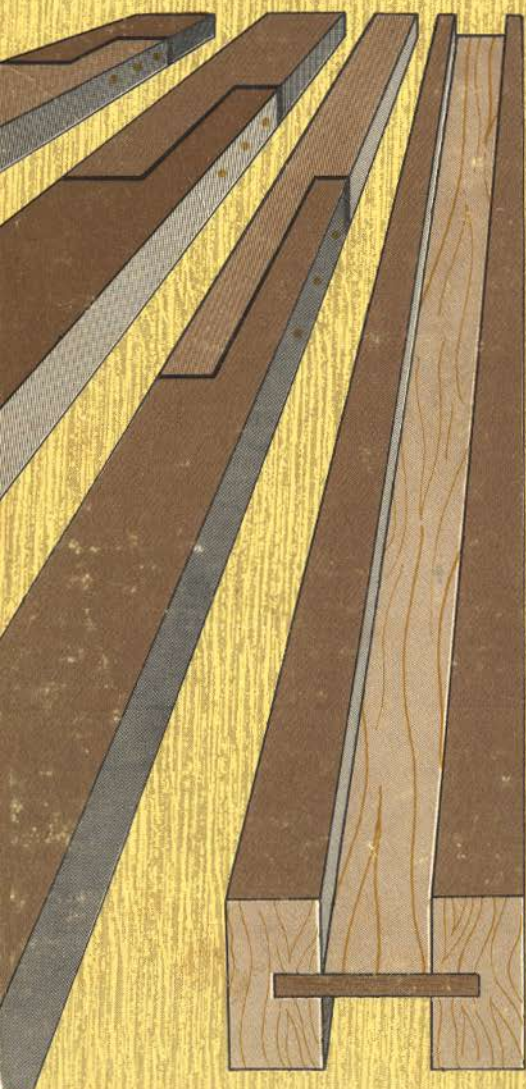


DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS DE MADERA



juan tuk



FE DE ERRATAS

Pag. 40. Dice: 2.7.2.4 Fallido. Se permitirá. . ., debe decir: Fallido. No se permitirá. . .

Pag. 55. Dice: $C_d = \sqrt[3]{30/n}$ debe decir: $C_d = \sqrt[9]{30/n}$

Pag. 57, Cuadro N° 10, en la columna correspondiente al valor de compresión perpendicular se lee: F_{cl} debe ser $F_{c\perp}$

Pag. 61. El asterisco de nota en el cuadro A1J, es: *no disponible en condición seca.

Pag. 62. Cuadro N° A.1.2, se lee: Módulo de sección S_{xy} debe decir: S_{xx}

Pag. 85. Figura A-14. Pie de la primer grieta, debe leerse: Largo efectivo
$$\frac{L_1 + L_2}{2}$$

leer reverso

Pag. 106. Pie del Cuadro N° 1, dice . . .compresión, L=0 longitud total . . , debe leerse: compresión, L=longitud total . .

*Pag. 118, Cuadro N°12, Columna de flexión, se lee: $(KG/cm^2)^E$
debe leerse: $(KG/cm^2)^E \times 10^3$*

Pag. 136, Al pie de la figura N°9: D Perno con arandelas, E Tornillo de carrocería.

Pag. 140. Se lee: . . .y níspero, Manilkaraachra. . . debe leerse: Manilkara achra.

Juan B. Tuk D.

DISEÑO Y CONSTRUCCION
DE ESTRUCTURAS
DE MADERA



EDITORIAL TECNOLÓGICA
DE COSTA RICA

Primera edición
Editorial Tecnológica de Costa Rica, 1981

624.184

T916d

Tuk Durán, Juan Bosco

**Diseño y construcción de estructuras
de madera. — Cartago: Editorial Tecnoló-
gica de Costa Rica, 1981.**

152 p.: ilus.

1. ESTRUCTURAS DE MADERA. I. Título.

©EDITORIAL TECNOLOGICA DE COSTA RICA, 1981.

Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Apartado 159, Cartago

ISBN 84-89400-10-5

Hecho el depósito de Ley.

Impreso en Costa Rica.

diseño y construcción

de estructuras de madera

contenido

RECONOCIMIENTO	7
PREFACIO	9
GLOSARIO	13
CAPITULO 1. Clasificación estructural de la madera aserrada ..	17
CAPITULO 2. Normas de clasificación para madera de uso estructural	33
CAPITULO 3. Propiedades de diseño para uso estructural	49
CAPITULO 4. Revisión de los grados estructurales	95
LITERATURA CITADA EN LOS CAPITULOS 1, 2, 3 y 4	99
CAPITULO 5. Normas recomendadas para el diseño con ma- dera estructural	103
CAPITULO 6. La madera en materiales compuestos	115
CAPITULO 7. Elementos estructurales compuestos de madera. .	127
CAPITULO 8. Uniones	135
CONCLUSIONES	143
LITERATURA CITADA EN LOS CAPITULOS 6, 7 y 8	147

RECONOCIMIENTO

El autor desea expresar su más sincero agradecimiento al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, CONICIT, por la financiación del proyecto de investigación "Clasificación y normalización de madera de uso estructural", que permitió escribir los capítulos 1 y 2 de este trabajo, y al grupo de colaboradores que participaron en esta investigación.

A la División de Investigación y Extensión Tecnológica del Instituto Tecnológico de Costa Rica por haber facilitado los recursos necesarios para desarrollar gran parte de las experiencias que constituyen el cuerpo de este libro.

A mis compañeros del Departamento de Ingeniería de la Madera del ITCR quienes con su consejo han contribuido a desarrollar los conceptos expuestos.

Al Dr. Robert J. Hoyle Jr. quien me enseñó el arte de la investigación.

PREFACIO

En Costa Rica, al igual que en la mayor parte del área centroamericana, la madera se utiliza como material de construcción en forma discriminada. Existe una dualidad en cuanto a su valor como material constructivo, a saber: el valor estético de algunas especies y el valor estructural.

En primer lugar, en cuanto al valor estético sobresale el culto a especies que presentan colores oscuros, maderas generalmente densas, difíciles de conseguir debido a su largo período de crecimiento. Ejemplos de este tipo de madera son:

<i>Ron-ron:</i>	<i>Astronium sp., Anacardiaceae</i>
<i>Surá:</i>	<i>Terminalia lucida, Combretaceae</i>
<i>Cristóbal:</i>	<i>Piatymiscium polystachyum, Fabaceae</i>
<i>Guayacán real:</i>	<i>Guaiaacum sanctum, Zygophyllaceae</i>
<i>Cocobola:</i>	<i>Dalbergia rutusa, Papilionaceae</i>
<i>Guachipelín:</i>	<i>Diphyssa robinoides, Papilionaceae</i>
<i>Genízaro:</i>	<i>Samanea saman, Fabaceae</i>
<i>Guanacaste:</i>	<i>Enterolobium cyclocarpum, Fabaceae</i>

Las especies anteriores son alistadas en productos para forro de paredes: tablas, tablillas, molduras, contrachapeado decorativo, etc. El uso de estas maderas en la construcción es motivo de orgullo para su poseedor. Su costo es prohibitivo para la mayor parte de la población.

El valor de la madera como material estructural es y ha sido desaprovechado en los países centroamericanos durante

los últimos 15 ó 20 años. Así, se han destinado grandes sumas a la importación de materiales de construcción, entre los que figuran perfiles metálicos doblados en frío, varilla lisa y corrugada, alambres de alta resistencia, asbesto, pulpa mecánica. El consumo energético en la producción de bienes finales o intermedios con base en materiales de importación constituye otro factor importante. Muchos agentes necesarios para utilizar el acero en construcción consumen energía y son maquinaria que tiene períodos de depreciación extremadamente cortos: batidoras de diesel o gasolina, vibradores de concreto, quebradores de piedra, vagonetas, etc.

No se trata de emplear la madera en sustitución de todos los materiales de construcción. Pero algunos de los que hoy se emplean, como el acero y el hormigón, pueden ser reemplazados por la madera, obteniéndose mejores resultados.

Además de construcción para vivienda unifamiliar, otros ejemplos son: edificios de hasta cuatro pisos, centros comerciales, bodegas, gimnasios, iglesias, redes de distribución de energía eléctrica, etc. La maquinaria para la producción de madera para estructuras requiere menor consumo de energéticos fósiles, aumenta la mano de obra, tiene una vida útil mayor y puede construirse en Costa Rica, país que cuenta ya con una floreciente industria metal-mecánica.

La investigación realizada por costarricenses conscientes de las posibilidades de la madera en el desarrollo del país, es de gran importancia. Se han venido estudiando las propiedades físicas y mecánicas desde 1970 en especies en forma individual y extensiva. Desde 1975 se han investigado tópicos más especializados, como la capacidad de carga de uniones estructurales de tipo liviano y pesado. Desde 1971 se ha analizado el uso de la madera y sus residuos como agregado para concretos. En 1978 se inició el desarrollo de tecnología necesaria para la producción masiva de madera, con miras a los mercados de construcción y ebanistería. Vemos, por ejemplo, el desarrollo del diseño y la adaptación de sistemas de secado: en 1977 la secadora convencional es diseñada y construida en

el Instituto Tecnológico de Costa Rica; en 1978 aparecen en el mercado los sistemas de secado por deshumidificación, de fabricación italiana, con mayores ventajas que la desarrollada por el ITCR. En 1980, el Tecnológico volvió a construir un nuevo tipo de secadora, usando las energías solar y eléctrica. Este nuevo diseño superó los modelos anteriores.

Algunas investigaciones que aumentarán la facilidad y aceptación de la madera en la construcción son: la sustitución del diesel por una mezcla de agua-alcohol para el proceso de preservación. Esto disminuye los costos ocasionados por las alzas constantes en el precio del diesel.

En los siguientes capítulos analizaremos en detalle cada uno de los aspectos que deben tomarse en cuenta en la aplicación de la madera como material estructural.

GLOSARIO

- 1. Contenido de humedad:** Es la relación expresada en tanto por ciento del peso del agua en una muestra de madera respecto a su peso anhidro.
- 2. Esfuerzo básico:** Es una medida de la resistencia de la madera que incluye consideraciones estadísticas de la población que representa. Normalmente el valor correspondiente al esfuerzo básico es excedido en un 95 % por el resto de la madera que representa.
- 3. Esfuerzo de diseño:** Es también conocido como esfuerzo de trabajo. Consiste en la resistencia que se espera de la madera en condiciones de servicio. Se obtiene reduciendo el esfuerzo básico con varios factores circunstanciales.
- 4. Madera aglomerada:** Es también conocida como madera reconstruida. Consiste en tableros formados por partículas aglutinadas con algún tipo de adhesivo.

- 5. Madera contrachapeada:** Es también conocida como madera terciada o *plywood*. Consiste en láminas delgadas de madera (2 a 4 mm) cortadas con cuchilla, ya sea debobinada en torno o en mesa plana. Las láminas son encoladas luego y el grano se dispone en direcciones ortogonales alternativamente.
- 6. Madera estructural:** Es aquella madera que se manufactura especialmente para soportar condiciones calculadas de esfuerzos y deformaciones. Su duración en servicio es prolongada y puede usarse en casos en que la estabilidad dimensional es imperativa.
- 7. Madera laminada:** Se llama así a las secciones masivas de madera formadas a partir de pequeños trozos. La unión de las láminas entre sí se realiza por medio de adhesivos o elementos mecánicos como clavos, pernos, etc.
- 8. Madera seca al aire:** Es madera cuyo contenido de humedad se ha llevado a un 12 0/o. Este nivel de contenido de humedad se usa internacionalmente para reportar la resistencia de la madera.
- 9. Madera seca al ambiente:** Se define con este nombre la madera que se deja bajo cubierto hasta que alcance el contenido de humedad de equi-

librio de 18 0/o, normal en gran parte del país. Los esfuerzos de diseño se hacen en Costa Rica con base en este nivel de humedad.

10. Madera verde:

Es madera aserrada cuyo contenido de humedad es mayor que el 30 0/o.

11. Módulo de ruptura:

Es la condición máxima de esfuerzo normal calculada para una sección sometida a momento flector último, suponiendo una distribución lineal de esfuerzos normales.

12. Módulo elástico:

Es la pendiente del tramo lineal para la relación entre la carga y la deformación. Generalmente se calcula a partir de ensayos a flexión.

13. Peso específico básico:

Es el resultado de dividir el peso anhidro de la madera (a 103°C) entre el volumen que tenía ese peso cuando se encontraba en condición verde.

14. Resistencia a la compresión paralela:

Se define como la resistencia máxima que ofrece la madera con el grano paralelo a la dirección de los esfuerzos generados. Esta capacidad se obtiene para una razón de esbeltez correspondiente a columna corta.

CLASIFICACION ESTRUCTURAL DE LA MADERA ASERRADA

La madera que se corta de los troncos de los árboles no puede ser utilizada inmediatamente para estructuras. Para poder ser considerada material estructural deberá ser sometida a un proceso de secado y selección. En casos en que haya condiciones de servicio adversas que deterioren la estructura anatómica de la madera, esta deberá además ser tratada con sustancias químicas tóxicas. El proceso de selección de la madera para ser empleada bajo carga se conoce como clasificación. En este capítulo presentaremos las propiedades mecánicas de las maderas costarricenses, según han sido definidas por diversos investigadores. Aunque esta información no permite establecer esfuerzos de diseño en algunos casos, es de suma importancia pues se pueden usar sus valores a manera de índices.

1.1 Abundancia y localización de las especies maderables en Costa Rica

Para la selección de las especies que se incluyen en este estudio se tomaron en cuenta varios factores. En primer lugar, se trató de fundamentar la elección con base en parámetros reales, medibles. De esta manera, no se tuvieron en mente solo criterios u opiniones subjetivas. El factor principal que se determinó fue el volumen por unidad de superficie ($\text{m}^3/\text{hectárea}$) y, basándose en este, se entresacaron las más frecuentes. Para este fin se utilizó información disponible en 26 inventarios forestales. Algunos de estos inventarios son propiedad privada de

empresas de explotación forestal y, por esta razón, no se incluyeron en la literatura. Otros sí son de dominio público. Dentro de estos tenemos: (1), (6), (8), (9), (11), (14), (22), (25), (24), (26), (27) (32), y otros.

Los resultados de cada uno de los estudios se resumen en el *Cuadro N° 1*. Pese a que fueron consultados 26 inventarios, seis de estos reportan los resultados en forma cualitativa y, por lo tanto, no se incluyeron.

CUADRO No. 1. Medición de volumen y frecuencia de las especies costarricenses reportadas en la literatura.

