

32



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

**ACEPTABILIDAD DE LA MADERA COMERCIAL
PARA FINES ESTRUCTURALES**

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de
INGENIERO CIVIL
P r e s e n t a

EDUARDO ADOLFO CASTAÑEDA NIEBLA



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVIATION

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-146

Al Pasante señor EDUARDO ADOLFO CASTAÑEDA NIEBLA,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Carlos Javier Mendoza E., para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"ACEPTABILIDAD DE LA MADERA COMERCIAL PARA FINES
ESTRUCTURALES"

1. Introducción
2. Antecedentes y objetivos
3. Ensayes realizados
4. Criterios extranjeros de calificación y clasificación de la madera
5. Comentarios, conclusiones y recomendaciones

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 27 de julio de 1979
EL DIRECTOR

ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

JJETOBH/ser

I N D I C E

	Pág.
1. INTRODUCCION.....	1
2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	4
3. ENSAYES REALIZADOS.....	8
3.1. Adquisición del material de ensa- ye	
3.2. Ensaye de los Elementos	
3.3. Análisis de los resultados	
3.4. Valores recomendados por las Nor- mas de Diseño y Construcción de - Estructuras de Madera (Normas Téc nicas Complementarias) del RCDF - en vigor (1976) y comparación con las propiedades de algunas espe- cies mexicanas.	
4. CRITERIOS EXTRANJEROS DE CALIFICACION Y CLASIFICACION DE LA MADERA.....	27
4.1. Calificación Estructural	
4.2. Clasificación Estructural	
4.3. Ejemplo	

5. COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....

APENDICE A. Figuras

APENDICE B. Tablas

BIBLIOGRAFIA

1. INTRODUCCION

A lo largo de su existencia, el hombre ha puesto de manifiesto su ingenio en el aprovechamiento de distintos materiales usados en la construcción, ya sean estos naturales o artificiales y resulta fácil de comprender que hasta hace algunos años, no había porque preocuparse dada la abundancia de los materiales que caprichosamente seleccionaba. En la actualidad, debido a la expansión demográfica, ya no es posible actuar indiscriminadamente sin tomar en consideración las alternativas de recursos que legaremos a nuestros sucesores. De hechos como éste, surge la necesidad de planificar todos nuestros actos para no correr el riesgo innecesario de destruir lo que mañana nos hará falta.

Pese a que históricamente la madera ha sido empleada en las continuas etapas de desarrollo del hombre, y que ha resultado un material noble al prestarse a la mayoría de sus requerimientos, es indiscutible que este material se ha empleado con un mínimo conocimiento de sus propiedades y ventajas sobre otros materiales en nuestro país.

El empleo de la madera, tanto como material de construcción, así como en su uso en general, debe ser co-

rectamente planificado desde sus primeras etapas. El -- problema, es pues, la búsqueda de una explotación racional de la madera y el estudio de sus propiedades tecnológicas que permitan conocer mejor dicho material y, consecuentemente, aprovecharlo correctamente. Resulta obvio -- mencionar que en los países altamente desarrollados este problema ya no existe, porque desde hace mucho tiempo han venido planificando la explotación de sus recursos forestales. En cambio, es evidente que en los países subdesarrollados o en vías de desarrollo, como el nuestro, el -- problema está latente, y se debe empezar de alguna manera, para no seguir desperdiciando nuestros recursos forestales.

Los pocos intentos que se han hecho al respecto, no son suficientes, ya que en en su mayoría han estado dearticulados de una planificación general, por lo que no se ha llegado a resultados satisfactorios.

Al desarrollar el presente trabajo, se está conciente de sus limitaciones, ya que dada la importancia y - amplitud del tema, sería imposible tratar de abarcar su - totalidad sin incurrir en errores y omisiones; pero como se mencionó anteriormente, se debe empezar de alguna manera y es por ello que en este trabajo se trata de organi--zar la dispersa información que existe actualmente, con - lo cual se desea sentar las bases que permitan una mejor-

y correcta organización, que finalmente conduzca a un empleo óptimo de ese excelente material llamado madera.

2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

ANTECEDENTES

En México, la madera como elemento estructural se ha usado principalmente en obras falsas y en cajones - que sirven para dar sostén y moldear elementos de concreto durante su fraguado; como material estructural permanente, solo se tienen algunas experiencias aisladas:

La madera no ha sido integrada al panorama constructivo en forma definitiva por varias razones tales como: reducida información sobre las propiedades físico-mecánicas de las diversas especies nacionales, falta de personal capacitado para clasificar satisfactoriamente la madera estructural y, quizá la de mayor peso, la desconfianza en usar madera con fines estructurales.

Tradicionalmente, la norma oficial de clasificación de la madera ha sido la Norma C 18-46 expedida por la Dirección General de Normas de la Secretaría de Industria y Comercio, y su propósito es definir varias clases de acuerdo a la apariencia de la madera; cabe decir que esta norma se ha utilizado casi exclusivamente por este motivo para fines de carpintería. Sin embargo, la madera así clasificada se ha venido utilizando también para fi--

nes estructurales, lo que en muchos casos ha creado resultados no satisfactorios, cuestionándose de tal manera su adaptabilidad para la construcción.

Todo lo anterior motivó a las autoridades del Departamento del Distrito Federal a solicitar al Instituto de Ingeniería de la UNAM la elaboración de nuevos criterios de diseño para estructuras de madera, ya que en otros países se acostumbra clasificar a la madera en base a la resistencia de los elementos y no solo de su apariencia como se ha venido haciendo en nuestro país.

De acuerdo a esta solicitud el Instituto de Ingeniería acordó ensayar elementos de tamaño estructural sujetos a flexión por las razones que se indican en el capítulo 3 de este estudio.

También otro de los motivos por los cuales se determinó hacer ensayos en el laboratorio, es porque el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de fecha 9 de febrero de 1966 con respecto a los valores de esfuerzos permisibles que están en función de la densidad relativa de la madera da un valor mínimo supuesto, siendo que la densidad es variable de acuerdo a la especie de que se trate, aún dentro de una misma especie.

Debido a lo antes expuesto se procedió a realizar el presente trabajo, el cual tiene los siguientes objetivos.

OBJETIVOS

El presente estudio pretende determinar la eficiencia y seguridad existentes al usar madera con fines estructurales, la cual se ha clasificado como selecta, de primera, segunda y tercera clases, según los lineamientos dados por la Norma C 18-46 de la DGN y el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 1966; determinar la aplicabilidad de normas extranjeras en la clasificación de maderas nacionales, de tal forma que su utilización para fines estructurales sea más confiable.

Este trabajo comprende las siguientes etapas:

- 1a) Ensayar en laboratorio elementos estructurales para obtener sus propiedades mecánicas reales.
- 2a) Analizar la dispersión de los resultados de la etapa anterior y calificar la eficiencia estructural de la madera comercial.
- 3a) Comparar los resultados de la primera etapa con los valores correspondientes dados por el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 1966, y -

de esta manera calificar la seguridad estructural de la madera en estudio. De acuerdo a los resultados - obtenidos en esta etapa se dan algunas recomendaciones en el capítulo 5 para la mejor comprensión del - Reglamento que está en vigor (15 de diciembre de -- 1976) y sus norma técnicas complementarias.

- 4a) Verificar la validez de los criterios extranjeros de clasificación estructural aplicados a maderas nacionales.

3. ENSAYES REALIZADOS

3.1 Adquisición del material de ensaye

Para conocer la especie de madera más conveniente para realizar un estudio con fines estructurales, se hizo una encuesta para recabar datos referentes a las especies existentes actualmente en el mercado, su procedencia, forma de clasificarla, así como las medidas más comunes para su venta.

Dicha encuesta realizada en 25 madererías del Distrito Federal arrojó los siguientes resultados:

Existencia (en porcentaje)

Pino	80.0
Cedro	3.0
Oyamel	2.0
Encino	1.0
Che-Che	1.0
Liquidambar	1.0
Caoba	4.5
Ayacahuite	4.0
Guanacaxtle	2.0
Nogal	1.0
Granadillo	<u>0.5</u>

TOTAL = 100.0 por ciento

Procedencia

Michoacán, Oaxaca, Durango, Guerrero, Chiapas, Quintana -
Roo, Campeche, Edo. de México, Yucatán e Hidalgo.

Clasificación

- a) Pino y otras especies:
clase selecta, primera, segunda y tercera.
- b) Maderas conocidas como finas o preciosas
clase primera y segunda.

Dimensiones comerciales

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

Grosor: 1/2, 3/4, 1, 1 1/2, 2, 2 1/2, 3, 3 1/2 y 4 pulga-
das.

Largo: 8, 10, 12, 14, 16, 18, y 20 pies.

Todas estas medidas son nominales.

3.1.1. Especie, calidad y geometría

Se consideró conveniente seleccionar para este estudio la madera de pino de segunda clase, porque de acuerdo a la encuesta realizada se encontró que dicha especie y en especial ese grado resulta la más favorable para fines estructurales. El empleo de maderas de mejor calidad y elevado precio unitario, se ha dirigido únicamente a obras arquitectónicas costosas y la madera de menor calidad y -

bajo precio unitario, ha sido prácticamente excluida para fines estructurales por la gran desconfianza que despierta su apariencia.

