

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

Def. 122



**DERIVACION DE REGLAS DE CALIFICACION Y
CLASIFICACION PARA MADERA ESTRUCTURAL
DE PINO**

T E S I S
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A**

VICTOR RUBEN ORDOÑEZ CANDELARIA

México, D. F.

1981



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**DERIVACION DE REGLAS DE CALIFICACION Y CLASIFICACION PARA MADERA
ESTRUCTURAL DE PINO.**

1. INTRODUCCION.	
1.1 Justificación del Proyecto _____	1
1.2 Antecedentes _____	3
1.3 Objetivos _____	6
2. REVISION DE LITERATURA.	
2.1 Normas Mexicanas Actuales _____	8
2.2 Normas y Códigos Norteamericanos _____	12
2.3 Normas y Códigos Ingleses _____	16
2.4 Otras Normas y Códigos _____	18
2.5 Comparaciones _____	23
3. METODOLOGIA.	
3.1 Muestreo y Colecta _____	26
3.2 Almacenamiento y secado _____	27
3.3 Medición de Características Físicas y defectos _____	29
3.4 Procedimiento de pruebas (fase I) _____	34
4. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS.	
4.1 Propiedades Mecánicas en flexión _____	41
4.2 Defectos Causantes de falla _____	47
4.3 Pruebas con pequeñas Probetas _____	48
4.4 Tablas de Resultados _____	51
5. FORMULACION DE REGLAS DE CLASIFICACION.	
5.1 Criterios para la Determinación de clases _____	55
5.2 Identificación de Características _____	57
5.3 Reglas de Clasificación Formuladas _____	58
6. VERIFICACION DE REGLAS.	
6.1 Segunda Fase de pruebas _____	67
6.2 Evaluación de las Reglas _____	67
6.3 Modificaciones a las Reglas _____	69
6.4 Resultados Finales _____	70
6.5 Esfuerzos de Diseño _____	76

7. EJEMPLOS DE APLICACION.	
7.1 Tablas de Claros Permisibles _____	86
7.2 Diseño de un Sistema de Piso _____	88
7.3 Criterios para el desarrollo del Reglamento de Construcciones con Madera _____	93
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	
8.1 Valores de Esfuerzos _____	95
8.2 Clasificación en Aserraderos _____	95
8.3 Métodos de Diseño _____	97
8.4 Utilización _____	98
Apendice "A" _____	100
Bibliografía _____	103

INTRODUCCION

1.1 Justificación del Proyecto.

Es bien sabido que en nuestro país el uso de la madera se restringe - principalmente a obras falsas, cimbras y obras auxiliares en construcciones de concreto. De esta manera, pocas veces llega a ser material para construcciones permanentes excepto para muebles y obras de poca importancia.

Algunas de las causas por las que la madera no tiene un amplio uso estructural son; la falta de información confiable de sus propiedades físico-mecánicas, la poca importancia que se le da a este material como elemento estructural en las escuelas de Ingeniería y Arquitectura, lo anterior se - conjuga con la ausencia de reglamentos de construcción con madera claros y eficientes. La falta de un sistema de calificación y clasificación estructural de la madera tal vez es el factor más importante que influye en el es caso uso de este material.

La clasificación que se realiza en los aserraderos se basa en la apariencia de la madera desde el punto de vista estético para trabajos de ebanistería y por lo tanto es inadecuada para uso estructural.

En los países donde el uso de la madera en la construcción es importan te, el diseño de las estructuras se realiza todavía usando el método de - los esfuerzos permisibles los cuales se obtienen a través del ensaye de pro betas pequeñas libres de defectos; a los resultados de los ensayos se le aplican ciertos coeficientes de ajuste, que toman en cuenta el efecto de varios factores que afectan el comportamiento mecánico de la madera.

Todos los ajustes se realizan según la norma D-245 de la ASTM (2)* Recientemente se ha comprobado que la aplicación de estos factores no refle

*Número de la referencia (ver bibliografía)

ja acertadamente la influencia de los defectos en las piezas de tamaño estructural.

En las normas Técnicas Complementarias para Madera del Reglamento de Construcciones del D.F. (24), se adoptó el procedimiento inglés para la determinación de los esfuerzos permisibles para la madera de pino mexicano, debido a que este es más conservador que el utilizado en otros países donde los adelantos técnicos y su experiencia les permiten ser menos conservadores.

Una manera de conseguir datos confiables de la resistencia de la madera es realizando pruebas con piezas de tamaño estructural, con las cuales podemos observar la influencia de los defectos originados por el crecimiento del árbol, tales como nudos, pendiente del grano, médula, bolsas de resina, etc. así como los que son producto de los procesos de aserrado y secado como son; gema, rajaduras, grietas, etc. Determinando la magnitud y el efecto de los defectos sobre la resistencia se pueden generar reglas de clasificación, las cuales se debe buscar que sean sencillas y rápidas de aplicar, ya que el ritmo de producción en los aserraderos así lo requiere.

Esta nueva clasificación estructural redundará en el mejor aprovechamiento de la madera, ya que se tendrán grupos con sus características físicas (defectos) y mecánicas bien determinadas, haciendo que el diseño estructural sea más acertado, ayudando a implantar para este material el método de diseño a "estados límite" lo que no puede ser factible con las características obtenidas de las pequeñas probetas.

Una ventaja importante del método de diseño a "estados límite" es la uniformización de los factores de seguridad para cualquier tipo de estructura según el material (concreto, madera o acero) y la determinación más rea-

lista de las cargas de diseño, lo que resulta en beneficio de la economía de la construcción y seguridad de la misma.

1.2 Antecedentes.

La información técnica que podemos encontrar acerca del tema de la madera como material estructural es muy poca en México, por la razones citadas en el inciso anterior. Nos podemos dar cuenta de lo anterior comparando la cantidad de bibliografía, investigaciones, congresos, etc., que se realizan en los países explotadores de su potencial forestal (Canada, E.U., etc.) y también en otros que no cuentan con grandes extensiones de bosques (Inglaterra, Bélgica, Suecia, etc.), contra la poca información y los escasos centros de investigación sobre madera que existen en México.

Considerando lo anterior, encontramos que en las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones del D.F., mencionan como primera norma de clasificación para madera, la C18-1946 de la D.G.N. de la Secretaría de Industria y Comercio, la cual clasifica la madera según el número de defectos pero pasa por alto la localización de los mismos, por lo tanto esta norma no es aplicable para fines estructurales(13).

Considerando que la norma C18-46 es ineficaz para clasificar estructuralmente la madera, y teniendo la necesidad de contar con un procedimiento más razonable en la determinación de esfuerzos permisibles, se realizó un trabajo de investigación entre el Instituto de Ingeniería y el Instituto de Biología de la UNAM, denominado "Aceptabilidad de la Madera comercial para fines estructurales"(37), el cual sirvió para proponer criterios con bases estructurales en la calificación y clasificación de la madera.

El trabajo se desarrolló siguiendo los puntos mencionados enseguida:

a.- Obtención de las propiedades mecánicas del material mediante ensa-

yes destructivos en flexión de elementos de tamaño estructural.

b.- Análisis de la dispersión de los resultados de los ensayos y calificación de la eficiencia estructural de la madera comercial.

c.- Comparación de los resultados del primer inciso con los valores que se dan en el Reglamento de Construcciones del D.F., y calificación de su seguridad estructural.

d.- Calificación de las piezas visualmente según la norma ASTM D245-70

e.- Por último la comparación entre los resultados del primer inciso los obtenidos según el procedimiento del Código Norteamericano.

Para la realización de este trabajo se usó madera clasificada como de segunda calidad según la Norma C18-46, por la razón de que la madera de mejor calidad provoca un alza en el costo de las obras y las calidades bajas son de poca confianza por su apariencia.

Las pruebas se realizaron en flexión por ser una sollicitación muy frecuente en elementos estructurales; no se hicieron otras pruebas porque el equipo para realizar ensayos a tensión o compresión es sofisticado y caro.

El número de piezas sobre las que se realizó el estudio fué de 33. Con los resultados obtenidos de esta investigación se pudo contar con una alternativa en las reglas de clasificación de las maderas nacionales para uso estructural, que resultó ser mejor que la propuesta por la DGN de la Secretaría de Industria y Comercio, pero sin llegar a ser la óptima debido a que la muestra estudiada fue muy pequeña y no puede ser representativa de la producción de un aserradero.

Otro antecedente sobre la clasificación estructural de la madera y valores de esfuerzos de diseño, es un trabajo realizado en el Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Madera (LACITEMA), del Instituto Nacional de In-

vestigaciones sobre Recursos Bióticos (INIREB), siendo ésta la última y más reciente información sobre el tema(10).

Las reglas de calificación y clasificación establecidas se adoptaron de los códigos Norteamericanos y consisten en inspeccionar visualmente las piezas de madera y calificar y cuantificar los defectos inherentes a la naturaleza del árbol así como los resultantes del proceso de aserrado y secado de las piezas; de esta manera para cada grado o clase estructural corresponderá cierta magnitud de los defectos que reduzcan en un cierto porcentaje la resistencia de la pieza en relación con la resistencia de la madera sin defectos.

El primer paso para derivar los esfuerzos de diseño correspondientes a las diversas calidades de madera estructural según los criterios actuales, es la obtención de la resistencia con pruebas de pequeñas libres de defectos en flexión estática, compresión paralela y perpendicular al grano y cortante paralelo a la fibra.

Información sobre lo anterior es muy escasa en México; por lo tanto - para poder realizar el análisis de una cantidad aceptable de datos, se recurrió a expresiones que correlacionan la gravedad específica o densidad - relativa de la madera con la resistencia mecánica, y en México si se cuenta con una mayor información de la gravedad específica de las especies nacionales.

Los valores obtenidos mediante las expresiones citadas, nos dan la resistencia de la especie que se deben ajustar de acuerdo a la dispersión de los datos debida a la variabilidad natural de la madera; también se aplican otros factores de corrección que toman en cuenta la sobrecarga, concentración de esfuerzos, secado a un contenido de humedad (C.H.) del 19 %, factor de peralte, etc. Con la aplicación de estos factores obtenemos los esfuerzos

básicos que corresponderían a las probetas pequeñas libres de defectos.

El siguiente paso corresponde a determinar los grupos de resistencia - para los pinos de México, a los cuales se les asigna una máxima dimensión de los defectos que reducen su resistencia en una cierta medida según el -- grupo al que correspondan, obteniendo así los esfuerzos permisibles para - cada clase estructural que se utilizarán en el diseño de una estructura.

En comparaciones hechas de estos valores con los asignados a las maderas nacionales en el Reglamento de Construcciones del D.D.F., se encontró - que estos son superados en cierto porcentaje por los obtenidos en el trabajo realizado en LACITEMA (referencia 10), mostrándonos que es necesario realizar modificaciones a las reglas de clasificación oficiales utilizadas en México.

No obstante que lo propuesto es mejor que lo que actualmente se utiliza, tenemos la certeza que podemos establecer un sistema mejor de clasificación y valores de resistencia más reales, obtenidos de estudios realizados sobre piezas de tamaño estructural, que nos darán datos sobre el comportamiento real de la madera con todas las implicaciones de sus defectos.

1.3. Objetivos.

El objetivo general del proyecto es establecer en México un sistema de calificación y clasificación para madera de uso estructural en la construcción. Un sistema de clasificación estructural de la madera fundamentalmente tiende a agruparla correctamente en clases de resistencia. La clasificación puede realizarse por medios mecánicos o por una inspección visual del material, como en el caso aquí presentado.

Una persona que realice la clasificación asignará una pieza de madera a cualquiera de varias clases estructurales establecidas, de acuerdo a cier

tas características detectadas por el individuo y estas serán específicas de cada grupo o clase de resistencia. Las reglas deberán ser simples y fáciles de aplicar para tener los menos errores posibles.

Los objetivos específicos del proyecto son:

1. Desarrollar reglas para clasificar madera de pino de tamaño estructural en grupos de resistencia a través de pruebas destructivas a flexión de elementos de 2" x 4", 4" x 4" y 4" x 8" de sección, obtenidos de la producción de un aserradero (PROTINBOS)¹.
2. Desarrollar un método de control de calidad para complementar lo del punto anterior basado en un sistema de prueba de carga.
3. Obtener esfuerzos de diseño para diferentes clases de madera estructural en flexión, y mediante información bibliográfica o investigaciones en otros países establecer valores aproximados y seguros para otras propiedades de resistencia.

1 "Protectora e Industrializadora de Bosques", Empresa estatal del Edo. de México.

2. REVISION DE LA LITERATURA.

Antes de iniciar la revisión de la literatura correspondiente al tema en cuestión, es conveniente definir lo que es la calificación y la clasificación.

Como "calificación" se entiende la determinación en cantidad y magnitud de las características que afectan la resistencia de las piezas de madera (nudos, desviación del grano, rajaduras, etc.)

Por otro lado la "clasificación" es la asignación de las piezas a un grupo de resistencia de acuerdo a ciertas reglas que definen la magnitud, número y posición de las características permisibles para cada grupo.

La necesidad de clasificar la madera se deriva del amplio rango en calidad y apariencia por la presencia de nudos, desviación del grano, rajaduras y otras características de la madera. Esto mismo nos da una amplitud en la variabilidad, utilidad, aplicabilidad y valor del material. Un requerimiento obvio para ordenar comercialmente la madera es establecer clases que nos permitan obtener cualquier calidad requerida en cualquier cantidad deseada.

Algunas clases se establecen de acuerdo a la apariencia y características físicas de las piezas, pero sin implicar las propiedades mecánicas; y otras clases llamadas estructurales o clases de esfuerzos se establecen con base en las propiedades mecánicas, a las que se les asignan valores de rigidez promedio y resistencia mínima.

2.1. Normas Mexicanas Actuales.

En este punto nos avocaremos a la revisión de la reglas y normas oficiales que rigen el diseño y construcción de estructuras de madera, siendo

éstas las establecidas por el Reglamento de Construcciones del D.F. en su publicación de las "Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Madera"(24).

En principio encontramos que solamente son aplicables a madera de densidad relativa (peso anhidro/volumen verde) mayor a 0.35 ya que madera de menor densidad tiene valores de resistencia muy bajos.

Estas normas dan unos valores de "esfuerzos permisibles" en condiciones de servicio (tabla 2.1.1) para madera de pino de cualquier especie, cuando esta se clasifique conforme a las reglas C18-46(13) en los siguientes grupos; "selecta", "primera", "segunda" y "tercera".

TABLA 2.1.1 (1)
esfuerzos permisibles, en Kg/cm².
condición verde

Solicitud	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

(1) Tomada de la referencia(24)

Como alternativa éstas normas presentan la tabla 2.1.2 de valores para esfuerzos permisibles, cuando la madera se clasifique visualmente conforme a las tablas I y II y las figuras I y II de la referencia (24). Con este método la madera se agrupa en cuatro calidades; V-75, V-65, V-50 y V-40. El denominar así los grupos significa que, por ejemplo para la clase V-40 el esfuerzo permisible corresponde a un valor entre el 40% y el 49% de la resistencia de la madera si ésta careciera de defectos; para la clase V-50 el esfuerzo tiene un valor entre el 50% y el 64% de la resistencia de la madera sin defectos, y de la misma forma es para las demás clases. Para clasificar de esta manera a la madera se determinó el efecto de un defecto sobre la resistencia de una pieza de madera y se encontró que para una pieza sometida a flexión y que en el canto del tercio central tenga un nudo de 3.0 cm siendo el ancho de la cara de 5.0 cm., se reduce la resistencia a un valor entre el 50% y el 64% de la resistencia de la pieza si ésta no tuviera defectos. Se analizaron otros tipos de defectos y se formaron grupos de éstos que afectan en igual medida la resistencia de la madera determinando así un grupo o calidad de madera estructural caracterizado por los defectos mencionados.

Para la obtención de los esfuerzos permisibles del último método de clasificación mencionado, el procedimiento seguido es el siguiente:

A partir de pruebas en laboratorio se obtienen los valores de resistencia, para probetas pequeñas libres de defectos en condición "verde" (con un C.H. sobre el punto de saturación de la fibra, PSF \approx 30%). Se supone que los valores de resistencia siguen una distribución normal y a partir de esta suposición se calcula el valor mínimo asociado a una cierta probabilidad de que ese valor no sea alcanzado. En países con poca experiencia en el uso

TABLA 2.1.2 (1)
 esfuerzos permisibles, en Kg/cm².
 condición verde.

Solicitud	selecta	primera	segunda	tercera
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.				
X 10 ³ Medio	70	70	70	70
Mínimo	40	40	40	40

(1) Tomada de la referencia (24)

de la madera, como México, se utiliza la probabilidad de 1 en 100 y entonces la resistencia mínima es:

$$R_{\min.} = \bar{R} - 2.33 \sigma \quad \text{-----} \quad (1)$$

donde:

R_{\min} - resistencia mínima.

\bar{R} - resistencia media.

σ - desviación estandar.

2.33 - coeficiente que corresponde a la probabilidad de 1 en 100.

Después de obtener la resistencia mínima para cada tipo de esfuerzos, esta se divide entre factores de reducción para obtener los esfuerzos permisibles para la madera sin defectos, siendo básicamente un factor de seguridad

dad y un factor que toma en cuenta el efecto de la duración de carga sobre la resistencia; este último modifica la resistencia obtenida con cargas de corta duración, como en los ensayos, y nos da la resistencia de la madera sometida a cargas de larga duración o permanentes, que es generalmente la condición a la que está sometida la madera en una estructura. Los esfuerzos así obtenidos son los llamados esfuerzos "básicos" para madera sin defectos.

El siguiente paso consiste en multiplicar los esfuerzos básicos por un cierto porcentaje para cada clase o grupo de acuerdo a la clasificación seguida, por ejemplo para la clase V-75, el valor del esfuerzo básico se multiplica por 0.75 y el resultado es el esfuerzo permisible de diseño para este grupo de madera estructural.

Los esfuerzos obtenidos corresponden a madera de una densidad relativa aproximadamente de 0.40 y las normas permiten incrementar estos valores para densidades mayores de 0.40 de la siguiente manera; por cada 0.01 que exceda dicha densidad se incrementará en 3% los esfuerzos permisibles en -- flexión, tensión, compresión paralela a la fibra y cortante, 6% para compresión perpendicular a la fibra y 1.5% el módulo de elasticidad.

2.2. Normas Norteamericanas.

Las reglas de calificación y clasificación empleadas por las diversas asociaciones norteamericanas (WWPA, SPIB, WCLIB, etc.) están basadas en los procedimientos indicados en la norma D-245 de la ASTM(2), de la cual los aspectos más importantes se describen a continuación.

Los métodos indicados por la ASTM en la norma D-245, cubren los principios básicos para la clasificación de la madera estructural por medios visuales, y para el establecimiento de los valores relativos de esfuerzos y

rigidez para el diseño. Incluyen los procedimientos necesarios para la formulación de clases estructurales y la razón de resistencia asignada a cada clase. La razón de resistencia de la madera para fines estructurales es la relación teórica de su resistencia con la resistencia que tendría si no se presentaran características debilitadoras, esto es, que una pieza con una razón del 75%, se espera que tenga el 75% de resistencia de una pieza libre de defectos.

El desarrollo de estos métodos está basado en la investigación de las propiedades mecánicas de pequeñas probetas y miembros de tamaño estructural.

La clasificación visual se realiza mediante la inspección de las cuatro caras y los extremos de las piezas, con la cual la localización así como el tamaño de los nudos y otros aspectos de apariencia se evalúan en toda la longitud de la pieza de madera.

Las características que afectan la resistencia de la madera difieren en su efecto, dependiendo del tipo de carga y esfuerzos actuantes en las piezas de madera. Según las normas norteamericanas la madera se clasifica de acuerdo a su tamaño y uso como sigue:

Vigas ligeras y Tablones.- son piezas de 2" a 4" en su menor dimensión y utilizadas en flexión, también son frecuentemente utilizadas en tensión o compresión

Vigas pesadas y Largueros.- piezas de 5" x 8" de sección y dimensiones mayores, para usarse en flexión, actuando en el canto la carga.

Postes y Vigas.- sección cuadrada de 5" x 5" y mayores para usarse en compresión (columnas y postes).

Tablas estructurales.- madera de dimensiones menores de 2" de espesor y cualquier ancho, para soportar fuerzas axiales.

Las clases citadas indican los usos recomendables, pero no excluyen la utilización en otros propósitos.

Los elementos principales para la descripción de una clase estructural son los siguientes:

a.- un nombre dado a la clase que identifica el tipo de uso (postes, vigas, tablones, etc.)

b.- la descripción de las características de crecimiento que afectan las propiedades mecánicas. Otras que no afectan también pueden incluirse.

c.- una o más propiedades para la clase según la razón de resistencia correspondiente.

El porcentaje de esfuerzos asociados con los nudos en miembros a flexión se derivó de la capacidad de la pieza para soportar momentos entre la resistencia de la madera sin tal defecto.

Para el caso de miembros en compresión, la razón de esfuerzos se obtiene de la capacidad de carga de la pieza con su sección reducida por el nudo sobre la capacidad de carga de una pieza que no tuviera este defecto.

Todos los nudos se dividen en nudos en la zona central de la cara ancha y nudos en el canto dentro de los cuales también se consideran los nudos de la zona de borde. Las tablas 2, 3 y 4 de la referencia (2) dan valores de la razón de esfuerzos para varias combinaciones de tamaño y localización de los nudos en las piezas de madera.

La razón de esfuerzos asociada con la pendiente del grano en miembros a flexión y compresión paralela al grano se obtuvo experimentalmente, y se dan valores en la tabla 1 de la ref. (2)

Las rajaduras, reventaduras y grietas que se presentan a lo largo de la fibra, reducen la resistencia de la madera al cortante horizontal que

se presenta en flexión, en la tabla 5 de la ref.(2) se pueden consultar valores de la razón de esfuerzos según la magnitud de las rajaduras, reventaduras y grietas.