ESPECIE	LOCALIZACION	No. DE ARBOLES/ HECTAREA	m ³ /ha.	REF.
Botarramas	Limón	2.7	10.65	1
	Sarapiquí	—	10.52	32
	Sarapiquí	—	8.68	CONF.*
	La Vaca	0.68	2.70	25
Gavilán	Sarapiquí	—	127.80	CONF.*
	Guatuso	—	99.00	22
	Guápiles	—	67.39	CONF.
	Talamanca	—	64.39	CONF.
	Chambacú	32.0	30.00	8
	Río Reventazón	10.0	10.14	CONF.
	Limón	0.30	0.59	1
Laurel	Sarapiquí	—	0.86	32
	Limón	0.3	0.59	1
Pilón	La Vaca	1.43	19.77	25
	Coto Sur	1.40	14.70	25
	Las Brumas			
	Guanacaste	—	10.08	CONF.
	Puriscal	—	8.88	CONF.
	Limón	1.40	5.63	1
	Sarapiquí	—	2.44	32

* CONF.: *confidencial*.

Además del volumen de madera disponible se consideraron otros factores tales como: características de crecimiento, capacidad de regeneración de bosque secundario, y otras bondades silvícolas, con el objeto de que las especies estudiadas puedan ser incluidas en programas de reforestación.

Finalmente se realizaron reconocimientos de campo y se localizaron y marcaron los árboles que serían empleados para los ensayos posteriores.

Las especies seleccionadas con base en el procedimiento anterior fueron las siguientes:

Botarrama (Vochysia ferruginea), *Gavilán (Pentaclethra macroloba)*, *Laurel (Cordia alliodora)*, *Pilón (Hieronyma alchorneoides)* y *Jaúl (Alnus acuminata)*.

Se han hecho algunos trabajos de inventario. Petrieks (22) menciona que el bosque de la finca "La Selva", en la región norte, se divide en 53 hectáreas de tipo alto sobre terreno firme dominado por *Pentaclethra*; 35 hectáreas de bosque alto pantanoso se presentan como una asociación *Carapa-Pentaclethra*; 3 hectáreas pantanosas con pocos árboles y 34 hectáreas de bosque secundario.

Sobre *Pentaclethra*, González (11), en Chambacú, zona norte, encontró 82 árboles por hectárea, de los cuales 32 eran de esta especie (39 %).

Para el caso del Laurel, se han encontrado concentraciones de 100 árboles comerciales por hectárea, como en la Finca "Llanos del Cortez", en la Provincia de Guanacaste.

El Pilon se reporta como un árbol con diámetros superiores a 100 centímetros.

En el proyecto industrial forestal para la reserva de Chambacú (11) se encontró la especie del género *Vochysia* como una de las dominantes.

González (10) reporta en su tesis sobre Jaúl que esta especie se encuentra en manchas puras naturales o en

plantaciones puras en las faldas de la Cordillera Volcánica Central. También forma asociaciones con otras especies forestales de los géneros *Quercus*, *Visnia* y *Escalonia*.

Algunos lugares reportados en este estudio como ricos en bosques puros de Jaúl son, entre otros, Tres Ríos, Pacayas, El Empalme. Regiones en las que existen sistemas combinados de plantaciones de *Alnus* y zonas de explotación ganadera son Zarcero, Tres Ríos, Coronado y Pacayas.

1.2 Propiedades mecánicas de las especies previamente estudiadas en Costa Rica

Existen trabajos realizados como temas de tesis en la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica. Estos trabajos fueron realizados en el Laboratorio de Productos Forestales de la misma Institución (13), (15), (19), (29).

Otros trabajos exploratorios se llevaron a cabo como parte de investigaciones financiadas por instituciones públicas, tales como el Instituto Costarricense de Electricidad (30) y el Instituto Costarricense de Puertos del Pacífico (31).

Otra fuente de investigaciones es el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, IICA*, del cual provienen algunas tesis de maestría en el campo de la tecnología de madera (10), (23).

Al analizar los trabajos de la Escuela de Ingeniería Civil, se encuentra en primer lugar el de Llach (15), sobre madera laminada. En este se analizan las propiedades mecánicas de tres especies: Roble (Colorado), *Quercus aaata*; Roble Encino, *Quercus costaricensis*; y Encino, *Quercus eugeniaefolia*. Dichas especies se seleccionaron tomando en cuenta su aptitud para ser usadas en construcción pesada por sus características mecánicas y de durabilidad.

Las propiedades mecánicas se determinaron con

* Actualmente la sección docente se denomina Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

respecto a tres árboles de Roble, dos árboles de Roble Encino y un árbol de Encino. Las normas seguidas fueron las de ASTM: D:143 para especímenes de condición sana, libre de defectos. No se presenta medida de dispersión de los datos. Los resultados de propiedades físicas y mecánicas se resumen, junto con el resto de los trabajos previos, en el *Cuadro N° 2*.

El inconveniente de continuar con el estudio de estas maderas es la extinción del género *Quercus* en Costa Rica. Sin embargo, aún existen bosques bastante homogéneos con estas especies en la Reserva Forestal de Río Macho y en parches aislados en la Cordillera de Talamanca.

Dentro de esta misma serie se presenta el trabajo realizado por Truque (29) con madera de Caobilla y Laurel en condición verde. El muestreo fue realizado en aserraderos. Los ensayos mecánicos se llevaron a cabo según las normas ASTM D:143. En este trabajo se obtuvieron parámetros estadísticos que se reportan en el *Cuadro N° 2*.

Dentro de las conclusiones se hace énfasis en la diferencia encontrada con respecto a la madera de la misma especie que crece en Honduras, Nicaragua, Panamá, Venezuela y Perú.

La resistencia reportada al esfuerzo cortante fue promediada en un solo valor ya que se presentan los valores para la dirección radial separada de la dirección tangencial. Las desviaciones estándar en cada caso fueron mezcladas para obtener un solo valor.

Posterior al trabajo de Truque se realizó una investigación sobre las mismas especies pero en condición seca al aire; es decir, con un 12 % de contenido de humedad (Murillo, A.) (19).

Se siguieron los mismos procedimientos que utilizó Truque para ensayos mecánicos. Se incluye además el programa de secado empleado para llevar la humedad de la madera de verde a seco al 12%. El método de muestreo que se empleó fue el de los aserraderos, igual al de Truque. Los resultados se presentan en el *Cuadro N° 2*.

CUADRO No. 2. Propiedades físicas y mecánicas de especies costarricenses reportadas en la literatura.

ESPECIE	PROCEDENCIA	PESO ESPE- CÍFICO BASICO	MODULO RUPTURA kg/cm ²	MODULO ELASTICO x 10 ³ kg/cm	COMPRESION PARALELA kg/cm ²	CORTANTE Kg/cm ²	TENSION PARALELA kg/cm ²	REF.
Roble	El Empalme Cartago	$\bar{X}$ 0.71 D.E.	1258.	210.	672.	163.		15
Encino	El Empalme Cartago	$\bar{X}$ 0.67 D.E.	1131.	192.	580.	168.		15
Roble Encino	El Empalme Cartago	$\bar{X}$ 0.61 D.E.	1115	197.	572.	130.		15
Laurel Verde	Aserraderos DE(N)	$\bar{X}$ 0.367 .064 (57)	537. 130. (52)	84.2 17.4 (52)	243. 59.6 (57)	62.1 16.2 (114)	768. 209. (30)	29
Laurel Seco	Aserraderos DE(N)	$\bar{X}$ 0.282 .031 (18)	660. 188. (31)	84.7 15.6 (31)	74.0 16.2 (32)	70.1 17.1 (32)		19
Caobilla Verde	Aserraderos DE(N)	$\bar{X}$ 0.451 .042 (54)	841. 104. (54)	104. 15.4 (54)	234. 50.3 (57)	63.1 18.1 (116)	828. 184. (30)	29
Caobilla Seco	Aserraderos DE(N)	$\bar{X}$.553 .02 (18)	939. 90.4 (27)	123. 11.5 (27)	482. 36. (28)	125. 15.6 (31)		19
Nispero Verde	Cabuyal Guanacaste	$\bar{X}$.930 DE(N)	1111.	177.	470.	141.5		13
Nispero Seco	Cabuyal Guanacaste	$\bar{X}$.930 DE(N)	1813	210.	444.	191.5		13
Templisque Verde	Cabuyal Guanacaste	$\bar{X}$.850 DE(N)	987.	149.	349.	125.		13
Templisque Seco	Cabuyal Guanacaste	$\bar{X}$.850 DE(N)	1461.	199.	397.	149.		13

(*) En este caso el módulo elástico bajo en condición seca. $\bar{X}$: Promedio, D.E.: Desviación estándar, N: Número de ensayos

ESPECIE	PROCEDENCIA	PESO ESPECÍFICO BASICO	MODULO RUPTURA kg/cm ²	MODULO ELASTICO x 10 ³ kg/cm	COMPRESION PARALELA kg/cm ²	CORTANTE kg/cm ²	TENSION PARALELA kg/cm ²	REF.
Juál Seco	Valle Central X y Talamanca DE(N)	.348 .026 (305)	579.9 97.4 (305)	90. 16.2 (305)	305.5 45.8 (170)	84.8 8.5 (118)		10
Ceiba Verde	Atlántico Central DE(N)	.407 .069	279. 55.8	56.9 12.5	108. 25.	31.2 8.8		23
Ceiba Seco	Atlántico Central DE(N)	.407 .069 (5)	484. 140 (5)	74.8 13.6 (5)	243. 46 (5)	51.4 10.8 (10)		23
Ojoch Verde	Atlántico Central DE(N)	.625 .0063 (5)	725. 108 (5)	119. 15.5 (5)	343. 41 (5)	108. 32.4 (10)		23
Ojoch Seco	Atlántico Central DE(N)	.625 .0063 (5)	1120. 67.	144. 10. (5)	521. 83 (5)	142. 10. (10)		23
Javillo Verde	Atlántico Central DE(N)	.407 .069 (5)	369. 73.8 (5)	97.2 39.8 (5)	179. 96.6 (5)	52.2 11.5 (10)		23
Javillo Seco	Atlántico Central DE(N)	.407 .069 (5)	592 118 (5)	88.(*) 17.6 (5)	311. 59 (5)	75.9 15.9 (10)		23
Pochote Verde	Liberia Guanacaste DE(N)	.428	445.	74.9	234.	71.		30
Ciprés Verde	Valle Central DE(N)	.430	574.	87.0	297.	60.		31
Vainilla Verde	Atlántico Noreste DE(N)	.340	419.	84.	202.	58.		31
Lechoso Verde	Pacífico Sur DE(N)	.410	497.	101.	219.	53.		31
Gavilán Verde	Atlántico Noreste DE(N)	.490	670.	123.	335.	81.		31

(*) En este caso el módulo elástico bajo en condición seca. X : Promedio. DE: Desviación estándar. N : Número de ensayos.

Lara, B. (13) determinó las propiedades mecánicas promedio de Tempisque (*Sideroxylon tempisque*) y Níspero (*Manilkara spectabilis*). No se reporta ningún parámetro de la dispersión de los datos, ni el número de ensayos o árboles empleados en el muestreo. Los ensayos se realizaron según ASTM: D-143 en condición verde y seca al aire. Los resultados se presentan en el *Cuadro No. 2*. Los árboles fueron obtenidos en la Hacienda Cabuyal, a 20 kilómetros al norte de la ciudad de Liberia en Guanacaste.

González (10) realizó un trabajo con Jaúl (*Alnus jorullensis HBK*) en condición seca al 12 % de C.H. Para esto cortó 33 árboles distribuidos de la siguiente manera: Acosta 5, Zarcero 4, Poasito 6, Tres Ríos-Coronado 8, Copey 5 y Pacayas 5. Por cada árbol tomó una troza, a la mitad de la altura comercial del fuste, de donde obtuvo 5 muestras para cada uno de los ensayos mecánicos. Las pruebas se hicieron siguiendo las especificaciones ASTM D:143. Un exhaustivo estudio de correlación entre los diferentes parámetros fue realizado. No se estudió la interrelación módulo elástico-módulo de ruptura. Se encontró un incremento de las propiedades mecánicas al aumentar la edad de los árboles.

Parte de los resultados obtenidos se presentan en el *Cuadro N° 2*.

Las correlaciones que obtuvo González, con mejor resultado, fueron:

Tasa de crecimiento vs. Esfuerzo al límite, $r^2 = 0.55$ y

Peso específico básico vs. Esfuerzo al límite, $r^2 = 0.67$.

Las ecuaciones de correlación encontradas fueron:

$$FLP = 1810 \times PEB - 298.7$$

$$FLP = 130 T_c + 228.$$

Donde:

FLP = esfuerzo al límite proporcional (kg/cm^2)

PEB = peso específico básico

T_c = tasa de crecimiento (anillos/cm)

La tasa de crecimiento es la razón del número de anillos por centímetro, lo cual indica que las ecuaciones de correlación son bastante acertadas para la predicción de las propiedades de la madera. El caso de núcleos perforados también presentó excelentes resultados en la estimación del peso específico de árboles en pie.

Durante el período comprendido entre noviembre de 1966 a enero de 1967 se recolectaron muestras de 32 especies y se obtuvo un árbol por especie, distribuidos de la siguiente manera: 23 de la reserva forestal de Río Macho y 9 de la zona de Cariari, reserva Astúa Pirie de la Región Atlántica (12).

El *Cuadro N° 3*. muestra los resultados obtenidos en esa investigación.

Rico, J. E. (23) obtuvo las propiedades físicas y mecánicas de *Hura crepitans* L, conocida como Javillo, *Brosimum costaricanum*, llamada vulgarmente Ojoche y *Ceiba pentandra*, Ceibo.

Para este estudio se usaron cinco árboles, de cada uno de los cuales se obtuvo una muestra. Los ensayos se realizaron en condición verde y en condición seca al aire (12 °/o). Las muestras procedían de la región Atlántica, entre los ríos Chirripó y Pacuare.

Los resultados obtenidos por Rico se incluyen en el *Cuadro N° 2*.

Este estudio puede considerarse como uno de los primeros intentos por desarrollar en forma extensiva los valores de diseño de las especies forestales; sin embargo, su ejecución tuvo que ser suspendida por falta de fondos del gobierno costarricense. Por ser de un árbol por especie la muestra de la población, los resultados no pueden ser usados más que como indicadores de las características mecánicas y físicas de las especies que ellos representan.