Las dimensiones de los elementos se fijaron de acuerdo con las recomendaciones de la Norma ASTM D 198-67. Se consideró una relación de claro a peralte igual a 15, con el objeto de minimizar las deformaciones que se generan debido a los esfuerzos cortantes. La relación de peralte a espesor se escogió igual a 2, con lo que se evitó la inestabilidad lateral de los elementos simplemente apoyados. Considerando lo anterior, la longitud y dimensiones de los elementos se fijaron como sigue:

Longitud total = 244 cm (8 pies)

Peralte = 15 cm (6 pulgadas)

Espesor = 7.5 cm (3 pulgadas)

Claro efectivo entre apoyos = 225 cm

3.1.2. Número y procedencia

De acuerdo a las recomendaciones de la Norma ASTM D 198-67 se eligió un número de 50 elementos de tamaño estructural. El origen de la madera no se especifica, debido a que no existe la certeza de que dicho material provino de los sitios mencionados antes de su adquisición en las madererías locales.

3.1.3. Preparación del material

El material se preparó considerando que los ensayos serían a flexión y que los elementos trabajarían como vigas. -- Los elementos se numeraron para su identificación y las caras se reconocieron mediante letras. La cara de apoyo más desfavorable se reconoció para asegurar que quedara, durante los ensayos, sujeta a esfuerzos de tensión. Las caras de apoyo fueron las de menor dimensión, para cumplir con las normas correspondientes.

Después se prosiguió con la inspección visual de acuerdo con la Norma ASTM D 245-70, mediante la cual se obtuvieron los datos necesarios para calificar el material y así poder verificar la aplicación de dicha norma norteamericana a maderas nacionales.

Una vez concluida la inspección visual del material, se almacenó en un cuarto húmedo para forzar a la madera a tener contenidos de humedad superiores al punto de saturación de las fibras (30 por ciento) como lo recomienda la norma ASTM D 198-67, dado que la resistencia de cada elemento se conserva prácticamente constante a contenidos de humedad superiores al indicado.

Los datos de identificación, calificación visual

y otros importantes que se mencionarán posteriormente, -
quedaron inscritos en hojas especiales de registro como -
se indica en las figs 1 y 2 .

3.2. Ensaye de los elementos

Se realizó de acuerdo con la Norma ASTM D 198 -
67.

3.2.1. Instrumentación

Las cargas de prueba sobre los elementos estructurales, -
se aplicaron por medio de 2 gatos hidráulicos marca Ams--
ler de 10 ton de capacidad cada uno, los cuales se ajusta
ron a un marco de acero, fig 3. Las lecturas de las car
gas aplicadas se hicieron en un dinamómetro de péndulo --
marca Amsler tipo PM-103 con una aproximación de 2 kg. --
Los elementos estructurales se apoyaron simplemente sobre
2 juegos de placas y rodillos, permitiendo el libre giro-
de los extremos y el desplazamiento de uno de ellos.

Las placas de apoyo tenían 7.5 cm de ancho por-
15 cm de largo. Las caras en contacto con el elemento es
tructural, tenían un radio de curvatura igual a cuatro ve
ces la dimensión del peralte (60 cm) para garantizar un -
contacto perfecto entre las placas y el elemento estructu
ral, y a la vez impedir concentraciones de esfuerzo en --
esas zonas. Las deflexiones al centro de las vigas se le

yeron en un micrómetro de carátula de 0.01 mm de precisión. El tiempo de prueba a la carga máxima se tomó con un cronómetro.

3.2.2. Descripción de las pruebas

3.2.2.1. Solicitación mecánica

Considerando que la mayoría de los elementos estructurales están sujetos a flexión y que bajo esta sollicitación mecánica el efecto de los defectos que influyen en la resistencia es crítico, es importante mencionar que parte de la desconfianza que existe actualmente para usar estructuralmente la madera después de haber sido clasificado, se debe a la incertidumbre del comportamiento estructural de la madera sometida a flexión. De estas consideraciones y mediante un análisis de los resultados que se obtengan en este estudio de los elementos sujetos a flexión, se podrán dar conclusiones acerca de la aceptabilidad estructural de la madera clasificada comercialmente por métodos tradicionales. Los resultados anteriores servirán de base para determinar el módulo de rotura y también el de elasticidad de los elementos en estudio.

3.2.2.2. Tipo de carga para flexión.

El recomendado por la Norma ASTM D 198-67 es el de dos cargas aplicadas en los tercios del claro, como se mues-

tra en la fig 3. Al ensayar el material con el tipo de carga descrito, la porción central del elemento quedó sujeta a momentos flexionantes constantes, lo que conjuntamente con la relación de claro a peralte igual a 2, permitió determinar con buena aproximación el módulo de elasticidad a flexión, considerando solo la deformación total al centro del claro.

3.2.2.3. Desarrollo de las pruebas

Una vez que los elementos estructurales quedaron instalados bajo el marco de pruebas con el instrumental colocado adecuadamente, se inició la aplicación de la carga en incrementos de 50 kg. hasta llegar a 600 kg aproximadamente, para delinear con suficiente detalle la curva carga-deformación hasta el límite elástico; pasando de los 600 kg solo se registró la carga máxima.

La velocidad de carga se calculó con la siguiente expresión recomendada por la Norma ASTM D 198-67

$$N = \frac{0.001 a}{3d} (3L - 4a) \dots\dots\dots (1)$$

donde:

N velocidad de aplicación de la carga (cm/min)

a distancia del apoyo al punto de carga más cercano (cm)

d peralte de la viga (cm)

L claro de la viga (cm)

La expresión anterior condujo en la mayoría de los casos a obtener la falla de los elementos en un periodo comprendido entre los 6 y los 20 min. Las deformaciones correspondientes a las lecturas de carga se tomaron al centro del claro únicamente, registrándose solo las debidas a las cargas menores de 600 kg.

El tipo de falla que se presentó y su asociación con algún defecto se indica en las hojas de registro, -- fig 2.

3.2.2.4. Determinación de las propiedades físicas de los elementos ensayados.

Para la determinación del contenido de humedad (CH) y de la densidad relativa del material (γ) fue necesario muestrear los elementos después de ensayados y obtener de esas muestras su volumen, su peso por arriba del PSF y su peso anhidro. Cada muestra se obtuvo al aserrar el elemento cerca de la falla, tal como lo recomienda la ya citada norma norma norteamericana. Las dimensiones de las muestras fueron de 15 x 7.5 x 2.54 cm.

El peso de cada muestra después del ensaye se -

obtuvo en balanza de 0.01 gr de precisión. El volumen de cada muestra se obtuvo por el método de desplazamiento de agua. El peso anhidro de cada muestra se obtuvo después de mantenerla dentro de un horno a una temperatura constante de 105°C, hasta que su peso se mantuviera prácticamente constante.

3.2.2.5. Obtención de los resultados

Los módulos de rotura y elasticidad en flexión de los elementos, el contenido de humedad y la densidad relativa de la madera, se obtuvieron de las siguientes expresiones dadas por la norma norteamericana:

$$MR = \frac{PL}{bd^2} \dots (2) \quad E = \frac{P'L^3}{4.7 bd^3\delta} \dots (3)$$

$$\gamma = \frac{Po}{v} \dots (4) \quad CH = \frac{P - po}{Po} \dots (5)$$

donde:

- MR módulo de rotura (kg/cm²)
- P carga total máxima aplicada (kg)
- b espesor de la viga (cm)
- d peralte de la viga (cm)
- E módulo de elasticidad a flexión (kg/cm²)
- P' carga correspondiente al límite elástico (kg)

- δ deformación al centro de la viga en el límite elástico (cm)
 CH contenido de humedad de la muestra (porcentaje)
 P peso de la muestra al momento de su obtención (gr)
 P_o peso anhidro de la muestra (gr)
 γ densidad relativa de la muestra
 v volumen de la muestra (cm³) para CH \geq 30%

Los valores correspondientes al módulo de rotura, módulo de elasticidad, contenido de humedad y peso específico se presentan en la tabla 1.

Los valores correspondientes al módulo de rotura, módulo de elasticidad, contenido de humedad y peso específico, se presentan en la tabla 1. Se hace notar que después de haber obtenido los resultados de las 50 vigas en estudio, 17 de ellas presentaron anomalías en su comportamiento durante los ensayos tales como fallas repentinas y deformaciones excesivas de los elementos para cargas muy pequeñas que hacen dudar de que la clase y la especie de estos sean iguales a la de los demás elementos que abarcaron este estudio. Por lo que de ahora en adelante únicamente aparecerán los resultados de 33 vigas de las 50 que se ensayaron.

3.3. Análisis de los resultados

3.3.1. Eficiencia estructural

Con el fin de analizar la eficiencia estructural de la madera en estudio, fue necesario obtener los parámetros estadísticos de los resultados de los ensayos mostrados en la tabla 1. A continuación se presentan estos parámetros:

a) Para el módulo de rotura:

$$\bar{x} = 296.21 \text{ kg/cm}^2; \quad s_x = 114.64 \text{ kg/cm}^2; \quad c_v = 0.39$$

b) Para el módulo de elasticidad:

$$\bar{x} \cdot 10^3 = 78.97 \text{ kg/cm}^2; \quad s_x \cdot 10^3 = 21.86 \text{ kg/cm}^2;$$

$$c_v = 0.28$$

donde:

\bar{x} promedio aritmético de los resultados

s_x desviación estándar de los resultados

c_v coeficiente de variación de los resultados

Considerando los criterios extranjeros de agrupación de la madera estructural para fines comerciales, - el valor del coeficiente de variación (c_v) de los valores de resistencia para cualquier grupo nunca excede del 15 -

por ciento. Si este valor se considera como base de crítica, el valor de coeficiente de variación para la madera nacional clasificada como de segunda clase, es muy alto.- Esto solo indica que existe dentro del grupo de madera en estudio un intervalo muy amplio de valores de resistencia.

