

METODOLOGIA PARA LA OBTENCION DE ESFUERZOS
PERMISIBLES EN MADERA



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades

METODOLOGIA PARA LA OBTENCION DE ESFUERZOS
PERMISIBLES EN MADERA


HUGO FERNANDO BETHANCOURT FAJARDO

Trabajo de investigación presentado para optar
al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Civil

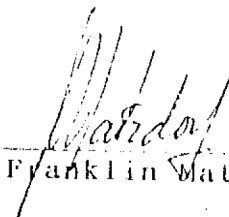
Guatemala

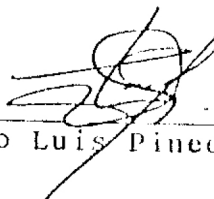
1995


Vo. Bo. :

(f) 
Ingeniero Franklin Matzdorf Monroy
Asesor

Tribunal:

(f) 
Ingeniero Franklin Matzdorf Monroy

(f) 
Ingeniero Luis Pineda Del Cid

(f) 
Ingeniero Milton Matus Izaguirre

Fecha de aprobación: 05 de noviembre de 1993.

DEDICO ESTE TRABAJO A:

DIOS

MIS PADRES

MIS HERMANOS

ILEANA PAEZ DE BETHANCOURT

ING. FRANKLIN MATZDORF

CATEDRATICOS DE LA UVG

CONTENIDO

| | | Páginas |
|------|--|---------|
| | LISTA DE GRAFICAS | X |
| | LISTA DE CUADROS | XII |
| | SINBOLOGIA | XIII |
| | RESUMEN | |
| I. | INTRODUCCION | 1 |
| II. | ENFOQUES DE DISEÑO | 2 |
| | A. Objetivos del diseño estructural | 2 |
| | 1. Método de esfuerzo permisible | 4 |
| | 2. Método plástico | 5 |
| III. | CLASIFICACION DE ESFUERZOS | 6 |
| | A. Madera clasificada por esfuerzo permisible y propiedades limite | 6 |
| | 1. Esfuerzo de compresión paralelo a las fibras | 8 |
| | 2. Esfuerzo de compresión perpendicular a las fibras | 10 |
| | 3. Compresión en dirección inclinada con respecto a las fibras | 13 |
| | 4. Tensión paralela a las fibras | 15 |
| | 5. Tensión perpendicular a las fibras | 15 |
| | 6. Flexión | 15 |
| | 7. Módulo de elasticidad | 18 |
| | 8. Corte paralelo a las fibras | 18 |

| | Páginas |
|---|---------|
| E. Factores para establecer esfuerzos unitarios permisibles | 19 |
| IV. OBTENCION DE ESFUERZOS PERMISIBLES A PARTIR DEL ENSAYO DE PROBETAS LIBRES DE DEFECTOS | 20 |
| A. Esfuerzo básico | 20 |
| V. CLASIFICACION VISUAL | 24 |
| A. Desarrollo de grados visuales de clasificación | 24 |
| B. Criterios para clasificación visual | 25 |
| 1. Densidad | 25 |
| 2. Pudrimiento | 25 |
| 3. Albura y duramen | 27 |
| 4. Inclinação de las fibras | 28 |
| 5. Nudos | 30 |
| 6. Fisuras | 32 |
| 7. Hendiduras | 34 |
| 8. Malformaciones | 36 |
| 9. Bolsas de resina | 36 |
| C. Propiedades derivadas para la clasificación visual de la madera | 37 |
| D. Procedimiento de pruebas en muestras libres de defectos | 37 |
| E. Propiedades de la resistencia | 38 |

| | Páginas | |
|-------|---|----|
| VI. | CLASIFICACION MECANICA | |
| | A. Criterios para clasificación mecánica | 44 |
| | B. Obtención de propiedades de madera clasificada mecánicamente | 45 |
| | C. Control de calidad | 53 |
| | D. Categorías de tamaño y uso de la madera estructural | 55 |
| VII. | FACTORES PARA OBTENER ESFUERZOS PERMISIBLES | 58 |
| | A. Ajuste de esfuerzos para diseño en madera | 58 |
| | B. Factores de tamaño para secciones rectangulares en flexión | 61 |
| | C. Factor de forma en flexión | 64 |
| | D. Factor de contenido de humedad | 65 |
| | E. Factor de duración de carga | 71 |
| | F. Factor de corte | 77 |
| VIII. | CONCLUSIONES | 80 |
| IX. | EIBLIOGRAFIA | 83 |

LISTA DE GRAFICAS

| Gráficas | Páginas |
|--|---------|
| 3.1 Diagrama esfuerzo-deformación de madera en tensión directa y compresión directa | 8 |
| 3.2 Diagrama esfuerzo-deformación de madera para una viga | 9 |
| 3.3 Resultados de una prueba estándar de compresión perpendicular a la fibra | 12 |
| 3.4 Diagrama cuando la compresión actúa con dirección inclinada con respecto a la fibra | 14 |
| 3.5 Resultado de una prueba estándar de flexión estática | 17 |
| 4.1 Propiedades de la distribución normal o de Gauss | 23 |
| 5.1 Sección de un tronco | 27 |
| 5.2 Inclinación de la fibra | 29 |
| 5.3 Fisura | 33 |
| 5.4 Hendidura | 35 |
| 5.5 Un nudo en la orilla de una pieza de madera | 39 |
| 5.6 Relación entre la resistencia a la flexión y el tamaño de un nudo en la orilla como una fracción del ancho de la pieza | 40 |
| 6.1 Esquema de un ordenamiento de E, usando una regresión lineal como predictor, con cuatro categorías | 47 |
| 6.2 Esquema de E usando una línea baja de confianza como predictor | 50 |

| Gráficas | Páginas |
|---|---------|
| 6.3 Diagrama de esfuerzo típico asignado para varias clasificaciones de F-E | 52 |
| 6.4 Comparaciones de factores de tamaño | 63 |
| 7.1 Comparación factor contenido de humedad | 70 |
| 7.2 Factor de duración de carga | 74 |

LISTA DE CUADROS

| Cuadros | Páginas |
|--|---------|
| 6.1 Categorías de tamaños de madera | 56 |
| 6.2 Subcategorías de madera | 57 |
| 7.1 Comparación del factor de tamaño | 62 |
| 7.2 Incrementos porcentuales a los esfuerzos permisibles | 66 |
| 7.3 Factores de contenido de humedad con madera de 2 a 4 pulgadas de espesor donde el contenido de humedad excede el 19% | 67 |
| 7.4 Factores de contenido de humedad con madera mayor de 5 pulgadas de espesor donde el contenido de humedad excede el 19% | 68 |
| 7.5 Comparación del factor de duración de carga | 72 |

SIMBOLOGIA

| | |
|----------------|-------------------------------------|
| E | Módulo de elasticidad |
| E _c | Módulo de elasticidad en compresión |
| E _t | Módulo de elasticidad en tensión |
| f | Esfuerzo |
| f _c | Esfuerzo en compresión |
| f _t | Esfuerzo en tensión |
| F _c | Esfuerzo permisible en compresión |
| F _t | Esfuerzo permisible en tensión |
| | Deformación |
| c | Deformación en compresión |
| t | Deformación en tensión |
| CF | Factor de tamaño |
| Cf | Factor de forma |
| CM | Factor de contenido de humedad |
| CD | Factor de duración de carga |
| Ct | Factor de temperatura |
| CR | Factor de retardante al fuego |

RESUMEN

El presente trabajo es el resultado de una investigación y estudio a fondo acerca de la metodología que se debe aplicar para obtener los esfuerzos permisibles en la madera estructural.

Lo más importante para obtener los esfuerzos adecuados es pensar que la estructura debe dar seguridad antes de todo.

Se obtiene el esfuerzo básico, que es un índice de la resistencia en la madera libre de defectos, y a éste se le aplican factores de corrección dependiendo de cómo se encuentre el elemento estructural en estudio.

Existen dos métodos para clasificar la madera, clasificación visual y clasificación mecánica.

La relación de resistencia en las clasificaciones visuales es de este modo designada para permitir, prácticamente, una selección limitada, establecer clasificaciones de cualquier calidad deseable y encontrar los mejores procedimientos de producción y utilización.

De manera diferente, que la clasificación mecánica utiliza máquinas que se basan en el hecho de que exista una correlación directa entre la deformación bajo una carga dada de una pieza que exhibe defectos naturales y la resistencia última de la pieza, o sea, existe una relación directa entre

la rigidez y la resistencia de la madera con defectos.

Los factores de ajuste causan que los esfuerzos permisibles disminuyan; otros causan que incrementen. Cuando se consideran los factores que reducen la resistencia, se espera una pieza más grande para soportar la carga dada; mientras que cuando los factores incrementan la resistencia, se esperan piezas más pequeñas y económicas.

Finalmente, se hizo una comparación entre los factores de modificación, de acuerdo con diferentes autores, y se determinó cuál es el más conveniente para el área de Guatemala.

I. INTRODUCCION

El constante incremento del precio de los materiales clásicos de construcción hace que el costo de adquisición de las instalaciones necesarias para el desarrollo de la sociedad se incrementen continuamente, de tal forma que cada vez es más difícil su adquisición para satisfacer las necesidades humanas de vivienda.

En Guatemala la construcción que satisfaga las condiciones de seguridad contra los fenómenos naturales a que estamos expuestos, como los frecuentes terremotos que nos asolan, ha llevado a la utilización de materiales de construcción para las estructuras en base al concreto y al acero, pero considerando su costo en divisas que eso conlleva, se ve la posibilidad de utilizar los recursos naturales con que se cuenta en donde sea aplicable, por lo que, considerando que el país tiene, por su naturaleza, una vocación boscosa, el aprovechamiento de la madera se considera conveniente. Por lo tanto es necesario que conocer sus características para su utilización eficiente y segura en la construcción y su mejor aprovechamiento.

Con este criterio se preparó el presente trabajo : dar a conocer los diferentes criterios que existen para determinar, con base en las características de la madera, los esfuerzos permisibles de la madera para su óptima utilización en la construcción de obras civiles.

II. ENFOQUES DE DISEÑO

A. Objetivos del diseño estructural

Una estructura es, en pocas palabras, un impedimento para que una construcción no se derrumbe; o un sistema, es decir, un conjunto de partes o componentes que se combinan en forma ordenada para cumplir una función dada. Esta función puede ser dar vivienda a personas, atravesar barrancos, contener un empuje, etc.

La estructura debe cumplir la función a la que está destinada, con un grado de seguridad razonable, y de manera que, en las condiciones normales de servicio, tenga un comportamiento adecuado; es decir, que no se deforme excesivamente, no vibre demasiado, no se agriete, el costo esté dentro de los límites económicos, asegure que la estructura sea realizable de acuerdo con los recursos disponibles y satisfaga determinadas exigencias estéticas.

En el desempeño de la función a que esté destinada, la estructura estará sujeta a una serie de acciones, fuerzas o cargas que debe ser capaz de soportar.

Lo que se busca en el diseño estructural es crear estructuras que tengan un comportamiento adecuado bajo las acciones a las que pueden estar expuestas. Por esto, hay que tener conocimiento de la relación que existe entre las acciones que obran sobre la estructura, las características geométricas de ésta y las propiedades de los materiales que se

utilizaron para su construcción, por una parte. Por otra, conocer las respuestas de la estructura, es decir, su comportamiento.

En el estado límite se consideran todos los aspectos del diseño en forma ordenada y racional. Esto permite la fácil incorporación de criterios de probabilidad, ya que se trata de lograr que las relaciones acción-respuesta de un elemento estructural o de una estructura, estén dentro de límites que se consideren aceptables. O sea que una estructura deja de ser útil cuando alcanza un estado, llamado estado límite, en el que deja de realizar la función para la cual fue diseñada.

El diseño por estados límites busca mantener la probabilidad de alcanzar dichos estados dentro de un margen razonable.

Una ventaja importante de los formatos de estados límites, es la sencillez con que se prestan a la incorporación de los resultados de las investigaciones sobre cargas, materiales y comportamiento de elementos estructurales. Además, ponen de relieve aspectos del diseño estructural relacionados con la seguridad teniendo en cuenta la naturaleza aleatoria de las cargas y de las resistencias, y facilitan que sean uniformes los criterios de seguridad para estructuras de materiales diferentes.

Pero lo más importante en el diseño estructural, es que haya seguridad. Por eso se utilizan estos dos procedimientos:

1. Método de esfuerzo permisible. (o de esfuerzo de trabajo). Este método trabaja con las acciones internas (cargas axiales, fuerzas cortantes, momentos) que son inducidas en los distintos elementos de las estructuras por las acciones de servicio o trabajo que actúan sobre éstas.

Se calculan por medio de un análisis elástico, luego se determinan los esfuerzos producidos en las distintas secciones por las acciones internas. Estos esfuerzos deben ser menores que los permisibles. Este método es razonable en estructuras diseñadas con materiales que tienen un comportamiento esencialmente elástico.

Los reglamentos para estructuras de madera conservan los formatos convencionales de esfuerzos permisibles.

2. Método plástico. (o de resistencia última). En este método, las acciones internas que las cargas producen en una estructura se determinan por medio de un análisis elástico. Los elementos de la estructura se dimensionan de tal manera que su resistencia a las diversas acciones internas de trabajo, a las que puedan estar sometidos, debe ser igual a dichas acciones multiplicadas por un factor de carga, de acuerdo con el grado de seguridad deseado o especificado.

III. CLASIFICACION DE ESFUERZOS

A. Madera clasificada por esfuerzo permisible y propiedades límite

La madera de diferentes especies y tamaños, tal como es aserrada de la troza, tiene propiedades mecánicas variables. Las piezas pueden tener variaciones de resistencia en más del cien por ciento.

Por razones prácticas de simplicidad y economía en su uso, las piezas de madera, con propiedades mecánicas parecidas, son colocadas en clases. A esta clasificación se le llama de esfuerzos.

La clasificación de los esfuerzos se caracteriza por:

1. Uno o más criterios de clasificación.
2. Conjunto de propiedades permisibles para el diseño en ingeniería.
3. Nombre único en la clasificación.

Las propiedades permisibles dependen del criterio particular de ordenamiento y de factores adicionales que son independientes de la clasificación.

Las propiedades permisibles son generalmente menores que las propiedades de madera libre de defectos y de fibra recta.

Para dimensionar elementos de madera, por medio del método de esfuerzos permisibles, es necesario establecer valores que

garanticen un grado de seguridad adecuado.

Como en todo material estructural, las propiedades permisibles de diseño deben inferirse o medirse de pruebas no destructivas. En madera, las propiedades se infieren de criterios visuales de clasificación o mediciones no destructivas.

Estas mediciones no destructivas proveen un criterio de clasificación y un medio para calcular las propiedades mecánicas apropiadas.

Las propiedades permisibles que se asocian con la clasificación de esfuerzo son :

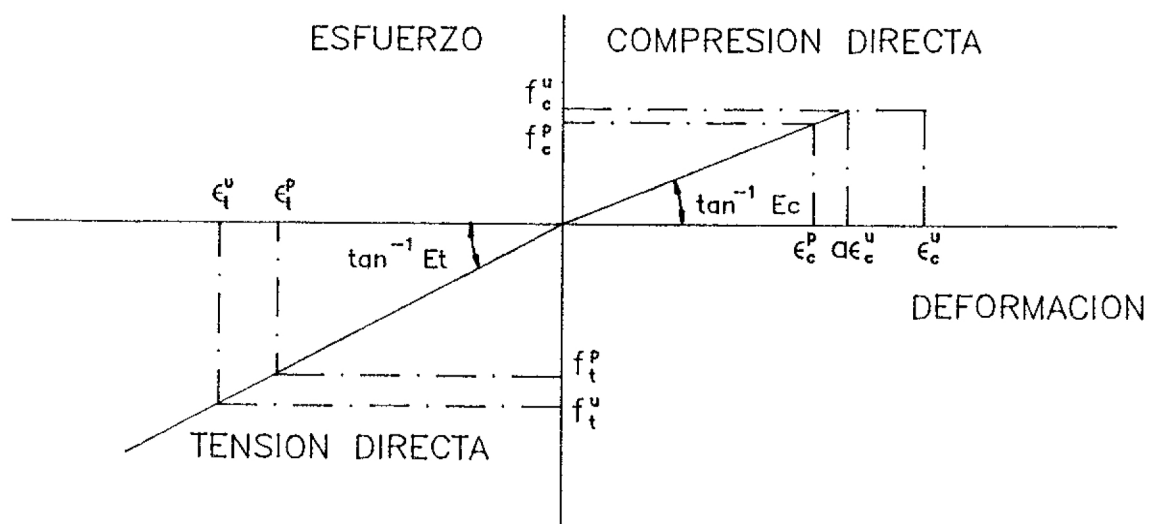
1. Compresión paralela a las fibras.
2. Compresión perpendicular a las fibras.
3. Compresión a un ángulo de la fibra.
4. Tensión paralela a las fibras.
5. Tensión perpendicular a la fibra.
6. Flexión.
7. Valores del módulo de elasticidad.
8. Corte paralelo a las fibras.