CUADRO No.3. Propiedades mecánicas de dos áreas de reserva forestal: Río Macho y Cariari. (Con base en un árbol por especie)

NOMBRE COMUN NOMBRE BOTANICO	CONTENIDO INICIAL DE HUMEDAD	PESO ESPECÍ- FICO BASICO		CONTRACCION		FLEXION ESTATICA kg/cm ²			DUREZA kgs		
		PESO SECO VOLUMEN VERDE		RADIAL o/o	TANGENCIAL o/o	ESFUER- ZO AL LIMITE	MODULO DE RUPTURA	MODULO DE ELASTICI- DAD 1000	EXTRE- MOS	LATE- RAL	
RIO MACHO											
Roble encino Quercus costaricensis	97	0.59	4.9	14.8	807	1246	—	—	—	—	
Roble encino Quercus costaricensis	90	0.63	5.0	14.2	756	1223	204	855	740		
Encino Quercus eugeniaefolia	83	0.67	6.8	19.9	621	1154	200	965	985		
Roble Quercus aaata	69	0.75	9.1	19.4	930	1550	272	1395	1450		
Roble Quercus aaata	64	0.75	6.3	20.4	643	1267	205	1160	1230		
Roble Quercus aaata	82	0.64	4.3	13.2	588	1011	137	655	580		
Chile (Muela)	175	0.41	3.4	13.4	—	—	—	—	—	—	
Drimys granadensis	150	0.47	3.6	14.4	629	1012	145	595	360		
Papayillo											
Didymopanax pittieri	75	0.43	4.8	7.8	385	695	99	463	283		
Ira Rosa											
Ocotea austinii	73	0.48	4.8	9.5	640	1083	164	465	350		
Quizarrá amarillo											
Nectandra sp	71	0.43	4.2	7.5	539	825	117	480	300		
Lloro											
Cornus disciflora	76	0.53	4.4	10.9	566	924	118	—	—	—	

NOMBRE COMUN NOMBRE BOTANICO	CONTENIDO INICIAL DE HUMEDAD	PESO ESPECÍ- FICO BASICO		CONTRACCION		FLEXION ESTATICA kg/cm ²		DUREZA kgs	
		PESO SECO VOLUMEN VERDE	RADIAL o/o	TANGENCIAL o/o	ESFUER- ZO AL LIMITE	MODULO DE RUPTURA	MODULO DE ELASTICI- DAD 1000	EXTRE- MOS	LATE- RAL
Lloro									
Cornus diciflora	105	0.53	4.3	12.1	535	1027	132	680	445
Arrayán blanco									
Weinmannia pinnata	95	0.59	5.5	12.2	735	1244	169	800	635
Cedrillo macho									
Brunellia costaricensis	140	0.34	3.0	8.2	572	572	80	280	150
Magnolia									
Magnolia poasana	115	0.45	3.3	7.0	470	808	102	620	380
Cipresillo lorito									
Podocarpus standleyi	97	0.55	3.6	6.8	543	1096	147	735	510
Cipresillo blanco									
Podocarpus oleifolius	94	0.46	3.5	8.2	529	913	127	565	330
Arrayán mora									
Weinmannia wercklei	130	0.49	5.8	10.5	606	977	141	630	395
Asca (Sirri)									
Persea sp.	111	0.53	3.8	8.9	742	1075	150	660	450
Titora									
Cleyera theaeoides	84	0.63	5.8	13.3	853	1378	196	975	765
Jaúl									
Alnus ferruginea	95	0.41	4.1	6.9	516	755	120	475	285
Salvia									
Buddleia alpina	125	0.52	3.4	9.8	No se dispone de muestras sin defectos				
Azahar									
Clusia rosea	113	0.54	4.2	8.7	731	1038	138	630	425

Cont. Cuadro No. 3. Propiedades Mecánicas.

NOMBRE COMUN NOMBRE BOTANICO	CONTENIDO INICIAL DE HUMEDAD	PESO ESPECÍ- FICO BASICO		CONTRACCION		FLEXION ESTATICA kg/cm ²			DUREZA kgs	
		PESO SECO VOLUMEN VERDE	RADIAL o/o	TANGENCIAL o/o	ESFUER- ZO AL LIMITE	MODULO DE RUPTU- RA	MODULO DE ELASTICIDAD 1000	EXTRE- MOS	LATE- RAL	
Madroño Escallonia posasana	128	0.49	6.2	11.9	No se dispone de muestras					
Yos Sapium sp	94	0.44	2.9	5.8	490	746	106	410	265	
Yas										
Persea schiedeana	79	0.50	3.2	9.7	501	988	131	515	370	
Chayote										
Alchornea latifolia	99	0.40	3.0	6.9	279	544	73	375	205	
CARIARI										
Ojoche										
Brosimum costaricanum	53	0.64	4.1	6.2	660	1130	130	1030	775	
Fruta dorada										
Virola koschnyi	102	0.42	5.0	14.4	418	715	138	365	270	
Cedro Mmacho										
Carada sp.	77	0.42	3.9	7.5	428	774	95	470	315	
Jifocuave, Indio desnudo										
Bursera simaruba	107	0.32	3.0	5.8	253	391	76	260	115	
Guayabón										
Terminalia lucida	49	0.65	4.2	7.6	826	1210	138	870	715	
Mastate										
Poulsenia armata	121	0.33	3.8	6.9	311	492	68	300	165	
Caimito										
Chrysophyllum cainito	57	0.74	5.0	10.1	1003	1594	198	1270	1140	
Sangrillo										
Pterocarpus officinalis	99	0.28	3.5	8.2	289	502	77	200	125	
Chilamate										
Ficus werckleana	165	0.31	2.5	6.1	264	437	65	295	160	

1.3 Sistemas de clasificación de madera estructural

La literatura sobre el desarrollo de sistemas de clasificación de madera para su utilización en la construcción de estructuras, es amplia en los países con sistemas de explotación forestal altamente desarrollados.

En Hispanoamérica se perfilan algunos centros de investigación en esta área que se han dedicado —como uno de sus objetivos principales— al estudio de las propiedades mecánicas de sus especies y posteriormente han asignado esfuerzos de trabajo a las especies maderables más promisorias que crecen en sus bosques.

El Laboratorio Nacional de Productos Forestales de Venezuela ha venido realizando una serie de trabajos tendientes a regular las normas para este tipo de madera. Centeno (7) presenta un trabajo sobre el sistema andino para clasificación. En este estudio se dividió la madera para construcción en dos grupos de acuerdo con su calidad: madera estructural y madera de construcción. En este mismo documento se especifican los defectos y la magnitud admisible de cada uno de ellos, y se produce un proceso de selección visual simple para separar la madera en sus diferentes calidades de resistencia.

La madera de construcción producida en Venezuela es utilizada principalmente por la industria de la vivienda y edificaciones livianas. La madera estructural es aquella que se encuentra bajo la acción de esfuerzos permanentes y específicos y que requiere un proceso de análisis y diseño estructural. Según Centeno, en lo que respecta a la madera de construcción es la que cumple todas aquellas funciones que no requieren del cálculo estructural, hay libertad absoluta para su selección, la cual queda a criterio del comprador.

Finalmente se indican los defectos admisibles en las piezas. Estos son abarquillado, arqueadura, encorvadura, torcedura, acebolladura, perforaciones, agujeros, inclusión de albura, nudos, tolerancia de aserrado, aristas incompletas, inclinación del grano, grano entrecruzado, in-

clusión de médula, grietas por secado, rajaduras y duramen quebradizo.

Los países que se encuentran suscritos a las normas explicadas en este trabajo son Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Su aplicación podrá ser variada en cada país según las circunstancias, pero en general seguirá las pautas ya presentadas.

En Canadá, Suecia, Noruega, Inglaterra, Estados Unidos, Guayana y otros países, existen normas, aceptadas por productores y consumidores, que asignan un precio más racional del producto y permiten obtener cantidades de cualquier tamaño con una calidad constante.

Durante los años de 1961 a 1963, el Servicio Forestal de los Estados Unidos llevó a cabo la primera etapa acelerada para el inventario de densidad de nueve especies de árboles madereros que crecen en el occidente de ese país (33).

Los objetivos del programa fueron similares a los planteados en la etapa de recolección y reconocimiento de áreas forestales de Costa Rica. La técnica empleada fue diferente debido a razones que se explican más adelante; sin embargo, revisaremos en detalle el objeto del estudio realizado en la zona oeste de los Estados Unidos.

Los objetivos planteados fueron tres:

- 1) Obtener, mediante un muestreo sistemático, datos adecuados sobre el peso específico y su relación con características de calidad de cada especie prioritaria, así como la magnitud de la diferencia entre las especies y el rango de variación dentro de las especies maderables que crecen en el oeste de los Estados Unidos.
- 2) Aunque este estudio no fue diseñado con el propósito de obtener información sobre la variación del peso específico, por influencia de razón de crecimiento, clima, latitud, longitud y otros factores —que se sabe afectan la densidad de la madera— el trabajo rindió datos que permitieron analizar estos efectos.

- 3) El estudio se hizo para completar la información ya existente sobre el rango de peso específico de cada una de las especies prioritarias y para obtener, con base en este muestreo sistemático, las interrelaciones entre peso específico y las propiedades de resistencia y elasticidad de madera sana, lo cual es básico para el desarrollo de los esfuerzos de trabajo para uso en aplicaciones estructurales.

En general los procedimientos de muestreo variaron según las tres áreas principales de muestreo: la Costa Noroeste, California y los estados intermontanos.

El trabajo fue dividido en tres etapas: la primera consistió en la identificación de las áreas y la intensidad de muestreo, recolección de núcleos perforados con barrenos de Pressler e información conexa. La segunda consistió en la evaluación de los datos reportados y de los núcleos perforados. La tercera consistió en ensayos destructivos para determinar la correlación entre el peso específico de todo el árbol con datos físicos y dasométricos, así como la calibración del peso específico Pressler.

El peso específico empleado fue calculado con base en el peso seco al horno y volumen verde.

El análisis de reglas de clasificación desarrolladas en otras latitudes muestra, en primer lugar, que la clasificación de un lote puede ser: estructural —tales como (35), (21), (28), (34)— y no estructural (20), madera para ser usada en muebles, ruedas, forro de paredes, etc. Estas normas no incluyen esfuerzos de trabajo. Las referencias anteriores para grados estructurales asignan los esfuerzos de trabajo a las especies cubiertas por la norma.

Así como se obtuvo la metodología necesaria para el desarrollo de las normas presentadas en este libro, pueden lograrse otras normas basadas en los mismos principios y orientadas específicamente a producir madera que sería empleada en otra clase de productos muy específicos, como por ejemplo: escaleras, muebles, postes de electrificación, etc.

Las normas de clasificación constituyen un soporte legal para el trabajo de los clasificadores de madera en los países ya mencionados.

NORMAS DE CLASIFICACION
PARA MADERA
DE USO ESTRUCTURAL

2.1 Consideraciones generales

2.1.1. Estas reglas deberán ser usadas por personas que utilicen la madera y sus productos, tales como inspectores de clasificación, constructores, ingenieros, arquitectos, distribuidores y fabricantes.

Las reglas proveen la base para la fabricación de madera estructural con propiedades y calidad particulares, así como recomendaciones para su uso en el diseño estructural.

2.1.2 Estas normas han sido escritas para cubrir las necesidades de diseñadores, constructores y aserradores, personas que están relacionadas de alguna forma con la madera y poseen alguna experiencia en su uso estructural. Fueron escritas de la forma más sencilla posible para derivar los grados estructurales que puedan ser usados en construcción en general y serán revisadas en el futuro para mejorar su eficiencia y derivar así un mejor uso de materia prima. En su forma presente estas reglas permiten una clasificación eficaz para la mayoría de los usos. Permitirán a los clasificadores familiarizarse con los procesos de clasificación visual y serán de gran utilidad para la labor de los inspectores.

2.1.3 Las reglas contienen información sobre las propiedades de cinco especies maderables que se encuentran con más frecuencia en los bosques de Costa Rica, de manera tal que los arquitectos e ingenieros puedan seleccionar los grados y tamaños que llenen de la mejor forma las condiciones de servicio.

2.1.4 Los grados descritos en estas reglas pueden ser especificados por compradores y servirán de base en el momento de pedir madera a un aserradero o a un distribuidor.

2.1.5 La inspección de clasificación ha de ser realizada por personas que deberán tener una certificación calificada para clasificar, y por aquellos que puedan comprobar su competencia para llevar a cabo este trabajo. Un programa de entrenamiento para la inspección y clasificación deberá ser establecido. Inicialmente este programa se desarrollará en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, lo más pronto posible, y se ofrecerá a representantes de la industria del aserrío, de la Carrera de Ingeniería en Maderas, representantes de los consumidores, etc.

2.1.6 Estas reglas fueron escritas para clasificar madera sin cepillar o cepillada y en cualquiera de las condiciones: seca o verde. Podrán ser usadas para las siguientes especies:

Botarrama	(<i>Vochysia ferruginea</i>)
Gavilán	(<i>Pentaclethra macroloba</i>)
Jaúl	(<i>Alnus acuminata</i>)
Laurel	(<i>Cordia alliodora</i>)
Pilón	(<i>Hieronyma alchorneoides</i>)
Lagarto	(<i>Zanthoxylum beligense</i>)
Jacaranda	(<i>Jacaranda copaia</i>)
Jícaro	(<i>Lecythis costaricensis</i>)
Manga Larga	(<i>Laetia procera</i>)

2.1.7 Conforme se disponga de resultados del estudio de las propiedades de otras especies, los criterios de clasificación aquí enunciados podrán ser aplicados a esas especies. Según aumente la información disponible de las propiedades de otras especies —sean estas latifoliadas o

coníferas— los criterios de clasificación podrán ser aplicados a dichas especies.

También, según aumente el número de especies cubiertas, por estas normas, estas maderas podrían ser agrupadas de acuerdo con la similitud de sus propiedades. Se simplificaría así el mercadeo y se lograría más versatilidad al poder intercambiarse las diferentes especies dentro de los grados estructurales, como se verá más adelante.

2.1.8 La madera se clasifica de acuerdo con las siguientes características de fabricación:

2.1.8.1 Madera sin cepillo. Es la madera que no ha sido cepillada, pero sí aserrada, canteada; muestra además marcas de sierra en las cuatro caras en toda su longitud.

2.1.8.2 Madera con cepillo. Es la madera que ha sido cepillada y llevada a sección constante. La madera cepillada es usualmente lisa en sus cuatro caras (c.4.c.); puede ser cepillada por un solo lado (c.1.c.), por dos lados (c.2.c.), por un borde (c.1.b.), dos bordes (c.2.b.) o cualquier combinación.

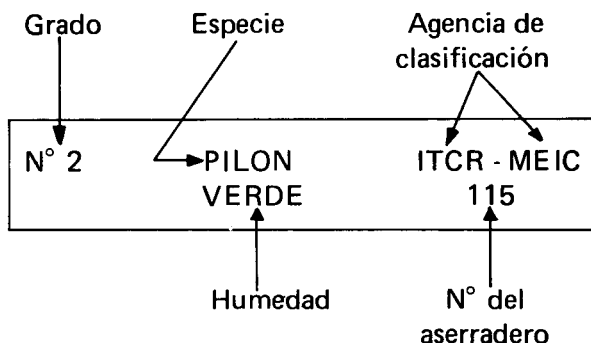
2.2 Comité Nacional de Clasificación

Las reglas se ofrecen como un primer paso en el desarrollo de un mejor estándar para madera estructural. En cuanto se logre experiencia en el uso de las reglas, se recomienda formar un grupo de personas que representen la industria del aserrío, el Colegio de Ingenieros Civiles y Arquitectos, contratistas de construcción y consumidores, de manera que este comité, que se reuniría anualmente, se encargue de mejorar e incluir adiciones necesarias para aumentar la eficacia de estas reglas. Este grupo se llamará Comité Nacional de Clasificación.

2.3 Marcado de los grados

- 2.3.1 La madera clasificada deberá ser marcada con un sello adecuado. El sello deberá mostrar la especie o grupo de especies de que se trate, grado, agencia de clasificación, identificación de fabricante y la clase de humedad a que corresponde la madera (verde o seca).