Para el módulo de elasticidad se sabe que está relacionado aproximadamente con los esfuerzos en flexión, y en la tabla 7 de la ref. (2) dá valores del módulo de elasticidad relacionados con los valores de esfuerzos en flexión.

También en la tabla 8 de la misma referencia podemos encontrar valores de coeficientes que modifican los esfuerzos en compresión, flexión, tensión y el módulo de elasticidad según sea el valor de la gravedad específica de algunas especies.

El método D-2555 de la ASTM, provee información sobre los valores de las propiedades mecánicas de la madera sin defectos de las especies norteamericanas, de estos valores se obtienen los esfuerzos permisibles para madera verde que se establecen para especies individuales o para grupos de especies. La determinación de las propiedades permisibles se basan en considerar una carga de duración normal y en la suposición de que las cargas de diseño están apegadas a la realidad y que cada miembro soporta su propia carga; se propone que el módulo de elasticidad sea el promedio para los grupos de especies y clases de esfuerzos; también para los esfuerzos permisibles se propone que sean iguales a la resistencia que es excedida por el 95% de las piezas de un grupo o clase, lo que significa que los esfuerzos permisibles están basados en el concepto del límite de exclusión más bajo del 5%.

El límite de exclusión al 5% para esfuerzos en flexión, tensión y compresión paralela al grano y esfuerzos de cortante horizontal, para madera

libre de defectos y grano recto en condición verde se obtendrán para cualquier especie de la norma D-2555 de la ASTM. Cuando estas propiedades se dividen por los factores de la tabla 9 de la referencia(2), obtenemos las propiedades permisibles para madera libre de defectos, estos factores implican ajustes por duración de carga y un factor de seguridad.

Los esfuerzos en flexión se obtuvieron para un peralte supuesto de 2" y para ajustar estos valores a otros tamaños se multiplicaran por un factor.

$$F = 2/d \text{ ----- (2)}$$

donde:

d - peralte efectivo, in.

Esta fórmula se derivó asumiendo una carga central y una relación claro/peralte igual a 14.

2.3 Normas de Clasificación Británicas para madera Estructural.

La calidad y clasificación de los miembros de una estructura de madera en Inglaterra se rigen por las normas del CP-112 (Code of Practice 112:Part 2)(9).

La madera para uso estructural en el Reino Unido, generalmente procede de Europa o Norteamérica y para el suministro de la madera han establecido tres tipos de madera según sus dimensiones.

Madera aserrada.- Es el producto que se obtiene directamente del aserradero y solo se permite una variación de sus dimensiones al 10% de las piezas de un lote, siendo la variación permisible para piezas menores de 100 mm en espesor y ancho, de -1 mm y +3mm; y para piezas mayores de 100 mm la varia-

ción permisible es de -2 mm y +6 mm.

Madera de Precisión.- Esta madera se suministra a un C.H. entre el 14% y el 20% con un promedio que no exceda el 18%. Se permite una reducción de 1 mm en las dimensiones básicas dadas para la madera aserrada.

Madera Procesada.- Cuando se desea un acabado exacto de la sección se permitirán reducciones de la sección de la madera aserrada según lo siguiente:

para anchos y espesores hasta de 100 mm --- 3 mm

para anchos y espesores de 100 mm hasta 150 mm --- 5 mm

para anchos y espesores mayores de 150 mm --- 6 mm

La madera estructural se clasifica en cuatro clases; 75, 65, 50 y 40, en la figura 1a, 1b y 1c, se muestra la forma de medir los nudos.

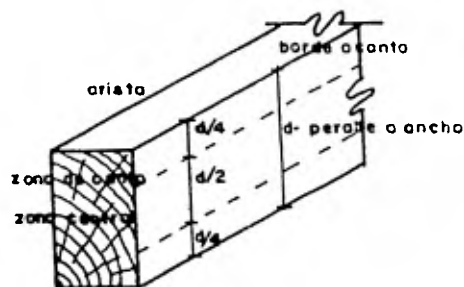


Fig. 1a. caras y dimensiones.

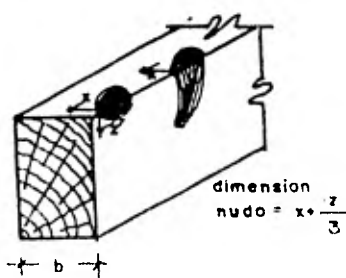


Fig. 1b. Nudos de perno y arista.

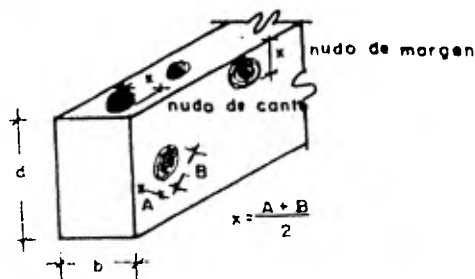


Fig. 1c. Nudos en canto y cara.

Si se desean conocer mayores datos del método para medir y considerar los defectos en la madera, se puede recurrir a la referencia(9)

Cuando se utilizan métodos de clasificación mecánica o eléctrica, el equipo y procedimientos deberán ser aprobados por el FPRL (Forest Products Research Laboratory).

2.4. Otras Normas.

Normas de la CEE (Comunidad Económica Europea)

Los estándares para la clasificación estructural de madera de coníferas de la CEE son una propuesta presentada al TC (Timber Committee) de la CEE en octubre de 1974, la cual fue aceptada por dicho comité, y estas normas regirán el uso de la madera de coníferas en los países europeos miembros de la CEE.

Las reglas de este método cubren lo relacionado a madera de uso estructural con dimensiones mayores a 38 mm de espesor y de 75 mm de ancho; cuando la madera se habilita y se acondiciona no reduciendo más de 1 mm sus dimensiones, no cambiará de clase o grado.

Se establecen dos calidades para la madera clasificada visualmente, EC1 y EC2 y si se clasifica mecánicamente se denominan como clases MEC1 y MEC2.

Los defectos permisibles para cada clase se especifican para madera con un contenido de humedad del 20%, en la figura 2 se representan las áreas sobre las que se determinan los nudos.

Se describen los procedimientos para medir y estimar los defectos que aparecen en la madera, en los siguientes párrafos.

Nudos.- Se estimarán por su KAR total (Knot Area Ratio) y su KAR marginal;

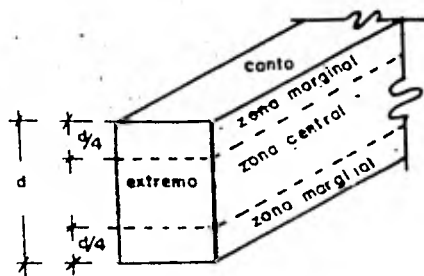


Fig. 2. Coras y zonas de una pieza de madera.

lo anterior significa que los nudos se pueden estimar por la relación del área de los nudos proyectados en la sección transversal entre el área total de la misma y la relación de el area de los nudos proyectados en la zona marginal entre el area de la zona marginal, tal como se observa en la figura 3.

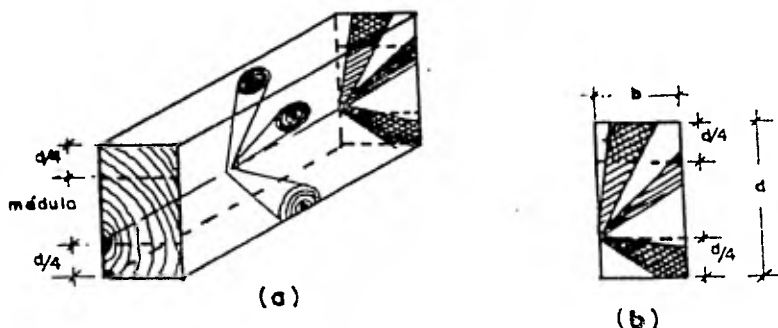


Fig. 3. Proyección de nudos en la sección transversal.

Como se puede ver este método es de los más acertados para la clasificación estructural de la madera, por la forma de considerar los nudos y su efecto reductor de el área transversal, dandoles la importancia que merecen según su posición en la pieza, como se ve en la fig. 4

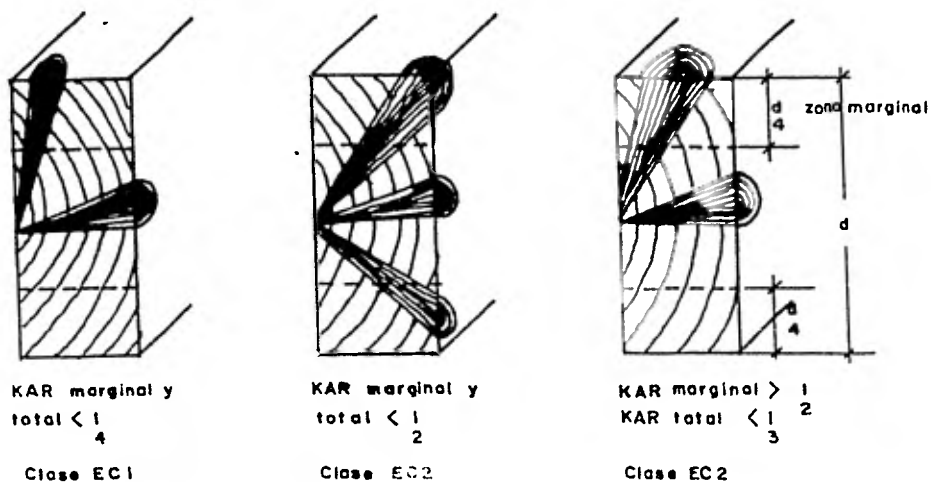


Fig. 4. Posición de los nudos y la reducción del área transversal

Como en todas las normas que ya se mencionaron estas también cuentan con mayor información sobre los defectos y la manera de considerarlos en una pieza de madera.

La madera se reclasificará cuando de una muestra de un lote el 10% o más de las piezas de la muestra se excede en un 15% de una característica limitada para cierta clase o grupo estructural.

La madera clasificada visualmente deberá mostrar los siguientes datos en cada pieza:

- 1.- La compañía responsable de la clasificación.
- 2.- La clase o calidad estructural de la pieza.
- 3.- La especie o grupos de especies.
- 4.- La autoridad que realiza el control.

En la madera clasificada mecánicamente se distinguen dos clases una como MEC1 y otra como MEC2, las cuales tienen el mismo valor de los esfuerzos en flexión de las clases EC1 y EC2 respectivamente. Aunque haya sido ya clasificada la madera por la máquina, se realizará una inspección visual a cada pieza para verificar si cumple con las limitaciones de las características para cada clase. Adicionalmente a los datos que deben aparecer en las piezas clasificadas visualmente, las clasificadas mecánicamente tendrán el número de la licencia de la máquina.

Se requiere asignar valores de esfuerzos de resistencia para cada clase y cada especie. Pero los diferentes países usan cada uno diferentes valores de esfuerzos para madera de calidades similares.

Sería conveniente contar con reglas de clasificación iguales para todos los países, el TC (Timber Committe) trata de lograr esto, pero mientras no lo consiga no se podrán dar valores de resistencia exactos.

Así por ejemplo para esfuerzos en flexión de redwood y whitewood (*Pinus Sylvestris* y *Picea Abies*) de Europa para la clase EC2 y EC1 serían del orden de 5.5 a 6.5 y de 8 a 10 Nt/mm² respectivamente(43).

Normas Canadienses.

Las reglas de clasificación estandar para madera canadiense son básicamente iguales a las norteamericanas referencia(36), y de aplicación a todas las especies de coníferas o combinaciones de las mismas del Canadá. Las reglas de clasificación para madera "dimensión" cubren los elementos con

un grueso de 2" a 4" nominal, los cuales se utilizan como miembros estructurales tales como vigas, tablones, largueros, columnas y otras piezas de importancia estructural; la madera la clasifican en dos categorías según sus dimensiones y en cinco categorías según su uso.

Los procedimientos de diseño y los esfuerzos permisibles para madera que cumpla con éstas reglas se han desarrollado para su uso en Canadá y los Estados Unidos de Norteamérica.

Se debe hacer notar que de acuerdo con la práctica de revisión constante, los valores de los esfuerzos están en un proceso de reevaluación por medio de pruebas en tamaño estructural, con muestras de las diferentes calidades.

Los valores de diseño dados corresponden a seis propiedades básicas de la madera y son; esfuerzo en la fibra extrema, tensión paralela al grano, cortante longitudinal, compresión perpendicular al grano y el módulo de elasticidad.

Los valores de los esfuerzos se obtienen del estudio de probetas de madera sin defectos de varias especies, y los valores calculados (para una especie o combinación de ellas) de los niveles de resistencia de la madera libre de defectos; al menos el 95% de las piezas tendrán una resistencia mayor al valor obtenido.

La reducción por el factor de seguridad y de duración de carga, se realiza de acuerdo con los estándares de la ASTM. Para cada clase el valor resultante se reduce posteriormente de acuerdo al efecto de los defectos máximos permisibles para cada grupo o clase, procediéndose de acuerdo con la norma D-2555 y D-245 de la ASTM(2).

2.5 Comparaciones.

Respecto a la clasificación de las maderas mexicanas con la norma C18-46 hemos dicho que es insuficiente e ineficaz para fines estructurales debido a que no especifican la posición de los nudos y por consiguiente no pueden compararse con otras normas de clasificación estructural de otros países.

La alternativa presentada en las "Normas Técnicas Complementarias" coincide casi totalmente con las reglas de clasificación para coníferas de Inglaterra¹.

Con respecto a la relación de esfuerzos coinciden totalmente con los valores dados en las normas inglesas; tenemos para ambas las siguientes relaciones 75%, 65%, 50% y 40% para las clases V-75, V-65, V-50 y V-40 de las normas mexicanas y las clases 75, 65, 50 y 40 de las normas inglesas¹. Aunque el porcentaje asignado a cada clase coincide en las dos normas, esto no significa que el valor de los esfuerzos permisibles coincidirá, debido a la variabilidad de la resistencia entre especies.

En la dimensión de los nudos permisibles se observa una variación ya que las normas inglesas son más detalladas en este punto a diferencia de las normas mexicanas que son más reducidas, puesto que estas son una versión simplificada de las inglesas resultando dimensiones diferentes de los nudos permisibles para cada clase.

Con respecto a la velocidad de crecimiento, las grietas, rajaduras, bolsas de resina, gema y desviación de la fibra son idénticas en ambas normas para todas las clases.

La obtención de los esfuerzos básicos para derivar los esfuerzos permisibles de cada calidad, en ambas normas se hace a través del porcentual

¹ Existe una nueva clasificación británica la cual reduce el número de clases o grupos.

1, lo que significa que el 99% de las piezas tendrán una resistencia igual o mayor que el esfuerzo permisible asignado.

En las normas inglesas se consideran otras formas de clasificación que pueden servir como complemento a la clasificación visual estos métodos pueden ser mecánicos o eléctricos, por medio de los cuales se determina el módulo de elasticidad indirectamente (v. gr. a través de la deflexión) y mediante la correlación que existe con la resistencia de la madera se puede realizar la clasificación.

Por otra parte las normas de la CEE, solo contemplan dos clases estructurales que pueden determinarse visual ó mecánicamente. Hay una amplia contribución de los comités ingleses para la elaboración de estas normas y además de ser más reducidas, los procedimientos y técnicas de clasificación difieren bastante de las normas inglesas, diferencia fundamental en la forma de medir los nudos. Las normas de la CEE lo realizan por el método de la relación del área del nudo sobre el área de la sección transversal, a diferencia del método de medición superficial usado en las normas inglesas.

Los países de Norteamérica cuentan con normas y sistemas de clasificación para madera estructural muy amplios en su contenido y de una utilización intensiva lo que provoca la necesidad de avanzar continuamente en este campo. Sin embargo en ambos países la derivación de los esfuerzos permisibles ha sido y sigue siendo a través de pruebas con pequeñas probetas libres de defectos, aunque se han realizado estudios con madera de tamaño estructural pero aún insuficientes.

Para la determinación de los esfuerzos básicos proceden de una forma menos conservadora que en otros países, obteniendo el porcentual 5% de la

distribución normal de los valores de resistencia de la madera, obviamente que los esfuerzos permisibles que obtienen son mayores.

En conclusión las normas de ambos países son amplias y los procedimientos y métodos de estimación para las características de crecimiento - de la madera son muy semejantes.

Las reglas de la CEE(43) son excelentes para definir con más precisión las clases estructurales, aunque sean únicamente dos clases; sin embargo para el clasificador en el aserradero es muy difícil lograr que la clasificación se realice con prontitud por todo lo que tiene que imaginarse y considerar en el interior de la pieza.

De éstas comparaciones observamos que en México existe un gran atraso en el conocimiento de las propiedades mecánicas de la madera aserrada para uso estructural, pero esta situación nos concede una ventaja sobre otros países ya que podemos empezar a obtener conocimientos del comportamiento real de la madera al realizar estudios con especímenes de tamaño estructural que obviamente es mejor que deducir el comportamiento mecánico de la madera con pequeñas probetas.

3. METODOLOGIA.

3.1. Muestreo y Colecta del Material.

El material usado en este proyecto fué proporcionado por la empresa estatal "Protectora e Industrializadora de bosques", PROTINBOS, del Edo. de México. Este aserradero explota los bosques aledaños al Nevado de Toluca; el aserradero se encuentra en la población de Zinacantepec, Mex. a 15 Km de Toluca; PROTINBOS proporcionó un total de 53.80 m^3 de madera (22,800 pie tabla).

La selección de las secciones a estudiar se hizo considerando las que pueden ser más comunes para usarse en estructuras, muestreandose piezas de $2'' \times 4'' \times 8'$, $4'' \times 4'' \times 10'$ y $4'' \times 8'' \times 12'$; el tamaño de la muestra fué de 450 pzas. aproximadamente por cada tamaño.

Para poder obtener una muestra representativa de la producción del aserradero, se planeó visitar el lugar durante cinco semanas y tomar una parte de la muestra diariamente hasta completar las 450 piezas de cada uno de los tamaños.

Pero debido a que el abastecimiento de las trozas al aserradero en las longitudes que requeríamos no era adecuado, y por cuestión del tiempo en la planeación del proyecto, se optó por muestrear piezas de la misma sección pero de una longitud del doble de la necesaria, para de esta manera obtener dos piezas al cortarlas por la mitad; sin embargo en muchos casos obtuvimos longitudes mayores pero que no llegaban a ser el doble de la requerida y por lo mismo sobraron piezas de longitudes menores; de estas se asignaron 90 piezas a una investigación en compresión paralela a la fibra que se realizará en la Universidad Autónoma Metropolitana de Azcapotzalco (UAMA),

que colaboró con el proyecto aquí reseñado.

Finalmente el muestreo se realizó mediante diez visitas al aserradero, en cada una de las cuales muestreamos aproximadamente la décima parte del total de la muestra. El lapso en que se realizaron las diez visitas fué de Junio a Septiembre de 1979, y el muestreo se hizo al azar tomando piezas de la línea de producción o de los patios de almacenamiento. Debido a que el muestreo se realizó en un lapso de tiempo relativamente largo es razonable suponer, que la muestra obtenida es representativa de la población, ya que durante el tiempo en que se realizó es de esperarse que se abastecieran trozas de casi toda la región boscosa que explota PROTINBOS.

La muestra final obtenida por tamaños es la siguiente:

2" x 4"	-----	437 pzas.
4" x 4"	-----	444 "
4" x 8"	-----	343 "

Como puede observarse todas las cantidades fueron menores que las proyectadas originalmente, por todos los problemas ya comentados; además se usaron algunas piezas para probar el funcionamiento de la máquina de ensayos.

Toda la madera colectada se fué apilando adecuadamente en los patios de PROTINBOS para permitirles un secado inicial y así disminuir el riesgo de degradación por hongos. En cuanto se tuvo una cantidad suficiente se fué transportando a las instalaciones de LACITEMA-IIIPIEB en Xalapa, Ver.

3.2. Almacenamiento y Secado.

En cuanto la madera llegaba a LACITEMA se procedía a tratarla con una substancia preservadora (Pentatox), para reducir al mínimo la posibilidad de ataque por hongos degradadores de la madera, mientras alcanzaba su con-

tenido de humedad en equilibrio con la humedad relativa del ambiente. Una vez aplicado este tratamiento se formaron pilas de secado, poniendo especial atención en la separación entre las piezas para obtener una buena circulación del aire, que es uno de los factores principales (junto con la humedad relativa del ambiente y la temperatura) que influyen en el secado de la madera; también se protegieron las pilas de la lluvia y la humedad del suelo, en la figura 5 se muestra la forma típica de una pila de secado al aire libre.

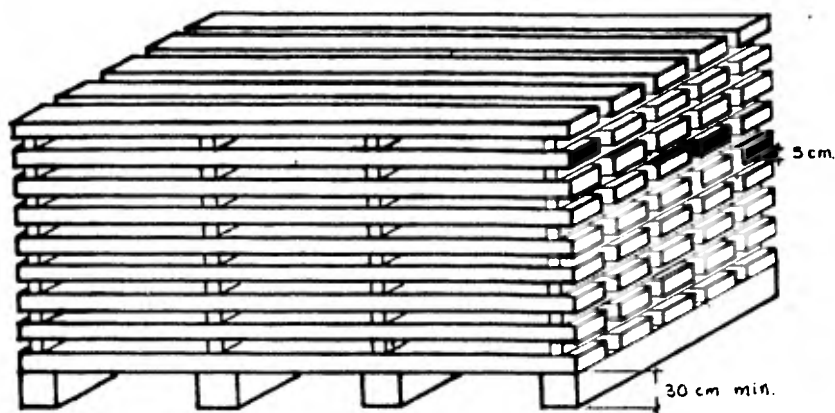


Fig.5. Pila de secado (se cubrieron para protegerlas de la lluvia)

La madera en servicio tendrá un contenido de humedad en equilibrio - con las condiciones ambientales del lugar donde se encuentre el cual varia rá según las condiciones climatológicas de cada región. Por lo anterior - las pruebas se realizaron con la madera a un contenido de humedad en equi

librio entre el 15% y el 25% que es el que alcanza normalmente en Xalapa.