Para hacer estas pruebas, se puede consultar el ASTM D143.

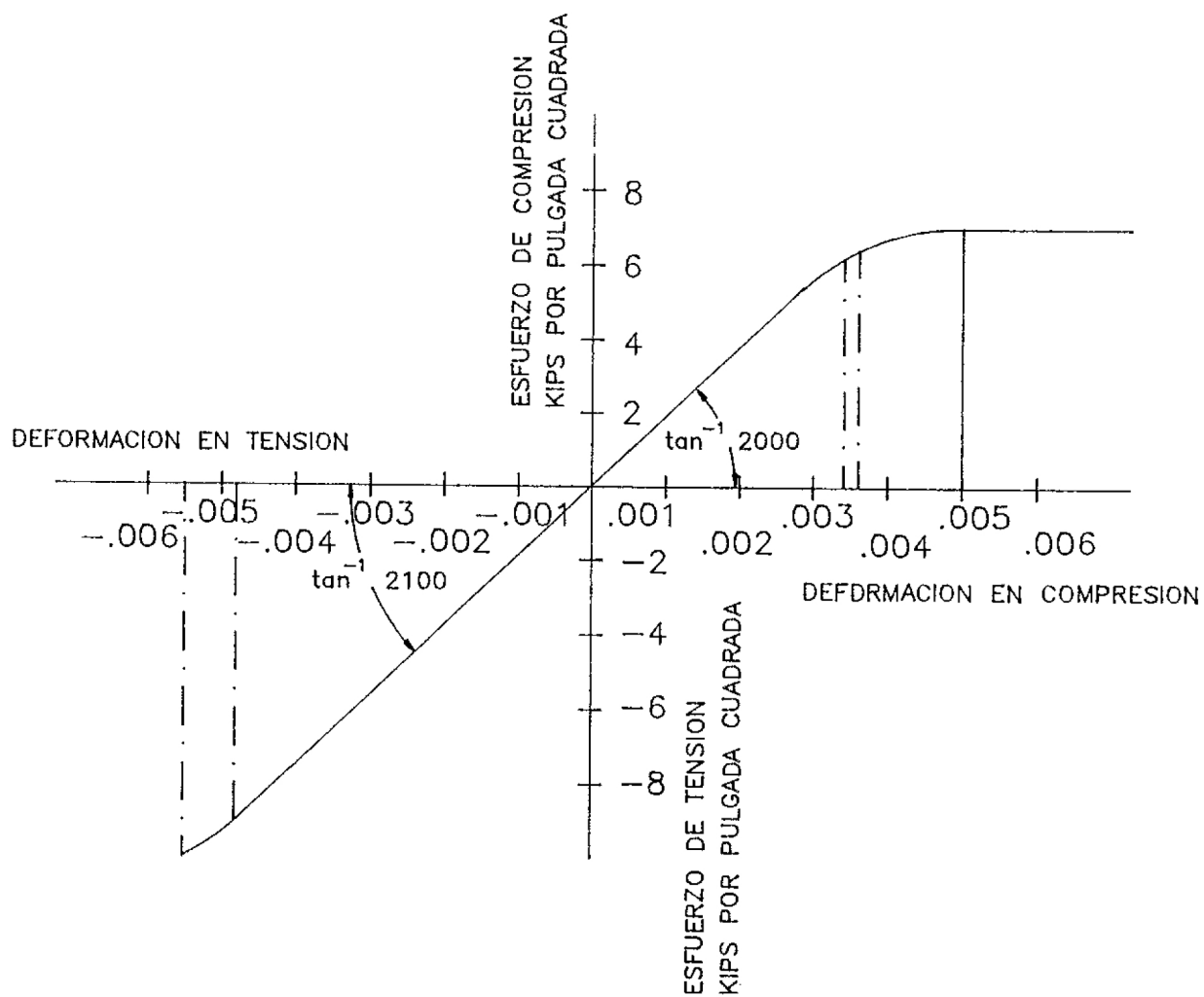
1. Esfuerzo de compresión paralela a las fibras. El

ensayo del esfuerzo de compresión paralela a las fibras consiste en romper, por compresión, una probeta especialmente preparada, entre las platinas de una máquina de ensayo, y medir con precisión la carga de ruptura para la determinación de su resistencia a la compresión.

El esfuerzo de compresión paralelo a las fibras es necesario para establecer el tamaño de columnas y otros miembros sometidos a compresión. La prueba se hace en especímenes de 2x2x8 pulgadas. Al hacerla, es necesario cuidar que los extremos estén paralelos uno con el otro y normal al eje longitudinal. Los resultados de la prueba se muestran en un diagrama de esfuerzo-deformación, en el cual se incluye la prueba de tensión directa para madera limpia a cierto contenido de humedad (ver gráficas 3.1 y 3.2).



GRAFICA 3.1—
DIAGRAMA ESFUERZO—DEFORMACION DE MADERA EN
TENSION DIRECTA Y COMPRESION DIRECTA.



GRAFICA 3.2-

DIAGRAMA ESFUERZO--DEFORMACION DE MADERA PARA UNA VIGA.

Se puede observar que la relación entre f y ϵ es lineal (donde f es el esfuerzo y ϵ es la deformación), al inicio de carga para los dos casos, aunque las pendientes son un poco diferentes. Las pendientes definen el módulo de elasticidad de la madera en compresión paralela a la fibra y a tensión directa.

La diferencia es porque E_c , el módulo de elasticidad en compresión directa, es más pequeño que E_t , el módulo de elasticidad en tensión directa, sólo por un pequeño porcentaje.

La variación lineal termina en el límite proporcional, la cual se consigue en compresión directa a un esfuerzo f_c^p y una deformación ϵ_c^p .

En tensión directa, el límite proporcional de esfuerzo f se consigue a una deformación ϵ_t^p . Para la mayoría de especies de madera, $f_t^p > f_c^p$.

Luego, la relación se convierte en no-lineal. Una curva suave representa el cambio entre el límite proporcional y el último.

2. Esfuerzo de compresión perpendicular a las fibras.

La resistencia a la compresión perpendicular a las fibras se define como el esfuerzo que es capaz de soportar una muestra de madera al ser sometida a una carga de compresión cuya línea de acción es perpendicular a sus fibras.

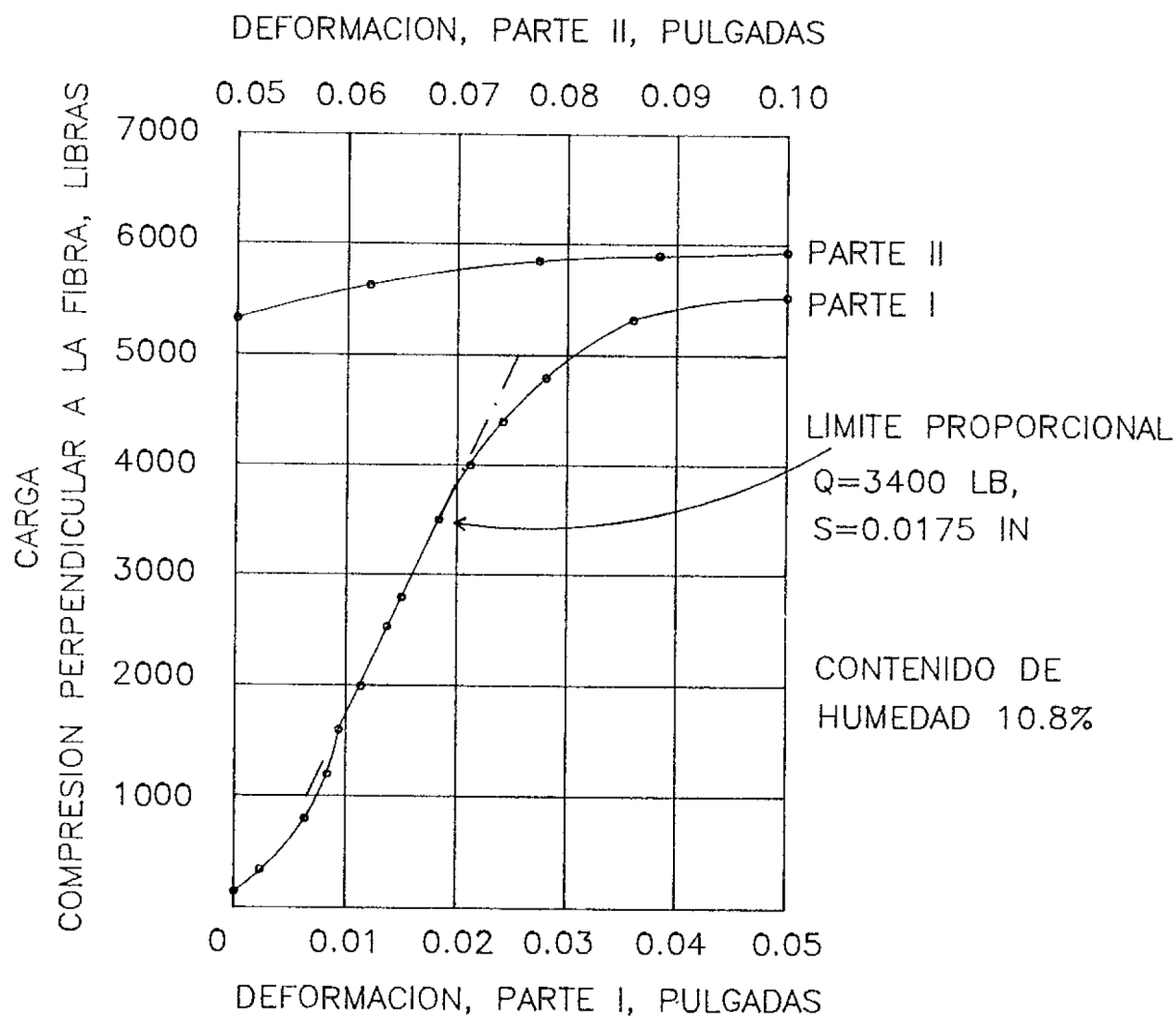
Para probar esta propiedad, se pone un espécimen de 2x2x6

pulgadas y se le aplica carga, a través de las fibras, con una placa metálica de 2 pulgadas de ancho, colocada a través de la superficie superior de la pieza a igual distancia de las orillas, y normal a lo largo.

Se puede observar la gráfica 3.3, que es de esfuerzo - deformación. Esta gráfica muestra una variación inicial, casi lineal, y un límite proporcional bien definido. Más allá de este punto, la variación se convierte en no-lineal y la deformación continúa incrementando con la carga, pero en una relación de cambio más pequeña.

La carga última para compresión normal a la fibra, no está bien definida. Después del aplastamiento y la falla de las paredes de las células, ocurre la compactación de la madera con incremento en la deformación. Luego, continúa en aumento la resistencia en la pieza comprimida (un valor grande de la carga última es posible, a una deformación no aceptable.)

Los resultados de las pruebas indican que los esfuerzos de las fibras en el límite proporcional obtenidos de pruebas normalizadas son aproximadamente 50 % más grandes que el obtenido poniéndole carga al área entera de 2 pulgadas cúbicas.



GRAFICA 3.3-

RESULTADOS DE UNA PRUEBA ESTANDAR
DE COMPRESION PERPENDICULAR A LA FIBRA.

3. Compresión en dirección inclinada con respecto a las fibras. El esfuerzo permisible de compresión que debe utilizarse en el diseño, cuando la compresión actúa con dirección inclinada con respecto a la fibra, está dado por la siguiente expresión propuesta por Hankinson, citado por Robles y Echenique (1986:152).

$$f_{cop} = \frac{f_{cp}}{1 + \left(\frac{f_{cp}}{f_{chp}} - 1 \right) \text{sen}^2 \theta} \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

donde:

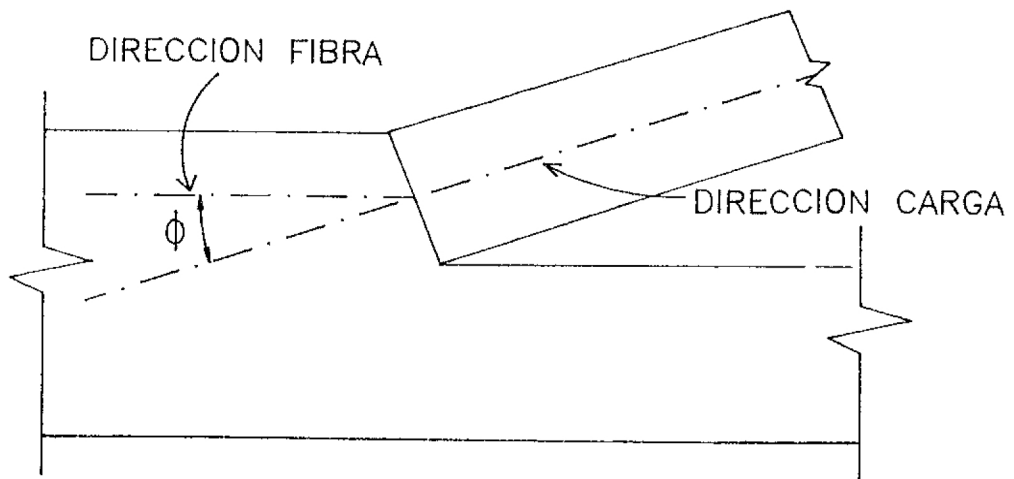
f_{cop} = esfuerzo permisible a la compresión actuando en dirección θ respecto a las fibras.

f_{cp} = esfuerzo permisible a la compresión en dirección paralela a las fibras.

f_{chp} = esfuerzo permisible a la compresión en dirección perpendicular a las fibras.

θ = ángulo entre la dirección de la fibra y la fuerza aplicada.

En la gráfica 3.4 se muestra dónde debe hacerse este tipo de ajuste.



GRAFICA 3.4—

DIAGRAMA CUANDO LA COMPRESION ACTUA CON DIRECCION INCLINADA CON RESPECTO A LA FIBRA.

4. Tensión paralela a las fibras. Los resultados de las pruebas se pueden ver en la parte inferior de las gráficas 3.1 y 3.2.

La relación de esfuerzo-deformación, para la tensión paralela a la fibra, es una línea recta; una desviación suave ocurre justamente antes que se rajen las fibras.

Hay poca información disponible para la tensión paralela a las fibras de varias especies. Debido a ello, se usa el módulo de ruptura para la resistencia de madera limpia en tensión paralela a las fibras.

5. Tensión perpendicular a las fibras. Es rara la madera estructural que está sujeta a la tensión perpendicular a las fibras. Este tipo de esfuerzo puede ocurrir en miembros curvos sujetos a flexión.

6. Flexión. En este ensayo se determina la resistencia que ofrece una viga, simplemente apoyada, cuando se le aplica, en el centro de su claro, una carga que aumenta gradualmente hasta alcanzar su rotura.

La resistencia de la madera, en flexión bajo carga transversal, es una de las propiedades más importantes porque es lo que tiene mayor uso en la construcción.

La prueba se hace con especímenes de 2x2x30 pulgadas. Los resultados se pueden observar en la gráfica 5.- que muestra la relación entre la carga transversal y la deflexión

a la mitad de la luz.