El siguiente es un ejemplo de un sello:



2.4 Tamaños

- 2.4.1 La estandarización de tamaños es esencial para una buena clasificación. Es necesario que se adopten tamaños normales. Estos tamaños estándar deberán basarse en medidas tradicionales y de mayor aplicación. Se recomienda retener las prácticas actuales hasta donde sea posible. El Apéndice 1 contiene una lista de tamaños basados en estudios hechos directamente en los aserraderos costarricenses. Dentro de las ventajas de usar tamaños normales están: el aprovisionamiento de diferentes suplidores en cualquier parte del país, el aumento en el rendimiento de la mano de obra en construcción. Además, no será necesario rectificar piezas defectuosas, la construcción tendrá mejor calidad al mantenerse la forma de la madera, lo cual evitaría que las paredes o techos se pandeen con el tiempo.

- 2.4.2 Para aquella madera que deberá ser fabricada en ta-

maños no estándar, deberá mostrarse en el sello del grado el tamaño actual. Mediante esta previsión se permitirá el dimensionamiento de secciones por mutuo acuerdo entre compradores y vendedores. La inclusión del tamaño como parte del sello identificaría madera que ha sido manufacturada intencionalmente en tamaños no estándar. Se evitarían así confusiones.

2.4.3 En general, las dimensiones de la madera clasificada no deberán ser menores que las de los tamaños dados en el Apéndice 1, aunque pueden ser mayores.

2.4.4 Longitudes estándar. No son indicadas en estas reglas de clasificación. Las longitudes estándar son una práctica recomendada porque simplifican el diseño y el inventario. Se recomienda adoptar longitudes estándar en un futuro próximo sin afectar la función de este sistema de clasificación.

2.5 Propiedades de diseño

2.5.1 Las propiedades de diseño que se incluyen en estas reglas de clasificación deben ser usadas a un contenido de humedad máximo del 18 % en condiciones de servicio. Las propiedades geométricas de las secciones empleadas para el diseño están basadas en los tamaños de las piezas en condición seca y cepillada. Estas propiedades geométricas de las secciones están listadas en el Apéndice 1. Para usar el mayor contenido de humedad, las propiedades de resistencia deben ajustarse a valores menores, pero las propiedades geométricas de la sección no deben cambiarse. El efecto combinado de cambios de tamaño y cambios de resistencia se incorporaría en un ajuste simple para facilitar el procedimiento de diseño. Para contenidos menores de humedad se dan los factores de inclinación en la resistencia. Aunque en Costa Rica no existe indicación de práctica anterior, los usuarios de madera estructural generalmente no emplean estos aumentos de resistencia.

2.5.2 Un factor importante de estas reglas es que el diseñador puede ejecutar el diseño estructural usando la resistencia y las propiedades elásticas y geométricas de la madera cepillada y seca, aunque el constructor podría usarla cepillada, sin cepillar, seca sin invalidar el diseño, aunque, por supuesto, el diseñador puede tener razones de peso para especificar el tipo de madera. En la fabricación de armaduras con placas metálicas, por ejemplo, la madera cepillada es deseable para asegurar un ajuste satisfactorio de las placas; de la misma manera, estos requisitos de cepillado y secado son deseables en la construcción de madera encolada. El diseñador deberá estar consciente de que únicamente en madera cepillada es posible tener la precisión en la dimensión de la sección.

2.6 Grados estructurales

2.6.1 Se definen tres grados estructurales:

Estructural N° 1 o selecto

Estructural N° 2 o medio

Estructural N° 3 o general

Estos grados se establecen para piezas que tengan un espesor de 2.0 cms hasta un máximo de 14.0, anchos que podrán ir desde 6.25 hasta 30.0 cms. Estos tamaños son secos y cepillados. Los tamaños equivalentes sin cepillar son: espesor de 26 a 146 milímetros y un ancho de 69 a 306 milímetros. Otros tamaños equivalentes para madera seca y cepillada pueden encontrarse en el Apéndice 1.

2.6.2 La clasificación de la madera será el procedimiento final de manufactura, con excepción de aquellas piezas que deban ser saneadas para mejorar el grado. El inspector de clasificación indica qué extremos deberán ser saneados, marcando la posición del corte sobre la pieza.

2.6.3 En el siguiente cuadro, las dimensiones de nudos principales en los diferentes tamaños de madera se dan con referencia a madera en dos condiciones: seca cepillada y verde sin cepillar. Debe entenderse que, para cualquier otra condición de manufactura, el tamaño equivalente en el Apéndice 1 debe ser sustituido, con un costo permisible en relación con el ancho y el espesor.

2.6.4 El Apéndice 2 define la terminología y magnitud de los defectos con un porcentaje de la anchura de la pieza. También describe el método para la evaluación de los tamaños de los defectos y puede servir como guía en el aprendizaje del arte de clasificar.

2.7 Grado estructural N° 1 o selecto

2.7.1 La madera correspondiente a esta calidad tendrá características limitadas de tal forma que su resistencia y flexibilidad producirán una resistencia en flexión última de un 69 % de la permitida en madera sana. También deberá ser de grano recto y dar un valor recomendado de diseño de 100% del módulo de elasticidad que presentaron los ensayos como promedio con madera sana. Se recomienda el uso de este grado en aquellas aplicaciones que requieran gran resistencia, rigidez y presentación excelente.

2.7.2 Características permitidas y limitantes

2.7.2.1 **Grietas por cara** Las grietas de secado en las caras deberán limitarse hasta un 53 % de penetración en el tercio medio de la altura. La extensión de las grietas de los extremos podrá tener una longitud máxima de 1.5 veces el ancho de la pieza.

2.7.2.2 **Grietas por cabeza** En los extremos limitados a un 53 % del espesor extendiéndose desde los extremos no más de 60 cms con una penetración promedio no mayor de un 53 %; no deberán extenderse al largo de la pieza.

- 2.7.2.3 Reventaduras.** Son grietas que atraviesan la pieza en sus cabezas y que pueden extenderse hasta 1.5 veces el peralte de la pieza. Este defecto deberá colocarse en el medio central del peralte en una extensión de 3 veces ese peralte.
- 2.7.2.4 Fallido.** Se permitirá un área de fallido en madera cepillada.
- 2.7.2.5 Manchas.** Las manchas están limitadas. Ver sección A2.6.
- 2.7.2.6 Manufactura.** Se admiten los siguientes defectos de fabricación: grano levantado, mordido de cuchilla, marcas debidas a imperfección en el rodillo de alimentación de la cepilladora, golpes de sierra, etc., según se dan en la sección A2.8.
- 2.7.2.7 Fallidos de esquinas.** Se disminuye hasta $1/4$ del espesor y $1/4$ del peralte. Se permitirá que un 5 % de las piezas tengan hasta $1/2$ del espesor, $1/3$ del peralte y $1/4$ de la longitud.
- 2.7.2.8 Torcimientos.** Ver sección A2.10.
- 2.7.2.9 Inclinación del grano.** 1 en 12
- 2.7.2.10 Nudos.** En el caso de que los nudos se presenten en líneas, sean discontinuos o sean defectos equivalentes de crecimiento tales como corteza incluida, se permitirán en tamaños que no excedan las áreas equivalentes de desplazamiento de nudos típicos que aparecen en el *Cuadro N° 4*.
- 2.7.2.10.1** Para tablones de una pulgada de espesor, los nudos serán medidos únicamente en una sola de las dos caras. Todos los nudos se limitarán según los nudos centrales.

CUADRO No. 4. Tamaños admisibles de nudos para grado 1 o selecto.

CEPILLADA SECA			SIN CEPILLAR VERDE		
ANCHO NOMINAL* (cms)	CARA (mm)		ANCHO NOMINAL** (cms)	CARA (mm)	
	MARGEN	CENTRO		MARGEN	CENTRO
5	0.79	1.45	5	0.85	1.55
10	1.58	2.90	10	1.69	3.10
15	2.48	4.55	15	2.54	4.75
20	3.38	6.20	20	3.49	6.40
25	4.28	7.85	25	4.39	8.05
30	5.18	9.50	30	5.29	9.70
35	6.08	11.15	35	6.19	11.35

(*) Reducido en: 3 mm por sierra, 3 mm por recanteo para secciones mayores de 10 cms., 3 mm por contracción.

(**) 3 mm por sierra, 3 mm por recanteo para secciones mayores de 10 cms.

2.7.2.10.2. La suma de los tamaños de todos los nudos en cualquier longitud de 15 cms no deberá exceder: 1 - dos veces el tamaño del nudo mayor permitido para piezas de 5 cms de espesor y 2 - el tamaño del nudo mayor permitido para piezas menores de 5 cms de espesor.

2.7.2.10.3 Para varias de las longitudes de nudos permitidas a lo largo de la pieza, véase la sección A2.4.9.

2.7.2.11 Huecos de insectos. Se permitirán huecos de insectos esparcidos que no sean mayores de 9 milímetros de diámetro. Este esparcimiento implica que no se junten a menos de 15 cms.

2.7.2.12 Pudrición. No se permite de ninguna especie, excepto dentro de los nudos.

2.7.2.13 Quebrantaduras. Piezas con fracturas evidentes no serán admitidas y no podrán ser removidas o saneadas. Véase sección A2.11.

2.8 Grado estructural No. 2

2.8.1 La madera de esta calidad tendrá características tales que sus valores de resistencia y rigidez presentarán: para resistencia en flexión, un 53 % del valor permisible para madera seca y de grano recto; ofrecerá además un valor de diseño de un 90 % del módulo de elasticidad que presenta la madera sana promedio, sin defectos. Este grado se recomienda para aquellas construcciones en las cuales el nivel de resistencia y rigidez sean medianos y para las que se desee una buena apariencia.

2.8.2 Las características permitidas y las restricciones de este grado son las siguientes:

2.8.2.1 Grietas. Las grietas en cara por secado se limitan a un 53 % de penetración en el tercio medio de la cara;

en el resto no hay limitaciones. Las grietas estarán limitadas a una longitud igual a 1.5 veces el peralte de la pieza.

2.8.2.2. Rajaduras. En los extremos las rajaduras están limitadas a un 53 % del espesor. En otras zonas se permitirá una profundidad no mayor del 53 % en promedio, o no más de 60 cms a lo largo de la pieza.

2.8.2.3 Fallidos. Se admitirán marcas y zonas fallidas en un 10% del área de las piezas. Véase sección A2. 6.

2.8.2.4 Manchas. La madera manchada no está limitada.

2.8.2.5 Manufactura. Se admiten grano levantado, grano mechudo, marcas de cuchilla, golpes de sierra, etc., según se describe en la sección A2.8.

2.8.2.6 Fallidos de esquina. Se admitirán fallas de hasta 1/4 del espesor, 1/4 del peralte. El 5 % de las piezas podrán tener este tipo de defecto hasta 1/2 del espesor y 1/3 del peralte a lo largo de 1/4 de la longitud.

2.8.2.7 Torcimientos. Ver sección A2.10.

2.8.2.8 Inclclinación del grano. 1 en 8.

2.8.2.9 Nudos. En el caso de que los nudos se presenten en líneas, sean discontinuos, o sean defectos equivalentes de crecimiento tales como corteza incluida, se permitirán en tamaños que no excedan las áreas equivalentes de desplazamiento de nudos típicos que aparecen en el *Cuadro N° 5*, que lista los tamaños admisibles de nudos para el grado N° 2.

2.8.2.9.1 Nudos en tablas de 2.5 cms de espesor (1.9 cepillada seca), 2 cms sin cepillar verde, serán medidos únicamente en las caras, ya que todos los nudos aparecerán en una o ambas caras. Todos los nudos serán limitados como nudos centrales.

CUADRO No. 5. Tamaños admisibles de nudos para grado 2 o medio.

CEPILLADA SECA			SIN CEPILLAR VERDE		
ANCHO NOMINAL* (cms)	CARA (mm)		ANCHO NOMINAL** (cms)	CARA (mm)	
	MARGEN	CENTRO		MARGEN	CENTRO
5	1.23	2.05	5	1.41	2.35
10	2.64	4.4	10	2.82	4.70
15	4.14	6.90	15	4.32	7.20
20	5.64	9.40	20	5.82	9.70
25	7.14	11.90	25	7.32	12.20
30	8.64	14.40	30		
35	10.14	16.90	35	10.32	17.20

* Reducido en: 3 mm por sierra, 3 mm por cepillado, 3 mm por contracciones, para secciones mayores de 10 cms 3 mm por recanto.

** Reducido en: 3 mm por sierra, 3 mm por recanto para secciones mayores de 10 cms.

2.8.2.9.2. La suma de los tamaños de todos los nudos en cualesquiera 15 cms de longitud no deberá exceder: 1 - dos veces el tamaño del nudo mayor permitido para piezas de 5 cms de espesor y 2 - el tamaño del nudo mayor permitido para piezas menores de 5 cms de espesor.

2.8.2.9.3 Para varias de las longitudes permitidas de nudos a lo largo de la pieza, véase la sección A2.4.9.

2.8.2.10 **Huecos de insectos.** Se permitirán huecos de insectos esparcidos no mayores de 6 milímetros de diámetro. Este esparcimiento implica que no se junten a menos de 15 cms.

2.8.2.11 **Pudrición.** No se permite de ninguna especie, excepto dentro de los nudos.

2.8.2.12 **Quebrantaduras.** Piezas con fracturas evidentes no serán admitidas y no podrán ser removidas o saneadas. Véase sección A2.11.

2.9 Grado estructural No. 3 o general

2.9.1 La madera de esta calidad está limitada por características tales que la resistencia y flexibilidad se reducirán de la siguiente manera: 40 % de la resistencia en flexión de aquella que presenta la madera sana de grano recto; el módulo de elasticidad será de un 80 % del que presenta la madera sana promedio. El uso de este grado se recomienda para construcción en general.

2.9.2 Las características promedio y las restricciones a este grado son las siguientes:

2.9.2.1 **Grietas.** Las grietas por secado en cara estarán limitadas a un 53 % de penetración en el tercio medio de la cara. La longitud permisible de las grietas en los extremos será igual a 1.5 m del peralte de la pieza.

- 2.9.2.2 Grietas por cabeza.** Estarán limitadas a un 53 % del espesor. En otros puntos diferentes de los extremos no se admitirán grietas de más de 90 cms de largo y hasta 1/4 de la longitud total o cualquiera que sea mayor de las dos; fuera de los extremos se permitirá una penetración del 53 % en promedio.
- 2.9.2.3 Reventaduras.** Se permitirán reventaduras en los extremos con una longitud de hasta 1.5 veces el peralte de la pieza.
- 2.9.2.4 Fallidos.** Marcas y zonas fallidas se admitirán en un 10 % de las piezas. Véase sección A2.6.
- 2.9.2.5 Manchas.** No están limitadas.
- 2.9.2.6 Manufactura.** Se admiten grano levantado, grano mechudo, marcas de cuchilla, golpes de sierra, etc. Véase sección A2.8.
- 2.9.2.7 Fallidos de Esquina.** Se permitirán deficiencias de 1/3 del espesor, 1/3 del peralte. Se permitirá un 5 % de las piezas con fallido de esquinas de hasta 2/3 el espesor y 1/2 el peralte a lo largo de la longitud.
- 2.9.2.8 Torcimientos.** Ver sección A2.10.
- 2.9.2.9 Inclinación del grano.** 1 en 8.
- 2.9.2.10 Nudos.** En el caso de que los nudos se presenten en líneas, sean discontinuos, o sean defectos equivalentes de crecimiento tales como corteza incluida, se permitirán en tamaños que no excedan las áreas equivalentes de desplazamiento de nudos típicos que aparecen en el *Cuadro N° 6*.
- 2.9.2.10.1 Nudos en tablas de 2.5 cms de espesor (1.9 cepillada seca), 2 cms sin cepillar verde,** serán medidos únicamente en las caras ya que los nudos aparecerán en una o ambas caras. Todos los nudos serán limitados como nudos centrales.