Una vez que el material alcanzó su contenido de humedad en equilibrio éste se trasladó al interior del edificio para proceder a medir sus características y realizar las pruebas.

La ejecución de las pruebas se dividió en dos fases, la fase I que consistió en probar 150 piezas de cada tamaño y con los resultados de ésta fase se elaboraron las reglas de clasificación preliminares; la fase II sirvió para verificar la validéz de las reglas preliminares o para corregirlas y obtener las reglas definitivas para cada tamaño en estudio.

3.3. Medición de Características Físicas y Defectos.

Ya con el material dentro del laboratorio, inicialmente 150 pzas. de 2" x 4" se les puso una clave de identificación que consiste en un número correspondiente al tamaño 24, 44 y 48 para 2" x 4", 4" x 4" y 4" x 8" respectivamente, después un número que identifica la fase de pruebas I o II, otro que señala si la pieza tiene nudos en el canto (1) o no tiene (0), en seguida una letra para definir la clase de la pieza, en la fase I clase única (U) y en la fase II clase "A", "B" o "R" y finalmente la numeración progresiva de las piezas ensayadas empezando con las de 2" x 4" después las de 4" x 4" y finalmente las de 4" x 8".

Se marcaron las cuatro caras de la pieza escogiendo al azar la cara superior e inferior que estarían sometidas a compresión y tensión en la prueba a flexión, fig. 6.

Se fotografiaron las cuatro caras de las piezas de 4" x 4", mientras a las piezas de 2" x 4" y 4" x 8" solamente se fotografiaron las caras anchas de algunas de éstas piezas se obtuvieron fotos a detalle de los defectos

que considerabamos de importancia. Con estas fotos se tendria un registro de los defectos importantes para nuestra investigación, ver figs. 7a y 8.

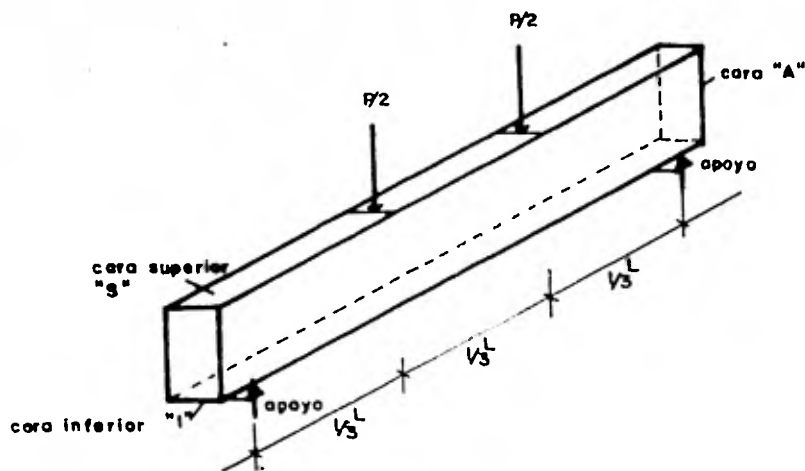
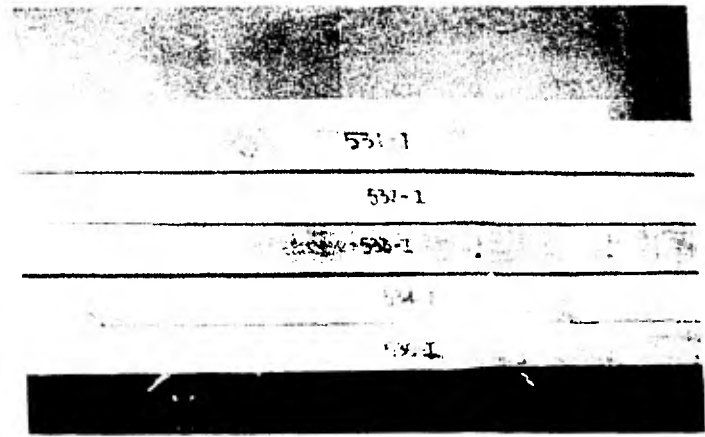
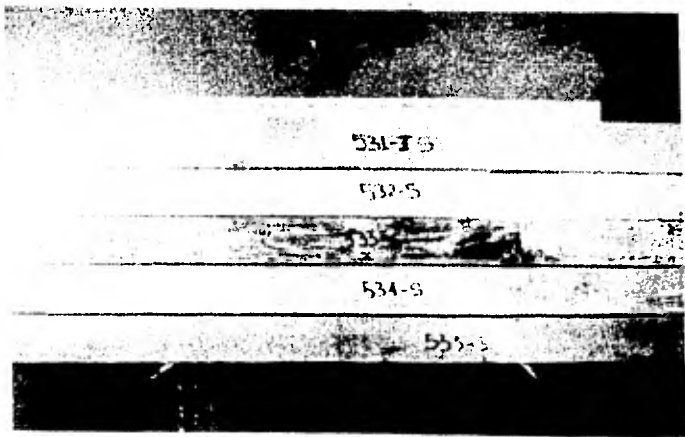


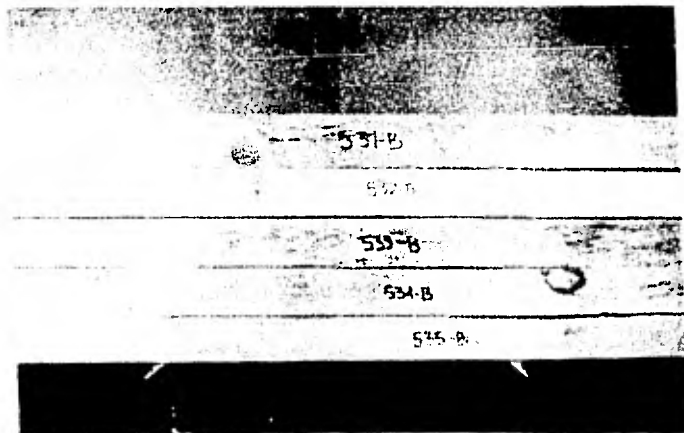
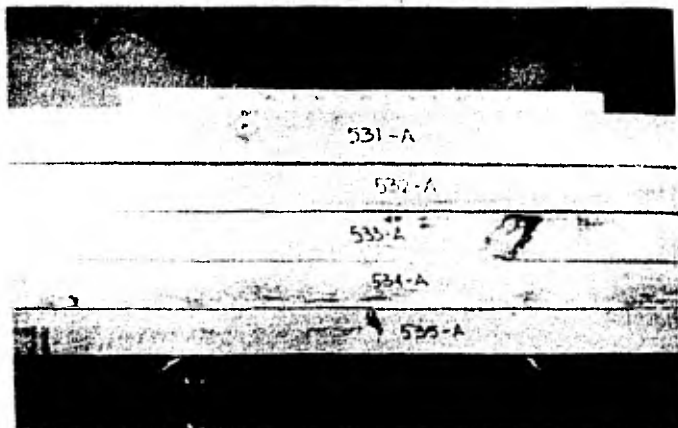
Fig. 6. Aplicacion de cargas y colocacion de las caras.

Los datos recabados para cada pieza ensayada son los siguientes:

- ancho y grueso; expresados en cm con aproximación a mm, obtenidos como el promedio de tres medidas tomadas en el centro de la pieza y en los dos puntos de apoyo. Estos valores (ancho y grueso) se utilizaron para obtener el area promedio de la sección transversal de la pieza.
- contenido de humedad; se obtuvo como el promedio de tres mediciones en los mismos puntos donde se midieron las dimensiones. Se utilizó un medidor de humedad del tipo de resistencia eléctrica el cual hace uso de la rela-



... ..
... ..
... ..



Las capas A y B para P de las mismas piezas de la fig. 7



Fig 8. Detalle de los nudos de una pieza de madera

ción que existe entre el contenido de humedad y la resistencia eléctrica de la madera (a menor contenido de humedad mayor resistencia eléctrica). Como mencionamos anteriormente el rango del contenido de humedad de los especímenes fué del 15% al 25% .

-defectos; se tomaron las medidas de los defectos mayores, visibles dentro de las zonas esforzadas, tales como nudos, pendiente del grano, ataque de insectos, manchado, bolsas de resina, rajaduras, etc. En la fase I se dibujó la proyección del area de los nudos en la sección transversal de la pieza sobre una tarjeta a una escala reducida, pero en la fase II se cambió el método y las proyecciones de los nudos se dibujaron a tamaño natural. De todos estos defectos se consideraron únicamente los que se localizaron dentro del tramo que resultaba de restarle a la pieza una longitud igual a tres veces el peralte a partir de los apoyos hacia el centro. Se anotó la localización de estos con respecto al centro del claro de prueba y la cara donde eran visibles, como se muestra en la fig. 9. La pendiente se midió conforme a cualquiera de las normas citadas en el capítulo 2, ya que todas coinciden en la forma de medir esta característica.

Respecto a las rajaduras, bolsas de resina, manchado, etc. se llevó un registro de su magnitud y localización en la pieza. El registro de todos los datos aquí mencionados se llevó en una forma como la mostrada en la siguiente hoja.

3.4. Procedimiento de Pruebas (fase I).

En primer lugar se describirá el equipo utilizado para la realización de los ensayos a flexión.

La máquina utilizada para los ensayos a flexión está basada en un di-

LACITEMA-INIREB

PROYECTO "TIMBER GRADING-IDRC CANADA"

REGISTRO DE PRUEBAS DESTRUCTIVAS EN FLEXION

Fecha _____ Tamaño _____

Fase del Programa _____ Clase _____

Clave de Identificación _____

Claro de Prueba _____ (cm)

Dimensiones: grueso _____ (cm)

ancho _____ (cm)

Contenido de Humedad _____ (%)

Carga Máxima _____ (Kg) Carga L.P. _____ (Kg)

MOR _____ (Kg/cm^2) Deformación L.P. _____ (cm)

Deformación Máxima _____ (cm) MOE _____ (Kg/cm^2)

Defecto que provocó la falla _____

Observaciones. _____

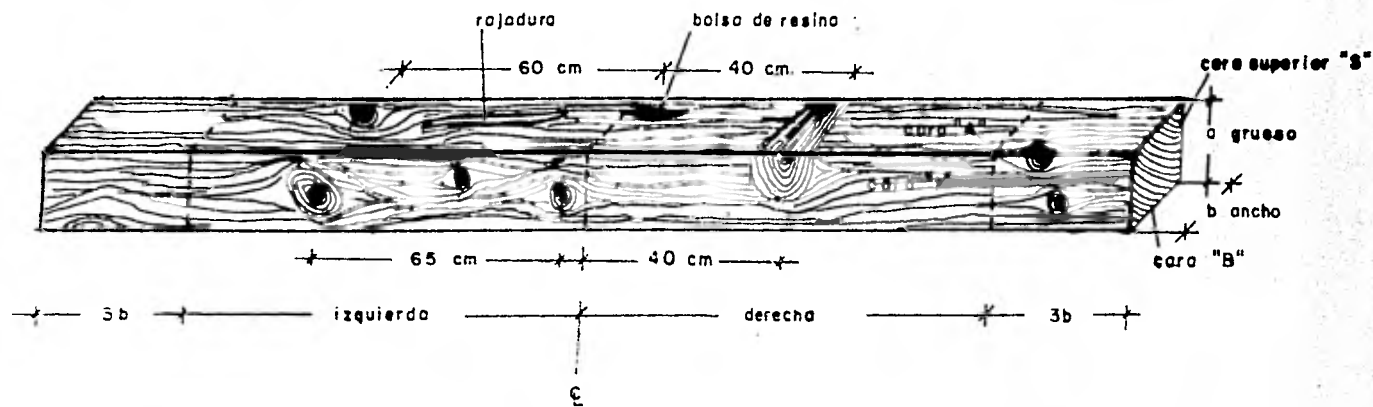


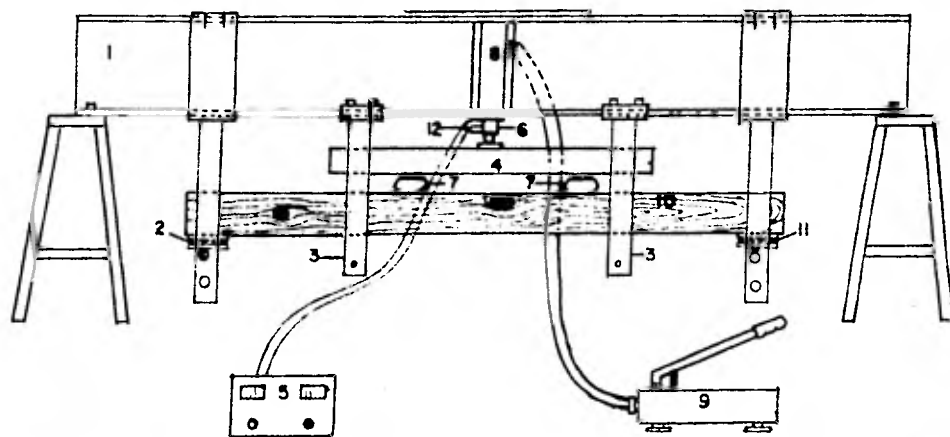
Fig.9. Localización de los defectos con respecto al centro de la pieza y la cara donde son visibles.

seño original del Prof. Borg Madsen y colaboradores de la Universidad de la Columbia Británica, con algunas modificaciones, tales como las siguientes; la máquina del prof. Madsen consiste en una viga "I" de acero dividida en tres partes desmontables para facilitar su transporte y la utilizada en este proyecto es una pieza completa. Todas las partes mecánicas de la máquina fueron construidas en la Universidad Autónoma Metropolitana de Azcapotzalco. Para lo correspondiente a los elementos de electrónica la UAM subcontrató una firma privada.

La máquina consiste principalmente de una viga "I" de acero de 14" y de 3.60 m de largo con dos soportes en los extremos. La viga cuenta con dos apoyos móviles para soportar la pieza por probar de acuerdo al claro de prueba requerido. La carga se aplica mediante un émbolo hidráulico localizado en el centro de la viga el cual se mueve mediante una bomba manual. El émbolo transmite la carga a una viga metálica de sección rectangular con dos aplicadores de carga que a la vez transmiten la carga al espécimen. El cilindro aplicador de carga esta equipado con una celda la cual funciona mediante un transductor. Se instaló un deformímetro que funciona con "strain-gages", conectado al cilindro aplicador de carga. Tanto el transductor como el "strain-gages" mandan una señal eléctrica a una consola amplificadora donde se puede leer directamente en un indicador digital la carga en Kg y la deformación en mm. En la fig. 10 se puede ver un esquema de la máquina descrita.

El procedimiento de pruebas se apegó fundamentalmente a la norma ASTM-D198(2), pero se hicieron tres modificaciones básicas.

En primer lugar la máquina tiene rodillos en ambos aplicadores de carga mientras que la ASTM-D198, especifica el uso de rodillos solamente en



- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1. Viga "I", acero estructural | 7. Aplicadores de carga |
| 2. Placa de apoyo | 8. Cilindro hidráulico aplicador de carga |
| 3. Soportes laterales del espécimen | 9. Bomba manual |
| 4. Viga repartidora de carga | 10. Viga de prueba |
| 5. Consola indicadora digital | 11. Rodillos. |
| 6. "Strain gages" | 12. Deformímetro |

Fig.10. Máquina para ensayos destructivos en flexión con madera de tamaño estructural.

un aplicador de carga, esta modificación es necesaria para obtener gráficas de carga-deformación lisas ya que se ha planeado adaptar un graficador (X-Y) a la máquina en el futuro.

La segunda diferencia consiste en el punto de medición de la deflexión. El deformímetro está adaptado como dijimos al cilindro de carga y suponemos que su movimiento es el mismo que la deflexión de la viga de prueba en el punto de aplicación de la carga, una vez que se ha realizado la resta de la deflexión de la viga de acero de la máquina más la de la viga repartidora de la carga, de la deflexión total medida. Lo especificado por la norma ASTM-D198 es medir la deflexión en el centro del claro de prueba.

Y la tercera diferencia es en relación con la velocidad de aplicación de la carga. Puesto que aplicamos la carga por medio de una bomba manual no podemos controlar con exactitud la uniformidad del movimiento, únicamente podemos hacer esto hasta el límite de la sensibilidad humana. La norma ASTM-D198 determina que la carga máxima se debe alcanzar en no menos de 6 min. ni más de 20 min. Y en nuestro caso siempre se estuvo dentro de estos límites.

Para las piezas de 2" x 4" y 4" x 4" la relación de l/d (claro entre apoyos sobre el péralte) fué de 21 y para las piezas de 4" x 8" fué de 17, la ASTM especifica una relación de l/d mayor que 12 para cuando solamente se estén determinando las propiedades en flexión del material, en cuanto al pandeo lateral no hubo problemas ya que se proveía de soporte lateral a las piezas probadas.

Como se indicó en el punto anterior, la etapa de las pruebas destructivas en flexión se dividió en dos fases, en la fase I se ensayaron 150 pzas. de cada tamaño permitiendonos observar el tipo de falla del espécimen

y el defecto causante de la misma. En tal forma pudimos detectar cuales fueron las características comunes de la madera de baja resistencia, lo mismo que para las piezas de alta resistencia.

El objetivo de la primera fase de pruebas fué elaborar reglas de clasificación tentativas para posteriormente aplicarlas al resto del material y comprobar su efectividad. Y en caso de ser necesario se harían las modificaciones pertinentes al término de la segunda fase de pruebas.

4. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS.

4.1. Propiedades Mecánicas en Flexión.

Para cada pieza ensayada en la fase I se tabularon a ciertos intervalos de carga los valores correspondientes a la deflexión para obtener la gráfica carga-deformación y a partir de ésta determinar los parámetros que describen el comportamiento mecánico de la madera en flexión tal como se puede observar en la tabla 4.1.1 y la fig. 11.

Los datos mencionados en el párrafo anterior sirvieron para calcular los valores del módulo de ruptura (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE), de cada una de las piezas de la fase I. El análisis de la distribución probabilística de estos resultados nos permitió determinar el valor correspondiente de resistencia para cada clase o grupo de resistencia que se establecerán.

El módulo de ruptura (MOR) se determinó con la fórmula de la escuadría suponiendo que la distribución de esfuerzos en el momento de la falla corresponde a un comportamiento elástico. Esto no es tan cierto ya que los esfuerzos en compresión longitudinal a la fibra son menores a los esfuerzos de tensión, ocurriendo primero la falla en compresión y enseguida se incrementan rápidamente los esfuerzos en tensión hasta que ocurre la ruptura de la pieza. Por lo tanto el valor del MOR no corresponde al verdadero esfuerzo en la falla, pero para efectos prácticos no se incurre en grave error al emplear esta fórmula para determinar el MOR.

$$\text{MOR} = \frac{Pl}{bh^2} \text{ ----- (3)}$$

donde:

- MOR módulo de ruptura en Kg/cm^2
P carga total aplicada por el émbolo más la mitad del peso de la viga repartidora de carga, en Kg.
l claro entre apoyos en cm.
b ancho del espécimen en cm.
h peralte del espécimen en cm.

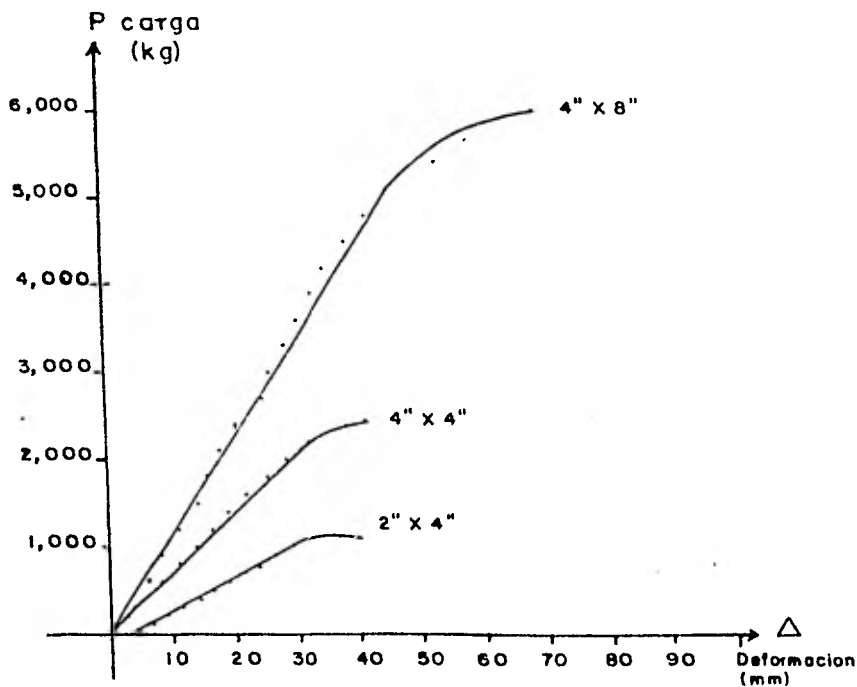


Fig. II. Gráficas de los valores de carga y deformación resultantes de una prueba destructiva en flexión.

Tabla 4.1.1. Datos del ensaye de una pieza de madera por tamaños.

