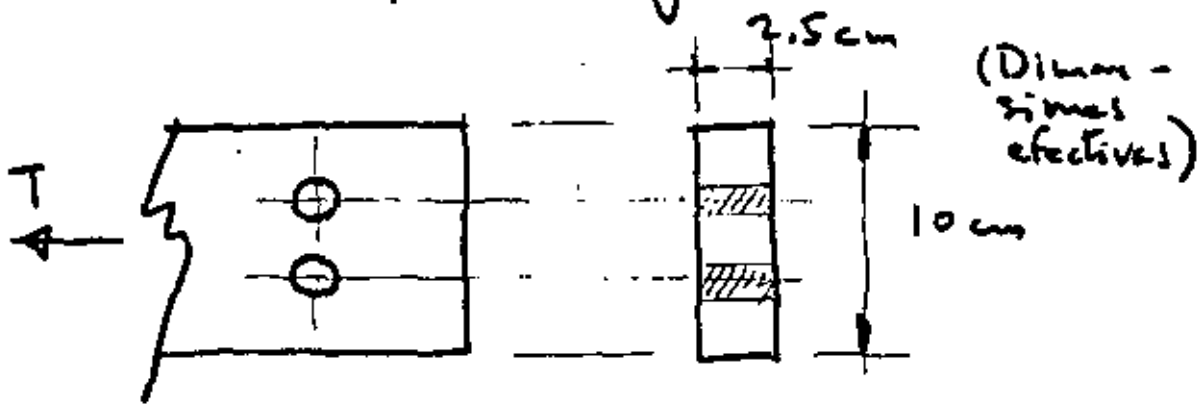
# EJEMPLO (3) CAPACIDAD DE UN MIEMBRO SOMETIDO A TENSION

1

## DATOS

Esfuerzo permisible en tensión:

$f_{tp} = 80 \ kg/cm^2$




2 agujeros para pernos de 1"

**Encontrar:** Capacidad en tensión

## CALCULO CAPACIDAD EN TENSION

Diámetro agujeros $= 2.5 + \overset{0.15 \text{ por holgura}}{\cancel{.5}} = \cancel{\ } \ 2.65 \text{ cm}$

Area neta:

$A_n = 2.5 \times 10 - 2 \times 2.5 \times 2.65 = \underline{\underline{11.75 \text{ cm}}}$

$T = 80 \times 11.75 = \underline{\underline{940}} \ kg$

$\boxed{T = 940 \ kg}$

## EJEMPLO ④ CAPACIDAD DE UN MIEMBRO SOMETIDO A COMPRESION

**DATOS**

Sección nominal : $3\frac{1}{2}'' \times 4''$

Longitud : 2.50 m

Esfuerzo permisible en compresión

$f_{cp} = 85\ kg/cm^2$

Módulo de elasticidad

$E = 70\,000\ kg/cm^2$

Considerar articulación en los extremos

## CALCULO CAPACIDAD EN COMPRESION

**Dimensiones efectivas**

$b = 3\frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 3\frac{1}{4}'' = 8.3\ cm$

$d = 4 - \frac{1}{4} = 3\frac{3}{4}'' = 9.5\ cm$

**Esbeltez**

$k = 1$ (articulación en ambos extremos)

$\frac{kl}{b} = \frac{250}{8.3} = 30 < 50$ ✓

**Esfuerzo permisible considerando esbeltez**

$$c = \frac{0.3 \times E}{(kl/b)^2} = \frac{0.3 \times 70\,000}{(30)^2} = \underline{\underline{23}}\ kg/cm^2 < 85$$

EJEMPLO ④ (Continuación) 

Capacidad

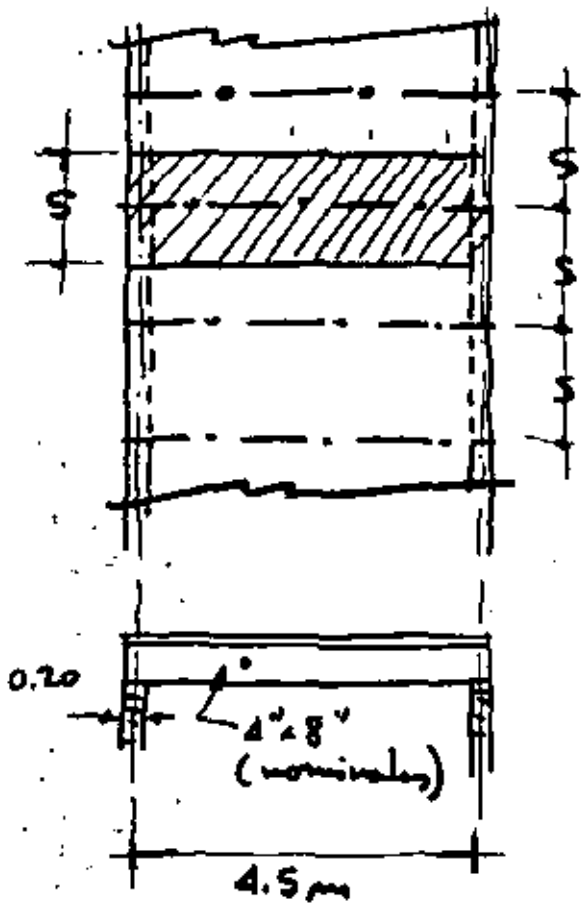
$P = A \cdot c = 8.3 \times 9.5 \times 23$

$\boxed{P = 1814 \text{ kg}}$

# EJEMPLO (5) DIMENSIONAMIENTO DE LAS VIGAS DE UN SISTEMA DE PISO DE MADERA

1

## DATOS




Carga viva + carga muerta = 0.4 $\frac{tm}{m^2}$

Esfuerzo permisible en flexión:

$f_{fp} = 60\ kg/cm^2$

Esfuerzo cortante permisible:

$v_p = 8\ kg/cm^2$

Esfuerzo normal a las fibras permisible:

$f_{np} = 7\ kg/cm^2$

$E = 80\ 000\ kg/cm^2$

$\delta_{máx} = 1.5\ cm$

Se pide: La separación s de las vigas.

## SOLUCION

(Hoja siguiente)

## EJEMPLO 5 (continuación)



### SOLUCION

**Dimensiones efectivas**

$b = 4'' - 1/4'' = 3.75'' = 9.5\ cm$

$d = 8'' - 1/4'' = 9.75'' = 19.7\ cm$

**Separación por flexión**

$$M = C_d\, C_f\, f_{fp}\, S \qquad (19)$$

$$C_d = 0.81\,\frac{d^2+922}{d^2+568} \qquad (15)$$

$C_d$ calculado es menor que 1

$\therefore$ Usar $C_d = 1$

$C_f = 1$ por tratarse de sección rectangular

$$M = \frac{1}{8} w l^2 \quad ; \quad w = 0.4\,s$$

($s$ = separación en m)

$$M = \frac{1}{8}(0.4\,s)\,4.5^2$$

$$= 1.01\,(s)\ t\text{-}m = \underline{\underline{1.01\,(s)\,10^5}}\ kg\text{-}cm$$

$$S = \frac{I}{d/2} = \frac{bd^2}{6} = \frac{9.5 \times 19.7^2}{6} = \underline{\underline{614\ cm^3}}$$

## EJEMPLO 5 (Continuación)

Sustituyendo en (19):

$$1.01\,(s)\,10^5 = 1\times1\times60\times614$$

$$s = \frac{60\times614}{1.01\times10^5} = 0.36\,m \;;\; s = \underline{\underline{36\,cm}}$$

### Separación por cortante

$$v = \frac{3}{2}\frac{V}{bd}$$

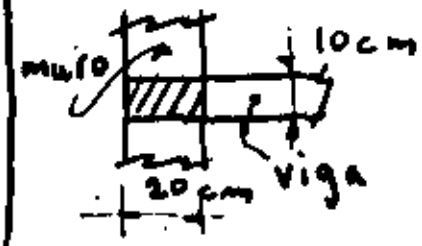
$$V = \frac{wl}{2} = \frac{0.4\,(s)\times4.5}{2} = 0.9\,(s)\ ton$$

$$= 900\,(s)\ kg$$

$$8 = \frac{1.5\,(900)(s)}{9.5\times19.7}$$

$$s = \frac{8\times9.5\times19.7}{1.5\times900} = 1.11\,m = \underline{\underline{111\,cm}}$$

### Separación por compresión normal




$$f_m = \frac{V}{9.5\times19.7}$$

$$7 = \frac{900\,(s)}{9.5\times19.7}$$

$$s = \frac{7\times9.5\times19.7}{900} = 1.46\,m \;;\; s = \underline{\underline{146\,cm}}$$

EJEMPLO 5 (Continuación) 

Separación por flecha

$$\delta = \frac{5}{384}\,\frac{w\,l^4}{EI}$$

$w = 0.4(s)$ tm/m $= \underline{\underline{4(s)}}$ kg/cm
(s en m)

$$J = \frac{1}{12}bd^3 = \frac{1}{12}\times 9.5\times 19.7^3 = \underline{\underline{6052}}\ cm^4$$

$$1.5 = \frac{5\times 4(s)(450)^4}{384\times 80000\times 6052}$$

$$s = \frac{1.5\times 384\times 80000\times 6052}{5\times 4\times 450^4}$$

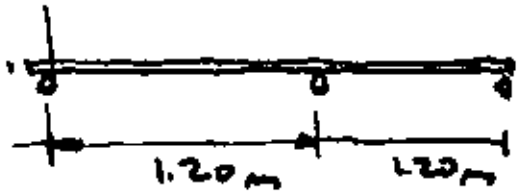
$s = \underline{\underline{0.34}}$ m ; $s = \underline{\underline{34}}$ cm

∴ Rige la separación por flecha

$$\boxed{s = 34\ cm}$$

EJEMPLO (b) CARGA UNIFORMEMENTE REPARTIDA QUE PUEDE SOPORTAR UNA PLACA DE TRIPLAY

DATOS




Placa de triplay de 7/8" de espesor
Fibras paralelas al claro

Propiedades de la sección por metro de ancho (ref 10):

Módulo de sección efectivo: $S = 31.45\ cm^3/m$
Momento de inercia : $I = 41.10\ cm^4/m$
Factor de corte rodante : $\frac{Ib}{Q} = 178.9$

Propiedades mecánicas

$f_{fp} = 140\ kg/cm^2$
$E = 112\ 000\ kg/cm^2$
$v_p = 5.25\ kg/cm^2$

CAPACIDAD DE CARGA CONSIDERANDO LAS FORMULAS PARA VIGAS CONTINUAS SOBRE DOS CLAROS IGUALES (pág 15-a)

Capacidad por flexión

(sigue en la página siguiente)

## Capacidad por flexión

$$f_{fp} = \frac{M}{S} \; ; \; M = \frac{wl^2}{8} \; ; \; w = \frac{8 f_{fp}}{l^2}$$

$$w = \frac{8 \times 31.45 \times 140}{120^2} = 2.45 \, kg/cm = \underline{\underline{245}} \, \frac{kgf}{m}$$

## Capacidad por cortante rodante

$$v = \frac{VQ}{Ib} \; ; \; V = \frac{5}{8} wl$$

$$w = \frac{8}{5} \frac{v}{l} \frac{Ib}{Q}$$

$$w = \frac{8}{5} \frac{5.25}{120} 178.9 = 12.52 \, \frac{kgf}{cm} = \underline{\underline{1252}} \, \frac{kgf}{m}$$

## Capacidad por deflexión

Considerando como deflexión máxima $l/360$:

$$\frac{l}{360} = \frac{1}{185} \frac{wl^4}{EI}$$

$$w = \frac{185}{360} \frac{EI}{l^3}$$

$$w = \frac{185}{360} \frac{112\,000 \times 41.10}{120^3}$$

EJEMPLO 6 (Continuación)

$$w = \frac{185}{360} \frac{112000 \times 41.10}{120^3}$$

$$w = 1.37 \text{ kg/cm} = \underline{\underline{137}} \text{ kg/m}$$

∴ La capacidad está dada por las limitaciones de deflexión

$$\boxed{w = 137 \text{ kg/m}}$$

## EJEMPLO (7) CAPACIDAD DE UN MIEMBRO SOMETIDO A FLEXOCOMPRESION

### DATOS

Sección nominal : $3\frac{1}{2}'' \times 4''$

Longitud : 2.50 m

Esfuerzo permisible en compresión:

$$f_{cp} = 85 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo permisible en flexión:

$$f_{fp} = 100 \text{ kg/cm}^2$$

Módulo de elasticidad

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

$e = 3$ cm en la dirección de la dimensión mayor.

Considerar articulaciones en ambos extremos

### SOLUCION

$$\frac{\frac{P}{A}}{C} + \frac{\frac{M}{S} + \frac{P}{A}\frac{6e}{d}\beta}{C_d f_{fp} - \gamma \frac{P}{A}} \leq \alpha \qquad (25)$$

### Dimensiones efectivas

$$b = 3\tfrac{1}{2}'' - \tfrac{1}{4}'' = 3.25'' = 8.3 \text{ cm}$$

$$d = 4'' - \tfrac{1}{4}'' = 3.75'' = 9.5 \text{ cm}$$

EJEMPLO 7 (Continuación) 2

$P = ?$

$A = 8.3 \times 9.5 = 78.9 \text{ cm}^2$

$d = 9.5$ ; $b = 8.3$

$e = 3$ cm (en dirección paralela al lado grande)

$M = 0$

$S = \frac{bd^2}{6} = \frac{8.3 \times 9.5^2}{6} = 125 \text{ cm}^3$

$f_{fp} = 100 \text{ kg/cm}^2$

$C_d = 1$ (no rige la corrección por tamaño)

$\alpha = 1$ (suponiendo cargas de duración normal)

$k = 1$ $\quad kl/b = \frac{250}{8.3} = 30.1 < 50$ ✓

$$c = \frac{0.3E}{(kl/b)^2} = \frac{0.3 \times 70000}{30.1^2} = 23.2 \text{ kg/cm}^2 < 85 = f_{cp}$$

$$\sqrt{\frac{0.3E}{f_{cp}}} = \sqrt{\frac{0.3 \times 70\,000}{85}} = 15.8 < \frac{kl}{b} = 30.1$$

∴ la col. es larga y $\beta = 1.25$, $\gamma = 1$

Sustituyendo:

$$\frac{\frac{P}{78.9}}{23.2} + \frac{\frac{P}{78.9}\,\frac{6 \times 3 \times 1.25}{9.5}}{1 \times 100 - 1\,\frac{P}{78.9}} = 1$$

Simplificando:

$$\frac{P}{1830} + \frac{0.03P}{100 - \frac{P}{78.7}} = 1$$

Esta ecuación de segundo grado puede resolverse directamente o por tanteos.

Suponiendo $P = 1100$ kg:

$$0.601 + \frac{33}{100 - 14} = 0.601 + 0.384 = 0.984 < 1$$

$$\therefore \boxed{P \cong 1100 \text{ kg}}$$

Observación:

Convendría revisar la columna en el otro sentido con la excentricidad mínima.

Según el Proyecto de Reglamento del DDF, esta excentricidad mínima sería 0.10 b.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

# USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES EN LA VIVIENDA

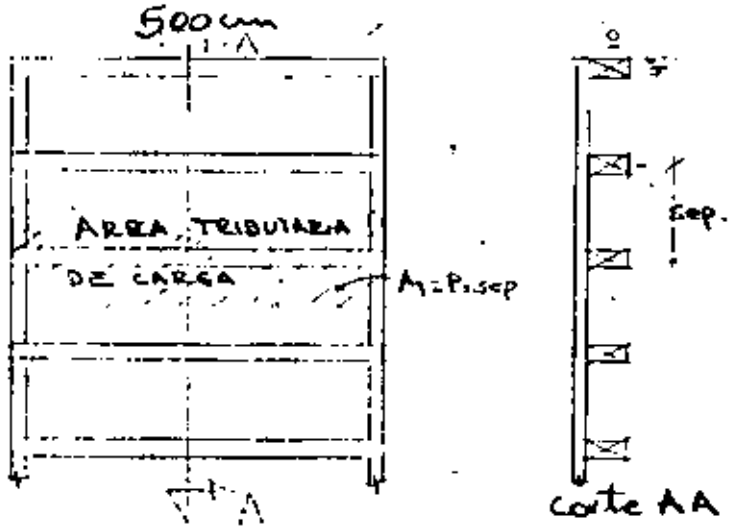
## COMPORTAMIENTO Y DISEÑO DE MIEMBROS, SUJETOS A DIFERENTES CONDICIONES DE CARGA. MIEMBROS EN TENSION, COMPRESIÓN, FLEXION, ESFUERZOS COMBINADOS.

ING. FEDERICO HACH

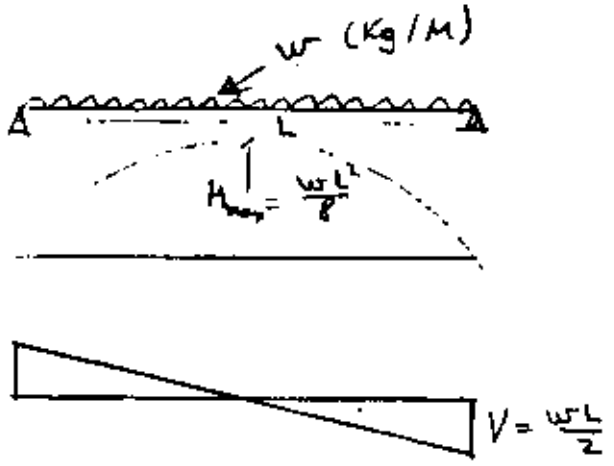
NOVIEMBRE, 1980.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

1. Un sistema de piso para un claro de 5 M está constituido por polines de 4"x10" y una cubierta cuyo peso es de 50 Kg/M². Si se considera una carga viva de 250 Kg/M², calcular la separación de los polines de madera de primera seca. Suponer que el peso de la madera es 650 Kg/M³




Los polines se consideran simplemente apoyados y con carga uniformemente distribuida.




Los esfuerzos permisibles (M) para madera de primera verde y para carga permanente son:

$f_{bp} = 60$ Kg/cm²

$f_{vp} = 14$ Kg/cm²

$E_{medio} = 70000$ Kg/cm²

Sol.

si consideramos que la sección transversal se reduciría en 1.3 mm en el ancho y 19 mm en el peralte por cepillado, la sección efectiva es: $8.9^{cm} \times 23.5^{cm}$

Las propiedades de la sección son:

$$\text{Area} = b \cdot h = 8.9 \times 23.5 = 209 \text{ cm}^2$$

$$\text{módulo de sección}: S = \frac{bh^2}{6} = \frac{8.9 \times 23.5^2}{6} = 819.2 \text{ cm}^3$$

$$\text{momento de inercia}: I = \frac{bh^3}{12} = \frac{8.9 \times 23.5^3}{12} = 9625 \text{ cm}^4$$

al considerar un peso de la madera de $650 \text{ Kg/M}^3$ el peso del polín es: $650 \times 0.089 \times 0.235 = 13.6 \text{ Kg/M}$

La carga que soporta el polín es (ver figura):

$$w = (50 + 250) \cdot sep = 300 \times sep \text{ Kg/M}$$

Los esfuerzos permisibles[11] de la madera seca usada se calculan afectando los esfuerzos dados por los factores debidos al secado, duración de carga (carga viva) y redistribución de carga:

$$f_{bp} = 60(1 + 0.10 + 0.15 + 0.20) = 87 \text{ Kg/cm}^2$$

$$v_p = 14(1 + 0 + 0.15 + 0.20) = 18.90 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_{medio} = 70000(1 + 0.10) = 77000 \text{ Kg/cm}^2$$

Revisando el polín por estabilidad lateral[14] se tiene cuando

el claro efectivo es 1.92 veces el claro real

$$C_s = 1.4\sqrt{\frac{dL}{b^2}} = 1.4\sqrt{\frac{23.5 \times 1.92 \times 500}{8.9}} = 23.63 < 50$$

$$C_k = \sqrt{\frac{3}{5}\frac{E}{f_{bp}}} = \sqrt{\frac{0.6 \times 77000}{87}} = 23.04$$

$$\therefore \quad f_{bd} = \frac{0.40E}{C^2} = \frac{0.40 \times 77000}{23.63^2} = 55.17 \text{ Kg/cm}^2$$

Con estos esfuerzos permisibles calculamos la carga máxima permisible que pueden soportar los polines:

a) Flexión:

$$M = f_{bd} \times S$$

$$M = 55.17 \times 819.2 = 45197 \text{ Kg-cm} = 451.97 \text{ Kg-M}$$

$$M = \frac{wL^2}{8} \Rightarrow w = \frac{8M}{L^2} = \frac{8 \times 451.97}{5^2}$$

$$\boxed{w_1 = 145 \text{ Kg/M}}$$

b) Cortante: $v_p = \frac{3}{2} \frac{V}{A}$

$$V = \frac{2}{3} v A = \frac{2}{3} \times 18.9 \times 209 = 2635 \text{ Kg}$$

$$V = \frac{wL}{2} \Rightarrow w = \frac{2V}{L} = \frac{2 \times 2635}{5}$$

$$\boxed{w_c = 1054 \text{ Kg/M}}$$

c) Deflexión: limitamos la flecha al 0.3% del claro.

$$\delta_{prem} = 0.003L$$

$$0.003L = \frac{5wL^4}{384EI}$$

$$w = \frac{0.003 \times 384EI}{5L^3} = \frac{0.003 \times 384 \times 77000 \times 9625}{5 \times 500^3}$$

$$w_d = 1.37 \text{ Kg/cm}$$

$$\boxed{w_d = 137 \text{ Kg/M}}$$

∴ La carga que gobierna la separación de los polines es la calculada por deflexión que por ser la menor nos dará la menor separación de los polines, pero a esta carga se le tendrá que deducir el peso del polín:

así : $w = 137 - 13.6$ Kg

$w = 123.4$ Kg/m

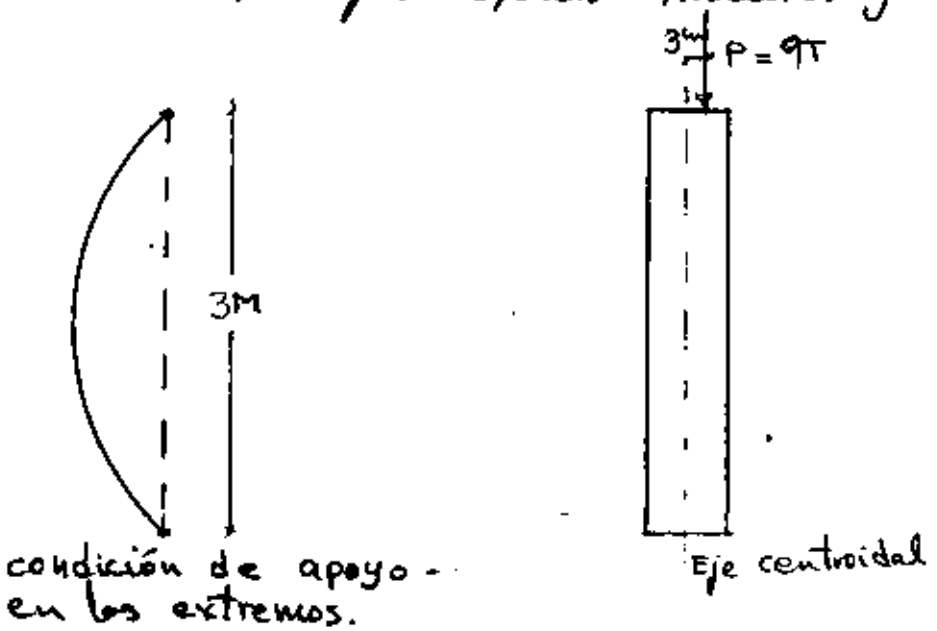
pero como $w = 300 \times sep.$

$$sep = \frac{123.4}{300}$$

$$\boxed{sep = 40 \text{ cm}}$$

la cual es aceptable ya que se supuso que habrá redistribución de carga, es decir, que la separación será menor de 60 cm, al incrementarse los esfuerzos en un 20%

7 Una columna de madera articulada en sus extremos tiene una longitud sin apoyo de 3 M. Considerando una excentricidad de la carga de 3 cm y que se utiliza madera V65, Calcular su escuadría si la suma de las cargas axiales muerta y viva es de 9 T.




Los esfuerzos permisibles[11] para madera V65 en condición verde y para carga permanente son:

$f_{bp} = 70\ Kg/cm^2$

$f_{cp} = 50\ Kg/cm^2$

$E_{mín} = 40000\ Kg/cm^2$

Solución:

Se procede por tanteos eligiendo una sección y revisándola por la fórmula 4.1 de las Normas Técnicas[11]

$$(4.1) \qquad \frac{\frac{P}{A_n}}{f_{cd}} + \frac{\frac{P}{A_n}\,\frac{6e\beta}{d_e}}{f_{bd}\cdot C_f} \leq 1$$

Como primer intento usaremos una sección de 8"x8".
Modificamos los esfuerzos permisibles por duración de carga pero no por secado por ser la sección mayor de $15^{cm} \times 15^{cm}$:
(ver inciso 3.1 Normas Técnicas[1](11))

$f_{bp} = 70 \times 1.15 = 80.50 \ Kg/cm^2$

$f_{cp} = 50 \times 1.15 = 57.50 \ Kg/cm^2$

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

Consideramos la sección efectiva como $19.0^{cm} \times 19.0^{cm}$

$$\frac{P}{A_n} = \frac{8000}{19.0 \times 19.0} = 26.50 \ Kg/cm^2$$

Por ser los extremos articulados de la tabla 4.1[(11)] se tiene:

$K = 1$

$$Kl/b = \frac{300}{19.0} = 15.80 \qquad \sqrt{0.3E/f_{cp}} = \sqrt{\frac{0.3 \times 40000}{57.50}} = 14.45$$

como $Kl/b > \sqrt{0.3E/f_{cp}} \Rightarrow \beta = 1.25$

$$f_{cd} = \frac{0.3E}{(Kl/b)^2} = \frac{0.3 \times 40000}{(15.8)^2} = 48.13 \ Kg/cm^2$$

Como $d < 30 cm \Rightarrow C_f = 1$

$$C_s = 1.4\sqrt{\frac{dL}{b^2}} = 1.4\sqrt{\frac{19.0 \times 1.92 \times 300}{19.0^2}} = 7.73 < 10$$

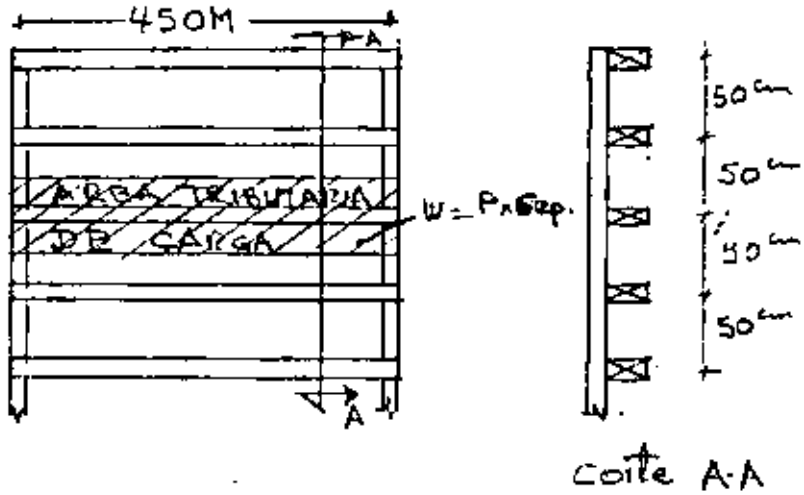
$\Rightarrow f_{bd} = f_{bp}$

sustituyendo valores en la expresión 4.1[(11)]

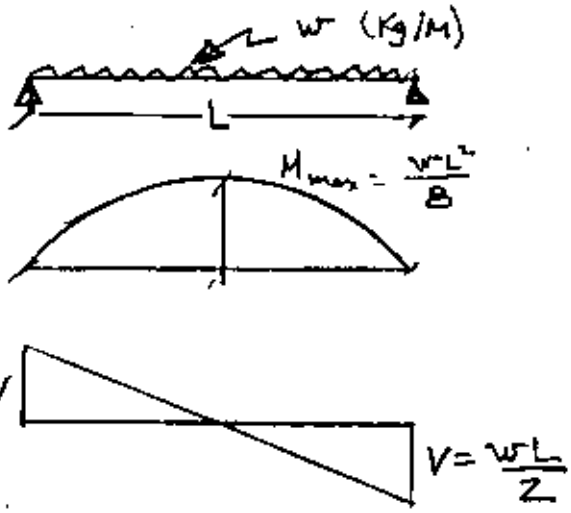
$$\frac{26.50}{48.13} + \frac{26.50 \frac{6 \times 3 \times 1.25}{19.0}}{80.5} = 0.55 + 0.39 = 0.94 < 1$$

$\therefore$ la sección de 8"x8" es adecuada.

3- Un sistema de techo constituído por polines separados 50 cm centro a centro y cubierta cuyo peso es de 45 Kg/M² soporta una carga viva de 100 Kg/M². Si el claro a cubrir es de 4.5 M y la madera utilizada es de primera y está seca, determinar la escuadría de los polines.




Los polines se consideran libremente apoyados sujetos a carga uniformemente repartida.




Los esfuerzos permisibles[1] para madera de primera calidad para condiciones de carga permanente son:

$f_{tp} = 60$ Kg/cm² , $v_p = 14$ Kg/cm² ; $E_{medio} = 70{,}000$ Kg/cm²

y los esfuerzos permisibles considerando las condiciones de servicio[11] son:

$f_{tp} = 60\,(1+0.10+0.15+0.20) = 1.45 \times 60 = 87$ Kg/cm²

$v_p = 14(1+0+0.15+0.20) = 1.35 \times 14 = 18.70\ Kg/cm^2$

$E_{medio} = 70000\ (1+0.10) = 1.10 \times 70000 = 77000\ Kg/cm^2$

En virtud de que este tipo de problemas se resuelve en forma iterativa (tanteos), se necesita suponer una sección transversal y revisar que ésta sea capaz de soportar las cargas actuantes. Suponiendo como primer tanteo una sección de 4"×8" tenemos:

La carga que soporta cada polín es: $w = (100+45) \times 0.5 = 72.5\ \frac{Kg}{M}$

la cual no incluye el peso del polín, entonces la carga total es:

$w_T = w + \text{Peso polín} = 72.5 + 650 \times 0.089 \times 0.184 = 72.5 + 10.6$

$w_T = 83.1\ Kg/M$

Revisando por estabilidad lateral[11] y considerando que el claro efectivo es 1.92 veces el claro real:

$$C_3 = 1.4\sqrt{\frac{dL}{b^2}} = 1.4\sqrt{\frac{18.4 \times 1.92 \times 450}{8.9^2}} = 19.81$$

$$C_k = \sqrt{\frac{3}{5}\ \frac{E}{f_{tp}}} = \sqrt{\frac{0.6 \times 77000}{87}} = 23.04$$

$$\therefore\ f_{bd} = 87\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{19.81}{23.04}\right)^4\right] = 0.82 \times 87 = 71.14\ Kg/cm^2$$

a) Revisión por flexión:

$$M = \frac{wL^2}{8} = \frac{83.1 \times 4.5^2}{8} = 210.45\ Kg\text{-}M = 21045\ Kg\text{-}cm$$

$$S = \frac{M}{f_{bd}} = \frac{21045}{71.14} = 296\ cm^3 < 502$$

$\therefore$ es aceptable por flexión

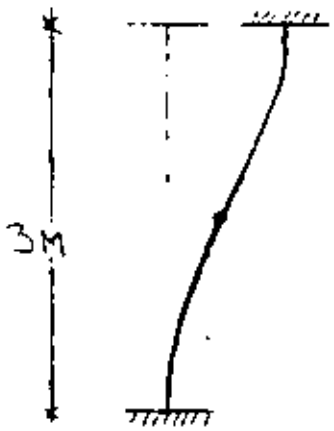
b) Revisión por deflexión: si $\delta_{perm} = 0.003L$

$$0.003L = \frac{5wL^4}{384EI} \Rightarrow I = \frac{5wL^3}{0.003 \times 384 \times E}$$

$$I = \frac{5 \times 0.831 \times 450^3}{0.003 \times 384 \times 77000} = 4270\ cm^4 < 4120\ cm^4$$

$\therefore$ la sección de 4"×8" es adecuada

4- Se tiene una columna de 4"x4" con sus extremos fijos y longitud 3M. Si la carga se aplica con una excentricidad de 3 cm y se utiliza madera de primera seca, determinar su capacidad de carga.




condición de Apoyo

Los esfuerzos permisibles[11] para madera verde y condiciones de carga permanente son:

$f_{tp} = 60\ Kg/cm^2$

$f_{cp} = 50\ Kg/cm^2$

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

los cuales cuales se modifican debido al secado y duración de carga (carga viva):

$f_{tp} = 60\ (1+0.10+0.15) = 1.25 \times 60 = 75\ Kg/cm^2$

$f_{cp} = 50\ (1+0.2+0.15) = 1.35 \times 50 = 67.5\ Kg/cm^2$

$E_{min} = 40'000\ (1+0.10+0) = 1.1 \times 40 \times 10^3 = 44000\ Kg/cm^2$

La sección efectiva es: $8.9^{cm} \times 8.9^{cm}$

$$A = 79.21 \text{ cm}^2$$

Al despejar la carga P de la fórmula 4.1 de las Normas técnicas[11] se tiene:

$$P \leq \frac{1}{\dfrac{\frac{1}{A_n}}{f_{cd}} + \dfrac{\frac{1}{A_n}\frac{6e\beta}{d_e}}{f_{bd}\, c_f}} \quad \ldots\ldots (1)$$

El factor de longitud efectiva K es igual a 1.2 de la tabla 4.1[14]

$$Kl/b = \frac{1.2 \times 300}{8.9} = 40.45$$

$$\sqrt{0.3\, E/f_{cp}} = \sqrt{0.3 \times 44000/67.5} = 13.98 < Kl/b$$

$$\Rightarrow \beta = 1.25$$

$$f_{cd} = \frac{0.3\, E}{(Kl/b)^2} = \frac{0.3 \times 44000}{(40.45)^2} = 8.07 \text{ Kg/cm}^2$$

como $d < 30$ cm $\Rightarrow c_f = 1$

$C_s = 1.4\sqrt{\frac{dL}{b^2}}$ y si consideramos que el claro efectivo es 1.92 veces el claro real:

$$C_s = 1.4\sqrt{8.9 \times 1.92 \times 300/8.9^2} = 11.26$$

$$C_k = \sqrt{\frac{3}{5}\frac{E}{f_{bp}}} = \sqrt{\frac{0.6 \times 44000}{75}} = 18.76$$

$$\therefore \quad f_{bd} = f_{bp}\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{C_s}{C_k}\right)^4\right] = 75\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{11.26}{18.76}\right)^4\right] = 76 \times 0.96$$

$$f_{bd} = 71.76 \text{ Kg/cm}^2$$

y sustituyendo valores en la expresión (1) se tiene

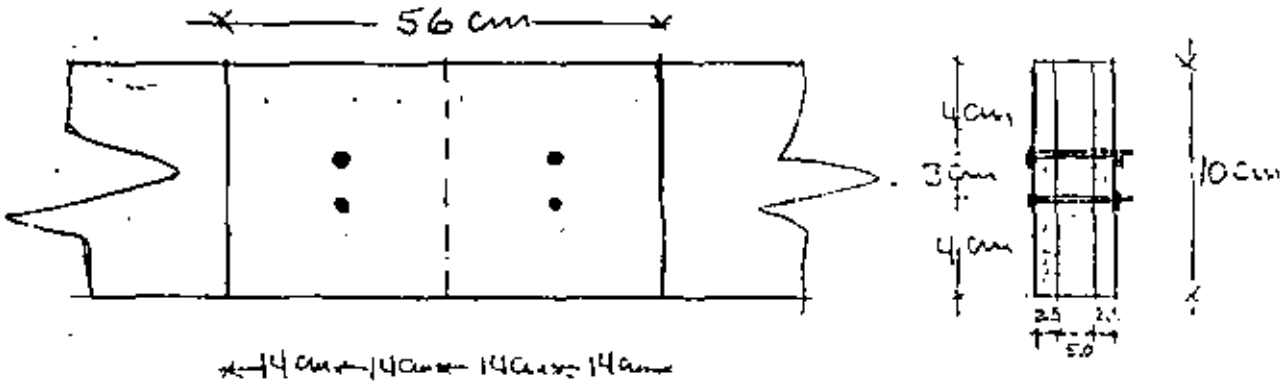
$$P \leq \frac{1}{\frac{\frac{1}{79.21}}{8.07} + \frac{\frac{1}{79.21} + \frac{6 \times 3 \times 1.25}{8.9}}{71.76 \times 1}} = \frac{1}{0.0016 + 0.0008} = \frac{1}{0.00281}$$

$$\boxed{P \leq 498 \text{ Kg}}$$

∴ la capacidad de la columna de 4"x4" será de 498 Kg

# EJEMPLO 9 CAPACIDAD DE UNION CON PERNOS

**DATOS**




a) pernos de 3/4" (1.91 cm)

b) Elementos de madera seca con $\gamma = 0.6$ { laterales : $2.5^{cm} \times 10^{cm}$ ; central : $5^{cm} \times 10^{cm}$ } Dimensiones efectivas.