CUADRO No. 6. Tamaños admisibles de nudos para grado 3 o general.

CEPILLADA SECA			SIN CEPILLAR VERDE		
ANCHO NOMINAL* (cms)	CARA (mm)		ANCHO NOMINAL** (cms)	CARA (mm)	
	MARGEN	CENTRO		MARGEN	CENTRO
5	1.56	2.46	5	1.79	2.82
10	3.34	5.28	10	.57	5.64
15	5.24	8.28	15	5.47	8.64
20	7.14	11.28	20	7.37	11.64
25	9.04	14.28	25	9.27	14.64
30	10.94	17.28	30	11.17	17.64
35	13.84	20.28	35	12.07	20.64

* Reducido en: 3 mm por sierra, 3 mm por recanteo para secciones mayores de 10 cms., 3 mm por contracción.

** Reducido en: 3 mm por sierra, 3 mm por recanteo para secciones mayores de 10 cms.

- 2.9.2.10.2.** La suma de los tamaños de todos los nudos en cualesquiera 15 cms de longitud no deberá exceder: 1 - dos veces el tamaño del nudo mayor permitido para piezas de 5 cms de espesor y 2 - el tamaño del nudo mayor permitido para piezas menores de 5 cms de espesor.
- 2.9.2.10.3** Para varias de las longitudes de nudos permitidas a lo largo de la pieza, véase la sección A2.4.9.
- 2.9.2.11 Huecos de insectos.** Se permitirán huecos de insectos esparcidos no mayores de 6 milímetros de diámetro. Este esparcimiento implica que no se junten a menos de 15 cms.
- 2.9.2.12 Pudrición.** Se permitirá pudrición dentro de los nudos; se permitirá madera de corazón que no ocupe más de $\frac{1}{3}$ del peralte o del espesor. No se permitirá pudrición en madera de 5 cms o menos.
- 2.9.2.13 Quebrantaduras.** Piezas con fracturas evidentes no serán admitidas y no podrán ser removidas o saneadas. Véase sección A2.11.

PROPIEDADES DE DISEÑO PARA MADERA ESTRUCTURAL

Los valores para diseño recomendados en estas normas se refieren a cinco especies (véase sección 2.1.6). Los valores están calculados de acuerdo con los requisitos de los siguientes estándares: "Método para el establecimiento de los valores de resistencia para madera sana, ASTM D-2555", y "Métodos para el establecimiento de grados estructurales por el sistema de clasificación visual, ASTM D-245", editados ambos por la ASTM.

Los valores de diseño mostrados aquí son recomendados para cualquier uso en construcción normal, diseño de edificios de madera, de tipo residencial, comercial, industrial e institucional. Valores mayores o menores pueden ser usados siguiendo los requisitos especiales basados en los principios de las referencias anteriores. Los valores de diseño recomendados para madera clasificada visualmente se presentan con respecto a seis propiedades de la madera. Estas son: esfuerzos en flexión (F_b), tensión paralela al grano (F_t), compresión paralela al grano (F_c), cortante paralelo y perpendicular al grano (F_v), compresión perpendicular al grano ($F_{c\perp}$) y módulo de elasticidad (E). Los primeros cuatro valores de estas propiedades tienen en común que su falla lleva al colapso estructural.

Esas propiedades han sido determinadas en la suposición de que cualquiera de las piezas de un grado particular puede disminuir su resistencia máxima por los defectos descritos en las reglas de clasificación y que será cargada hasta la máxima carga de diseño. En el caso de las otras dos propiedades, las cargas que excedan los esfuerzos permisibles de compresión perpendicular al grano, no causarán el colapso ya que se utilizó el valor del límite proporcional; asimismo cargas que cau-

sen una deflexión mayor que aquella calculada con el módulo de elasticidad promedio, no necesariamente causarán el colapso.

- 3.1** Se recuerda al diseñador que la desviación estándar del módulo de elasticidad es de alrededor del 25 % del promedio y que esto significa que existe una posibilidad, en un 5%, de que una pieza individual pueda tener un valor de E menos del 60 % del promedio, o 1 % de posibilidad de que pueda tener un valor menor del 25 % del promedio en un caso individual. Por lo cual, para una aplicación muy crítica, una viga o una columna con un módulo de elasticidad adecuadamente reducido puede ser usado por el diseñador. El valor promedio es aceptable para el diseño de miembros estructurales múltiples tal como el caso de vigas de entrepiso, vigas de techos, columnas de paredes armadas, es decir, donde exista otro elemento estructural que reparta las cargas aplicadas.

3.2 Factores de ajuste de las propiedades

Las propiedades mecánicas que exhibe la madera varían según las condiciones ambientales, el tamaño de la sección, la duración de aplicación de la carga y la densidad. Estas variaciones son generales y afectan las diferentes especies de madera. Aunque algunas maderas son más o menos susceptibles a estas variables, se han definido valores con base en el promedio de estudios realizados.

- 3.2.1 Ajustes por contenido de humedad.** Se estableció un 18 %, en la mayor parte de Costa Rica, como humedad de trabajo para la madera. Para esto se realizó un estudio basado en datos del Servicio Meteorológico Nacional. Se calculó la humedad de equilibrio en la madera, con base en la temperatura y humedad relativa promedio mensual en 13 ciudades. Para el año de 1973 se muestran los resultados de variación promedio mensual en las Figuras AO 1, AO 2 y AO 3.

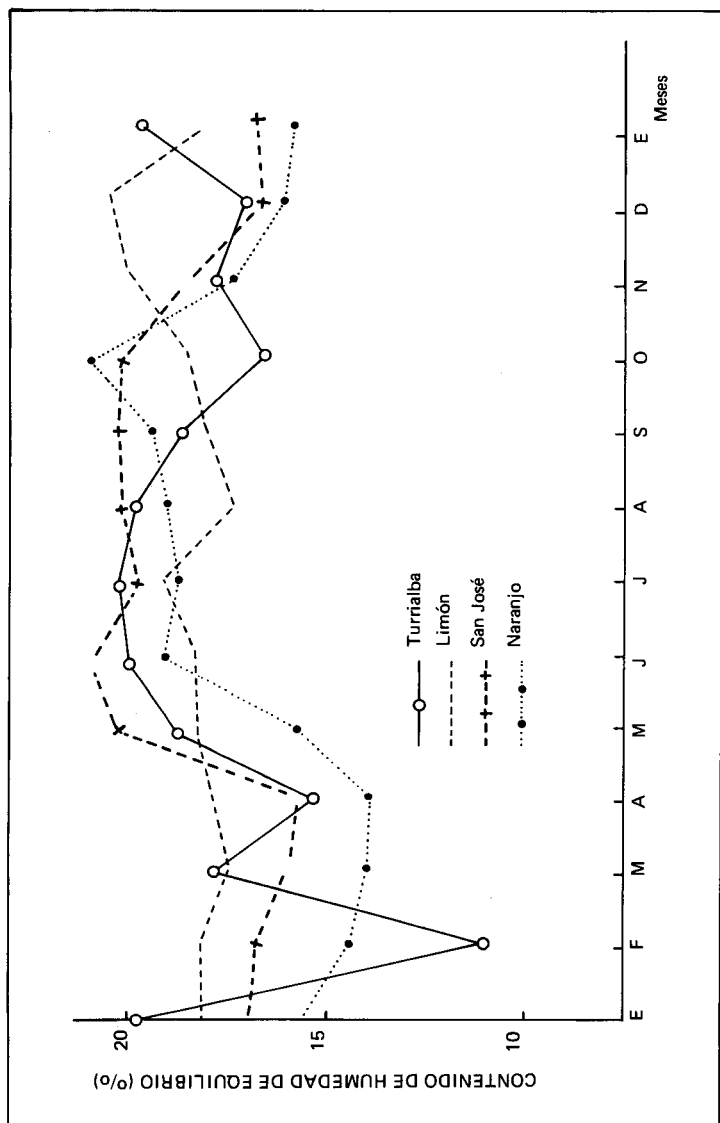


FIGURA A0-1. Variación de humedad de equilibrio en la madera para varias ciudades de Costa Rica.

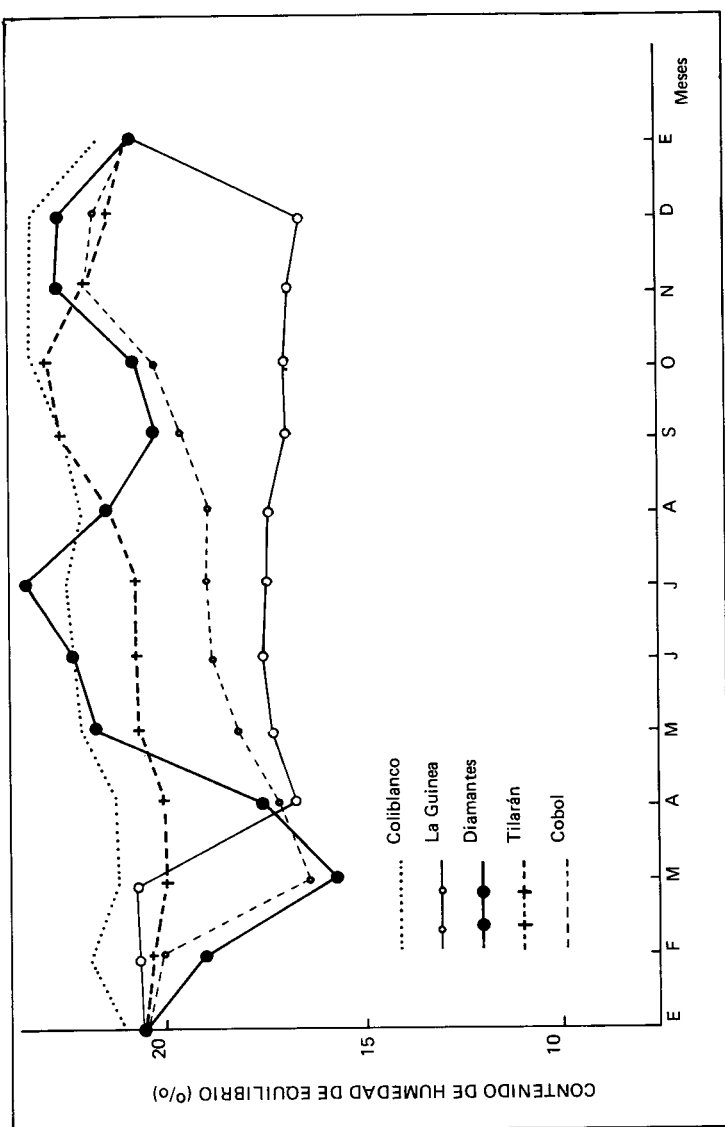


FIGURA A0-2. Variación de humedad de equilibrio en la madera para varias ciudades de Costa Rica.

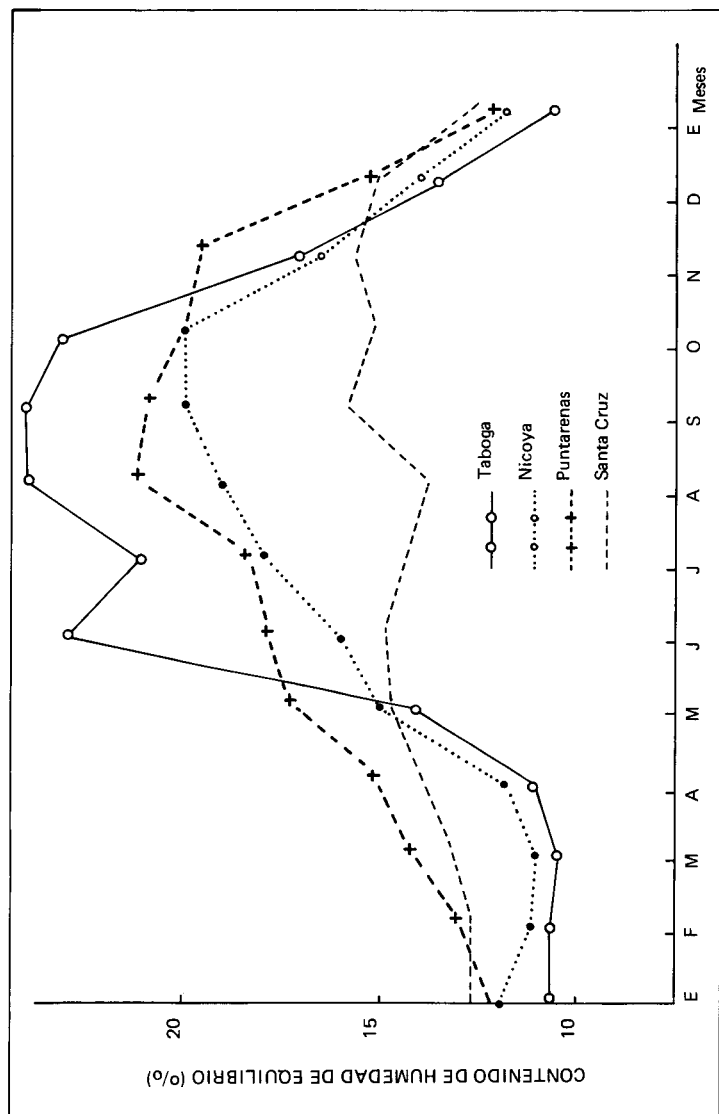


FIGURA A0 3. Variación de humedad de equilibrio en la madera para varias ciudades de Costa Rica.

El *Cuadro N° 7* muestra los factores de conexión para madera cuyo contenido de humedad es superior o inferior a 12 0/o, siempre que el espesor de las piezas no exceda los 12 centímetros.

CUADRO No. 7. Factores de ajuste por contenido de humedad para espesores menores de 12 cms.

CONDICION	PROPIEDAD MECANICA					
	F _b	F _t	F _v	F _c	F _{cl}	E
Sobre 18%	0.86	0.84	0.97	0.67	0.70	0.97
Menor que 12%	1.02	1.04	1.01	1.12	1.0	1.0

3.2.2. Ajustes por contenido de humedad para madera mayor de 12 cms de espesor. Para piezas mayores de 12 cms de espesor, las propiedades de diseño para condiciones de servicio al 18 0/o son un poco menores que las mostradas en el *Cuadro N° 10*; esto se debe a los defectos que se desarrollan al variar la humedad en este grueso de madera. Las propiedades que deben usarse en condiciones de humedad mayor de 18 0/o y menor de 12 0/o se muestran en el *Cuadro N° 8*.