2" x 4"		4" x 4"		4" x 8"		continua 4x8	
P (Kg)	Δ (mm)	P (Kg)	Δ(mm)	P (Kg)	Δ(mm)		
0	0	0	0	0	0		
100	7.1	200	3.0	300	3.7	4200	35.4
200	8.9	400	5.6	600	6.2	4500	38.6
300	11.6	600	8.2	900	8.5	4800	42.1
400	14.2	800	11.0	1200	11.0	5100	46.0
500	16.7	1000	13.7	1500	14.4	5400	53.3
600	19.1	1200	16.5	1800	15.7	5700	59.0
700	21.8	1400	19.0	2100	17.9	6000	70.0
800	24.0	1600	22.0	2400	20.3		
900	26.8	1800	25.1	2700	24.7		
1000	29.0	2000	28.5	3000	25.8		
1100	32.5	2200	32.0	3300	28.5		
1120	39.9	2400	38.6	3600	30.4		
		2440	41.6	3900	32.8		

El módulo de elasticidad se entiende como la resistencia a deformarse un material bajo la acción de las cargas. Se determina su valor mediante la gráfica esfuerzo-deformación unitaria en la porción donde las deformaciones son proporcionales a las cargas aplicadas (etapa del comportamiento elástico). El valor del MOE es la pendiente de la recta inicial de la gráfica esfuerzo-deformación unitaria; para nuestro caso el MOE se determinó con la ecuación (4) mostrada enseguida:

$$MOE = \frac{P_1 p \cdot a}{6 p \cdot I} (31a - 4a^2) \text{ ----- } \{ 4 \}$$

donde:

MOE módulo de elasticidad, Kg/cm^2

P_{1p} carga en el límite de proporcionalidad. Kg

a distancia entre el apoyo y el punto de aplicación de la carga más próximo, cm

l_p deformación en el límite de proporcionalidad medida en el punto de aplicación de la carga, cm

I momento de inercia de la sección, cm^4

l claro entre apoyos, cm

En la fig. 12 se muestra un diagrama de las cargas y los elementos actuantes en la viga de prueba.

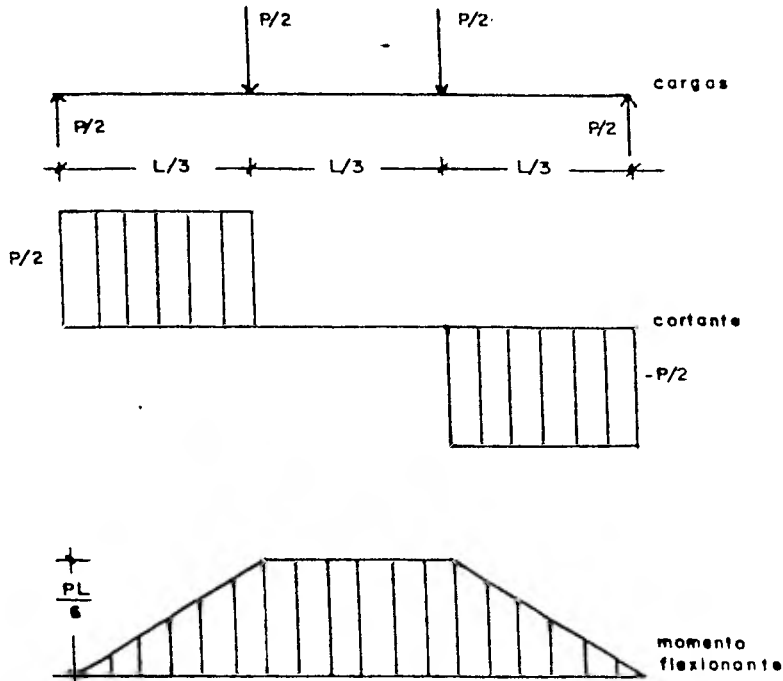


Fig. 12. Diagrama de las cargas y los elementos mecánicos actuantes en los espécimenes

Hubo necesidad de realizar dos ajustes en los cálculos del módulo de elasticidad; los dos se hicieron sobre el valor de la deformación medida. El primero fué sustraer el valor de la deformación de la viga "I" de la máquina más la deformación de la viga repartidora de carga. El valor de la deformación de las vigas metálicas es proporcional a la carga aplicada y se determina con las expresiones siguientes:

$$C_I = \frac{P_{1p} \cdot L^3}{48E_I I_I} \text{ ----- } (5)$$

$$C_r = \frac{P_{1p} \cdot L_r^3}{48E_r I_r} \text{ ----- } (6)$$

donde:

- C_I factor de corrección por la deflexión de la viga "I", cm
- L claro de prueba, cm
- E_I módulo de elasticidad de la viga "I" de acero, Kg/cm^2
- I_I momento de inercia de la viga "I", cm^4
- C_r factor de corrección por la deflexión de la viga repartidora, cm
- L_r separación entre las cargas aplicadas, cm
- E_r módulo de elasticidad del acero, Kg/cm^2
- I_r momento de inercia de la sección de la viga repartidora, cm^4

El otro ajuste que fué necesario hacer correspondió a la deformación por cortante de las piezas ensayadas, se calculó usando el principio de la

energía de la deformación (apendice "A"). Recordando que la madera es un material anisótropo y sus propiedades varían en gran medida según la orientación de la fibra, se asumió un valor de $G = E/16$ (referencia 6) para determinar la deflexión debida al cortante (ecuación 7) producido por el momento flexionante:

$$\Delta_v = \frac{Pl}{6GA} = \frac{16Pl}{6EA} \text{ ----- } \{7\}$$

donde:

- Δ_v deflexión de la viga debida al cortante, cm
- P carga máxima transversal en la viga, Kg
- G módulo de rigidez, Kg/cm²
- A área de la sección transversal de la viga, cm²

El valor del módulo de elasticidad "verdadero" se calculó con la fórmula (8) que incluye las correcciones descritas en los párrafos anteriores;

$$E = \frac{5Pl^3}{324_n I} + \frac{16Pl}{6_n A} \text{ ----- } \{8\}$$

donde:

- E módulo de elasticidad corregido, Kg/cm²
- Δ_n deflexión neta del espécimen, cm
- y los demás términos como se definieron antes.

4.2 Defectos Causantes de Falla,

Para poder observar con mayor detenimiento los defectos causantes de falla, las 150 pzas. de la fase I se colocaron en el piso ordenandolas des de el mínimo al máximo valor del MOR.

De esta manera se encontraron las características principales de la - madera con baja resistencia y también las de la madera con alta resistencia

Este trabajo se realizó para las piezas de 2" x 4" nominales, durante el mes de diciembre de 1979 mientras estuvo con nosotros el Prof. Borg Madsen (quien fungió como asesor para este proyecto).

Para el tercio de la muestra con alta resistencia se anotaron las características más comunes que se encontraron en estas piezas y para el ter cio de la muestra con baja resistencia se hizo lo mismo.

Mediante la identificación de los defectos se logró establecer tres - clases de resistencia de la madera ensayada a flexión, a saber: baja, mediana y alta resistencia. El grupo de alta resistencia fué aproximadamente el 30% de la muestra, el mismo porcentaje correspondió al grupo de baja re sistencia y el 40% restante correspondió a la clase de resistencia media, estableciendo una tolerancia de $\pm 10\%$ en los resultados para cada clase.

Lo que pudimos observar fué lo siguiente; como se suponía, la madera con alta resistencia estaba casi libre de nudos en el canto, mientras las piezas de baja resistencia tenían uno o varios nudos en esa zona, que provocaban la reducción del área transversal y por consiguiente una reducción en la resistencia, principalmente cuando aparecían en la zona sometida a tensión. En el capítulo 5 se dan más detalles sobre nudos y defectos.

4.3. Pruebas con Pequeñas Probetas,

Por no ser posible por el momento realizar estas pruebas, los resultados de otros estudios nos sirvieron para derivar los esfuerzos permisibles para las otras solicitaciones. Los autores de estos estudios son; Dávalos (12), Dávalos, Echenique y Sánchez(11), Dávalos, Wangaard y Echenique(10) y las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el D.F.(24).

Para el caso de los esfuerzos de cortante paralelo a la fibra se consideró entre otros el esfuerzo permisible para diseño dado por la referencia(12). El valor obtenido es igual a 5.6 Kg/cm^2 que resultó de dividir el 5º porcentual de la distribución Weibull entre 4.1 además del ajuste a un contenido de humedad máximo de 19% y finalmente multiplicándolo por 0.5 para considerar el efecto de las rajaduras y grietas permitidas para cualquier calidad según las normas de la ASTM.

Otro valor para esfuerzos permisibles en cortante paralelo a la fibra se obtuvo de la referencia(10) el cual es igual a 5.5 Kg/cm^2 y otro más de la referencia (11) que se derivó siguiendo los procedimientos de la ASTM(1) El valor dado en el Reglamento de Construcciones para el D.F. es igual a 5.0 Kg/cm^2 .

Se recomienda que el valor de este esfuerzo permisible sea aplicable para cualquier clase y tamaño. En la tabla 4.3.1 se dan los valores que aparecen en las referencias citadas. Y se sugiere mantener el valor del esfuerzo permisible en cortante de 5.0 Kg/cm^2 tal como aparece en el Reglamento de Construcciones para el D.F.

Para el esfuerzo permisible en compresión perpendicular a la fibra, de la misma forma que para el esfuerzo en cortante paralelo a la fibra se

Tabla 4.3.1 Valores del esfuerzo permisible en cortante paralelo a la fibra (Kg/cm^2).

Referencia.	Esfuerzo.
Reglamento de Construcciones del D.F., referencia (24)	5.0
Dávalos(1979), Colorado State University, referencia (12)	5.6
Dávalos et. al., UNAM ref. (11)	5.1
Dávalos et. al. INIREB, ref. (10)	5.5

obtuvo información de las referencias citadas. De la referencia (12) el valor del esfuerzo en compresión perpendicular es igual a 12.0 Kg/cm^2 que se obtuvo de dividir el valor del porcentual 5º de la distribución Weibull entre 1.5 y ajustando a un contenido de humedad máximo de 19%. El esfuerzo dado en la referencia (10) es de 30.0 Kg/cm^2 , y en la referencia (11) el valor es igual a 19.0 Kg/cm^2 , derivados conforme a los procedimientos de la ASTM. El valor dado en el Reglamento de Construcciones del D.F. es igual a 7.0 Kg/cm^2 . Un resumen de estos valores está contenido en la tabla 4.3.2

Como se puede observar la variación de estos valores es muy grande y no es fácil adoptar un valor razonablemente correcto, por lo tanto estableceremos un valor que sea conservador. Suponemos que el valor de 12.0 Kg/cm^2 cumple con los objetivos deseados.

También para este esfuerzo se considera un solo valor para todas las clases y tamaños que se establecen en este trabajo.

La información sobre los esfuerzos permisibles en compresión paralela a la fibra es escasa. En la referencia (10) se dan valores de 60, 55, 45 y

Tabla 4.3.2 Valores del esfuerzo permisible en compresión perpendicular al grano, Kg/cm².

Referencia	esfuerzo
Reglamento de Construcciones del D.F., referencia (24).	7.0
Dávalos (1979), Colorado State University, referencia (12)	12.0
Dávalos et. al., UNAM, ref. (11)	19.0
Dávalos et. al., INIREB, ref. (10)	30.0

30 Kg/cm², correspondientes a las clases: selecta, No. 1, No. 2 y No. 3 de la ASTM. Para este caso el efecto de los defectos sobre la resistencia de la madera es completamente diferente que para flexión. Un nudo en el canto tiene el mismo efecto que un nudo en la zona central si ambos reducen el área de la sección transversal en igual cantidad. En Reglamento de Construcciones encontramos los siguientes valores para esfuerzos permisibles en compresión paralela; 70, 50, 25 y 17 Kg/cm² para las clases; selecta, primera; segunda y tercera respectivamente.

No tenemos bases para proponer esfuerzos permisibles en compresión paralela diferentes a los dados por el Reglamento de Construcciones(24) o los de la referencia (10). Por lo tanto se propone mantener al menos el esfuerzo de 70.0 Kg/cm² para la clase "A" definida en este trabajo y un valor de 50.0 Kg/cm² para la clase "B" que coinciden con las clases; selecta y primera de las Normas Técnicas Complementarias para Madera(24).

Para determinar los esfuerzos permisibles en tensión paralela a la fibra se cuenta con la misma información que para la compresión paralela a la fibra, por lo tanto de igual forma que para compresión paralela a la

fibra se establecen los valores de $80,0 \text{ Kg/cm}^2$ para la clase "A" y de $60,0 \text{ Kg/cm}^2$ para la clase "B", considerando que la madera tendrá un contenido de humedad del 19% como máximo; estos valores coinciden con los valores de las dos primeras clases de la referencia (24).

4.4 Tablas de Resultados.

Con los valores de las propiedades en flexión definidas en el inciso 4.1 se elaboraron las gráficas de (MOR-frecuencia relativa acumulada), figura 13, para todos los tamaños.

Es importante observar que la resistencia de la madera en flexión es menor para piezas de sección grande (4" x 8"). Esta diferencia entre la resistencia se puede observar claramente en el extremo superior de las gráficas.

Considerando que las estructuras donde se requieren valores de esfuerzos altos es una proporción menor que las estructuras más comunes donde son aceptables esfuerzos menores, se consideraron como los más adecuados los siguientes porcentajes del total de la muestra; 30% para piezas de alta resistencia (clase "A"), 40% para las de mediana resistencia (clase "B") y el 30% de baja resistencia (clase "R"), como lo muestra la gráfica de la figura 14, pero esto que en teoría se persigue es imposible conseguir en la práctica por la naturaleza tan variable de la madera y siempre encontramos una sobreposición en la zona divisoria entre dos clases. Para reducir al mínimo esta área se deberán establecer reglas de clasificación más precisas, lo cual se logra tomando en cuenta una mayor cantidad de variables pero con la desventaja de hacer muy complicada la clasificación de la madera estructural.

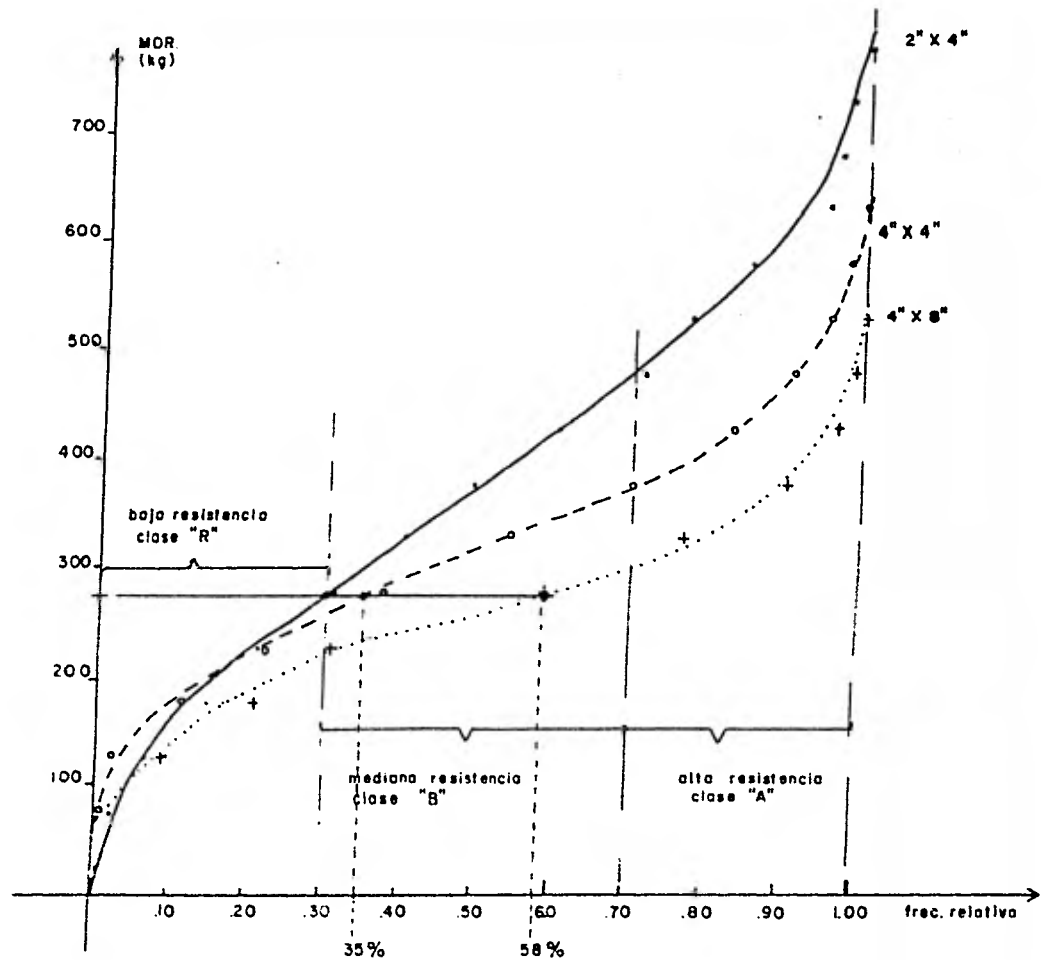


Fig.13. Gráficas MOR-frecuencia relativa por cada tamaño ensayado. (Fase I)

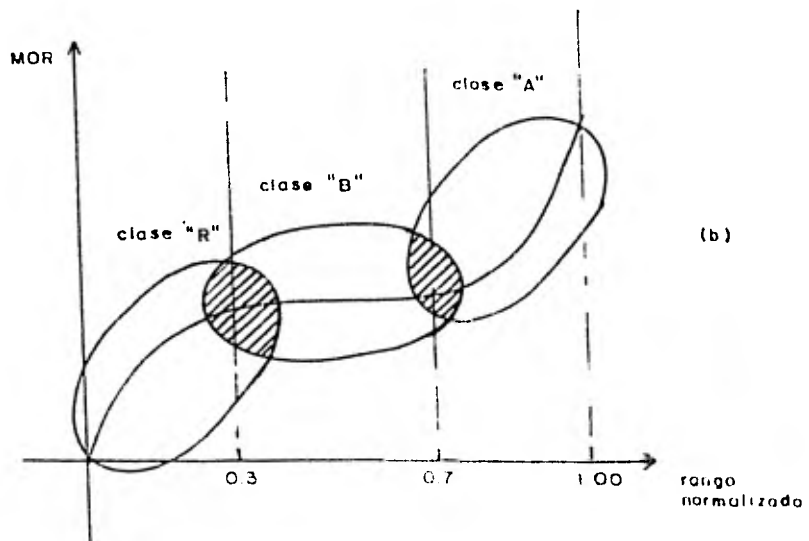
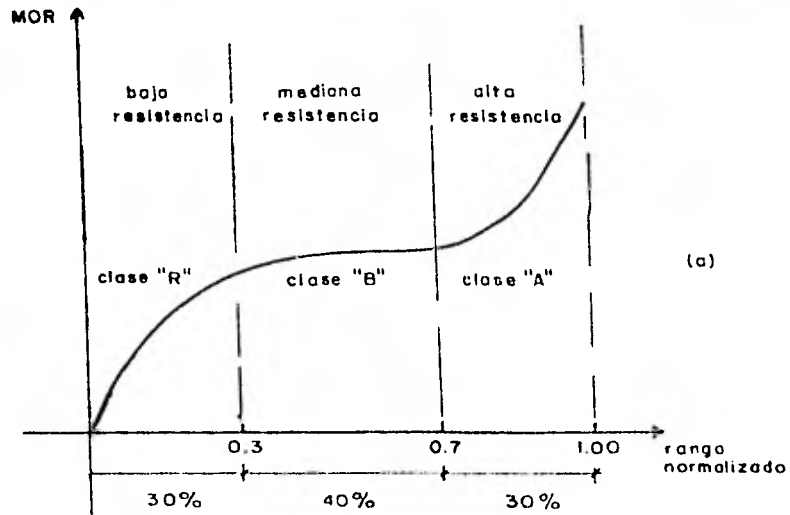


Fig. 14. Distribución teórica de la resistencia de la madera (a), y zonas de traslape en la distribución real (b).

Con las reglas que se elaboraron mediante la observación de las 150 piezas ensayadas en la fase I se obtuvieron los siguientes resultados, mostrados en la tabla 4.4.1

Tabla 4.4.1 Porcentajes de piezas dentro de cada clase por tamaños (fase I).

Clase	Tamaño de 2" x 4"		Tamaño de 4" x 4"		Tamaño de 4" x 8"	
	Pzas.	%	Pzas.	%	Pzas.	%
A	52	35	45	31	47	31
B	60	41	56	39	53	35
R	36	24	43	30	50	34
Totales	148	100	144	100	150	100

Con los resultados de la fase II se afinaron más las reglas para acercarse más a los porcentajes deseados para cada clase, esto se verá con más detalle en el capítulo 6

5. FORMULACION DE REGLAS DE CLASIFICACION,

5.1. Criterios para la Determinación de Clases.

Como ya se mencionó en el capítulo 4 se trata de tener tres clases o grupos de madera, dos de ellos para uso estructural que son; la clase "A" y la clase "B" y otro sin utilidad estructural, clase "R", dentro de la madera clasificada como de "segunda" y "tercera" según las normas C18-46 / asignándole a cada clase un valor de esfuerzos permisibles para cualquier tamaño. Pero nos enfrentamos con problemas para alcanzar estos objetivos, debido a la naturaleza de la madera, y nos encontramos con dos criterios para elaborar las reglas de clasificación:

a.- Podemos hacer reglas con las que obtengamos valores iguales de esfuerzos para cualquier tamaño, y si esto se hace con los resultados de las piezas grandes (4" x 8") observaremos que si mantenemos el mismo valor de resistencia (MOR) para los otros dos tamaños el porcentaje de piezas obtenido para el valor máximo de esfuerzos aplicable a las piezas de 4" x 8" sería mayor en las menores dimensiones, lo cual indica que estaríamos penalizando indebidamente las secciones pequeñas, tal como se observa en la gráfica 15. La explicación para esta dificultad es la siguiente; en las piezas con mayor volumen hay una probabilidad mayor de que aparezcan más defectos; una analogía de fácil comprensión es con una cadena corta para piezas pequeñas y una cadena larga para piezas de mayor sección, una cadena larga tiene más eslabones y la probabilidad de que se presente un eslabón defectuoso es mayor en esta que en la cadena corta.