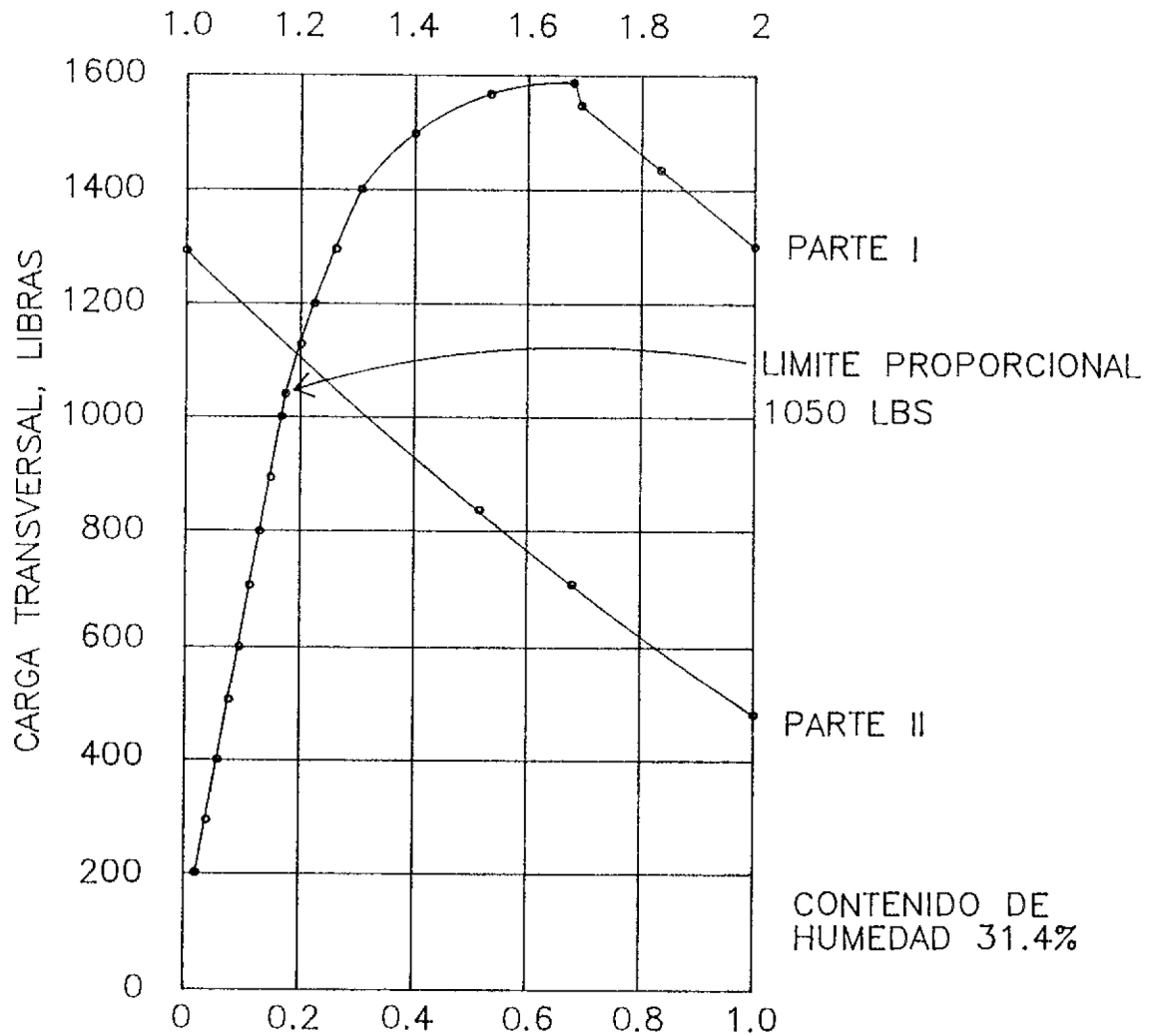
Una relación lineal, entre la carga transversal y la deflexión a la mitad de la luz, es evidente para la etapa inicial de la carga.

El límite proporcional, el cual marca el final de la relación lineal, se ve en la gráfica 3.5, a una carga de $P'=1050$ libras y una deflexión de $\epsilon = 0.19$ pulgadas, para el caso particular que se expone.

El comportamiento no lineal, después del límite proporcional, continúa hasta la carga máxima $P_u=1575$ libras y una deflexión de $\epsilon = 0.66$ pulgadas.

La parte descendiente de la curva es inestable, desde que es negativa la relación de cambio de carga con la deformación. Esto es posible porque las máquinas de las pruebas aplican deformaciones en lugar de cargas. Bajo cargas gravitacionales, las estructuras actuales colapsarían al alcanzar la carga máxima.

DEFLEXION A LA MITAD DEL TRAMO PARTE II, PULGADAS



DEFLEXION EN LA MITAD DEL TRAMO PARTE I, PULGADAS

GRAFICA 3.5—

RESULTADO DE UNA PRUEBA STANDARD DE FLEXION ESTATICA.

7. Módulo de elasticidad. El módulo de elasticidad es una medida de la habilidad que el material tiene para resistir deformaciones. El módulo de elasticidad asignado es una estimación del promedio de la clase de madera considerada.

El módulo de elasticidad puede calcularse a partir de ensayos de flexión de piezas libres de defectos; los valores obtenidos no son afectados por los factores de seguridad. Los valores que suelen determinarse son: valor medio y valor mínimo.

El valor medio es la media aritmética de los ensayos realizados; puede utilizarse para el cálculo de deflexiones. A veces, se aplican ciertas restricciones que dependen de la posibilidad de que varios miembros actúen conjuntamente para soportar una carga dada.

El valor mínimo es un valor que responde a la probabilidad de que resulte un valor menor al determinado, sea de 1 en 100 ó de 5 en 100.

8. Corte paralelo a las fibras. Estas pruebas se hacen con especímenes de 2 x 2 x 2½ pulgadas. El esfuerzo de corte se obtiene como la relación de la carga máxima P_u , y el área transversal de la pieza.

Cortes paralelos a las fibras ocurren en los planos longitudinales-tangenciales o longitudinales-radiales, con esfuerzos cortantes paralelos a la dirección de las fibras. Simultáneamente, los esfuerzos de corte de intensidad igual se

generan a través de la fibra, en el plano radial-tangencial. Por la resistencia al corte de la madera, el esfuerzo es más grande a través de la fibra que a lo largo de la fibra.

B. Factores para establecer esfuerzos unitarios permisibles

La selección de los esfuerzos permisibles convenientes es uno de los aspectos críticos del dimensionamiento de elementos estructurales de madera. Además, las propiedades mecánicas varían mucho según su especie. Dichas propiedades pueden variar, incluso en un mismo árbol.

Los factores principales para establecer el esfuerzo unitario permisible para cada especie, incluyendo la resistencia inherente a la madera y la reducción en la resistencia, son los siguientes:

1. Características de crecimiento.
2. Duración de la carga.
3. Variación de las especies individuales.
4. Posibilidad de pequeñas sobrecargas.
5. Características de la especie.
6. Tamaño de las piezas.
7. Influencia del secado.
8. Factor de seguridad.
9. Contenido de humedad.
10. Orientación de las fibras.
11. Forma de las piezas.
12. Defectos diversos que pudieran existir.

IV. OBTENCION DE ESFUERZOS PERMISIBLES A PARTIR DEL ENSAYO DE PROBETAS LIBRES DE DEFECTOS.

A. Esfuerzo básico

Los esfuerzos básicos son, en esencia, esfuerzos unitarios aplicados a materiales con fibras rectas y libres de defectos. Estos esfuerzos, obtenidos de los resultados de las pruebas con pequeños especímenes libres de defectos de madera verde, son considerablemente menores con relación al promedio de la especie. Sólo requieren un ajuste, por su clasificación, para tomarse como esfuerzos unitarios permisibles.

Los esfuerzos unitarios permisibles se calculan para una clasificación particular, reduciendo el esfuerzo básico de acuerdo con las limitaciones sobre defectos que tenga dicha clasificación. El esfuerzo básico se multiplica por una relación de resistencia para obtener el esfuerzo permisible. Esta relación de resistencia representa la proporción de resistencia de una pieza libre de defectos que persiste, tras considerar el efecto de las características que reducen la resistencia.

Es natural suponer que las propiedades resistentes de las piezas estructurales difieren considerablemente de las obtenidas con probetas limpias. El problema consiste en cómo pasar los resultados de ensayos con probetas limpias a esfuerzos permisibles que proporcionen un grado de seguridad razonable en las estructuras reales.

En resumen, lo que se obtiene es el esfuerzo básico, que es un índice de la resistencia de la madera libre de defectos. A éste se le aplican factores de corrección dependiendo de cómo se encuentre el elemento estructural en estudio.

Para obtener información sobre la resistencia a los principales tipos de acciones de determinada especie o grupos de especies con características semejantes, es necesario llevar a cabo un número de ensayos bastante elevado de probetas limpias y pequeñas. Los ensayos de corta duración se efectúan con especies verde.

En la gráfica 4.1 se muestra una distribución típica de módulos de rotura obtenidos de ensayos de flexión. Esta distribución, como las correspondientes a otro tipo de resistencia, es muy parecida a las distribuciones normales o gaussianas. Por lo tanto, en el análisis de los resultados de conjuntos de ensayos, suelen considerarse aplicables las propiedades de este tipo de distribuciones.

La tendencia central de un conjunto de datos es indicada por la media, \bar{x} , de los datos:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

donde:

x = valores de los datos individuales.

n = número de datos.

Para tener en cuenta la variabilidad, en lugar de tomar el valor promedio, se toma un valor bastante menor que la media, de manera que la probabilidad de tener valores inferiores sea baja.

En las normas inglesas para el módulo de rotura, se escoge el "límite de exclusión", tal que la probabilidad de tener valores menores, sea de sólo 1%. De las normas americanas y canadienses, se considera un límite de exclusión de 5%, según Robles y Echenique (1986:147).

Un límite de exclusión es un nivel de resistencia debajo del cual, un porcentaje seleccionado de valores de resistencia se espera que caiga; corresponde a un punto de probabilidad seleccionado de la frecuencia de distribución de los valores de resistencia. Es decir, se espera que de toda la población existente de dicha especie, solamente el 5% tenga una resistencia menor que este valor.

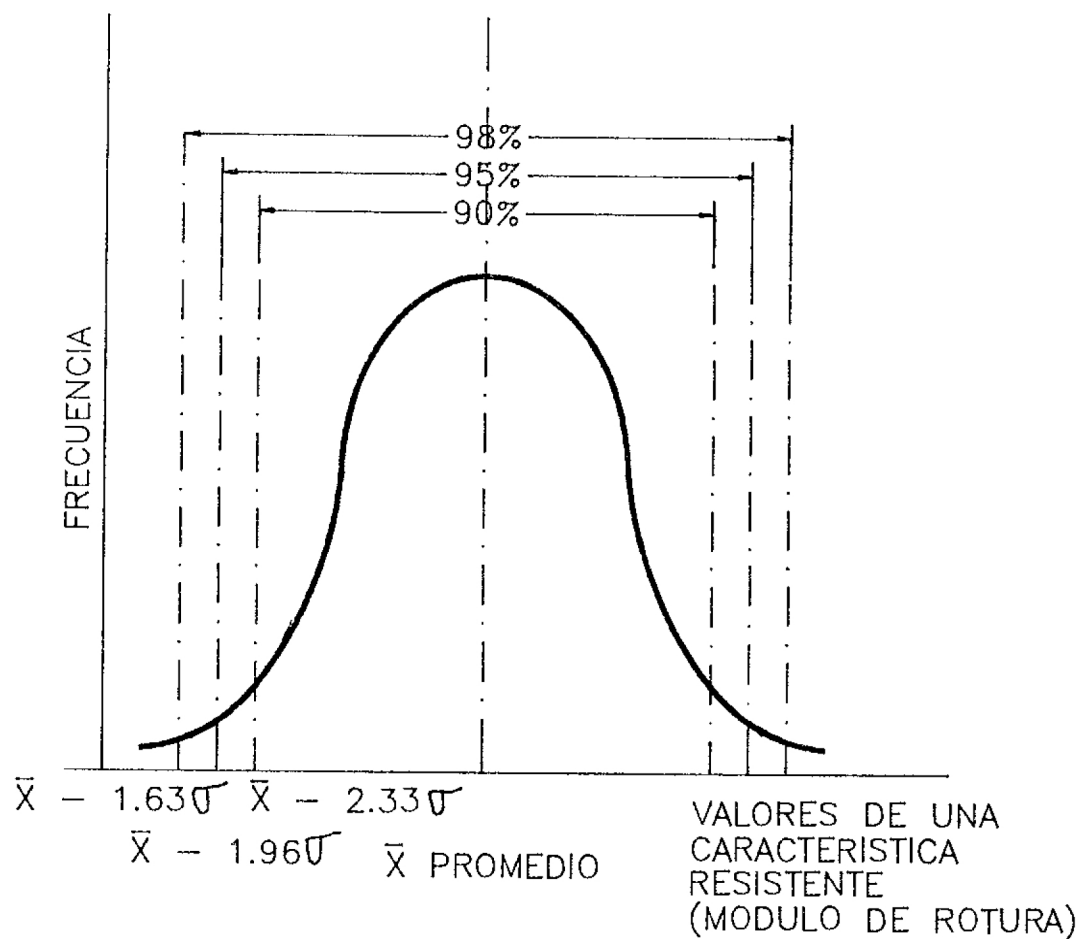
Un 5% del límite de exclusión para una especie de subdivisión regional se obtiene al multiplicar la desviación estándar, para la propiedad de resistencia bajo consideración, por 1.645, y restarle el producto del valor de resistencia promedio.

En la gráfica 4.1 se dan algunos valores utilizados.

La desviación estándar, σ , está dada por:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x - \bar{x})^2}{n}} \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

Los esfuerzos básicos se obtienen dividiendo los valores correspondientes al límite de exclusión adecuado, por un coeficiente de reducción que engloba un factor de seguridad. Con este factor se considera la posibilidad de sobrecargas, imprecisiones en los métodos de análisis y los procedimientos de construcción junto con un ajuste por efecto de duración de carga.



GRAFICA 4.1—
PROPIEDADES DE LA DISTRIBUCION NORMAL O DE GAUSS.

V. CLASIFICACION VISUAL

A. Desarrollo de grados visuales de clasificación

La clasificación visual es el método más antiguo. Se basa en que las propiedades mecánicas de la madera con defecto difieren de las propiedades mecánicas de la madera sin defectos, debido a que hay varios factores de crecimiento que afectan sus propiedades y pueden ser vistas y juzgadas por un análisis visual.

Estas características de crecimiento se utilizan para diferenciar la madera en clasificaciones de esfuerzo.

La clasificación visual se realiza examinando las cuatro caras y las orillas de las piezas, y observando características que pueden presentarse en la superficie, como la localización de nudos, su tamaño y posición en la pieza analizada.

La relación de resistencia de una madera estructural es la relación hipotética de su resistencia, la cual tendría que tener si no llegara a tener ninguna característica de debilidad.

De este modo, una madera con una relación de resistencia de 75% debería tener 75% de la resistencia de una pieza libre de defectos.

Efectivamente, la relación de resistencia en las clasificaciones visuales es de este modo designado para permitir, prácticamente, una selección limitada y, así, establecer clasificaciones de cualquier calidad deseable y

encontrar los mejores procedimientos de producción y utilización.

B. Criterios de clasificación visual

Los criterios de clasificación visual son los siguientes:

1. Densidad. La resistencia está relacionada al peso por unidad de volumen de la madera limpia. Propiedades asignadas a la madera, a veces se modifican al usar el grado de crecimiento y el porcentaje de la madera sazona como medida de densidad. La selección de la densidad requiere que el número de los anillos anuales, por unidad de longitud, y el porcentaje de madera sazona estén dentro de un rango específico. Es posible eliminar, de las clasificaciones, varias piezas con baja resistencia, excluyendo aquéllas muy ligeras en peso.

2. Pudrimiento. El pudrimiento debe ser prohibido o restringido en la clasificación visual de esfuerzos porque es difícil determinar el grado de pudrimiento y su efecto sobre la capacidad de resistencia frecuentemente mayor a lo que indica su observación visual.

Debido a que no existe manera satisfactoria para valuar numéricamente el efecto del pudrimiento en la resistencia de la madera, éste es excluido de la clasificación visual estructural.

Con seguridad, ningún esfuerzo permisible puede ser

asignado a la madera que contenga pudrimiento.

El pudrimiento confinado en los nudos, y que no se encuentre en los alrededores, se puede permitir en algunas clasificaciones estructurales. También se puede permitir un pudrimiento limitado en tipo de bolsas dentro de las clasificaciones de más baja dimensión.

La madera estructural expuesta al peligro de pudrimiento tiene que ser inspeccionada a intervalos frecuentes y regulares. Si el pudrimiento es detectado en o cerca de áreas de concentración de grandes esfuerzos, la pieza definitivamente tiene que ser cambiada.

Por esa razón, se tiene que prestar una atención especial en el diseño que satisfaga las condiciones de humedad y aeración afectadas por el drenaje y la ventilación, las cuales deben considerarse adecuadamente para ayudar a reducir o eliminar la necesidad de remover piezas debidas al pudrimiento de la madera.

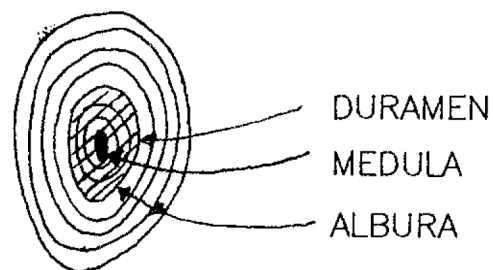
La madera tratada o el duramen de especies de alta resistencia al pudrimiento natural, deben ser usados para prolongar la vida y eliminar la necesidad de hacer reemplazos caros donde las condiciones sean favorables al pudrimiento.

Cuando la madera sin tratamiento se utiliza bajo condiciones favorables al pudrimiento, se puede reducir la resistencia de diseño para cuando el pudrimiento sea alcanzado y detectado. Una reducción del esfuerzo de diseño permitirá que la estructura pueda resistir seguramente su carga de

diseño, mientras el pudrimiento se detecte y la pieza afectada pueda ser sustituida; la cantidad de reducción la puede determinar el diseñador estructural. Un porcentaje de reducción, arriba del 25%, se considera adecuado. La rigidez se afecta menos que la resistencia, mientras que la resistencia de impacto se afecta más.

3. Albura y duramen. Estas dos clases de madera de una misma especie tienen propiedades mecánicas iguales; al duramen, no es necesario hacerle una reducción de esfuerzo.