CUADRO No. 8. Factores de ajuste por contenido de humedad para espesores mayores de 12 cms.

CONDICION	PROPIEDAD MECANICA					
	F _b	F _t	F _v	F _c	F _{cl}	E
Para C.H. mayor de 18 0/o en servicio	0.86	0.84	0.97	0.77	0.67	0.97
Sobre 18 0/o en servicio	0.86	0.84	0.97	0.70	0.67	0.97
Para C.H. menor de 12 0/o en servicio	0.88	0.87	0.98	0.86	0.67	0.97

3.2.3 Las propiedades geométricas de las secciones, para efectos de diseño con cualquiera de las propiedades mecánicas ajustadas según esta sección, son las que se listan en el *Cuadro A1.2*.

3.2.4 Las propiedades de resistencia a la flexión reportadas en el *Cuadro N° 10* y ajustadas de acuerdo con las secciones 3.2.1 y 3.2.2 pueden ser aumentadas para miembros menores de 30 cms de peralte de acuerdo con el siguiente factor:

$$C_d = 9 \sqrt{30/h}$$

donde:

h = peralte (cms)

Valores de C_d para varios peraltes se dan a continuación:

CUADRO No. 9. Factores de ajuste para el peralte.

Peralte (cm) h	5	10	15	20	25	30
C	1.22	1.12	1.07	1.05	1.02	1.0

3.2.5 **Sistemas repetitivos.** La resistencia en flexión puede ser aumentada en un 15 % cuando los miembros en flexión sean usados en sistemas repetitivos. Sistemas repetitivos son sistemas de miembros paralelos poco espaciados, con superaciones no mayores de 95 cms e interconectados por una placa que distribuye las cargas; esta placa puede consistir en un entramado de tablilla no menor de 2 cms de espesor, orientadas perpendicularmente a la armazón. También podrá someterse una placa de contrachapeado de por lo menos 12.5 milímetros de espesor con grano de la cara alineada perpendicularmente al entramado o con un arriostramiento que produzca

una distribución de cargas que fuerce al sistema a deflechar en conjunto.

3.2.6 Ajustes por duración de la carga. Los valores de las propiedades de resistencia en el *Cuadro N° 10* son para duración normal de la carga. La duración de la carga es el tiempo acumulativo a través del cual actuará la carga del diseño. Duración normal significa que la carga de diseño estará sobre la estructura por 10 años acumulativamente durante la vida útil.

Sin embargo, existen otros períodos de duración de carga que pueden ser considerados con base en la figura AO 4.

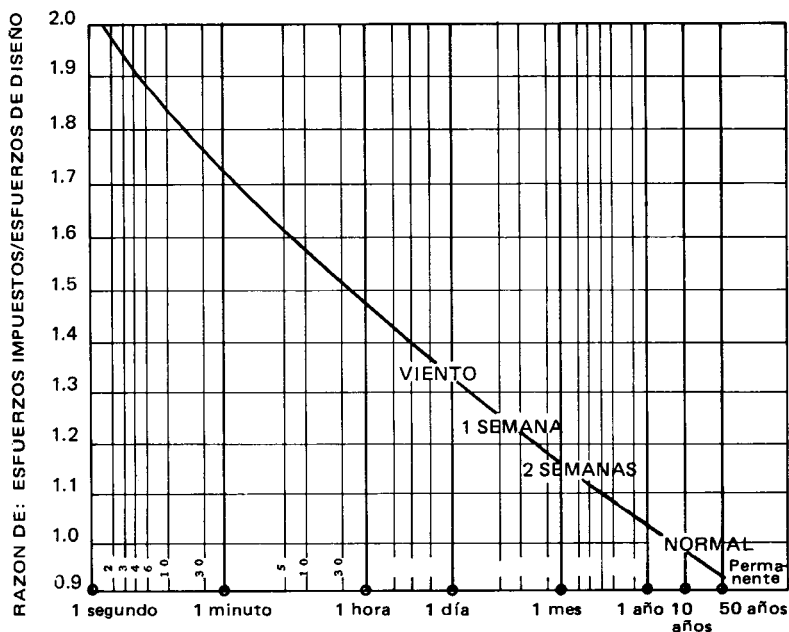


FIGURA AO-4. Resistencia de la madera respecto a la duración acumulativa de la carga.

CUADRO No. 10. Propiedades para diseño de madera estructural por grados, tamaños y especies (kgs/cm²).

ESPECIE	GRADO	F _b	F _t	F _v	F _{cl}	F _c	E
Botarrama	No. 1	80.0	104.0	4.6	15.3	52.0	81000
	No. 2	62.0	79.6	4.6	15.3	40.0	73000
	No. 3	46.5	60.0	4.6	15.3	30.0	65000
Gavilán	No. 1	122.	130.	8.4	32	88.2	110000
	No. 2	93.8	99.5	8.4	32	67.8	99000
	No. 3	70.8	75.0	8.4	32	51.1	88000
Jaúl	No. 1	107.	124	6.0	15.7	44.9	115000
	No. 2	82.0	95.0	6.0	15.7	34.5	104000
	No. 3	62.0	72.0	6.0	15.7	26.0	92000
Laurel	No. 1	96.4	71.6	3.44	13.1	54.8	93000
	No. 2	74.0	55.0	3.44	13.1	42.1	83900
	No. 3	55.9	41.5	3.44	13.1	31.8	74500
Pilón	No. 1	134	105	8	34	77.3	108000
	No. 2	103	80.7	8	34	59.4	97000
	No. 3	77.8	60.9	8	34	44.8	86500
Lagarto	No. 1	130.0	—	5.7	19.0	94.9	166000
	No. 2	100.0	—	5.7	19.0	72.9	149000
	No. 3	75.6	—	5.7	19.0	55.0	133000
Jacaranda	No. 1	53.4	—	3.4	8.0	53.5	125000
	No. 2	41.0	—	3.4	8.0	41.0	111000
	No. 3	31.0	—	3.4	8.0	31.0	99000
Jícara	No. 1	167.7	—	9.0	62.2	127.5	224000
	No. 2	128.7	—	9.0	62.2	97.9	202000
	No. 3	97.2	—	9.0	62.2	73.1	179000
Manga Larga	No. 1	167.5	—	8.7	59.1	132.0	181000
	No. 2	128.5	—	8.7	59.1	101.0	163000
	No. 3	97.1	—	8.7	59.1	76.0	144000

Para espesores mayores de 12 cms puede utilizarse el método de ajuste descrito en la sección 3.2.

Para uso a un C.H. mayor de 18°/o, ajustar según se explica en las secciones 3.2.1 y 3.2.2.

Para uso a un C.H. de 12°/o o menor, ajustar según se explica en la secciones 3.2.1 y 3.2.2.

Para efecto de peralte véase sección 3.2.4.

Para sistemas repetitivos véase sección 3.2.5.

Para otras duraciones de carga véase sección 3.2.3.

Para carga sísmica úsese un 133 % de la resistencia en el *Cuadro N° 10*.

Para carga de viento huracanado úsese un 125 % de la resistencia en el *Cuadro N° 10*.

Para cargas ocasionales de impacto úsese un 200 % de la resistencia del *Cuadro N° 10*.

Para cargas permanentes use 90 % de la resistencia del *Cuadro N° 10*.

No se recomiendan valores específicos para cargas por ciclón o tornado.

Los incrementos anteriores se aplican únicamente a las propiedades de resistencia y no al módulo de elasticidad (E).

Los valores de ajuste por contenido de humedad, factor de profundidad y sistemas repetitivos, son adicionales al ajuste por duración de carga.

3.2.7 Densidad. No se recomiendan ajustes basados en la densidad de la madera.

Las propiedades de las maderas de algunas coníferas se aumentan a veces si la madera tiene una densidad mayor que el promedio. El aumento depende de la capacidad y experiencia del clasificador para juzgar la densidad con base en la estructura anatómica de los anillos de crecimiento (porcentaje de madera tardía). Este criterio no es suficientemente evidente en las latifoliadas. Otros métodos para estimar la densidad media no son convenientes, debido al alto costo que su uso significa para el clasificador visual de madera.

APENDICE 1

Tamaños:

A1.0 Debido a la ausencia de secciones estándar en Costa Rica, se hizo un estudio para medir la mayor incidencia de tamaños en el mercado. Se encontró una gran frecuencia de secciones pequeñas. También se observó la ausencia de estudios sobre la mayor incidencia en secciones estándar. Dentro de los tamaños más frecuentes que producen los aserraderos en Costa Rica, se determinó que 7.5 x 2.5 cms es el más frecuente; le sigue 7.5 x 10 cms; 5 x 15 cms y 15 x 2.5 cms.

Las bases para los tamaños estándar se dan a continuación.

A1.1 El tamaño cepillado es el más pequeño y corresponde al tipo de madera para uso estructural. Las propiedades geométricas de las secciones para su uso en el diseño se calculan con base en este tamaño. El contenido de humedad promedio que tiene la madera es de un 18 % aunque puede ser hasta un máximo de 21 % o en el momento de la fabricación únicamente para el Valle Central y las regiones altas del país, más allá de los 1000 metros sobre el nivel del mar.

A1.2 Las secciones cepilladas en verde son un poco mayores que aquellas secciones cepilladas en seco en una magnitud que incluye contracción y saneo de defectos generados en la manufactura. La condición verde significa un contenido de humedad promedio sobre 21 % sin límite.

A1.3 En la mayor parte del territorio costarricense la madera en estructuras cubiertas llega a un equilibrio de humedad del 18 % y menos. Las propiedades de diseño dadas en estas normas están basadas en el contenido de humedad que se presenta bajo condiciones de servicio. Las propiedades de las secciones para diseño se basan en el tamaño seco y cepillado. La madera fabricada en condición verde es mayor que la madera manufacturada en condición seca; así, ambas especies de madera tendrán el mismo tamaño conforme alcanzan el contenido final de humedad en condiciones de servicio.

A1.4 Se demostró que el 18 % de contenido de humedad es el más recomendable para efectos de presentar los valores de resistencia. Para esto se realizó un estudio basado en los reportes meteorológicos del Ministerio de Agricultura y Ganadería, aunque se encontraron algunas zonas donde el contenido de humedad en servicio es menor que el 18 %. En estas localidades la madera fabricada bajo estas normas vendría a estar con daños ligeramente reducidos. Si el diseñador deseara tomar ventaja de este aumento de la resistencia por el secado, podrá utilizar los factores dados en las Secciones 3.2.1 y 3.2.2.

A1.5 Los tamaños de las secciones sin cepillar están reducidos de la siguiente manera:

Debido a lo que se pierde por aserrado, 3 mm, para secciones mayores de 10 cms se hace una reducción de 1.6 mm para tomar en cuenta el recanteo. Las secciones de madera seca para efectos de diseño son reducidas en 3 mm adicionales por cepillado. La contracción por secado depende de la especie y orientación del corte; por ejemplo, la madera de corte tangencial se contrae más que aquella de corte radial. Como regla práctica puede asumirse una contracción de 3% en promedio de cortes orientados aleatoriamente al reducir la humedad de verde a 18%. Maderas con espesores menores de 5 cms se reducen en 1.5 mm. Entre 5 y 10 cms la reducción será de 3 mm. Entre 10 y 20 cms la reducción por secado será 6 mm.

Sobre los 20 cms, la reducción será constante e igual a 10 mm. Esto se debe a que en estas dimensiones se generan esfuerzos y deformaciones difíciles de predecir.

A1.6 No se recomienda especificar madera sana para espesores mayores de 10 cms ya que no es práctico.

A continuación se presenta el *Cuadro A1.1* en el que se dan las dimensiones nominales, actuales y las propiedades geométricas de la sección con base en las dimensiones actuales.

CUADRO A.1.1. Tamaños de secciones en verde, seco, con cepillo y sin cepillo.

ESPESOR NOMINAL	CEPILLADO		SIN CEPILLO	
	SECO	VERDE	SECO	VERDE
ESPESOR (mm)				
25	18	19	21	22
30	22.5	24	25.5	27
35	21.5	29	50.5	32
40	32.5	34	35.5	37
45	37.5	39	40.5	42
50	41.	44	44	47
55	46	49	49	52
115*	101	107	104	110
145*	131	137	134	140
PERALTE (mm)				
70	61	64	64	67
100	89	92	92	95
125	111	117	114	120
150	136	142	139	145
175	161	167	164	170
200	186	192	189	195
225	207	217	210	220
250	232	242	235	245

CUADRO A-1.2. Propiedades geométricas de las secciones estándar para madera seca al 18 % C.H. con cepillo.

DIMENSION NOMINAL (cm)	AREA (CM ²)	MODULO DE SECCION S _{xy} (CM ³) S _{yy}		MOMENTO DE INERCIA (cm ⁴) J _{xx} J _{yy}	
2.5 x 10	16.0	4.8	23.8	4.3	105
2.5 x 15	24.5	7.3	55.5	6.6	377
2.5 x 20	33.5	10.0	103.6	9.0	965
2.5 x 25	41.8	12.5	161.5	11.3	187
5.0 x 10.	36.5	24.9	54.1	51.1	240
5.0 x 15.	55.8	38.1	126.4	78.1	859
5.0 x 20.	76.3	52.1	236.4	106.8	219
5.0 x 25.	95.1	65.0	367.8	133.2	426
5.0 x 30.	115.6	79.0	543.4	162.0	766
7.0 x 15	83.0	84.3	188.0	257.2	107
7.0 x 20	113.5	115.4	351.7	351.8	327
7.0 x 25	141.5	143.9	547.2	438.8	634
5 x 5	16.8	11.5	11.5	23.6	23
10 x 10	79.2	117.5	117.5	522.9	522
15 x 15	185.0	419.2	419.2	2850.9	2850
20 x 20	346.0	1072.5	1072.5	9974.0	9974

Las dimensiones normales que se listan en el *Cuadro A1.1* corresponden al promedio de un lote dado. Un usuario debe esperar variaciones de tamaño de una pieza a otra dentro de un rango que no afecte sus requerimientos. Estas variaciones se agrupan bajo el concepto de "tolerancia". La tolerancia varía según la última máquina que intervenga en el proceso de fabricación y es un valor sobre el cual el operador de la máquina no ejerce control. La tolerancia permisible para madera aserrada es mayor que la exigida a una pieza cepillada, a la cual se fija una tolerancia de ± 1.5 mm para cualquier dimensión de la sección transversal. Para madera aserrada se admiten variaciones de las siguientes magnitudes:

- hasta 10 cms ± 1.5 mm
- hasta 20 cms ± 3.0 mm
- medidas mayores de 20 cms ± 4 mm

APENDICE 2

Descripciones de los grados y procedimientos de clasificación

A2.1 El arte de la clasificación de madera puede llegar a ser dominado por aquellas personas que han dedicado gran tiempo al estudio del proceso de crecimiento de los árboles, identificación de las especies de madera, fabricación de la madera y la patología de los organismos que la atacan. Las siguientes explicaciones de este Apéndice presuponen que el lector tiene un conocimiento básico en estas áreas. También es deseable que el clasificador esté familiarizado con algunos principios de la mecánica relacionados con las estructuras de madera. Será también de gran beneficio para el clasificador su experiencia en la observación de ensayos de vigas, columnas y armaduras. Esta experiencia podrá obtenerse durante los entrenamientos para clasificadores.