Otra grave desventaja de este criterio se presenta cuando hay que elaborar reglas muy diferentes para cada tamaño con el objeto de tener el mis

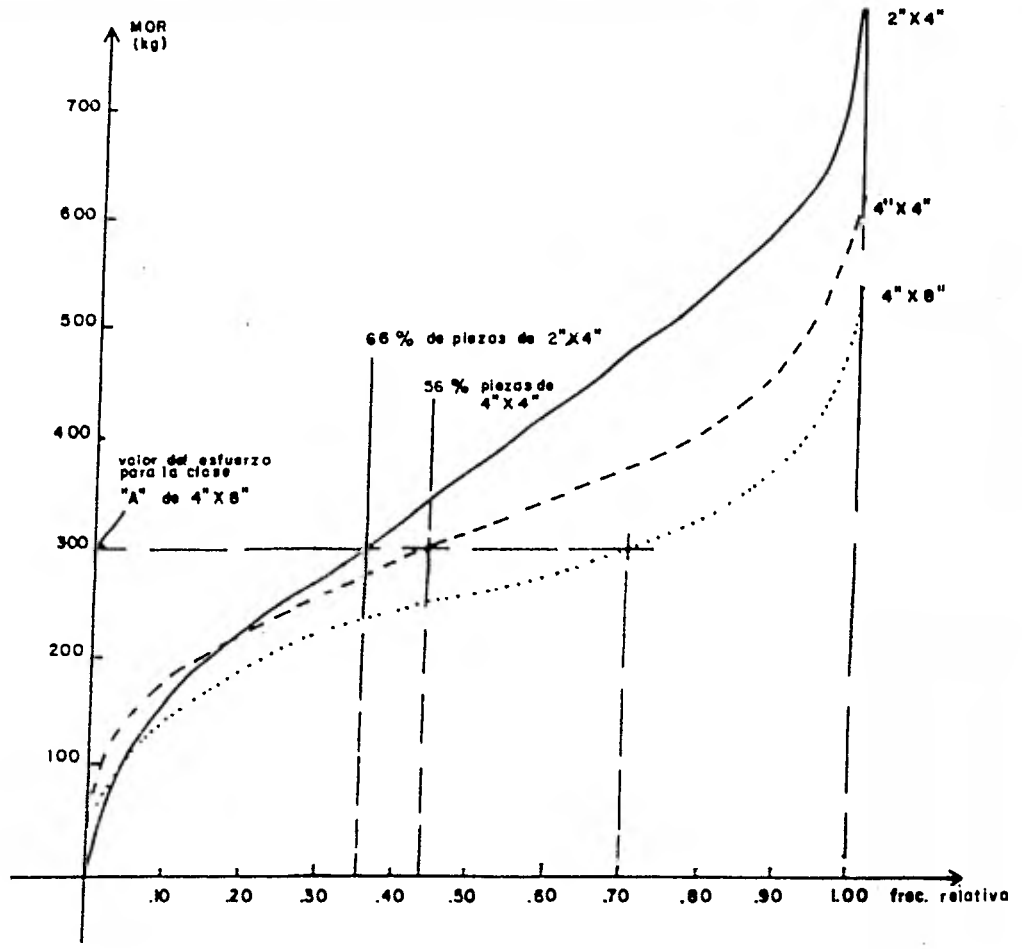


Fig.15. Graficas MOR-frecuencia relativa por cada tamaño ensayado (Fase I)

mo valor de esfuerzos permisibles.

b.- Otro criterio posible es elaborar reglas para obtener los porcentajes de piezas establecidos para cada clase para todos los tamaños, tal como se mencionó al principio de este capítulo. Con este criterio es factible obtener reglas más semejantes entre sí para todos los tamaños y por consiguiente más sencillas de aplicar. Esto resulta ventajoso para la madera de secciones pequeñas porque se obtiene un valor mayor para los esfuerzos permisibles que con el otro criterio y para secciones mayores se deberán utilizar factores relativos de resistencia puesto que es inevitable la influencia del tamaño. La desventaja de utilizar factores que afecten la resistencia es la de tener diferentes valores de esfuerzos permisibles según el tamaño del material; sin embargo es más fácil que un diseñador salve esta dificultad que un clasificador aplique reglas diferentes según el tamaño.

El criterio más efectivo es el (b) ya que con este obtendremos los porcentajes de piezas establecidos para cada clase, y además los esfuerzos que obtengamos serán más altos, redundando en el uso más eficiente de la madera. Por otro lado las reglas serán semejantes evitándole demasiadas complicaciones al clasificador, y en cuanto a los esfuerzos se puede recomendar el valor más alto aplicable a piezas de sección pequeña y para secciones mayores aplicar factores de corrección.

5.2. Identificación de Características.

Como se mencionó en el capítulo 3; los defectos que afectan la resistencia de la madera se anotaron y dibujaron en tarjetas (nudos), conteniendo además otras características como dimensiones, clave de la pieza, carga última y deformación en el límite de proporcionalidad. Esto nos permite un

fácil manejo de la información.

Mediante las gráficas de las tarjetas se pudo determinar el área que ocupaba cada nudo en la sección transversal de las piezas, la zona donde se localiza (zona central ó zona de borde) y observar como aparecen en el exterior de la pieza, ya que ésta será la principal característica visible para definir los defectos y clasificarlos.

Es conveniente resaltar un hecho obvio, la importancia de los nudos del canto, éstos provocan desviaciones de la fibra de la madera así como discontinuidad de la misma en donde aparece un nudo y siendo las fibras extremas las más esforzadas se entenderá la importancia de los nudos de canto.

Identificar las características de una pieza de madera consistirá en examinar las cuatro caras de la pieza y determinar en el claro central -- (el que queda de restarle $1/8$ 1 en los extremos) los defectos más importantes como nudos en el canto, rajaduras, ataque de insectos, manchado, gema, pendiente del grano, etc. y de acuerdo a su posición transversal, en la dirección longitudinal y al tamaño de los defectos las piezas se clasificarán en los grupos establecidos.

5.3 Reglas de Clasificación Formuladas.

A continuación se explican detalladamente las reglas preliminares, generadas al término de la fase I de pruebas por cada tamaño.

5.3.1. Reglas de clasificación para madera de 2"x4".

En principio se elaboraron dos reglas para éste tamaño, como se ilustra en la fig. 16

Se hace énfasis que un octavo de la longitud en ambos extremos de la

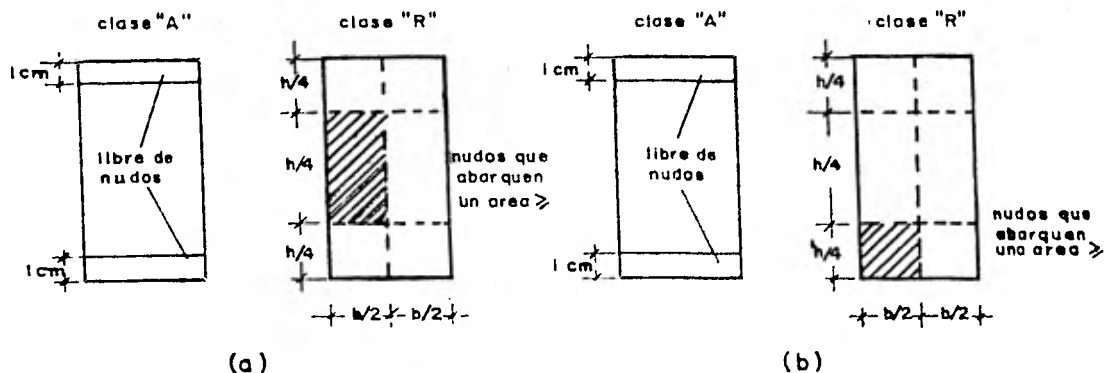


Fig.16. Reglas de clasificación para piezas de 2" X 4"
 (a) regla 1 (b) regla 2

pieza quedan fuera de consideración para la medición de los defectos y por lo tanto se ignoran estos extremos en la derivación de las reglas de clasificación. Esto se hizo debido a que en estos tramos de pieza estaba sometida a esfuerzos muy bajos en relación con la parte central de las piezas y cualquier defecto presente en los extremos no reducirá la resistencia de las piezas sometidas a flexión estática con un diagrama de momentos semejante al resultante de la prueba.

Las reglas desarrolladas nos permiten clasificar la madera en cualquiera de los grupos siguientes:

- Clase "A" - piezas con alta resistencia.
- Clase "B" - piezas con mediana resistencia.
- Clase "R" - piezas con baja resistencia (no estruct.)

La clase "A" se podrá usar en situaciones donde se requiera alta resistencia y rigidez. La clase "B" se usará en construcciones comunes y la clase "R" no se usará en estructuras.

La zonas sombreadas de la fig. 16 para la clase "R", corresponde a la proyección en la sección transversal del nudo de tamaño menor para clasificarla como "R".

La regla 1 rechaza piezas con nudos que ocupen más del 25% del área transversal de la pieza (Fig. 16a). La regla 2 rechaza pieza con nudos que ocupen más de la mitad del área de margen (Fig. 16b).

Es importante enfatizar que el factor principal en las reglas es la proyección del área del nudo en la sección transversal de la pieza. La mayoría de las fallas de la madera sujeta a esfuerzos de flexión ocurren debido a la presencia de nudos.

Sin embargo los defectos de la madera no son exclusivamente los nudos, existen otros de importancia estructural tales como; pendiente del grano, ataque de insectos, ataque de hongos, etc., los cuales fueron tomados en cuenta para el desarrollo de las reglas Posteriormente se explicaran las razones por las que se eligió la regla 2 como la más adecuada.

El procedimiento para calificar y clasificar visualmente las piezas de 2"x4" consiste en lo siguiente:

Se revisa la pieza en toda su longitud, sin tomar en cuenta los defectos que aparezcan en sus extremos hasta 1/8 de la longitud y se localiza la sección donde aparezcan los defectos de mayor magnitud (nudos) y se determina aproximadamente la porción que ocupan éstos en la sección transversal para compararla con lo establecido en las reglas que se detallan más adelante, por ejemplo, si el área que ocupan los nudos es mayor a la mitad

del peralte y la mitad del espesor será una pieza rechazada (clase "R") desde el punto de vista estructural; para que una pieza se clasifique como "A" deberá tener una zona de 1cm. de ancho adyacente a los cantos y en 3/4 de la longitud libre de nudos tal como se observa en la fig. 17.

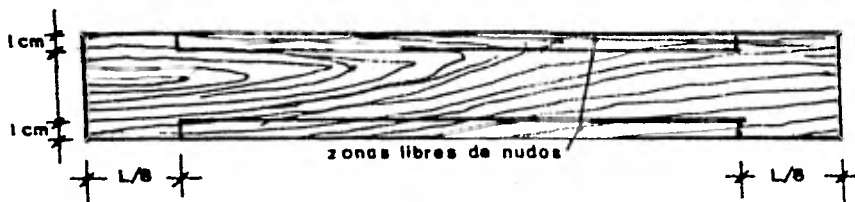


Fig.17 Pieza de madera de clase "A" (2" X 4")

Otras características a considerar son las siguientes:

Si la pendiente general de la fibra es mayor que 1:5 será una pieza de clase "R", si la pendiente es menor se puede clasificar como clase "A" ó como clase "B" de acuerdo a otras características.

Para las manchas en la albura ocasionadas por hongos ("mancha azul") utilizaremos lo recomendado en la referencia (42) (pp. 173) la cual considera tres grados de manchado y que solo afectan la apariencia de la madera:

- a) Ligero manchado de la albura, es tan ligero que no afecta el acabado natural de la madera.
- b) Manchado mediano de la albura, tiene una diferencia pronunciada en los colores que puede afectar o ser visible en el acabado natural de la madera, pero no para acabado con pintura .
- c) Manchado profundo de la albura, tiene una diferencia muy pronunciada en

color que el grano aparece muy oscuro pero la madera es aceptable para un acabado con pintura.

En nuestro caso la madera que presenta las características establecidas en el inciso c) se clasificará como "R".

Ataque de insectos tanto éste como el manchado por los hongos son - dos aspectos un tanto difíciles de cuantificar en su efecto sobre la resistencia de la madera ya que se requeriría un estudio un tanto complicado. Tomando en cuenta que solo 3 piezas de la muestra ensayada presentaron ata que considerable de insectos se puede hacerla siguiente consideración.

Si una pieza muestra signos de ataque por insectos en las cuatro caras y en toda la longitud y que sean abundantes (las perforaciones de los insectos) según la apreciación personal del clasificador se rechazará la pieza, en otros casos serán otras características las que rijan en la clasificación de las piezas.

Otra característica que rara vez aparece son las bolsas de resina, y solo cuando tengan una longitud de 5 cm. ó mayor y que atraviesen la mitad del espesor de la pieza se clasificará como "R".

Una combinación de baja densidad (la cual se puede distinguir fácilmente por la diferencia de peso entre piezas de la misma medida) mancha azul y ataque de insectos ocasionará que la pieza se clasifique como "R" (rechazada).

Finalmente una pieza será clase "B" cuando no cumpla con los requisitos establecidos para clasificarla como "A" ó como "R".

A continuación se presenta de manera resumida la regla de calificación y clasificación para las piezas con una sección transversal de 2"x4".

1. Nudos que ocupen más de la mitad del peralte y

la mitad del espesor

- - - -

Rechazada.

- | | | |
|---|-----------|------------|
| 2. Pendiente general de la mayor que 1:5
(clase "A" y "B" menor que 1:5) | - - - - - | Rechazada. |
| 3. Manchado azul profundo de la albura. | - - - - - | Rechazada. |
| 4. Severo ataque de insectos. | - - - - - | Rechazada. |
| 5. Bolsas de resina muy grandes. | - - - - - | Rechazada. |
| 6. Una combinación de baja densidad, mancha azul y ataque de insectos. | - - - - - | Rechazada. |
| 7. Zona libre de nudos, 1 cm. adyacente a las aristas y 3/4 de la long. en ambos cantos, figura 17. | - - - - - | Clase "A" |

Cualquier pieza que no sea "R" ó "A" se clasificará como "B".

5.3.2. Reglas de Clasificación para madera de 4"x4".

La principal característica de la madera de 2"x4" de clase "A" es que no debe tener nudos en los cantos. En la madera de 4"x4" no se puede diferenciar los cantos porque los cuatro lados tienen la misma dimensión (si se entienden como cantos las caras con menor dimensión). Por lo tanto las reglas de clasificación deberán considerar los defectos que ocurran en las cuatro caras de la pieza.

Para la madera de 4"x4" de sección se identificaron como clase "A" aquellas piezas que no tienen defectos en las esquinas (1/4 de la cara, ver fig. 18). Las piezas de clase "R" son las que tengan en cualesquiera de las dos caras nudos con un tamaño mayor que la mitad del ancho de la cara y que atraviesen la pieza más de la mitad del espesor (espesor y ancho son términos intercambiables para este caso) figura 18.

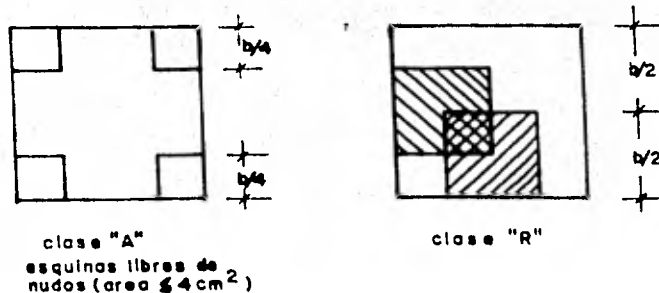


Fig.18. Reglas de clasificación para madera de 4"X 4".

5.3.3. Reglas de Clasificación para Madera de 4"x8".

Las reglas para clasificar las piezas de 4"x8" se derivaron de igual forma que para las piezas de 2"x4" y 4"x4".

De la inspección de las piezas ordenadas en el piso de menor a mayor resistencia (MOR) se detectó que cualquiera de las siguientes causas eran suficientes para rechazar la pieza.

- a. Nudos que se extendieran en la cara más de la mitad del ancho y atravesaran la pieza más de la mitad del espesor - - - - Rechazada
- b. Nudos de canto ocupando más de la mitad del área marginal (como ya se ha definido) - - - - Rechazada

Las piezas de clase "A" serán las que no tengan ó sean muy pequeños los defectos en los cantos (área de nudo menor ó igual a 5 cm.) figura 19

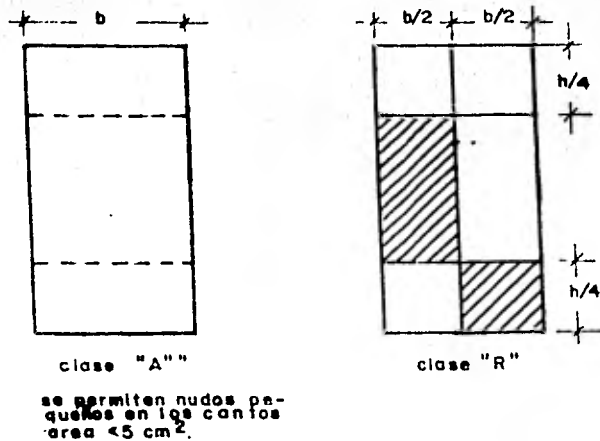


Fig.19. Reglas de clasificación para piezas de 4" X 8"

En general se seguirá el mismo procedimiento de clasificación descrito para las piezas de 2"x4" en los otros tamaños, excepto en lo que se refiere a los nudos que se estimarán como se describe para cada tamaño.

Si se usan las reglas descritas se observará el siguiente proceso de clasificación para cualquier pieza de madera.

- a. Se verá si la pieza cumple con los requerimientos para la clase "R", si es así, aquí termina el proceso.
- b. Si no se clasifica como "R", el siguiente paso es comprobar si cumple con los requerimientos para clasificarla como "A", si es así aquí termina el proceso de clasificación.
- c. Y finalmente si no se puede clasificar como "R" ó "A", necesariamente será clase "B".

Otras causas para rechazar una pieza de madera, aparte de los nudos, serán las establecidas para la madera de 2"x4", aplicables también para madera de 4"x4" y 4"x8".

6. VERIFICACION DE LAS REGLAS.

6.1. Segunda Fase de las Pruebas.

Las 300 piezas restantes de la muestra de cada tamaño se probaron también hasta la falla, de la misma forma que en la fase I de las pruebas. Antes de ensayar las piezas de la fase II se clasificaron con las reglas elaboradas en la fase I, con el objeto de verificar la eficacia de éstas. En ésta fase no se tomaron fotografías de las piezas ensayadas ya que solo se consideraron útiles para la primera fase en el desarrollo de las reglas. Se hicieron las mismas mediciones de la primera fase.

También se registraron los mismos datos tales como deformación en la carga máxima, deformación en el límite de proporcionalidad, etc.

6.2. Evaluación de las Reglas.

Con los resultados de las pruebas de la fase II se observó la eficiencia de las reglas generadas en la primera fase del estudio y de acuerdo a esto se estableció la necesidad de modificar o corregir las reglas, tomando en cuenta las proporciones establecidas para cada clase.

En cuanto a la aplicación de estas reglas se comprobó la facilidad y rapidez para clasificar la madera de uso estructural.

Enseguida se presentan los resultados de la fase II y la comparación con los de la fase I

-Piezas de 2" x 4". Las dos reglas de clasificación preliminares se aplicaron a todas las piezas de la fase II.

Las reglas de clasificación serán confiables si los resultados de la segunda fase de pruebas como se mencionó con anterioridad están dentro de

un rango de $\pm 10\%$ para los porcentajes establecidos para cada clase.

Para las piezas de 2" x 4" los resultados de la segunda fase están dentro del rango establecido y por lo tanto no hubo necesidad de modificar o corregir las reglas para este tamaño de piezas, en la tabla 6.2.1 se muestran los resultados de las dos fases.

Tabla 6.2.1 Proporciones para cada clase de la madera de 2" x 4" de sección.

Clase	Fase I	Fase II
"A"	52 pzas. (35%)	61 pzas. (21%)
"B"	60 pzas. (41%)	123 pzas. (43%)
"R"	36 pzas. (24%)	103 pzas. (36%)
Totales	148 pzas. (100%)	287 pzas. (100%)

Finalmente para acercarse más a las proporciones deseadas se combinaron los resultados de las dos fases.

Se eligió la regla 1 de las preliminares, porque la segunda producía una mayor cantidad de rechazadas que la deseada.

- Piezas de 4" x 4". También para la madera de estas dimensiones los resultados están dentro del rango aceptable, tal como se observa en la tabla 6.2.2

-Piezas de 4" x 8". En este caso los porcentajes de piezas resultantes en la fase II para la clase "B" (27%) y para la clase "R" (52%) se salen del rango permisible, tal como se muestra en la tabla 6.2.3.

Como podemos observar en la tabla 6.2.3 resultaron muchas piezas (52% de las piezas probadas) no aptas para uso estructural en la fase II de las

Tabla 6.2.2 Proporciones para cada clase de la madera de 4" x 4" de sección.

Clase	Fase I	Fase II
"A"	45 pzas. (31%)	81 pzas. (28%)
"B"	56 pzas. (39%)	103 pzas. (34%)
"R"	43 pzas. (30%)	115 pzas. (38%)
Totales	144 pzas. (100%)	299 pzas. (100%)

Tabla 6.2.3 Proporciones para cada clase de la madera de 4" x 8" de sección.

Clase	Fase I	Fase II
"A"	47 pzas. (31%)	40 pzas. (21%)
"B"	53 pzas. (35%)	52 pzas. (27%)
"R"	50 pzas. (34%)	101 pzas. (52%)
Totales	150 pzas. (100%)	192 pzas. (100%)

pruebas lo que no concuerda con el objetivo que se persigue (30% de piezas rechazadas), y el porcentaje de las piezas de clase "B" es menor también a lo establecido.

6.3 Modificaciones a las Reglas.

De lo citado en el inciso 6.2 podemos concluir lo siguiente para cada tamaño de las piezas.

a.- Piezas de 2" x 4". Para estas dimensiones los resultados son satisfactorios en las dos fases, y por lo tanto no hubo necesidad de modificar las re-

glas originales, siendo la regla 1 de las preliminares la que se eligió como la definitiva.

b.- Piezas de 4" x 4". Al igual que para las piezas de 2' x 4" solo se combinaron los resultados de ambas fases de pruebas y permaneció la regla preliminar como la adecuada para estas dimensiones.

c.- Piezas de 4" x 8". En este caso si fué necesario modificar la regla original, y permitir nudos de mayor tamaño para reducir el porcentaje resultante de rechazadas de la segunda fase, obteniéndose así una regla menos estricta. Pero al permitir defectos mayores o material de calidad más baja obviamente que tendremos valores de esfuerzos menores.