Encontrar: capacidad a tensión de la unión.

CALCULO CAPACIDAD UNION

Ec. 7 p.95 : $P = 1.12\, \gamma\, k_1 D t \times 1.4$ para 1 perno

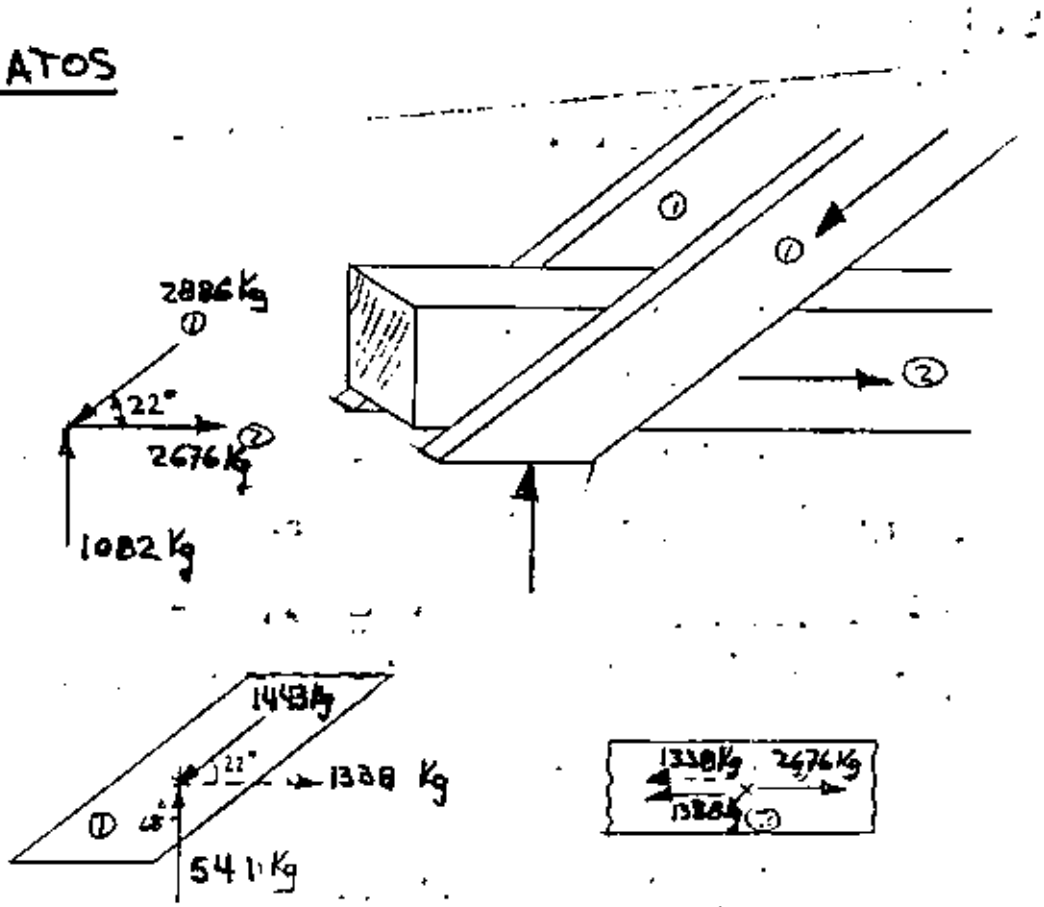
$t/D = 1.31 \Rightarrow k_1 = 1 \Rightarrow$ p96.

$\therefore P = (1.12 \times 0.6 \times 1 \times 19.1 \times 24 \times 1.4)\,2$

$P = 898$ Kg capacidad de la unión

# EJEMPLO (10) - USO PERNOS EN ARMADURAS

## DATOS




Diagramas de Cuerpo libre.

**OBTENER**: Número de pernos necesarios en la junta de talón mostrada, en la cual se usarán elementos de madera secos y la carga actuante es permanente.

EJEMPLO (10) CONT.

SOLUCION:

Usaremos para la cuerda superior (1) 2 secciones de $6.5^{cm} \times 20^{cm}$ y para la cuerda inferior una de $6.5^{cm} \times 12^{cm}$ La madera que se usará seca tiene una $\gamma = 0.6$ con un esfuerzo de tensión permisible de $100\ Kg/cm^2$. Se usarán pernos de $\phi = 1''$ (2.54 cm). Se considera un incremento de la capacidad de los pernos de un 40% por usarse madera seca.

Capacidad de un perno con carga paralela a la fibra de la madera

$P = 1.12\,\gamma\, k_1 D t \times 1.4$

$t/D = \frac{6.5}{2.54} \Rightarrow 3 \Rightarrow p.96 \Rightarrow k_1 = 1$

$P = 1.12 \times 0.6 \times 1.0 \times 2.54 \times 6.5 \times 1.4$

$P = 12.54\ Kg$

Capacidad de un perno con carga $\perp$ a la fibra de la madera

$P = 0.35\,\gamma\, k_2 k_1 D t$

$k_2 = 1.0 \Rightarrow p.96$ ; $k_3 = 1.23 \Rightarrow p.97$

$P = 0.35 \times 0.6 \times 1.0 \times 1.23 \times 25.4 \times 65 \times 1.4$

$P = 597 \text{ Kg}$

<u>Número de Pernos considerando la cuerda superior:</u>

a) $\theta = 22°$

$$P = \frac{1553}{1 + \left[\frac{1553}{597} - 1\right] \operatorname{sen}^2 22°}$$

$P = 1268 \text{ Kg}$

$$N^{\circ} P. = \frac{1338}{1268} = 1.06 \Rightarrow 2 \text{ pernos}$$

b) $\theta = 68°$

$$P = \frac{1553}{1 + \left[\frac{1553}{597} - 1\right] \operatorname{sen}^2 68°}$$

$P = 650 \text{ Kg}$

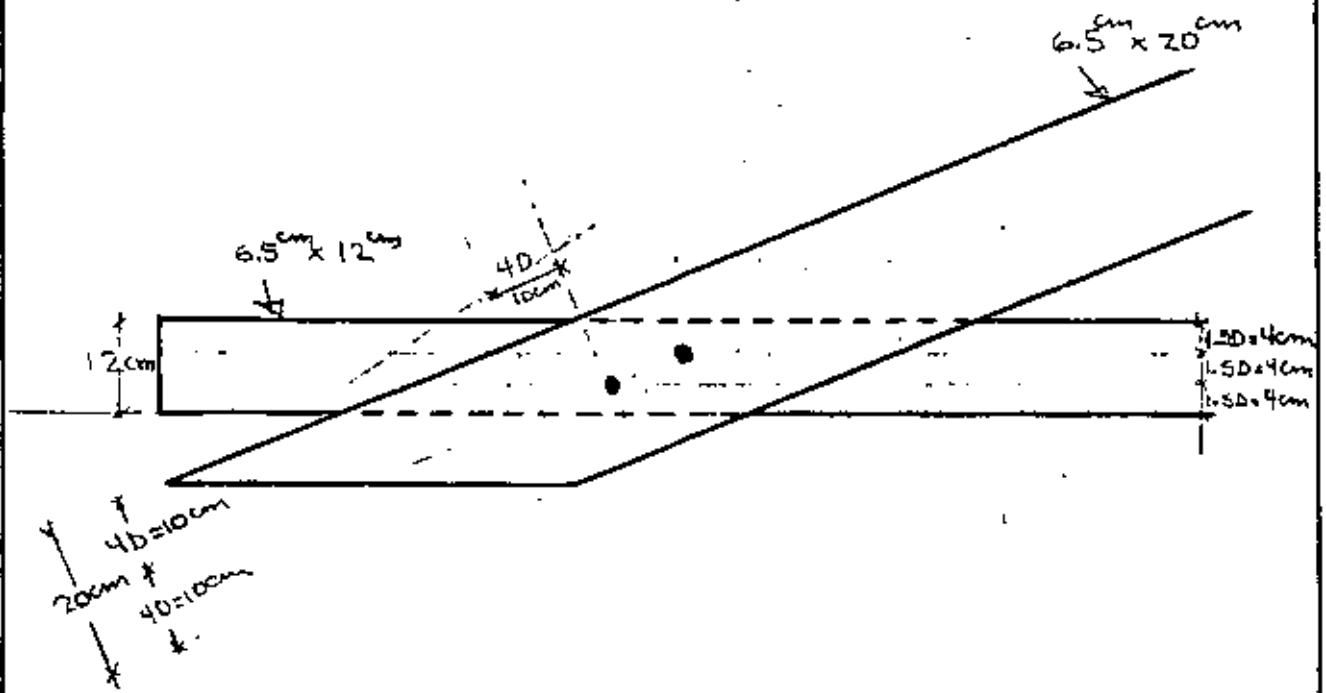
$$N^{\circ} P = \frac{541}{650} = 0.83 \Rightarrow 1 \text{ perno}$$

EJEMPLO (10) CONT.

Pernos para cuerda inferior:

$$N^{o}\ P = \frac{2676}{1553} = 1.72 \Rightarrow 2 \text{ pernos}$$

POSICIÓN DE LOS PERNOS EN LA UNION



## REVISION DE LOS ELEMENTOS POR CARGA AXIAL.

a) Cuerda Superior (1):

La sección crítica es la que pasa por un perno:

$A_{neta} = 6.5 \times 20 - 1 \times 2.70 \times 6.5$

$A_n = 112.45 \text{ cm}^2$

Esfuerzo Actuante.

$f = \frac{1443}{112.45} = 12.85 \text{ Kg/cm}^2 < f_c = 80 \text{ Kg/cm}^2$

b) Cuerda Inferior (2):

$A_n = 6.5 \times 12 - 1 \times 2.7 \times 6.5$

$A_n = 60.45 \text{ cm}^2$

Esfuerzo Actuante.

$f = \frac{1338}{60.45} = 22.13 \text{ Kg/cm}^2 < f_{t_p} = 100 \text{ Kg/cm}^2$

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

# USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES EN LA VIVIENDA

NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS DE MADERA

ING. JOSE OSIO

NOVIEMBRE, 1980.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

## DEFINICIONES Y NOTACION

Contenido de humedad (CH), peso original menos peso anhidro dividido entre peso anhidro y expresado en %

Condición verde (C.V.), cuando el contenido de humedad es superior al 18%

Dimensiones finales, dimensiones del elemento estructural correspondientes a condiciones de trabajo

| | |
|---|---|
| $\gamma$ | Densidad relativa de la muestra con base en su peso anhidro y su volumen a un C.H. mayor del 30% |
| $f_{b_p}$ | esfuerzo permisible en flexión |
| $f_{b_t}$ | esfuerzo permisible en tensión |
| $f_{c_p}$ | esfuerzo permisible en compresión paralela a las fibras |
| $f_{n_p}$ | esfuerzo permisible en compresión normal a las fibras |
| $f_{\theta_p}$ | esfuerzo permisible en compresión inclinada un ángulo $\theta$ con respecto a las fibras |
| $v_p$ | esfuerzo permisible en cortante |
| $E$ | módulo de elasticidad |
| $\delta_p$ | deflexión permisible |
| $f_{b_d}$ | esfuerzo de diseño en flexión |
| $f_{t_d}$ | esfuerzo de diseño en tensión |
| $f_{c_d}$ | esfuerzo de diseño en compresión paralela a las fibras |
| $f_{n_d}$ | esfuerzo de diseño en compresión normal a las fibras |
| $v_d$ | esfuerzo de diseño en cortante |
| $A$ | área final de la sección transversal de elemento |
| $A_n$ | área neta de la sección transversal final del elemento |

| | |
|---|---|
| $b, d$ | dimensiones transversales del elemento |
| $C_f$ | factor de peralte |
| $D$ | diámetro de un elemento de unión, en mm |
| $d_1$ | dimensión mayor efectiva de la sección transversal del elemento, peralte efectivo en el caso de elementos en flexión |
| $e$ | excentricidad de la fuerza normal |
| $K$ | valor que depende de las condiciones de apoyo del elemento en compresión |
| $L$ | claro, longitud libre de pandeo en columnas, longitud entre soportes laterales en vigas |
| $M$ | momento flexionante máximo por cargas normales al eje longitudinal del elemento |
| $N$ | número de elementos de unión |
| $P$ | fuerza normal de compresión |
| $P_1$ | carga lateral permisible de un clavo en una unión de 2 elementos |
| $P_2$ | carga de extracción permisible de un clavo |
| $P_3$ | carga lateral permisible de un tornillo en una unión de 2 elementos |
| $P_4$ | carga de extracción permisible de un tornillo |
| $P_5$ | carga lateral permisible de un perno en una unión de 3 elementos de madera cuyos ejes longitudinales están en la misma dirección |
| $P_6$ | carga lateral permisible de un perno en una unión de 3 elementos de los cuales, los exteriores pueden ser de madera o de acero, y cuyos ejes longitudinales están en dirección normal con respecto al central. |
| $S$ | módulo de sección del elemento |
| $T$ | fuerza de tensión |
| $t$ | espesor del elemento principal (elemento central en una unión de 3 elementos) en mm |
| $V$ | fuerza cortante en la sección considerada |

factor de amplificación debido a deformaciones secundarias

ángulo entre 2 elementos

El diseño de elementos estructurales no cubiertos por estas Normas como madera laminada, elementos en cajón, etc, deberá ser aprobado por el Departamento

1. GENERALIDADES

1.1 Alcance

Estas disposiciones son aplicables a elementos estructurales de madera maciza de cualquier especie, cuya densidad relativa, $\gamma$, sea superior a 0.30.

1.2 Clasificación

La madera deberá estar clasificada de acuerdo con la Norma C 18-46, expedida por la Dirección General de Normas de la Secretaría de Industria y Comercio, o alternativamente de acuerdo con las figuras I y II y las tablas I y II de estas disposiciones.

1.3 Diseño

El diseño estructural se hará sobre la base de esfuerzos permisibles en condiciones de servicio (bajo las cargas nominales especificadas en el Reglamento).

BAJO ACCIONES PERMANENTES

## 2. ESFUERZOS PERMISIBLES Y MODULOS DE ELASTICIDAD PARA CONDICION PERMANENTE DE CARGA

### 2.1 Esfuerzos permisibles para madera clasificada según las Normas DGN C18-1946

Cuando la madera se clasifique como: selecta, de primera, de segunda o de tercera, de acuerdo con la citada norma, los esfuerzos permisibles correspondientes para cualquier especie serán los dados en la tabla 2.1.

TABLA 2.1

ESFUERZOS PERMISIBLES
en kg/cm$^2$; condición verde

| Solicitación | | Selecta | Primera | Segunda | Tercera |
|---|---|---|---|---|---|
| Flexión y Tensión | | 80 | 60 | 30 | 20 |
| Compresión paralela a la fibra | | 70 | 50 | 25 | 17 |
| Compresión perpendicular a la fibra | | 14 | 14 | 9 | 7 |
| Cortante paralelo a la fibra | | 14 | 14 | 7 | 5 |
| Módulos de elasticidad (x $10^3$) | medio | 70 | 70 | 70 | 70 |
| | mínimo | 40 | 40 | 40 | 40 |

Cuando se use madera estructural en forma permanente, no se empleará con calidad inferior a la segunda.

## 2.2 Esfuerzos permisibles para madera clasificada estructuralmente en forma visual

### 2.2.1 Esfuerzos permisibles para todas las especies

Los esfuerzos permisibles para madera clasificada como V-75, V-65, V-50 ó V-40, considerando la localización y las dimensiones máximas de los defectos de la madera de acuerdo a las figuras I y II con las tablas I y II, serán los dados en la tabla 2.2.

TABLA 2.2

ESFUERZOS PERMISIBLES
en kg/cm$^2$; Condición verde

| Solicitación | | V-75 | V-65 | V-50 | V-40 |
|---|---|---|---|---|---|
| Flexión y Tensión | | 80 | 70 | 50 | 40 |
| Compresión paralela a la fibra | | 60 | 50 | 40 | 30 |
| Compresión perpendicular a la fibra | | 12 | 12 | 11 | 11 |
| Cortante paralelo a la fibra | | 11 | 9 | 7 | 6 |
| Módulos de elasticidad ($\times 10^3$) | medio | 70 | 70 | 70 | 70 |
| | mínimo | 40 | 40 | 40 | 40 |

Se podrán usar valores diferentes a los dados en la tabla 2.2 siempre y cuando se demuestre a satisfacción del Departamento del Distrito Federal que dichos valores satisfacen los requisitos de seguridad implícitos en esta Norma.

## 3. CONDICIONES DE SERVICIO

### 3.1 Contenido de humedad

De tratarse de elementos estructurales con un C.H. menor del 18% los esfuerzos permisibles se obtendrán incrementando los dados anteriormente para elementos en condición verde en los siguientes porcentajes: 10% para flexión y tensión, 20% para compresión paralela a la fibra y 50% para compresión normal a la fibra. El módulo de elasticidad se podrá incrementar 10%.

Cuando el elemento estructural se instale en condición verde cambiando en servicio a un C.H. menor del 18% o viceversa, se diseñará basándose en esfuerzos y dimensiones finales de acuerdo con el contenido de humedad que tendrá en servicio y considerando el valor mínimo del módulo de elasticidad en condición verde.

Los elementos con dimensiones transversales mayores de 15 cm x 15 cm se diseñarán usando esfuerzos y dimensiones finales para la madera en condición verde.

3.2 Duración de carga

Para otras condiciones de carga se podrán incrementar los esfuerzos permisibles en los siguientes porcentajes: para carga viva 15%, para nieve o granizo 25%, para viento y sismo 50% y para impacto 100%.

No se incrementarán los módulos de elasticidad debido a esta condición de servicio.

3.3 Redistribución de carga en pisos y techos

En sistemas constructivos en los cuales el espaciamiento máximo de los elementos que soportan en conjunto las cargas verticales sea de 60 cm, se permitirá incrementar en 20% los esfuerzos permisibles especificados y emplear el valor medio del módulo de elasticidad.

Los sistemas de piso y techo se considerarán integrados por vigas y cubierta. Para el diseño de la cubierta no será necesario considerar una carga viva de diseño, $w_m$ superior a la que corresponde a un área tributaria de 25 $m^2$ (véase Capítulo XXXVI del Reglamento).

Para las vigas, el área tributaria A, por considerarse en la obtención de las cargas vivas nominales unitarias especificadas en el Capítulo XXXVI del Reglamento, será:

a) 10 veces el área tributaria del elemento cuando el valor de "a" sea menor o igual que 0.1

b) 5 veces el área tributaria del elemento cuando el valor "a" sea mayor de 0.1 y menor o igual que 1.0

c) 2 veces el área tributaria del elemento cuando el valor "a" sea mayor de 1.0

El valor de "a" se determinará como sigue:

$$a = \left[ \frac{s^3}{L^3} \cdot \frac{E_v \quad I_v}{E_c \quad I_c} \right]$$

en que: $L$ claro

$a$ relación de la rigidez de la cubierta a la de las vigas

$s$ espaciamiento entre elementos de soporte (centro a centro)

$E_v I_v$ rigidez de cada unidad de soporte

$E_c$ Módulo de elasticidad de la cubierta en sentido normal a la dirección de las vigas

$I_c$ $\frac{bt^3}{12}$

en donde:

$I_c$ momento de inercia de la cubierta

$b$ dimensión de la cubierta en dirección de los elementos de soporte

$t$ espesor de la cubierta

El área tributaria A no podrá ser mayor que el área total de la cubierta.

3.4 Impregnación por presión y/o temperatura

Los esfuerzos permisibles, en condición verde, quedarán reducidos en un 10% cuando la madera sea sometida a tratamiento por presión y/o temperatura.

## 4. DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

### 4.1 Aspectos generales

I Las fórmulas especificadas en este artículo se refieren a elementos de sección transversal constante, cuadrada o rectangular, a menos que se especifique otra geometría.

II Se clasificarán los elementos estructurales en macizos, compuestos y espaciados.

a) Elementos macizos son aquellos constituidos de una sola pieza

b) Elementos compuestos son aquellos constituidos por varias piezas cuyos ejes longitudinales están dispuestos paralelamente y conectados mediante elementos de unión. Ver figura III.

c) Elementos espaciados son los constituidos por dos o más piezas macizas separadas por bloques de madera.

### 4.2. Flexión y Compresión paralela al grano

a) Se revisará que en la sección crítica de una pieza maciza se cumpla:

$$\frac{\frac{P}{A_n}}{f_{c_d}} + \frac{\frac{M}{S} + \frac{P}{A_n} \cdot \frac{6e\,B}{d_e}}{f_{b_d} \cdot C_f} \leq 1 \qquad (4.1)$$

1a

en donde

$$f_{c_d} = \frac{0.30E}{(K\,L/b)^2} \leq f_{c_p} \qquad (4.2)$$

$KL/b$ relación máxima de esbeltez

$\beta = 1$ cuando $kL/b \leq \sqrt{0.3E/f_{c_p}}$

$\beta = 1.25$ cuando $kL/b > \sqrt{0.3E/f_{c_p}}$

$K$ valor que depende de las condiciones de apoyo en los extremos del elemento. Dado en la tabla 4.1

$e$ excentricidad de la carga $P$; $e_{min} = 0.1b$

$d_o$ dimensión de la sección transversal en dirección de la excentricidad $e$.

$$C_f = 0.81\,\frac{d^2 + 922}{d^2 + 568}\,;\ d \text{ en cm},\quad C_f = 1 \text{ para } d \leq 30 \text{ cm}$$

$$f_{b_d} = f_{b_p},\ \text{cuando } C_s \leq 10;\ C_s = 1.4\sqrt{\frac{d.L}{b^2}}$$

$$f_{b_d} = f_{b_p}\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{C_s}{C_k}\right)^4\right],\ \text{cuando } 10 < C_s \leq C_k = \sqrt{\frac{3}{5}\,\frac{E}{f_{b_p}}}$$

$$f_{b_d} = \frac{0.40\,E}{C_s^2},\ \text{cuando } C_k < C_s \leq 50$$

T A B L A 4.1

Valores de K

| condiciones de apoyo en los extremos del elemento | K |
|---|---|
| los dos fijos, sin desplazamiento lateral | 0.65 |
| uno fijo y un articulado, sin desplazamiento lateral | 0.80 |
| los dos fijos, con desplazamiento lateral | 1.20 |
| los dos articulados, sin desplazamiento lateral | 1.00 |
| uno fijo y otro libre | 2.00 |

Las piezas macizas sujetas sólo a flexión o a compresión, se diseñarán de acuerdo con la fórmula general anterior, considerando los términos que correspondan en cada caso.

b) La capacidad en flexo-compresión de un elemento compuesto es igual a la de un elemento macizo de igual sección transversal multiplicada por el factor correspondiente dado en la tabla 4.2.

T A B L A 4.2

| l/b | factor |
|---|---|
| 2 | 0.88 |
| 6 | 0.82 |
| 10 | 0.77 |
| 14 | 0.71 |
| 18 | 0.65 |
| 22 | 0.74 |
| 26 | 0.82 |
| 30 | 0.91 |
| 34 | 0.99 |

[illegible]

Los detalles constructivos se dan en la figura III

c) Los elementos espaciados sujetos a compresión axial y flexión en la dirección de la mayor dimensión de las piezas componentes, se diseñarán conforme a la fórmula 4.1. El valor de $f_{c_d}$ será el menor de los siguientes:

1. El dado por la fórmula 4.2, donde L es la distancia entre separadores, b el espesor de una de las hojas y K=1.
2. El dado por la fórmula 4.2 considerando la posibilidad de pandeo de la sección espaciada alrededor del eje x - x. En este caso b será igual a la dimensión de la sección de la sección transversal medida paralelamente al eje y - y y L será la longitud total de la columna.
3. El dado por la fórmula 4.2 considerando la posibilidad de pandeo de la sección espaciada alrededor del eje y - y. En este caso b será la dimensión total de la sección transversal medida paralelamente al eje x - x y L será la longitud total de la columna multiplicada por los factores de la tabla 4.3

Para los casos 2 y 3, K se tomará de la tabla 4.1

TABLA 4.3

| elementos de unión \ a/b | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| clavos | 2.6 | 3.1 | 3.5 |
| tornillos o pernos | 2.4 | 2.8 | 3.1 |
| conectores | 1.8 | 2.2 | 2.4 |

La longitud de los separadores estará en función del número de elementos de unión y espaciamiento mínimos entre éstos. El número de elementos de unión en los extremos será tal que transmitan una fuerza cortante entre caras de contacto de las piezas y los separadores igual a:

$$V = \frac{1.5 \times \text{fuerza total de compresión}}{\text{número de piezas macizas componentes (sin separadores)}} \qquad (4.3)$$

Además, la longitud de los separadores extremos no será menor de 6 veces el espesor de una de las piezas.

El número de separadores intermedios será tal que la máxima relación de la distancia entre centros de gravedad de grupos de elementos de unión al espesor de una pieza componente sea menor o igual a 20. Ver figura IV.

El número de elementos de unión en los separadores intermedios será la cuarta parte del correspondiente en los separadores extremos.

d) La capacidad de un elemento macizo de sección circular se considerará igual a la de un elemento de sección cuadrada de igual área transversal. Si el elemento es troncónico se considerará, para fines de estabilidad, las características geométricas de la sección transversal situada a un tercio de la longitud desde el extremo reducido. Se revisará que el esfuerzo de compresión actuante en el extremo reducido no exceda al permisible.

4.3 Flexión y tensión paralela a las fibras

Se revisará que en la sección crítica de un elemento macizo, compuesto o espaciado, este último con el plano de flexión paralelo a las caras de mayor dimensión, se cumplan las expresiones (4.4) y (4.5).

$$\frac{\frac{T}{A_n}}{f_{t_p}} + \frac{\frac{M}{S}}{f_{b_p} \cdot C_f} \leq 1 \qquad (4.4)$$

$$\frac{\frac{M}{S}}{f_{b_d} \cdot C_f} - \frac{\frac{T}{A_n}}{f_{t_p}} \leq 1 \qquad (4.5)$$

Las piezas sólidas compuestas o espaciadas sujetas sólo a tensión, se diseñarán de acuerdo con la fórmula 4.4, considerando los términos que correspondan.

## 4.4 Cortante paralelo a las fibras

Se revisará que en la sección a un peralte del apoyo, del elemento estructural sometido a flexión, se cumpla:

$$\frac{3}{2} \cdot \frac{V}{A} \leq v_p \qquad (4.6)$$

Además, en elementos a flexión con rebajos en su parte inferior y en contacto con el apoyo, el esfuerzo cortante horizontal determinado de la siguiente manera no será mayor que el esfuerzo cortante permisible:

$$\frac{3V}{2bd_1} \cdot \frac{d}{d_1} \leq v_p \qquad (4.7)$$

en donde $d_1$ = peralte rebajado

## 4.5 Compresión perpendicular a las fibras

En situaciones en que la madera esté sometida a este tipo de esfuerzo, se revisará que el esfuerzo actuante no sobrepase el esfuerzo permisible.

En el caso de apoyos de menos de 15 cm de largo localizados a más de 8 cm del extremo del elemento, se permitirá incrementar el esfuerzo permisible de acuerdo con la tabla 4.4.

TABLA 4.4

| longitud de apoyo (cm) | incremento % |
|---|---|
| 1.5 | 75 |
| 2.5 | 38 |
| 4.0 | 25 |
| 5.0 | 19 |
| 8.0 | 13 |
| 10.0 | 10 |
| 15.0 | 00 |

4.6 Compresión en dirección inclinada con respecto a las fibras

El esfuerzo permisible en compresión a un ángulo θ con la dirección de las fibras, está dado por

$$f_{\theta_p} = \frac{f_{c_p}}{1 + \left( \frac{f_{c_p}}{f_{n_p}} - 1 \right) \operatorname{sen}^2\theta} \qquad (4.8)$$

4.7 Deflexiones

La obtención del valor de la flecha se hará empleando las fórmulas usuales de resistencia de materiales.

En la sección 3 se dan los ajustes a E por consideraciones de servicio.

## 5. UNIONES

### 5.1 Aspectos generales

1) Elementos de unión

Los elementos de unión a considerar serán clavos, tornillos (~~incluyen-do pijas~~) pernos y conectores.

2) Capacidad de un elemento de unión ante carga permanente acciones

Las distancias entre elementos de unión adyacentes, de éstos a los extremos y a los bordes de los miembros por unir, serán como mínimo las dadas en el inciso correspondiente.

3) Capacidad de carga de un grupo de elementos de unión

Será la suma de las capacidades de carga de las unidades que forman el grupo.

Las capacidades de carga dadas posteriormente en esta sección serán aplicables siempre y cuando las

Otras condiciones de carga

Para otras condiciones de carga se podrán incrementar las capacidades de carga de acuerdo con la siguiente tabla.

TABLA 5.1

Incrementos a las capacidades de carga permisibles (%)

| condición de carga / tipo de conector | carga viva | nieve o granizo | viento o sismo | impacto |
|---|---|---|---|---|
| pernos con $t/D \geq 6$, clavos y tornillos | 8 | 13 | 25 | 50 |
| pernos con $t/D < 6$ y anillos conectores | 15 | 25 | 50 | 100 |

5) Contenido de humedad

Los cargas permisibles dadas posteriormente son aplicables a uniones con un contenido de humedad superior al 18% o a uniones que quedarán expuestas a la intemperie, a menos que se especifique otra cosa

Para uniones hechas en madera con un contenido de humedad menor al 18% y que permanecerán durante servicio con el mismo contenido de humedad aproximadamente, las cargas permisibles podrán incrementarse un 40%.

La carga lateral permisible para uniones (usando elementos de unión múltiples) hechas con madera en C.V. que en servicio quedará con un C.H. menor del 18%, en que los elementos componentes están a un ángulo $\theta$ ($45 \leq \theta \leq 90°$) entre

sí, se obtendrá de multiplicar la dada para el tipo de unión en consideración por 0.7. En caso de usarse placas metálicas que restrinjan las contracciones de la madera en dirección normal a las fibras, debido al secado en servicio, se aplicará el mismo factor.

## 5.2 Uniones clavadas

### 5.2.1 Aspectos generales

1) Tipos de clavos

En este artículo se tratarán los clavos comunes fabricados con alambre de acero (alambre pulido).

2) Protección contra la corrosión

En uniones expuestas a la intemperie se deberán usar clavos protegidos contra la corrosión (galvanizados, etc).

### 5.2.2 Carga lateral permisible

La capacidad de carga en kg de una unión de dos miembros de madera en cortante simple hecha con un clavo hincado perpendicularmente a las fibras, está dada por la siguiente expresión

$$P_1 = 10\ \gamma\ D^{1.5} \qquad (5.1)$$

De no poder determinarse el valor de $\gamma$, úsese $\gamma = 0.4$

Para que la capacidad dada por la expresión anterior sea válida, la penetración de la punta del clavo en el miembro que la reciba debe ser cuando menos 14 veces el diámetro del clavo, y el miembro en contacto con la cabeza deberá tener cuando menos un espesor de 10 veces el diámetro del clavo, además deberán darse los siguientes espaciamientos mínimos:

10 VI 76

a) Cuando la fuerza actúa en la dirección de las fibras:

10 D) 5D entre hileras de clavos

5D de los bordes

20D de los extremos

20D entre clavos a lo largo de las fibras

b) Cuando la fuerza actúa normal a la dirección de las fibras:

10D entre hileras de clavos

NO 5D del borde no cargado

10D del borde cargado

20D entre clavos a lo largo de las fibras

Cuando la penetración de la punta o el espesor del miembro en contacto con la cabeza sean menores que los especificados, la capacidad de carga se reducirá proporcionalmente.

Cuando los clavos se introduzcan en agujeros taladrados, los espaciamientos se podrán reducir a los valores correspondientes dados para tornillos. El diámetro de los agujeros no será mayor de 90% del de los clavos.

Cuando dos miembros de madera se unen con una placa metálica las cargas permisibles dadas anteriormente podrán incrementarse en un 25%.

La carga lateral permisible para clavos hincados en el extremo de un miembro, paralelamente a las fibras, será el 60% de la correspondiente a la de los hincados normalmente a éstos.

En uniones con más de un plano de cortante (3 o más elementos), su capacidad estará dada por el producto de la capacidad de una unión sencilla multiplicada por 0.9n, en que n es el número de planos de cortante. Cada uno de los miembros tendrá un espesor no menor de las dos terceras partes del especificado para el miembro que recibe la punta en una unión sencilla.

### 5.2.3 Carga permisible a la extracción

Los clavos sujetos a cargas de extracción tendrán una capacidad en kg por centímetro de penetración en la pieza que contenga la punta de:

$$P_2 = 11\,\gamma^{5/2}\,D \qquad (5.2)$$

De no poder determinarse el valor de $\gamma$, úsese $\gamma = 0.4$

Estas cargas permisibles son aplicables a uniones hechas con madera seca o en condición verde que no sufra cambios de humedad.

No se permitirá el empleo de clavos hincados paralelamente a las fibras sujetos a carga de extracción.

En caso de usarse clavos cuya caña no sea lisa, su capacidad a la extracción se determinará mediante pruebas.

Los espaciamientos mínimos para los clavos serán los correspondientes al caso de carga lateral cuando la fuerza actúa en dirección de las fibras.

## 5.3 Uniones con tornillos para madera

### 5.3.1 Aspectos generales

1) Las cargas permisibles dadas a continuación se aplicarán a tornillos de acero para madera, de cabeza plana, ovalada o redonda.

2) Los diámetros a ser usados en las expresiones de capacidad de carga serán los que correspondan a la caña lisa.

3) Los agujeros para recibir los tornillos tendrán los siguientes diámetros: el de la caña lisa para recibir a ésta y las 2/3 partes del de la caña lisa, como máximo, para recibir la parte roscada.

5.3.2 Carga lateral permisible

En uniones con un sólo plano de cortante, en las que el tornillo sea insertado perpendicularmente a las fibras, la capacidad de carga en kg, esta dada por:

$$P_3 = 3.75\ \gamma\ D^2 \ldots \qquad (5.3)$$

De no poder determinarse el valor de $\gamma$, úsese $\gamma = 0.4$

Estas capacidades de carga serán aplicables cuando los tornillos sean insertados mediante rotación en agujeros hechos previamente, la penetración del tornillo en el miembro que recibe la punta sea igual a 7 veces el diámetro de la caña lisa y los espaciamientos mínimos de los tornillos sean los siguientes:

1) Cuando la fuerza actúa en la dirección de las fibras:

3D entre hileras de tornillos

5D de los bordes

10D entre tornillos adyacentes en la dirección de las fibras

10D de los extremos

2) Cuando la fuerza actúa normal a la dirección de las fibras:

NO

5D entre hileras de tornillos

5D del borde no cargado

10D del borde cargado

10 D entre tornillos adyacentes en la dirección de las fibras.

Para tornillos insertados a una menor distancia en el miembro que recibe la punta, insertados paralelamente a las fibras, utilizados en uniones con placas metálicas y, en uniones con más de un plano de cortante, la capacidad de carga se modificará siguiendo los mismos criterios que se establecieron para los clavos.