Por otra parte, la albura toma tratamientos de preservación con mayor rapidez, y es preferida como madera para ser tratada (ver gráfica 5.1).



GRAFICA 5.1--
SECCION DE UN TRONCO.

4. Inclinación de las fibras. La inclinación de las fibras reduce las propiedades mecánicas de la madera porque las fibras no están paralelas a las orillas. La inclinación de las fibras se define como la desviación de las fibras de la madera de la línea que está paralela a la orilla de la pieza.

En la madera estructural, la inclinación de las fibras es medida sobre un largo y un área suficientemente amplia para que sea representativa de la inclinación general de las fibras de la madera (ver gráfica 5.2).

Las piezas con fibras severamente cruzadas no son deseables porque tienden a alabearse con cambios en el contenido de humedad.

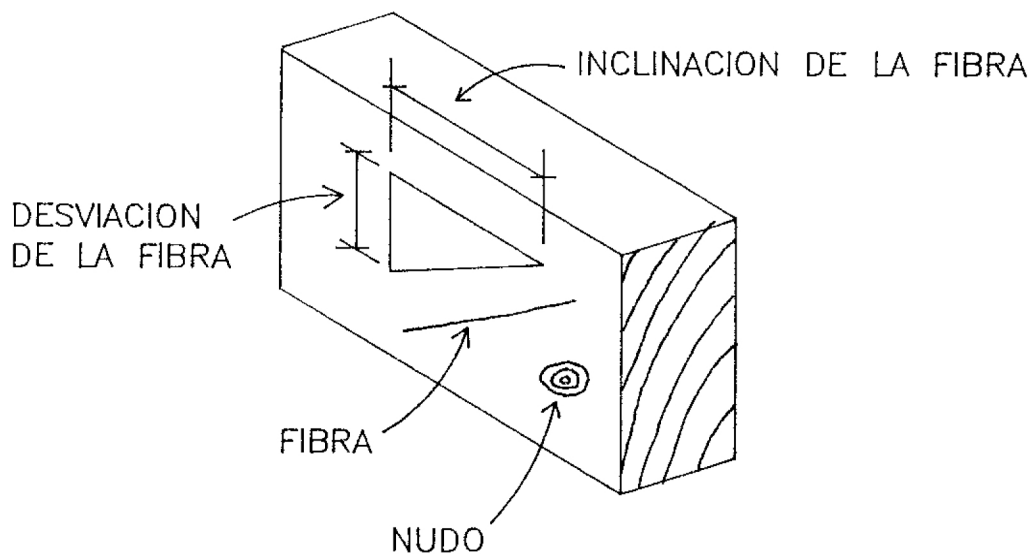
Los esfuerzos causados por encogimiento durante el secado son mayores en madera estructural que en especímenes pequeños y limpios, y se incrementan en las zonas con fibras inclinadas o distorsionadas.

Para proveer un margen de seguridad, la reducción de las propiedades se limita a clasificaciones visuales de la madera estructural. Debido a la contrafibra, la reducción de los esfuerzos permisibles tiene que ser considerablemente mayor que la de los esfuerzos observados en pruebas de especímenes pequeños y limpios que contengan cruces similares de fibras.

La inclinación de las fibras de la madera que resulta, ya sea si la madera es aserrada diagonalmente o de un grano espiral o torcido, es medida por el ángulo entre la dirección

de las fibras y la orilla de la pieza. El ángulo es expresado como una pendiente.

Por ejemplo, una pendiente de 1 en 15 pulgadas significa que la veta se desvia 1 pulgada de la orilla en 15 pulgadas de largo.



GRAFICA 5.2—
INCLINACION DE LA FIBRA.

5. Nudos. Los nudos son defectos en una pieza de madera, originandos en el tronco como consecuencia del aparecimiento de las ramas. Son clasificados por tamaño, forma, calidad y ocurrencia.

Estos causan contrafibras con pendientes empinadas. Uno de los aspectos más dañinos de los nudos en la madera aserrada es la continuidad de la veta alrededor del nudo, la cual se interrumpe durante el proceso de aserrar.

Además, tienen un efecto más grande en la resistencia a la tensión que a la compresión. En cuanto a la flexión, depende si el nudo está en el lado de tensión o compresión de la viga.

Existen dos tipos de nudo: los que resisten o transmiten alguna clase de esfuerzo; y los encerrados, muertos u hoyos de nudos, que transmiten poco o ningún esfuerzo.

En cuanto a la clasificación de esfuerzo entre nudos vivos, nudos muertos y hoyos de nudo, casi nunca hay distinción entre éstos.

Por otro lado, la distorsión de la fibra es mayor alrededor de un nudo vivo que alrededor de uno muerto, siendo ambos de tamaños iguales.

La zona de fibras distorsionadas alrededor del nudo tiene menor rigidez que la madera con fibras rectas. Regularmente, donde hay nudos, las zonas alrededor de éstos son de baja rigidez. Sin embargo, dichas zonas generalmente comprenden sólo una menor parte del volumen total de una pieza de madera, debido a que la rigidez de la pieza refleja el carácter de

todas las partes, ésta no está influenciada por nudos.

La presencia de un nudo en una pieza tiene un efecto más grande en propiedades de resistencia que en rigidez. El efecto de un nudo en resistencia depende de la proporción de la sección ocupada por dicho nudo en la pieza de madera, la localización del nudo, y de la distribución de esfuerzo en la pieza. El límite del tamaño de un nudo se hace en relación al ancho y localización de la cara en la cual aparece el nudo.

En miembros en compresión, los esfuerzos son igual a lo largo de la pieza, y no hay ninguna limitación relacionada a la localización del nudo. Su efecto perjudicial, se debe a que reduce el área efectiva que resiste la carga los alrededores del nudo, además se presentan distorsiones en la fibra, que reducen su resistencia.

En tensión, los nudos a lo largo de la orilla de un miembro causan una excentricidad que induce esfuerzos de flexión, y por lo tanto deben ser más restringidos que los nudos lejos de las orillas.

En miembros estructurales sujetos a flexión, los esfuerzos son mayores en la orilla de tensión que a media altura.

Es prohibido el grupo de nudos en la clasificación de esfuerzo porque si el tamaño de un nudo individual no es deseable, mucho menos deseable es un grupo por el efecto en las propiedades mecánicas.

Dos o más nudos espaciados muy cerca, con las fibras deflectadas alrededor de cada nudo individual, no es

considerado un grupo de nudos.

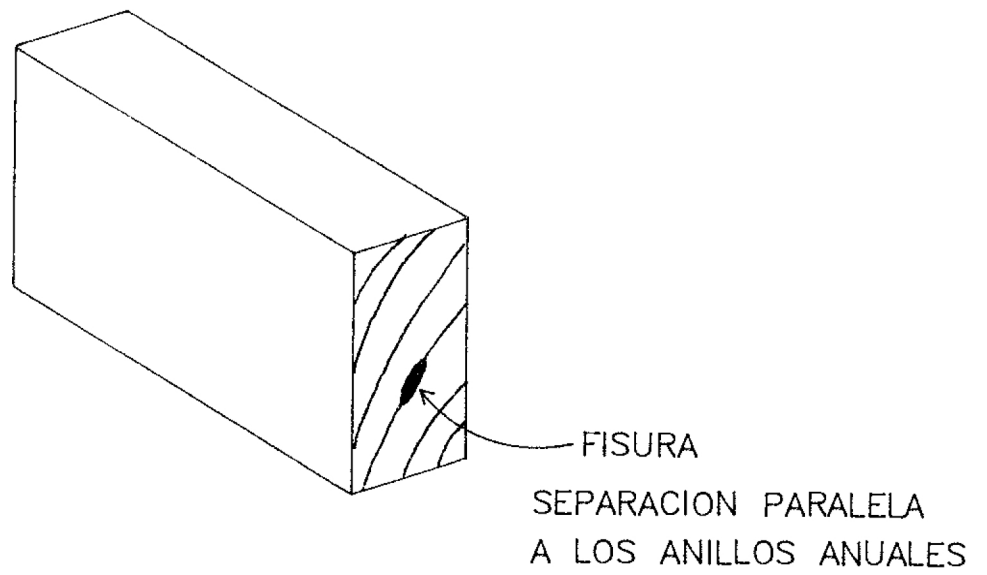
Los hoyos en la madera asociados con nudos, son medidos y limitados en la misma manera que los nudos.

6. Fisuras. La fisura es una separación o una debilidad de una fibra, entre anillos anuales, y se presume que se extiende longitudinalmente sin límite (ver gráfica 5.3).

En miembros sujetos a flexión, la fisura reduce la resistencia al corte y, por lo tanto, las reglas de clasificación restringen la fisura en aquellas partes de un miembro con flexión donde los esfuerzos son altos.

En miembros sujetos sólo a tensión o compresión, la fisura afecta a la resistencia. La fisura puede limitarse, en una clasificación, por su apariencia, porque permite la entrada de humedad que resulta en pudrimiento.

Las fisuras se miden en las orillas de las piezas. El tamaño de una fisura es la distancia entre líneas que incluyen la fisura y que esté paralela la cara en lo ancho de la pieza.



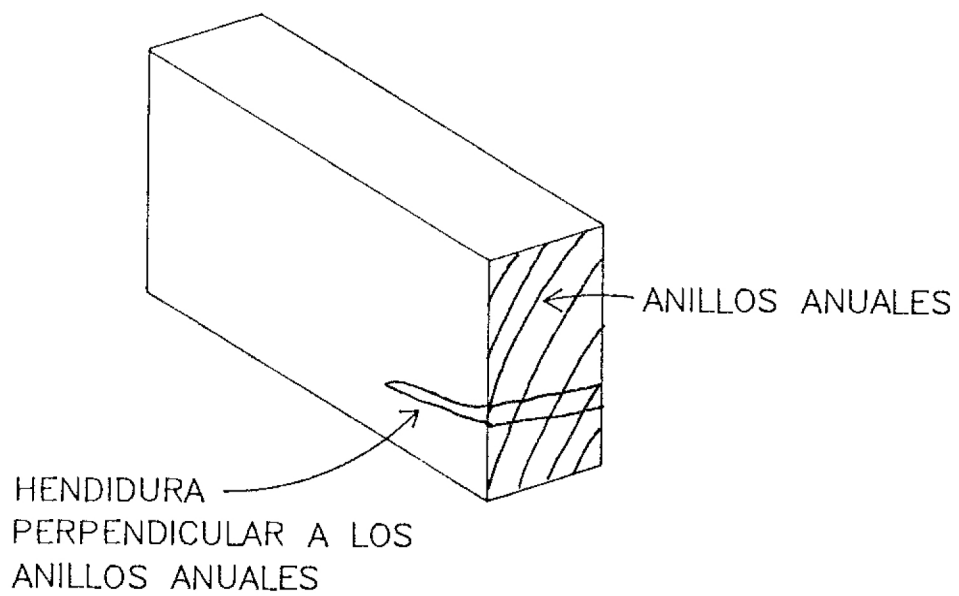
GRAFICA 5.3—
FISURA.

7. Hendiduras. Una hendidura se extiende a través de todo el grosor de la pieza. El efecto de una hendidura sobre la resistencia y los principios de su limitación son los mismos que los de la fisura (ver gráfica 5.4).

El cambio de volumen que ocurre en la madera cuando ésta va perdiendo humedad, es mayor si su cara está paralela a los anillos anuales; es menor si está normal a éstos. Los cambios no uniformes de volumen resultan por defectos durante el periodo de maduración de la madera.

Las hendiduras son tratadas como fisuras paralelas, pero medidas en formas diferentes. El tamaño de una hendidura es su profundidad de penetración promedio dentro la pieza, medida perpendicularmente a la superficie de la cara del peralte en la cual aparece.

Los diferentes factores que reducen la resistencia, como los nudos, las desviaciones de las fibras, fisuras, y hendiduras, se diferencian en su efecto, dependiendo de la clase de carga y esfuerzo a los cuales es sometida la pieza. La madera estructural es, por lo tanto, clasificada de acuerdo con su tamaño y uso.



GRAFICA 5.4—
HENDIDURA.

8. Malformaciones. Son los requerimientos de apariencia o fabricación; o la necesidad para una mayor resistencia; o una superficie expuesta que generalmente impone limitaciones más estrictas en los defectos que a la resistencia. Por lo tanto, las malformaciones se limitan para la madera estructural.

Las malformaciones pueden ser permisibles en todas las categorías para miembros sujetos a flexión, en tanto se consideren las propiedades de resistencia. Pueden especificarse cuando los requerimientos por apariencia o comportamiento, o por otros factores de utilización, lo hagan conveniente.

9. Bolsas de resina. Las bolsas de resina tienen poco efecto en la madera estructural, por lo que pueden ser desatendidas en la clasificación de esfuerzos si son pequeñas y limitadas en número. La presencia de bastantes bolsas de resina puede indicar una fisura o una debilidad del enlace de los anillos anuales de crecimiento.

C. Propiedades derivadas para la clasificación visual de la madera

Las propiedades mecánicas para la clasificación visual de la madera pueden ser establecidas por:

1. Modificaciones apropiadas de los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas en muestras libres de defectos.
2. Pruebas con una muestra representativa de un tamaño completo. Todas las propiedades límites han sido derivadas de pruebas hechas en muestras libres de defectos.

D. Procedimiento de pruebas en muestras libres de defectos

La obtención de las propiedades mecánicas, en la clasificación visual de la madera, se ha basado históricamente en las propiedades de la madera limpia con modificaciones apropiadas que, según la característica de la madera, son permitidas de acuerdo con el criterio de clasificación visual.

Los criterios de clasificación que influyen las propiedades mecánicas se aplican como una relación de la resistencia para las propiedades de resistencia, y con factores de calidad para el módulo de elasticidad.

Una vez que las propiedades de la madera limpia han sido modificadas para influenciar el criterio de clasificación y variabilidad, se aplican modificaciones adicionales para el tamaño, contenido de humedad, seguridad y duración de carga.

E. Propiedades de la resistencia

Cada propiedad de resistencia de un pedazo de madera se deriva como el producto de la resistencia de la madera limpia para las especies de las muestras y la relación límite de resistencia.

La relación de resistencia es la relación hipotética de resistencia de una pieza de madera, con reducciones de resistencia visible de las características de crecimiento a su resistencia, como si esas características negativas estuvieran ausentes.

La verdadera relación de resistencia de una pieza de madera nunca es conocida y tiene que ser estimada.

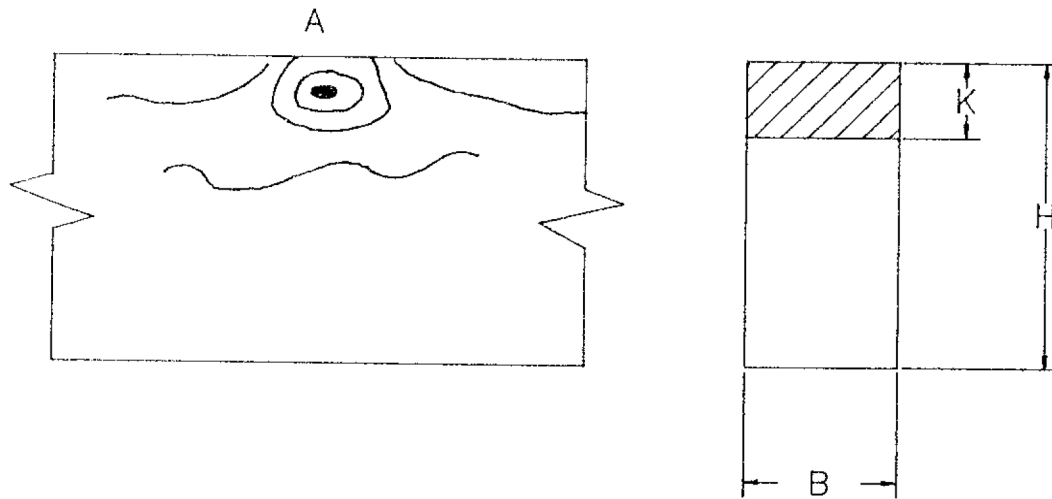
La relación de resistencia, asignada a la característica de crecimiento, sirve como un indicador de la resistencia de la madera. Esta relación usualmente es expresada en porcentajes, en rangos de 0 a 100.

Las relaciones de resistencia estimadas para fibras cruzadas y densidad han sido obtenidas empíricamente, mientras que las relaciones de resistencia para otras características de crecimiento han sido derivadas teóricamente.

Por ejemplo, para explicar el efecto de debilidad de un nudo, la suposición que se hace es considerar el nudo como un hoyo en la pieza, reduciendo la sección (ver gráfica 5.5).

Para una viga con un nudo en la orilla, la relación de resistencia es igual a la relación del momento de flexión que puede ser resistido por una viga con una sección reducida, a

el de una viga con sección completa.