Para cuantificar la eficiencia estructural que resulta al usar la madera de pino de segunda clase, basta tomar los valores límite de resistencia: mínimo = 105 kg/cm^2 y máximo = 687 kg/cm^2 . Es fácil darse cuenta observando estos valores, que puede existir una diferencia de capacidad entre los elementos considerados en este grupo hasta de 6.5 veces, aproximadamente. De donde se deduce que tendríamos un rango de variación bastante considerable en la resistencia al comprar madera de pino de segunda clase, y que de considerarse para fines de diseño el valor mínimo de resistencia dado anteriormente, el desperdicio de material sería excesivo.

3.3.2. Seguridad estructural

Para calificar la seguridad estructural de los elementos de pino agrupados como de segunda clase, es necesario obtener un esfuerzo permisible de flexión para el grupo, -- que sirva de base segura de comparación.

En la determinación del esfuerzo permisible de-

flexión (f_{bp}) se empleó el criterio inglés que supone la probabilidad de falla de un elemento de 1 en 100 y un factor de seguridad de 2.25, el cual toma en cuenta el efecto de la duración de la carga.

La probabilidad de falla consideró la variabilidad del material estudiado, proporcionando un valor mínimo de resistencia. El factor de reducción, está afectado por un factor de seguridad y otro que toma en cuenta el efecto de duración de la carga.

Se escogió el criterio inglés en la determinación del esfuerzo permisible de flexión, dado que es más conservador que el proporcionado por las normas norteamericanas y por tanto más conveniente para nuestro medio, considerando las limitaciones que actualmente prevalecen en nuestro país. En otros países con mayor técnica y experiencia en el uso de la madera, como elemento estructural, los criterios para la obtención de los esfuerzos permisibles son menos conservadores.

Considerando los parámetros estadísticos dados anteriormente y el criterio inglés; el valor de esfuerzo permisible a flexión que se obtiene es el siguiente:

$$f_{bp} = \frac{\bar{x} - tS_x}{F.S.} \dots (6)$$

$$f_{bp} = \frac{296.21 - 2.33 (114.64)}{2.25}$$

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

donde:

- f_{bp} esfuerzo permisible a flexión
 \bar{x} promedio aritmético de los resultados
 t factor estadístico
 S_x desviación estándar de los resultados
 F.S. factor de seguridad

Por lo que para calificar la seguridad que existe al usar madera de pino de segunda clase, basta tomar el valor recomendado para el esfuerzo permisible en flexión por el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal -- (1966) que se tomó como base para este estudio y compararlo con el permisible que se obtuvo del análisis estadístico.

El valor base para flexión que recomienda el RCDF en cuestión es de 60 kg/cm^2 y recomienda para madera de segunda clase tomar el 70 por ciento de este valor, -- por lo que:

$$f_{b_{RCDF}} = 60 (1 - 0.3)$$

$$f_{bRCDF} = 42 \text{ kg/cm}^2$$

3.3.2.1. Seguridad estructural en cuanto a apariencia

Aún cuando los esfuerzos permisibles en un elemento estructural no hayan sido sobrepasados, en ciertos casos, una deflexión excesiva creará una situación de inseguridad; en otras situaciones creará problemas en los acabados, y una situación de alarma, aún cuando los elementos estructurales fueran seguros, por lo que se puede afirmar que una estructura no solo puede dejar de cumplir sus funciones al fallar estructuralmente, sino también al fallar visual o funcionalmente. Esto llevó a analizar estadísticamente los resultados de la tabla 1 en cuanto al módulo de elasticidad.

El RCDF 1966 solo reconoce un valor de módulo de elasticidad en flexión, pero no diferencia los criterios de diseño cuando un elemento actúa en forma aislada o cuando forma parte de un sistema constructivo. Es importante por lo tanto comparar el valor dado por el RCDF-1966 y los valores que corresponderían al módulo de elasticidad de un elemento aislado o un sistema constructivo el cual cuenta con elementos de varias rigideces.

El criterio inglés de diseño, define claramente

las dos situaciones anteriores y estadísticamente propone valores para los dos casos. Otros criterios de diseño -- proponen correcciones a las deflexiones permisibles, para hacer funcional un valor único del módulo de elasticidad; el valor medio.

Los valores del módulo de elasticidad que correspondían para los dos casos citados antes fueron obtenidos estadísticamente: el valor medio se obtuvo de -- las vigas ensayadas y el mínimo usando el criterio inglés por las mismas razones expuestas en la obtención del valor permisible del esfuerzo a flexión. Estos valores son:

$$E_{\text{medio}} = 78970 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_{\text{mínimo}} = E_{\text{medio}} - tS_x \dots (7)$$

$$E_{\text{mínimo}} = 78970 - 2.33 (21860)$$

$$E_{\text{mínimo}} = 28036 \text{ kg/cm}^2$$

donde:

- E módulo de elasticidad
- t factor estadístico
- S_x desviación estándar de los resultados

No aparece en este caso ningún factor de reducción en la obtención de el módulo de elasticidad, puesto-

qué para este caso no se consideran factores de seguridad.

Es importante tomar en cuenta para los valores mínimo y medio del módulo de elasticidad el efecto de duración de la carga. Por otro lado, el valor recomendado por el Reglamento de construcciones para el Distrito Federal de 1966 para la madera de segunda clase en estado verde ($CH > 30\%$), es el 60 por ciento del valor único correspondiente a la madera de primera clase:

$$E_{RCDF} = 79000 (1 - 0.4)$$

$$E_{RCDF} = 47400 \text{ kg/cm}^2$$

En el capítulo 5 se dan las conclusiones y recomendaciones correspondientes a los resultados obtenidos en este capítulo.

3.4. Valores recomendados por las Normas de Diseño y Construcción de Estructuras de Madera (Normas Técnicas Complementarias) del RCDF en vigor (1976) y comparación con las propiedades de algunas especies mexicanas.

Las Normas Técnicas Complementarias del RCDF definen a la densidad relativa de la madera (γ) como la relación de peso anhidro a volumen verde y dice que dichas -

disposiciones son aplicables a elementos estructurales de madera maciza de cualquier especie, cuya densidad relativa sea superior a 0.35 y da dos criterios para obtener -- los esfuerzos permisibles; uno para la madera clasificada por la Norma DGN C 18-46 tabla 8 y la otra para una -- clasificación visual tabla 9 ambas para condición verde - del elemento.

A continuación se presentan los valores de algunas especies mexicanas obtenidos de ensa~~y~~es de especíme-- nes libres de defectos, realizados por el Instituto de Investigaciones Forestales (INIF) pertenecientes a la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos antes Secretaría de Agricultura y Ganadería. Al comparar estos valo-- res con los dados por las Normas Técnicas Complementarias del RCDF 1976 vemos que:

- a) La mayoría de las especies mexicanas hasta ahora in-- vestigadas tienen una densidad relativa mayor que la míni-- ma ($\gamma = 0.35$) recomendada por dichas normas; por lo tan-- to pueden emplearse para fines de diseño ya que cumplen - con este requerimiento.

- b) Que los esfuerzos permisibles a flexión y compresión-- paralela al grano que se muestra en las tablas 10 y 11 son mayores que los recomendados por las Normas Técnicas Com--

plementarias tablas 8 y 9 . Por lo que puede deducirse - que los diseños que se obtengan con estas normas pueden - considerarse como conservadores, ya que los valores hasta ahora obtenidos muestran otra realidad.

c) En el caso del módulo de elasticidad se encuentra también que los valores obtenidos mediante ensayos son mayores que los recomendados por dichas normas, por lo tanto - al usar como base de diseño las Normas Técnicas Complementarias se obtienen también para este caso diseños conservadores.

4. CRITERIOS EXTRANJEROS DE CALIFICACION Y CLASIFICACION DE LA MADERA.

Para usar ventajosamente la madera para fines estructurales, sea de pino o de otra clase, debe estar calificada y clasificada en forma más precisa, considerando todas las características que reducen su resistencia. Estudios hechos en Estados Unidos, Canadá, Inglaterra y -- otros países, han demostrado que la resistencia de un elemento estructural depende en gran parte de los defectos que tienen, tales como nudos, inclinación de las fibras y otras causas que se mencionarán más adelante, así como de las dimensiones y posición de dichos defectos dentro de un elemento estructural.

4.1. Calificación estructural

Del estudio comparativo de la resistencia de especímenes sin defectos y especímenes con defectos, ha sido posible obtener la reducción de resistencia correspondiente a cada defecto. Al conocer la reducción de resistencia para cada defecto, se pueden calificar visualmente los elementos de tamaño estructural en relación a la resistencia de los elementos correspondientes sin defectos. En general, no existen a la fecha recomendaciones para -- considerar la influencia del tamaño de los elementos en -

la obtención de resistencias, por lo que se considerará - que dicha influencia puede desprejarse.

En otras palabras, el criterio tradicional de - calificación seguido en los países que usan la madera para fines estructurales se basa en una inspección visual - del material. De la inspección ocular y de las propiedades de resistencia del material libre de defectos, se puede calcular la resistencia del material con defectos sin tener que recurrir a ensayos destructivos de elementos es tructurales.

Con objeto de determinar la validez estructural de esos criterios extranjeros de calificación de la madera usada en nuestro país, se comparó la resistencia real de los elementos estudiados con la que se obtendría usando los criterios mencionados. La resistencia calculada - se basó en una inspección ocular haciendo uso de la Norma ASTM D 245-70 y el British Standard Code of Practice CP - 112 L.G. (tablas 3, 4, 5, 6 y 7).

La inspección visual se realizó antes del ensa- ye de los elementos y a continuación se hace mención de - cada uno de los defectos y de la forma en que se miden:

a) Nudos: La denominación de los nudos en piezas sometidas

das a flexión obedece a su localización sobre las caras - del elemento de que se trate; así, se puede mencionar -- que existen de canto, nudos de borde, y nudos centrales.- En la fig. 4 y 5 se muestran los diferentes tipos de nudo y su localización por zonas en una viga sometida a flexión, donde D es la dimensión que debe usarse para definir la calidad relativa del elemento. Si existen varios nudos, el que reduzca en mayor grado la capacidad del elemento, será el que se compare con las calidades relativas provenientes de considerar otros defectos existentes en el elemento en estudio.