5.3.3 Carga permisible a la extracción

Los tornillos sujetos a cargas de extracción tendrán una capacidad en kg por centímetro de penetración de la caña roscada en la pieza que contenga la punta de:

$$P_{\ell} = 15\ \gamma^{2} D \qquad (5.4)$$

De no poder determinarse el valor de $\gamma$, úsese $\gamma = 0.4$

Esta expresión será válida cuando los espaciamientos mínimos para los tornillos sean los correspondientes al caso de carga lateral, la fuerza sea paralela con las fibras y la resistencia del tornillo a la tensión no se sobrepase.

La capacidad a la extracción de un tornillo insertado paralelamente a las fibras será el 75% de la correspondiente al insertado perpendicularmente a ellas. La distancia entre tornillos no será menor de 10D.

5.4 Uniones con pernos

5.4.1 Aspectos generales

1) Las disposiciones siguientes se aplicarán a pernos de acero. Se usarán tuercas y roldanas para completar la unión.

2) Los diámetros de los agujeros no excederán en más de 1.6 mm a los de los pernos.

5.4.2 Carga lateral permisible para uniones con un perno

5.4.2.1 Uniones en que los ejes longitudinales de los elementos por unir son colineales

o paralelos.

Se presentan los siguientes casos:

1.- Caso base. Es una unión de tres piezas, en que las exteriores tienen por lo menos la mitad del espesor de la pieza principal (pieza central); su capacidad en kg está dada por

$$P_5 = 1.12\,\gamma \cdot k_1 \cdot D \cdot t \qquad (5.5)$$

En caso de no determinarse el valor de $\gamma$, úsese $\gamma = 0.4$

$k_1$ se da en la tabla 5.2, en función de t/D

t es el espesor de la pieza principal

TABLA 5.2

Valores de $k_1$

| t/D | $k_1$ |
|---|---|
| 1 | 1.00 |
| 2 | 1.00 |
| 3 | 1.00 |
| 4 | 0.97 |
| 5 | 0.88 |
| 6 | 0.76 |
| 7 | 0.65 |
| 8 | 0.57 |
| 9 | 0.51 |
| 10 | 0.46 |
| 11 | 0.41 |
| 12 | 0.38 |
| 13 | 0.35 |

II.- En una unión de 3 piezas en que las piezas exteriores tengan un espesor menor de la mitad del de la pieza principal, la capacidad de carga estará dada por la del caso base en que t se tome como dos veces el espesor menor.

III. En una unión de 3 piezas en que las piezas exteriores sean de acero, la capacidad de carga estará dada por la del caso base incrementada en un 25% siempre y cuando no se sobrepasen los esfuerzos permisibles en las piezas de acero.

IV. En una unión de dos piezas, la capacidad de carga será la mitad de la del caso base, considerado t como dos veces el espesor de la pieza más delgada.

V. En una unión de más de 3 piezas de madera, la capacidad de carga será la suma de las capacidades de carga de la uniones componentes con un solo plano de cortante, resultantes de considerar las piezas intermedias divididas, cada una, a la mitad.

5.4.2.2 Uniones en que los ejes longitudinales de las piezas por unir están en 2 direcciones normales entre sí.

Caso Como base. Es una unión de 3 piezas, con las exteriores de acero o de madera con espesores de por lo menos la mitad del de la pieza principal, su capacidad de carga en kg está dada por

$$P_6 = 0.35\gamma \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot D \cdot t$$

En caso de no determinarse el valor de $\gamma$, úsese $\gamma = 0.4$

$k_2$ y $k_3$ se dan en la tabla 5.3, en función de t/D y D respectivamente:

TABLA 5.3

Valores de $k_2$ y $k_3$

| t/D | $k_2$ | Dnm (pulgadas) | $k_3$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 1.00 | 6.4 (1/4) | 2.50 |
| 2 | 1.00 | 9.5 (3/8) | 1.95 |
| 3 | 1.00 | 12.7 (1/2) | 1.68 |
| 4 | 1.00 | 15.01 (5/8) | 1.52 |
| 5 | 1.00 | 19.1 (3/4) | 1.41 |
| 6 | 1.00 | 1.00 (7/8) | 1.33 |
| 7 | 1.00 | 15.4 (1) | 1.27 |
| 8 | 0.96 | 31.8 ( 1 1/4) | 1.19 |
| 9 | 0.86 | 38.1 (1 1/2) | 1.14 |
| 10 | 0.76 | 44.5 (1 3/4) | 1.10 |
| 11 | 0.68 | 5.08 ( 2 ) | 1.07 |
| 12 | 0.61 | 59.2 (2 1/3) | 1.03 |
| 13 | 0.55 | 76.2 (3) y mayores | 1.00 |

Para otros casos, se calcularán las cargas permisibles de acuerdo con el artículo anterior y considerando el caso base de este artículo.

5.4.2.3 Uniones en que los ejes longitudinales de las piezas por unir forman un ángulo ( θ ) entre sí.

La capacidad de carga de estas uniones se calculará usando la fórmula siguiente, en función de las capacidades de carga de dicha unión para $\theta = 0°$ y

$\theta = 90°$, así como del ángulo $\theta$.

$$P_\theta = \frac{P_0}{1+\left(\frac{P_{90}}{P_0} - 1\right)\operatorname{sen}^2\theta}$$

$P_0/P_{90}$ :

Los espaciamientos mínimos para uniones con pernos son los siguientes:

I Cuando las fuerzas actúan en la dirección de las fibras:

4D entre pernos adyacentes en la dirección de las fibras

1.5D entre hileras de pernos

7D del extremo cargado

4D del extremo no cargado

1.5D de los bordes

II Cuando las fuerzas actúan normales a la dirección de las fibras

4D entre pernos adyacentes en la dirección de las fibras

4D de los extremos

4D del borde cargado

1.5D del borde no cargado

5D entre hileras de pernos para $t/D > 6$

2.5D entre hileras de pernos para $t/D = 2$

Se interpolará entre los dos últimos valores para $2 < t/D \leq 6$

## 5.5 Conectores

### 5.5.1 Generalidades

1. Definición

Los conectores para madera son elementos de unión que se colocan entre las caras de contacto de los elementos por unir.

II. Tipos de conectores

Los anillos abiertos son los únicos conectores que se tratarán aquí.

5.5.2 Anillos abiertos

Los anillos abiertos son de acero de bajo carbón forjado-ver fig V.

Se usarán pernos, tuercas y roldanas para impedir que se separen las superficies en contacto.

5.5.2.1 Fabricación

Se fabricarán de acuerdo con las Especificaciones SCOP 101-51 grado C-1015 o su equivalente y con los datos de la figura V.

5.5.2.2 Cargas permisibles

Las cargas permisibles en kg, por anillo, serán las dadas en la tabla 5.4.

TABLA 5.4

Cargas permisibles para anillos abiertos

| Diámetro interior del anillo cm (pulgadas) | espesor del elemento cm (pulgadas) | | capacidad de carga paralela a las fibras (kg) | capacidad de carga paralela a las fibras (kg) |
|---|---|---|---|---|
| | elemento con anillo en una cara | elemento con anillo en las dos caras | | |
| 6.35 (2 1/2) | 2.2 (7/8) | 3.5 (1 3/8) | 445 | 302 |
| | 2.5 ( 1 ) | 4.1 (1 5/8) | 557 | 382 |
| | — | 4.8 (1 7/8) | 620 | 430 |
| perno 1.27 (1/2) | 2.9 (1 1/8) o mayor | 5.1 ( 2 ) o mayor | 669 | 461 |
| 10.16 ( 4) | 2.9 (1 1/8) | 4.1 (1 5/8) | 891 | 620 |
| | — | 4.8 (1 7/8) | 986 | 684 |
| perno 1.91 (3/4) | 3.2 (1 1/4) | 5.1 ( 2) | 1018 | 716 |
| | 3.8 (1 1/2) | 6.7 (2 5/8) | 1241 | 859 |
| | 4.1 (1 5/8) | 7.6 ( 3 ) | 1273 | 891 |
| | o mayor | o mayor | | |

Nota:

c) Para otros espesores interpólese

Estas capacidades se multiplicarán por el factor $k_4$ dado en la tabla 5.5 para considerar el efecto de las distancias entre los anillos, a los extremos y a los bordes de los elementos que forman la unión.

TABLA 5.5

Factor $k_4$

| Tamaño del anillo cm (pulgadas) | $S_1$ | $S_2$ | $S_3$ | $S_4$ | $S_5$ | $S_6$ | $k_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | cm (pulgadas) | | | | | | |
| 6.35(2 1/2) | 17 (6 3/4) | 10 ( 4 ) | 14(5 1/2) | 5(1 3/4) | 9(3 1/2) | 7(2 3/4) | 1.00 |
| | | | | | | 5(1 3/4) | 0.83 |
| | 9(3 1/2) | | | | | | 0.75 |
| | | 6(2 1/2) | 7(2 3/4) | | | | 0.62 |
| 10.16 ( 4 ) | 23 ( 9 ) | 14(5 1/2) | 18 ( 7 ) | 7(2 3/4) | 13 ( 5 ) | 10(3 3/4) | 1.00 |
| | 13 ( 5 ) | | | | | 7(2 3/4) | 0.83 |
| | | | | | | | 0.75 |
| | | 8(3 1/4) | 9(3 1/2) | | | | 0.62 |

Nota: Para valores intermedios de espaciamientos, interpólese.

Definiciones.

$S_1$ distancia entre centros de anillos a lo largo de las fibras cuando la fuerza actúa paralela a las fibras.

$S_2$ distancia del centro del anillo extremo al extremo no cargado del elemento

$S_3$ distancia del centro del anillo extremo al extremo cargado del elemento

$S_4$ distancia del centro de un anillo al borde no cargado del elemento

$S_5$ distancia entre centros de anillos a lo largo de las fibras cuando la fuerza actúa normal a éstas, distancia entre centros de anillos normal a las fibras cuando la fuerza actúa paralela a las fibras

$S_6$ distancia del centro de un anillo al borde cargado del elemento.

5.5.2.3 Cargas permisibles cuando la fuerza actúa inclinada con respecto a la dirección de las fibras

La capacidad de carga para este caso se calculará usando la siguiente fórmula, en función de las capacidades de carga para $\theta = 0°$, $\theta = 90°$, así como del ángulo $\theta$

$$P_\theta = \frac{P_0}{1 + \left(\frac{P_{90}}{P_0} - 1\right) \operatorname{sen}^2 \theta}$$

$\frac{P_0}{P_{90}}$

## 7. EJECUCION DE OBRAS

### 7.1 Generalidades

Cuando la madera se use como elemento estructural permanente, deberá estar exenta de daños causados por agentes biológicos. Se podrán usar maderas selectas, de primera y de segunda clase o maderas con calidades equivalentes.

Cuando la madera se use como elemento estructural temporal podrá tener zonas aisladas afectadas biológicamente, siempre y cuando el daño pueda cuantificarse y se le considere en el diseño estructural. Se podrá usar madera hasta de tercera calidad o su equivalente.

### 7.2 Normas de calidad

La calidad de la madera se regirá por las tablas I y II correspondientes al inciso 2.2 o por la Norma DGN C18-1946.

7.3 Montaje

El montaje se hará de acuerdo con las recomendaciones del diseñador.

7.4 Contenido de humedad

Si por alguna razón la madera se humedece durante la construcción, el sellado de la estructura no se realizará antes que el contenido de humedad haya disminuido aproximadamente al valor que se consideró en el diseño.

7.5 Protección a la madera

Se cuidará que la madera esté debidamente protegida contra cambios de humedad, insectos, fuego, etc. Podrá protegérsela ya sea por medio de tratamientos químicos y/o recubrimientos apropiados.

La madera que vaya a quedar en contacto con el suelo, deberá ser protegida especialmente.

Deberán seguirse las indicaciones del fabricante de los productos protectores de la madera para garantizar su eficiencia.

No será necesario proteger obras temporales de madera cuya duración no exceda de 2 meses.

Cuando la madera haya sido tratada químicamente antes de la ejecución de la obra, cualquier corte realizado durante ésta deberá tratarse con productos químicos que den una protección equivalente a la del resto de la estructura.

7.6 Tolerancias

Las dimensiones de la sección transversal de un miembro no serán menores que las de proyecto en más de cinco por ciento.

# TABLA 1.

| Dimensiones máximas para nudos | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancho nominal de la cara del elemento | | calidad estructural | | | | | | | | |
| | | V-25 | | | V-45 | | | V-50 | | |
| | | Nudos en el centro del tercio medio de un elemento en flexión | Nudos en la zona central de un elemento en flexión o en cualquier cara de un elemento en compresión | Nudos en los extremos y en las zonas de borde del tercio medio de un elemento en flexión o en cualquier cara de un elemento en tensión | Nudos en el centro del tercio medio de un elemento en flexión | Nudos en la zona central de un elemento en flexión o en cualquier cara de un elemento en compresión | Nudos en los extremos y en las zonas de borde del tercio medio de un elemento en flexión o en cualquier cara de un elemento en tensión | Nudos en el centro del tercio medio de un elemento en flexión | Nudos en la zona central de un elemento en flexión o en cualquier cara de un elemento en compresión | Nudos en los extremos y en las zonas de borde del tercio medio de un elemento en flexión o en cualquier cara de un elemento en tensión |
| mm | pulg | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 25.4 | 1 | 6 | 4 | — | 10 | 10 | 3 | 13 | 13 | 3 |
| 38.1 | 1-1/2 | 10 | 10 | — | 13 | 13 | 6 | 19 | 16 | 10 |
| 50.8 | 2 | 13 | 13 | 3 | 19 | 19 | 10 | 25 | 22 | 13 |
| 63.5 | 2-1/2 | 16 | 16 | 6 | 22 | 22 | 13 | 32 | 29 | 19 |
| 76.2 | 3 | 19 | 19 | 10 | 27 | 25 | 16 | 38 | 32 | 22 |
| 101.6 | 4 | 25 | 25 | 13 | 35 | 35 | 19 | 51 | 44 | 29 |
| 127.0 | 5 | 32 | 32 | 16 | 46 | 44 | 25 | 64 | 57 | 38 |
| 152.4 | 6 | 38 | 38 | 19 | 57 | 51 | 29 | 76 | 67 | 44 |
| 177.8 | 7 | 41 | 44 | 22 | 60 | 60 | 32 | 83 | 76 | 51 |
| 203.2 | 8 | 44 | 51 | 29 | 67 | 67 | 35 | 89 | 86 | 65 |
| 228.6 | 9 | 48 | 54 | 32 | 70 | 73 | 44 | 92 | 92 | 67 |
| 254.0 | 10 | 51 | 60 | 35 | 76 | 79 | 51 | 99 | 102 | 76 |
| 279.4 | 11 | 52 | 64 | 38 | 76 | 86 | 54 | 102 | 108 | 83 |
| 304.8 | 12 | 54 | 70 | 41 | 79 | 92 | 60 | 105 | 114 | 89 |

Notas

1.- La calidad estructural V-100 correspondería a la madera sin defectos.

2.- No se permitirá la presencia de dos o más nudos de dimensión máxima en un mismo tramo de 152 mm además, la suma de las dimensiones de todos los nudos, para el mismo tramo, no excederá dos veces la dimensión máxima para la cara de que se trata. Para elementos simplemente apoyados, sujetos a flexión, las dimensiones máximas para nudos en el canto, o en el borde, fuera del tercio medio, podrán incrementarse hasta un 100% en los extremos. Para posiciones intermedias, el incremento será proporcional.

Se sustituyen las otras tablas [illegible]

TABLA 1. cont

| Dimensiones máximas para nudos | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Ancho nominal de la cara del elemento | | Calidad estructural | | |
| | | V-40 | | |
| | | Nudos en el canto dentro del tercio medio de un elemento en flexión | Nudos en la zona central de un elemento en flexión o en cualquier cara de un elemento en compresión | Nudos en las aristas y en las zonas de borde, dentro del tercio medio de un elemento en flexión o en cualquier cara de un elemento en tensión |
| mm | pulg | mm | mm | mm |
| 25.4 | 1 | 15 | 16 | 10 |
| 38.1 | 1-1/2 | 22 | 19 | 13 |
| 50.8 | 2 | 32 | 25 | 15 |
| 63.5 | 2-1/2 | 38 | 32 | 22 |
| 76.2 | 3 | 44 | 38 | 25 |
| 101.6 | 4 | 57 | 51 | 32 |
| 127.0 | 5 | 70 | 64 | 41 |
| 152.4 | 6 | 83 | 76 | 48 |
| 177.8 | 7 | 89 | 83 | 54 |
| 203.2 | 8 | 95 | 95 | 54 |
| 228.6 | 9 | 99 | 102 | 70 |
| 254.0 | 10 | 102 | 109 | 79 |
| 279.4 | 11 | 105 | 108 | 85 |
| 304.8 | 12 | 111 | 121 | 92 |

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

| TIPO DE DEFECTO | CALIDAD V-75 | CALIDAD V-65 | CALIDAD V-50 | CALIDAD V-40 |
|---|---|---|---|---|
| Velocidad de crecimiento (mínima) | 16 anillos /5cmm | 12 anillos /5cm | 8 anillos / 5cm | 8 anillos/5cm |
| fisuras o grietas (profundidad máxima) y bolsas de resinas | 1/4 del espesor | 1/3 del espesor | 1/2 del espesor | 3/5 del espesor |
| desviación de la fibra (no mayor de) | 1 en 14 | 1 en 11 | 1 en 8 | 1 en 6 |
| nudos (no mayor de) | 1/8 de cualquier cara | 1/8 de cualquier cara | 1/4 de cualquier cara | 1/4 de cualquier cara |

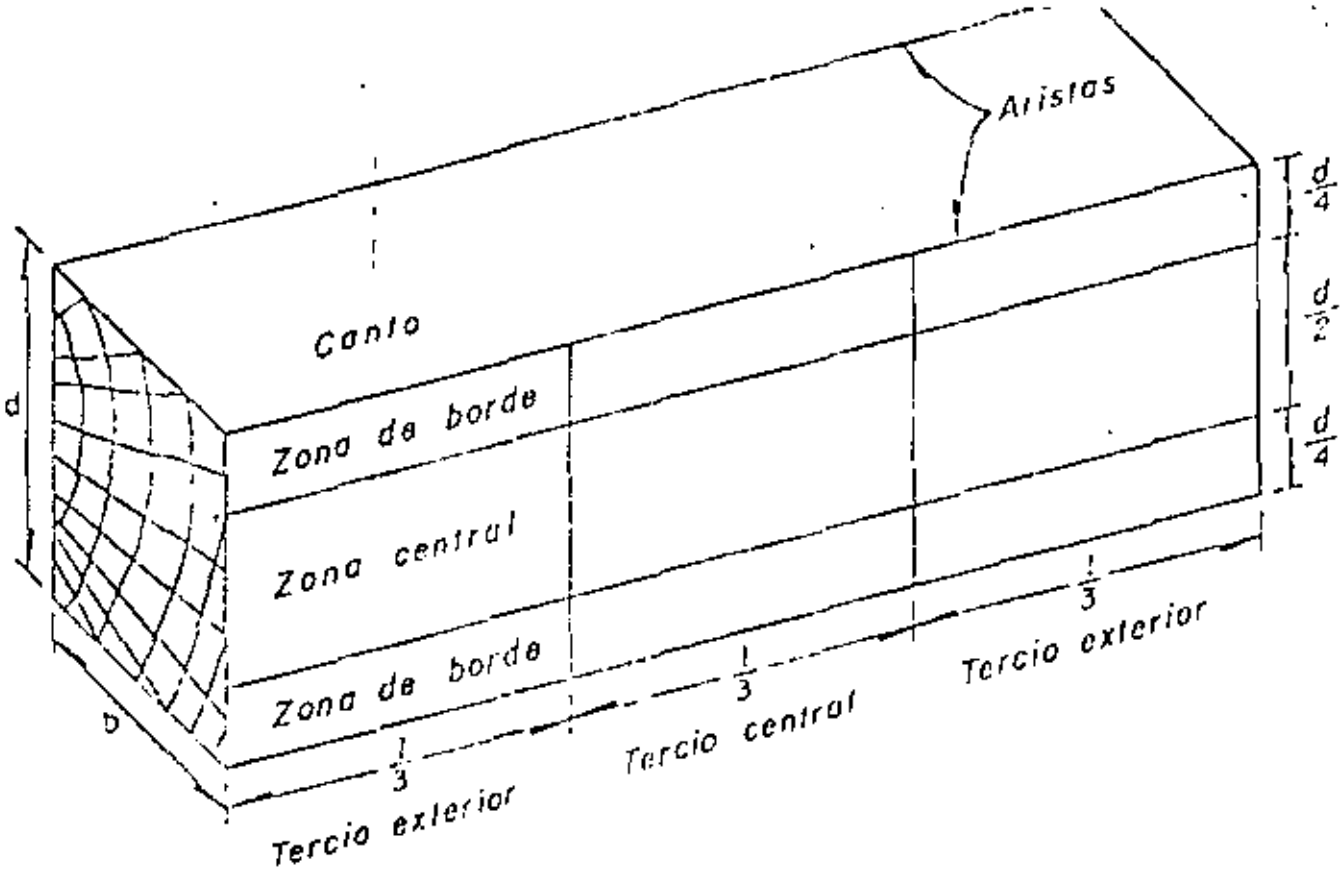



Fig I. Zonas, en un elemento a flexión para su clasificación estructural

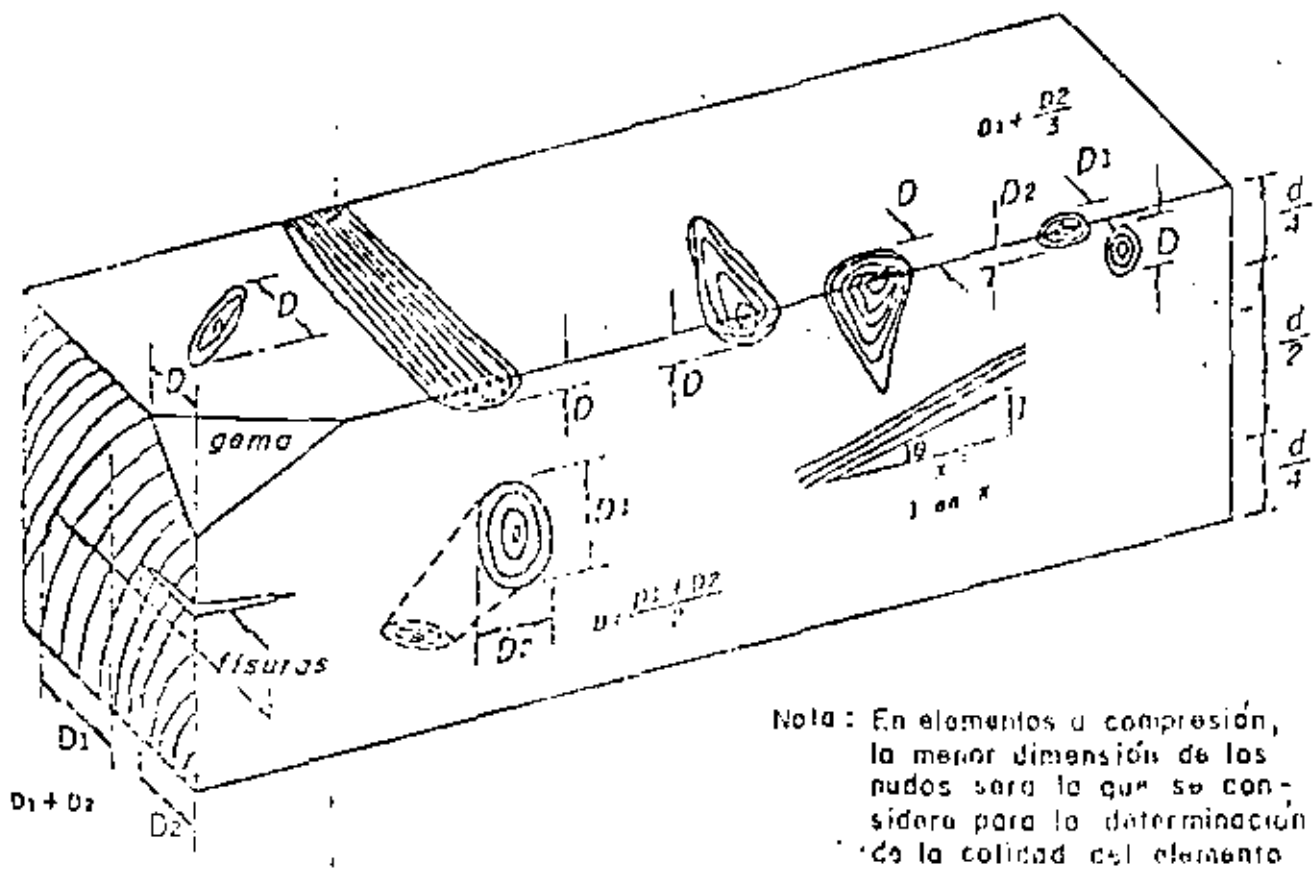



Fig II. Medición de nudos, inclinación de fibra, gema, velocidad de crecimiento y fisuras

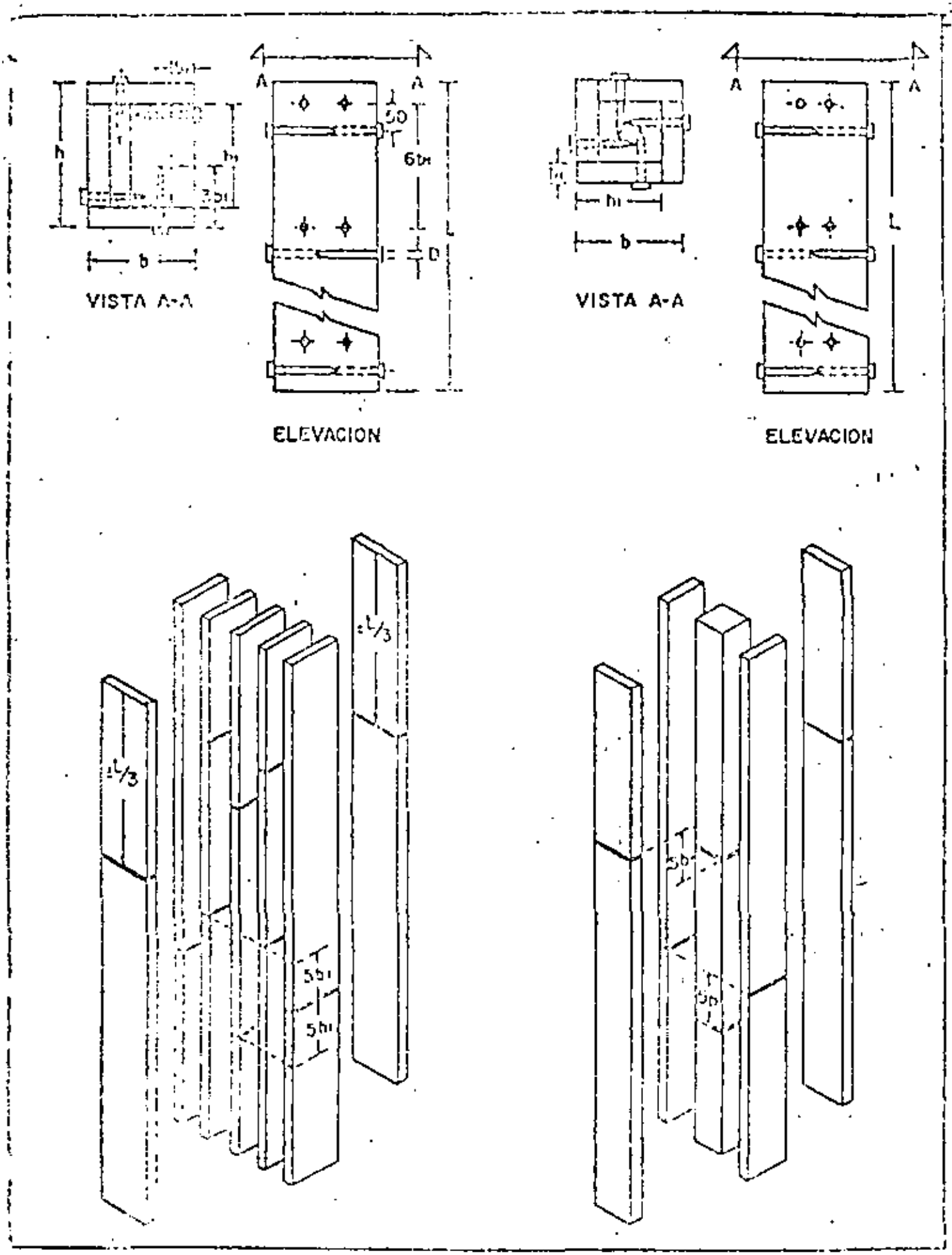
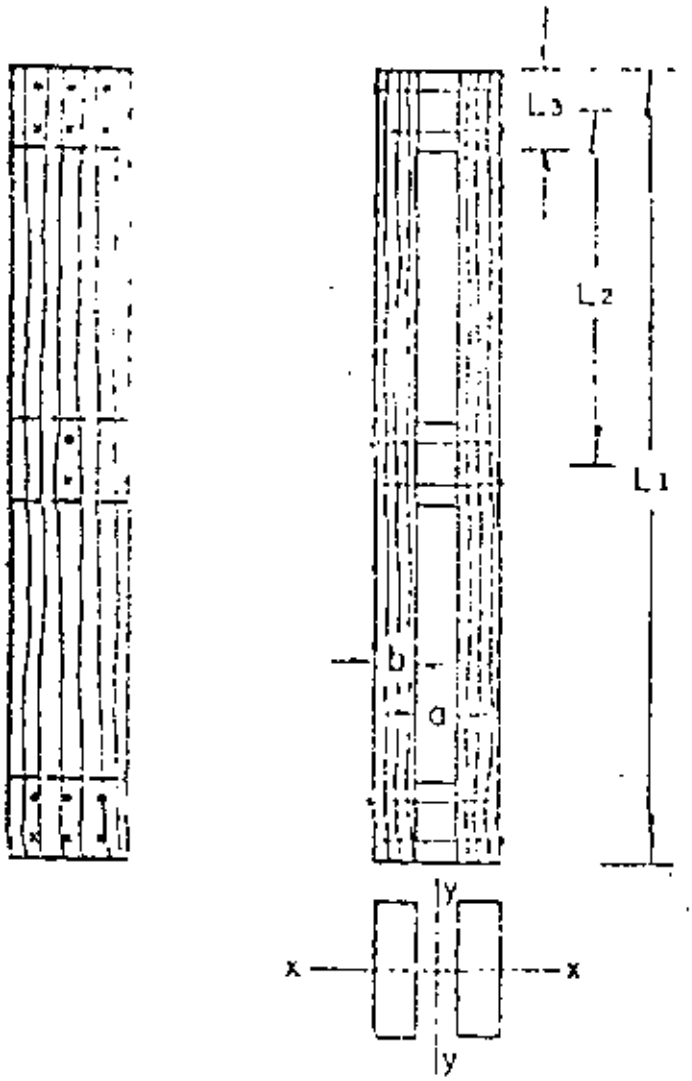



Fig III . Columnas compuestas. Datos constructivos

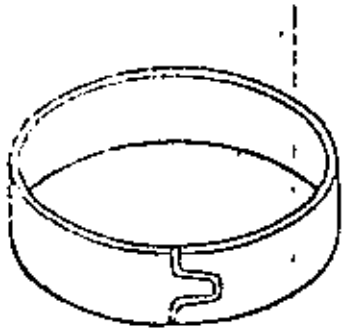



$L_1$ = longitud total

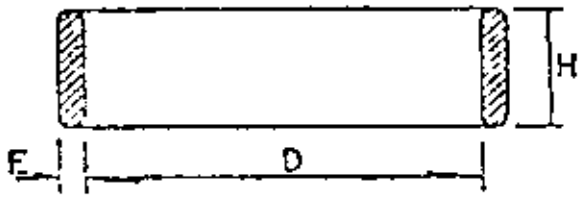
$L_2$ = distancia entre separadores, $L_2 \leq 20b$

$L_3$ = longitud del separador extremo, $L_3 \geq 6b$

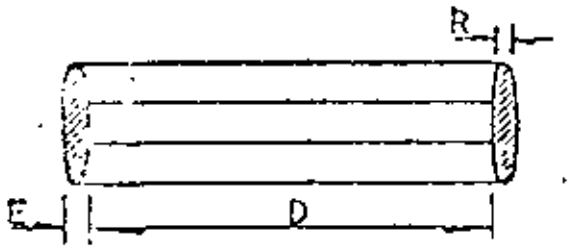
Fig IV. Columna especiada empleando clavos ó tornillos



Anillo abierto




Anillo abierto con lados paralelos




Anillo abierto con rebajes en los lados

| característica | Tamaño del anillo cm (pulgadas) | | |
|---|---|---|---|
| | 6.35 (2 1/2) | | 10.16 ( 4 ) |
| | con lados paralelos | con rebajes en los lados | con rebajes en los lados |
| D | 6.35 (2.500) | 6.35 (2.500) | 10.16 (4.000) |
| E | 0.41 (0.163) | 0.41 (0.163) | 0.49 (0.193) |
| H | 1.91 (0.750) | 1.91 (0.750) | 2.54 (1.000) |
| R | | 0.31 (0.123) | 0.34 (0.133) |
| diámetro del perno (mínimo) | 1.27 (0.500) | 1.27(0.500) | 1.91 (0.750) |
| rondana: diámetro (mínimo) | 5.10 (2.000) | 5.10 (2.00) | 6.35 (2.500) |
| espesor (mínimo) | 0.32 (0.125) | 0.32 (0.125) | 0.48 (0.188) |

Figura V . Datos para la fabricación de los anillos abiertos usados para uniones.

se sustituyó (25 E 76)

| | |
|---|---|
| $b, d$ | dimensiones transversales del elemento |
| $C_f$ | factor de peralte |
| $D$ | diámetro de un elemento de unión, en mm |
| $d_1$ | dimensión mayor efectiva de la sección transversal del elemento, peralte efectivo en el caso de elementos en flexión |
| $e$ | excentricidad de la fuerza normal |
| $K$ | valor que depende de las condiciones de apoyo del elemento en compresión |
| $L$ | longitud del elemento entre apoyos |
| $M$ | momento flexionante máximo producido por cargas normales al eje longitudinal del elemento |
| $N$ | número de elementos de unión |
| $P$ | fuerza normal de compresión |
| $P_1$ | carga lateral permisible de un clavo en una unión de 2 elementos |
| $P_2$ | carga de extracción permisible de un clavo |
| $P_3$ | carga lateral permisible de un tornillo en una unión de 2 elementos |
| $P_4$ | carga de extracción permisible de un tornillo |
| $P_5$ | carga lateral permisible de un perno en una unión de 3 elementos de madera cuyos ejes longitudinales están en la misma dirección |
| $P_6$ | carga lateral permisible de un perno en una unión de 3 elementos de los cuales, los exteriores pueden ser de madera o de acero, y cuyos ejes longitudinales están en dirección normal con respecto al central |
| $S$ | módulo de sección del elemento |
| $T$ | fuerza de tensión |
| $t$ | espesor del elemento principal (elemento central en una unión de 3 elementos) en mm |
| $V$ | fuerza cortante en la sección considerada |

se sustituyó (25 II 76)

La longitud de los separadores estará en función del número de elementos de unión y espaciamiento mínimos entre éstos. El número de elementos de unión en los extremos será tal que transmitan una fuerza cortante entre caras de contacto de las piezas y los separadores igual a:

$$N = \frac{1.5 \times \text{fuerza total de compresión}}{\text{número de piezas macizas componentes (sin separadores)}} \qquad (4.3)$$

Además, la longitud de los separadores extremos no será menor de 6 veces el espesor de una de las piezas.

El número de separadores intermedios será tal que la máxima relación de la distancia entre centros de gravedad de grupos de elementos de unión al espesor de una pieza componente sea menor o igual a 20. Ver figura IV.

El número de elementos de unión en los separadores intermedios será la cuarta parte del correspondiente en los separadores extremos.

d) La capacidad de un elemento macizo de sección circular se considerará igual a la de un elemento de sección cuadrada de igual área transversal. Si el elemento es troncónico se considerará, para fines de estabilidad, las características geométricas de la sección transversal situada a un tercio de la longitud desde el extremo reducido. Se revisará que el esfuerzo de compresión actuante en el extremo reducido no exceda al permisible.