A = NUDO DE ORILLA EN MADERA

B = PERDIDA DE SECCION

GRAFICA 5.5—
UN NUDO EN LA ORILLA DE UNA PIEZA DE MADERA.

$$SR = (1 - K/H)^2$$

(Ecuación 5.1)

donde: SR = relación de
resistencia

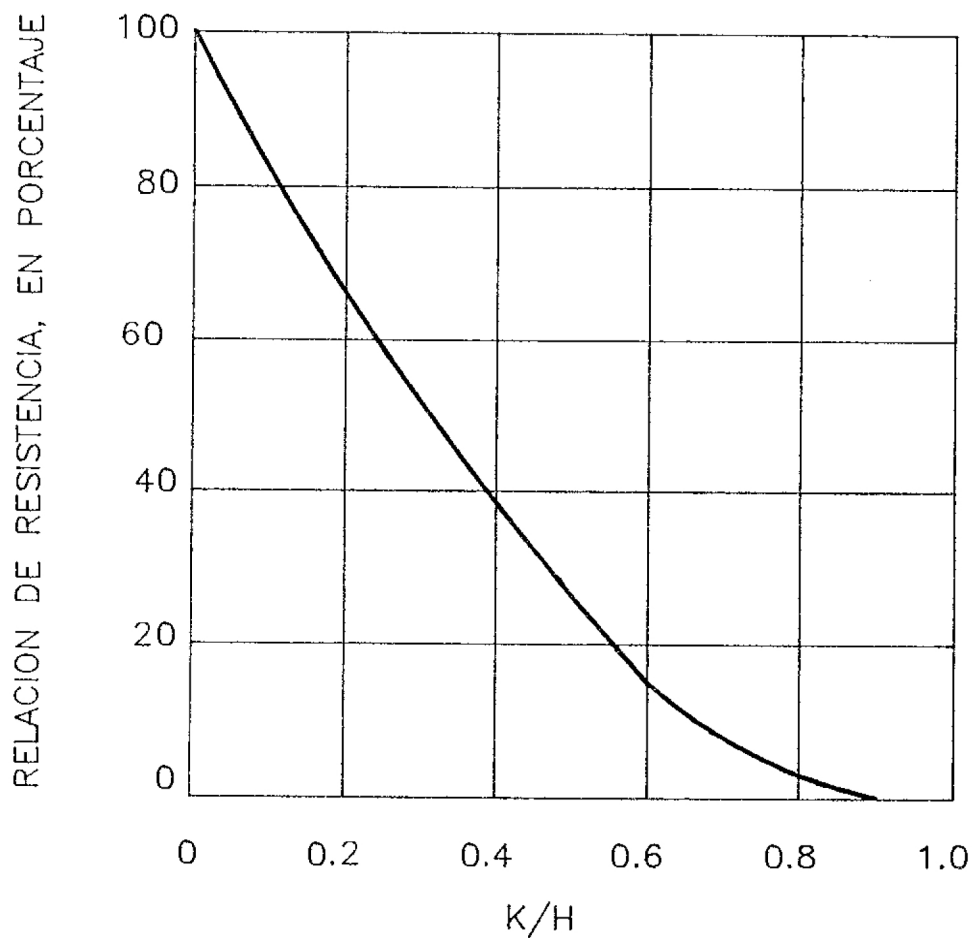
K = tamaño del nudo

H = ancho de la cara

que contiene el nudo

Esta es la expresión básica del efecto de un nudo en la orilla de una cara vertical de una viga que es deflectada verticalmente.

La gráfica 5.6 muestra cómo cambia la relación de resistencia con el tamaño de un nudo.



GRAFICA 5.6--

RELACION ENTRE LA RESISTENCIA A LA FLEXION
Y EL TAMAÑO DE UN NUDO EN LA ORILLA
COMO UNA FRACCION DEL ANCHO DE LA PIEZA.

Una pieza individual de madera siempre tiene varias características que pueden afectar cualquier propiedad de resistencia.

Sólo la característica que da la relación de resistencia más baja es usada para derivar la resistencia estimada de la pieza.

En teoría, una clasificación visual de esfuerzo contiene rangos para piezas que tienen la relación de resistencia mínima permitida en la clasificación para el rango inmediatamente superior.

Durante la práctica, casi siempre hay piezas, en la clasificación, que tienen relación de resistencia de una clasificación más alta. Este es el resultado de la clasificación de resistencia para factores tales como la decadencia, la cual no afecta la resistencia.

El rango de relaciones de resistencia en una clasificación y la variación natural en la resistencia de una madera limpia, da la variación en resistencia entre piezas en clasificación.

Para explicar esta variación, y para proveer seguridad en diseño, está entendido que la resistencia, debe ser, por lo menos, para el 95% de las piezas que exceden las propiedades permisibles asignadas para esa clasificación.

La relación de esfuerzos, asociada con nudos en miembros sujetos a flexión, ha sido derivada como la relación entre la capacidad del elemento para resistir los momentos, y una sección equivalente de su área reducida por el nudo más largo,

a la capacidad que tendría de resistir el momento si el elemento estuviese sin defecto. Esto da la reducción anticipada en resistencia por flexión, debido a la presencia del nudo. Todos los nudos en la cara ancha son tratados como si estuvieran, ya sea a lo largo de la orilla de la pieza, o a lo largo la línea central de la pieza.

Se asume que la relación de resistencia, asociada con fisuras y hendiduras, afecta sólo el corte horizontal en miembros de flexión. Esta relación fue derivada, suponiendo que la sección crítica se reduce por la proporción de desgarramiento, o por una hendidura equivalente, tal como el resultado del efecto de los nudos.

La relación de resistencia asociada con nudos en miembros a compresión ha sido derivada como la capacidad de carga que tiene un miembro con su sección reducida por el nudo más largo, con respecto a la capacidad de carga del mismo miembro, pero sin defectos.

La resistencia a la fibra, en compresión perpendicular, es poco afectada en madera con características que reducen su resistencia en otro tipo de esfuerzos, y, una relación de resistencia del 100%, es asumida para todas las clasificaciones.

El módulo de elasticidad de la madera es conocido por los ensayo de laboratorio y está relacionado con la rigidez.

Por razones de economía, puede especificarse que la relación de esfuerzos permisibles de corte esté balanceada por

el diseñador con relación a los esfuerzos de flexión bajo las condiciones de carga.

VI. CLASIFICACION MECANICA

A. Criterios para clasificación mecánica

El grado de esfuerzo mecánico (MSR) está basado en una relación observada entre el módulo de elasticidad y la resistencia de flexión de la madera. El módulo de elasticidad (E) es el criterio de selección usado en este método de clasificación.

El módulo de elasticidad, usado como un criterio de clasificación para las propiedades mecánicas de la madera, puede ser medido de varias maneras. Usualmente, el módulo de elasticidad aparente, o rigidez, se determina con la deflexión.

Debido a que la madera es heterogénea, el E aparente depende de:

1. El tramo (largo).
2. La orientación (si se encuentra de canto o normal al estar en flexión, sección transversal).
3. El tipo de prueba.
4. Métodos de carga (tensión, flexión, carga concentrada, uniforme, etc.).

Cualquier módulo de elasticidad aparente resultante puede ser usado, si la máquina de clasificación está calibrada apropiadamente para asignar las propiedades de diseño.

Las máquinas utilizadas en la clasificación mecánica se basan en el hecho de que exista una correlación directa entre la deformación bajo una carga dada de una pieza que exhibe defectos naturales, y la resistencia última de la pieza; existe una relación directa entre la rigidez (módulo de elasticidad) y la resistencia (módulo de rotura - MOR-) de la madera con defectos.

Las máquinas que se han ideado permiten efectuar ensayos no destructivos sobre piezas individuales. Estos ensayos consisten en la aplicación de una carga pequeña sobre tramos cortos de una pieza, al ir pasando ésta por la máquina para registrar su deflexión máxima.

El módulo de elasticidad puede determinarse a partir de esta deflexión máxima, ~~puesto que se conoce la relación entre~~ el módulo de elasticidad y el módulo de rotura. Esta relación parece ser independiente de la especie, lo cual representa una ventaja para la clasificación mecánica.

Un inconveniente es el hecho de que la prueba no refleja los defectos de la madera sobre la resistencia al corte.

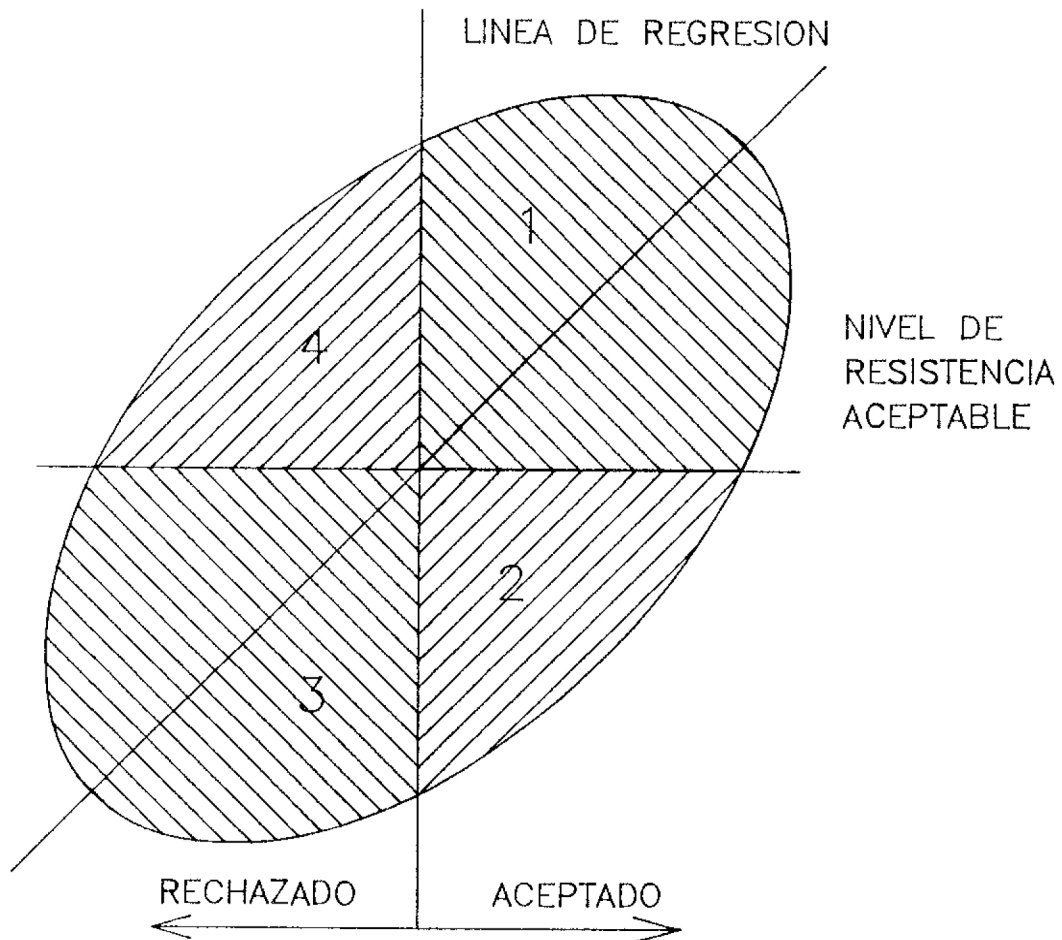
B. Obtención de propiedades de madera clasificada mecánicamente

Una clasificación de esfuerzo derivado, para la clasificación mecánica de la madera, relaciona los esfuerzos permisibles en flexión con los niveles del módulo de elasticidad.

Como E es un predictor imperfecto de resistencia, la madera clasificada por medio del módulo de elasticidad (E), cae dentro de una de las cuatro categorías, dos de las cuales son seleccionadas correctamente y las otras dos, incorrectamente.

Es necesario considerar, por ejemplo, el caso más simple, donde la madera es seleccionada en dos grupos, uno con suficiente resistencia para una aplicación específica, y el otro, no.

En la gráfica 6.1, se muestra una regresión lineal relacionando E con la resistencia; ésta es usada como modelo de predicción.



GRAFICA 6.1—
ESQUEMA DE UN ORDENAMIENTO DE E, USANDO UNA
REGRESION LINEAL COMO PREDICTOR, CON CUATRO
CATEGORIAS:

1. ACEPTADO CORRECTAMENTE.
2. ACEPTADO INCORRECTAMENTE.
3. RECHAZADO CORRECTAMENTE.
4. RECHAZADO INCORRECTAMENTE.

Los grupos de aceptación-rechazo identificados por la clase de regresión pueden clasificarse dentro de las siguientes 4 categorías:

1. Los materiales en la categoría 1 son aceptados correctamente, las piezas tienen una resistencia adecuada, tal como fue definida.
2. Los materiales en la categoría 2 son aceptados incorrectamente: las piezas no tienen una resistencia adecuada.
3. Las piezas en la categoría 3 son rechazadas correctamente porque no tienen una resistencia adecuada.
4. Los materiales en la categoría 4 son rechazados incorrectamente porque tienen una resistencia adecuada.

A pesar de que la selección ha trabajado correctamente para la categorías 1 y 3, lo ha hecho incorrectamente para las categorías 2 y 4. Las piezas en la categoría 4 no presentan ningún problema, pero son destinadas para ser usadas ineficientemente. Mientras, en la categoría 2, las piezas presentan problema: son aceptadas como suficientemente fuertes, pero no lo son, y son mezcladas con piezas aceptadas de la categoría 1.

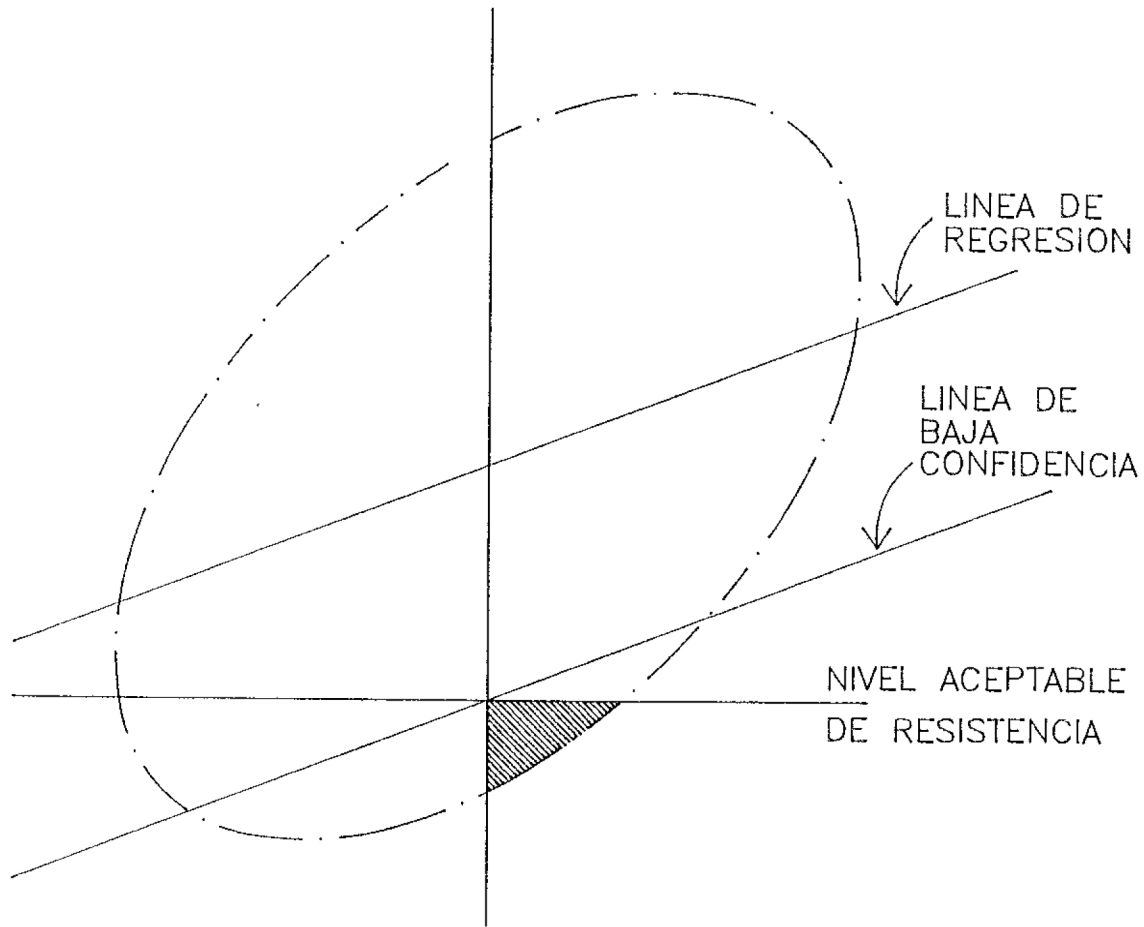
El número de las piezas con problema, que caen en la categoría 2, dependen de la variabilidad en el modelo de predicción.

Claramente, E contra la regresión lineal de la resistencia, no es un modelo de selección adecuado para madera

estructural debido a la gran proporción del material en la categoría aceptada incorrectamente.