Las reglas se modificaron de tal forma que se obtuvieran las proporciones deseadas para las tres clases. Revisando la regla originalmente propuesta para piezas de 4" x 8" de sección y analizando las piezas, se pudo detectar que permitiendo nudos mayores para la clase "B" se podía obtener la proporción deseada. Las modificaciones a la regla para estas piezas se ilustran en la figura 20. Se reclasificaron todas las piezas de 4" x 8" con la regla modificada y se obtuvieron los resultados finales.

El tamaño mínimo de nudos de canto para rechazar una pieza es ahora de 3/4 de la dimensión de la zona de margen.

6.4 Resultados Finales.

Los porcentajes por clases que resultaron de la fase I y la fase II se combinaron, con lo que se obtuvieron tablas de proporciones finales aproximadas al objetivo del estudio, ver figuras 21, 22 y 23.

Las distribuciones de la resistencia en flexión para la muestra estu-

diada se observan en las gráficas 21, 22 y 23 para piezas de 2" x 4", 4" x 4" y 4"x8" respectivamente. En estas gráficas está dibujada la resistencia en flexión contra el rango normalizado.

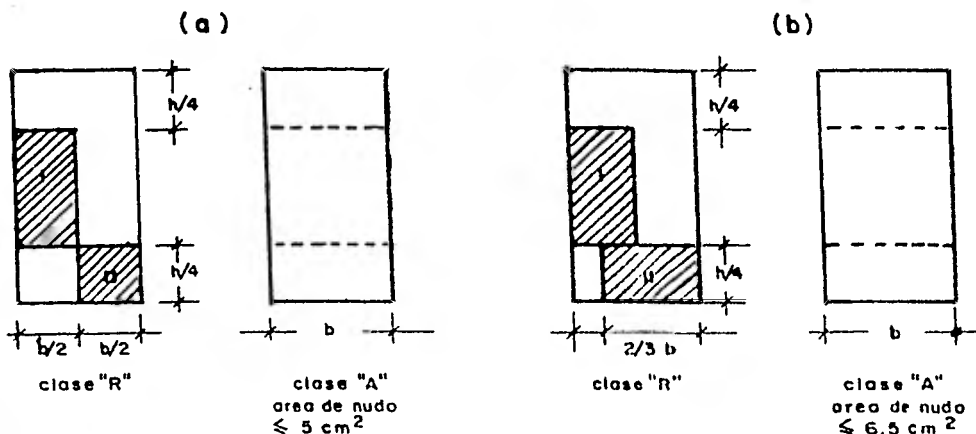


Fig.20. (a) Regla original (b) Regla modificada para piezas de 4" x 8".

Las reglas de clasificación ideales serían aquellas que produjeran gráficas donde la primera parte de la misma fuera una línea casi horizontal coincidente con la parte central de la curva. Esto significaría que las reglas son tan perfectas que no habría desperdicio en la resistencia y que las piezas se utilizarían a su máxima capacidad sin sacrificio en la seguridad de la estructura.

Las distribuciones resultantes del estudio realizado se asemejan mucho a la situación mencionada solo para el caso de las piezas de 4"x4" y 4"x8", no así las de 2"x4", y aunque las gráficas no muestran una línea recta en la

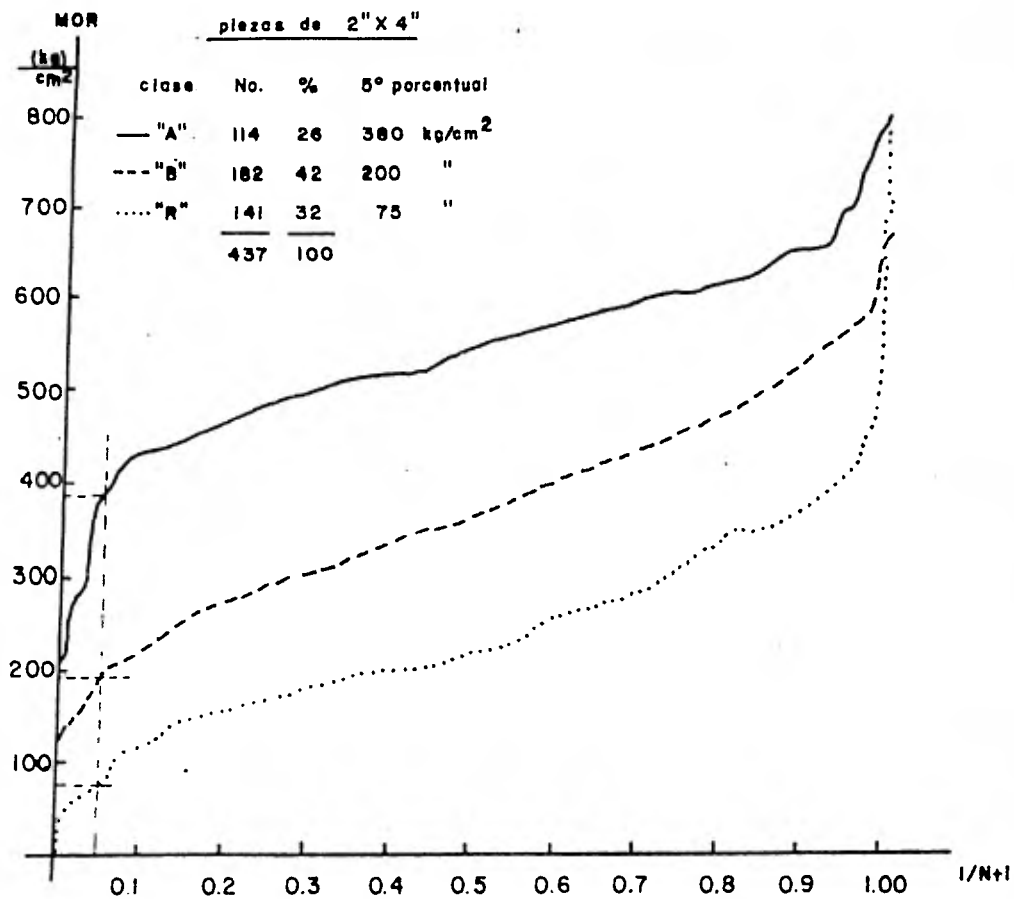


Fig. 21. Distribucion de la resistencia en flexion de madera de pino mexicano de 2" X 4"
(regla final de LACITEMA)

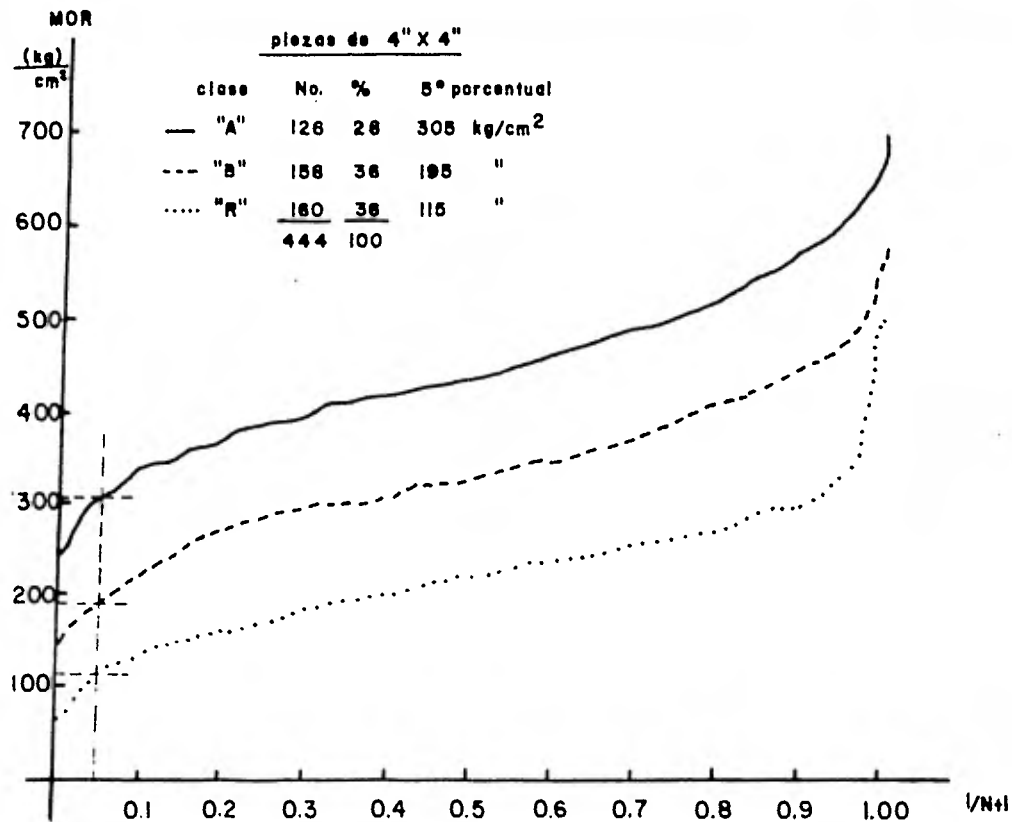


Fig. 22 Distribucion de la resistencia en flexion de madera de pino mexicano de 4"X4", (regla final de LACITEMA).

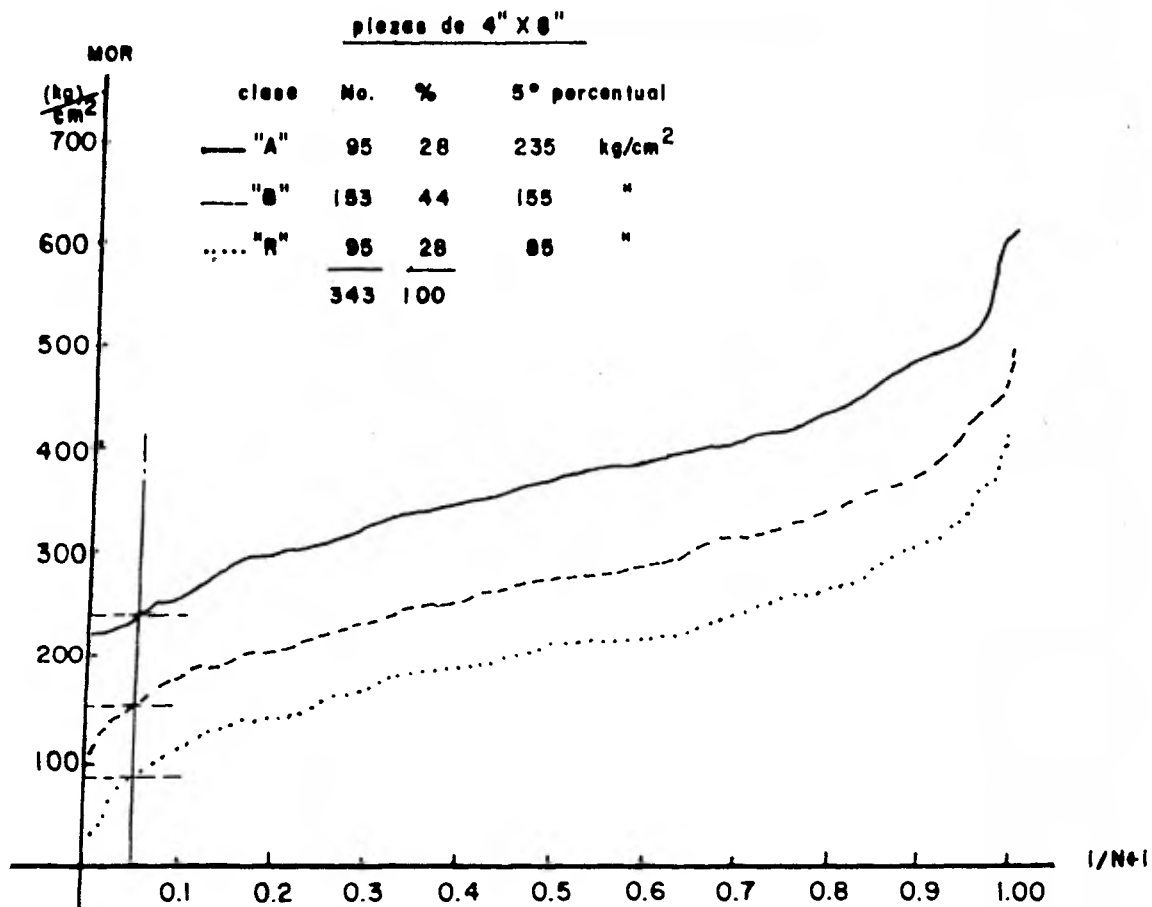


Fig. 23. Distribucion de la resistencia en flexion de madera de pino mexicano de 4" X 8", (regla final de LACITEMA).

parte central, se acercan a la regla de clasificación visual óptima. También la regla perfecta sería aquella donde las piezas de cualquier clase tuvieran una resistencia no mayor que la resistencia de las piezas de la clase inmediatamente superior. En este aspecto la regla de clasificación más eficiente es la de las piezas de 2"x4". Solamente el 5% de las piezas de la clase más baja tienen una resistencia mayor que la resistencia al límite de exclusión del 5% para la clase "A" y el 43% de las piezas de clase "B" tienen mayor resistencia que el valor al 5% porcentual para la clase "A". Para la misma muestra el 60% de las piezas de clase "R" tienen mayor resistencia que las piezas de clase "B" en el límite de exclusión al 5%.

Para los otros tamaños resultó lo siguiente: para madera de 4"x4" el 8% de la clase "R" y el 60% de la clase "B" tienen mayor resistencia que las piezas de clase "A" (en el 5% del límite de exclusión). Y el 65% de las piezas de clase "R" tuvieron mayor resistencia que las de clase "B" en el mismo punto.

Para las piezas de 4"x8" resultó que el 25% de clase "R" y el 65% de clase "B" tuvieron un valor de resistencia mayor que las de clase "A" en el mismo punto ya citado, y el 75% de las de clase "R" tuvieron mayor resistencia que las de clase "B" al mismo nivel del 5%. Como se puede observar las reglas para estas dimensiones son las menos efectivas ya que 3/4 partes de la clase "R" pueden ser clase "B", en cuanto a sus esfuerzos se refiere.

Un hecho que justifica en parte lo mencionado en los párrafos anteriores es que la posición de las piezas ensayadas fué al azar y podían quedar las caras con defectos (nudos) en compresión, situación en la cual el efecto de los defectos no es tan crítico como en tensión.

Como comparación se presentan los resultados obtenidos por la aplicación de las reglas de la NLGA(36) y las reglas de la CEE(43) en las figuras 24 y 25 se muestran los resultados únicamente para los tamaños de 2"x4" y 4"x4".

Como podemos observar en la figura 24 las reglas de la NLGA cuentan en su clasificación con cinco grupos estructurales e inmediatamente salta a la vista que las curvas de los cuatro grupos más bajos no tienen una separación claramente definida ya que en algunos puntos llegan a cruzarse o por lo menos la separación entre ellas es mínima, dando por resultado que, por ejemplo, las piezas de las clases "R" y "No.3" tengan resistencia tan semejante, y no tenga caso separar la madera en dos clases siendo lo más conveniente tener solamente una clase que contenga las clases mencionadas y en otro caso las clases "No.2" y "No.1", la clase "Selecta estructural" sí está claramente separada de las demás curvas.

En cuanto a las reglas de la CEE, son las más aproximadas a las reglas de LACITEMA, en cuanto al número de clases y la distribución de resistencia de las mismas, ya que cuenta con tres clases y la separación entre las mismas está bien definida como se ve en la figura 25, como también se observa en las gráficas de las reglas de LACITEMA. Sin embargo su aplicación es más compleja.

6.5 Esfuerzos de Diseño.

Porque en este momento no se dispone de un conocimiento confiable del tipo de distribución estadística de las propiedades mecánicas de la madera de pinos mexicanos de tamaño estructural, para la determinación de los es-

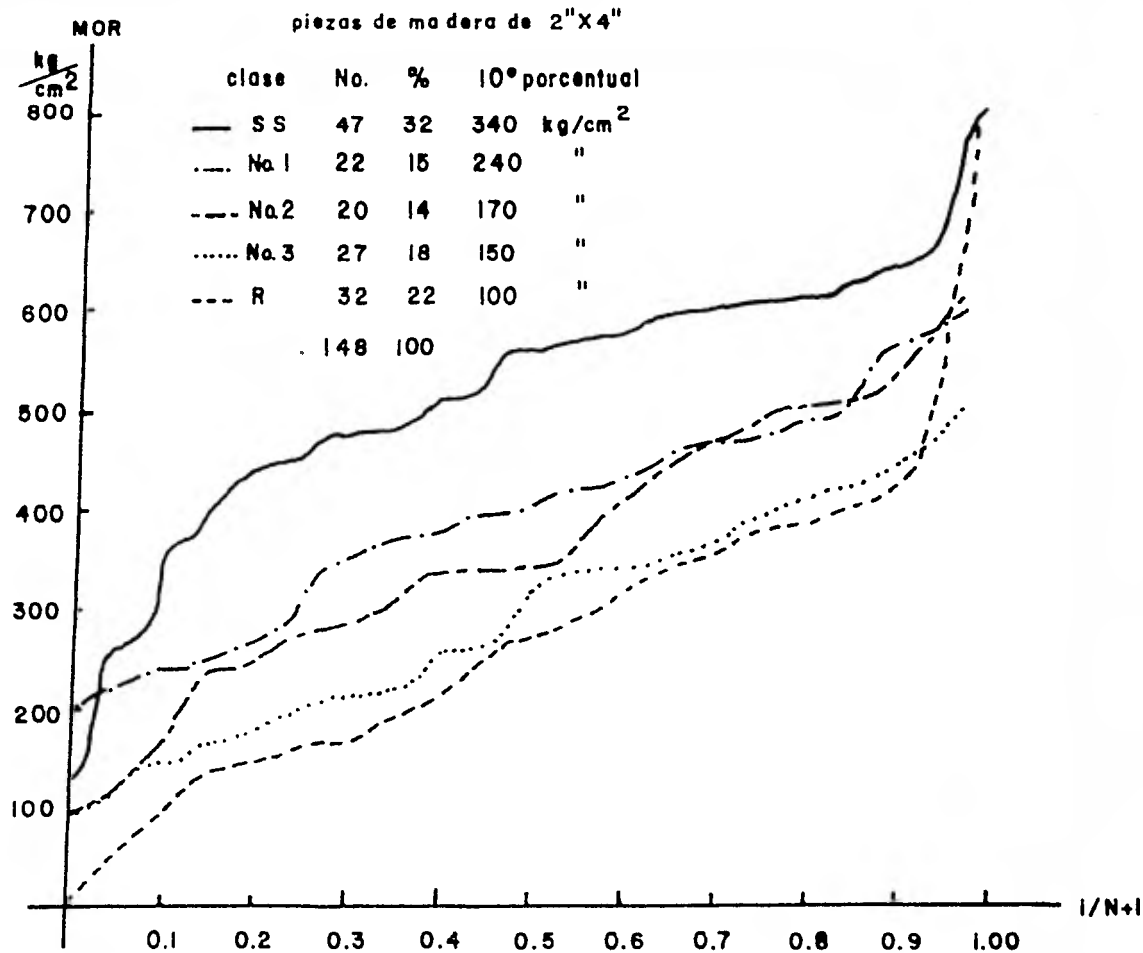


Fig. 24. Distribución de la resistencia en flexión de la madera de pino mexicano clasificada con reglas de la NLGA

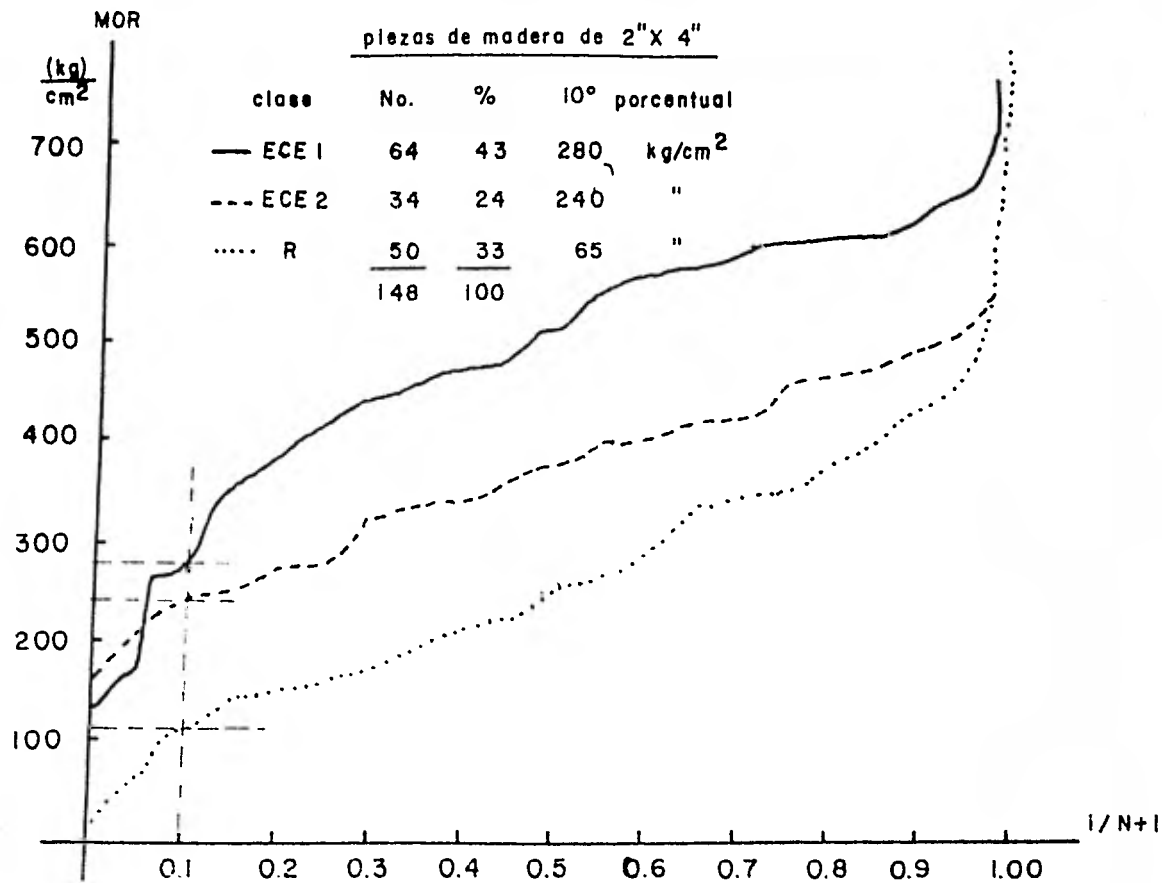


Fig. 25. Distribucion de la resistencia en flexion de la madera de pino mexicano clasificada con las reglas de la CEE.

fuerzos permisibles de este estudio no se supuso ningun tipo de distribución usual (Weibull, Normal, Log-normal, etc.) para evitar la incertidumbre del valor estimado en el 5º porcentual de los resultados del estudio.