No se permitirá la presencia de dos o más nudos de dimensión máxima en un mismo de 30 cm del elemento por calificar. Para vigas simplemente apoyadas, las dimensiones permisibles de los nudos en las zonas de canto y en las de borde fuera del tercio medio, se podrán incrementar al doble cuando estos estén en los extremos del elemento para posiciones intermedias, el incremento será proporcional.

b) Inclinación de las fibras: Se medirá como se indica en la fig 5. Para ello, se podrá usar un detector de fibras el cual consta de una manivela giratoria, un vástago metálico y una aguja soldada al extremo del mismo. Sin hacer presión excesiva deberá desplazarse la aguja paralelamente

lamente a las fibras.

La medición de la pendiente de las fibras se hará sobre una distancia suficientemente grande para determinar la pendiente general la cual se expresa como la tangente del ángulo, una pendiente expresada como 1:15 significa que el grano se desvía 1 cm. en una distancia de 15 cm.

De acuerdo con el tipo de desviación de las fibras se pueden distinguir los siguientes casos:

Grano diagonal: cuando las fibras de la madera presentan una inclinación con respecto a cualquier arista del elemento.

Grano espiral: cuando en un mismo elemento las fibras de la madera tienen inclinaciones diferentes en cualesquiera de sus caras, por lo que deberá medirse dicha inclinación en dos caras contiguas y obtener su promedio, el cual, definirá la pendiente que se tome en cuenta al calificar el elemento estructural.

Grano rebelde: cuando la desviación de las fibras es provocado por un crecimiento anormal del árbol. Es de fácil identificación, ya que las fibras presentan diferentes direcciones en una misma cara. Para califica-

ción del elemento estructural se toma únicamente la pendiente más crítica.

c) Fisuras y bolsas de resina: El efecto de las fisuras por lo regular aparece durante el proceso de secado, y su magnitud y frecuencia depende primordialmente de la especie, y precauciones que se tomen durante el proceso de secado cuando así lo requiera el elemento estructural. La causa principal de este defecto es la diferencia en contracciones que existe entre las direcciones radial y tangencial.

En el caso de flexión estática el efecto sobre la resistencia depende mucho de la localización de las grietas, ya que entre más cerca estén del plano neutro, donde el cortante es máximo, su efecto es mayor.

Las bolsas de resina consisten en cavidades que se forman entre los anillos de crecimiento, los cuales por lo regular contienen resina y en ocasiones también pedazos de corteza. El efecto sobre la resistencia depende de la abundancia, tamaño y localización de las cavidades en el elemento estructural. El efecto se puede comparar al provocado por fisuras. La medida de las fisuras se toma como la distancia entre líneas paralelas a las aristas.

En caso de que ocurran varias fisuras en una -- misma sección, se considera una sola fisura equivalente -- que será igual a la suma de las medidas de cada una de -- las fisuras. La medida de la profundidad de las fisuras -- que se presentan en la superficie de un miembro se deter -- minará introduciendo un calibrador o un alambre delgado -- de acero. La máxima medida de las fisuras en cualquier -- sección de un miembro será tomada como la magnitud del de -- fecto de la pieza.

d) Gema: la gema o parte faltante de la sección trans -- versal de un elemento, se mide como la proyección sobre -- la cara en que ocurra. La suma de las proyecciones de -- las gemas sobre cualquier cara, no será mayor que la dada -- por la tabla 7.

e) Porcentaje de crecimiento: está medida por el número de anillos de crecimiento, contados sobre la sección trans -- versal del elemento que quedan comprendidos en una recta, perpendicular a estos, de 5 cm de longitud. En caso de -- quedar comprendida la médula o centro del árbol en la sec -- ción transversal, la medición de los anillos se hará ale -- jada del centro cuando menos 3 cm.

Cabe hacer mención que durante los ensayos, fue -- ron los defectos los que definieron la calidad relativa --

de los elementos y los que propiciaron inicialmente la falla de estos. De la inspección ocular se obtuvo la calidad relativa del material, ver tabla 2. A continuación se determinó una expresión en función de la densidad relativa del material correspondiente, libre de defectos. La expresión obtenida representa la curva que mejor relaciona las resistencias medias a flexión (módulos de rotura) con las densidades relativas del material. Para este efecto se emplearon 42 pares de valores correspondientes a especies conocidas de pino, unas nacionales y otras extranjeras. La expresión que se obtuvo es:

$$M.R._B = 1400 \gamma^{1.25} \text{ ----- (8)}$$

donde: $M.R._B$ módulo de rotura de para elementos --
sin defectos en kg/cm^2

γ Densidad relativa de la madera con base en su peso anhidro y su volumen a contenidos de humedad superiores al 30 por ciento.

Las resistencias aproximadas de los elementos correspondientes sin defectos (MR_B) se presentan en la tabla 2.

Las resistencias calculadas (MR_C) correspondien

tes a los elementos estudiados se obtuvieron del producto de la resistencia relativa, en porcentaje, por el valor respectivo dado por la ec 8. En la tabla 2 se muestran estos valores.

4.2. Clasificación estructural

La clasificación estructural de la madera para fines comerciales no se realiza con uniformidad en todos los países que la utilizan racionalmente. En Estados Unidos y Canadá se han definido los grupos comerciales en función de dimensiones máximas para los defectos; en otros, como Inglaterra, se han definido los grupos comerciales en función de ciertas calidades estructurales relativas a maderas sin defectos, a las que corresponden ciertas dimensiones máximas para los mismos. El último procedimiento para definir comercialmente la madera es más objetivo y proporciona grupos con características estructurales mejor definidas, que cuando se emplean otros procedimientos, por lo que a la fecha se le prefiere en países que comienzan a racionalizar el uso constructivo de la madera. en la construcción.

Para simplificar la clasificación estructural, se han escogido 4 grupos de resistencias: V-40, V-50, V-60 y V-75. Cada grupo indica el porcentaje mínimo de -

resistencia de sus elementos asociados; así, el grupo de nominado V-40 representa aquellos elementos cuyas resistencias relativas obtenidas de inspecciones visuales van del 40 al 49 por ciento; V-50 aquellos que van del 50 al 59 por ciento V-60 aquellos cuyas resistencias relativas van del 60 al 74 por ciento, y V-75 aquellos cuyas resistencia relativas son superiores al 75 por ciento.

4.3. Ejemplo

Se presenta un ejemplo para aclarar las ideas expuestas en este capítulo. Considérese que se tiene la viga mostrada en la fig 11 cuyo contenido de humedad es superior al 18 por ciento.

La condición de carga es permanente. La calidad estructural relativa a un elemento semejante sin defectos, se obtiene de una inspección ocular con base en la Norma ASTM D 198-65:

<u>Defectos</u>	<u>Dimensión (D) cm</u>	<u>Porcentaje de calidad relativa.</u>
-----------------	-------------------------	--

1) Nudos:

en la zona de canto	2.5	60
en la zona central	4.0	75
en la zona de borde	6.5	menor de 40

2) **Inclinación de las fibras:**

1:10	60
------	----

3) **Fisuras:**

2.5/5 de la cara de apoyo	40
------------------------------	----

4) **Porcentaje de crecimiento:**

12 anillos/5 cm.	60
------------------	----

5) **Gema:**

Máxima: 1/4 de la cara de apoyo	40
------------------------------------	----

La calidad mínima relativa resultante de la inspección visual es menor del 40 por ciento, que es el límite menor recomendado. La calidad obtenida mediante la norma Norteamericana es aproximadamente 33 por ciento. Este porcentaje indica la porción de resistencia a partir de la que le correspondería sin defectos.

Para determinar los esfuerzos permisibles del elemento en estudio, es necesario determinar la resistencia del mismo, si no tuviera defectos. En teoría, este paso debe ser anterior a la calificación del elemento estructural, ya que sin conocer las propiedades de resisten

cia de la madera libre de defectos no es posible determinar la resistencia correspondiente a la madera con defectos; sin embargo, se puede hacer uso de expresiones aproximadas para tal determinación, debido a que se estudia una especie todavía desconocida, entonces su determinación no obedece a ninguna secuencia fija de análisis. De acuerdo con lo anterior, se considerarán las fórmulas -- aproximadas aplicables para este caso, que aparecen en el capítulo de recomendaciones.

Para flexión y tensión: $R_1 = 1400 \gamma^{1.25}$

Para compresión perpendicular a las fibras: $R_2 = 160 \gamma^{2.0}$

Para cortante: $R_3 = 190 \gamma^{1.25}$

Módulo de elasticidad

en flexión: $E_{\text{medio}} = 140,000 \gamma^{0.69}$

Considerando estas expresiones y una densidad relativa calculada de 0.4, las propiedades de resistencia de esta viga libre de defectos serían las siguientes:

$$R_1 = 445.35 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_2 = 25.60 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_3 = 60.44 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 74395.97 \text{ kg/cm}^2$$

Conociendo los valores medios de resistencia para la madera sin defectos, se pueden conocer los valores-permisibles para esta (esfuerzos básicos), haciendo uso - de los factores de reducción dados en el capítulo 5.

$$f_{B_b} = 0.28 \times 445.35 = 124.70 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{B_c} = 0.50 \times 25.60 = 12.80 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{B_v} = 0.19 \times 60.44 = 11.48 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_{\text{med. flex.}} = 1.0 \times 74396 = 74396 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_{\text{min flex.}} = 0.50 \times 74395.97 = 37197.98 \text{ kg/cm}^2$$

Cabe mencionar que, de acuerdo con los estudios llevados a cabo en las maderas nacionales, las pertenecientes a la especie pino, tienen valores de densidad relativa superiores a 0.40, ver tabla 10.