Un modelo apropiado es aquél que minimice el material en la categoría 2, o, por lo menos, que lo reduzca a un nivel de riesgo bajo.

Comúnmente, se usa una línea de confianza más baja como en el modelo de predicción (ver gráfica 6.2).



GRAFICA 6.2—
ESQUEMA DE E USANDO UNA LINEA BAJA DE CONFIANZA
COMO PREDICTOR. ENSEÑA LA RELATIVA BAJA PROPORCION
DEL MATERIAL EN LA CATEGORIA QUE SE ACEPTA INCORRECTAMENTE.

El número de piezas que caen en la categoría 2 es ahora bajo, comparado con el modelo de regresión lineal.

Además, la probabilidad de unas piezas que caen en la categoría 2 está controlada por la línea de confianza seleccionada.

En los sistemas MSR actuales, la madera se divide en clases de acuerdo con el módulo de elasticidad, E.

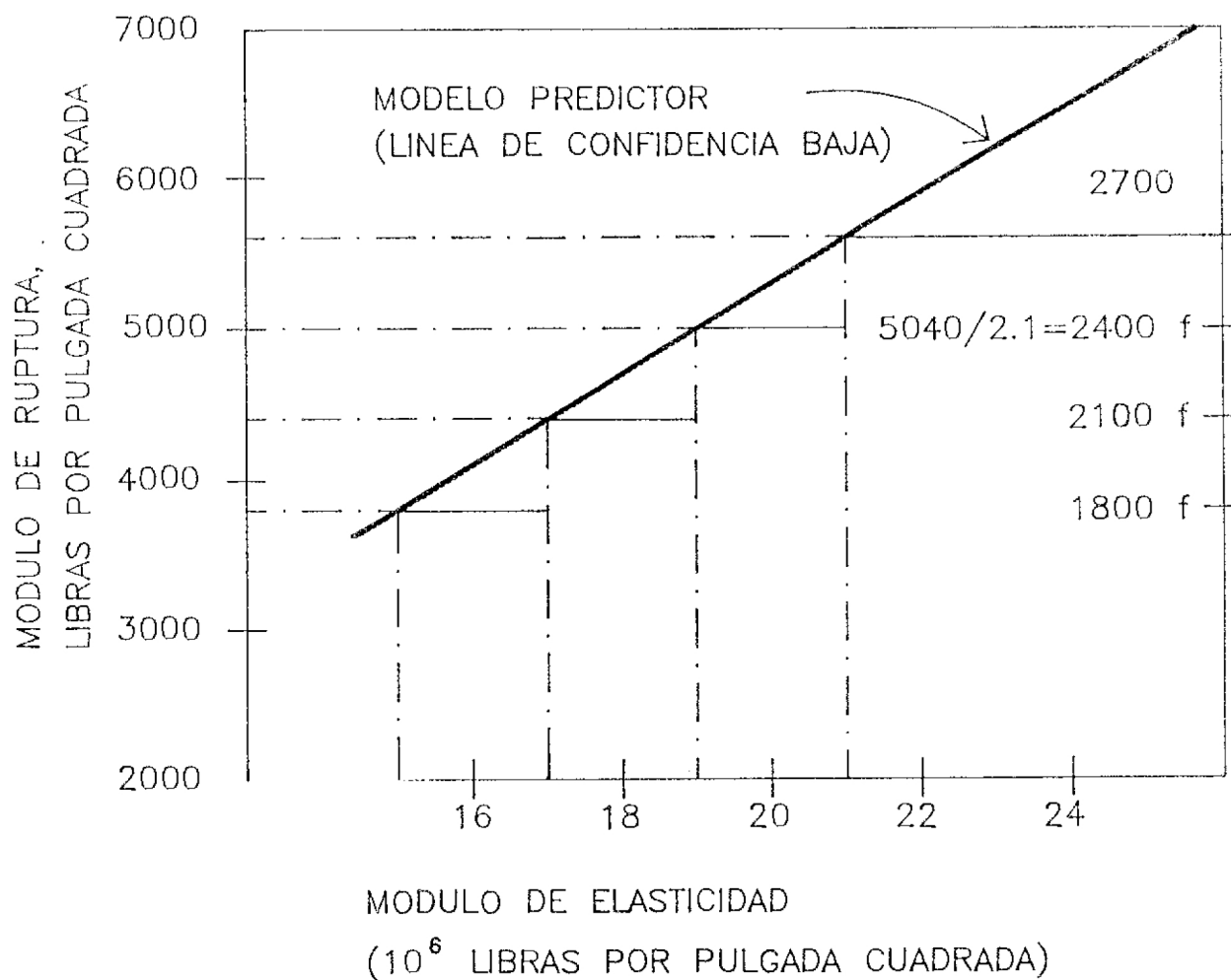
Ahora, agencias individuales de clasificación listan alrededor de 20 clases de madera con base en las clasificaciones de E. Las clasificaciones son designadas de acuerdo con el esfuerzo límite recomendado en la fibra extrema en flexión, F_b , y el módulo de elasticidad límite, E.

Por ejemplo, 2100 F - 1.8 E designa una clasificación de MSR con un F_b permisible de 2100 libras por pulgada cuadrada y un E de 1.8 millones de libras por pulgada cuadrada.

En la práctica, un aserradero producirá usualmente sólo un poco de la clasificación posible de F-E, dependiendo del potencial de la madera que se corte, la capacidad de producción de los aserraderos, y el producto o demanda del mercado. El E permisible, para cada clasificación, es el punto medio de cada clase de E; el F_b es calculado a partir de la resistencia de flexión o del módulo de ruptura (MOR) estimado por el E mínimo en la clasificación.

La gráfica 6.3 es un ejemplo de un esfuerzo típico asignado para varias clasificaciones de F-E. Aquí se asume que un aserradero está produciendo madera con un rango del E de

1.5 a 2.3 millones de libras por pulgada cuadrada y que hay un mercado para los cuatro grados con un E asignado de 1.6 , 1.8, 2.0 y 2.2 millones de libras por pulgada cuadrada.



GRAFICA 6.3—
DIAGRAMA DE ESFUERZO TIPICO ASIGNADO
PARA VARIAS CLASIFICACIONES DE F—E.

Valores de F_b , como lo indica la gráfica 6.3, son desarrollados del E mínimo en cada clase de E . Por ejemplo, el E mínimo en la clase de 2.0 E es 1.9 millones de libras por pulgada cuadrada que predice un 5% del valor del MOR de 5040 libras por pulgada cuadrada. El 5% es un valor esperado para exceder, por 95%, la pieza en una clasificación. Posteriormente, este valor es ajustado por un factor de seguridad de 2.1 para una duración asumida de 10 años de carga y para obtener F_b . Este factor es aplicado a un 5% estimado del valor de MOR, de 5040 libras por pulgada cuadrada, que lleva a un F_b de 2400 libras por pulgada cuadrada para la clasificación de 2.0 E .

C. Control de calidad

Los procedimientos de control de calidad son necesarios para asegurar que los esfuerzos asignados por el sistema MSR reflejen las propiedades actuales de la clasificación de la madera. Estos procedimientos tienen que llevarse a cabo para verificar ambas operaciones correctas de la máquina y para establecer el modelo apropiado de predicción de esfuerzo. La verificación de la relación entre flexión y otras propiedades puede ser también requeridas, particularmente para la obtención del F_t , donde F_t es el esfuerzo permisible en tensión.

Es necesaria la certificación de la operación de la máquina, si no a diario, sí frecuentemente. Dependiendo de los

principio de la máquina, puede que ésta se opere con una barra calibradora de rigidez conocida, y se compare la clasificación del E obtenida por la máquina, con la obtenida para la misma pieza de madera por equipos de pruebas calibrados en laboratorio, o ambas cosas.

La operación de la máquina debe ser certificada, para todos los tamaños de madera que se producen y para el rango de la calidad prevista de la madera del aserradero, porque algunas máquinas presentan sensibilidad a estos factores.

Los procedimientos uniformes del control de calidad del modelo de predicción del MSR, han sido adoptados en Canadá y los Estados Unidos.

Diariamente, o con frecuencia, la producción de la madera es ensayada y se prueba con carga; primeramente, en flexión con pruebas suplementarias en tensión. Estas piezas son probadas con carga a 2.1 veces del esfuerzo permisible del diseño (Fb o Ft) para la clasificación Fb-E asignado.

En flexión, las piezas son cargadas en una esquina, al azar, con el efecto máximo en la orilla dentro de la máxima área del momento, o tan cerca como es posible.

Si menos del 95% de las piezas de madera ensayada sobreviven a la prueba, se hace un segundo ensayo inmediatamente. Si la segunda prueba también falla al 95 % del criterio de sobrevivencia, el sistema de clasificación del MSR es declarado fuera de control y la operación se cierra para aislar y corregir el problema.

Para detectar la dirección o el cambio gradual en la operación de la máquina, que puede acompañar al uso y desgaste de las partes de la máquina, se usan los registros acumulativos de la máquina de calibración. Los resultados de las pruebas son también acumulativos. Los procedimientos estadísticos estándar del control de calidad se usan para revisar el modelo apropiado del MSR y para modificar el modelo, como sea necesario, como respuesta al cambio en la reserva de la madera.

Muchas fallas en una prueba, o en varias consecutivas, no necesariamente indican que el sistema esté fuera de control. Si la línea de predicción está basada con una confianza del 95%, se puede esperar que una prueba de 20 no va ya a juntar los requerimientos de la prueba. Asimismo, una o más pruebas fuera de control pueden también, representar una aberración temporal en las propiedades del material.

En cualquier evento, se llamaría para inspeccionar los registros acumulativos del control de calidad y así detectar y determinar si los ajustes en la máquina son necesarios.

Un registro limpio durante un periodo dado de tiempo, exime un sistema fuera de control previo.

D. Categorías de tamaño y uso de la madera estructural

El tamaño relativo de una pieza de madera es usado como una guía en la cual se anticipa la aplicación o el uso que un miembro reciba en el campo. Por ejemplo, los miembros con

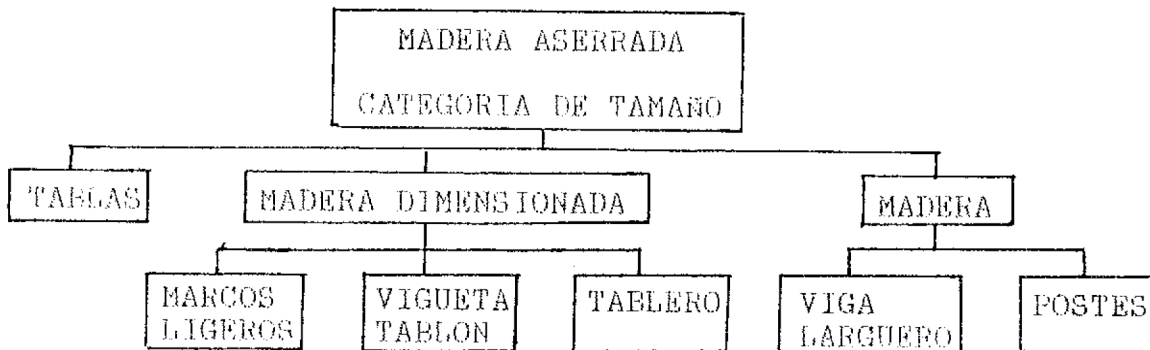
sección rectangular son más eficientes que los que tienen sección cuadrada.

Si la aplicación final de una pieza de madera se conociera, las reglas de la clasificación de esfuerzo se podrían establecer para las funciones primarias (resistencia axial o de flexión) de la pieza. Por esta razón, la madera se divide en muchos de categorías de tamaños y uso.

La categoría de tamaño tiene que ser entendida por el diseñador; esto se debe a que existen diferentes esfuerzos permisibles aplicables a la misma clasificación de esfuerzo en las diferentes categorías de tamaños (ver cuadro 6.1).

Cuadro 6.1

Categorías de tamaños de madera



Las tres categorías principales (tablas, madera dimensionada y madera) están divididas en un gran número de subcategorías.

Estas son las cinco subdivisiones de la madera para aplicación estructural; las otras subcategorías lo son para

aplicaciones no estructurales (ver cuadro 6.2).

Cuadro 6.2
Subcategorías de madera

| DIMENSIONES NOMINALES | | | | |
|-----------------------|-------------------|--------------------|---|-----------------------|
| SÍMBOLO | NOMBRE | GROSOR PULGADAS | ANCHO PULGADAS | EJEMPLO DE TAMAÑOS |
| ML | marco ligero | 2 a 4 | 2 a 4 | 2x2, 2x4, 4x4 |
| VTA & T | vigueta tablon | 2 a 4 | 5 y más | 2x6, 2x14, 4x10 |
| | tablero | 2 a 4 | 4 y más | 2x4, 2x8, 4x6 |
| V & L | viga larguero | 5 y más | más de 2 pulgadas que el grosor | 6x10, 6x14, 12x16 |
| P & M | postes madera | 5 y más | no más de 2 pulgadas mayor que grosor | 6x6, 6x8, 12x14 |

El desarrollo de las reglas de clasificación de la madera consideran el uso anticipado de las piezas de madera, de acuerdo con su tamaño, pero no hay restricción para el uso actual, que el diseñador haga de las piezas.

La madera que se clasifica cae en la categoría de tamaño de V & L, se usó originalmente como un miembro en flexión.

A pesar de que el tamaño y el uso están relacionados, el esfuerzo permisible depende del tamaño de la pieza más que del uso.

VII. FACTORES PARA OBTENER ESFUERZOS PERMISIBLES

A. Ajuste de esfuerzo para diseño en madera

Las propiedades mecánicas de la madera, asociadas con su calidad, son ajustadas para dar esfuerzos unitarios y módulo de elasticidad permisibles, que sean adecuados para su uso en ingeniería.

Un factor de ajuste se aplica a cada propiedad de resistencia para adecuarlo a una duración asumida de 10 años de diseño de carga completa.

En la clasificación visual, el factor compuesto tiene un rango de 1.9 a 4.5, e incluye un factor de seguridad de aproximadamente 1.3 .

Un factor de 2.1 se aplica en propiedades derivadas para la clasificación mecánica de la madera. Se pueden hacer ajustes adicionales para tamaños, forma y contenidos de humedad.

Algunos de los factores de ajuste causan que los esfuerzos permisibles disminuyan; otros causan que se incrementen. Cuando se consideran los factores que reducen la resistencia, se espera una pieza más grande para soportar la carga dada. Mientras que, cuando los factores incrementan la resistencia, se esperan piezas más pequeñas y económicas, si se toman en cuenta estos factores.

Lo que se busca es una aproximación conservadora, en la dirección de mayor seguridad, que sea regla general en el

diseño estructural. Se tienen que considerar los factores que incrementen el tamaño de la pieza. Opuestamente, los factores que causen que las piezas disminuyan, pueden no considerarse o ignorarse; si se quieren considerar, es una cuestión económica.

Los esfuerzos actuales son calculados de cargas y tamaños de piezas conocidas. Estos esfuerzos se representan con una letra *f* minúscula; otra letra indica el tipo de esfuerzo. Las fórmulas usadas para calcular los esfuerzos actuales, fueron desarrolladas para un material ideal, es decir, que sea sólido, homogéneo e isotrópico (con las mismas propiedades en todas las direcciones).

Como la madera está hecha de células huecas y características de crecimiento heterogéneas (anillos anuales, nudos, contenido de humedad, inclinación de las fibras), no satisface completamente el criterio para el cual se desarrolló teóricamente la fórmula.

Se obtienen resultados adecuados en el diseño si se modifican los esfuerzos permisibles. Las modificaciones reflejan factores de diseño importantes; éstos causan que la madera actúe de forma diferente a como lo haría un material ideal.

Los miembros se chequean verificando que los esfuerzos actuales sean menores que los esfuerzos permisibles modificados. Los esfuerzos permisibles se representan con una letra *F'* mayúscula prima, y otra letra que indica el tipo de

esfuerzo.

Las modificaciones toman la forma de factores que se multiplican por los esfuerzos permisibles, y se representan con una letra C, mayúscula, y una letra que indica el propósito de lo modificado.

Algunos factores de modificación son los siguientes:

CF = factor de tamaño (sólo para esfuerzo de flexión).

Cf = factor de forma (sólo para esfuerzo de flexión).

CM = factor de contenido de humedad (para varios esfuerzos).

CD = factor de duración de carga (para varios esfuerzos).

Ct = factor de temperatura.

CR = factor retardante al fuego.

Por ejemplo, el esfuerzo permisible de flexión, ya modificado, toma la forma siguiente:

$$F'_b = F_b * CF * Cf * CM * CD * Ct * CR \quad (\text{Ecuación 7.1})$$

En el ajuste de las propiedades para el uso de diseño de los diferentes factores que se analizan, existen criterios recomendados por diferentes investigadores, como Robles y Echenique (1986:180-185), Gurfinkel (1981:195-216), Breyer (1988:128-135) y lo indicado en "Wood Handbook" (1974:6.9).