4.3 Flexión y tensión

Se revisará que en la sección crítica de un elemento macizo, compuesto o espaciado, este último con el plano de flexión paralelo a las caras de mayor dimensión, se cumplan las expresiones (4.4) y (4.5).

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

# USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES EN LA VIVIENDA

## DIMENSIONAMIENTO DE MIEMBROS ESTRUCTURALES SENCILLOS Y CONEXIONES

EJEMPLOS .

ING. FRANCISCO ROBLES GALVES

NOVIEMBRE, 1980.

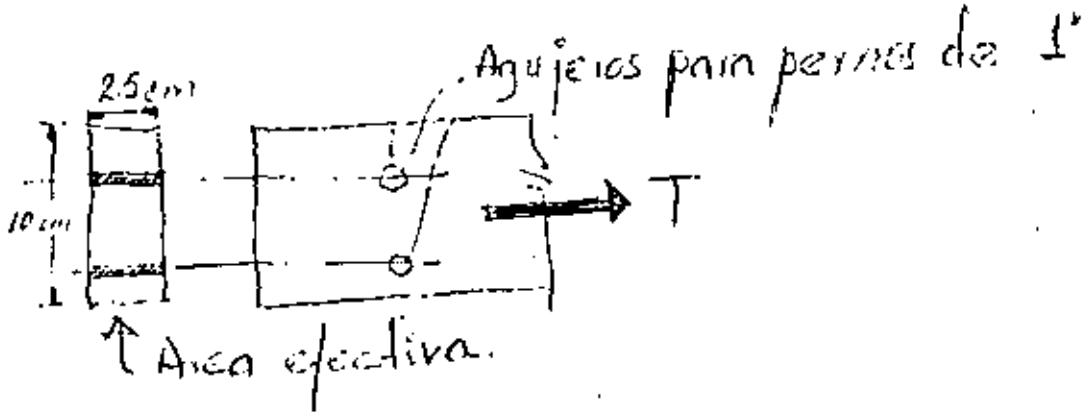
Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

EJEMPLO (1) DISEÑO DE UN MIEMBRO SOMETIDO A TENSION.

Datos:

Esfuerzo permisible en tensión:

$f_{t_p} = 80\ kg/cm^2$




Determinar:

Capacidad del Miembro en Tensión.

Solución:

Diámetro agujeros = 2.5 + 0.15 = 2.65 cm.

Área neta:

$A_n = 2.5 \times 10 - 2 \times 2.5 \times 2.65 = 11.75 \text{ cm}$

Por lo que:

$T = A \times f_p = 11.75 \times 80 = 940 \text{ kg}$

$\therefore \boxed{T = 940 \text{ kg}}$

# EJEMPLO (2). DISEÑO DE UN MIEMBRO SOMETIDO A COMPRESION.

Datos:

Sección nominal = $3\frac{1}{2}'' \times 4''$

Longitud = 250 m.

Esfuerzo permisible en compresión

$f_{cp} = 70\ kg/cm^2$.

Módulo de elasticidad

$E_{mad.} = 70\,000\ kg/cm^2$

Considerar articulación en los extremos.

Determinar capacidad del miembro a compresión.

Solución:

1º Determinar el área neta.

$b = 3\frac{1}{2}'' - \frac{1}{4}'' = 3\frac{1}{4}'' = 8.3\ cm$

$d = 4 - \frac{1}{4}'' = 3\frac{3}{4}'' = 9.5\ cm.$

2º Esbeltez.

Articulación en ambos extremos.

$k = 1$

$\frac{kl}{b} = \frac{250}{8.3} = 30 << 50$ O.K ✓

3º

(2)

Calculo del esfuerzo aplicado, considerando esbeltez.

$$c = \frac{0.3E}{(kl/b)^2} = \frac{0.3 \times 70000}{(30)^2} = 23 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo aplicado << Esfuerzo permisible 0.x

4º Capacidad del miembro a compresión.

$$P = Ac = bdc = 8.3 \times 9.5 \times 23$$

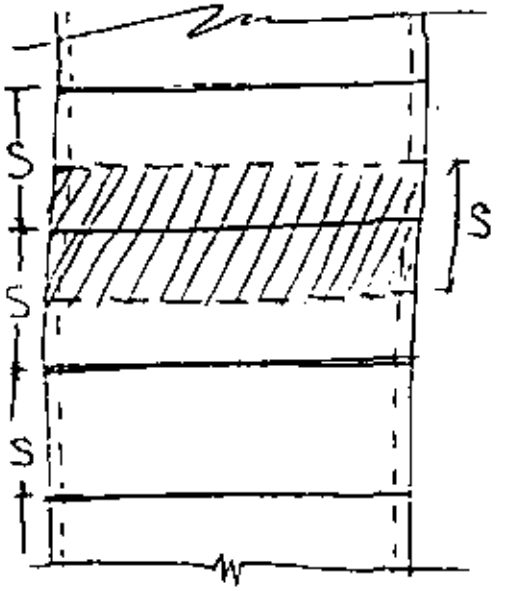
$$\therefore \boxed{P = 1814 \text{ kg}}$$

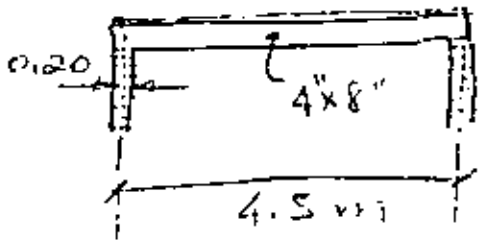
# EJEMPLO (3) DISEÑO DE MIEMBROS A FLEXION.

Analicemos el siguiente sistema de piso.

Datos:

Carga viva mas Carga muerta $= 0.4\ t/m^2$




- Esfuerzo permisible en flexión:
  $f_{tp} = 60\ kg/cm^2$
- Esfuerzo cortante permisible
  $S_p = 8\ kg/cm^2$
- Esfuerzo normal a las fibras permisible:
  $f_{np} = 7\ kg/cm^2$

$E_{mod} = 80000\ kg/cm^2$

$S_{máx} = 1.5\ cm$

Encontrar:

la separación S de las vigas:

Ejemplo 3.

Solución

1º Dimensiones de la Sección transversal.

Nominal $b = 4''$ y $d = 8''$

Efectiva $b = 4'' - 1/4'' = 3.75'' = 9.5$ cm

$d = 8'' - 1/4'' = 7.75'' = 19.7$ cm.

2º Separación por flexión.

$$M = C_d C_f f_{t_p} S$$

pero:

$$C_d = 0.81 \frac{d^2 + 322}{d^2 + 568} = 0.81 \frac{(19.7)^2 + 322}{(19.7)^2 + 568} = 1.11$$

$$\therefore \boxed{C_d = 1}$$

$C_f = 1$ por ser sección rectangular.

$M = \frac{1}{8} w l^2$ ; $w = 0.4 S$ donde $S$ = separación en cm.

$$M = \frac{1}{8}(0.4 S)(4.5)^2 = 1.01(S) \text{ ton-m} = 1.01(S)10^5 \text{ kg-cm}$$

$$S = \frac{I}{d/2} = \frac{bd^3}{6} = \frac{9.5 \times 19.7^2}{6} = 614 \text{ cm}^3$$

ejemplo 3

de donde

$$1.01(S)10^5 = 1\times1\times60\times614$$

$$\therefore\ S = \frac{60\times614}{1.01\times10^5} = 0.36\ m \quad \therefore\ \boxed{S = 36\ cm}$$

3º Separación por cortante

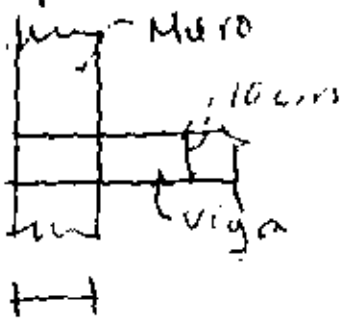
$$v = \frac{3}{2}\frac{V}{bd}$$

$$V = \frac{wl}{2} = \frac{0.4(S)\times4.5}{2} = 0.9(S)\ ton = 900(S)\ kg.$$

$$8 = \frac{1.5(900)(S)}{9.5\times19.7} \qquad S = \frac{8\times9.5\times19.7}{1.5\times900} = 1.11\ m$$

$$\therefore\ \boxed{S = 111\ cm}$$

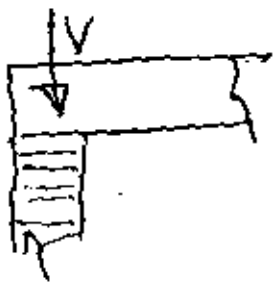
4º Separación por compresión normal.




$$f_n = \frac{V}{9.5\times19.7}$$

$$7 = \frac{900(S)}{9.5\times19.7}$$

$$S = \frac{7\times9.5\times19.7}{900} = 1.46\ m$$




$$\boxed{S = 146\ cm}$$

5º Separación por flecha

$$\delta = \frac{5}{384}\frac{wl^4}{EI}$$

$$w = 0.4(S)\,t/m = 4(S)\,kg/cm.$$
(S en m)

$$I = \frac{bd^3}{12} = \frac{9.5\times(19.7)^3}{12} = 6052\ cm^4$$

$$1.5 = \frac{5\times 4(S)(450)^4}{384\times 80000\times 6052} =$$

$$\therefore S = \frac{1.5\times 384\times 80000\times 6052}{5\times 4\times(450)^4} = 0.34\ m$$

$$\boxed{\therefore S = 34\ cm}$$

Rige la separación por flecha.

# EJEMPLO ④ DISEÑO DE UN MIEMBRO A FLEXOCOMPRESION

## Datos:

Sección nominal $3\frac{1}{2}'' \times 4''$

Longitud $2.50$ m

Esf. permisible en Comp. $f_{cp} = 85$ kg/cm²

Esf. permisible en flexión. $f_{fp} = 100$ kg/cm²

Modulo de elasticidad $E_{med} = 70000$ kg/cm²

$e = 3$ cm, en la dirección de la sección mayor.

Considerar articulaciones en ambos extremos.

## Solución:

$$\frac{\frac{P}{A}}{c} + \frac{\frac{M}{S} + \frac{P}{A} \cdot \frac{6e\beta}{d}}{C_d f_{fp} - \gamma \frac{P}{A}} \leq 1$$

Area efectiva

$b = 3\frac{1}{2}'' - \frac{1}{4}'' = 3.25'' = 8.3$ cm.

$d = 4'' - \frac{1}{4}'' = 3.75'' = 9.5$ cm.

$P = ?$

$A = 8.3 \times 9.5 = 78.9$ cm²

$d = 9.5$ cm y $b = 8.3$ cm

ejemplo 4

$e = 3$ cm (en dirección paralela al lado mayor)

$M = 0$

$S = \frac{bd^2}{6} = \frac{8.3 \times (9.5)^2}{6} = 125 \text{ cm}^3$

$f_{tp} = 100 \text{ kg/cm}^2$

$C_d = 1$ (no rige la corrección por tamaño)

$f = 1$ (suponiendo cargas de duración normal)

$k = 1$ ; $kl/b = \frac{250}{8.3} = 30.1 < 50$ O.K.

$c = \frac{0.3E}{(kl/b)^2} = \frac{0.3 \times 70000}{(30.1)^2} = 23.2 \text{ kg/cm}^2 < 85 = f_{tp}$

$\sqrt{\frac{0.3E}{f_{tp}}} = \sqrt{\frac{0.3 \times 70000}{85}} = 15.8 < \frac{kl}{b} = 30.1$ O.K.

la columna es larga.

por lo que:

$\beta = 1.25$ y $\beta' = 1$

Sustituyendo:

$$\frac{P}{78.9} + \frac{P}{78.9} \frac{\frac{6 \times 2 \times 1.25}{9.5}}{1 \times 100 - 1 \frac{P}{78.9}} = 1$$

ejemplo (4)

(3)

Simplificando

$$\frac{P}{1850} + \frac{0.03P}{100 - \frac{P}{78.7}} = 1$$

Suponiendo $P = 1100\,tq$

$$0.601 + \frac{33}{100-14} = 0.601 + 0.384 = 0.984 < 1 \quad O.K.$$

$$\therefore \boxed{P = 1100\,tq}$$

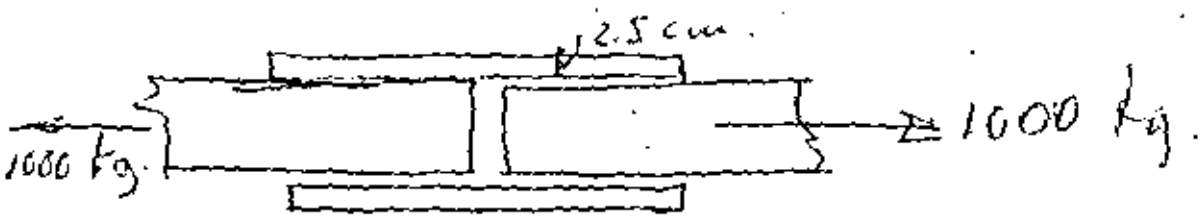
EJEMPLO 5 DISEÑO DE UNION CLAVADA.

Datos:

Madera: V-50 $\gamma = 0.51$, CH 18%

Clavos $D = 4.5$ mm $L = 10$ cm.

$T = 1,000$ kg.




Solución

Carga por clavo capacidad lateral.

$P = 10 P D^{1.5}$

Factores de Ajuste
- Por C.H. — 1.4
- Por atravesar 2 planos de cortante 0.9 x 2 = 1.8
- Por espesor.

- Espesor requerido

$\frac{2}{3} \times 14 \times D = \frac{2}{3} \times 14 \times 0.45$ cm $= 4.2$ cm.

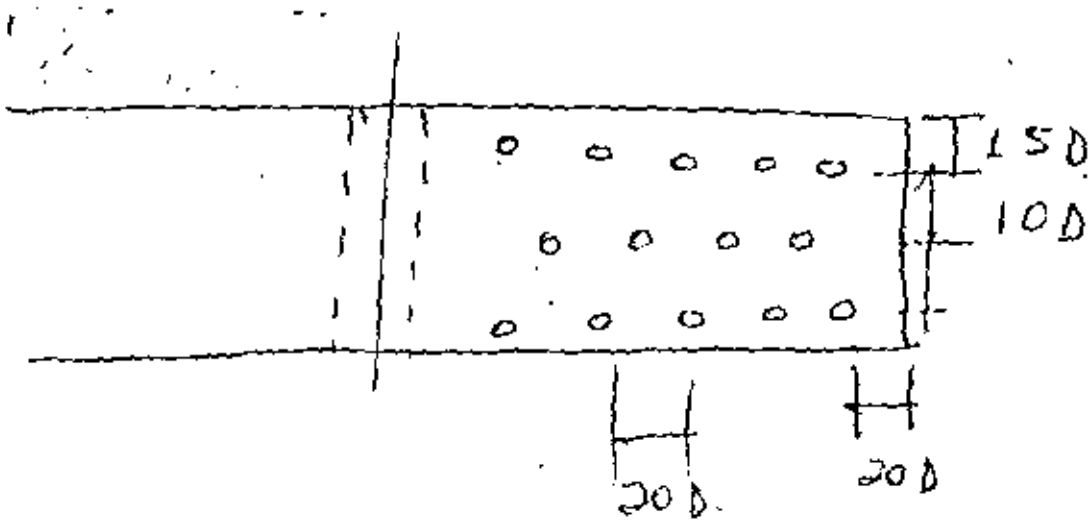
- Espesor disponible $= 2.5$ cm

ejemplo (5).

(2)

Factor: $\frac{2.5}{4.2} = 0.59$.

- Capacidad $= 1.4 \times 1.8 \times 0.59 \left(10 \times 0.51 \times 4.5^{1.5}\right) = 724$ kg.
- Nº de clavos $= \frac{T}{72.4} = \frac{1000}{72.4} = 13.8 \cong 14$



DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

# USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES EN LA VIVIENDA

USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA EN LA VIVIENDA
ASPECTOS PRACTICOS DE LA CONSTRUCCION CON MADERA
ADQUISICION. TRANSPORTE, MANEJO, MAQUINARIA PARA MADERA, MANIOBRAS Y MONTAJE, INSPECCION Y SUPERVISION.

ARQ. JUAN DIEGO JIMENEZ RUEDA

NOVIEMBRE, 1980.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

TEMA No 12.- USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA EN LA VIVIENDA ASPECTOS PRACTICOS DE LA CONSTRUCCION CON MADERA ADQUISICION, TRANSPORTE, MANEJO, MAQUINARIA PARA MADERA, MANIOBRAS Y MONTAJE, INSPECCION Y SUPERVISION.

FECHA.- 19 de Noviembre de 1980.
18.00 Hrs.

Un viejo arquitecto y maestro, norteamericano por naturalización e israelita alemán de origen proponía; festivamente, a nuestra consideración como estudiantes; que la diferencia principal entre las culturas sajona y latina estribaba en cierta forma; en que el sujeto sajón, ante un problema o asunto de importancia; en forma inmediata discurría " como hacer " how to do it, a diferencia del latino cuya primera reacción suele ser why to do it " porque hacerlo "; lo cual refleja la vieja tradición helénica y romana de análisis filosófico por origen y al mismo tiempo la actitud de desenfado del latino.

Sabemos, que a este punto, del ciclo de conferencias hemos superado la etapa en cuanto al hacer, nos a tocado disertar en el " como hacer ", tema práctico donde nos proponemos exponer en lo pertinente las experiencias y observaciones que por dos décadas, y muy especialmente en los últimos tres años de práctica en la República Mexicana ha acumulado el que habla.

El primer punto ¿Cómo se adquiere la madera en su carácter de material estructural adecuado? debemos manifestar que en la mayor parte de los países extranjeros se adquiere con dinero y que en el nuestro con mucho dinero y mucha suerte; esto es debido de que a pesar de que el uso de este material en la industria de la construcción es común para cimbras y andamios, el uso de la madera como componente estructural es incipiente y que en general la demanda es superior a la oferta, especialmente cuando requerimos en madera de buena calidad, de dimensiones apropiadas y labrada; esto es cepillada y canteada; normalmente en vigas y postes por las cuatro caras y en otros componentes por tres caras o con machimbres.

La solución práctica que se recomienda para una buena adquisición: es el contacto consetudinario con un proveedor, llamese

Maderería local a la cual, con la debida antelación se haga el - pedido y que este comerciante establecido tenga directas relaciones con aserraderos para que se le puedan enviar las piezas requeridas con dimensiones adecuadas.

Solucionando el problema del abastecimiento, sigue la -- técnica del tratamiento del material; para ello debemos exponer quizás con redundancia a otro expositor que para los componentes estructurales se necesita el tratamiento físico químico de soluciones aplicadas a vacío o la impregnación puramente química a - la madera, sin olvidar que en casos especiales además de ello se deben aplicar fórmulas que den a la madera protección contra el fuego.

Estos tratamientos dependiendo de las características -- del proyecto, pueden ejecutarse en instalaciones especiales o en la obra misma, antes o después del montaje; existen firmas comerciales que ofrecen productos adecuados y que en sus catálogos especifican las cualidades de esos tratamientos.

El tercer punto a tratar es la transportación del material que pudiere parecer no importante, a un primer análisis, pero que en la práctica es de extrema importancia; considerando -- que las piezas de referencia son largas, gruesas y pesadas y por lo mismo difíciles de manejar, lo anterior, aunado a que por sus características la madera es normalmente un material aparente -- nos hace concluir que hay que evitar marcas en lo posible, haciendo las maniobras con cuidado y con herramientas adecuadas.

El material adquirido, se halla en obra, terminado suficientemente, debidamente transportado y en ocasiones con el tratamiento al que hicimos alusión es en ese momento donde el " como - hacerlo " representa el mayor grado de dificultad puesto que hablamos del factor humano, del operario capacitado, la persona que va a cortar, ensamblar y montar la construcción; el grado de dificultad está en relación directa a la tradición del Carpintero mexicano; al cual en forma genérica lo clasificaremos en tres grupos: el primer grupo; los habilitados en cimbra y construcciones tradicionales que ejecutan sus tareas con cortes, conexiones y tolerancias propias a su desempeño y cuyas tareas por jornada y cálculo de destajos es material de catálogo de precios unitarios. El segundo grupo es el carpintero de detalle en obra cuya experiencia es de lambrines, mostradores y muebles adosados al edificio - como son; closets, cajoneras y en ocasiones mobiliario de cocina; ese segundo grupo, por sus características es más escaso, su disciplina es superior y conoce y desarrolla cortes complicados, - -

pero en general manejan componentes de madera ligeros, El tercer grupo se conforma con el carpintero que es usualmente también -- ebanista y cuya capacidad es la manufactura de mobiliario.

El personal adecuado para la construcción en madera, requiere de la rápidez de erección constructiva del primer grupo - de carpinteros comunmente llamada de obra negra y de la disci-- plina y conocimiento del segundo grupo de carpinteros de obra -- blanca, por lo tanto debemos definirlo como un carpintero gris - claro.

Al personal que hacemos referencia como necesario para - la construcción en madera, nuestros carpinteros gris claros, los debemos crear, puesto que simplemente no existen en el mercado : y lo que es peor no quieren existir, puesto que por razones de - falta de práctica tienen dificultad para calcular sus tareas y - por ende para proponer o aceptar precios a destajo.

Es nuestra responsabilidad como técnicos la capacita--- ción de esos operarios, puesto que si propone el Uso de la Madera en la Vivienda, como elemento estructural y constructivo, -- esa tarea resulta imposible sin el operativo que ejecute los -- trabajos.

Esa situación es precisamente, la más importante difi-- cultad que hemos encontrado para construir con madera y por ello debemos exponer a ustedes en forma breve una clasificación práctica de lo que, en cuanto a la vivienda, constituyen los dos tipos de estructuras adecuadas a uso residencial.

La primera; es la estructura integral, llamada en in--- glés " balloon frame " esto es la estructura formada por elementos bastidores y tirantes intermedios con vigas en las partes - inferior y superior, bastidores que transportan la carga de, estructuras de maderas abiertas con tirantes y que a su vez están unidas con largueros; en este tipo de construcción se usa como piel, los tableros de madera en sus diferentes formas; este tipo de construcción en la República Mexicana es poco usual puesto que al momento presente no contamos con las instalaciones fabriles necesarias; aclarando que si bien es cierto que existen empresas que manufacturan estructuras de madera para techumbre, es también cierto que no conocemos a negocios primeramente de - manufacturización los referidos muros de bastidores o lo que es conocido como " wood stud wall " debemos nosotros como usuarios y constructores propugnar, propalar, la creación de esta industrias porque ellas son las verdaderas industrias de media prefabricación para la construcción en madera

La segunda es la estructura llamada en inglés " post and beam " que es una estructura de madera que como su nombre lo indica se compone escencialmente de un sistema estructural de poste y viga, donde las cargas de la techumbre se transportan a vigas y largueros que a su vez se apoyan en postes con calidad estructural; es esta al momento presente la estructura de madera más fácil de fabricar, para ello los muros exteriores e interiores son ejecutados como paneles puesto que no es necesario que tengan calidad estructural.

La ejecución de obra donde se usa la madera como componente estructural y muy especialmente de carácter residencial requiere de herramientas principalmente manuales; esto es el clásico cajón de carpintero, y adicionalmente una sierra portátil de 8" , con sus aditamentos de protección, y un taladro preferentemente rotomartillo.

En cuanto a las herramientas para montaje es suficiente el uso de garruchas e infra estructura o polines para la erección de los componentes.

Se hace notar que la calidad del clavo y del tornillo que se usen en la construcción es de mayor importancia.

La supervisión e inspección de obra no es diferente de la supervisión e inspección que normalmente tiene las construcciones tradicionales, siendo las tolerancias menores que las usuales.

Por todo lo anteriormente expuesto agradecemos su atención y quedamos de ustedes en espera de las preguntas, como programado.

Muchas gracias.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA Y SUS SPLICACIONES EN LA VIVIENDA

# INTRODUCCION AL DISEÑO DE ARMADURAS.

Ing. Guillermo Salazar Polanco

Noviembre, 1980

Palacio de Minería Calle de T 5 p piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. P 1 M-2285

INTRODUCCION AL DISEÑO DE ARMADURAS.

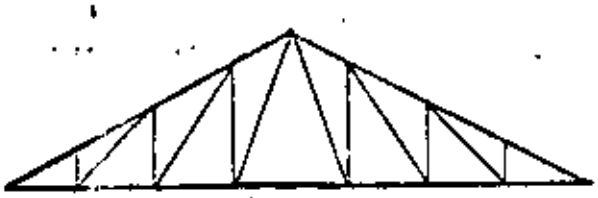
POR EL ING. GUILLERMO SALAZAR POLANCO.

Se llaman genéricamente "armaduras" a aquellos elementos estructurales triangulados y que actuando como vigas permiten salvar grandes claros y soportar fuertes cargas con un mínimo de peso y gran economía. Son consecuentemente vigas de alma abierta o calada.

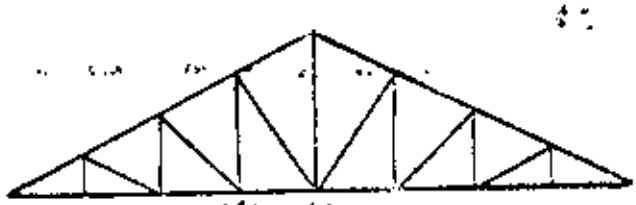
En las armaduras se distinguen los elementos: cuerda superior, cuerda inferior, y piezas del alma, las cuales son diagonales y montantes, estos últimos son en general, perpendiculares a alguna de las cuerdas y por lo general son elementos de compresión.

Las armaduras se denominan por la posición relativa de sus cuerdas y por la posición de los elementos del alma tenemos:

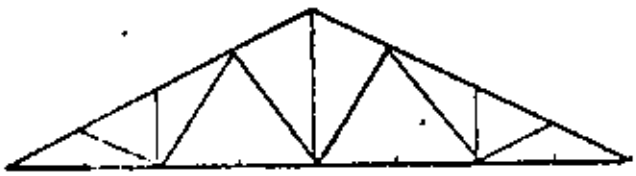
| Posición relativa de las cuerdas. | Posición de los elementos del alma. | Figura |
|---|---|---|
| 1) De cuerdas paralelas | Triangulación Pratt | (a) |
| | Triangulación Warren | (b) |
| | Triangulación Howe | (c) |
| 2) Cuerda superior a dos aguas. | Pratt | (d) |
| | Warren | (e) |
| | Howe | (f) |
| | Fink | (g) |
| | Tijera | (h) |
| | Doble Fink | (i) |
| 3) Cuerda superior a una agua. | Warren | (j) |
| | Pratt | (k) |
| | Howe | (l) |
| 4) Cuerda superior en arco (Bowstring) | Warren | (m) |
| | Pratt | (n) |
| | Howe | (o) |



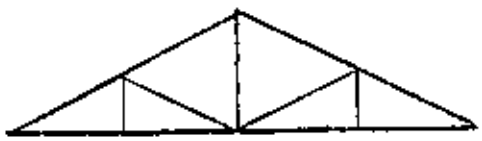
2 (d) PRATT



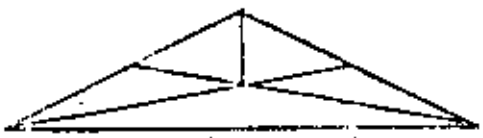
2(f) HOWE.



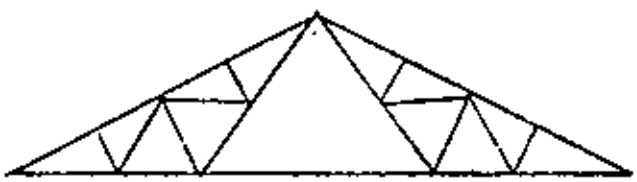
2(e) WARREN.



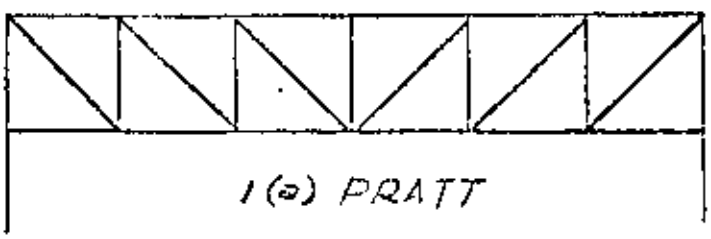
2(g) FINK.



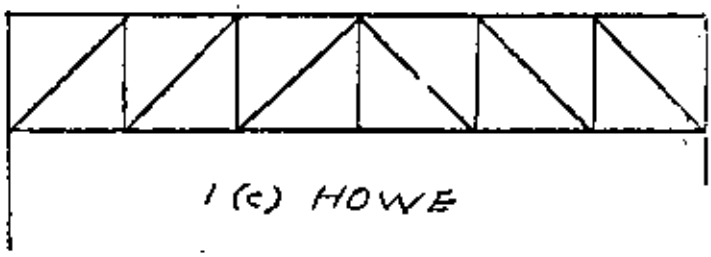
2(h) TIJERA.



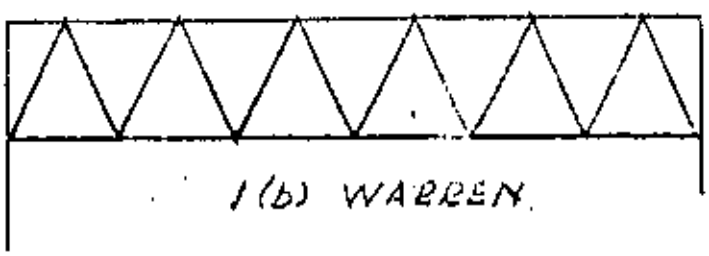
2(i) DOBLE FINK..



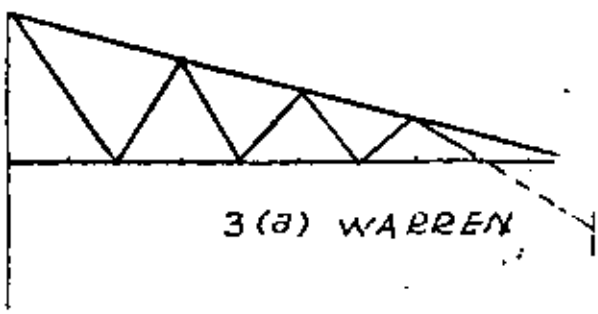
1(a) PRATT



1(c) HOWE

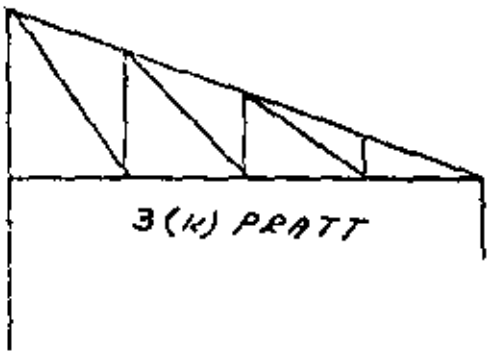


1(b) WARREN.

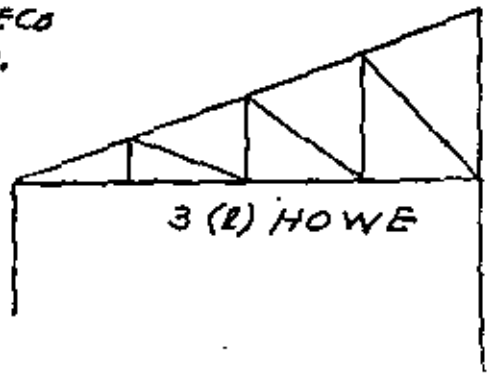


3(a) WARREN

ARMADURA CON HUECO PARA DUCTO.



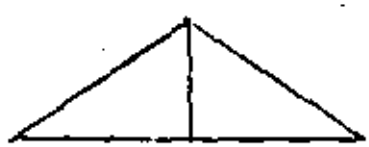
3 (k) PRATT



3 (l) HOWE

4 (o) HOWE

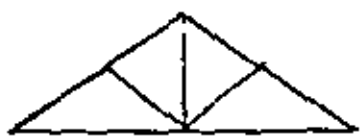
TIPO W.



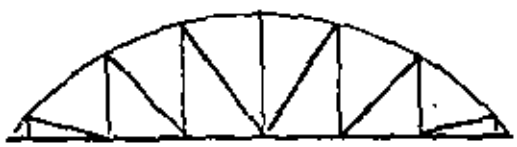
KING POST.

4 (m) WARREN

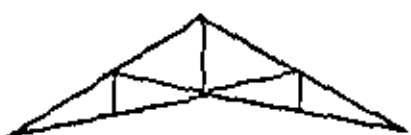
ABANICO



QUEEN POST



4 (n) PRATT.



TIJERA.

Desde el punto de vista del análisis estructural, las armaduras pueden ser: isostáticas externamente, si el número de incógnitas relativas a sus reacciones externas es igual al número de ecuaciones de equilibrio del sistema.

Hiperestáticas externamente, si el número de incognitas relativas a sus reacciones resulta mayor que el número de ecuaciones de equilibrio.

Inestable si el número de incognita que involucran sus reacciones es inferior al número de ecuaciones de equilibrio.

Análogamente, desde el punto de vista de la determinación de las fuerzas internas en las barras, las armaduras pueden ser:

Estrictamente isostáticas internamente si la relación entre el número de barras y de nudos es:

$$N_{barras} = 2n - 3$$

pero si $N_{barras} > 2n - 3$ la estructura es hiperestática internamente.

y si $N_b < 2n - 3$ es inestable internamente.

Todo lo anterior es válido si la armadura se constituye de barras articuladas por sus extremos, en articulaciones físicas, hipótesis de construcción básica de las armaduras.

En el área de construcción que nos ocupa, nos referiremos al uso de armaduras en la construcción de la casa económica o casa habitación por lo cual en general se tratará de armaduras de cortas dimensiones y sujeta a cargas más o menos intensas del tipo de las que aparecen reglamentadas en las normas de cons-

trucción usuales.

En general señalaremos que en la construcción de la casa de madera, las armaduras no son usuales como elementos de carga, lo común es la utilización de vigas y polines tanto para techos como para entrepisos, solamente en aquellas casas en que un análisis de esfuerzos y un estudio económico demostrá ra la conveniencia de utilizar este tipo de elementos, podría justificarse su uso, sin embargo estamos convencidos que un proyecto racional y económico podría justificarlo y por lo tanto nos abocaremos al estudio de las armaduras.

Por otro lado, la conveniencia de formar elementos planos continuos entre columnas de madera y vigas que nos permitan la transmisión de cargas horizontales como viento y sismo, sin necesidad de recurrir a elementos llenos como muros que actúen como elementos estructurales rigidizantes puede ser otra justificación al uso de armaduras de madera en la construcción de la vivienda.

¿Que armaduras podríamos utilizar? En los Estados Unidos y para casos de casas habitación se usan, en entrepisos, un sistema de armadura Warren de cuerdas paralelas, las cuerdas son de madera fabricada tipo MICROLAM, de las comunmente denominadas Long Span.

Los elementos del alma se fabrican de tubo de pared delgada cortado a la medida, con los extremos aplastados perforados y recortados para conectarse a los nudos a través de placas de conexión, o embutiéndose en las cuerdas, en cuyo caso se fabrican cada una de dos piezas paralelas.

El microlam es un sistema de madera laminada, de laminaciones muy delgadas y unidas por una resina que general-- mente polimeriza a presión y temperatura, los empates se hacen- con juntas tipo "finger Joints" unidas por el mismo procedimien to.

Es difícil disponer en nuestro medio de este tipo de madera por lo cual, nuestras armaduras se fabricarán con- los elementos de madera disponibles en el mercado que general-- mente es tablón de 3/4, 1", 1 1/2", 2", 3" ó 4" de espesor en - anchos de 8", 10" 12" y en largos que varían desde 8 1/4', 10', 12', 14', 16', 18' hasta 20' y muy eventualmente largos un poco mayores con los correspondientes incrementos de costos por exce so de largo.