Como punto de referencia para establecer los valores de esfuerzos permisibles para la madera de este estudio, se determinó el límite de exclusión más bajo al 5% (L.E.B. 5%), el cual es un valor sobre el que encontramos al 95% de las piezas. En la tabla 6.5.1 y las gráficas de las figuras 21, 22 y 23 se muestran los resultados obtenidos con las reglas de clasificación modificadas para las piezas de 4"x8".

Tabla 6.5.1 Límite de exclusión Inferior al 5% para la madera ensayada, Kg/cm²

Clase	Dimensiones		
	2"x4"	4"x4"	4"x8"
"A"	380	310	235
"B"	200	190	155
"R"	75	115	85

Para propósitos de diseño se requiere determinar las propiedades en el extremo más bajo de la distribución de resistencia, generalmente con el 95% de confianza. En un estudio realizado por Galligan y Haskell (1979), se examinó la zona de tolerancia aproximada de las distribuciones Weibull, normal, Log-normal, comparandolas con la zona de tolerancia del método no paramétrico y se encontró que las zonas de tolerancia de los tres modelos paramétricos no son aceptables en términos de la seguridad real para muestras del tamaño de 70 a 200 piezas. Y solamente el método no paramétrico puede darnos esa

seguridad.

La desventaja del método no paramétrico, es que los valores determinados como lo establecen las normas D2915-74 de la ASTM, pueden ser muy conservadores y se requiera una muestra mayor. Pero por ser un método muy conservador es adecuado para el estado de conocimientos que se tiene sobre la madera en México.

En los párrafos siguientes se describirá brevemente el método no paramétrico que fué adoptado en este estudio para la determinación de los valores de esfuerzos permisibles. Esta descripción está basada en el trabajo de Bendtsen y Rattner(5)(44).

El concepto de límites de tolerancia estadísticos ha sido aplicado en el desarrollo o derivación de propiedades de diseño para los materiales estructurales. En la evaluación de las propiedades mecánicas de la madera es importante determinar el límite más bajo de tolerancia porque ésta frontera inferior puede ser usada para derivar los esfuerzos de diseño. En el caso de la madera estructural, el límite de tolerancia más bajo se ha fijado tradicionalmente en Norteamérica al 95% y es comunmente conocido como el límite más bajo de exclusión al 5%. Dicho en otras palabras, estamos tratando de estimar un valor de la propiedad el cual sea excedido por el 95% de la población.

Para fijar el tamaño de una muestra obtenida para evaluar las propiedades de un material se requiere una expresión que relacione este tamaño de muestra con los límites más bajos de tolerancia, y con el nivel de confianza. Existen relaciones de este tipo basadas en la presunción de que la propiedad de interés está distribuida normalmente, lo cual no siempre es cierto para el caso de la madera. Este tipo de relaciones también requiere

un conocimiento previo de la variancia de la propiedad, la cual usualmente no se conoce por adelantado. El método no paramétrico no tiene ninguna de estas restricciones. Los únicos requerimientos son que, la propiedad este continuamente distribuida y que los especímenes sean seleccionados al azar.

En la referencia arriba citada(5) existe una tabla la cual representa la confianza (δ) con la cual esperamos que un cierto porcentaje (P) de la población sea igual o exceda el valor de la observación más pequeña en una muestra aleatoria de tamaño (n). Los cálculos empleados para obtener la tabla involucran la función normalizada incompleta beta, $I_x(a,b)$ la cual se define como:

$$I_x(a,b) = x(a,b) / (a,b) \quad \text{donde;}$$

$$x(a,b) = \int_0^x t^{a-1}(1-t)^{b-1} dt \quad \text{y}$$

$$(a,b) = \int_0^1 t^{a-1}(1-t)^{b-1} dt,$$

$$a > 0, \quad b > 0$$

Una descripción detallada del procedimiento no paramétrico se puede encontrar en el trabajo de Bendtsen y Rattner(5).

Como se mencionó previamente, el límite de tolerancia más bajo en el contexto de diseño con madera ha sido tradicionalmente determinado para el 95% superior.

En algunos casos puede existir la sospecha de que la observación más baja en la muestra sea injustificadamente muy chica, forzando al límite

de tolerancia a tomar un valor espuriamente bajo, Si este es el caso, el valor de la segunda estadística de orden o el de una más alta puede ser usado como el límite de tolerancia, pero solamente con un considerable sacrificio en la confianza. O bien, se puede realizar un muestreo adicional el cual permitiría el uso de la segunda o una más alta estadística de orden sin ninguna pérdida de confianza.

En un reporte posterior de Bendtsen y Rattner(44) se da información más completa al presentar tablas que permiten ser usadas con la primera hasta la quinta estadística de orden. Los métodos empleados para elaborar estas tablas fueron los mismos que los anteriores.

Las tablas muestran la confianza (δ) con la cual esperamos que un cierto porcentaje (P) de la población sea igual o mayor que la r -ésima observación más baja de una muestra aleatoria de tamaño (n) tomada de la población.

El trabajo de Natrella, utilizado como base en las Normas ASTM(2), es una extensión lógica del trabajo de Bendtsen y Rattner.

En las normas D2915-74 de la ASTM encontramos la tabla 1 para estimar el límite de exclusión al 5%. La cual tiene dos columnas, una para obtener el 95% de confianza y otra para el 99% de confianza, en nuestro caso hicimos uso de la columna para determinar el valor al 95% de confianza. Obteniendo los valores dados en la tabla 6.5.2

De las tablas 6.5.1 y 6.5.2 se puede observar que las piezas de 4"x8" son definitivamente las menos resistentes, lo que en cierta medida refleja el efecto del eslabón más débil. También se puede ver en la tabla 6.5.1 una diferencia en los valores de resistencia entre las piezas de 2"x4" y 4"x4", la cual casi desaparece al observar los valores de la tabla 6.5.2,

Tabla 6.5.2 Valores del límite de exclusión más bajo al 5%, de acuerdo a la norma D2915-74 de la ASTM(2), Kg/cm²

Clase	Tamaño		
	2"x4"	4"x4"	4"x8"
"A"	300	300	230
"B"	160	170	140
"R"	60	90	40

lo que significa que los valores de resistencia de las piezas de 2"x4" se dispersan más ampliamente que los valores de resistencia de las piezas de 4"x4".

Para obtener el valor del esfuerzo permisible en flexión definitivo, se dividió el valor de la resistencia en el límite de exclusión más bajo al 5% por un factor de 2.1 que toma en cuenta la seguridad y el efecto de la duración de carga siendo éste el único ajuste a los valores de resistencia. No hubo necesidad de considerar el efecto del contenido de humedad, porque los resultados de una investigación realizada por Madsen et. al.(35) demuestran que no influye (el C.H.) considerablemente en la resistencia de la madera de tamaño estructural sobre todo al nivel donde se determinan los esfuerzos básicos. De igual forma para el efecto del tamaño no se realizó ajuste alguno, esta variable se eliminó automáticamente al ensayar piezas de tamaño estructural, sin embargo como ya se mencionó en otra parte las piezas de sección grande resultaron menos resistentes. Los valores finales que se recomiendan usar están dados en la tabla 6.5.3

Tabla 6.5.3 Esfuerzos Permisibles para madera de tamaño estructural de pinos mexicanos, Kg/cm², (1)(2)(3)

Clase	Esfuerzos en flexión, Fb (4)		Módulo de Elasticidad "E" (4)	Compresión paralela al grano Fc (6)	Compresión perpendicular al grano Fc (6)	Cortante paralelo al grano Fv (6)	Tensión paralela Ft(6)	Límite de Exclusión más bajo al 5%, "E" (4)
	Miembros aislados	Miembros en conjunto						
"A"	140	160	115,000	70	12	5	80	80,000
"B"	80	90	90,000	50	12	5	60	65,000

- (1) Los valores de la tabla son para madera de 2"x4".
- (2) Los esfuerzos permisibles presentados son para condiciones de carga normales. Para duraciones de carga diferentes los esfuerzos se pueden modificar según la gráfica de la figura 24, ASTM D245.
- (3) Estos valores de esfuerzos son aplicables para madera de 4" de espesor o menores, cuando tienen un contenido de humedad máximo de 19% en condiciones de servicio. La tabla 6.5.4 da valores de ajuste para contenidos de humedad mayores a 19%. No hay factores de ajuste para propiedades en flexión.
- (4) Cuando se diseñen miembros de 4"x8", se multiplicaran el esfuerzo y el módulo de elasticidad en flexión por 0.8. Para miembros de 4"x4" solamente el MOE se afectará por 0.8
- (5) Se consideran como miembros en conjunto cuando tres o más piezas (vigas, largueros, verticales, etc.) soportantes están separadas no más de 60 cm. en una estructura y además que estén unidos por la cubierta, el piso u otros elementos que distribuyan las cargas.
- (6) Se usan los mismos esfuerzos permisibles para cualquier tamaño de los miembros.

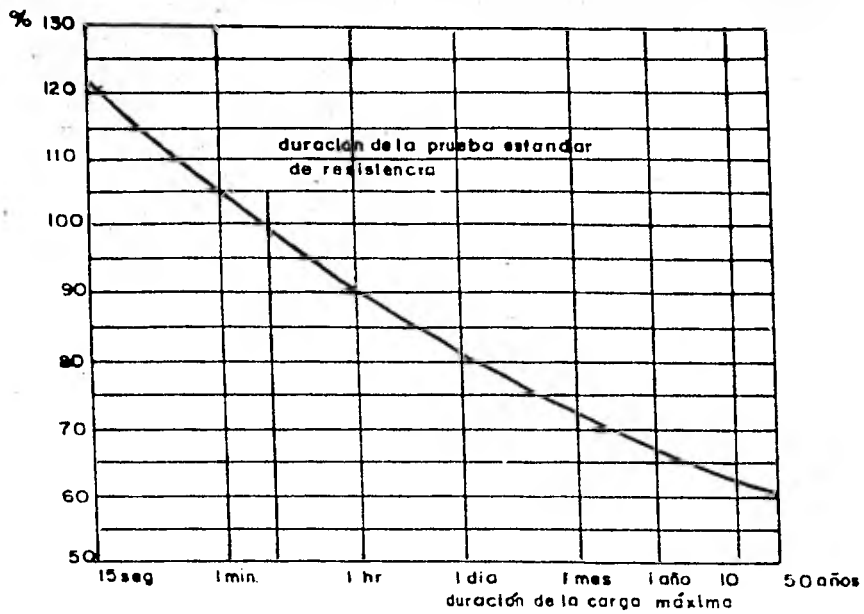


Fig. 26. Relación entre duración de carga y resistencia

Tabla 6.5.4 Ajustes de los esfuerzos permisibles para contenidos de humedad mayores a 19% para madera de 4" o menos de espesor nominal.

Propiedades	Reducción en (%)
Tensión paralela al grano	20
Compresión paralela al grano	33
Cortante horizontal.	7
Compresión perpendicular al grano	33

7. EJEMPLOS DE APLICACIÓN.

7.1 Tablas de Claros Permisibles.

Es importante aclarar que las tablas presentadas en este subíndice son aplicables solamente a elementos sujetos a flexión, simplemente apoyados en sus extremos. Una tabla (7.1.1) da los claros permisibles para los elementos de un sistema de piso y otra (7.1.2) para los elementos de una cubierta (vigas), los claros corresponden a la proyección horizontal.

Tabla 7.1.1 Claros permisibles para madera de pinos mexicanos, calificada y clasificada estructuralmente (reglas de LA CITEMA), para piezas de un sistema de piso.

escuadría(1) cm (in)	Espaciamiento in cm		Claros máximos en metros.			
			clase(2)		clase(3)	
			"A"	"B"	"A"	"B"
3.8 x 8.4 (2" x 4")	16	40	1.8	1.7	2.4	1.8
8.4 x 8.4 (4" x 4")	24	60	1.6	1.5	2.0	1.5
8.4 x 8.4 (4" x 4")	16	40	2.2	2.0	3.6	2.7
8.4 x 18.7 (4" x 8")	24	60	1.9	1.8	2.9	2.2
8.4 x 18.7 (4" x 8")	16	40	4.9	4.5	10.7	8.0
8.4 x 18.7 (4" x 8")	24	60	4.3	3.9	8.7	6.6

- (1) Las esquadras indicadas son las mínimas aceptables para el diseño.
- (2) Estos claros están limitados por una flecha máxima de $1/360$, considerando una carga permanente de 195 Kg/m^2
- (3) Estos claros los limita el esfuerzo permisible en flexión considerando una carga de 244 Kg/m^2 (C.V.+C.M.)

Tabla 7.1.1 Claros permisibles para madera de pinos mexicanos, calificada y clasificada estructuralmente (reglas de LA CITEMA), para usarse en cubiertas (vigas simplemente apoyadas)

Escuadría cm (in)	Espaciamiento in cm		Claros máximos en metros.			
			clase(2)		clase(3)	
			"A"	"B"	"A"	"B"
3.8 x 8.4 (2" x 4")	16	40	2.28	2.10	2.55	1.91
8.4 x 8.4 (4" x 4")	24	60	1.99	1.83	2.08	1.56
8.4 x 8.4 (4" x 4")	16	40	2.76	2.54	3.79	2.84
8.4 x 18.7 (4" x 8")	24	60	2.41	2.22	3.10	2.32
8.4 x 18.7 (4" x 8")	16	40	6.13	5.65	7.55	5.66
8.4 x 18.7 (4" x 8")	24	60	5.36	4.94	6.16	4.62

- (1) Las escuadrías indicadas son las mínimas aceptables para el diseño.
- (2) Estos claros están limitados por una flecha máxima de $1/240$, considerando una carga de 146 Kg/m^2
- (3) Estos claros están limitados por el esfuerzo permisible en flexión considerando una carga de 244 Kg/m^2 (C.M.+C.V.)

Estas tablas serán útiles solo en casos que cumplan con las consideraciones especificadas, por lo tanto para cada caso en particular se hará necesario realizar un análisis y diseño estructural completo.

Se presentan dos columnas de claros permisibles, una con la restricción de la flecha máxima y otra con la limitante del esfuerzo permisible en flexión.

Será a criterio del estructurista la elección de la pieza adecuada a sus necesidades, ya que en algunos casos puede ser muy importante la defor-

mación y en otros esta quedará relegada a segundo término, importando solamente la capacidad de carga de la piezas.

7.2 Diseño de un Sistema de Piso.

Se presenta como ejemplo el sistema de piso construido para la ampliación de las instalaciones de LACITEMA (Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Madera), las que cuentan con laboratorios en la planta baja y cubículos para los investigadores en la planta alta, en las figuras 27 y 28 se muestra un esquema parcial de la construcción.

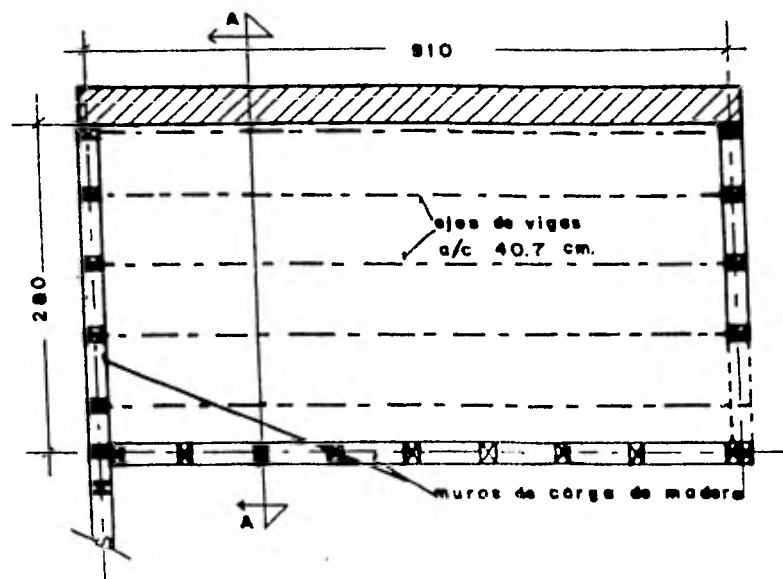
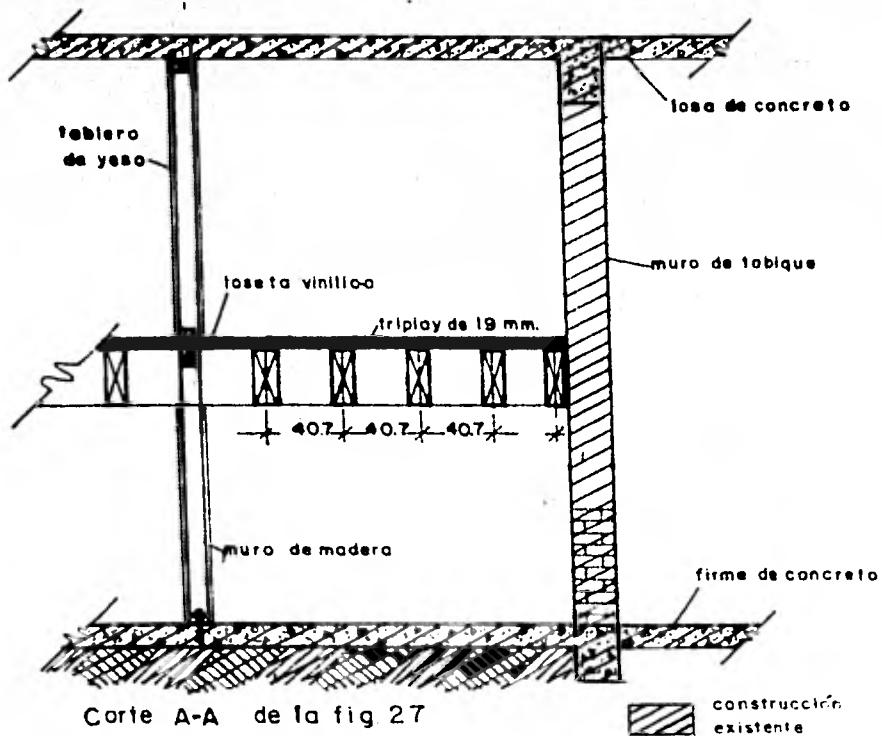


Fig. 27. Porción de la planta baja, proyección de muros y vigas.



Proceso de Diseño

a) Determinación de las cargas.

Loseta vinílica -----	10	Kg/m ²	
Triplay de 19 mm -----	13	"	
Vigas y accesorios ----	32	"	(se suponen vigas de 3"x10")

$$\begin{array}{r} \text{Plafond y otros} \quad \text{-----} \quad 15 \text{ Kg/m}^2 \\ \hline \text{Total} \quad \text{---} \quad 70 \text{ Kg/m}^2 \quad (\text{C.M.}) \end{array}$$

-Cargas vivas según las Normas Técnicas del Reglamento de construcciones del D.F.

viga de 7.5x25 cm de sección.

claro, 510 cm

separación entre vigas, 40 cm

espesor de cubierta, 1.9 cm (triplay)

dimensiones totales de la cubierta, 1,280x1,130 cm

área, 144.64 m²

Módulos de Elasticidad;

vigas clase "A", 92,000 Kg/cm²

triplay, 105,000 Kg/cm² referencia 1

$$a = \frac{s}{L} \cdot \frac{E_v \cdot I_v}{E_c \cdot I_c} \quad \text{-----} \quad (9)$$

donde;

I_v, momento de inercia de la viga

I_c, momento de inercia de la cubierta

E_v, módulo de elasticidad de la viga

E_c, módulo de elasticidad de la cubierta

L, claro de las vigas

s, separación entre vigas

substituyendo valores; a=0.012

si a<0.1, el area tributaria para determinar las cargas vivas es:

$$A=10(s)(L)=10 \times 0.40 \times 5.10 = 20.40 \text{ m}^2$$

$$y, w_m = 120 + 420 \cdot A^{1/2} \text{ ----- } 10$$

$$w_m = 213.0 \text{ Kg/m}^2$$

por muebles se considera carga adicional de 70.0 Kg/m^2

b) Dimensionamiento, con vigas de clase "A"

$$F_b = 128 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E = 92,000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$w_d = 70 + 213 + 70 = 353 \text{ Kg/m}^2$$

cada viga soporta, $353 \times 0.40 = 141 \text{ Kg/m}$

$$M_{\max} = \frac{wl^2}{8} = \frac{141 \times (5.50)^2}{8} = 533.91 \text{ Kg-m} = 53,391 \text{ Kg-cm}$$

$$\text{módulo de sección, } S = \frac{M}{F_b} = 417.1 \text{ cm}^3$$

$$\text{pero, } S = \frac{bh^2}{6} \text{ si } b = 2'' = 4.8 \text{ cm, entonces } h = 22.8 \text{ cm} \approx 10''$$

la viga adecuada por esfuerzos permisibles en flexión

sería una de $2'' \times 10''$

$$\text{-revisión por deflexión, } \Delta = 1.5\Delta_m + \Delta_v \text{ ----- (13)}$$

$$\text{donde, } \Delta_m = \frac{5w_m L^4}{384EI} \text{ y } \Delta_v = \frac{w_v}{w_m} \text{ m}$$

$$E = 92,000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$I = 5,191 \text{ cm}^4$$

$$w_m = (70+70)0.40 = 56 \text{ Kg/m}^2$$

$$\Delta_m = 0.95 \text{ cm} \quad \text{y} \quad \Delta_v = 1.44 \text{ cm}$$

$$\Delta_t = 1.5(0.95) + 1.44 = 2.87 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\text{perm}} = 0.5 + (510/240) = 2.63 \text{ cm}$$

se puede aceptar por deflexión ya que no es grande la diferencia.