Estos investigadores están apoyados en las recomendaciones ya sea de la norma D-245 del American Standard

Testing Materials (1981:104-106) o del National Design Specification, NDS (1986:5-23).

B. Factores de tamaño para secciones rectangulares en flexión

En flexión, el tamaño de la pieza causa que los miembros pequeños tengan una resistencia unitaria mayor que la de los miembros grandes.

El esfuerzo en la fibra extrema en flexión induce un momento de flexión, M , y es calculado por la ecuación 7.2.

$$f_b = \frac{M * c}{I} = \frac{M}{S} \quad F'b \quad (\text{Ecuación 7.2})$$

donde:

f_b = esfuerzo de flexión
 I = momento de inercia
 S = módulo de sección
 $F'b$ = esfuerzo permisible de flexión modificado
 F_b = esfuerzo permisible de flexión
 d = peralte

$$F'b = F_b * C_f \quad (\text{Ecuación 7.3})$$

La comparación del factor de tamaño entre los diferentes autores se puede observar en la cuadro 7.1.

Cuadro 7.1
Comparación del factor de tamaño

| WOOD HANDBOOK | ROBLES & ECHENIQUE | GURFINKEL | BREYER | JUNTA DE CARTAGENA |
|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| $\left(\frac{2}{d}\right)^{1/4}$ | $0.81 \frac{d^2+922}{d^2+568}$ | $0.81 \frac{d^2+143}{d^2+88}$ | $\left(\frac{12}{d}\right)^{1/4}$ | $\left(\frac{5}{d}\right)^{1/4}$ |
| | d (cms) | d > 12" | d > 12" | d (cms) |
| | cuando | cuando | cuando | cuando |
| | d < 30 | d < 12 | d ≤ 12 | d < 30 |
| | CF = 1 | CF = 1 | CF = 1 | CF = 1 |

El Wood Handbook trabaja con el factor de forma del ASTM, norma D 245-81. Se puede ver, en la gráfica 6.4, la comparación de los diferentes valores del factor de forma. El factor de forma del Wood Handbook es conservador, ya que el factor de tamaño que recomienda es menor que los dados por los otros autores.

Robles & Echenique, y Gurfinkel trabajan con el mismo factor de forma, sólo que Robles & Echenique usan el sistema métrico; Gurfinkel usa el sistema inglés y el manual NDS, edición de 1971.

Breyer también usa el NDS para el factor de forma, pero la edición de 1986. Como se puede observar, es el menos conservador; como resultado, se obtienen economías en el diseño de los elementos estructurales.

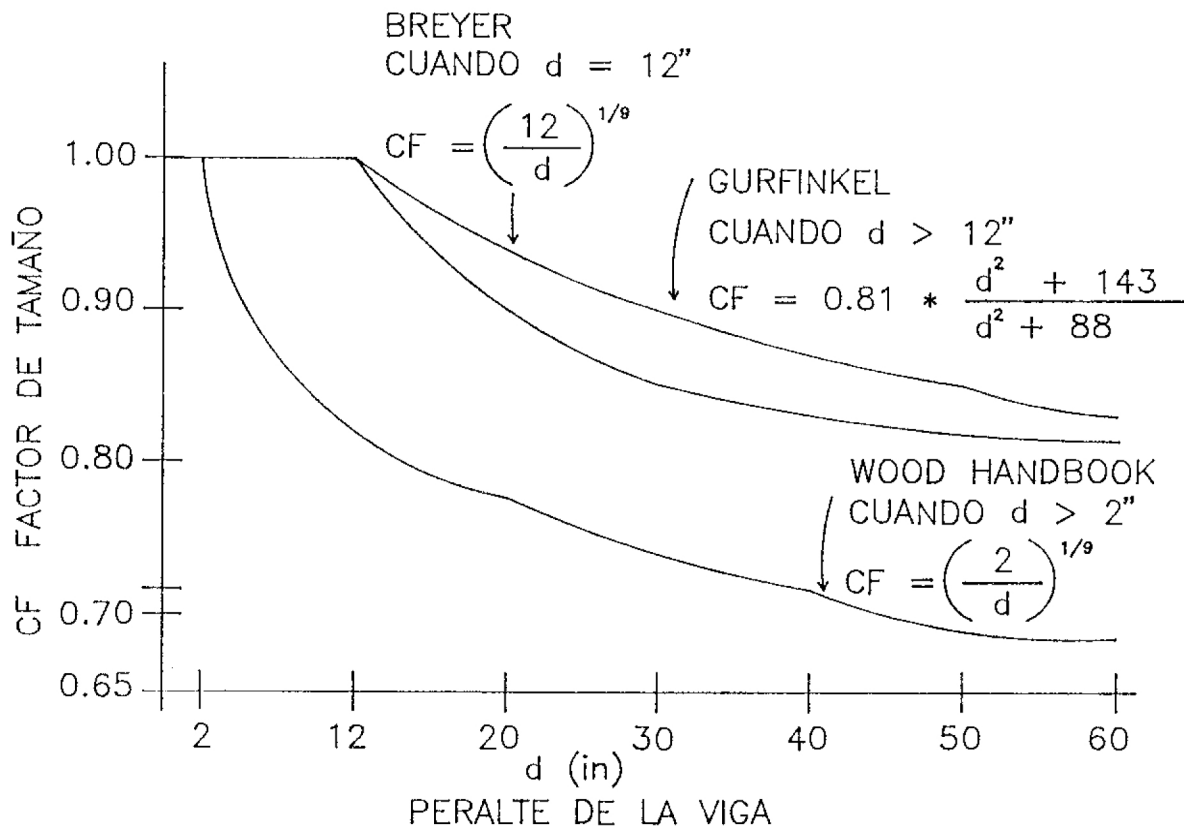
Este factor de tamaño no debe aplicarse a madera

clasificada mecánicamente, ni visualmente para piezas de 2 a 4 pulgadas de espesor. Esta fórmula es válida para vigas simplemente soportadas con carga uniforme.

Para valores de peralte menores de 12 pulgadas, tanto Gurfinkel como Breyer, recomiendan un factor de tamaño de 1.

El valor de diseño se modifica para fibras extremas sujetas a flexión; en ese caso, el factor de tamaño por el factor de forma.

La Junta de Cartagena utiliza el mismo criterio que el Wood Handbook, proporcionando factores similares. Breyer utiliza el mismo factor de tamaño que UBC.



GRAFICA 6.4—
COMPARACION DE FACTORES DE TAMAÑO.

C. Factor de forma en flexión

Para miembros de flexión con sección circular o cuadrada, con carga en el plano diagonal, el momento tiene que ser modificado por un factor de forma, Cf.

Con el factor de forma, Robles & Echenique, Gurfinkel, UBC y Breyer tienen el mismo criterio, ya que utilizan los mismos factores que a continuación se indican:

| | |
|--|------------|
| Para secciones rectangulares, | Cf = 1.00 |
| Para secciones circulares, | Cf = 1.18 |
| Para secciones cuadradas con carga en el plano de flexión paralelo a una diagonal, | Cf = 1.414 |

El factor de forma es un factor de modificación para esfuerzos permisibles de flexión, al igual que el factor de tamaño, y no se pueden aplicar para otros esfuerzos permisibles.

El factor de forma es acumulativo; el de tamaño modifica el esfuerzo permisible. En otras palabras, si una viga con una sección no rectangular tiene una altura mayor de 12 pulgadas (13.5 pulgadas de diámetro para una sección redonda), ambos CF y Cf tienen que ser usados para determinar el esfuerzo permisible modificado en flexión.

D. Factor de contenido de humedad

El contenido de humedad en la madera puede aumentar o disminuir dependiendo de las condiciones locales.

Las propiedades de resistencia son afectadas por el contenido de humedad. Cuando existen diferentes condiciones, los esfuerzos permisibles se tienen que modificar para reflejar los cambios en resistencia.

El efecto que causa variación en el contenido de humedad, también se conoce como la condición de uso de un miembro de madera.

Es necesario considerar el contenido de humedad en diferentes etapas. Estas etapas incluyen el contenido de humedad:

1. A la hora de los acabados (cepillar la madera).
2. A la hora de la fabricación (diseñar las uniones).
3. En uso.

El Wood Handbook hace los ajustes a contenidos de humedad promedio de 15 y 12% con un contenido de humedad máximo esperado de 15 a 19% (1974:6.9).

Los factores (Cd) los obtiene el Wood Handbook del ASTM D-245 (1981:105).

Estos factores se obtienen cuando la madera tiene 4 pulgadas de espesor o menos, y con un contenido de humedad máximo de 19% ó 15%. Al estar en uso, no debe exceder este máximo contenido de humedad.

Los factores son incrementos porcentuales a los esfuerzos permisibles, como se ve en el cuadro 7.2.

Cuadro 7.2

Incrementos porcentuales a los esfuerzos permisibles

| PROPIEDAD | MAXIMO CONTENIDO DE HUMEDAD | |
|-------------------------------------|--------------------------------|-----|
| | 19% | 15% |
| FLEXION | 25 | 35 |
| TENSION PARALELA A LAS FIBRAS | 25 | 35 |
| CORTE HORIZONTAL | 8 | 13 |
| COMPRESION PERPENDICULAR A LA FIBRA | 50 | 50 |
| COMPRESION PARALELA A LA FIBRA | 50 | 75 |
| MÓDULO DE ELASTICIDAD | 14 | 20 |

Cuando el grosor de la madera es mayor que 4 pulgadas, no es necesario hacer el ajuste para el contenido de humedad, porque las propiedades permisibles son asignadas cuando la madera está en la condición verde. Esto se debe a que la madera, en tamaños grandes, usualmente se pone en lugares sin secar porque se asume que el grado de secamiento altera el incremento en resistencia, normalmente asociado con la pérdida de humedad. La madera se considera seca cuando su contenido de humedad es del 19% ó menos. La madera con un contenido de humedad de 20% ó más, se considera madera verde.

Robles & Echenique y Gurfinkel no mencionan el factor de

contenido de humedad.

Breyer trabaja con el factor de contenido de humedad del NDS-86. Lo utiliza cuando los valores de diseño se aplican a madera en uso con contenidos de humedad del 19% o más.

Cuando se diseña con madera de 2 a 4 pulgadas de espesor, donde el contenido de humedad excede el 19% para un periodo largo de tiempo, los valores de diseño tienen que multiplicarse por los siguientes factores (ver cuadro 7.3).

Cuadro 7.3

Factores de contenido de humedad con
madera de 2 a 4 pulgadas de espesor donde
el contenido de humedad excede el 19%

| | | CM |
|-------------------------------------|------------------|------|
| FIBRA EXTREMA EN FLEXION | Fb | 0.86 |
| TENSION PARALELA A LA FIBRA | Ft | 0.84 |
| CORTE HORIZONTAL | Fv | 0.97 |
| COMPRESION PERPENDICULAR A LA FIBRA | Fc [⊥] | 0.67 |
| COMPRESION PARALELA A LA FIBRA | Fc | 0.70 |
| MODULO DE ELASTICIDAD | E | 0.97 |

Cuando se diseña con madera mayor de 5 pulgadas de espesor, donde el contenido de humedad excede el 19% para un periodo largo de tiempo, los valores de diseño tienen que multiplicarse por los siguientes factores (ver cuadro 7.4).

Cuadro 7.4

Factor de contenido de humedad con
madera mayor de 5 pulgadas de espesor donde
el contenido de humedad excede el 19%

| | | CM |
|-------------------------------------|-----------------|------|
| FIBRA EXTREMA EN FLEXION | Fb | 1.00 |
| TENSION PARALELA A LA FIBRA | Ft | 1.00 |
| CORTE HORIZONTAL | Fv | 1.00 |
| COMPRESION PERPENDICULAR A LA FIBRA | Fc ^L | 0.67 |
| COMPRESION PARALELA A LA FIBRA | Fc | 0.91 |
| MODULO DE ELASTICIDAD | E | 1.00 |

Entre las diferencias que se pueden ver en el Wood Handbook y Breyer son:

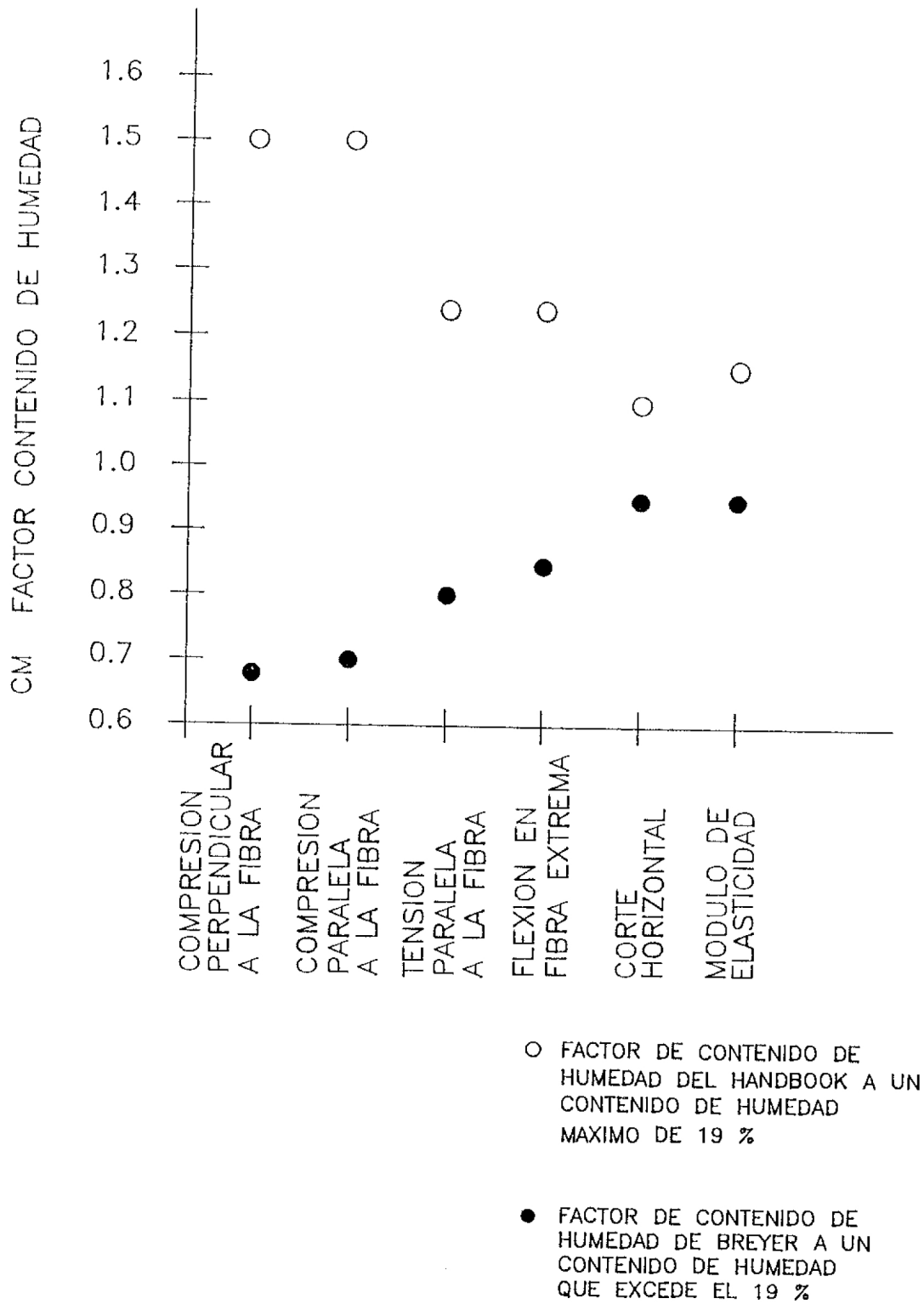
1. El Wood Handbook utiliza los factores a un contenido de humedad máximo del 19%, mientras que Breyer utiliza los factores cuando el contenido de humedad es mayor del 19% y la madera tiene menos de 4" de espesor.
2. Los factores del Wood Handbook, que son mayores que la unidad, al multiplicarse con el esfuerzo, dan unos esfuerzos permisibles muy grandes. Breyer usa factores más conservadores, pero siempre buscando la seguridad en las estructuras.

Se hizo la comparación con contenido de humedad similar al 19%, como se ve en la gráfica 6.5 y con piezas menores de 4 pulgadas entre el Wood Handbook y Breyer.

3. Cuando las piezas son mayores de 5 pulgadas, y con un contenido de humedad mayor al 19%, el Wood Handbook no considera el factor porque ya que las propiedades permisibles son asignadas cuando la madera está en la condición verde.

Breyer sí aplica factores para este caso, pero como se puede ver, todos los factores son igual a uno, menos cuando la pieza se encuentra en compresión (es el mismo caso que el del Wood Handbook).

Se hizo una comparación a igual contenido de humedad del 19% con piezas de espesor menor de 4 pulgadas, la cual se puede ver en la gráfica 7.1.