Con los datos obtenidos anteriormente, ya es posible obtener los esfuerzos permisibles correspondientes al elemento estructural en estudio. Estos se presentan a continuación:

Para flexión y tensión:

$$f_{b_p} = f_{t_p} = 0.33 \times 124.70 \\ = 41.15 \text{ kg/cm}^2$$

Para compresión normal a las fibras:

$$f = 0.75 \times 12.80 = 9.60 \text{ kg/cm}^2$$

Para cortante:

$$f_{v_p} = 0.33 \times 11.48 = 3.79 \text{ kg/cm}^2$$

Es importante mencionar que solo se consideró el porcentaje mínimo de la calificación visual, 33 por ciento en la determinación de los esfuerzos permisibles, ya que en la práctica, al calificar la madera, solo se registra el porcentaje mínimo para cada elemento.

Este elemento correspondería a un grupo estructural con resistencias inferiores al 40 por ciento, que no sería conveniente usar, por lo que conviene desecharlo.

Los esfuerzos permisibles que le corresponderían a este elemento, que sería de segunda clase según la Norma C 18-46 DGN, de acuerdo al RCDF, 1966 serían:

$$f_{b_p} = 60 \times 0.7 = 42 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{n_p} = 7 (1.0 - 0.30 - 0.33) = 2.59 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{v_p} = 10 \times 0.7 = 7 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 79000 (1.0 - 0.30 - 0.10) = 47400 \text{ kg/cm}^2$$

De la comparación de los dos grupos de esfuerzos permisibles, se puede ver claramente que el recomendado por el RCDF 1966 resulta inseguro para este caso. Para otros casos los esfuerzos recomendados por el RCDF pueden resultar en exceso conservadores, afectando por ende la economía de las obras.

5. COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

COMENTARIOS

De el análisis de todas las consideraciones expuestas en el desarrollo del presente trabajo se derivan los siguientes comentarios:

La madera juega un papel primordial en la búsqueda de materiales de Construcción económicos ya que podría aprovecharse de que es un material renovable, y quizás esto podría ayudar a abatir costos de fabricación tan altos de materiales como el acero o el concreto, porque además hay que tener en cuenta que las materias primas para fabricarlos cada vez escasea más y en un futuro no muy lejano quizás puedan ser sustituidos por otro tipo de materiales, quizás sintéticos, pero que de una u otra forma sean de un elevado precio unitario.

Para lograr su mejor aprovechamiento es necesario continuar con la realización de programas de investigación que permitan conocer las propiedades físico-mecánicas de la madera de las especies más abundantes en nuestro país.

La necesidad de contar con un material bien cla

sificado para la optimización de los diseños de estructuras de madera debe conducir a la Dirección General de Normas de la S.I.C. a actualizar las existentes y expedir -- nuevas normas que hagan de la madera un material de construcción más eficiente de lo que ha sido hasta ahora.

Cualquier forma de clasificación de la madera - que no considere todos los defectos que influyen en la resistencia de un elemento, no tiene validez para su utilización estructural.

CONCLUSIONES

Considerando los análisis hechos anteriormente, se puede afirmar que la madera de pino clasificada como - de segunda de acuerdo con la Norma C 18-46 de la DGN, no es adecuada para fines estructurales, ya que no considera todos los defectos o características que afectan las propiedades mecánicas de la madera. Aún cuando este estudio solo abarcó una clase de madera de pino, esta conclusión- puede ampliarse a las demás clases y especies, si los criterios de clasificación son los mismos.

La norma oficial de clasificación, Norma DGN C 18-46, solo da por resultado grupos de madera con características indefinidas.

De la comparación de esfuerzos permisibles, se tiene que el recomendado por el RCDF 1966 (42 kg/cm^2) es mayor que el obtenido estadísticamente (13 kg/cm^2) por lo que se puede inferir que el valor recomendado por el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal 1966 es inseguro cuando se aplica a este grupo de maderas.

De la comparación del valor del módulo de elasticidad dado por el RCDF 1966 y los valores obtenidos estadísticamente se tiene que:

a) El valor recomendado por el RCDF 1966 (47400 kg/cm^2) es superior al valor mínimo estadístico (28000 kg/cm^2), por lo que se considera que este valor no es confiable, si se toma como valor base de diseño.

b) El valor recomendado por el RCDF 1966 (47400 kg/cm^2) es inferior al valor medio estadístico (79000 kg/cm^2) que si se tomara como el valor de diseño se obtendrían diseños conservadores.

Resumiendo: Los esfuerzos permisibles y el módulo de elasticidad dados por el RCDF 1966 no son adecuados cuando se aplican a la madera de pino clasificada como de segunda, ya que en unos casos resultan inseguros y en otros conservadores.

La validez de los criterios extranjeros de clasificación está en función de la relación que existe entre los valores de resistencia reales (obtenidos en los ensayos) y los calculados mediante la ec. 8. Se debe tomar en cuenta que dicha ec. 8 usada en la determinación de la resistencia del material sin defectos es aproximada ya que se obtuvo del promedio de la resistencia de madera sin defectos de 42 especies conocidas de pino y que al comparar los valores reales, con los calculados mediante la ec. 8 como se muestra en la tabla 2 se obtuvo un 80 por ciento del promedio de la resistencia; de lo anterior se deduce que la aproximación obtenida es buena y que los criterios extranjeros de clasificación estructural son válidos para las maderas nacionales.

Se hace hincapié en que lo concluido se refiere únicamente al uso estructural de la madera clasificada por métodos tradicionales, no se refiere a otros usos.

RECOMENDACIONES

Debido a que la madera clasificada por la Norma DGN C 18-46 no garantiza economía y seguridad para las obras con esta integradas, a continuación se dan algunas recomendaciones para la determinación aproximada de los esfuerzos permisibles de maderas cuyas propiedades mecáni

cas se desconocen.

Expresiones para obtener la resistencia y el módulo de elasticidad aproximados para la madera de cualquier especie con contenidos de humedad superiores al 18 por ciento en función de la densidad relativa:

En flexión y tensión $R_1 = MR = 1400 \gamma^{1.25} \text{ ---- (9)}$

En compresión paralela a las fibras $R_2 = 670 \gamma^{1.25} \text{ ---- (10)}$

En compresión perpendicular a las fibras $R_3 = 160 \gamma^{2.0} \text{ ---- (11)}$

En cortante $R_4 = 190 \gamma^{1.25} \text{ ---- (12)}$

Módulo de elasticidad $E_{\text{medio}} = 140000 \gamma^{0.69} \text{ ---- (13)}$

Estas expresiones recomendadas como ayuda de diseño, fueron obtenidas de datos de resistencia medias de 290 especies forestales; unas extranjeras, otras nacionales, ver figs. 6,7,8,9 y 10.

Las 290 especies mencionadas incluyen datos de gimnospermas o coníferas y angiospermas o de hojas caduca, por lo que estas expresiones pueden ser aplicadas a ambos grupos de especies indistintamente. Se desea aprovechar totalmente la resistencia de una especie dada, se recomienda recurrir a los centros de investigaciones forestales, para su identificación y estudio.

El siguiente paso es determinar los valores permisibles correspondientes para maderas sin defectos; para ello hay que afectar las ecs. 9, 10, 11, 12 y 13. por los siguientes factores:

Para flexión y tensión	0.28
Para compresión paralela a las fibras	0.37
Para compresión perpendicular a las fibras	0.50
Para cortante	0.19
Módulo de elasticidad	0.50 E_{medio}

Una vez calculados estos valores para madera estructural sin defectos (esfuerzos básicos), queda por con

siderar el efecto reductor de las características naturales como nudos, desviación del grano, fisuras, etc. La cantidad de resistencia sustraída por un defecto dado está en función tanto de su magnitud como de la posición -- que ocupa dentro del elemento estructural, como en el caso de los nudos.

Para obtener la resistencia aproximada de elementos estructurales con contenidos de humedad inferiores al 18 por ciento, se incrementarán los valores de resistencia dados por la ecs. como sigue:

Para flexión y tensión	10 por ciento
Compresión paralela a las fibras	20 por ciento
Compresión perpendicular a las fibras	50 por ciento
Módulo de elasticidad	10 por ciento

Para efectos de diseño regirá el Reglamento de construcciones para el Distrito Federal y las Normas de Diseño y Construcción de Estructuras de Madera (Normas -- Técnicas Complmentarias) ver tablas 6, 7, 8 y 9.

Debido á que todavía se clasifica la madera de acuerdo a la Norma DGN C 18-46, podrán tomarse como ayuda de diseño las Normas ASTM D 245-70 para la medición de los defectos y el Reglamento Británico para la obtención de esfuerzos permisibles y el módulo de elasticidad.

APENDICE A

FIGURAS

**INSTITUTO DE INGENIERIA
SECCION DE PRUEBAS DEL LABORATORIO DE MATERIALES**

REGISTRO DE FLEXION ESTATICA

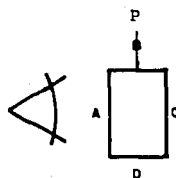
VIGA # _____ BASE _____ ALTURA _____ FECHA _____
 ESPECIE _____ LOCALIDAD _____ TIPO DE MADERA _____
 CH (con higrómetro) _____ CH _____ x 100 _____
 PESO A LA HORA DEL ENSAYE _____ g PESO SECO _____ g
 DENSIDAD _____ g/cm³ LONGITUD ENTRE APOYOS _____ cm
 TIPO DE CARGA _____ VELOCIDAD DE CARGA _____ cm/min
 CARGA EN EL LIMITE ELASTICO _____ kg CARGA MAXIMA _____ kg
 TDL _____ OPERADOR _____
 FLECHA _____ mm DURACION DE LA PRUEBA _____

LECTURAS CARGA- DEFORMACION

P, en kg	Δ	Δ, en mm	P, en kg	Δ	Δ, en mm	P, en kg	Δ	Δ, en mm

Fig. 1 Hoja de registro de carga-deformación.