Las juntas en este tipo de armaduras se realizan de varias maneras, con herrajes del tipo de pernos o tornillo - de máquina de gran largo y pequeño diámetro, el clavo o algún - herraje en particular como es el "multiclavo",en armaduras de - mayores dimensiones se usan los conectores del tipo del anillo- cortado, anillo dentado, o la clásica dovela Kubler fabricada - en madera dura, plástico reforzado, etc.

PROYECTO DE ARMADURAS.

El proyecto de armaduras, es en realidad parte - de un proyecto particular de edificación, que parte de un pro-- blema específico, selecciona el tipo de estructura, así como el material, evalúa cargas, efectúa el análisis y el diseño, reali za la comparación económica,termina con los planos generales y- ejecutivos antes de pasar a la parte de realización de la obra.

Así pues, en la parte que pretendemos desarrollar vamos a partir de la hipótesis de que la solución económica de la estructura es una armadura de madera, y por tanto para terminar con el proyecto necesitamos seguir una metodología determinada que consiste en resolver cada uno de los pasos siguientes:

1) Datos del problema. Selección preliminar del tipo.

2) Determinación de cargas, vivas y muertas.

3) Analizar la estructura y determinar los esfuerzos en las barras.

4) Diseñar la estructura de acuerdo al método escogido y los esfuerzos adecuados al tipo de madera seleccionada.

5) Seleccionar el tipo de conector y diseñar cada una de las juntas.

6) Verificar las dimensiones de los miembros en función de los herrajes seleccionados.

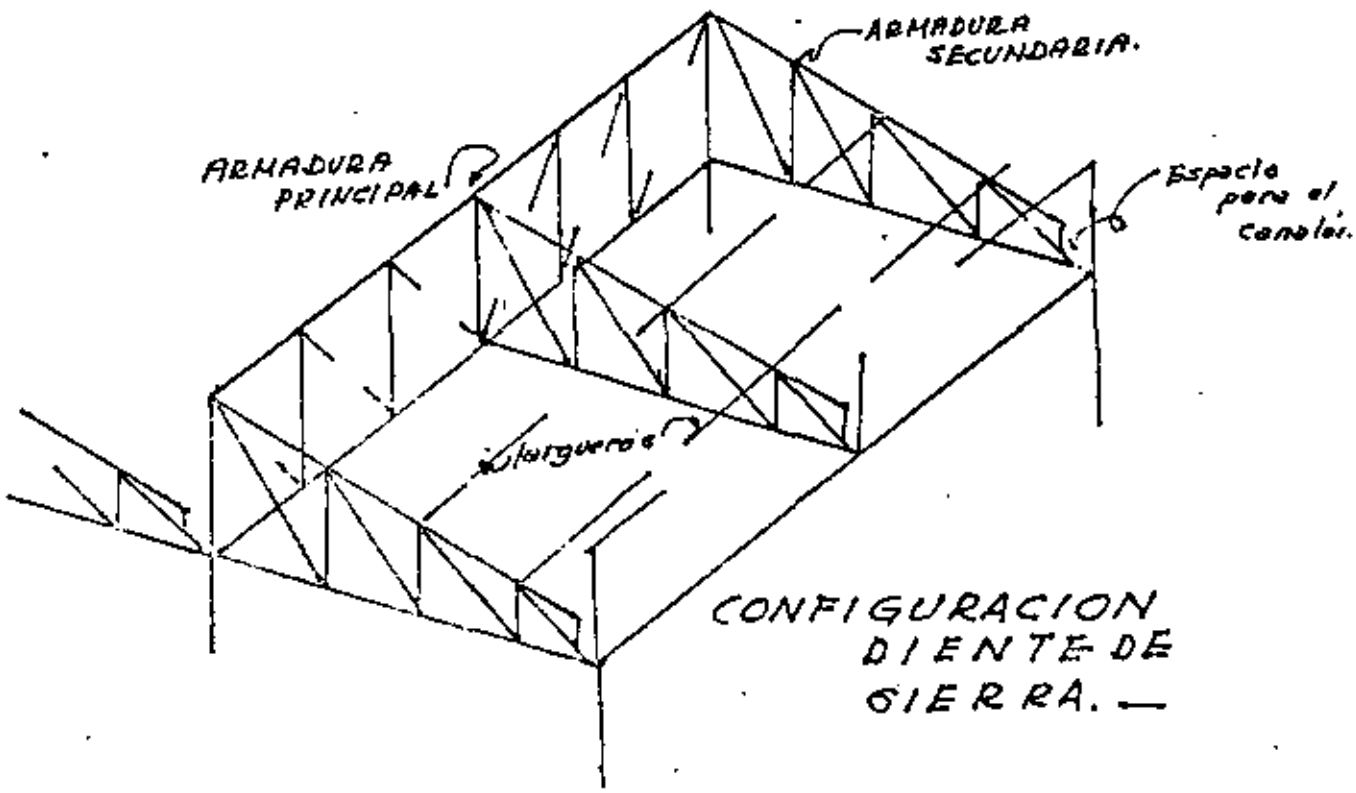
1) DATOS DEL PROBLEMA: Selección preliminar del tipo de estructura.

Los datos que se requieren, como elementos básicos son: las dimensiones del local . edificar, el uso o destino del mismo, las condiciones de funcionamiento, etc., datos que en general se obtienen del proyecto arquitectónico y en caso de que éste no exista, entonces la discusión y experiencia entre el proyectista y el usuario permitirán fijar dichos datos para elaborar un anteproyecto.

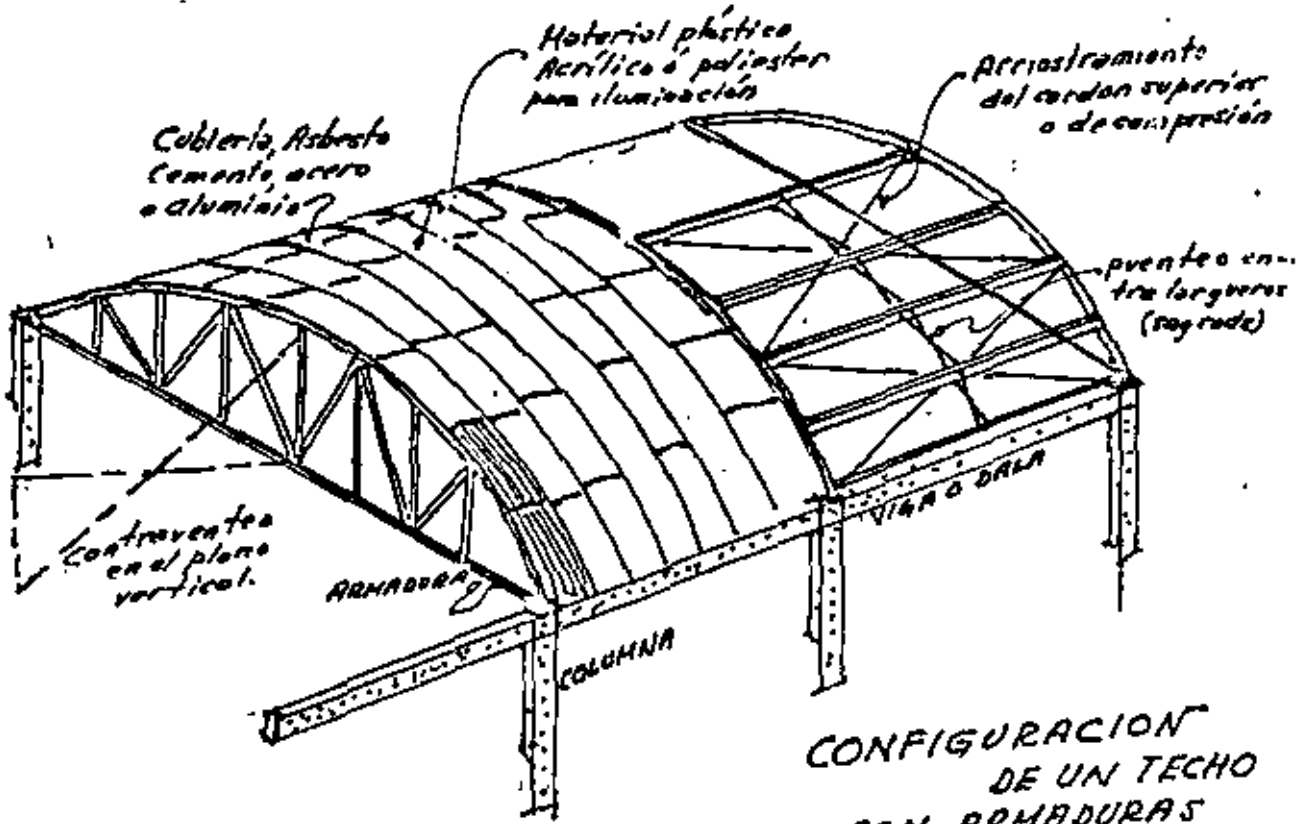
Existen formas múltiples de encarar el problema de la selección del tipo de estructura, y es posible dar recomendaciones de tipo general como son:

Supóngase que se trata de locales industriales, fábricas o locales comerciales, y que el requisito de iluminación

al máximo de columnas, es frecuente recurrir a techos en forma de "diente de sierra"lo que cumple con el primer requisito, el segundo se cumple si se combinan armaduras de cuerdas paralelas con triangulación Pratt con armaduras triangulares a una sola agua, con diagonales bajando de la parte de mayor altura a la de menor, interrumpiendo la cuerda superior para continuar con el esfuerzo en la primera diagonal y permitir así colocar el canalón del drenaje, la iluminación se proporcionará con ventanales que cubren el peralte de la armadura de cuerdas paralelas o puente, con este sistema se obtienen módulos sin columnas del orden de 15, 20, 25 ó 30m. X 5, 7.5, 10 ó 12.5m.

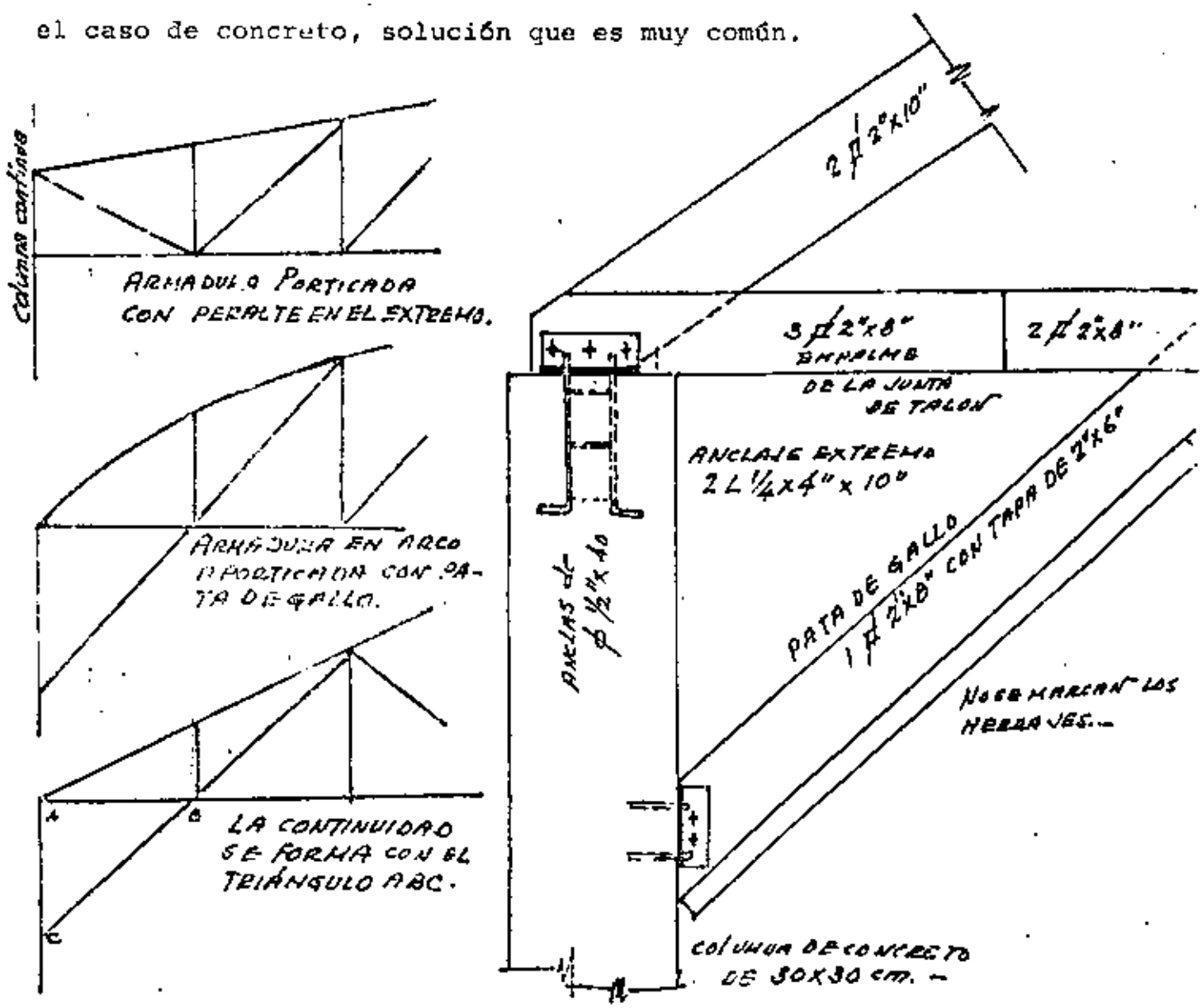


Otra solución al mismo problema si el compromiso de columnas no es obligado, se obtiene con cualquier tipo de armadura, de preferencia la de arco o Bowstring colocando una cubierta curva y sustituyéndola en las partes estratégicas con láminas de resina acrílica o de resinas poliester reforzadas con fibra de vidrio, que son traslúcidas y producen una iluminación zenital, en algunas ocasiones, ésta iluminación puede no ser conveniente porque deja pasar los rayos del sol y de acuerdo a la posición del mismo, la intensidad de su luz es variable, lo que no sucede con el "diente de sierra" cuando los ventanales se orientan al norte.



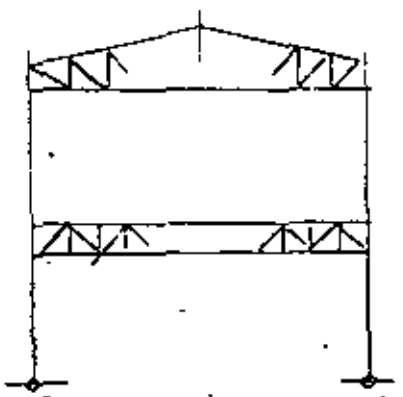

CONFIGURACION DE UN TECHO CON ARMADURAS BOWSTRING.

En las naves industriales, de una sola crujía - resulta conveniente aporticar a las armaduras con las columnas porque en estas condiciones nos encontramos en mejores condiciones para soportar adecuadamente cargas horizontales de sismo o de viento, sin necesidad de empotrar a las columnas en el cimiento, esto representa cierta economía, mayor que el incremento de costo que significa aperaltar las armaduras en sus extremos y reforzar sus elementos estructurales, cuando de armaduras de madera se trata, es conveniente desarrollar diseños especiales de anclajes para dar la continuidad sobre todo en aquellos casos en que las columnas son de materiales diferentes, como en el caso de concreto, solución que es muy común.



En los casos particulares y específicos de la casa - habitación, cuando como ya lo hemos señalado, resulte económico el uso de madera sea ya por su costo y facilidad de adquisición o por tratarse de una zona francamente forestal, señalaremos -- que la casa se construye generalmente por tableros o paneles que permiten colocar a las armaduras a cortas separaciones entre sí, lo que hace que sus escuadras sean relativamente pequeñas, por - otro lado es costumbre en los techos dar pendientes fuertes, así no es difícil que el peralte central de la armadura sea del 25%- del claro total, las triangulaciones en general son del tipo --- Prott.

Las armaduras para entrepisos son de cuerdas paralelas triangulación Warren de pequeño peralte pero que permite el paso de ductos e instalaciones.



En muchos casos las juntas se realizan - con multiclavo, procedimiento que permite ahorrar tiempo de fabricación pero -- que conduce a armaduras no fácilmente manejables y en muchas ocasiones no son -- juntas de gran resistencia por lo que no se aconsejan en estructuras porticadas.

Seleccionados pues los datos de un problema, la experiencia del proyectista define uno o varios tipos de estructuraciones y procede al análisis y al diseño para terminar con un -- estudio de costo de las diferentes alternativas estudiadas y tomar la desición en relación con el tipo económico que resuelve el problema.

2) CARGAS QUE SOLICITAN UNA ESTRUCTURA DE MADERA.-

Las cargas que solicitan una estructura dependen de su uso o finalidad pero independientemente de esto, se clasifican en dos tipos:

2.1 Cargas muertas o permanentes

2.2 Cargas vivas o accidentales.

de acuerdo a este tipo de cargas vamos a establecer el criterio para su evaluación.

2.1 CARGAS MUERTAS.- Este tipo de cargas lo constituyen, cuando de techo o cubiertas se trata, de los materiales que forman la cubierta, los largueros, arriostramiento y contraventeos, el peso propio de las mismas armaduras, canalones en el caso que graviten sobre las armaduras, ventanales en el caso de los dientes de sierra, etc.

* Una idea del peso de las cubiertas se da en la tabla siguiente:

Clase de cubierta:

| | |
|---|---|
| Lámina de asbesto cemento corrugada de 6.3mm de grueso | 15 K/m2 |
| Lámina de acero corrugada calibre 22 | 7.5K/m2 |
| Lámina de acero corrugada calibre 20 | 9.0K/m2 |
| Lámina de acero corrugada calibre 18 | 11.2K/m2 |
| Lámina de aluminio corrugada | 2.0K/m2 |
| Fieltro asfaltico mesósfalto #12 | 10.0K/m2 |
| Cubierta de duela de 1" nominal | 14.0K/m2 |
| Capa de celotex | 2.5K/m2 |

* El peso de largueros, contravientos y riostras, generalmente los primeros se calculan en forma de vigas simplemente apoyadas sujetas al peso de la cubierta más la carga viva de reglamento más un peso propio estimado, así al definirse la escuadria resulta fácil calcular el peso de dichos elementos.

Como con frecuencia se requiere la cubicación de los largueros en pies tablon ( 1'bm) conviene recordar que el peso del millar de pies de las siguientes especies es:

| Especie | Condición | Peso volumétrico T/m3 | | Peso |
|---|---|---|---|---|
| | | Max | Min | |
| Caoba | seca | 0.65 | 0.55 | 1300 Kg/millar |
| | saturado | 1.00 | 0.70 | 1650 Kg/millar |
| cedro | seco | 0.55 | 0.40 | 940 Kg/millar |
| | saturado | 0.70 | 0.50 | 1180 Kg/millar |
| oyamel | seco | 0.40 | 0.30 | 710 Kg/millar |
| | saturado | 0.65 | 0.55 | 1300 Kg/millar |
| encino | seco | 0.90 | 0.80 | 1880 Kg/millar |
| | saturado | 1.00 | 0.80 | 1880 Kg/millar |
| Pino | seco | 0.65 | 0.45 | 1060 Kg/millar |
| | saturado | 1.00 | 0.80 | 1880 Kg/millar |

* Peso de las armaduras.- El peso propio de las armaduras de madera depende de varios factores a saber: clase y condiciones dela madera utilizada, características de las normas de diseño, tipo y valores de las cargas usadas en el análisis, y de manera preponderante el clavo y tipo de armadura proyectada así como la separación lateral entre las armaduras.

En muchas ocasiones se han establecido fórmulas empíricas que toman en cuenta estos factores, como son las propuestas por Jacoby and Davies o H. Hansen, por considerar a estos últimos los más recientes, las propondremos en estas notas, ya traducidas al sistema métrico.

| Tipo de armadura | Peso en Kg por m2 de sup.proyectada |
|---|---|
| Armadura a dos aguas | $W_{pp} = 1.025 L$ |
| Armadura Pratt de cuerdas paralelas | $W_{pp} = 0.69 L + 8.55$ |
| Armadura en arco (Bowstring) | $W_{pp} = 0.61 L + 2.93$ |

$L$ = claro en metros

El peso total de la armadura se obtendrá multiplicando el area proyectada ( S X L ) por la carga Wpp en K/m2.

2.2) CARGAS VIVAS.- Las cargas vivas que actuan sobre una estructura de madera, también dependen de el uso de la estructura en el caso que nos ocupa, las armaduras se utilizarán en EDIFICACION exclusivamente y por tanto solo tendrán como uso el de sistema de carga de entrepisos o sistema de carga de cubiertas o techos.

Al fin antes señalado nos referiremos al capítulo XXXVI Artículo 225 a 229 del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal. México, año de 1977, del cual reproducimos la tabla de cargas vivas y sus comentarios.

Igualmente señalamos que en las combinaciones de carga muerta y viva, las normas permiten un incremento al esfuerzo de diseño de un 15% cuando los elementos de soporte de una cubierta o un sistema de piso, se espacían a no más de 60cm, se permite incrementar los esfuerzos básicos en 20%.

Igualmente haremos mención en la nota relativa a la determinación del area tributaria A que figura en la tabla en el caso de que los sistemas de piso o cubierta, resulten elementos integrados de sistema de soporte y piso o cubierta (polines de madera y cubierta de madera clavada) en cuyo caso intervendrá la relación de rigideces del sistema de soporte y cubierta para dicha determinación, del area A.

2.3) OTRAS CARGAS: Otro tipo de cargas vivas accidentales las constituye el viento y el sismo.

En relación con estos tipos de carga, es decir el -

## TABLA DE CARGAS VIVAS UNITARIAS DE DISEÑO, EN $kg/m^2$

| Destino del piso o cubierta | $w$ | $w_a$ | $w_m$ | Observaciones |
|---|---|---|---|---|
| I. Habitación (casas-habitación, apartamientos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares), oficinas, despachos y laboratorios | 70 | 90 | $120+420A^{-\frac{1}{2}}$ | (1) |
| II. Comunicación para peatones (pasillos, escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de acceso libre al público) | | | | |
| Cuando sirven a no más de 200 $m^2$ de área habitable | 40 | 150 | $150+200A^{-\frac{1}{2}}$ | |
| Cuando sirven a un área habitable superior a 200 $m^2$ e inferior a 400 $m^2$ | 40 | 150 | $150+400A^{-\frac{1}{2}}$ | |
| Cuando sirven a 400 $m^2$ o más de área habitable o a un lugar de reunión | 40 | 150 | $150+600A^{-\frac{1}{2}}$ | |
| III. Estadios y lugares de reunión sin asientos individuales | 40 | 350 | 450 | |
| IV. Otros lugares de reunión (templos, cines, teatros, gimnasios, salones de baile, restaurantes, bibliotecas, aulas, salas de juego y similares) | 40 | 250 | 300 | (2) |
| V. Comercios, fábricas y bodegas | | | | |
| Area tributaria hasta de 20 $m^2$ | $0.8w_m$ | $0.9w_m$ | $w_m$ | (3) |
| Area tributaria mayor de 20 $m^2$ | $0.7w_m$ | $0.8w_m$ | $0.9w_m$ | (3)a |
| VI. Tanques y cisternas | $0.7w_m$ | $0.8w_m$ | $w_m$ | (4) |
| VII. Cubiertas y azoteas con pendiente no mayor de 5% | 15 | 70 | 100 | (5) |
| VIII. Cubiertas y azoteas con pendiente mayor de 5% y menor de 20% | 5 | 20 | 60 | (6) |
| IX. Cubiertas y azoteas con pendiente mayor de 20% | 5 | 20 | 30 | (6) (7) |
| X. Volados en vía pública (marquesinas, balcones y similares) | 15 | 70 | 300 | |
| XI. Garajes y estacionamientos (para automóviles exclusivamente) | 40 | 100 | 150 | (8) |
| XII. Andamios y cimbra para concreto | 15 | 70 | 100 | (9) |

OBSERVACIONES

1) Por lo menos en una estancia o sala-comedor de las que contribuyen a la carga de una viga, columna u otro elemento estructural de una casa-habitación, edificio de apartamientos o similar, debe considerarse para diseño estructural $w_m = 250 kg/m^2$ y en las demás según corresponda al área tributaria en cuestión.

2) Las cargas especificadas no incluyen el peso de muros divisorios de tabique ni de otros materiales de peso comparable, ni de cortinajes en salas de espectáculos, archivos importantes, cajas fuertes, libreros sumamente pesados ni el de otros objetos no usuales. Cuando se prevean tales cargas deberán diseñarse elementos estructurales destinados a ellas, especificarse en los planos estructurales y, mediante placas metálicas colocadas en lugares fácilmente visibles de la construcción, señalarse su ubicación y carga permisible.

3) Atendiendo al destino del piso se fijará la carga unitaria nominal $w_m$, que corresponda a un área tributaria menor de 20 $m^2$, la que deberá especificarse en los planos estructurales y en placas metálicas colocadas en lugares fácilmente visibles de la construcción. La carga $w_m$ será mayor de 350 $kg/m^2$ en todos los casos. Cuando se prevean cargas concentradas importantes se debe proceder como se especifica en 2).

4) $w_m$ = presión en el fondo del tanque o cisterna, correspondiente al tirante máximo posible.

5) Las cargas vivas en estas cubiertas y azoteas pueden disminuirse si mediante lloraderos adecuados se asegura que el nivel máximo que puede alcanzar el agua de lluvia en caso de que se tapen las bajadas no produce una carga viva superior a la propuesta; pero en ningún caso este valor será menor que el correspondiente al especificado para cubiertas y azoteas con pendiente mayor de cinco y menor de 20 por ciento.

   Las cargas vivas especificadas para cubiertas y azoteas no incluyen las cargas producidas por tinacos y anuncios. Estas deben preverse por separado y especificarse en los planos estructurales.

   En el diseño de pretiles de cubiertas, azoteas y barandales para escaleras, rampas, pasillos y balcones, se supondrá una carga viva horizontal no menor de 100 kg/m actuando al nivel y en la dirección más desfavorables.

6) Adicionalmente los elementos de las cubiertas deberán revisarse con una carga concentrada de 100 kg en la posición más crítica, si ésta resulta más desfavorable que la carga uniforme especificada.

7) Además, en el fondo de los valles de techos inclinados se considerará una carga, debida al granizo, de 30 kg por cada metro cuadrado de proyección horizontal del techo que desagüe hacia el valle.

8) Más una concentración de 1.5 ton en el lugar más desfavorable del miembro estructural de que se trate:

9) Más una concentración de 100 kg en el lugar más desfavorable; debe cumplirse, además, con lo dispuesto en el capítulo de Cimbras y Andamios del Título V.

sismo y el viento, consideramos su efecto como carga instantanea de corta duración, en general todas las normas señalan una propiedad notable de la madera y esta en su gran capacidad para absorver cargas instantaneas y de impacto, por esto se permiten que los esfuerzos de diseño incrementen un 50% para el caso del viento y el sismo consideradas como cargas de corta duración y un incremento del 100% para los efectos de impacto como en el caso de estructuras de madera para puentes, que fueron tan comunes en los Estados Unidos en el pasado.

El proyectista de estructuras de madera debe tener la experiencia suficiente para proyectar estructuras si el caso así lo amerita, que resulten estables a la acción de las cargas laterales realizado esto según su criterio procederá a analizar estos efectos y a revisar su diseño, incrementando los esfuerzos en el 50%.

Es muy común que el efecto sísmico no sea considerado pero no sucede lo mismo para el efecto de viento en virtud de que frecuentemente la acción es contraria a la gravitacional y pueden invertirse los esfuerzos, por lo que la revisión se vuelve indispensable.

A tal fin recomendamos la lectura del capítulo XXXVIII artículos 249 a 258 del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y las nromas técnicas complementarias.

Para terminar esta parte del análisis deberemos contar con un esquema de la estructura con sus cargas normales y con todas las alternativas de carga por analizar.

3) Análisis de la estructura y determinación de esfuerzos en las barras.-

Simplemente diremos que el análisis de una armadura isostática es un problema elemental de Estática y que puede resolverse de varias maneras a saber.

método gráfico — { de juntas o cremona / de secciones o Ritter.

método analítico — { de juntas / de secciones.

Los métodos gráficos pese a su elegancia cada vez --- pierden vigencia ante el avance incontenible de los métodos analíticos que utilizan la computadora como elemento de análisis, diseño y aún de optimización, por esta razón no hablaremos de ellos.

Los métodos analíticos que sirven de base para la programación por computadora están basados, el primero de ellos, o sea el de juntas, en establecer las ecuaciones de de equilibro de sistemas de fuerzas concurrentes, que siendo en número de dos ecuaciones no podremos tener más de dos esfuerzos incógnitas en el nudo o junta.

El método de secciones consiste como se recordará, en hacer una sección que no corte más de tres barras y considerar el equilibrio de las porciones derecha o izquierda estableciendo el sistema de ecuaciones de equilibrio para un sistema de fuerzas coplanares o cualesquiera que son en número de tres.

Obviamente antes del planteo de las ecuaciones deberemos haber resuelto el equilibrio externo de la armadura, lo que significa haber calculado las reacciones de apoyo.

La finalidad de este paso es obtener una tabla de esfuerzos de la armadura, en donde aparezcan tanto las longitudes de los elementos que integran la armadura como los valores de los esfuerzos incluyendo su signo para las diferentes combinaciones de carga para proceder al diseño. Un ejemplo de esta tabla se presenta a continuación:

| MIEMBRO | | Long. cm | C. MUERTA C. Vertical | | C. VIVA C. Vertical | | VIENTO C. Inclinada | | ESCUADRIA | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Comp(-) | tens. (+) | Comp(-) | tens. (+) | Comp(-) | tens. (+) | dimension | Cubicac. |
| CUERDA SUPERIOR | | | | | | | | | 20 | |
| | | | | | | | | 3 | | |
| | | | | | | | | 1 | | |
| | | | | | | | | 40 | | |
| CUERDA INFERIOR | | | | | | | | 80 | | |
| | | | | | | | | 100 | | |
| | | | | | | | | 1 | | |
| DIAGONALES | | | | | | | | 7 | | |
| MONTANTES | | | | | | | | | | |

4) DISEÑO DE ARMADURAS.-

El diseño de armaduras es el paso siguiente dentro de la metodología del proyecto y consiste en establecer las dimensiones generales de los elementos en función de los esfuerzos permisibles de diseño para cada caso en particular.

El método de diseño tan común en el concreto o en el acero estructural, basado en la determinación del elemento mecánico interno (carga última, momento último,etc.) no es posible a la fecha establecerlo en el caso de la madera, entre otras causas por la falta de investigación tecnológica que conduzca mediante la experimentación y la teoría a la determinación de las cargas últimas tomando en cuenta la heterogeneidad y los defectos de los materiales maderables.

En vista de lo anterior, el procedimiento a seguir es el método llamado ELASTICO basado en los esfuerzos de trabajo o esfuerzos permisibles.

A través de este curso se ha aprendido a seleccionar esfuerzos básicos para una determinada calidad de madera, a conocer los incrementos de esfuerzos en función de las condiciones de servicio y las condiciones de carga, en este capítulo presentamos una serie de documentos que son ayuda de diseño y cuya aplicación es objeto de los cursos de mecánica de materiales.

Esfuerzos básicos:

Son los esfuerzos que pueden considerarse permisibles en condición de madera húmeda, de primera y carga normal de larga duración, estos son:

MADERA DE PINO DE PRIMERA.-

Densidad: 0.50 semiseco

Contenido de humedad: mayor de 18%

Carga muerta de gran duración.

Clase de madera S = Selecta I = de primera

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 10% | Compresión y tensión en flexión: | $f_{bp}$ = 80 K/cm2 | 60 K/cm2 |
| | | | 10% | Tensión paralela a la fibra: | $f_{tp}$ = 80 K/cm2 | 60 K/cm2 |
| | | | 20% | Compresión paralela a la fibra: | $f_{cp}$ = 70 K/cm2 | 50 K/cm2 |
| | | | 50% | Compresión perpendicular a la fibra: | $f'_{cp}$ = 15 K/cm2 | 15 K/cm2 |
| | | | | Cortante paralelo a la fibra. | $f_{rp}$ = 15 K/cm2 | 15 K/cm2 |
| | | | 10% | Módulos de Elasticidad: | E = 70000 K/cm2 | 70000 K/cm2 |
| Para carga viva 15% | Para viento y temblores 50% | Para impacto 100% | Incremento para CI: 10% | Si los elementos que sirven de soporte de las cargas estan espaciados 60 cm. o menos, los esfuerzos permisibles pueden incremen-arse, | | |

# FORMULAS DE DISEÑO Y REVISION

## 1ª TENSION.- (II a la fibra)

$f_{tp} = f_{td} = 88\ Kg/cm^2$ Selecta seca y totalmente limpia.

$= 66\ Kg/cm^2$ Madera de 1ª limpia y seca.