GRAFICA 7.1—
COMPARACION FACTOR DE CONTENIDO DE HUMEDAD.

E. Factor de duración de carga

La madera tiene una propiedad estructural única. Puede soportar esfuerzos muy altos, si éstos son aplicados durante un período corto de tiempo.

Esto es particularmente significativo, si ocurre una sobrecarga como resultado de una carga temporal.

C_d es el factor de ajuste de duración de la carga que explica la cantidad de tiempo durante el cual una carga es aplicada.

En el factor de duración de carga, el Wood Handbook y Breyer tienen el mismo criterio en los esfuerzos de diseño permisible, los cuales están basados en un período de carga de 10 años (carga normal).

Gurfinkel trabaja con este factor, igual que Breyer, ya que ambos utilizan el NDS, pero que diferentes ediciones. En este caso, no hay ningún cambio.

En cuanto a duración, Breyer se interesa más por la carga de diseño máximo, y no por la duración de tiempo de una fracción de carga que se aplica adicionalmente. Por ejemplo, la duración asociada con la carga de viento es de 1 día. Es claro que siempre está presente algún movimiento de viento, pero la carga máxima de viento durante la vida útil de una estructura se asume que actúa sólo 1 día.

Si se considera que la duración de la carga, ya sea continua o acumulativa, va a exceder de 10 años, los esfuerzos permisibles de diseño se reducen en un 10%.

Si es durante períodos cortos, los esfuerzos permisibles se pueden ajustar usando el cuadro 7.5, el cual nos da una comparación entre el Wood Handbook y Breyer.

Cuadro 7.5

Comparación del factor de duración de carga

| WOOD HANDBOOK | | BREYER | | |
|---------------|------|-------------------------|----------|------|
| ASTM | | NDS | | |
| Cd | | Cd | | |
| > 50 años | | carga muerta | CM | 0.90 |
| 50 años | 0.96 | | | 0.96 |
| 10 años | 1.00 | carga viva piso | CVP | 1.00 |
| 1 año | 1.08 | | | 1.05 |
| 1 mes | 1.15 | carga nieve | CN | 1.15 |
| 7 días | | carga viva techo | CVT | 1.25 |
| 1 día | 1.31 | carga viento o sismo | CW CS | 1.33 |
| 1 hora | 1.48 | | | 1.50 |
| 1 minuto | 1.73 | | | 1.76 |
| 1 segundo | 2.00 | carga impacto | CI | 2.00 |

Como se puede ver, el Wood Handbook y Breyer usan el mismo criterio del factor de duración de carga.

Los dos coinciden en que, en muchas circunstancias de diseño, hay bastantes cargas en la estructura, algunas actuando simultáneamente y cada una con diferente duración.

Cada incremento de tiempo, mientras la carga total sea constante, debe ser tratado separadamente; la condición más severa rige el diseño.

Por ejemplo, Breyer (1988:130-131) muestra el factor de duración de carga más apropiado para las diferentes combinaciones de carga, y, como se puede ver, la carga tiene la duración más corta; ésta es la que se toma en cuenta.

| | CD |
|----------------|------|
| CM | 0.90 |
| CM + CVP | 1.00 |
| CM + CVP + CVT | 1.25 |

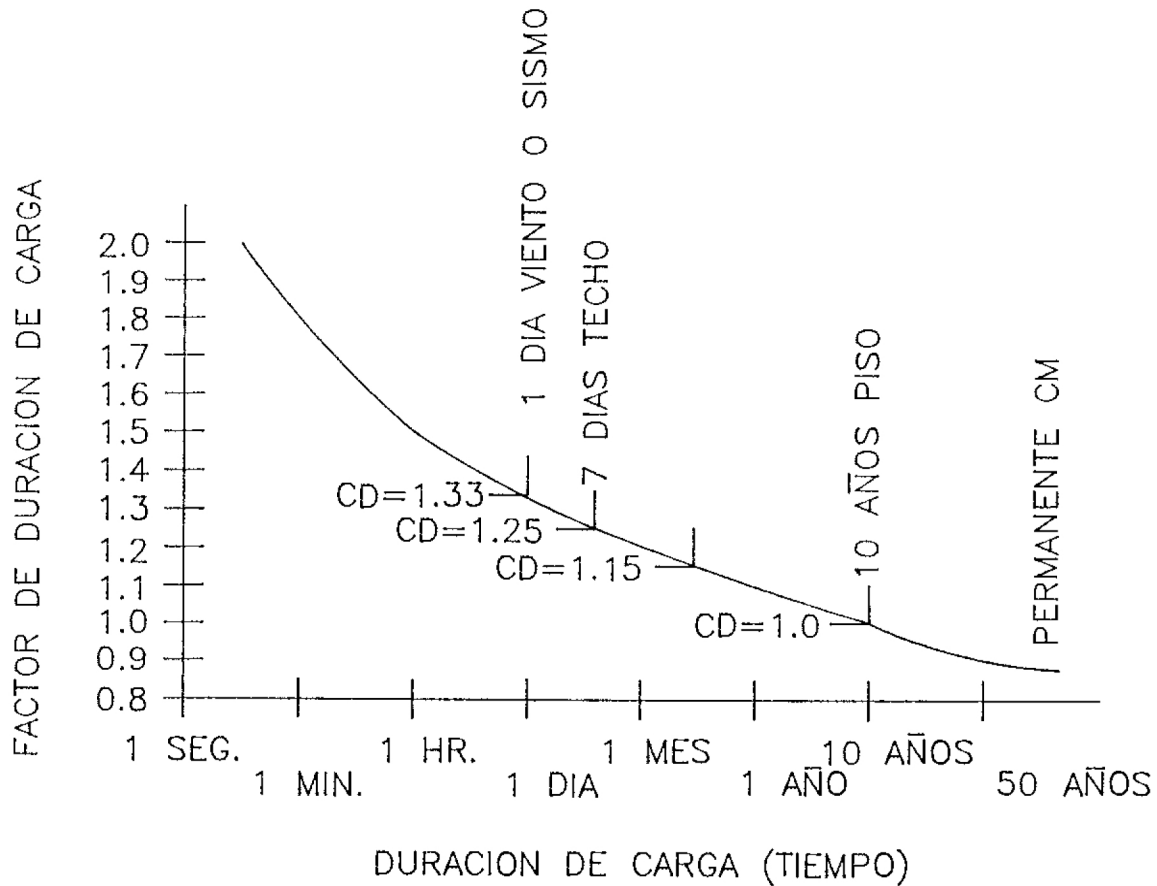
donde:

CM = carga muerta

CVP = carga viva piso

CVT = carga viva techo

Ya sea el esfuerzo permisible o la carga total de diseño, pero no los dos, se puede ajustar usando la gráfica 7.2. Esta es una gráfica que representa el factor de duración de carga; y se obtiene con los valores del cuadro 7.7.



GRAFICA 7.2—
FACTOR DE DURACION DE CARGA.

Los valores de esfuerzos permisibles se pueden incrementar en un 100%, por impacto ocasional, proporcionando que los tamaños resultantes de los miembros estructurales sean seguros, incluso para una carga estática en la estructura.

Debe notarse que el factor de duración de carga se aplica a la combinación entera de carga y no sólo a la porción del esfuerzo causado por una carga de una duración particular.

El Cd que se usa, es aquél que está asociado con la duración más corta de tiempo en una combinación dada.

Es posible que una carga pequeña, de duración más larga (con Cd más pequeño), sea más crítica que una carga grande de duración más corta (con Cd más grande).

Cualquier combinación de carga, junto con el factor de duración apropiado, produce el miembro de tamaño más grande, el cual tiene que usarse en el diseño de la estructura. Por lo tanto, se tienen que chequear diferentes combinaciones de carga para determinar cuál combinación es la que regirá el diseño. Robles y Echenique, y Breyer, coinciden en esto.

Robles y Echenique trabajan con factores por duración de carga que varían un poco con los de Breyer; los factores de Robles son más altos, pero siempre con el mismo concepto: "la duración más corta es la que rige el diseño".

Combinación de carga de Robles y Echenique (1986:151)

| | | |
|---|---|------|
| Carga muerta | = | 1.00 |
| Carga muerta más carga viva | = | 1.15 |
| Carga muerta más carga viva más viento o sismo | = | 1.50 |
| Carga muerta más carga viva más impacto | = | 2.00 |

Ellos recomiendan que para determinar la combinación más desfavorable se puede aplicar la siguiente regla:

Calcular, para cada combinación probable de cargas, el cociente P_i/k_i .

P_i es la suma de las cargas de la combinación i ; k_i es el factor de incremento correspondiente a la combinación i .

La combinación más desfavorable es la correspondiente al cociente máximo.

Por ejemplo, considérese que en el extremo de una viga de madera en voladizo, actúa una carga concentrada que, para las distintas combinaciones, tiene los siguientes valores:

| COMBINACION | CARGA EN TONS. | COCIENTE |
|------------------------------------|----------------|--------------------|
| Carga muerta | 1 ton. | $1.00/1.00 = 1.00$ |
| Carga muerta más viva | 1.5 ton. | $1.50/1.15 = 1.30$ |
| Carga muerta más viva más sismo | 1.8 ton. | $1.80/1.50 = 1.20$ |

La combinación que rige el diseño es carga muerta más carga viva. Los módulos de elasticidad no deben incrementarse por corta duración.

El manual de diseño de la USAC también trabaja con los mismos factores de Breyer y con los del Wood Handbook, ya que utilizan las normas del ASTM.

El Manual de Cartagena recomienda la reducción de la

resistencia para cargas prolongadas que, en el caso de flexión, es de 1.15, y, para compresión paralela, de 1.25.

F. Factor de corte

El esfuerzo de corte se calcula con la siguiente fórmula:

$$f_v = \frac{V * Q}{I * b} \quad (\text{Ecuación 7.4})$$

donde:

f_v = esfuerzo de corte
 V = fuerza de corte total en la sección
 Q = primer momento del área
 I = momento de inercia
 b = ancho de la sección
 A = área de la sección

Y, para un miembro rectangular de ancho b y peralte d :

$$f_v = \frac{3 * V}{2 * A} \quad (\text{Ecuación 7.5})$$

En una viga fisurada, la parte superior del centro y la parte inferior del centro de la viga, cargan una gran porción del corte, independientemente del eje neutro. La proporción depende de la distancia de la carga al soporte, y varía inversamente con el cuadrado de la distancia; hasta que la carga esté cerca del soporte, casi todo el corte es absorbido por las partes alta y baja de la viga.

El resultado se da con una carga concentrada o móvil; la fuerza cortante máxima se logra si la carga está a una distancia tres o cuatro veces mayor del peralte de la viga del soporte. En este punto, aproximadamente un quinto, es todavía soportado por la parte del centro superior e inferior de la

viga. A este se le llama acción de corte de dos vigas.

El factor de corte, C_v , es la relación de la fuerza de diseño de corte, calculada usando la fórmula simplificada a aquella usando la fórmula más exacta.

El factor varía con la relación de la luz libre al peralte (l_c/d).

Al multiplicar la fórmula simplificada por el factor de corte, C_v , se tiene la fórmula equivalente de diseño de la fuerza cortante. El valor C_v no debe exceder de uno.

$$C_v = 0.95 + \frac{l_c/d}{250} - 1.32 * (d/l_c) + 11.5 * (d/l_c)^3$$

(Ecuación 7.6)

donde:

l_c = longitud libre.

d = peralte.

C_v = factor de corte.

En caso de fisuras o hendiduras, el valor C_v si puede exceder de uno. Se puede establecer valores de corte horizontal por el uso de los siguientes factores, cuando se conoce el largo de las hendiduras, o el tamaño de las fisuras.

Largo de la hendidura

en la cara ancha de Cv

una pieza de 2"

no hay hendidura 2.00

$\frac{1}{2}$ * cara ancha 1.67

$\frac{3}{4}$ * cara ancha 1.50

1 * cara ancha 1.33

$1\frac{1}{2}$ * cara ancha o más 1.00

Largo de la hendidura

en la cara ancha de Cv

una pieza de 3" o más

gruesa

no hay hendidura 2.00

$\frac{1}{2}$ * cara angosta 1.67

1 * cara angosta 1.33

$1\frac{1}{2}$ * cara angosta o más 1.00

Tamaño de la fisura

en una pieza de 3" o más Cv

gruesa

no hay fisura 2.00

$\frac{1}{6}$ * cara angosta 1.67

$\frac{1}{3}$ cara angosta 1.33

$\frac{1}{2}$ * cara angosta o más 1.00

VIII. CONCLUSIONES

1. El método de clasificación estructural de la madera facilita el diseño de estructuras de madera en una forma segura porque permite dimensionar los elementos de acuerdo con las características que afectan su comportamiento, pudiendo especificar también los defectos permisibles a lo largo del miembro, sin afectar notoriamente la capacidad de su resistencia.
2. Las pruebas no destructivas de clasificación pueden implementarse en los laboratorios de materiales que existen en Guatemala, como en la Universidad de San Carlos, con el propósito de impulsar el uso de la madera para reducir los costos de construcción y la fuga de divisas por el uso de otros materiales, de origen externo, que requieren un porcentaje mayor de insumos, los cuales significan un drenaje continuo de las escasas divisas con que se cuenta en el país.
3. La utilización de la madera estructural implica un incentivo en el uso de materiales renovables, de origen forestal, si se explotan racionalmente y se implementan, paralelamente, programas de reforestación con incentivos fiscales.

4. Se debe capacitar, en los aserraderos, a personal calificado para la clasificación de la madera.
5. Capacitar mano de obra calificada con el objeto de construir lo especificado por el ingeniero de obra, quien deberá mantener una supervisión continua que garantice la calidad de las obras.
6. Es importante que la metodología de clasificación de la madera se divulgue ampliamente, a fin de aumentar la oferta de piezas de madera de calidad suficientemente alta, para incentivar su aplicación en estructuras sustitutivas de concreto y acero, las cuales, para su obtención, requieren el uso de divisas, necesarias para mantener el desarrollo sostenido de los países de menor desarrollo relativo.
7. Se deberá tomar en cuenta los posibles usos de la estructura, los cuales pueden ser diferentes a lo planeado originalmente, sin afectar la seguridad de la obra.
8. Durante la vida útil de una estructura de madera, deberán realizarse revisiones periódicas a los elementos estructurales que puedan ser afectados por decaimiento de la madera debido a pudrición.

9. De la información existente, la proporcionada por el investigador Donald Breyer es la que se encuentra más actualizada. Por lo tanto deberá adaptarse para las condiciones que se encuentran en nuestro país.
10. Los inconvenientes de clasificar la madera por medios visuales son obvios; se requiere de un número relativamente alto de personal adecuadamente entrenado. Es difícil lograr uniformidad en las clasificaciones porque no se pueden evitar las consideraciones subjetivas.
11. Escapa, a la observación visual, la influencia de propiedades de la madera, tales como la densidad, que es variable y puede hacer que una pieza con más nudos que otra, tenga mayor resistencia por su mayor densidad para un caso específico de carga.
12. Debido que en la actualidad, el único trabajo completo desarrollado acerca de este tema, es el Manual de Diseño de Elementos Estructurales de Madera de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos, considero conveniente una revisión con el propósito de discutir, a través de un taller académico, algunos parámetros para corrección de este trabajo.

IX. BIBLIOGRAFIA

- American Society of Testing Materials Committee on
1983 Standards. A.S.T.M., D-143. Philadelphia.
- American Society of Testing Materials Committee on
1984 Standards. A.S.T.M., D-198. Philadelphia.
- American Society of Testing Materials Committee on
1981 Standards. A.S.T.M., D-245. Philadelphia.
- American Society of Testing Materials Committee on
1981 Standards. A.S.T.M., D-2555. Philadelphia.
- American Society of Testing Materials Committee on
1984 Standards. A.S.T.M., D-2915. Philadelphia.
- Breyer Donald E. Design of Wood Structures.
1988 Estados Unidos de América, McGraw-Hill, Inc.
669 pp.
- Forest Product Laboratory. Wood Handbook, Agriculture
1974 Handbook No. 72, U.S. Department of Agriculture,
Washington D.C. 460pp.
- German Gurfinkel. Wood Engineering, Second Edition.
1981 Dubuque, Iowa. Kendall / Hunt Publishing
Company. 541 pp.
- Junta del Acuerdo de Cartagena. Manual de Diseño para
1982 Maderas del Grupo Andino. Colombia. Editado por
La Junta de Acuerdo de Cartagena.
- National Forest Products Association. National Design
1986 Specification for Wood Construction, NDS.
Washington D.C. 59 pp.
- Robles Fernández-Villegas, F.; R. Echenique Manrique.
1986 Estructuras de Madera. México, D.F., Editorial
Limusa S.A. 361 pp.
- Samayoa Flores, D. Manual de Diseño de Elementos
1973 Estructurales de madera para Vivienda.
Guatemala. Facultad de Ingeniería USAC - Banvi.
145 pp.