A2.2 **Tamaños y tipos de madera**

A2.2.1 El proceso de clasificación será notablemente simplificado si se adoptan tamaños normales. Estos se discuten en el Apéndice 1. La primera responsabilidad de un clasificador es la de certificar que la madera clasificada reúne los requisitos de tamaño normal y asegurar al diseñador que el grado marcado en la madera es confiable respecto al tamaño. Esto también permite al diseñador conocer las propiedades geométricas de las secciones que espera tener.

A2.2.2 El tipo de madera estructural de mayor consumo en Costa Rica es madera verde aserrada, sin cepillo. Se le aplicarán a esta madera todas las especificaciones consideradas en los grados estructurales. Esta madera será llamada sin cepillo verde (s.c.v.).

A2.2.3 Ciertos productos estructurales de madera requieren que esta sea secada y cepillada. Esta madera será llamada cepillada seca (c.s.). Los tamaños de nudos permitibles para este tipo de madera se dan también en la descripción de los grados.

A2.2.4 Otros tipos de madera que pueden ser fabricados son: sin cepillo seca (s.c.s.), cepillado verde (c.v.). Los tamaños para estos tipos de madera se dan en el Apéndice 1, pero no en las descripciones de los grados. Los tamaños de nudos permitidos para estos otros tipos pueden ser interpolados según el tamaño, y los tamaños de cepillado seco pueden ser los empleados convencionalmente.

A2.2.5 Las correlaciones entre los tamaños de estos tipos de madera y el sobredimensionamiento deberán basarse en la contracción esperada y en el cepillado permisible.

El tipo de cepillado verde excede al cepillado seco en una magnitud de contracción debida al cambio de humedad a 18 0/o. En algunas especies esta contracción puede ser prácticamente insignificante, en especial para secciones pequeñas.

Los tipos de madera sin cepillado verde y seco excederán los tipos cepillado verde y seco en el espesor de la penetración del cepillo; en este caso, 3 mm para la madera de cualquiera de los tamaños estándar.

A2.2.6 El Apéndice 1 contiene una lista de las secciones y propiedades de las secciones estándar para efectos de diseño. Si la madera es usada en condiciones de servicio en las que el contenido de humedad final estará bajo 18 0/o las piezas podrán tener un tamaño ligeramente menor.

Sin embargo, esto no invalida un diseño basado en tamaño de cepillado seco, debido a que la pérdida de tamaño estará compensada por una ganancia de la resistencia y un incremento del módulo de elasticidad causado por el secado adicional.

A2.2.7 Si la madera se usa en un ambiente en el cual el contenido de humedad excederá el 18 % o, las propiedades para diseño dadas en la sección "Propiedades de Diseño de la Madera", deberán ser modificadas como se describe en la parte correspondiente de las normas de clasificación.

Las propiedades de las secciones para ser usadas en diseño permanecerán como se reportan en el Apéndice 1, sección cepillado seco (c.s.). Este sistema simplifica bastante el trabajo del diseñador.

A2.2.8 En la preparación de las reglas se han utilizado como base las reglas de clasificación estadounidenses. Sin embargo, los tamaños normales referidos en estas normas han sido revisados conforme a la demanda del mercado costarricense.

A2.3 Inclinación del grano

A2.3.1. En la madera de grano recto las fibras están paralelas al eje longitudinal de la pieza.

Las fibras o granos usualmente se desvían en un elemento imperfecto. Esto se debe, por lo general, a su tendencia a crecer helicoidalmente alrededor del árbol o a desviaciones alrededor de los nudos; puede deberse también a técnicas de aserrío que no permiten aserrar en una dirección adecuada. La inclinación del grano tiene influencia en la resistencia de la madera. Este efecto ha sido medido en muchos estudios de investigación, y un procedimiento general para interpretar la inclinación del grano, en términos de reducción de resistencia, se da en el ASTM D-245.

Con el objeto de comparar los valores de corrección ASTM-D245, Hoyle, R.; Tuk, J. y Monge, F. realizaron un estudio. El resultado fue publicado en la Revista **Tecnología en Marcha**, julio-setiembre 1980, Vol. 3, N° 1: "Variación del módulo de ruptura en 5 especies maderables".

Los resultados obtenidos demostraron porcentajes de reducción mucho menores que los recomendados por la ASTM. Algunas especies mostraron mayor sensibilidad pues redujeron dramáticamente su resistencia en flexión al aumentar la inclinación del grano. Tales fueron: Laurel y Botarramas (véase sección 1.1. para nombres botánicos). El *Cuadro A2.2* resume los resultados obtenidos. Sin embargo, aun estas especies se encuentran bajo los valores usados en estas normas.

A2.3.2 El *Cuadro A2.1* servirá como base para las reducciones por inclinación del grano para los grados de las normas. Para piezas de madera sana, las cuales son comunes en la madera producida por especies tropicales que presentan grandes troncos, la inclinación del grano es el principal factor reductor de la resistencia.

A2.3.3 La inclinación verdadera del grano se mide observando la inclinación sobre caras mutuamente perpendiculares y la combinación de ambas para obtener la verdadera inclinación. A continuación se presenta como ejemplo una pieza de 1 en 14 en el canto y 1 en 10 en la cara. La combinación de ambas da una inclinación del grano de 1 en 8. Para el cálculo combinado de las inclinaciones puede usarse la fórmula siguiente:

$$\begin{aligned} (\text{Inclinación combinada})^2 &= (\text{Inclinación canto})^2 + \\ &(\text{Inclinación en cara})^2 \end{aligned}$$

La Figura A1 muestra una pieza con las condiciones dadas para ilustrar la dirección verdadera del grano.

CUADRO A-2.1. Resistencia correspondiente a varias inclinaciones del grano.

INCLINACION DEL GRANO	RESISTENCIA MAXIMA (°/o)	
	FLEXION O TENSION PARALELA AL GRANO	COMPRESION PARA- LELA AL GRANO
1 en 6	40	53
1 en 8	53	66
1 en 10	61	74
1 en 12	69	82
1 en 14	74	87
1 en 15	76	100
1 en 16	80	100
1 en 18	85	100
1 en 20	100	100

$$\sqrt{\left(\frac{1}{10}\right)^2 + \left(\frac{1}{14}\right)^2} = \frac{1}{8}$$

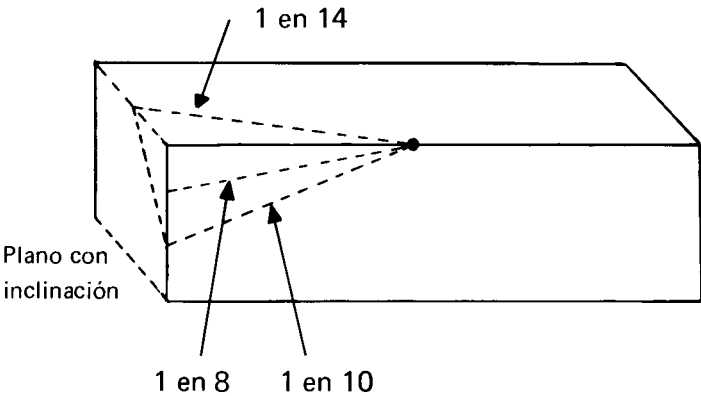


FIGURA A1. Inclinación verdadera del grano.

A2.3.4 El clasificador deberá determinar las inclinaciones en caras mutuamente perpendiculares, en aquellas zonas que produzcan una inclinación del grano máxima en la pieza. En estas reglas existen únicamente tres limitaciones para la inclinación del grado que son de interés. El *Cuadro A 2.3* da varias combinaciones que resultan de las tres inclinaciones importantes.

A2.3.5. Otra ayuda de gran utilidad en la conversión de inclinaciones medidas sobre planos perpendiculares se encuentra en el gráfico de la Figura A2.

CUADRO No. A-2.2. Variación de resistencia (0/o) con base en la inclinación 1:00(*).

INCLINACION DEL GRANO	1 - ∞	1-10	1-8	1-6	1-4
ESPECIE					
Botarramas	100	91	85	68	54.6
Gavilán	100	91.7	98.1	94.2	72.9
Jaúl	100	77.5	90.5	75.8	60.9
Laurel	100	—	73	64.5	43.2
Pilón	100	93.0	93.0	74	56
PROMEDIO	100	88.3	87.9	75.3	57.5

(*) *Tecnología en marcha, Vol. 3, No. 1. Con permiso de los autores.*

A2.3.6 El clasificador deberá conocer ciertos puntos de referencia a la hora de hacer una conversión. Para el grado N° 1 deberá dictarse que la inclinación verdadera del grano de 1 en 12 ocurre cuando una de las caras presenta una inclinación de 1 en 12 y la otra cero, una de las caras presenta 1 en 16 y la otra 1 en 18, y ambas caras presentan una inclinación de 1 en 12.

De la misma manera para el Grado 2, cuya inclinación es de 1 en 8, puede lograrse: 1 en 8 y cero, 1 cara 1 en 18 y la otra 1 en 9, 1 en 14 y 1 en 10 y, finalmente, ambas caras con una inclinación de 1 en 11.

También para el grado 3 las combinaciones de inclinaciones que producen una inclinación total de 1 en 6 pueden ser de las otras cero y 1 en 6, 1 en 12 y 1 en 7, 1 en 9 y 1 en 8, y, finalmente, que ambas inclinaciones estarán 1 en 8.5.

CUADRO A-2.3. Inclinación verdadera del grano para algunas combinaciones importantes.

INCLINACION DEL GRANO VERDADERO					
1:12		1:8		1:6	
CARA 1	CARA 2	CARA 1	CARA 2	CARA 1	CARA 2
0	1:12	0	1:8	0	1:6
1:24	1:14	1:24	1:85	1:24	1:62
1:18	1:16	1:18	1:89	1:18	1:64
1:16	1:18	1:16	1:93	1:16	1:65
1:14	1:24	1:14	1:98	1:14	1:67
1:12	0	1:12	1:10.7	1:12	1:7
		1:10	1:13.4	1:10	1:75
		1:9	1:17.6	1:9	1:8.1
		1:8	0	1:8	1:9.1
		1:8	0	1:7	1:11.7
				1:6	0

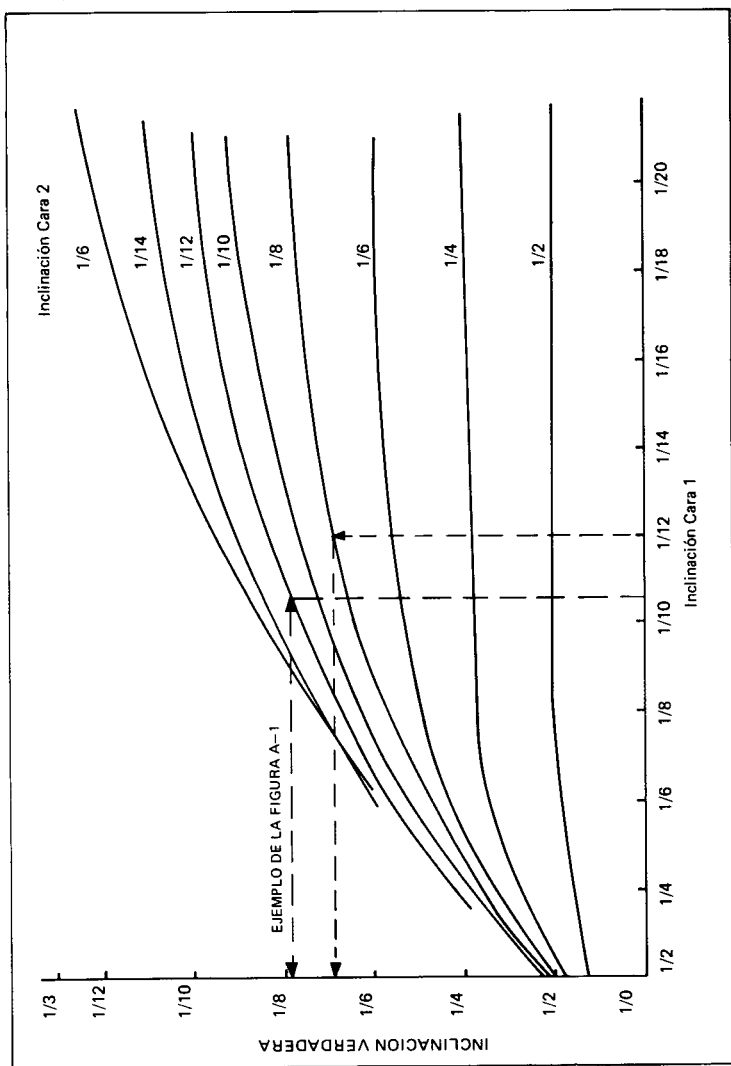


FIGURA A-2. Inclinación verdadera.

A2.3.7 La observación de la inclinación del grano en caras perpendiculares es una destreza que el clasificador debe desarrollar. Las líneas de crecimiento de los anillos y la dirección del grano no son necesariamente las mismas. La observación de la dirección de las fibras debe hacerse por inspección de la dirección de los radios, canales resinosos (si estuvieran presentes) y vasos.

Para efecto de mostrar la dirección del grano en algunas especies, en especial cuando las caras están sin cepillar, se podrá utilizar una herramienta que marca la dirección del grano. Este instrumento consiste en una punta aguda montada en una barra que se acciona manualmente en un soporte flojo de tal manera que le permite incrustarse y seguir las fibras de la madera. La Figura A-3 muestra un prototipo tan simple que puede ser hecho por cualquier persona.

A2.3.8 La inclinación del grado es medida y limitada en aquella zona al largo de la pieza que muestre la mayor inclinación. Deberá ser medida sobre una distancia suficientemente larga, de manera que defina la inclinación general, descontando aquellas pequeñas desviaciones que ocurren alrededor de los nudos. Las desviaciones locales deben ser consideradas en general en piezas menores de 20 cms de peralte o 5 cms de espesor y si no están asociadas con nudos permisibles. Véase Figura A-4.

A2.3.9 En piezas de 2.5. cms o tamaños similares una inclinación general del grano en cualquier parte de su longitud no deberá traspasar el espesor en una longitud menor que el número permisible de inclinación. Cuando la inclinación del grano varíe en la pieza, podrá tomarse un promedio.

Por ejemplo, una pieza de 2 cms de espesor para un grado cuya inclinación del grano permisible es de 1 en 6 podría estar limitada a 2 cms en 16 ó 1 en 8.