## 2ª COMPRESION.-

Esfuerzo Básico de Compresión II a la fibra.-

Madera de 1ª $f_{cp} = 60\ Kg/cm^2$.-

Si llamamos $C_s = \frac{KL}{d}$ (relación de esbeltes. incluyendo en la constante K la condicion de apoyo)

(Para valores de K ver tabla pag 23)

2-1 Columnas Macizas

Si $C_s \leqslant 10$ $f_{cd} = 60\ Kg/cm^2$

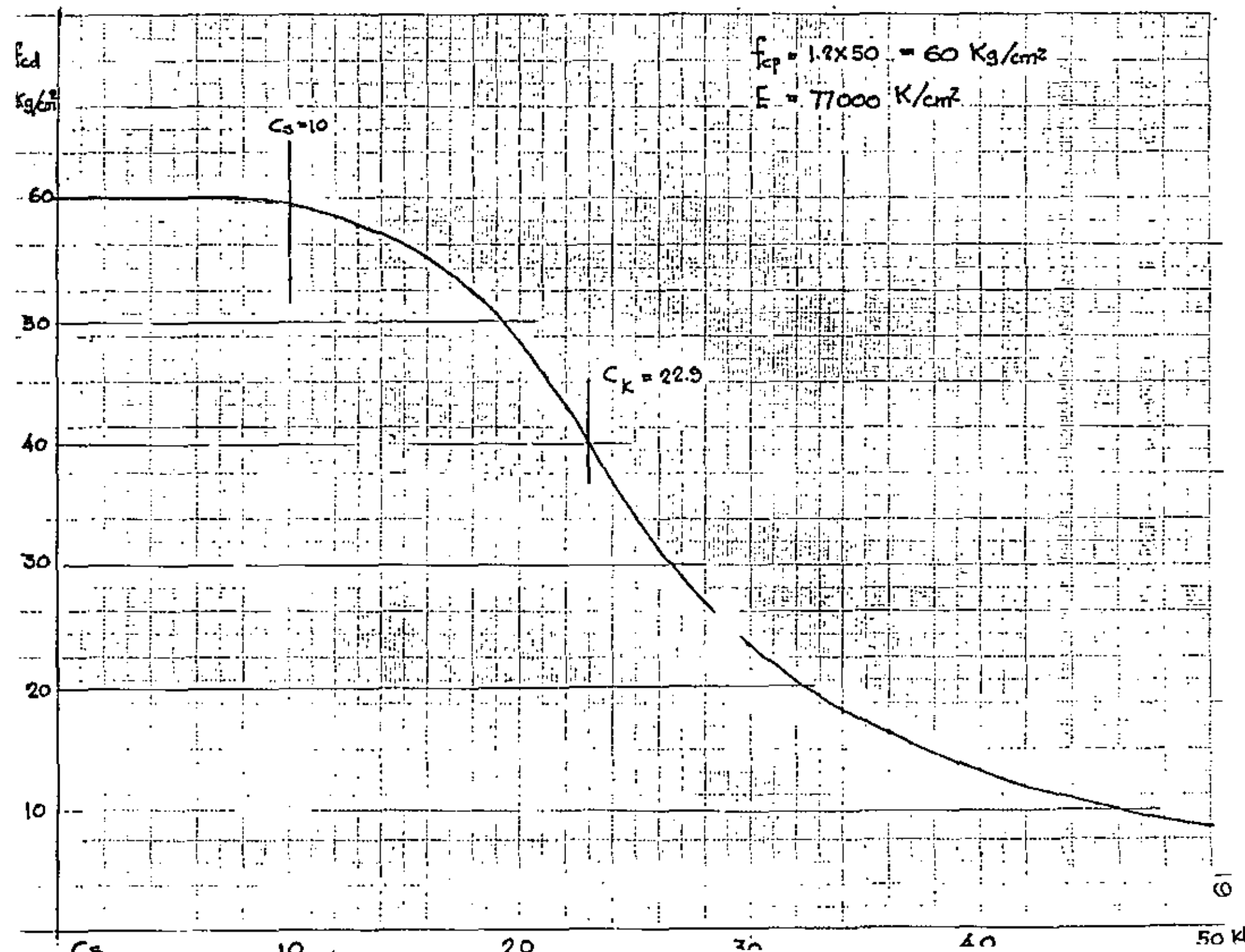
Si $C_K > C_s > 10$ $f_{cd} = 60\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{C_s}{22.9}\right)^4\right]$

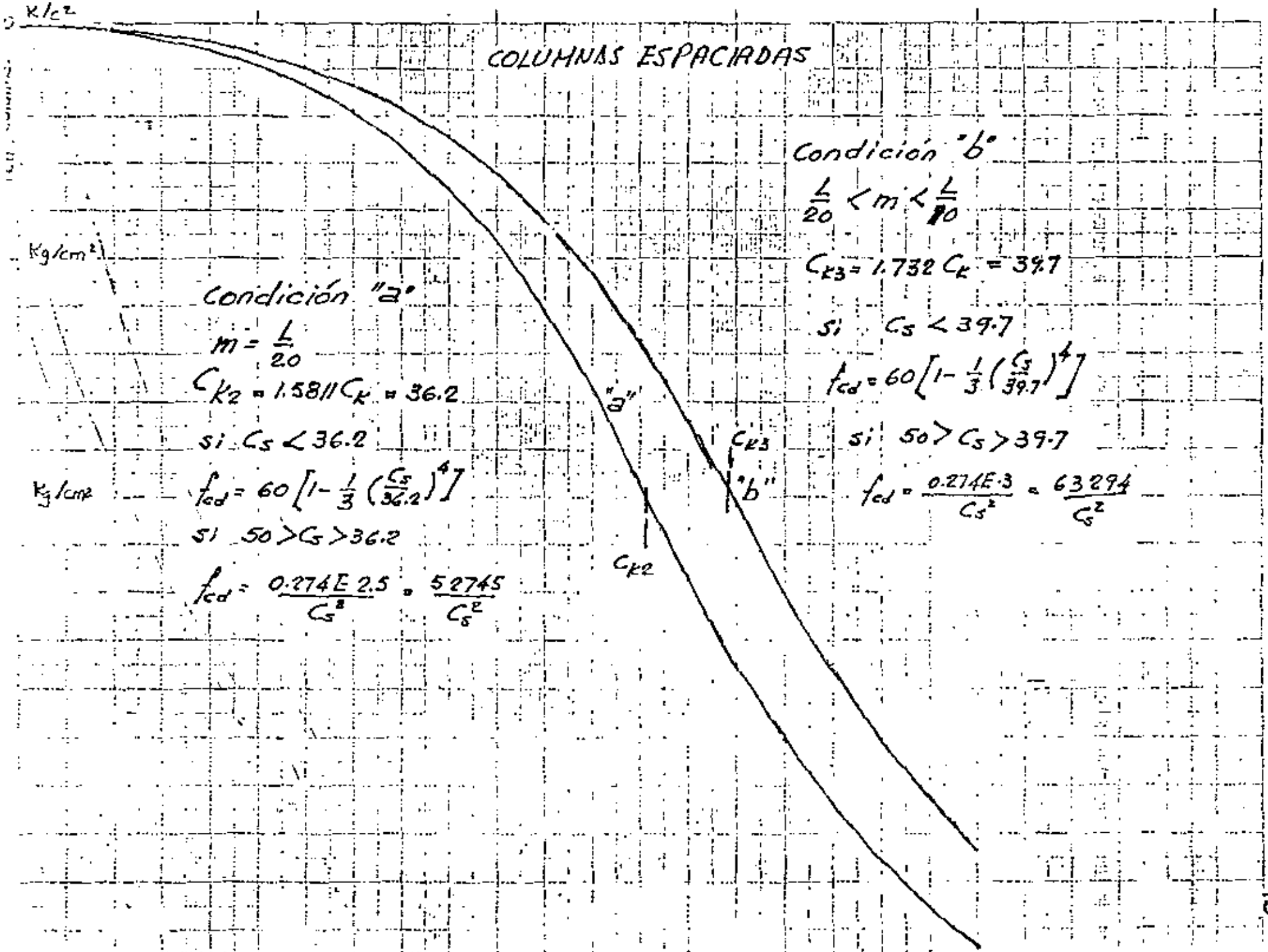
y en donde $C_K = 0.64\sqrt{\frac{E}{f_{cp}}} = 22.9$

Si $C_s > C_k$ $f_{cd} = \frac{21098}{C_s^2}$

| $C_s$ | $f_{cd}$ | $C_s$ | $f_{cd}$ | $C_s$ | $f_{cd}$ | $C_s$ | $f_{cd}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 11 | 58.9 K/c² | 21 | 45.8 K/c² | 31 | 21.9 K/c² | 41 | 12.6 K/c² |
| 12 | 58.5 | 22 | 43.0 | 32 | 20.6 | 42 | 12.0 |
| 13 | 57.9 | 23 | 39.9 | 33 | 19.4 | 43 | 11.4 |
| 14 | 57.2 | 24 | 36.6 | 34 | 18.3 | 44 | 10.9 |
| 15 | 56.3 | 25 | 33.9 | 35 | 17.2 | 45 | 10.4 |
| 16 | 55.2 | 26 | 31.2 | 36 | 16.3 | 46 | 10.0 |
| 17 | 53.9 | 27 | 28.9 | 37 | 15.4 | 47 | 9.6 |
| 18 | 52.4 | 28 | 26.9 | 38 | 14.6 | 48 | 9.2 |
| 19 | 50.5 | 29 | 25.1 | 39 | 13.9 | 49 | 8.8 |
| 20 | 48.4 | 30 | 23.4 | 40 | 13.2 | 50 | 8.4 |

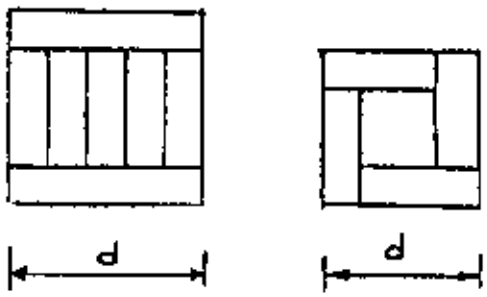
Estos resultados están graficados en la hoja siguiente.


$f_{cd}$ Kg/cm²
$f_{cp} = 1.2 \times 50 = 60$ Kg/cm²
$E = 77000$ K/cm²
$C_s = 10$
$C_k = 22.9$
60
50
40
30
20
10
$C_s$
10
20
30
40
50


K/c²
COLUMNAS ESPACIADAS
Kg/cm²
Condición "a"
$m = \frac{L}{20}$
$C_{k2} = 1.5811 C_k = 36.2$
si $C_s < 36.2$
Kg/cm²
$f_{cd} = 60\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{C_s}{36.2}\right)^4\right]$
si $50 > C_s > 36.2$
$f_{cd} = \frac{0.274E\,2.5}{C_s^2} = \frac{52745}{C_s^2}$
"a"
$C_{k2}$
$C_{k3}$
"b"
Condición "b"
$\frac{L}{20} < m < \frac{L}{10}$
$C_{k3} = 1.732\, C_k = 39.7$
si $C_s < 39.7$
$f_{cd} = 60\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{C_s}{39.7}\right)^4\right]$
si $50 > C_s > 39.7$
$f_{cd} = \frac{0.274E\cdot 3}{C_s^2} = \frac{63294}{C_s^2}$

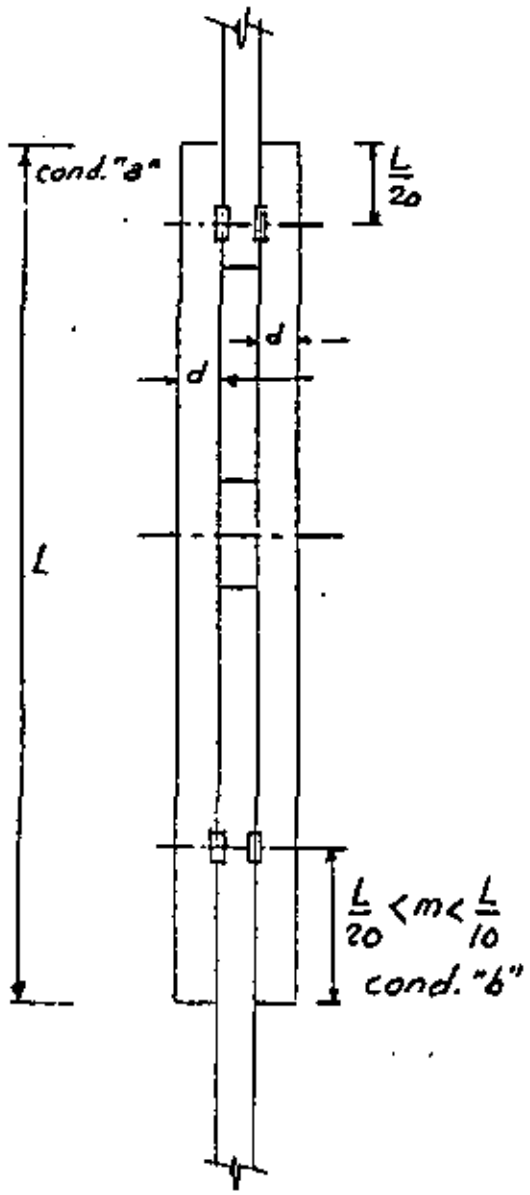
## 2.2 Columnas armadas.-

Son columnas formadas por la union de varios tablones como se indica en la figura, su cálculo se realiza usando el valor de la "$f_{cd}$" afectada de un coeficiente que es función de $C_s$, ver la tabla siguiente.




| $\frac{KL}{d} = C_s$ | 6 | 10 | 14 | 18 | 22 | 26 | 30 | 34 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| % Reduc. | 82 | 77 | 71 | 65 | 74 | 82 | 91 | 99 |

## 2.3 Columnas Espaciadas.-




Son columnas formadas por dos tablas o tablones, físicamente separados entre sí, a excepción del centro en que se encuentran unidos a través de un block espaciador y en sus extremos por sus blocks de apoyo.

Existen dos condiciones de columnas dependiendo del margen extremo de la columna, o sea la distancia entre los conectores de apoyo y el borde extremo libre de la pieza (ver figura) y son:

Condición "a" si el margen es: $\frac{L}{20}$ entonces, el punto de tangencia entre la parábola cuarta y la curva de Euler está

$$C_{k2} = 0.64\sqrt{\frac{2.5E}{f_{cp}}} = 1.5811k = 36.2$$

para $C_s < 36.2$

$$f_{cd} = 60\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{C_s}{C_{k2}}\right)^4\right]$$

para $C_s > 36.2$

$$f_{cd} = \frac{0.274E \times 2.5}{C_s^2} = \frac{62745}{C_s^2}$$

Condicion "b" si el margen extremo "m" queda comprendido entre

$$\frac{L}{10} > m > \frac{L}{20}$$

$$C_{k3} = 0.64\sqrt{\frac{3E}{f_{cp}}} = 1.732\,C_k = 39.7$$

para $C_s < 39.7$

$$f_{cd} = 60\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{C_s}{C_{k3}}\right)^4\right]$$

para $C_s > 39.7$

$$f_{cd} = \frac{0.274\,E \times 3}{C_s^2} = \frac{63294}{C_s^2}$$

| | Kg/cm² | | | Kg/cm² | | | K/cm² | | | K/cm² | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_s$ | (a) $f_{cd}$ | (b) $f_{cd}$ | $C_s$ | (a) $f_{cd}$ | (b) $f_{cd}$ | $C_s$ | (a) $f_{cd}$ | (b) $f_{cd}$ | $C_s$ | (a) $f_{cd}$ | (b) $f_{cd}$ |
| 11 | 59.9 | 59.9 | 21 | 57.7 | 58.4 | 31 | 49.3 | 52.6 | 41 | 31.4 | 37.7 |
| 12 | 59.8 | 59.8 | 22 | 57.3 | 58.1 | 32 | 47.8 | 51.5 | 42 | 29.9 | 35.9 |
| 13 | 59.7 | 59.75 | 23 | 56.8 | 57.4 | 33 | 46.2 | 50.5 | 43 | 28.5 | 34.2 |
| 14 | 59.6 | 59.7 | 24 | 56.2 | 57.2 | 34 | 44.5 | 49.3 | 44 | 27.2 | 33.0 |
| 15 | 59.4 | 59.6 | 25 | 55.4 | 56.9 | 35 | 42.5 | 47.9 | 45 | 26.0 | 31.3 |
| 16 | 59.2 | 59.5 | 26 | 54.7 | 56.3 | 36 | 40.4 | 46.5 | 46 | 24.9 | 29.9 |
| 17 | 59.0 | 59.3 | 27 | 53.8 | 55.7 | 37 | 38.5 | 44.9 | 47 | 23.9 | 28.7 |
| 18 | 58.8 | 59.2 | 28 | 52.9 | 55.1 | 38 | 36.5 | 43.2 | 48 | 22.9 | 27.5 |
| 19 | 58.5 | 58.9 | 29 | 51.8 | 54.3 | 39 | 34.7 | 41.4 | 49 | 22.0 | 26.4 |
| 20 | 58.1 | 58.7 | 30 | 50.6 | 53.5 | 40 | 33.0 | 39.6 | 50 | 21.1 | 25.3 |

## 3.- FLEXION.-

$$f_b = \frac{M}{S}\,\frac{1}{C_f} \leq 66\ \text{Kg/cm}^2$$

$f_b$ = esfuerzo actual de compresión o tension en la sección transversal solicitada por el momento flexionante M y con módulo de sección $S = \frac{bd^2}{6}$ (para sección rectangular) y si $C_f$ = coeficiente de flexión que vale: $C_f = 1$ si $d \leq 30$ cm

si $d > 30$ cm $C_f = 0.81\,\frac{d^2 + 922}{d^2 + 568}$

## 4.- CORTANTE.-

$$f_v = \frac{3}{2}\,\frac{T}{A} \leq f_{vp} \quad \left(f_{vp} = 15\ \text{Kg/cm}^2\right)$$

Donde T es el cortante a una distancia igual a un peralte del apoyo.

# 5.- FLEXO COMPRESION.-

Este tipo de esfuerzo se presenta en las cuerdas superiores de las armaduras cuando los largueros no descargan en los nudos de la misma y hacen trabajar a la cuerda como viga.

La expresión que sigue toma en cuenta tres efectos básicos: la compresion como columna, la flexión como viga solicitada por el momento M y la excentridad "e" de la carga P que incrementa la acción de la flexión provocando pandeo.

La fórmula de interacción es la siguiente:

$$\frac{f_c}{f_{cd}} + \frac{f_b + f_c \frac{6e\beta}{d_e}}{f_{bd} \cdot C_f} \leq 1$$

en donde:

$f_c$ = esfuerzo actual de compresion = $P/A$

$f_b$ = esfuerzo actual de compresion por flexión = $\frac{M}{S}$

$f_{cd}$ = esfuerzo, permisible o de diseño como columna definido en 2.-

$f_{bd}$ = esfuerzo permisible o de diseño a la flexión con posibilidad de pandeo y vale según 3.-

$f_{bd} = 66\ Kg/cm^2$ si $C_{sb} \leq 10$

$f_{bd} = 66\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{C_{sb}}{C_{kb}}\right)^4\right]$ si $C_{kb} > C_{sb} > 10$

$f_{bd} = \frac{0.40E}{(C_{sb})^2} = \frac{30800}{(C_{sb})^2}$ si $50 > C_{sb} > C_{kb}$

en donde $C_{sb} = 1.4\sqrt{\frac{(d)(l)}{b^2}}$ esbeltez por flexión

$$C_{kb} = \sqrt{\frac{0.6E}{f_{bp}}} = 26.5$$

$C_f$ = coeficiente de flexión definido en 3.-

$e$ = excentricidad de la carga $P$ con un valor mínimo

$$e_{min} = 0.1(b) \text{ ó } 0.1(d)$$

$d_e$ = dimensión de la sección transversal medida en la dirección en que se define "e"

$\beta = 1$ si la columna es intermedia (fórmula de la parábola cuarta dada en 2.)

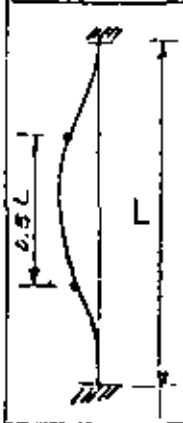
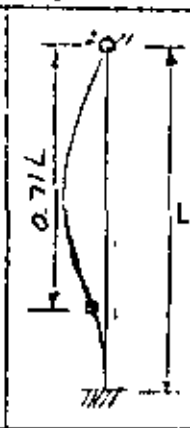
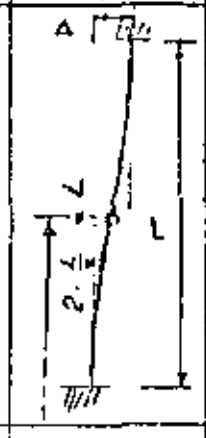
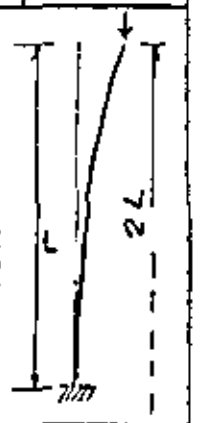
$\beta = 1.25$ si la columna es larga. Fórmula de Euler.-

A continuación se tabulan los valores de $f_{bd}$ para diferentes valores de la relación de esbeltez por flexión y que denominamos $C_{sb}$.

| $C_{sb}$ | $f_{bd}$ | $C_{sb}$ | $f_{bd}$ | $C_{sb}$ | $f_{bd}$ | $C_{sb}$ | $f_{bd}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 11 | 65.3 | 21 | 57.4 | 31 | 32.0 | 41 | 18.3 |
| 12 | 65.1 | 22 | 55.6 | 32 | 30.0 | 42 | 17.5 |
| 13 | 64.7 | 23 | 53.5 | 33 | 28.3 | 43 | 16.7 |
| 14 | 64.3 | 24 | 51.2 | 34 | 26.6 | 44 | 15.9 |
| 15 | 63.8 | 25 | 48.6 | 35 | 25.1 | 45 | 15.2 |
| 16 | 63.1 | 26 | 45.2 | 36 | 23.8 | 46 | 14.6 |
| 17 | 62.3 | 27 | 42.2 | 37 | 22.5 | 47 | 13.9 |
| 18 | 61.3 | 28 | 39.3 | 38 | 21.3 | 48 | 13.4 |
| 19 | 60.2 | 29 | 36.6 | 39 | 20.2 | 49 | 12.8 |
| 20 | 58.9 | 30 | 34.2 | 40 | 19.3 | 50 | 12.3 |

$K/cm^2$

Valores de K.-

| Doblemente empotrada | Empotrada y articulada | Dob. empotr. c/desplaz. | Doblemente articulada | Empotrada y libre. |
|---|---|---|---|---|
|  |  |  | |  |
| 0.5 | 0.71 | 1.00 | 1.0 | 2.0 | K Teórico |
| 0.65 | 0.80 | 1.20 | 1.0 | 2.0 | K aconsejado. |

CONEXIONES.-

Existen multitud de herrajes utilizados para realizar las conexiones o juntas en las armaduras de madera, enumeramos algunos de ellos sin pretender agotar los tipos, a saber:

1) Clavo de acero común, en alambre brillante
2) Clavos especiales: barbado, moleteado, etc.
3) Pijas y tornillos
4) Pernos
5) Conectores, de anillo partido, anillo dentado, placa dentada, rejillas espigadas, placas redondas de uñas ,placas de esfuerzo cortante de hierro maleable o de acero forjado, etc. multiclavo.
6) Llaves: de madera dura de sección circular, cuadrada o rectangular.
7) Dovelas Kubler de madera dura, de material plástico como la resina poliester, etc.
8) Pegamento de base caseínica, de urea formaldehido etc.. resistentes o no al agua como el acetato de polivinilo,etc.

En el caso particular que nos ocupa, de armaduras de dimensiones reducidas tanto en clavo como en separación lateral y en este caso con cargas modestas, los tipos de herrajes usuales son los pernos, los clavos y el multiclavo, en el caso particular de los pernos, su diseño debe haberse discutido anteriormente por lo que en este caso particular solamente tocaremos el uso del clavo y mencionaremos el de la placa multiclavo.

CLAVOS:

Existen diversos tipos de clavos, el clavo de alambre de acero común en acabado pulido ó brillante y que es en México el clavo común, el clavo cortado (de sección rectangular variable) el clavo para cimbra (con doble cabeza) el clavo con cabeza de plomo para fijas la lámina de asbesto cemento, la tachuela para ruberoide, el clavo tornillo, el clavo galvanizado o con algún otro recubrimiento protector contra el oxido, el clavo con ranuras anuladas, el clavo barbado, etc. en este caso nos vamos a referir al clavo brillante cuyas características mecánicas se señalan, en la inteligencia de que en general, estas características se mejoran en los clavos que se enumeraron.

Tenemos dos tipos de resistencia en los clavos y éstas son:

1) La resistencia a la extracción

2) La resistencia lateral

En el primer caso la resistencia a la extracción depende tanto de la densidad de la madera como el diámetro y de la colocación del clavo en relación con la dirección de la madera, si usamos un coeficiente de seguridad de 6, la resistencia a la extracción para un Pino del Sureste Norteamericano es:

$$P = 1150\ G^{5/2} D \text{ en lbs./pulg.}$$

Las normas del DDF dan una resistencia a la extracción de:

$$P = 11\ DG^{5/2} \text{ en Kg/cm}$$

siempre que se adopten las normas de separación entre hileras márgenes, extremos y laterales así como separación entre clavos dados en 5.2.2 de las normas complementarias.

Resistencia lateral, las pruebas conducidas por el Ingeniero Jehová Guerrero y Torres en los años de 1945 a 1950 en-

Clavo de Alambre Común - pulido brillante. Resist lateral en madera. - paralelo a la fibra.

| SISTEMA AMERICANO | | | | | SISTEMA MEXICANO | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tamaño | Calibre | Long. " | Diámetro" | N°/libra | Denominac. | Calibre | Longitud | Diametro | $D^{3/2}$ | $P=110D^{3/2}$ | 5D | 10D | 20D |
| 2d | 15 | 1 " | 0.072" | 876 | | | | | | | | | |
| 4d | 12½ | 1½" | 0.098" | 316 | 12-35 | 14 | 1½" 3.8cm | 0.2032 | 0.092 | 10 Kg | 1cm | 2.cm | 4.1 cm |
| 5d | 12½ | 1¾" | 0.098 | 271 | 14-45 | 13 | 1¾" 4.4 " | 0.2324 | 0.112 | 12 " | 1.2 cm | 2.3 " | 4.6 " |
| 6d | 11½ | 2 | 0.113 | 181 | 15-50 | 12 | 2" 5.1 " | 0.2680 | 0.139 | 15 " | 1.3 cm | 2.7 " | 5.4 " |
| 8d | 10¼ | 2½ | 0.131 | 106 | 16-65 | 11 | 2½" 6.3 " | 0.3061 | 0.169 | 18 " | 1.5 cm | 3.0 " | 6.0 " |
| 10d | 9 | 3 | 0.148 | 69 | 17-75 | 10 | 3 " 7.5cm | 0.3429 | 0.200 | 22 " | 1.7 cm | 3.5 " | 7.0 " |
| 12d | 9 | 3¼ | 0.148" | 63 | | | | | | | | | |
| 16d | 8 | 3½ | 0.162" | 49 | 19-90 | 8 | 3½" 8.9cm | 0.4115 | 0.264 | 29 Kg | 2.0 cm | 4.1 " | 8.0 " |
| 20d | 6 | 4 | 0.192" | 31 | 20-100 | 7 | 4 " 10.2 " | 0.4496 | 0.301 | 33 " | 2.3 " | 4.5 " | 9.0 " |
| 30d | 5 | 4½ | 0.207 | 24 | | | | | | | | | |
| 40d | 4 | 5 | 0.225" | 18 | 22-125 | 6 | 5 " 12.7cm | 0.4877 | 0.341 | 37 " | 2.4 " | 4.9 " | 10.0 " |
| 50d | 3 | 5½ | 0.244 | 15 | | | | | | | | | |
| 60d | 2 | 6 | 0.262 | 11 | 23-150 | 5 | 6" 15.2cm | 0.5258 | 0.381 | 42 " | 2.6 " | 5.3 " | 11.0 " |
| | | | | | CLAVO CABEZA DE GOTA. | | | | | | | | |
| | | | | | 15-20 | 13 | ¾" 1.9cm | 0.2324 | 0.112 | 12 Kg | 1.2 cm | 2.3cm | 4.6cm |
| | | | | | 15-25 | 13 | 1" 2.5 " | 0.2324 | 0.112 | 12 " | 1.2 " | 2.3 " | 4.6 " |
| | | | | | 16-32 | 12 | 1¼" 3.2 " | 0.2680 | 0.139 | 15 " | 1.3 " | 2.7 " | 5.4 " |
| | | | | | 17-35 | 11 | 1½" 3.8 " | 0.3061 | 0.169 | 18 " | 1.5 " | 3.0 " | 6.0 " |

Resistencia lateral, cortante simple entre piezas madera sazonada de CH 12% Pino mexicano.

$P = 110\, D^{3/2}$ en Kg

D en cm.

Datos proporcionados por Fco de Clavos, IASA.

uniones de madera al esfuerzo cortante simple y siguiento las recomendaciones del Wood Hand Book de U.S. Dpt. of Agriculture. FPL del Gobierno Americano, dan

$P = 110\ D^{3/2}$ en Kgs, para madera de Pino sazonada con un contenido de humedad del 12%.

Las recomendaciones de clavado son: En el miemro en que queda la punta el hincado será como mínimo 14D y en el miembro en que queda la cabeza, su espesor será cuando menos 10D.

En el caso de juntas clavadas, la separación entre hileras (perpendicularmente a la dirección del esfuerzo) será no menos de 10D
El márgen extremo del último clavo no será menos de 20D
El margen lateral no menos de 5D
y la separación entre clavos no menos de 20D

La tabla que a continuación se presenta dá todas las características de los clavos necesarias para un diseño.

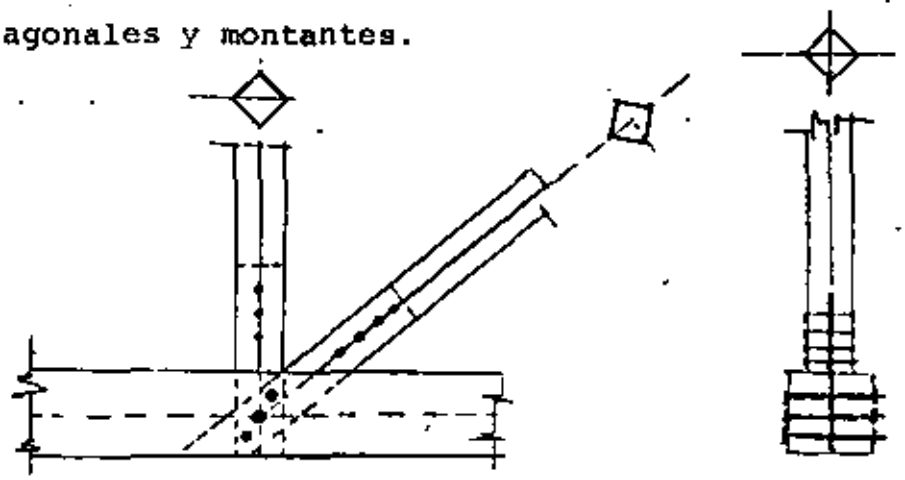
CLAVOS O PERNOS DELGADOS EN UNIONES CON LAMINA DE CONEXION:

Las armaduras de madera de elementos de escuadría pequeña conectados con clavo cortado y remachado a través de placa de acero de pequeño espesor o de pernos de pequeño diámetro, fueron desarrolladas en 1950 por el Ingeniero Jehova Guerrero Torres y el suscrito y presentados en el Congreso Internacional de Ingeniería Civil en el año de en la ponencia llamada "El sistema de plano diagonal en la Construcción de Estructuras de Madera"

El sistema consiste en que diagonales y montantes se forman de cuadrados de madera los cualos se ranuran en sus extremos segun la diagonal del cuadrado para insertar la placa de acero que se conecta con clavos gruesos o pernos delgados, la placa y la -

madera se taladran simultáneamente, al diámetro del perno.

Las cuerdas superior e inferior se forman con dos piezas rectangulares unidas entre sí, tan sólo quedan separadas por el espesor de las placas de acero que conectan las piezas diagonales y montantes.



A fin de diseñar el herraje que puede ser desde clavo de 3", 3 1/2, 4, 5 ó 6" o bien pernos de 1/4", 5/16 hasta 3/8" daremos la tabla de capacidad de carga de dichos elementos para diferentes espesores de madera así como los espesores de la lámina de acero necesarios para desarrollar la misma carga.

Como ya se estudió, la capacidad de carga de un perno depende de los factores siguientes: la especie y calidad de la madera; la relación del largo de perno medido en la pieza principal a su diámetro, en virtud de que existe un trabajo de flexión del perno que es proporcional al clavo e inversamente proporcional a su módulo de sección éste medido por el diámetro y que concentra esfuerzos en ciertas zonas; el área proyectada o de contacto; la dirección de la carga, en el caso de carga perpendicular a la fibra existe un factor de diámetro que aumenta inversamente al diámetro y finalmente de la clase de placas que se usen en la transmisión de la carga, si es acero o madera.

$$P_L = 60\ f\left(\frac{L}{d}\right) L.d$$

$$P_p = 15\ f'\left(\frac{L}{d}\right)\ L.d.f_D$$

en donde 60 y 15 K/cm2 son los esfuerzos básicos para madera de pino sazonada o seca al 12%.

$f\left(\frac{L}{d}\right)$ y $f'\left(\frac{L}{d}\right)$ son los factores que dependen de la relación clavo del perno entre su diámetro.

L d = proyección del area de apoyo del perno en el miembro principal.

$f_D$ = es el factor de diámetro para carga normal a la veta.

A continuación presentamos tres tablas que definen los valores de los factores $f\left(\frac{L}{d}\right)$, $f'\left(\frac{L}{d}\right)$ y del factor de diámetro $f_D$, a fin de poder evaluar las cargas $P_L$ y $P_p$ para los diferentes diámetros y espesores de madera.

Valores de los factores $f\left(\frac{L}{d}\right)$ y $f'\left(\frac{L}{d}\right)$ en función de la relación $\left(\frac{L}{d}\right)$

| Relación L/d | Carga aplicada en dirección de la fibra | Carga aplicada normalmente a la fibra. |
|---|---|---|
| 1 | $f\left(\frac{L}{d}\right)\% = 100\%$ | $f'\left(\frac{L}{d}\right)\% = 100\%$ |
| 2 | 100% | 100% |
| 3 | 100% | 100% |
| 4 | 99.5% | 100% |
| 5 | 95.4% | 100% |
| 6 | 85.6% | 100% |
| 7 | 73.4% | 100% |
| 8 | 64.8% | 100% |
| 9 | 57.1% | 94.6% |
| 10 | 51.4% | 85.0% |
| 11 | 46.7% | 76.1% |
| 12 | 42.8% | 68.6% |
| 13 | 39.5% | 62.2% |

FACTOR DE DIAMETRO $f_D$

| Diámetro | $f_D$ | Diámetro | $f_D$ |
|---|---|---|---|
| 1/4" | 2.50 | 1" | 1.27 |
| 3/8" | 1.95 | 1 1/4" | 1.19 |
| 1/2" | 1.68 | 1 1/2" | 1.14 |
| 5/8" | 1.52 | 1 3/4" | 1.10 |
| 3/4" | 1.41 | 2" | 1.07 |
| 7/8" | 1.33 | 2 1/2" | 1.03 |
| | | 3" y más | 1.00 |

Datos relativos a la instalación de pernos.-

* Los pernos y los clavos remachados deberán instalarse en estructuras de madera usando arandelas o roldanas planas con un diámetro para pernos de 1/16" de más que el diámetro nominal que el perno y para el caso de clavos remachados de 1/32" de más que su diámetro real.

* Los clavos remachados se instalarán en la junta a través de roldanas planas, se recortará el clavo en 1/8" a 3/16" de exceso de longitud que el agarre total necesario, se apretará la junta con prensa y se remachará una cabeza usando sufridera y butrola a martillo de bola. Este procedimiento debe ser experimentado a fin de decidir el mejor procedimiento.

* Las juntas se perforarán simultaneamente madera y placas de conexión o de empalme y luego se instalarán los pernos o se usaran pasadores para evitar corrimientos de placas.

* Se respetaran todos los detalles de diseño que deben haber sido discutidos en el estudio de pernos.

* Los márgenes extremos, margen lateral, separación entre pernos

CAPACIDAD DE UNA JUNTA POR LA PLACA DE ACERO

La capacidad de la unión PLACA-TORNILLO o PLACA-CLAVO debe ser verificada, porque en general dicha capacidad debe igualar a la de la PIEZA DE MADERA-CLAVO o PIEZA DE MADERA-PERNO, o ser mayor pero la capacidad de la junta será la más pequeña de las dos.

La placa y el clavo o perno puede trabajar a cualquiera de estos dos efectos:

A.- Al esfuerzo cortante doble en el vastago del perno o clavo y si consideramos que el esfuerzo permisible al cortante es de $F_v = 1050$ K/c.$^2$ entonces:

$$R_{cortante} = 2\frac{\pi D^2}{4}(1050) = \boxed{1650\ D^2} \text{ en Kg.}$$

(siendo D el diámetro del perno o clavo)

B.- Al esfuerzo de penetración en la placa de conexión, si consideramos que el esfuerzo de penetración o empuje vale ------- $F_p = 2800$ K/cm$^2$ entonces:

$$R_{penetración} = (D)\ (t)\ (2800) = \boxed{2800\ Dt} \text{ en Kg.}$$

siendo (D) (t) el área proyectada bajo el perno en la placa.

En general la capacidad al cortante es mayor que a la penetración con excepción de los casos en que

$$1650\ D^2 = 2800\ Dt$$

$$D = \frac{2800}{1650}\ t \therefore D = 1.7\ t$$

Para que pueda desarrollarse la capacidad de carga o la resistencia calculada con las expresiones A o B, se requiere que exista un margen extremo mínimo de 4D para la mayoría de los casos pero siempre se verificará el margen extremo y el ancho de la placa en forma tal que no se exceda el esfuerzo cortante del valor Fv = 1050 K/c2

A continuación se dá una tabla de los espesores "t" de la placa y el calibre B.W.G. comunmente usado en México.

CALIBRES DE LAMINA DE ACERO USADAS PARA CONEXIONES

| CALIBRE | ESPESOR EN CMS | VALOR DE K = 2800t |
|---|---|---|
| 26 | 0.04547 | 127.3 $\frac{Kg}{cm}$ |
| 24 | 0.06071 | 170.0 |
| 22 | 0.07595 | 212.7 |
| 20 | 0.09119 | 255.3 |
| 18 | 0.12141 | 339.9 |
| 16 | 0.15189 | 425.3 |
| 14 | 0.18074 | 531.3 |
| 12 | 0.26568 | 743.9 |
| 1/8 | 0.31750 | 889.0 |
| 10 | 0.34163 | 956.6 |
| 8 | 0.41758 | 1169.2 |
| 6 | 0.49352 | 1381.9 |
| 1/4 | 0.6350 | 1778.0 |

en una costura, separación entre costuras definida por el area - neta en la sección crítica, tanto para cargas paralelas como normales a la fibra deberan ser respetadas. Para cargas inclinadas- respecto a la fibra podrá usarse la teoría de la elipse.