VIGA No.	NUDOS en cm.		PENDIENTE DEL GRANO	BOLSAS DE RESINA O RAJADURAS	ARISTAS FALTANTES	ATAQUE DE PLAGA	PROMEDIO DE AMILLOS DE ONCEMS TO POR cm.	GRADO ESTRUCTU RAL.	
	EN EL CANTO	DE CARA							
		EN LA LINEA DE LA CARA							EN EL BORDE DE LA CARA



CARA "A"

CARA "B"

CARA "C"

CARA "D"

Fig. 2 Hoja de registro de defectos

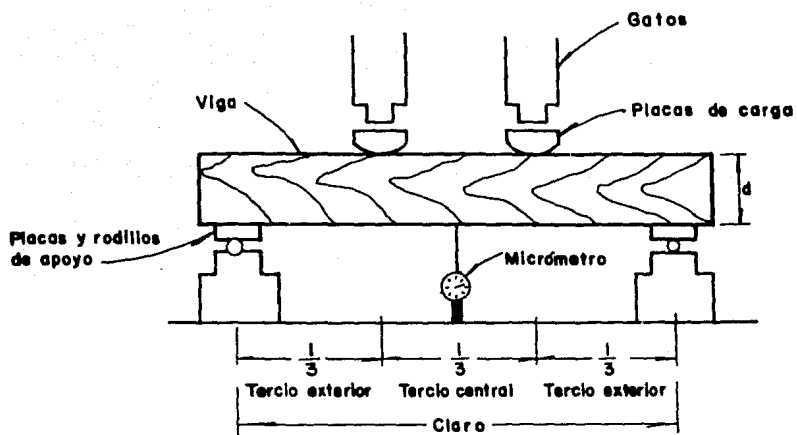


Fig. 3 Esquema de los elementos utilizados en los ensayos.

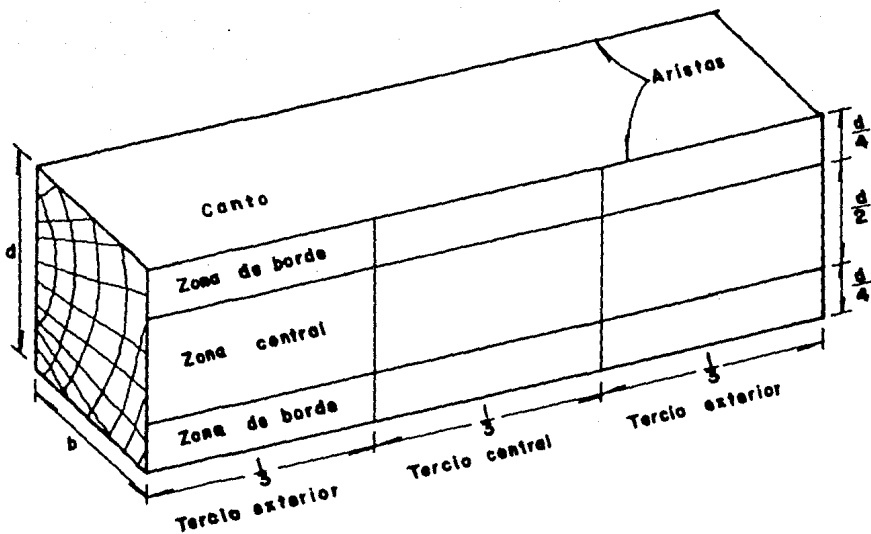


Fig. 4 Zonas de localización de nudos en un elemento sujeto a flexión.

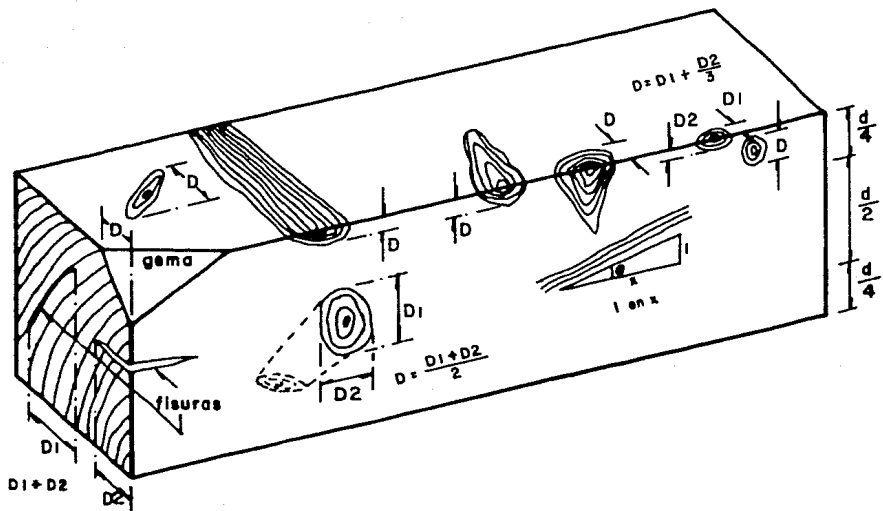


Fig. 5 Medición de nudos, desviación de grano, gema, velocidad de crecimiento y fibras.

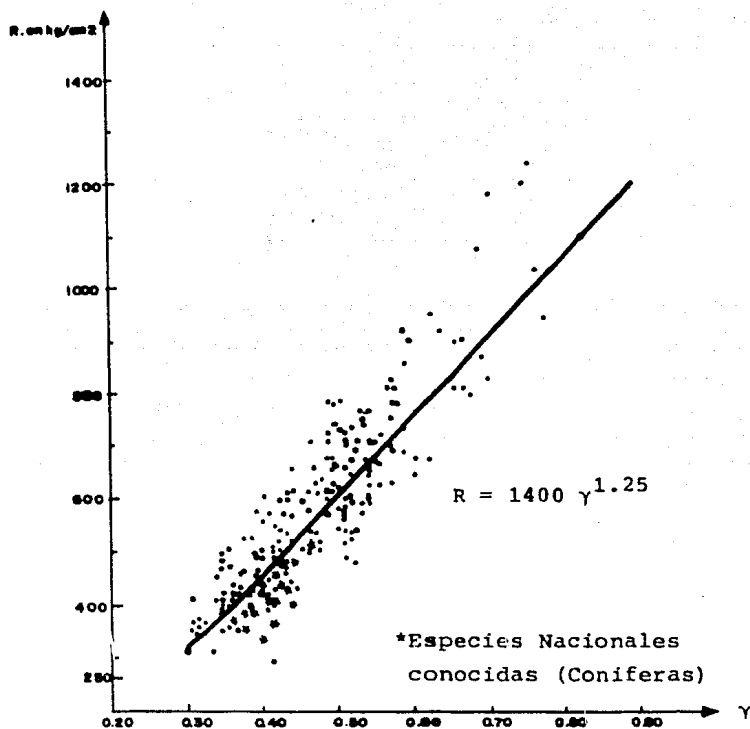


Fig. 6 Flexión y tensión paralela al grano.

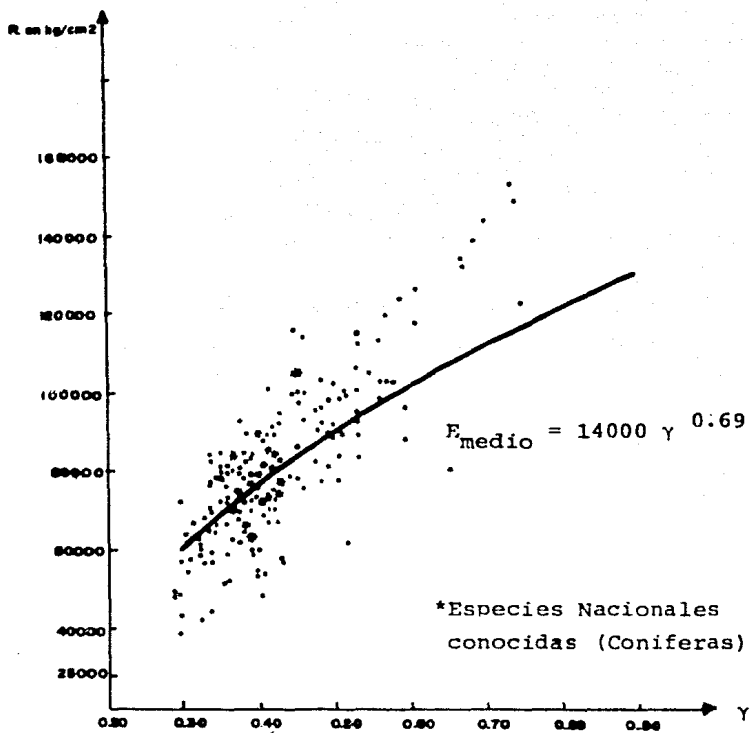


Fig. 7 módulo de elasticidad.