-revisión por cortante.

$$F_v = 5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{esfuerzo actuante; } v = 1.5V/A \quad \text{-----} \quad \{14\}$$

$$V = 360 \text{ Kg}$$

entonces $v = 1.5(360)/(4.8 \times 2.35) = 4.78 \text{ Kg/cm}^2$, menor que el esfuerzo permisible F_v

-Revisión por compresión perpendicular al grano.

$$\text{area de soporte} = 4.8 \times 9.0 = 43.2 \text{ cm}^2$$

$$F_c = 12 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (esfuerzo permisible)}$$

capacidad de carga = $43.2 \times 12 = 517 \text{ kg}$, mayor que la fuerza actuante.

Resumiendo; se usaran vigas de 2"x10" de clase "A" clasificadas conforme a las reglas aquí establecidas.

Si se desea usar madera de clase "B", se sigue el mismo procedimiento de diseño, usando los esfuerzos permisibles para la clase "B". Para este caso resultan vigas de 3"x10" y con una separación de 40 cm. En la construcción del sistema de piso de LACITEMA se utilizó esta solución.

7.3 Criterios para el Desarrollo del Reglamento de Construcciones con Madera.

El enfoque del Reglamento de Construcciones para el D.F. es el de estados límite para el diseño de estructuras, y por lo tanto las Normas Técnicas Complementarias siguen este mismo enfoque, con excepción de las correspondientes a las estructuras con madera, para las cuales el método de diseño que establecen las Normas Técnicas es el de "esfuerzos permisibles"

Será muy conveniente que al igual que para los otros materiales las normas y especificaciones de diseño para estructuras con madera se modifiquen y adopten el método de diseño a "estados límite".

Para establecer lo anterior, podemos pensar en primer lugar en realizar una serie de trabajos como el presentado aquí tratando de estudiar la madera de la mayor parte de las zonas madereras del país y establecer características mecánicas de la madera de coníferas. Con esto se pueden establecer reglas de clasificación más congruentes con el uso estructural de la madera de pino, olvidándose de las normas C18-1946 de la DGN para usarlas con este fin. Dar valores de resistencia para dos o tres clases como máximo de la madera estructural, los cuales serán más apegados al comportamiento real de la madera de tamaño comercial. Para alcanzar estos puntos es necesario contar con un procedimiento estándar para la realización de las pruebas.

Con estudios de este tipo se podrá ratificar o rectificar la influencia de algunos factores tales como; el efecto del tamaño de la pieza en la resistencia, comprobar si la influencia del contenido de humedad en la resistencia de la madera es nula en las piezas de tamaño estructural.

También es conveniente aprovechar la información generada en otros países acerca de los efectos de la duración de carga, cortante paralelo a la fibra, el comportamiento de los elementos estructurales trabajando en conjunto, como en muros, sistemas de piso, cubiertas, armaduras, etc.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

8.1 Valores de Esfuerzos.

Es muy halagador observar que los valores de resistencia en flexión estática dados aquí superan en gran medida a los esfuerzos permisibles-recomendados por algunas especificaciones tales como; las Normas Técnicas del Reglamento, las especificaciones de la SOP (1968) y los de la - publicación No. 2 de la serie La Madera y su Uso en la Construcción - - (INIREB, 1977) referencias 24, 40 y 10. Comparando los diferentes valores de resistencia en flexión dados por las referencias citadas, veremos la superioridad de los valores obtenidos en esta investigación sobre los demás, (ver tabla 8.1.1)

Tabla 8.1.1 Propiedades Mecánicas en flexión recomendadas por - - diferentes publicaciones.

Referencia	Clase	Esfuerzo permisible en flexión (Kg/cm ²)	Módulo de Elasticidad. (Kg/cm ²)
Normas Técnicas Comp. (24)	Selecta	80.0	70,000
	Primera	60.0	70,000
Especificaciones SOP. (40)	1 ^a	80.0	85,000
	2 ^a	60.0	85,000
La madera y su uso en la Construcción. (10)	Selecta	100.0	100,000
	R.B.1	85.0	100,000
Resultados del Proyecto.	"A"	140.0	115,000
	"B"	80.0	90,000

Es importante resaltar que las piezas estudiadas son de 2a y 3a. clasificadas conforme a las reglas C18-46 de la DGN y con certeza podemos -- afirmar que la madera de clase selecta y primera como se clasifica con - las mismas reglas tendrán valores de resistencia aún mayores que los obtenidos en este estudio.

En un estudio semejante, realizado con madera de Chihuahua, Durango, Michoacán y el Edo. de México se obtuvieron los valores de esfuerzos permisibles siguientes; para clase selecta Estructural 140.0 Kg/cm² en flexión y un Módulo de Elasticidad de 128,000 Kg/cm²; para la clase de primera un esfuerzo de 96.0 Kg/cm² y 125,000 Kg/cm² para el módulo de Elasticidad. (12)

8.2 Clasificación en Aserraderos.

Es obligado aplicar los resultados de este estudio en la empresa que suministró el material para el proyecto (PROTINBOS). Para lo que es necesario entrenar a las personas dedicadas a la clasificación en el aserradero, para aplicar las reglas que se desarrollaron y que clasifiquen la madera bajo la supervisión de el personal que llevó a cabo el estudio. - Al realizar esto se comprobará si en realidad son reglas fáciles de aplicacar.

Se deberán de marcar las piezas clasificadas de tal manera que se -- distinguan éstas como madera para uso estructural, y en cuanto hayan quedado bien establecidas las reglas de clasificación a nivel nacional se - ría muy importante que otros aserraderos adopten este sistema de clasificación e inicien la preparación y entrenamiento de su personal para la -

aplicación del mismo.

Pero después de todo esto deberán realizarse inspecciones y verificar la correcta aplicación de las reglas de clasificación, mediante la determinación de las propiedades mecánicas (en flexión) de una muestra de la producción del aserradero que haya sido clasificada con el método propuesto así se comprobará la eficacia de las reglas y los valores de resistencia que se recomiendan aquí.

8.3 Métodos de Diseño.

Como podemos observar en el ejemplo del inciso 7.2, el diseño del sistema de piso se realizó siguiendo los procedimientos indicados por la ref. (27), con los cuales se dimensionan los elementos estructurales (en nuestro caso las vigas) como si actuaran individualmente, ignorándose los efectos de interacción de todos los demás elementos. Rigurosamente la forma de actuar de las vigas debería analizarse como si fuera una viga "T" debido a la contribución de la cubierta (triplay) -- por supuesto que debe tenerse cuidado en que la unión entre vigas y la cubierta sea correcta para considerar el efecto citado.

A los procedimientos de diseño determinísticos indicados en el Reglamento de Construcciones del D. F., referencia (24), debido a la incertidumbre siempre inherente de los valores de resistencia de la madera así como de las cargas, deben aplicarse factores de seguridad que nos dan diseños muy conservadores, de tal manera que los valores de resistencia de la madera que se usan son los mínimos.

Como se menciona en la referencia (23), el método de diseño a "esta

dos límite" considera que una estructura deja de cumplir sus funciones - cuando alcanza un estado límite cualquiera de los dos grupos en que se - clasifican; a) Estados Límite últimos o de resistencia y b) Estados Límite de servicio. Con la aplicación de este método se busca tener un margen de probabilidad razonable para que no se alcance ningún estado límite, lo que en otras palabras significa que la probabilidad de que $R < U$ -- sea muy baja, siendo R la resistencia de un elemento estructural y U - la máxima carga de diseño que puede presentarse.

Las ventajas de incorporar este método a las normas para madera son las siguientes:

1. Son de fácil incorporación los resultados de investigaciones y -- estudios de las cargas y las propiedades del material así como de su - - comportamiento.

2. Se pueden uniformizar los criterios de seguridad para estructuras de los diferentes materiales.

La base de la información empleada en los reglamentos de construc -- ción elaborados con los métodos de diseño a estados límite son datos como los que aquí se presentan, que representan de una manera más fiel - el comportamiento real de la madera en situaciones estructurales que la información obtenida con los pequeños proyectos libres de defectos.

8.4 Utilización.

Los resultados de esta investigación beneficiarán directamente a los usuarios de la madera y una manera de que estos beneficios les lleguen - será mediante la difusión de estos resultados entre los profesionales in

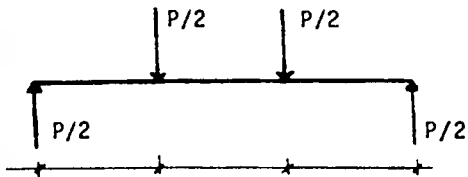
volucrados en la construcción de estructuras de madera, y algunos organismos que pueden realizar esta tarea son; el Colegio de Ingenieros Civiles de México, el Colegio de Arquitectos, la Cámara Nacional de la Industria de la Construcción, Universidades y escuelas, etc.

La demanda de madera clasificada estructuralmente se verá incrementada en la medida en que los diseñadores hagan uso de este material en sus soluciones estructurales. Pero lo anterior no quiere decir que los resultados no tengan un uso inmediato, precisamente por el hecho de haber sido obtenidos haciendo pruebas con piezas de tamaño estructural. Estos son de fácil incorporación a los reglamentos y normas oficiales que rigen el diseño y construcción de estructuras de madera.

Con el fin de que en un plazo mediano se conozcan de manera más precisa las propiedades mecánicas de la madera de pino que se cosecha en el país, es recomendable que se amplien estas investigaciones a otras regiones con las mismas y otras dimensiones de la madera y también con otras propiedades mecánicas para el diseño estructural.

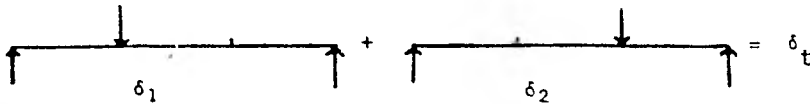
APENDICE "A"

Determinación de la deflexión de las piezas ensayadas a flexión debida al cortante horizontal, mediante el método de la "energía de deformación".

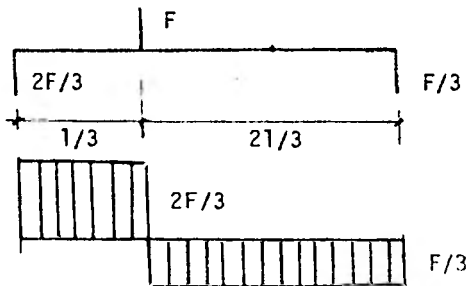


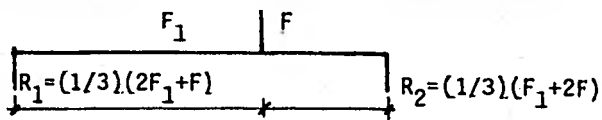
P, carga en el límite de proporcionalidad (tomada de la lectura en la consola)

Podemos hacer lo siguiente:

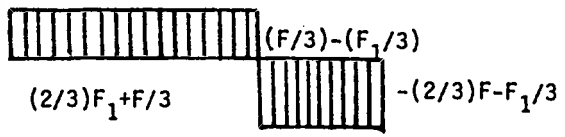


$$\delta_1 + \delta_2 = \delta_t$$





(II)



Para δ_1 :

$$V_1 = (\frac{2}{3})F ; 0 < x < 1/3$$

$$V_2 = F/3 ; 1/3 < x < 1$$

$$U_V = 1/2GA \left[\int_0^{1/3} (4/9)F^2 dx + \int_{1/3}^1 (F^2/9) dx \right] = 1/2GA \left[(4/9)F^2 \cdot 1/3 + F^2 \cdot 2/9 - (F^2/9) \cdot (1/3) \right]$$

$$U_V = (1/2GA) (6F^2 \cdot 1/27) = (1/9) (F^2 \cdot 1/GA) \quad (\partial U / \partial F) = (2/9) F \cdot 1/GA ; F = P/2$$

$$\underline{\underline{\delta_1 = P \cdot 1/9GA}}$$

Para δ_2 :

$V_1 = (2F_1/3) + (F/3)$	$\partial V_1 / \partial F_1 = 2/3$	$0 < x < 1/3$
$V_2 = -F_1/3 + F/3$	$\partial V_2 / \partial F_1 = -1/3$	$(1/3) < x < (2/3)$
$V_3 = -2F/3 - F_1/3$	$\partial V_3 / \partial F_1 = -1/3$	$(2/3) < x < 1$

$$\delta_2 = 1/GA \left[\int_0^{1/3} (2F_1/3 + F/3)(2/3)dx + \int_{1/3}^{21/3} (-F_1/3 + F/3)(-1/3)dx + \int_{21/3}^1 (-2F/3 - F_1/3)(-1/3)dx \right]$$

$$\delta_2 = 1/GA \left[(2F_1 + F)21/27 + (F_1 - F)21/27 - (F_1 - F)1/27 + (2F + F_1)1/9 - (2F + F_1)21/27 \right] ; F_1 = 0$$

$$\delta_2 = 3F1/27GA = F1/9GA ; F = P/2$$

$$\underline{\underline{\delta_2 = P1/18GA}}$$

$$\delta_t = \delta_1 + \delta_2 = P1/9GA + P1/18GA = P1/6GA$$

$$\underline{\underline{\delta_t = P1/6GA}}$$

BIBLIOGRAFIA

1. American Institute of Timber Construction. 1974, "Timber Construction Manual", 2nd. ed., John Wiley & Sons, Inc.
2. American Society for Testing and Materials. 1977, "Annual Book of ASTM Standards" Part 22. Wood, Adhesives. ASTM. Philadelphia, Pa.
3. Aplin, E.N. and F.J., Keenan. 1977. "Limit States Design in Wood a - Canadian Perspective", Forest Products Journal 27 (7): 14-18.
4. Barret, J.D. and R.O., Foschi. 1980, "Reliability and the Implementation of Duration of load data", IUFRO, Wood Engineering Group, Oxford, U.K.
5. Bendtsen, B.A. and Fred Rattner. 1969. "Method for determining Sample size when deriving Tolerance Limits for a Timber species", Reprint - from Materials Research and Standards, Vol. 9, No. 6
6. Bendtsen, A. and W.L. Galligan. 1978, "Deriving Allowable Properties of Lumber (A Practical Guide for Interpretation of ASTM Standards)", General Technical Report FPL 20, U.S. Forest Products Laboratory, - Madison, Wi.
7. Bodig, J. 1977. "Bending Properties of Douglas Fir-Larch and Hem-Fir Dimension Lumber", Special Report No. 6888, Dept. of Forest and Wood Science, Colorado State University, Fort Collins, Co.
8. Bohannon, B. 1966. "Effect of size on Bending Strength of Wood Members" Research Paper FPL. 56 U.S. Forest Products Laboratory, Madison, Wi.
9. British Standards Institution. 1971. "CP 112: Part 2, The Structural Use of Timber" Metric Units. Londres.

10. Dávalos S. R., F.F. Wangaard, R. Echenique-Manrique. 1977, "Clasificación de la Madera de Pinos Mexicanos", Madera y su Uso en la Construcción No.2, INIREB, Xalapa Ver.
11. Dávalos, S.R., R. Echenique-Manrique, J.M. Sanchez. 1978. "Características Mecánicas de tres especies de Pino del Cofre de Perote", Biótica 3(1): 37-55, INIREB, Xalapa, Ver.
12. Dávalos, S.R., 1979. "Design values for Mexican Pine Dimension Lumber" M.Sc. Thesis. Department of Forest and Wood Science, Colorado State University, Fort Collins, Co.
13. Dirección General de Normas, SIC. 1946, "Norma Oficial de Calidad para Tablas y Tablones de Ocote", C18-46, México, D.F.
14. Ethington, R.L., H.O. Fleischer. 1973. "A perspectiva on Structural Lumber Grading", Bouletin, Forest Products Laboratory, Madison, Wi.
15. Ethington, R.L., W.L. Galligan, A.D. Freas. 1979. "Evolution of Allowable Stresses in Shear for Lumber". General Technical Report, FPL 23, Forest Products Laboratory, Madison, Wi.
16. Foschi, R.O. and J.D. Barret. 1976. "Longitudinal Shear Strength of Douglas-Fir". Canadian Journal Civil Engineering. 3(2): 198-208.
17. Foschi, R.O. and J.D. Barret. 1980. "Duration of Load Test Data Analysis". Prepared for the 1980 Meetings of the IUFRO Wood Engineering Group, Oxford, England.
18. Galambos, J.V. and M.K. Ravindra. 1977. "The Basis for Load and Resistance Factor Design Criteria of Steel Building Structures". Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 4 1978-189.

19. Galligan, W.L., and D.W. Green. 1980. "Development of Standardized Concepts for Assignment and Assessment of the Mechanical Properties of Lumber". A continuing Challenge for the 1980s. State of-Art Report, Forest Products Journal 30(9): 39-46
20. Galligan, W.L., D.V. Snodgrass and G.W. Crow. 1977. "Machine Stress Rating" Practical Concerns for Lumber Producers USDA, Forest Service General Technical Report FPL 7, Madison, Wi.
21. Galligan, W.L., C.C. Gerhards, R.L. Ethington. 1979. "Evolution of tensile Design Stresses for Lumber" General Technical Report FPL-28, Forest Products Laboratory, Madison, Wi.
22. Hoffmeyer, P. 1980. "The Moisture-Mechanical Property Relationship as Dependent on Wood Quality" Prepared for the 1980 IUFRO all-Division V conference, Oxford, England.
23. Instituto de Ingeniería. 1977. "Requisitos de seguridad y Servicio para las Estructuras, Título IV del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal", UNAM, México, D.F.
24. Instituto de Ingeniería. 1977. "Diseño y Construcción de Estructuras de Madera" Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, UNAM, México, D.F.
25. International Organization For Standardization. 1975. "Coniferous sawn Timber-Defects-Measurement", first edition-1975: 12-15 Switzerland.
26. Jessome, A.P. 1971. "The Bending strength of Lumber in Structural sizes" Dept. of the Environment, Can. Forestry Service, Publ. No. 1305, Ottawa Canada.

27. Johnson,R:A.; 1980. "Current Statistical Methods for Estimating Lumber Properties by Proofloading", State of the Art, Forest Products Journal, Vol. 30 No. 1, 14-22.
28. Madsen,B. 1971. "Duration of Load Tests for Wet Lumber in Bending" - Research Report No. 3 Structural Research Series, University of British Columbia, Vancouver, B.C.
29. Madsen,B.1975. "Structural Wood and Limit States Design, Research Series, Department of Civil Engineering, University of British Columbia, Vancouver, B.C.
30. Madsen,B. 1972. "An Engineering Approach to Estimating the 5th. Percentile Levels for Structural Properties of Wood", Research Report No. 8, Structural Research Series, UBC, Vancouver,B.C.
31. Madsen,B. 1975. "Strength Values for Wood and Limit States Design", Canadian J. Civ. Eng., 2(3), pp. 270-279
32. Madsen, B. 1977. "In grade Testing Problems Analysis Research", Report No. 18, Structural Research Series, University of British Columbia, Vancouver,B.C.
33. Madsen,B., and J.D. Barret. 1976. "Time-strength Relationships for Lumber". Research Report No. 13, Structural Research Series, UBC, Vancouver B.C.
34. Madsen,B. and P.C. Nielsen, 1978. "In-Grade Testing Bending Tests in Canada". National Lumber Grades Authority, B.C.
35. Madsen,B., W. Janzen and Zwaagstra. 1980. "Moisture Effects in Lumber". Research Report No. 27, Structural Research Series, University of British Columbia, Vancouver, B.C.

36. National Lumber Grades Authority. 1978. "Standard Grading Rules for Canadian Lumber", NLGA, Vancouver, B.C. 206
37. Osio, J.H., R. Echenique-Manrique y A. Fuentes. 1976. "Aceptabilidad de la Madera comercial para propósitos Estructurales". Ingeniería, - 46(3): 253-275
38. Purslow, D.F. 1975. "The Assurance of Quality provided by certain British Standards concerned with Timber Products", Building Research Establishment Current Paper, Princes Risborough Laboratory.
39. Robles Fernandez, J.F. 1980. "Usos Estructurales de la Madera en México" Serie Madera y su Uso en la Construcción No. 5, LACITEMA-INIREB, Xalapa Ver.
40. Secretaría de Obras Publicas. 1968. "Especificaciones para Estructuras de Madera", México, D.F.
41. Sexmith, R.P. 1975. "Timber Engineering and Limit States Design", Cornell University Ithaca, N.Y.
42. Sexmith, R.P., S.P. Fox. 1978. "Limit States Design Concepts for Timber Engineering", Forests Products Journal, 28(5)
43. United Nations. Economic Commission for Europe. 1975. "ECE Standard for Stress Grading of Coniferous Sawn Timber", Supplement 4 to Volume XXVII of the "Timber Bulletin for Europe", UN, Geneva, Switzerland.
44. U.S. Department of Agriculture. 1970. "Tables for developing Nonparametric estimates of nearminimum property values". Forest Service Research paper, FPL 134. Madison, Wis.
45. Warren, W.C. 1973. "Estimation of the Exclusion Limit for Dimension - Lumber" Proc. International Union of Forestry Research Organizations (IUFRO), Division 5, Cape Town and Pretoria, South Africa.