DETALLES DE DISEÑO:

En una armadura a dos aguas conviene proyectarla en forma -- tal, que los elementos del alma, que son diagonales y montantes -- esten dispuestos de manera que los elementos cortos (generalmente- montantes) se encuentren solicitados a compresión y los elementos- largos queden en tensión, de esta manera la relación de esbeltez - de los elementos de compresión resulta menor y el esfuerzo de compresión permisible resulta optimizado. En las piezas de tensión, - conviene usar madera selecta de preferencia sin nudos y en caso de existir alguno, sistituir el area por un block espaciador adecuado.

Los montantes o elementos en compresión se diseñan como co-- lumnas macizas y se colocan entre las dos piezas del cordón supe-- rior y del cordón inferior, si quiere ahorrarse herraje de conexión, pueden escotarse los extremos de los montantes y apoyar la mitad - del escote sobre las caras interiores de las cuerdas, pero es necesario garantizar un buen apoyo, de esta manera se disminuye la carga a tomar con conectores o pernos.

Las diagonales o elementos en tensión se toman con dos- piezas que abrazan a los cordones inferior y superior y dan a la - armadura un espesor que favorece mucho su resistencia a cargas normales a su plano, conviene poner un separador intermedio a cada -- par de piezas que forma la diagonal.

El cordón superior de la armadura lo forman dos piezas que trabajan como columna espaciada (cord."b") y el cordón inferior igualmente lo forman dos piezas que trabajan a tensión, conviene por muchas razones que todas las piezas que forman ambos cordones tengan el mismo espesor.

Los empalmes en ambas cuerdas se realizan con "cachetes" de madera en lo general, conviene que las longitudes de las piezas sean tales que en cada empalme, solamente una de las piezas esté interrumpida y es la que se empalma, esto es conveniente también para la cuerda de tensión, igualmente que en los montantes de compresión, si hay manera de pasar carga por contacto directo en la cuerda superior puede hacerse, pero a pesar de un buen contacto es aconsejable no pasar más del 25% de la capacidad de la pieza conectada, de otra manera hay peligro de encajamiento de fibras.

La junta de "talón" de una armadura se diseña cortando el cordón inferior y pasando el cordón superior a travéz de una pieza separandola del mismo espesor que la cuerda y dos "cachetes" que en teoría pueden tener un espesor 1/2 del espesor de la cuerda, pero deberá tenerse en cuenta el area neta de la pieza de tensión por efecto de las areas que ocupa el herraje en la sección crítica.

La junta de cumbrera de una armadura a dos aguas se establece a través de un tablón separador de dimensiones considerables a excepción de su espesor que será igual al de los blocks separadores de las cuerdas.

Todas las piezas deber ser concurrentes en los nudos al hacerlo así la yuxtaposición de ellas, define en cada nudo un

"AREA COMUN" los herrajes (pernos, clavos, etc.) que se instalen dentro de dicha area común, atravesando el conjunto, trabajaran en la dirección de la fibra o veta de la madera, en las optimas condiciones sin tener que considerar el parametro del esfuerzo normal a la fibra ni mucho menos el esfuerzo a un angulo cualquiera que obliga a resolver la fórmula de Hankinson.

Presentamos aquí un útil nomograma para resolver dicha fórmula:

$$\sigma_\theta = \frac{\sigma_\perp \sigma_\parallel}{\sigma_\perp \cos^2\theta + \sigma_\parallel \operatorname{sen}^2\theta}$$

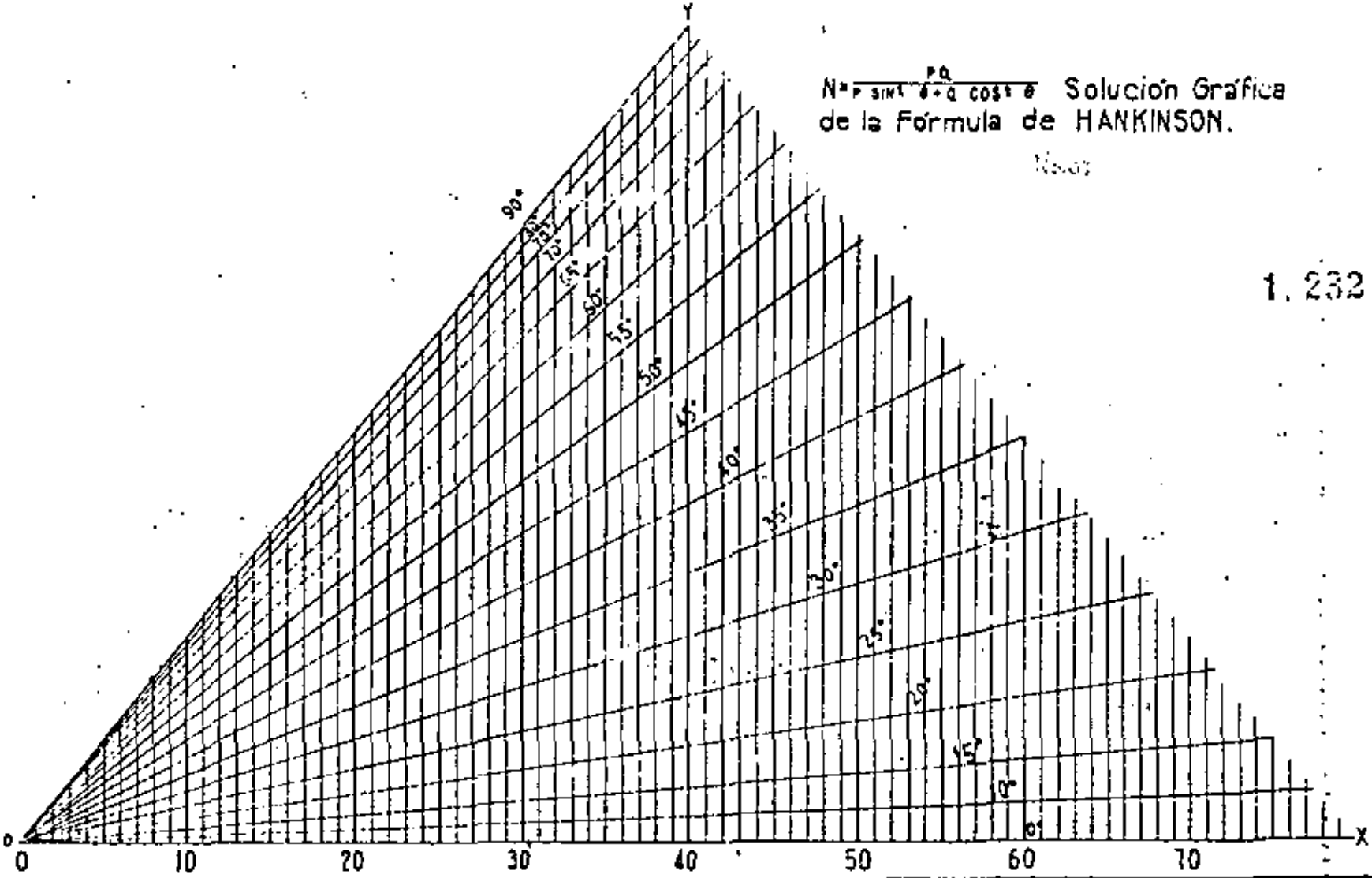
y que puede además ser utilizada para calcular o resolver las capacidades de carga de los herrajes conociendo las capacidades de los mismos en dirección paralela y perpendicular a la fibra de la madera.

El anclaje de armaduras de madera depende fundamentalmente de varios factores, como son: material de que esta hecho el apoyo: columna de madera o columna de concreto, tipo de apoyo como puede ser de apoyo articulado, móvil o empotrado, veamos a grandes razgos como se puede resolver cada caso.

Supóngase que debe articularse una armadura en el capitel de una columna de concreto, el procedimiento consiste en dejar ahogadas anclas de varilla redonda lisa (de 1/2", 5/8", 3/4") cuyo diámetro depende de la magnitud de la armadura, dichas varillas terminan en puntas roscadas, la armadura de madera, en su junta de talón, deberá poderatornilla4sele usando tornillos de la misma junta, un par de angulos de acero de 4X4X 1/4 ó 6X6X3/8" en cuyas alas proyectantes, existen lasperforaciones por donde pasen las anclas, las cuales se fijan con tuercas y rondanas.

$N = \frac{PQ}{P \sin^2 \theta + Q \cos^2 \theta}$ Solución Gráfica de la Fórmula de HANKINSON.

1.232




Fatiga Permisible P, Q y N.

| CONSTRUCTORA HARBELO S.A. | | |
|---|---|---|
| ESTRUCTURAS DE MADERA | | |
| NOMOGRAMA PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DE LA MADERA A LA PENETRACIÓN A DIFERENTES ANGULOS CON LA VETA. | | |
| DISEÑO: | REVISO: | ESC. |
| DIBUJO: | FEV AGOSTO 1.1016 | ARCHIVO |

326

Si la junta debe ser un apoyo móvil, convendrá colocar a la armadura en su junta de talón una placa de acero y hacer la trasmisión de la carga a través de rodillos fabricados de acero ---- Coldrolled que permitan el desplazamiento de la junta minimizando la fricción.

ELABORACION DE PLANOS.

Los planos ejecutivos de una obra con estructuras de madera, son enteramente semejantes a los planos de detalle de una estructura metálica y consisten en:

1.- Planos de montaje.

2.- Planos de fabricación de los diferentes elementos estructurales.

3.- Planos de fabricación de detalles.

1.- En el caso de los planos de montaje, estos representan a escala en planta, en elevación, en varias vistas o cortes, todos los diferentes elementos que integran la estructura que soportará -- una edificación, en ellos se "marcan" y se denominan:

Todas las columnas, usando la misma marca para todas -- las iguales por ejemplo K1, si hay columnas izquierdas y derechas se pondran por ejemplo K1I, K1D, etc., conviene también orientarlas marcando por ejemplo la cara --- NORTE por la letra N.

Todas las armaduras se marcan de la misma manera, las - iguales por ejemplo con A1, en una bodega por ejemplo, - las armaduras de cabecera podrán ser distintas, esta -- distinción se marcará por ejemplo, A10.

Se señalarán igualmente todos los largueros de techo, -

serán por ejemplo L1, los costaneros L2, los de esquina L20, los de combrera L10, etc., igualmente se hará distinción si la hay con los puntales que forman los montantes del sistema triangulado del arriostramiento.

Igualmente se señalarán claramente los entrejes que llevaran arriostramiento en la cuerda superior de las armaduras, indicando los puntales P1, P2, etc. y los tirantes T1, T2, etc., se señalará el puenteo entre largueros indicando los tipos de tirantes y su localización.

También en los planos de montaje se marcarán los contraventeos en los diversos planos verticales, igualmente se señalaran con letras y números los tirantes y elementos horizontales que lo constituyan.

Normalmente en los planos de detalle irá una lista de todos los elementos que constituyan la estructura con el número de piezas de cada uno y con su marca de EMBARQUE.

En el plano de montaje usualmente se señalan los números de los planos en que se detalla el elemento marcado así como se circula una junta o un detalle específico como por ejemplo un "tacón" de soporte de un larguero, los angulos de anclaje, etc.

El plano de montaje se usa también para marcar, señalar o ilustrar todas las juntas de campo, de tal manera que el montador las realice sin más requisito que disponer de los planos de montaje.

En los planos de montaje se acotan las distancias entre columnas, los claros de las estructuras, los datos de los anclajes, las alturas de las estructuras, etc. de tal manera que el montador pueda

verificar las distancias entre ejes y las distancias entre columnas, a fin de corregir los errores si los hubiere.

2.- PLANOS DE FABRICACION.

Son los planos que se usan en el taller de carpintería a fin de construir los diferentes elementos que integran la estructura.

Con el fin de que los planos ejecutivos, permitan espaciar adecuadamente los herrajes, es costumbre en el mismo dibujo usar varias escalas, que permitan hacer el detalle sin tener que recurrir a plantillas, por tanto, si llamamos "sistema" al dibujo de ejes de la estructura y estos los dibujamos por ejemplo a escala 1:100 marcando las distancias entre nudos (si se trata de una armadura) y encerrando dichas distancias entre parentesis, usando el milímetro como unidad, entonces sobre estos ejes podemos dibujar las piezas a escala 1:10, y al amplificar la escala, los detalles se vuelven visibles y mensurables con el escalímetro.

Por otro lado los dibujos así desarrollados tienen un aspecto agradable y dan sensación de robustez, hecho que debemos tener en cuenta al fabricar la estructura porque cuando no se está acostumbrado a ver estructuras y compararlas con los dibujos, se tiene la sensación de haber fabricado la estructura con errores.

Los planos de fabricación conviene lleven una lista de corte de los elementos que integran una armadura, u otra estructura, se aconseja algo parecido a:

| No. | MARCA DE EMBARQUE | LISTA DE CORTE | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | MCA.CORTE | ESCUADRIA | LONGITUD | No.PIEZAS | CUBICACION |
| | | | | | | |

También es conveniente que en los planos de fabricación se anoten las cargas muertas y vivas de diseño, los esfuerzos básicos y el tipo de madera y la especie forestal.

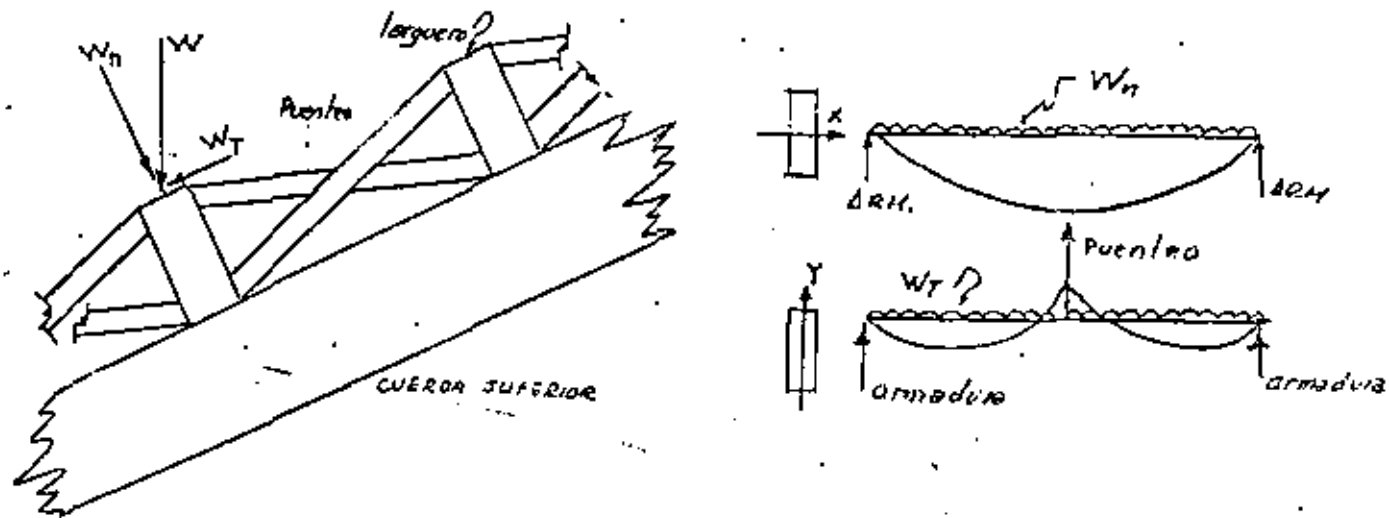
3.- DIBUJOS DE DETALLES.

Las armaduras, polines, tirantes, puntales, etc. pueden quedar en uno o dos planos de fabricación, pero a menudo hay una -- serie de detalles que se pierden en dichos planos y que conviene -- separarlos en otros planos, estos tienen la ventaja de poder ser -- usados como detalles tipo, como ejemplo de estos detalles tenemos: Tacones de apoyo de lárgueros, angulos de apoyo en zona de anclas,- anclas, etc...

CONTRAVENTEO, ARRIOSTRAMIENTO Y PUENTEO.

Los sistemas enumerados en este párrafo, representan los elementos estructurales que garantizan la estabilidad al pandeo de los sistemas principales de soporte de un conjunto estructural.

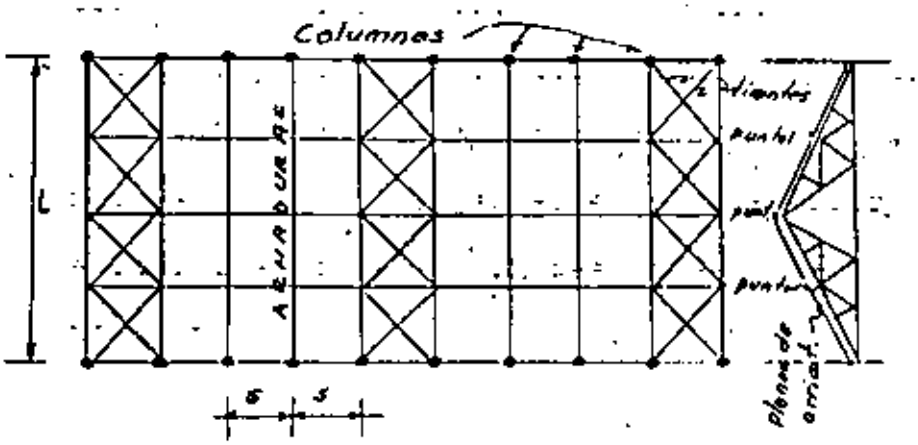
PUENTEO.- En primer lugar señalaremos lo que se llama "puenteo" se aplica normalmente al sistema de largueros cuando éstos reciben una cubierta flexible, como una cubierta de resina poliester reforzada con fibra de vidrio o de elementos rígidos pero de dimensiones pequeñas como las láminas de asbesto cemento, el conjunto de elementos de sujeción, clavos o ganchos, no tienen la resistencia necesaria para integrar un sistema rígido entre la cubierta y al sistema de largueros, entonces al trabajar éstos a la flexión como vigas, la zona de compresión de las mismas tiende a pandear y el puenteo disminuye la longitud libre de pandeo. Otra ventaja del puenteo, cuando es posible que alguno de los elementos que lo forman trabajen en tensión, consiste en que recortan el claro de flexión para la componente inclinada de la carga y hacen que el polín trabaje como viga contínua con apoyos en las armaduras y las líneas de puenteo disminuyendo notablemente el efecto de la flexión disimétrica.



ARRIOSTRAMIENTO.- El arriostramiento es un sistema de contraventeo que afecta exclusivamente al cordón superior de las armaduras, cuerda que normalmente está solicitada en un régimen de compresión y en algunos casos en flexocompresión cuando algunos de los polines o largueros no coinciden en su posición con los nudos de la armadura.

El arriostramiento lo forman un sistema de puntales (struts) que deben ser elementos resistentes a la compresión y un sistema de tirantes como elementos cruzados que sean capaces de tomar tensiones y que pueden ser elementos metálicos (redondos) o elementos de madera; estos dos elementos forman una armadura de arriostramiento en los planos inclinados de los cordones capaces de tomar fuerzas horizontales dirigidas según el eje largo de la edificación o sea perpendicularmente a la armadura.

El objeto del arriostramiento es doble, por una parte mantiene fijos los puntos nodales de la armadura de arriostramiento y por tanto limita la longitud de pandeo de la cuerda superior por efectos de flexión alrededor del eje vertical de la sección del mismo cordón, por otra parte, como ya se dijo toma las fuerzas horizontales que actúan perpendicularmente a la armadura y que aparecen por efecto de viento o de sismo.



No existe un criterio general para diseñar un sistema de arriostramiento a menos que se valuaran las cargas horizontales que como viento o sismo solicitaran al sistema, cosa que en general pocas veces se realiza, así entonces el procedimiento es o usar las especificaciones en relación con las máximas relaciones de esbeltez para piezas en compresión y en tensión, o utilizar el propio criterio basado en la experiencia.

El número de entreejes arriostrados depende de la longitud del techo, es costumbre arriostrar el primero, el último y algún intermedio o bien alternar un entreeje arriostrado y otro no, en general debe pensarse un poco sobre la forma de trasmisión de las fuerzas horizontales y actuar en consecuencia.

CONTRAVENTEO.- El contraventeo se establece en planos verticales y entre armaduras, usando preferentemente algunos planos que contengan montantes verticales.

Su objeto inicial es garantizar que el conjunto de armaduras no volteen, su objetivo final y definitivo es mantener a las armaduras en su plano vertical y mejorar la transmisión de cargas horizontales.

El contraventeo lo forman tirantes inclinados y puntales colocados estos en la cuerda inferior de la armadura, los tirantes van entre cuerda superior e inferior, los puntales pueden eliminarse si los tirantes se cruzan y existe un puntal en la cuerda superior que se triangule con los tirantes.

En general debe señalarse un hecho importante comprobado muchas veces por la experiencia: las fuerzas necesarias para evitar los pandeos, los desplomes de armaduras, etc. son en general muy pequeñas, cuando las armaduras están bien plomeadas y

niveladas y sus elementos de compresión protegidos, pero cuando los fenómenos que tratamos de evitar se inician, las fuerzas para evitar sus efectos se vuelven considerablemente grandes, razón por la cual se deberá tomar especial cuidado en el proyecto y en el diseño de los mismos.

EL MULTICLAVO (GANG-NAIL; GN80)

El multiclavo es un conector del tipo de placa espigada, con espigas o clavos que salen de un sólo lado de la placa, este tipo fué desarrollado en 1955 por J. Calvin Jureit patentado en 1959 y ha permitido desarrollar una amplia industria de armaduras.

La placa multiclavo, se fabrica de lámina de acero calibre 18, galvanizada y troquelada y cortada de manera que las lenguetas cortadas y proyectadas hacia afuera de un solo lado se doblen a manera de espigas o clavos, las placas se encajan por impacto o por presión en una mesa de armado en plan de EMPALMES por ambas caras de la madera.

El trabajo de la multiplaca es: en la placa de acero, por esfuerzo de tensión, en la base del clavo por cortante y en la madera trabajo por esfuerzo cortante, por la "resistencia lateral" del clavo encajado.

Las armaduras fabricadas con este sistema deben hacerse con elementos simples, es decir, las cuerdas serán de un sólo elemento igualmente lo serán todos los montantes y diagonales y todos tendrán el mismo espesor, en las juntas deberán desarrollarse ancleos tales que permitan la instalación de una placa multiclavo que abarque todos los elementos de la junta y pueda trasmitir la fuerza elástica de los miembros.

Las armaduras fabricadas con este sistema deben ser manejadas y almacenadas, igualmente montadas de una manera cuidadosa, o delicada, ya que pueden desarmarse por efecto de cargas bruscas aplicadas perpendicularmente a la armadura.

El sistema es ideal para la elaboración de armaduras ligeras, con separaciones laterales cortas (2' o 60 cms) tal como se usan en la construcción de techos de casas en los Estados Unidos y probablemente si se desarrolla en México, la técnica de construcción de la casa de madera, pueda resultar un sistema adecuado y económico.

La resistencia del conector multiclavo es una función de las calidades del acero y de la madera en donde se instalen, esto último debe determinarse por un procedimiento de ensaye, estos procesos ya se han realizado en las maderas mexicanas y su uso por lo tanto lo ha sancionado la experiencia.

Como todos los sistemas, el campo de aplicación de los conectores multiclavo, está limitado a la fabricación de armaduras ligeras, las cuales en su elaboración requieren de una mesa de armado especial que permita el uso de prensas hidráulicas rápidas, para la instalación simultánea de las placas multiclavo simultaneamente por ambas caras de la armadura y en cada junta en particular.

A continuación se dan algunos datos técnicos del multiclavo GN80.

| | |
|---|---|
| Límite de fluencia | 2400 Kg/cm2 mín. |
| Resistencia a la rotura | 3400 Kg/cm2 mín. |
| Esfuerzo admisible en tensión | 1200 Kg/cm2 |
| Cortante admisible | 1000 Kg/cm2 |
| Alargamiento específico de 5cm | 20 % mín. |

## Características Generales del Conector GN 80.-

| | | |
|---|---|---|
| Nº clavos: | 1.11 clavos/cm² | = 7.16 clavos/pulg². |
| Peso: | 1.05 grs/cm² | = 6.77 grs/pulg². |
| Espesor: | 1.23 mm | = 0.0486 pulg. — |

Acero efectivo: 32.7% longitudinalmente. - 70.2 transversalmente.-

## Resistencia del conector GN por PARES por diseño.-

| | | | |
|---|---|---|---|
| Tensión longitudinal | 205 Kg/cm de ancho | = | 520 Kg/pulg. |
| Tensión transversal | 95 Kg/cm de largo | = | 241 Kg/pulg. |
| Cortante longitudinal | 80 Kg/cm de largo | = | 203 Kg/pulg. |
| Cortante transversal. | 170 Kg/cm de ancho | = | 431 Kg/pulg. |

## Tamaño del conector.-

tipo — No. de clavos.

GN 80 A x B x (N)

ancho" — largo

GN 80 1x2.3 (16)
x2.8 (20)
x4.5 (32)

GN 80 1.5x2.3 (24)
x2.8 (30)
x3.4 (36)
x4.5 (48)

GN 80 2 x 2.3 (32)
2.8 (40)
3.4 (48)
3.9 (56)
4.5 (64)
5.1 (72)
5.6 (80)
6.2 (88)

GN 80 3x 3.9 (84)
4.5 (96)
5.1 (108)
5.6 (120)
6.2 (132)
6.8 (144)
7.3 (156)
7.9 (168)
8.4 (180)
9.0 (192)

GN80 4x3.9 (112)
4.5 (128)
5.1 (144)
5.6 (160)
6.2 (176)
6.8 (192)
7.3 (208)
7.9 (224)
8.4 (240)
9.0 (256)
9.5 (272)
10.1 (288)
10.7 (304)
11.3 (320)
11.8 (336)
12.4 (352)
12.9 (368)

GN80 5x3.9 (140)
4.5 (160)
5.1 (180)
5.6 (200)
6.2 (220)
6.8 (240)
7.3 (260)
7.9 (280)
8.4 (300)
9.0 (320)
9.5 (340)
10.1 (360)

GN80 5x 10.7 (380)
11.3 (400)
11.8 (420)
12.4 (440)
12.9 (460)

GN80 6x 5.6 (240)
6.2 (264)
6.8 (288)
7.3 (312)
7.9 (336)
8.4 (360)
9.0 (384)
9.5 (408)
10.1 (432)
10.7 (456)
11.3 (480)
11.8 (504)
12.4 (528)
12.9 (552)

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES EN LA VIVIENDA

# NUEVAS ALTERNATIVAS PARA EL CONSTRUCTOR MEXICANO, INTENTE ATENDER LAS NECESIDADES DE SU GENERACION.

Ing. James Lynch

Noviembre, 1980

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

PONENCIA DEL ING. JAMES LYNCH SOBRE NUEVAS ALTERNATIVAS PARA QUE EL CONSTRUCTOR MEXICANO INTENTE ATENDER LAS NECESIDADES DE SU GENERACION.

Se ha concluído que en 20 años se requerirán un total de 25 millones de viviendas en México. Es que mas gente vive hoy que toda la gente que ha vivido jamás, y para dar a todos una vivienda habrá que construir mas viviendas que las que se hayan construido en todos los tiempos. ¿Qué esperanza nos pueden dar los programas actuales de la vivienda?.

La política que favorece al caos en el crecimiento de las zonas urbanas y que promueve el lote encajonado, el pavimento desde una casa hasta la casa de enfrente y la construcción de un edificio que empieza en una orilla de la ciudad y acaba en la otra; nos está acabando, causándonos sordera, neurosis, infecciones bronquiales, oculares e intestinales fatales. Creo que es el resultado de nuestra no participación en las decisiones del gobierno. Nos ha quitado en forma permanente una situación ecológica aceptable. Estamos en el camino de la histeria colectiva y la extinción y en medio de una población de ratas, cucarachas y moscos jamás igualado.

La mala distribución de la vivienda y la mala planeación de los centros de población se remonta a todo el control económico y político que afecta a la sociedad. Necesitamos encontrar una forma mas democrática de promover productos de interés social y ver lo indispensable primero. Si no se puede dar una vivienda a todos, entonces por que no vender un lote con servicios para satisfacer la demanda de muchísima mas gente. Con una oferta de lotes urbanizados, habrá una posibilidad enorme para muchos de construir sus casas, ya sea dentro de un programa de autoconstrucción o bien comprando una construcción prefabricada o mandandola hacer a un profesionista.

. . . 1

Si hemos de usar materiales modulados aptos para la auto-construcción o la prefabricación, ningún sistema se presta favorablemente a construirse sobre los linderos del lote por permesbilidad de juntas que no podrán sellar adecuadamente y por que se impone las medidas del lote a la eficiencia y optimización de los componentes. Los Sistemas de prefabricados conocidos requieren de la separación de casas, aunque esto implica frentes mas generosas y aparentemente tantio mas agua por casa.

El frente mas amplio va en contra de la imposición en México da ofrecer el lote encojonado para lograr un alto rendimiento comercial; el problema está en que no cabe ni un limón y con los pavimentos de cochera y patio de servicio, el área construída llega a ser del 88% y como difícilmente sobrevive algo verde en el área restante, con el tiempo el área construída llega al 100%. El resultado siempre es la destrucción ecológica del lugar: inundaciones y superficies duras que reflejan ruido y que perjudica a todo lo que hay sobre la faz de la tierra y que deteriora la salud física y mental del habitante humano. Los ghetos, los estamos creando hoy en día y parece que es lo único que somos capaces de producir. pienso que para ser productivo, trabajar con eficiencia, convivir sanamente, ser optimista y tener posibilidades de ser creativo, la gente necesita nutrirse y vivir higiénicamente con cierta tranquilidad y privacia.

Tal vez valdrá la pena antes de diseñar el próximo gheto, efectuar una investigación para averiguar que características tendrá la vivienda y comunidad que hará mas productiva a la gente sin duda encontraríamos que, aparte de agua y luz, se requierá la privacia que proyecta lotes de 20 metros de frente con jardines y árboles y tal vez encontraríamos que para lograr una meta práctica no se requiera de guarniciones, banquetas y pavimentos de asfalto, pero si la seguridad que podrá ofrecer el trazo de conjuntos en forma tal de facilitar la vigilancia y dificultar la intromisión en sellos de delincuentes y que necesita el hombre productivo áreas recreativas y de convivencia. Un con

cepto así no es necesariamente mas caro que lo que se viene haciendo; en casos específicos, también hay ejemplos en lo que se puede hacer con poco dinero para urbanizar aún para casas de lujo, como lo es "Tlalpuente" en San Andres Totoltepec, delegación de Tlalpan.

## ¿POR QUE PREFABRICADO EN MADERA?

Porque un producto industrial debe poder producir eficientemente grandes cantidades de elementos y componentes si se encuentra bien financiada y programada, debe poder controlar mejor los procesos de obra y la calidad del producto, debe poder casi eliminar los desperdicios que se presentan en casi todas las obras en un promedio del 10%, y debe poder usar los simientos con rapidez. Los sistemas mas prácticos para la vivienda unifamiliar, utilicen elementos ligeros, fáciles del transportar y maniobrar sin equipo, y que generalmente utilicen recubrimientos facilmente colocables, impermeabilizantes prefabricados y accesorios estandarizados como: ventanas, puertas y closets. Por ello;

1.- El empleo de la mdera como componente estructural básico para casas es común y representa casi la totalidad de la morada humana. El país que no lo ocupa ára cpmstriír, no produce suficiente vivienda para su población.

2.- La madera ha resultado ser un elemento estructural estupendo es ligera, flexible, fortísima (recordemos que el concreto, antes de sostenerse por sí mismo, normalmente fué sostenido por madera).

3.- Normalmente la casa estructurada con madera pesa el 20% de la realizada con materiales pesados, dando una seguridad contra sismos que la coloca, por mucho, como la estructura mas popular del mundo. El producto es prácticamente a prueba de sismos.

Con armaduras hechas con conectores en las uniones de tipo "multiclavo" se logran entrepisos en bibliotecas y claros de techos de 40 metros.

4.- Las construcciones en madera se ejecutan con un ahorro considerable de tiempo y mano de obra, porque la estructura de madera tiene la función adicional de servir de base para recibir recubrimientos colocables modulados que a la vez encapsulan la estructura, protegiéndola de la humedad, los insectos y el fuego. Para constructores el ahorro de tiempo es importante y puede darles a ganar el mismo dinero en la tercera parte del tiempo.

5.- La estructura de madera ofrece el fácil ensamble de muros y techos de aislamientos térmicos, barreras de vapor, aislamientos acústicos y protección contra el fuego, hasta lograr el resultado deseado en cualquier clima, por extremoso que éste sea, y para reducir el ruido dentro de una casa. Hay 4 materiales aislantes efectivos fabricados en el país, que pueden servir para construcciones ubicadas en las zonas de clima extremoso y son: colchoneta de fibra de vidrio, lana mineral, espuma de poliuretano y pamacón, siendo el pamacón el único aislamiento efectivo que además sirve como cubierta de techo. Los 4 materiales son ligeros, fáciles de transportar y colocar y son usados para lograr mas calidad en una vivienda, como se pueda apreciar por el confort que dan las construcciones comunes en países desarrollados.

6.- Las normas actuales para las construcciones estructuradas con madera, aplicadas en otros países, casi garantizan la eterna duración de este tipo de construcciones a base de un encapsulamiento efectivo con materiales incombustibles que tengan de 3/4 de hora a 2 horas de resistencia al fuego directo, flashing, barreras de vapor, ventilación con tela de mosquitero y selladores usados en contacto con el concreto del piso, según el caso.

Una de las dudas sobre el uso de la madera es el conocimiento superficial que se tiene del comportamiento de la misma ante el fuego. Se considera que se incendia fácilmente y se consume con rapidez. Sin embargo, un estudio mas cuidadoso revela que la madera conserva su integridad estructural por mas tiempo que otros materiales estructurales; por lo cual, se se diseña adeaucadamente con madera, se pueden obtener construcciones perfectamente seguras y con niveles de riesgo comparables a aquellas construídas con otros materiales considerados incombustibles.

Muchos materiales incombustibles tienen poca capacidad para resistir el fuego como lo es la estructura de acero y el refuerzo de -- acero. Además, existen en el mercado nacional retardantes al fuego para impregnar la madera expuesta o en zonas críticas como ductos. Hay que recordar que la madera se usa en chimeneas precisamente por la lentitud con que se quema. En madera seca la carbonización avanza a solo 6 mms. por minuto en secciones de 50 mms. y a 8 mms. por-minuto para secciones menores, conservándose la estabilidad mecánica en su interior. La madera expuesta al fuego alcanza una temperatura de 800°C., en 30 minutos y no rebasa los 1000°C. La madera -- en dimensiones gruesas resulta ser de todos los materiales utilizados en estructuras, la mas resistente al fuego. El acero pierde el 90% de su resistencia mecánica en 20 minutos a los 750°C. El aluminio se funde en 5 minutos. Tengo conmigo unos reportes de investigación que demuestran como se comporta una viga de madera contra -- una "I" de acero, diseñada para las mismas cargas que sufrió un colapso total a los 13 minutos, mientras la madera casi no mostraba - señales de deterioro.

7.- Construir con estructura de madera ofrece muros interiores que pueden ser remivibles con cierta facilidad, ya que en general el muro-perimetral es el de carga. Esto abre la posibilidad de que sea una vivienda progresiva con la modalidad de poder construir el techo -- de la casa terminada con el muro perimetral que normalmente es el - único de carga - en un nivel o en dos niveles - sin los muros interiores sin el entrepiso, sin la base del piso, sin las instalaciones y sin el recubrimiento en muros interiores y plafón. Todas las operaciones básicas como impermeabilización y colocación de ventanas,- puerta exterior y recubrimiento exterior se hacen una sola vez y no cada vez que se agrega una parte mas de la casa. La casa se va terminando por dentro, con divisorios que se van necesitando y se presta a que el constructor termine el "casco" y se auto-construye el - adquirente sub-contrata lo demás.

La construcción de componentes de madera es muy apreciada para el hombre que hace su propia vivienda. El usar materiales de fácil manejo y corto aprendizaje, dignifica su tarea - haciéndola mas eficiente y reduciendo

los trabajos de carga. Usando materiales colocables puede reducir el mínimo los desperdicios, haciendo mas limpia la obra, se usan materiales secos que eliminan muchos tiempos muertos de secado.