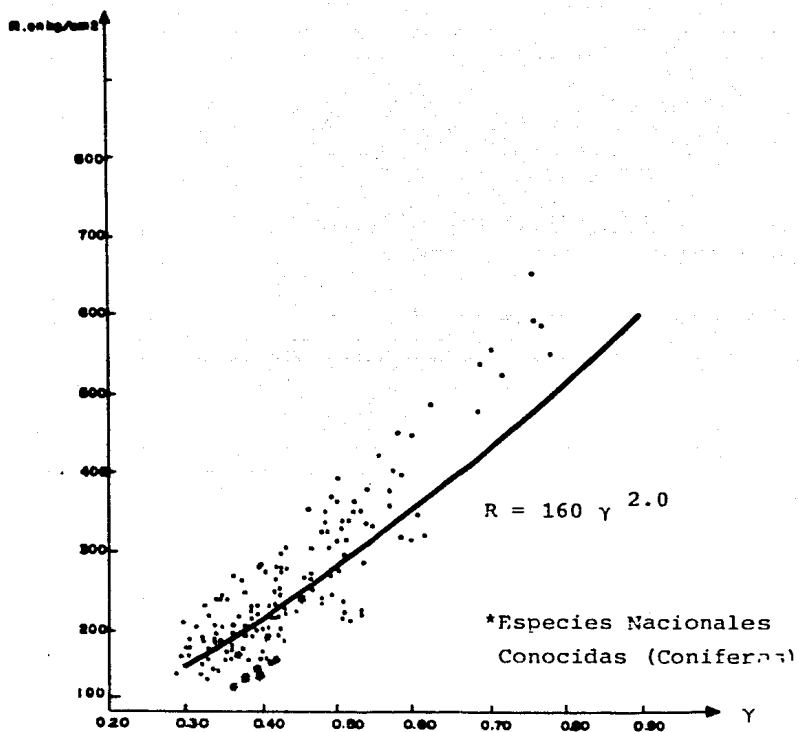


Fig. 8. Compresión y paralela al grano.

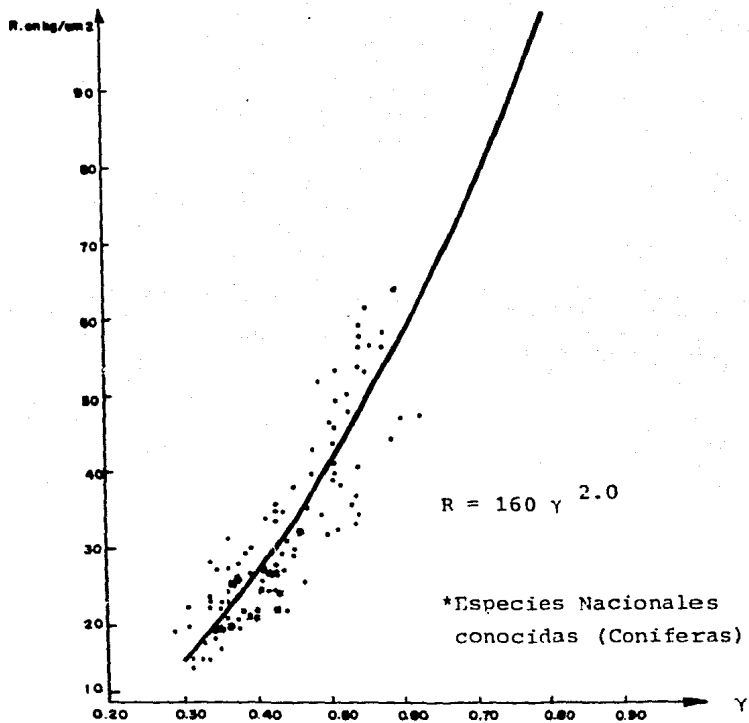


Fig. 9 compresión perpendicular al grano.

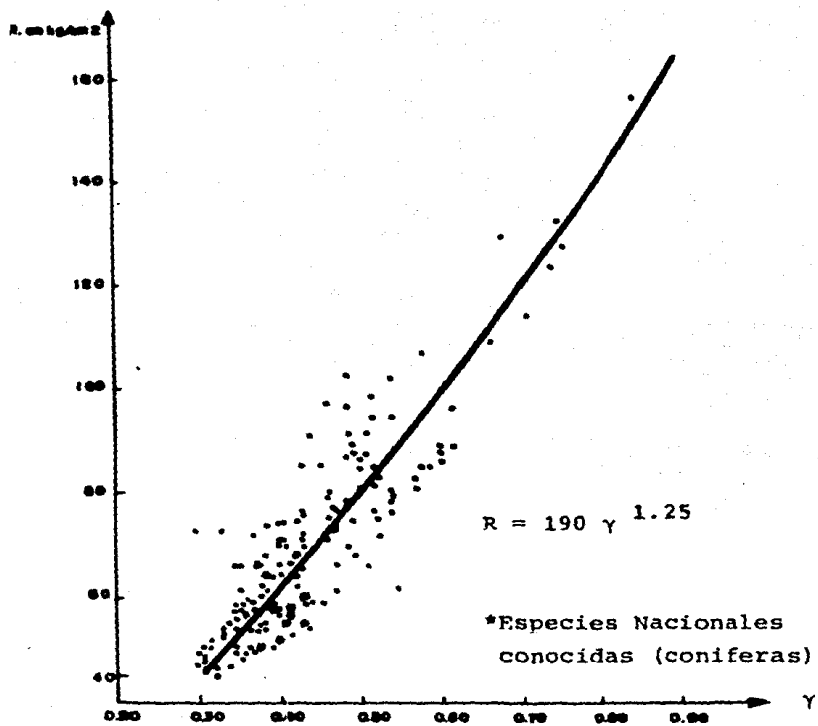


Fig. 10 cortante paralelo al grano

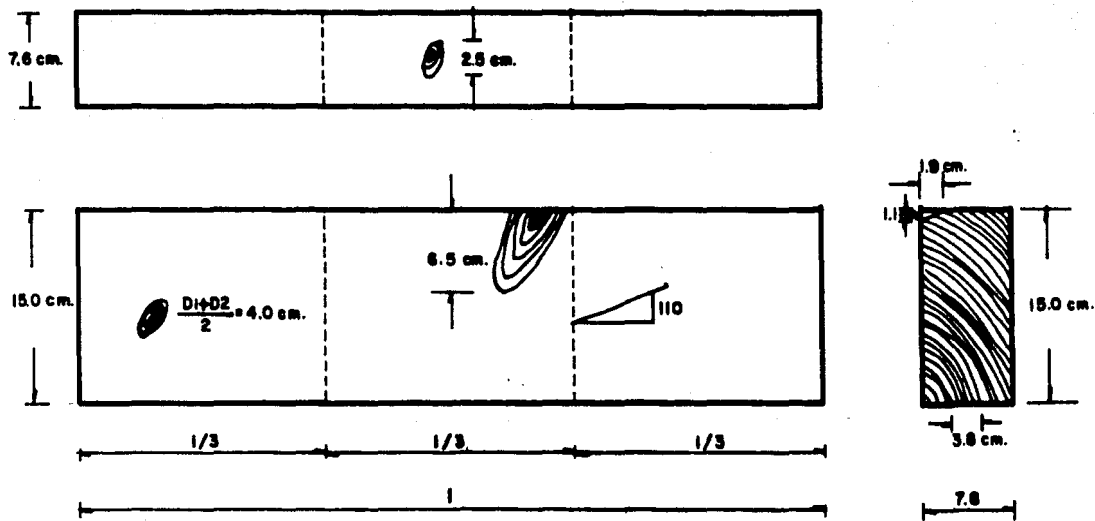


Fig. 11 Viga ejemplo

APENDICE B

TABLAS

TABLA 1. RELACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS 33 VIGAS ESTUDIADAS.

Viga No	Módulo de rotura, MR, en kg/cm ²	Módulo de elasticidad E, en kg/cm ²	Gravedad específica	Contenido de humedad del ensaye (en porcentaje)
1	221.90	92 834	0.51	42
2	335.23	134 129	0.58	46
3	468.83	117 993	0.56	56
4	251.91	56 077	0.46	42
5	231.35	60 710	0.54	38
6	409.97	85 006	0.54	43
7	484.28	59 177	0.56	33
8	463.02	112 729	0.57	42
9	221.43	93 064	0.47	43
10	326.87	73 940	0.47	42
11	304.46	84 973	0.38	37
12	125.59	56 447	0.50	44
13	364.36	101 852	0.55	44
14	687.20	130 171	0.60	34
15	198.75	63 769	0.47	69
16	297.94	72 172	0.40	60
17	365.30	99 608	0.40	45
18	243.80	75 891	0.45	36

<u>Viga No</u>	<u>Módulo de rotura, MR, en kg/cm²</u>	<u>Módulo de elasticidad E, en kg/cm²</u>	<u>Gravedad específica</u>	<u>Contenido de humedad del ensaye (en porcentaje)</u>
19	315.05	58 958	0.48	39
20	244.41	81 177	0.40	33
21	293.32	79 085	0.46	51
22	330.22	67 818	0.43	33
23	295.23	76 540	0.48	32
24	318.19	83 729	0.42	87
25	178.00	53 133	0.39	96
26	265.22	77 451	0.42	61
27	135.57	61 991	0.48	67
28	268.54	84 157	0.50	56
29	219.99	60 663	0.34	80
30	267.47	76 475	0.43	68
31	260.57	60 392	0.32	83
32	274.54	68 578	0.43	35
33	105.35	45 205	0.38	63

TABLA 2. RESISTENCIAS REALES Y CALCULADAS DE FLEXION DE LAS 33 VIGAS ESTUDIADAS

Viga No	Resistencia real, MR, en kg/cm ²	Resistencia relativa en porcentaje	Resistencia de los elementos sin defectos, MR _B , en kg/cm ²	Resistencia calculada, MR _C , en kg/cm ²
1	221.90	40	503.38	241.35
2	335.23	49	708.62	347.22
3	468.83	65	678.21	440.83
4	251.91	33	530.37	175.02
5	231.35	33	648.07	213.86
6	409.97	64	648.07	414.76
7	484.28	74	678.21	501.87
8	463.02	76	693.38	526.97
9	221.43	37	544.82	201.58
10	326.87	63	544.82	343.23
11	304.46	22	417.69	91.89
12	125.59	18	588.63	105.95
13	364.36	55	663.10	364.71
14	687.20	100	739.29	739.29
15	198.75	41	544.82	217.93
16	297.94	76	445.35	236.04
17	366.30	93	445.35	445.17