La madera es el material estructural mas popular y mas tradicional del orbe. Hay diseños estructurales sofisticados de armaduras de tipo tijera en iglesias que existen hoy, construídas hace mil años. En noviembre pasado me hospedé en un hotel en Leominister, Inglaterra, cuya construcción data del año 1300 - su estructura - original intacta. Hay millones de construcciones de madera que datan de hace mas de dos siglos hechas sin las técnicas que hoy se conocen.

La madera debe tener un interés fundamental en el desarrollo del país y hace pendar que debemos usarla para fines estructurales en la vivienda, por lo siguiente:

1.- Hay zonas sísmicas en un 60% del país, y en la madera es fuerte, elástica y de poco peso.
2.- Puede dar soluciones permanentes y económicas.
3.- Si tenemos la alternativa de usar un recurso adicional, debemos de usarlo si hemos de atender la demanda.
4.- Es un recurso natural solamente comparable en riqueza con el petróleo y la pesca y es renovable.
5.- El crecimiento anual según el inventario nacional forestal es de 44.3 millones de metros cúbicos rollo, del cual se puede disponer anualmente sin perjudicar a los bosques del país.
6.- Es el material estructural que cuesta menos por muchas veces en energéticos para habilitarlo para uso en la construcción.
7.- Es fuente de trabajo de campesinos y
8.- La técnica ya está desarrollada y no hay que comprar tecnología para poder usarla.

¿Entonces porqué no se usa? ¡Pues sí se usa! Probablemente la mayoría de los habitantes del país viven en viviendas estructuradas con madera; claro estpa que esi madera tal vez no dimensionada y no protegida, utilizada sin la técnica adecuada. Hace falta hacerles llegar los materiales adecuados y enseñarles los aspectos tecnológicos prácticos de la construcción estructurada con madera.

PROBLEMAS CON LA MADERA

Actualmente hay problemas para el uso de la madera, muchos de ellos - - están atendiéndose. No hay dimensiones estables, ni clasificaciones establecidas, ni agencia para el control de calidad en aserraderos y madererías. Se manda madera sin el secado debido, sin tratamiento por emersión después del corto y sin marcar su clase. En la mayoría de las madererías se reclasifica la madera al antojo; no saben estibar, ni labrar la madera y muchas veces venden madera infestada.

No hay estabilidad para el aserradero cuando contrata desmontar los ejidos, ni financiamientos para el equipo que tiene que usar.

Estamos buscando a travez de C O M A C O, (Consejo Nacional de la Madera en la Construcción, A. C.). Poder encontrar unos aserraderos dispuestos a atender al cliente industrial que construye estructuras permanentes de madera, en donde si podría haber control efectivo y un precio justo. Tenemos que pugnar para que éste recurso nacional, se maneje con mas inteligencia.

PROBLEMAS CON EL CONSTRUCTOR

A raíz de una absolencia acumulada de información, ha habido resistencia al cambio de parte del constructor en general y también falta de confianza en sus resultados en la prefabricación. No se entera a fondo de los - sistemas constructivos que se mueven en el mundo y aparte le cuesta trabajo, tiempo y dinero aprender y obtener experiencia. En la gran mayoría de los casos no es del cliente quien rechaza un sistema, a menos de que fué aconsejado por algun Arquitecto o Ingeniero en las mismas.

El constructor que si conoce lo suficiente para hablar sobre un sistema acreditado convence con facilidad a un cliente, sobre todo cuando enseña realizaciones de él y revistas de aplicaciones del mismo sistema en otros paises que demuestra que la prefabricación no se trata de engendros antihumanos, monótonos y de malgusto. Los fabricantes de materiales prefabricados se enfrentan al problema de que los constructores no tienen la - - práctica para utilizar los elementos que fabrican, los Arquitectos muchas veces proyectan sin considerar la eficiencia de los materiales, medidas racionalizados con módulos y productos prefabricados existentes en

el mercado, materiales regionales y climas diferentes. Los Arquitectos habrán de disciplinar su diseño para incorporar un mayor número de elementos prefabricados y de sistemas industrializados. Los Arquitectos necesitan pensar mas como un diseñador industrial especializado en Arquitectura capaz de crear soluciones funcionales y económicas con un contenido estético dentro de un concepto urbanístico que considera un equilibrio ecológico para justificar lo que ofrecen.

Creo que sería de gran utilidad si como un Rotterdam, tuviéramos una exposición permanente de materiales y sistemas para la construcción prefabricada en donde pudieramos lograr una información sistematica de las características y comportamientos de cada uno, tener una biblioteca de documentación y libros y un laboratorio para la investigación y verificación de datos, dentro de un lenguaje de normas; todo ello para proponer soluciones mas viables que las que se están dando a la vivienda en todas las zonas del país.

También si formanos parte de las propuestas y las soluciones, podríamos influir en restructurar la industria de la construcción, proponiendo la construcción misma como uno de los mas fuertes motores para desarrollar la economía del país, en vez de estar en la patéticamente posición en que estamos frente a todo lo que nos ha estado pasando desde que el encaje legal descapitalizó la industria.

CONCLUCIONES.

En conclución, creo que tenemos mucho que hacer para desarrollar la construcción en México, tanto que podríamos lograr que sea un factor determinante para empujar la economía nacional. Para ello debemos formar un apoyo para la construcción con sistemas prefabricados para acumular experiencias con una exposición permanente, una biblioteca y un laboratorio. Debemos unirnos para formar una comisión multipartita con representantes de los sectores de industriales, constructores, diseñadores, y consumidores a travez de encuestas, tal vez, y con SAHOP para formular programas mas apropiados para el consumo humano y para la naturaleza de la tierra; buscar apoyos necesarios para dar un producto

adecuado y continuidad de obras; exigir áreas urbanizadas para poder trabajar, ya que solamente el gobierno puede expropiar; negocios irregularidades en la tenencia de la tierra; hacer la infraestructura necesaria y cambiar los destinos de uno de la tierra como lo viene haciendo la SAHOP.

Todo esto con animos de dejar participar a constructores pequeños y grandes y a los productores de materiales prefabricados que puderan demostrar un producto aceptable, a un precio justo en programas con cierto número de viviendas, pero con contratos abiertos a la continuidad de la obra, siempre que las viviendas que construyan encuentran la aceptación oportuna por parte de los compradores y eso para el consumidor sea quien escoge lo que le concence y para que haya mayor participación y creatividad en la vivienda, por parte de los constructores.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

# USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES EN LA VIVIENDA

## MEDIR, MARCAR, CORTAR Y FIJAR

Ing James Lynch

Noviembre, 1980

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

## MEDIR MARCAR CORTAR Y FIJAR

La construcción de una casa estructurada con madera de 100 M2. debe de terminarse en ocho semanas con 3 oficiales y con una ventaja económica de un 20 a un 40% en comparación con la construcción pesada. Si los materiales se entregan a pie de obra se debe eliminar a los ayudantes totalmente.

Mucho del trabajo involucra una y otra vez medir y marcar diversos materiales, cortarlos y fijarlos. Son trabajos repetitivos importantes; la apariencia final de la construcción depende del cuidado con que se ejecutan estos trabajos sencillos y la velocidad con que estos trabajos se hacen y la iluminación del ayudante dependen de una buena técnica de estas operaciones sencillas.

2

## MEDIR

Para medir distancias desde el piso hacia arriba o del plafón hacia abajo y en otros casos en que se puede enganchar un metro retractable, se acostumbra usar la regla de madera que se dobla en tramos y que tiene una extensión en trance para medir fracciónes.

Para medir entre dos muros, por ejemplo cuando se instala un zoclo se puede usar dos maderas largas y ligeras y extender sus extremos a los muros y marcar el extremo opuesto sobre las segundas piezas. La medida se traspasa físicamente y no numericamente, para hacer el corte.

Cuando es práctico, no se utiliza regla ninguna sino simplemente se coloca el material a cortarse en la posición en que debe instalarse y marque. Esto elimina un paso y reduce la posibilidad de error.

MARCAR

Lo mejor que hay para marcar es un (companten pencil) lápiz ancho y delgado; la puntilla es muy ancha y fuerte. Se mide el costado de una pieza mas cercano a uno y se marca terminando la marca con una raya sobre el lado que no se va a ocupar.

Cuando una marca indica en donde localizar una pieza, se pone una X sobre el lado en donde debe ir la pieza.

Hay aparatos invorrables de líneas de color para cemento con gancho para que una persona sola pueda marcar; estos son muy prácticos para trazar y para marcar cortes de varias piezas como las puntas de un alero.

CORTAR

Para cortar madera de menos de 1 1%2" de espesor se una una sierra portable eléctrica marca SKIL de trabajo pesado de 6 1/2" de diámetro; para cortar madera de 1 1/2" ó más de espesor, una sierra igual peso de 8 1/4" de diámetro.

Debe haber otras que sieven, pero son más pesadas y no estan balancoadas para el uso de llas con una sola mano.

Con las que menciono se puede utilizar la otra mano para mentenerfirme una guía sin meter la pieza a una prensa, una guía muy útilpuede ser una escuadra hecha de dos piezas ligeras de madera atornilladas entre sí con tornillo y mariposa.

Ya con la sierra colocada contra la guía pero separada de la madera a cortar, se marca la sierra para empujarla despues de que haya desarrollado sin maximas resoluciones por minuto, empujandola a una velocidad en que sigue con su sonido característico, lo más rápido posible sin aplicar demasiado STRESS al motor. Lo que mejor se identifica por el sonido. Si se corta demasiado lento se crea calor excesivo que puede torcer la hoja de la sierra y causar que se le pegue la resina de la madera, aumentando más la fricción.

Si la hoja de la sierra toca la pieza antes de marcar se puede atorar y brincar hacia atras con violencia.

Casi todos los cortes se pueden hacer encima de dos burros localizados muy cerca de donde se fijarán las piezas. La parte de la pieza que no se ocupa debe de caer libremente más allá de los dos burros. Cuando ésto no es práctico, como en un corte de una tabla a lo largo, un barrote debe colocarse sobre los burros primero con la pieza a cortar encima.

Normalmente se fija la hoja de la sierra 1/8" más profundo que el espesor de la pieza a cortar; esto deja una marca en la pieza a cortar; esto deja una marca en la pieza de abajo sin echarla a perder. De esa forma se evita que la pieza empiece a caer en una "V" en el corte y que la pieza prensa a la hoja de la sierra, lo que puede hacer rebotar violentamente la sierra hacia atras inesperada y peligrosamente.

CLAVAR

Hay muchas prácticas y conocimientos que han sido desarrollados con la experiencia de millones de hombres que han hecho casas estructuradas con maderas en todo el orbe durante siglos.

Hay muchas técnicas para lograr la misma operación con aproximadamente la misma eficiencia.

El usar un martillo de 2 libras en vez de 20 onzas puede significar que el mismo hombre haga 3 veces más trabajo en un día.

En nuestro medio hay muchos errores en el uso del martillo que deberán cambiar si uno va a clavar todo el día.

Se debe agarrar el extremo del mango y envolver el pulgar alrededor del mango hasta que descansa sobre el dedo índice. Si se agarra con dureza estará demasiado tensos la muñeca y el antebrazo. Si se agarra demasiado suelto, el mango estará resbalando en la palma y ampollas resultarán. La fuerza del agarre deberá ser solamente lo necesario para evitar que resbale el mango cuando se pega el clavo.

Un error común hace el que pone el pulgar encima del mango para guiar la cabeza. El pulgar no puede controlar adecuadamente y la cabeza mezcera de lado a lado causando error. Para compensar por el agarre incorrecto y la falta de control, el trabajador acosta del giro de su golpe a un golpecito que no aprovecha la estabilidad de un columpio balanceado y rítmico.

Se ocupa la muñeca únicamente al levantar el martillo en el empiezo del giro.

Otro error común sucede en este punto cuando se sigue utilizando la muñeca para guiar el martillo y dar mas fuerza al golpe. La muñeca en este caso se convierte en el centro del arco y desde esta posición solamente puede entregar un mínimo de esfuerzo. El que ocupa el martillo en esta forma cansa rapidamente.

Una vez que empieza a levantarse el martillo, ningun esfuerzo más debe de sentirse en la muñeca ó en el antebrazo.

La fuerza del golpe debe venir primero del hombro y en seguida, cuando la práctica a creado la facilidad, por la espalda que es la mejor fuente de fuerza. Es útil considerar al brazo y al hombro como extenciones del martillo y la espalda como la fuente de poder.

Con el giro en alto, la cabeza del martillo deberá estár ligeramente atras del hombro. Al bajar el martillo, el peso del cuerpo se agrega a la fuerza proporcionada por la espalda.

En vez de clavar con inexactitud y cansarse en 15 a 20 Minutos, con el martillo de dos libras y un giro correcto, 2 a 3 golpes bastan para meter un clavo, de 3" y de meterlos todo el día sin cansarse.

Una vez que el clavo se emplece con un golpecito para amacizarlo metiendolo solamente lo necesario para que no se caiga, entonces se retira inmediatamente la mano para agarrar de la bolsa de clavos colgado en el cinturón otro clavo, esa mano ya no tiene nada que hacer hasta que se termina de meter el clavo.

Los ojos deben quedar viendo la cabeza del clavo hasta terminar.

9

Los clavos agarran menos cuando se manda derecho, no tan solo es innecesario tratar de mandar los clavos rectos, pero esto debe evitarse.

Cuando debe especificarse clavo lancero, el clavo debe iniciarse a una pulgada de la segunda pieza, a un ángulo de 60°, y debe meterse hasta que la cabeza del clavo queda parcialmente encrustado apoyando la pieza normalmente con el zapato para que no brinque mientras se clava.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES EN LA VIVIENDA

# ASPECTOS PRACTICOS DE LA CONSTRUCCION CON MADERA

# F A B R I C A C I O N

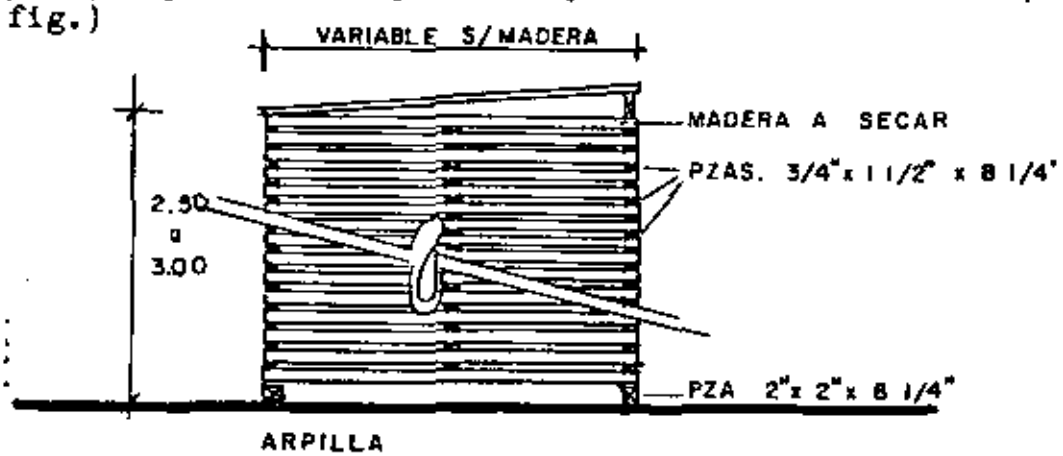
ARQ. VICTOR ANGEL PEREZ GUILLEN

NOVIEMBRE p 1980

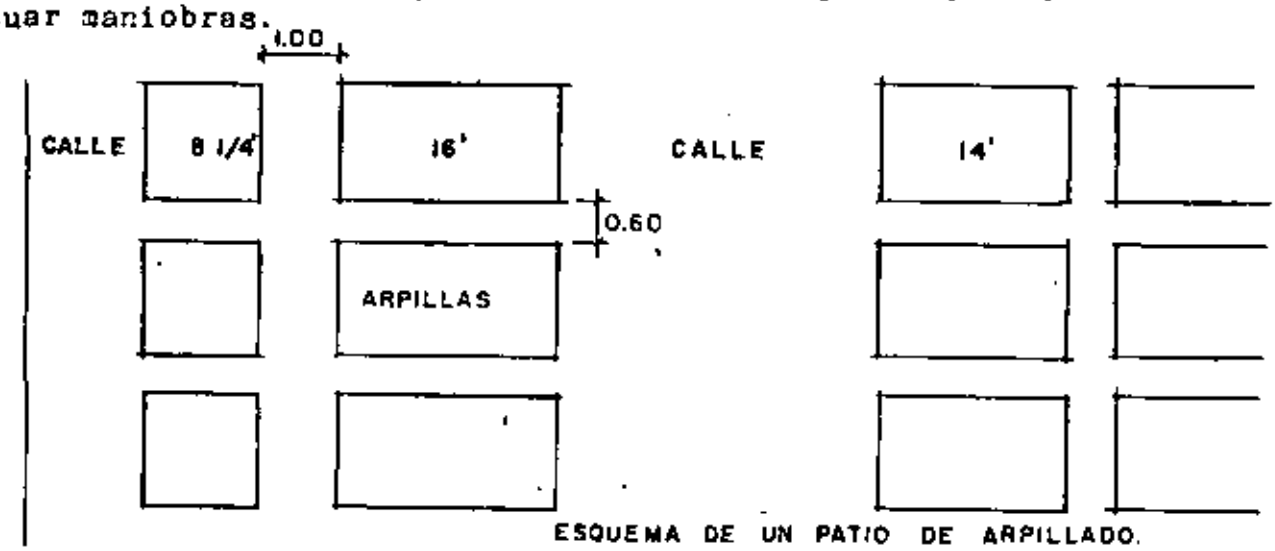
Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

ADQUISICION Y ALMACENAMIENTO DE MADERA SIN DIMENSIONAR:

Se hace, dependiendo de la cantidad a utilizar; con distribuidores o directamente con aserraderos. Cuando se adquiere la madera con distribuidores normalmente ya está seca, cuando se adquiere directamente con aserraderos se encuentra húmeda, en este caso es necesario tener un patio bien ventilado; en el cual se dejará secar la madera en arpillas hasta lograr la húmedad deseada. Las arpillas se forman con la madera a secar, separada en el sentido horizontal por medio de fajillas de madera con dimenciones 3/4" X 1 1/2" X X 8 1/4' y separadas del piso con polines de 2" X 2" X 8 1/4'. --- (Ver fig.)




Las arpillas deberán estar separadas entre sí 60 Cm. y con calles tan anchas como el largo de la madera lo requiera para poder efectuar maniobras.




ESQUEMA DE UN PATIO DE ARPILLADO.

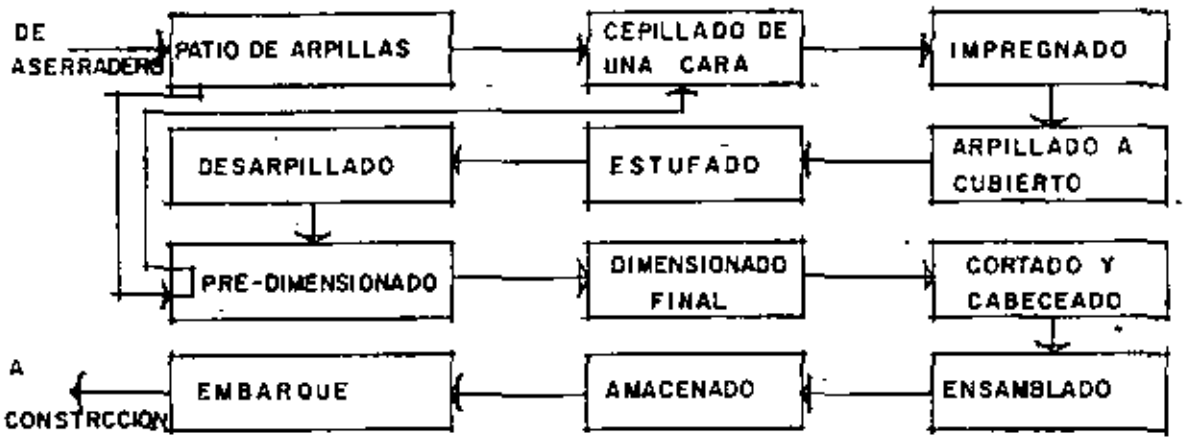
TRANSPORTE DE LA MADERA:

El transporte se puede hacer por diferentes medios; camión, trailer o ferrocarril, todo depende de la ubicación y los medios de acceso al local en que se haga uso de ésta.
La capacidad aproximada de un camión torton de 15 Ton., es de 10,000 a 12,000 pies tabla, según el grado de húmedad en que se encuentre la madera. La capacidad aproximada de un camión Rabón de 10 Ton., -

es de 8,000 pies tabla, la de un trailer de 40 Ton., es de 30,000 a 32,000 pies tabla y la de ferrocarril variable.
Es importante tomar esto en cuenta, pués un trailer transporta 2 veces la capacidad de un Torton, pero el flete no cuesta lo doble que éste.

MANEJO DE LA MADERA, MAQUINARIA, MANIOBRAS, MONTAJE, INSPECCION Y - SUPERVISION:

Si se considera que el manejo de la madera empieza desde el patio - de arpillado, se puede establecer el siguiente diagrama de funcionamiento para una fábrica de elementos estructurales.

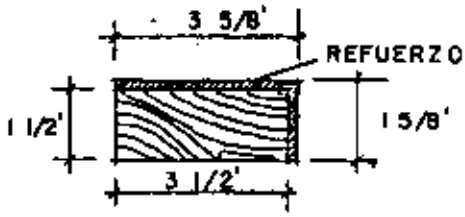



PATIO DE ARPILLAS:

Es el lugar donde se seca la madera al aire libre, como se mencionó anteriormente. Se seca al 17,5 ó al 15% de humedad aproximadamente,- esto es con el propósito de que absorva más solución en caso de ser madera tratada o de no gastar demasiado equipo y combustible en el- secado a estufas; cuando no se requiera madera tratada.
La supervisión de éste lugar es:
a) La recepción de madera.- Descargar la madera en los sitios donde se levantarán arpillas clasificadas por su largo, con esto se evi-- tan dobles maniobras y se ahorra tiempo.
b) El levantado de arpillas.- Verificar su separación, su ubicación conforme a los vientos dominantes, su protección contra la lluvia - (Tejado y levantado del piso) y su facil acceso.
Ya seca la madera al 18% se baja, se atizona y se traslada al predimensionado en montacargas, en estibas de 40 a 60 Pzas. según su grueso, ancho y largo de ésta.

PREDIMENSIONADO:

Es a base de una sierra multihojas, se hila a el ancho deseado, dejando una pequeña tolerancia o refuerzo para su dimencionado final. Ejem.; Si se quiere una madera de 1 1/2" X 3 1/2", se predimensiona a 1 5/8" X 3 5/8" (Ver fig.)




La sierra multihojas puede hacer de una tabla de 12" (30 Cm.) de ancho- las dimensiones que se requieran; - como 3 piezas de 3 5/8", 5 Pzas. de 2", 1 Pza. de 3 1/2" y 1 Pza. de 8" Etc.
Es manejada por un operador y dos - ayudantes, desde aqui se empieza a- clasificar la madera según su utilización; para armaduras, para paneles o para madera adicional (Entiendase por esta la madera que se usa para conectores, protecciones, riostras, y refuerzos que se utilizan en obra.)
La supervisión aquí es:
a) Verificar la clasificación.- Es importante hacer ésto, ya que de ésta manera ahorramos tiempo en clasificar en los siguientes procesos.
B) Verificar las dimensiones requeridas.- De no hacerlo se corre el riesgo de tener desperdicio; ya que la capacidad de trabajo de ésta máquina es de 15,000 pies tabla en un turno de 8 horas.
De aquí se traslada al cepillado de una cara a través de rieles o - montacargas, cabe hacer una observación, en el sistema de rieles se evitan muchas maniobras, ya que se cargarían los carros inmediata-- mente al salir la madera de la sierra multihojas y con un simple empujón hacer llegar la madera al siguiente proceso.

CEPILLADO DE UNA CARA:

Es a base de un cepillo de una cara, en ésta máquina se pueden cepillar varias tablas simultáneamente según su capacidad. Este cepillado es con el objeto de tener mayor penetrabilidad de solución, utilizar menor cantidad de solución y tener menos refuerzo para su dimensionado final. De ésta máquina fundamentalmente pasa la madera a los carros de impregnado, pero también puede pasar directamente a - arpillarse a cubierto para posteriormente estufarse cuando no se requiera de madera tratada. También en ésta máquina se cepillan las - trabes y la madera adicional, para hacer paneles o para ser utilizada en obra respectivamente, se maneja con un operador y un ayudante. La supervisión consiste unicamente en verificar gruesos, ya que el- clasificado y cantidad se hizo en el proceso anterior. Las maniobras son a base de montacargas o rieles y carritos.

IMPREGNADO:

Se efectua por medio de un cilindro de impregnación (retorta), su - capacidad varia, pero podremos decir que es de 5,000 pies tabla por ser los más usuales. La madera se mete a éstos cilindros por conducto de carritos sobre rieles, los cuales son llenados por dos personas. Una vez lleno el cilindro se cierra, se le hace un vacio (20 - minutos), inmediatamente después se inyecta solución de 2 horas y - media a 3 horas, se vuelve a hacer vacio para recuperar solución -- (20 minutos), se saca la madera y se arpilla a cubierto. Un equipo-

de impregnación que pueda impregnar 15,000 pies tabla en un turno de 8 horas , cuenta con un cilindro de impregnación, un tanque de preparado (5000 galones), dos tanques de almacenamiento de solución (5,000 galones c/u.), una bomba de vacio, una bomba de inyección y substracción y equipos de medición. Todo ésto es operado por un técnico y la supervisión consiste en verificar las capacidades de los tanques, la concentración de la solución, el volúmen de madera a impregnar y la cantidad de solución a inyectar. Las maniobras se llevan a cabo con carritos sobre rieles.

PATIO DE ARPILLADO A CUBIERTO:

Este es un proceso muy importante para el estufado, aquí es donde se colocan las muestras de madera para llevar el control de estufado. Las arpillas se levantan sobre polines, sujetos a ruedas que giran sobre rieles en dirección a las estufas. El tiempo de armado de una arpilla, con 2 personas y con 10,000 pies tabla, es de 8 horas; es decir que para llenar una estufa con capacidad de 50,000 pies tabla se requieren 5 días. La supervisión consiste en verificar el levantado de arpillas a plomo, la colocación de muestras en el lado correspondiente y la altura de las arpillas.

ESTUFADO:

Se realiza en estufas cuya capacidad y diseño están supeditados por las necesidades requeridas, son reguladas por calderas. En la parte interna cuentan con ventiladores los cuales hacen girar el aire por todo el interior y serpentines, los cuales inyectan aire seco y aire húmedo. (Se cita todo ésto como referencia y para seguir la secuencia del diagrama de funcionamiento).
Un proceso de estufado con madera de 1 1/2" de grueso y dejando la madera al 13% de húmedad dura de 11 a 13 días y un proceso con madera de 3/4" de grueso dura de 5 a 7 días, es importante cargar las estufas inmediatamente se desocupen pués así no se tendrán tiempos muertos y por lo tanto se abarataría el costo de estufado por pie tabla.
Terminado el estufado se pasa al desarpillado para su dimensión final.

DIMENSIONADO FINAL:

(Entiéndase por dimensionado final, el dejar la madera exactamente dimensionada como se requiera en su sección ejemplo 1 1/2" X 3 1/2").
Se lleva a cabo en un cepillo de cuatro cabezas o molduradora, tiene una capacidad de 25,000 a 30,000 pies tabla dependiendo los largos y anchos que se pasen por ella. Esta máquina sirve también para hacer lambrín, parquet, duela y molduras hasta 1 1/4" de ancho. El suministro de madera se puede hacer por montacargas o por carritos sobre rieles, es manejada por un operador y un ayudante.
La supervisión consiste en revisar constantemente las dimensiones (ancho y grueso) pués se corre el peligro de que una de las cabezas

se desajuste y salgan varias piezas mal dimensionadas ocacionando desperdicio innecesarios, hay que hacer notar que ésta máquina dimensiona una pieza de 8 1/4' de largo cada 3 segundos.

CORTADO Y CABECEADO:

Este es el último proceso de maquinado, se lleva à cabo a través de dos máquinas; sierra de cuatro cabezas y cierra circular.

SIERRA DE CUATRO CABEZAS.- Esta puede habilitar una pieza de madera con cuatro angulos distintos en una sola pasada. Esta máquina es fundamental en el habilitado de armaduras, por la versatilidad de posiciones angulares de sus sierras, también se habilita madera para ensamblado de paneles y madera adicional. Es importante que a ésta máquina llegue la madera perfectamente clasificada, pués se pueden habilitar 150 armaduras en 8 horas ó 100 paneles. Es manejada por un operador y un ayudante, la supervisión consta en revisar los largos y cortes por algún posible movimiento en las sierras.

SIERRA CIRCULAR.- Sirve para cabecear la madera para paneles, cabecear duela, lambrín, parquet y molduras. En ésta sierra se lleva acabo todo el saneamiento de madera ( ya que tiene partes malas), Se puede habilitar madera para armaduras, pero no es recomendable porlo tardado que puede resultar. Es manejada por un operador unicamente. Es abastecida por montacargas o por carritos sobre rieles.

ENSAMBLADO:

Consiste en dos partes; ensamblado de paneles y ensamblado de armaduras. Es necesario que aquí llegue toda la madera perfectamente habilitada y clasificada.
El ensamblado de paneles se efectua en mesas lo suficientemente grandes para lograr la altura de una casa. En estas mesas se lleva a cabo el clavado de paneles con pistolas de aire a una presión de 170 libras, también es necesario auxiliarse con sierras manuales y herramientas adecuadas; como martillos, serrotes, formones, cepillos de mano y clavos de diferentes medidas según se requieran. La Supervisión requiere de la revisión de escuadrias, largos, anchos y ubicación de postes en paneles, el abastecimiento es a base de montacargas. Cada mesa es trabajada por un oficial y un ayudante.
El ensamblado de armaduras se hace en una prensa, de ancho y largo según se requiera. Esta puede hacer de 100 a 120 armaduras en 8 horas. Es indispensable que tenga una gran área de movimiento y suficiente área de almacenamiento. Este ensamble es a base de conectores gang-nail que se colocan en cada uno de los nodos, las armaduras se sujetan por medio de gatos mecánicos, los cuales están fijos en platos, los gatos se botan automáticamente, ésta maquina es manejada por un oficial y 3 ayudantes.

ALMACENAMIENTO:

Es necesario contar con área suficientemente grande para poder alma

cenar armaduras y paneles como producto terminado, sin embargo no-es recomendable tener mucho producto almacenado pués como pueden -- ser de diferente diseño se hace dificil su embarque o se duplicarían maniobras.

EMBARQUE:

Es el fin del proceso, se hace por camión, trailer o ferrocarril. Se debe tomar en cuenta que como ya es producto terminado origina más-volúmen por los huecos que se forman en armaduras y paneles, ésto no se puede evitar, pero si se pueden aprobechar dichos huecos acomo-- dándo en ellos materiales complementarios. Es importante que se proteja el embarque contra lluvia, pués como se trata de madera estufada se puede rajar o torcer por la acción del agua y el sol. La su-- pervisión se lleva a cabo al ir revisando los elementos embarcados, su cantidad, su clave y su estibado. Este proceso lo efectuán 1 supervisor y 4 personas por camión.

VAPG.

Directorio de Alumnos del Curso Usos Estructurales de la

Madera y Sus Aplicaciones en la Vivienda

Noviembre 1980.

1. Rene Benítez Ramos
Calle Antonio Alzate 586
Morelia, Mich.
2 41 52

2. José Juan Arturo Calixto Méndez
Secretaría de Obras Públicas y Desarrollo Urbano
Reforma 711
Puebla, Pue.
42 96 90 Ext. 30

2 am. L -161 Nomoxpan
Cholula, Pue.
47 13 54

3. Domingo Miguel Cañizo Cosio
Aluminio y Vidrio FRAMI
Av. Morelos 203 B
Cuautitlán, Edo. de Méx.
2 18 12

Poetas 54
Cda. Satélite,Edo. de Méx.
562 77 97

4. Concepción de Ita Martínez
Antropología e Historía
I N A H
Morelos 10
Culhuacan, D.F.
582 73 64

Correggio 42
Cda. de los Deportes
Z.P.19
563 42 23

5. Felipe Estrada Tinajero
Paneles de Madera y Concreto, S.A.
Electrón 22
Parque Industrial de Naucalpan
576 03 99 Ext. 145

Mitla 78-5
Z.P.12

6. Sylvia Graciela Flores Gaxiola
Comisión de Aguas del Valle de México
S A R H
Balderas 55-3°
México 1, D.F.
585 50 66 Ext. 317

J.Pallares 46 Circ. Juristas
Cda. Satélite
Edo. de Méx.
562 34 68

7. Manuel García Medina
Dirección de Obras Hidráulicas
Juan A. Mateos Esq. Sn. A. Abad
Z.P. 8
588 62 48

8. Martha Delia Gutiérrez Barba
S A H O P
Xola y Ave.Universidad
Z.P.12
530 30 00 Ext. 382

Volcán Sn. Martín 49
Pradera
Z.P.14
794 08 78

9. Eduardo R. E. Hjort Delgado
Geosistemas, S.A.
Aniceto Ortega 1310
Z.P.12
534 37 20

Golfo de Sn. Jorge 63
Col. Tacuba
Z.P. 17
527 66 75

10. Francisco Gerardo Lira Rodarte
Lerdo 272 "E" 319 Edif. Fco. Zarco
Tlatelolco
Z.P.3
597 80 65

11. Antonio Osorio Velasco
SAHOP
Av. Xola y Universidad
Z.P.13

Playa Flamingos 53
Z.P.13
579 52 97

12. Francisco Javier Pacheco López
U A de Chapingo
Km 2 Carr. Texcoco, Edo. de Méx.

Juárez Nte. 221
Texcoco, Edo. de Méx.
4 09 05

13. Carlos Palomar Rentería
Industrias Papanoa S.A.
Fuego 622
J. del Pedregal
Z.P.20
568 15 76

Concepción Méndez 99
Col. Atenor Sala
Z.P.12

14. Leonel Arturo Paniagua Roldán
Av. Uni. 2014 Edif. Paparaguay A-901
Z.P. 21
658 18 76

15. LUis Alonso Peniche Camacho
U A M
Unidad Azcapotzalco
Av. Sn. Pablo 180
Z.P.16
382 50 00 Ext. 275

F.C.Central 480
Vict. de las Dem.
Z.P.16
556 80 08

16. Juan Antonio Pruneda Padilla
U A M
Av. Sn. Pabo 180
Azcapotzalco
Z.P.16
382 50 00 Ext.274

Carr. Fed. a Cuernavaca 6054
Tlalpán
Z.P.22

17. Francisco Rodríguez Velázquez
Productos Forestales Mexicanos
Tlacotlalpán 82
México 7, D.F.

L.Cárdenas 313
Gpe. Rodríguez
Durango, Dgo.

18. Ramón Rosa Romero Jiménez
Calle Antonio Alzate 586
Morelia, Mich.
2 41 52

19. José Raúl Rosada Lorenzo
Uxmal 729-3
Vértiz Narvarte
Z.P.13
575 19 87

20. Jorge Guillermo Tapia Monteagudo
Prolong. Atrio Sn. Fco. 61
Z.P.21
554 56 52

21. Adán Uribe Michel
FUA S.A.
Av. Revolución 1028
Z.P.19
598 16 99

Cordobanes 28
Sn. José Insurgentes
Z.P.19
593 23 43

22. Rodolfo Valenzuela Alvarez
S A H O P
Vertiz 1243
Vértiz Narvarte
Z.P.12
590 44 98

R.Gaona Edif. 87 A -301
Lomas de Sotelo
Z.P.10
557 72 14

23. Roberto Wong Urrea
Secretaría de Gobernación

Sn. Bernabe 393
Z.P.20
595 16 45

24. Alfredo Zatarain Tismado
Universidad Autónoma de Chapingo
Jefe de la Sección
Construcciones Agrícolas
Chapingo, Mé x.
Edo. de Méx.

25. Lucio Zúñiga Santana
Comisión de Aguas del Valle de México
S A R H
Balderas 55-3°
Z.P.1
585 50 66 Ext. 317

Av. Cuitlahuac 2508
Clavería
Z.P.16
527 95 31