Viga No	Resistencia real, MR, en kg/cm ²	Resistencia relativa en porcentaje	Resistencia de los elementos sin defectos, MR _B , en kg/cm ²	Resistencia calculada, MR _C , en kg/cm ²
18	243.80	53	515.99	175.44
19	315.05	64	559.34	274.08
20	244.41	29	445.35	129.15
21	293.32	64	530.37	339.43
22	330.22	30	487.49	146.24
23	295.23	68	559.34	380.35
24	318.19	66	473.36	312.42
25	178.00	37	431.48	159.64
26	265.22	52	473.36	246.14
27	135.57	30	559.34	167.80
28	268.54	37	588.63	217.79
29	219.99	43	363.48	156.29
30	267.47	69	487.49	336.06
31	260.57	65	336.95	219.01
32	274.54	48	487.69	234.00
33	105.35	8	417.69	33.41

TABLA 3. FACTOR, EN PORCENTAJE, APLICABLE A LOS ESFUERZOS BASICOS PARA INCLINACION DE LAS FIBRAS, A LO LARGO DEL ELEMENTO, EN ELEMENTOS SUJETOS A FLEXION O TENSION Y A COMPRESION

<u>Inclinación de las fibras</u>	<u>Flexión y tensión</u>	<u>Compresión</u>
1:6	53	56
1:8	61	66
1:10	69	74
1:12	74	82
1:14	76	87
1:15	80	100
1:16	85	100
1:18	100	100

TABLA 4. FACTOR, EN PORCENTAJE, APLICABLE A ESFUERZOS BASICOS, PARA GEMA, A LO LARGO DEL ELEMENTO, EN ELEMENTOS SUJETOS A FLEXION

<u>Cantidad de gema, en porcentaje</u>	<u>Factor, en porcentaje</u>
13	75
13	65
25	50
25	40

TABLA 5. FACTOR, EN PORCENTAJE, APLICABLE A ESFUERZOS BASICOS, PARA VELOCIDAD DE CRECIMIENTO EN CUALQUIER ELEMENTO

<u>Número de anillos de crecimiento</u>	<u>Factor, en porcentaje por 5 cm</u>
16	75
12	65
8	50
8	40

TABLA 6. DIMENSIONES MAXIMAS PERMISIBLES DE LOS NUDOS PRESENTES EN UN ELEMENTO ESTRUCTURAL, EN CM

Dimensión nominal de la cara considerada	Nudos en el canto y en la zona central para elementos en flexión y en cualquier cara para elementos en compresión				Nudos en la zona de borde para elementos en flexión y en cualquier cara para elementos en tensión.			
	cm (pulg)	V-40	V-50	V-65	V-75	V-40	V-50	V-65
2.5 (1)	2.0	2.0	1.5	1.0	1.0	0.5	-	-
3.8 (1 1/2)	3.0	2.5	2.0	1.0	1.5	1.0	0.5	-
5.0 (2)	3.5	3.0	2.0	1.5	2.0	1.5	1.0	0.5
6.5 (2 1/2)	4.5	4.0	2.5	2.0	2.5	2.0	1.5	1.0
7.5 (3)	5.0	4.5	3.0	2.0	3.0	2.5	1.5	1.0
9.0 (3 1/2)	5.5	5.0	3.5	2.5	3.5	2.5	2.0	1.5
10.0 (4)	6.5	6.0	4.0	3.0	3.5	3.0	2.0	1.5
13.0 (5)	7.5	7.0	5.0	3.5	4.5	4.0	2.5	2.0
15.0 (6)	9.0	8.0	6.0	4.0	5.5	5.0	3.0	2.5
20.0 (8)	11.0	9.0	6.5	4.5	7.5	6.5	4.0	3.0
25.5 (10)	13.0	10.0	7.0	5.0	9.5	8.0	5.0	3.5
30.5 (12)	14.0	11.0	7.5	5.5	11.0	9.0	6.5	4.5
35.5 (14)	15.0	12.0	8.0	6.0	12.5	10.0	7.0	4.5

Notas:

1. Para otras medidas pueden hacerse interpolaciones lineales.
2. La calidad V-100 correspondería a madera sin defectos.
3. No se permitirá la presencia de dos o más nudos de dimensión máxima en un mismo tramo de 30 cm; además, la suma de las dimensiones de todos los nudos para dicho tramo no excederá al doble de la dimensión del nudo máximo.
4. Para elementos simplemente apoyados sujetos a flexión, las dimensiones máximas para los nudos en las zonas de canto y de borde fuera del tercio medio podrán incrementarse hasta un 100 por ciento en los extremos; para posiciones intermedias, el incremento será proporcional.

TABLA 7. LIMITACIONES A LOS DEFECTOS PARA CALIDADES V-75, V-65, V-50, Y V-40.

TIPO DE DEFECTO	CALIDAD V-75	CALIDAD V-65	CALIDAD V-50	CALIDAD V-40
Velocidad de crecimiento (mínima)	16 anillos/5 cm	12 anillos/5 cm	8 anillos/5 cm	8 anillos/5 cm
Fisuras o grietas (máxima proyección sobre cada cara) y bolsas de resina	1/4 de la cara considerada	1/3 de la cara considerada	1/2 de la cara considerada	3/5 de la cara considerada
Desviación de la fibra (no mayor de)	1 en 14	1 en 11	1 en 8	1 en 6
Gema en cada cara (no mayor de)	1/8 de la cara considerada	1/8 de la cara considerada	1/4 de la cara considerada	1/4 de la cara considerada

**TABLA 8. ESFUERZOS PERMISIBLES (NORMA DGN C 18-46)
en kg/cm²; condición verde**

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

TABLA 9. ESFUERZOS PERMISIBLES (CLASIFICACION VISUAL)
en kg/cm²; condición verde

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

TABLA 10. RESULTADO DE ENSAYES DE FLEXION ESTATICA REALIZADOS
BAJO CONDICION VERDE

E S P E C I E	E S F U E R Z O				DENSIDAD
	DE RO- TURA.	AL LIMITE DE PROPOR CIONALIDAD	PERMISI BLE.	MODULO DE ELASTICIDAD	RELATIVA (γ)
1) Pinus leiophylla	398	224	149	62 000	0.46
2) Pinus arizonica	415	251	133	83 500	0.50
3) Pinos Chihuahua	474	284	171	75 200	0.52
4) Pinus Cooperi	349	205	101	89 300	0.44
5) Pinus douglasiana	433	274	127	78 900	0.45
6) Pseudo bombax ellipticom	224	133	58	25 900	0.34
7) Pinus Duranguen sis	450	264	126	90 200	0.56
8) Pinus Michoacana (cornuta)	511	295	123	76 400	0.45
9) Pinus Lacusoni	507	325	170	76 600	0.51
10) Lysiloma baha- mensis	671	367	187	86 600	0.60

Valores a un contenido de humedad de 15%.

TABLA 11. RESULTADOS DE ENSAYES DE COMPRESION PARALELA-
AL GRANO BAJO CONDICION VERDE.

ESPECIE	E S F U E R Z O			MODULO DE ELASTI CIDAD.
	DE RO- TURA.	LONGITUDINAL DE PROPC.	PERMI SIBLE	
1) Pinus leiophylla	140	104	78	88 600
2) P. Cooperi	124	93	35	131 000
3) P. cooperi (ornelasi)	147	106	88	133 000
4) P. arizonica	156	95	54	100 000
5) P. duranguensis	166	114	90	111 500
6) P. duranguensis (quinquefoliat)	163	139	63	65 500

Valores a un Contenido de humedad del 15%

B I B L I O G R A F I A

1. Echenique Manrique, R. "Características de la madera y su uso en la Construcción". Biblioteca del -- Constructor, # 13. Serie Maderas de México. Cámara Nacional de la Industria de la Construcción. México D.F. (1971)
2. Echenique Manrique, R. y Díaz Gómez, V. "Algunas características tecnológicas de la madera de once especies mexicanas". Boletín Técnico No. 27. Instituto - Nacional de Investigaciones Forestales. México, D.F. (1969)
3. Diario Oficial (9 de febrero de 1966). "Reglamento- de Construcciones para el Distrito Federal", México, D.F. (1966)
4. Martínez Domínguez, L. "Madera para fines estructura les". Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería -- UNAM. México, D.F. (1972).
5. Norma oficial de calidad para tablonés de ocote; DGN

C 18-46 Secretaría de Industria y Comercio, México,-
D.F. (1946).

6. "Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal". México, D.F. (1976)
7. "Diseño y Construcción de Estructuras de Madera" --
(Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de -
Construcciones para el Distrito Federal). Instituto
de Ingeniería, UNAM. México, D.F. (1977)
8. Annual Book of ASTM Standards. Part 16. Wood, Adhe-
sives. American Society for Testing and Materials.
(1973)
9. The Structural use of Timber. A Commentary on the -
British Standard Code of Practice CP 112 L.G. Booth &
P.O. Reece E. & F.N. Spoon Ltd., Londres. (1972)
10. Timber Construction Manual. Canadian Institute of --
Timber Construction. A Manual for Architects and En-
gineers, Ottawa. (1963)
11. Gracia-García Sánchez, J.A., Fuentes Zenón, A. "Algu-
nos aspectos del dimensionamiento de Estructuras de-
Madera". Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería
UNAM. México, D.F. (1974)