Un clasificador puede desarrollar la habilidad de medir la inclinación del grano si raja varias piezas y observa cómo sus estimaciones se comparan con la made-

ra rajada al largo del grano. Debe notarse que los planos de falla en flexión no siguen estrictamente la dirección del grano.

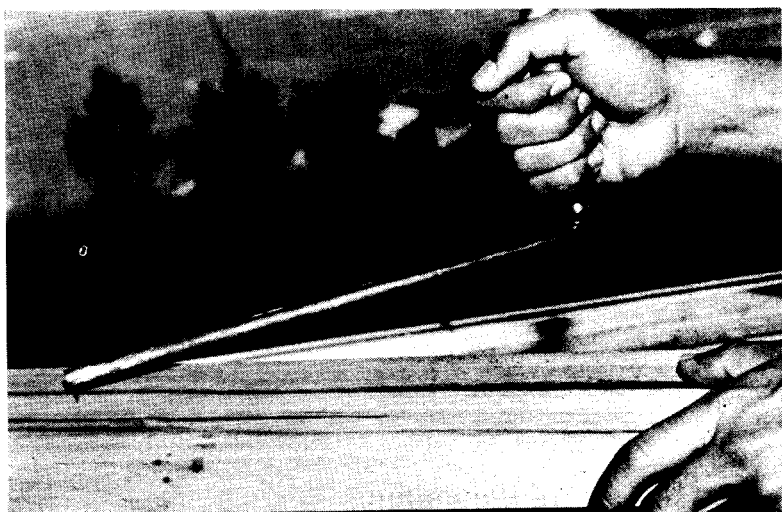


FIGURA A.3. Herramienta para evidenciar la dirección del grano. Consiste de una punta filosa, una barra convenientemente doblada y un mango de madera dentro del cual corre la barra sin fricción, permitiendo el giro de ésta.

Se desprecia desviación local debido al nudo



Promedio de inclinación del grano para efectos de clasificar la pieza.



Se despreciará la desviación localizada en la pieza si ésta es de 10 centímetros de ancho por 5 centímetros de espesor.

FIGURA A4. Inclinación del grano.

A 2.4 Medidas de nudos

A 2.4.1 La medición de los nudos es la labor más difícil que debe llevar a cabo un clasificador. La medida de nudos está basada en el principio de que el área de la sección ocupada por el nudo no debe exceder el tamaño permisible multiplicado por el espesor de la pieza. Esto se conoce como el método de desplazamiento del área.

A 2.4.2 Huecos de Nudos. Se considerarán como nudos y se clasificarán como tales.

A 2.4.3 Nudos Agrupados. Véase la Figura A.5. Estos son varios nudos poco espaciados de tal forma que la dirección del grano alrededor de ellos se comporta como si fuera un solo nudo de mayor tamaño. Estos nudos no están permitidos en madera estructural. Si una agrupación está compuesta de nudos sumamente pequeños y si la desviación del grano alrededor de la agrupación se mantiene dentro del tamaño del nudo permisible para el grado, estos pueden ser tomados como un nudo equivalente. Dos o más nudos poco separados y con las fibras deflectadas no se consideran una agrupación. Las especificaciones para la suma de tamaños de nudos se dan en las secciones A 2.4.2, A 2.4.8 y deberán observarse en una longitud de 15 cms.

A 2.4.4 Nudos en Caras. Véase la Figura A6.

A2.4.4.1 Los nudos en las caras se miden en dos categorías. Estos son nudos centrales y nudos cardinales. Las limitaciones para los tamaños en cada tipo se dan en la descripción del grano. Los nudos centrales son mayores que los nudos marginales.

A2.4.4.2 Si el centro de un nudo se encuentra dentro de una distancia igual a dos terceras partes de su diámetro de la pieza, este será considerado un nudo marginal de cara.

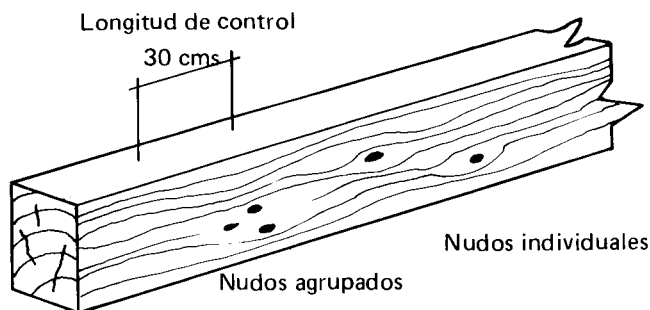


FIGURA 5. Nudos distribuidos sobre las caras.

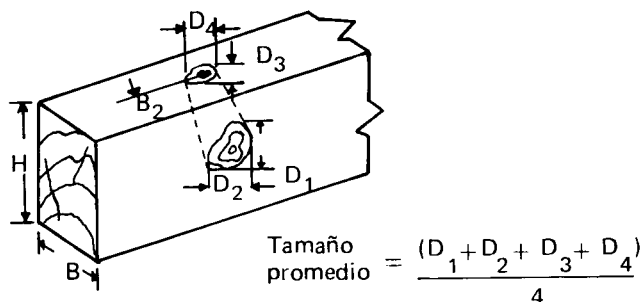
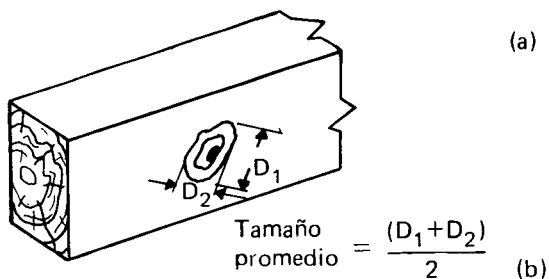
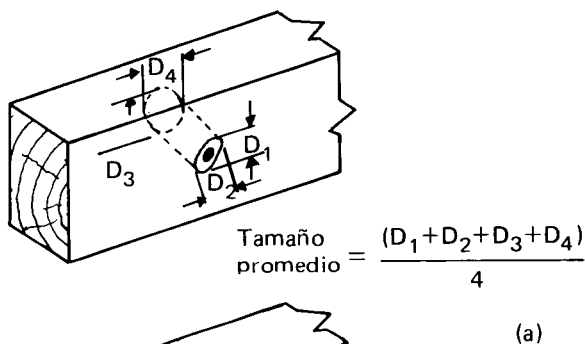


FIGURA A6. Medida de nudos sobre la cara.

A2.4.4.3 Los nudos, sean estos marginales o centrales, están limitados en su tamaño proporcional a la localización de su centro desde el borde.

A2.4.4.4 Por ejemplo considérese el caso de una pieza de grado dos sin cepillo verde (s.c.v.) con una sección de 4.28 cms. El nudo marginal no debe exceder 3 cms en diámetro promedio con su centro localizado dentro de una banda de 1.9 cms medidos desde su borde. El nudo central no deberá exceder un diámetro promedio de 12.7 cms por un nudo a la mitad entre la línea central, y una línea situada a 1.9 cms del borde no deberá exceder $(3.0 + 5) \div 2 = 4$ cms. No es práctico medir los nudos con una precisión menor de 1 mm.

A2.4.4.5 Si un nudo en la cara aparece en caras opuestas, su tamaño será el diámetro promedio. Si aparece en una sola cara se asumirá que tendremos en la cara opuesta conicidad uniforme, y su diámetro será tomado con un medio del diámetro sobre la cara en que aparece.

A2.4.4.6 El diámetro de un nudo en cara será medido con el promedio de los diámetros mayor y menor sobre esa cara.

A2.4.5 Nudos en Canto

A2.4.5.1 El tamaño de un nudo en canto es medido con la distancia entre dos líneas paralelas a los bordes que sean tangentes al nudo. El nudo en canto que también aparezca en la cara será medido y clasificado como un nudo de cara; el desplazamiento de un nudo de canto está limitado al desplazamiento de un nudo marginal en la cara. Esto se debe a que las descripciones de los grados no tienen listados tamaños de nudos en canto. Véase la Figura A7.

A2.4.6 Nudos de Esquina

- A2.4.6.1** Un nudo situado en la interacción de la cara con el canto es un nudo de esquina. Será medido con líneas paralelas respecto al borde del canto o por su diámetro en la cara, cualquiera que sea más crítico. Si un nudo de esquina también apareciera en la cara opuesta se debe limitar también como un nudo de cara. Véase Figura A8.

A2.4.7 Nudos en Cuña

- A2.4.7.1** Un nudo en cuña es un nudo que puede ser longitudinal o transversal a través de la pieza. Véase Figura A9. Los nudos en cuña son clasificados en sus extremos. Nudos en cuña sobre la cara serán clasificados de acuerdo con su desplazamiento según sea determinado por el clasificador.

A2.4.8 Nudos Juntos

- A2.4.8.1** En cualquier sección el desplazamiento máximo del área por los nudos estará limitado en la cara a las restricciones de margen o centro, una de las dos pero no ambas.
- A2.4.8.2** El desplazamiento acumulativo de pequeños nudos en cualesquiera 30 cms de longitud en cualquier pieza no deberá exceder el doble del tamaño del nudo permitido en piezas mayores de 5 cms de espesor y no deberá exceder el tamaño del nudo mayor permisible en madera menor de 5 cms de espesor.
- A2.4.8.3** Cualquier combinación de nudos que, a juicio del clasificador, haga que una pieza no se ajuste al grado, no deberá ser admitida.

A2.4.9 Limitaciones de tamaño del nudo en relación con la longitud de la pieza

A2.4.9.1 Estas especificaciones están relacionadas por la forma en que la madera clasificada deba ser usada y su condición de uso está claramente definida por algún símbolo separadamente del estampado del grado.

A2.4.9.2 Si el uso de la madera es en miembros solos y en flexión, las limitaciones de nudo marginal se aplicarán únicamente al tercio medio de la longitud. Las limitaciones del tamaño del nudo serán proporcionales a la distancia entre el extremo de la pieza y el punto tercio del grano, variando hasta un máximo de dos veces el valor especificado para nudo marginal o el especificado por nudo central o cualquiera que sea menor. El tamaño de un nudo en la cara puede ser aumentado proporcionalmente desde el borde hasta la línea central a través del peralte de la pieza. Véase Figura A10.

La madera para uso en la construcción de pisos y vigas de techo puede ser clasificada de esta manera.

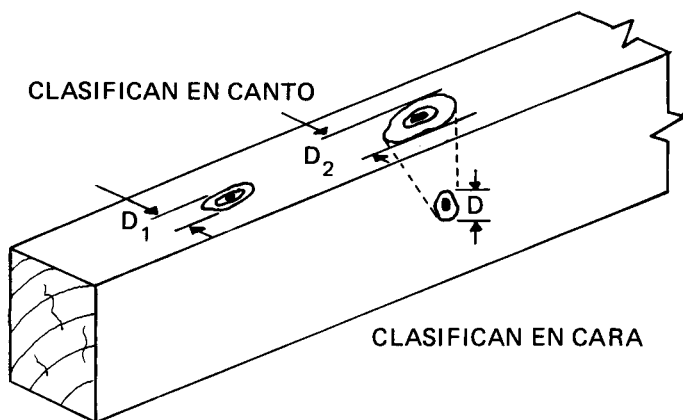


FIGURA A 7. Nudos en canto.

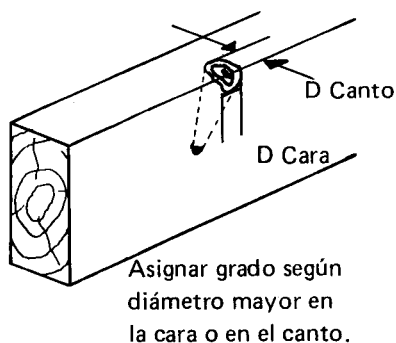


FIGURA A-8. Nudos esquineros.

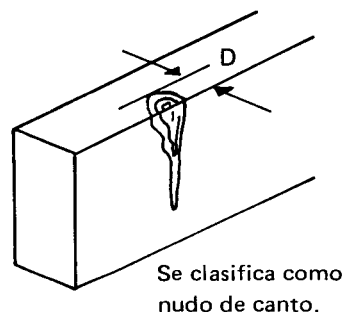
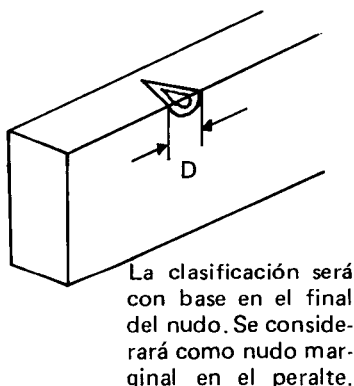
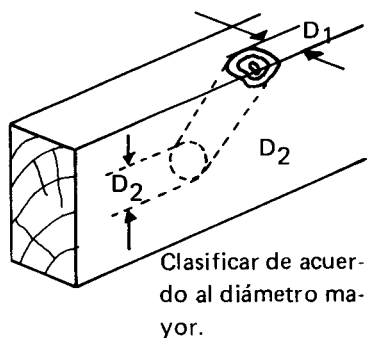
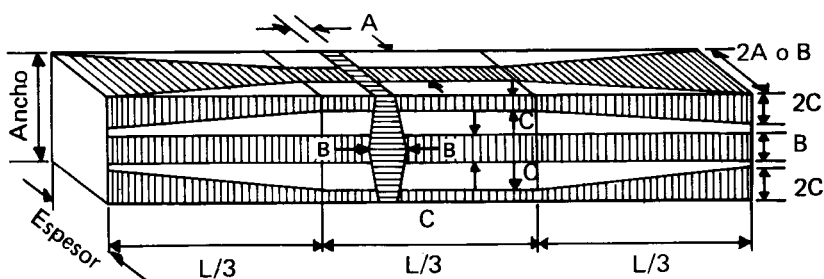


FIGURA A-9. Nudos rebajados.



- A = Tamaño máximo en canto en el tercio central, con un aumento uniforme de $2A$, pero no excede a B en las orillas.
- B = Tamaño máximo al centro del peralte y constante a lo largo de la pieza.
- C = Tamaño máximo en el margen del peralte dentro del tercio central, con un aumento uniforme de $2C$, pero no excede a B en las orillas y un aumento uniforme de B en el centro de la cara ancha.
- L = Largo de la pieza.

FIGURA A-10. Tamaño máximo de nudos permitidos en miembros sometidos a flexión con apoyos simples.

A2.4.9.3 Para aquellas aplicaciones en las cuales la madera será usada como viga sobre más de dos soportes en forma continua, o en cuerdas de armaduras o en elementos sujetos a tensión o compresión o en aquellas piezas que sean unidas entre sí para miembros en flexión simple, las limitaciones de nudos deberán ser aplicadas uniformemente al largo de las piezas. La razón para esta diferencia es que los esfuerzos en flexión en vigas sobre un claro bajo cargas aproximadamente uniformes, disminuyen hasta cero en los soportes, pero son sumamente altos y uniformes en el tercio medio del grano. Tales vigas pueden tolerar efectos mayores en las proximidades de soporte.

A2.4.10 Grietas Radiales y Tangenciales

A2.4.10.1 Una grieta tangencial es una separación de la madera al largo de los anillos de crecimiento. Usualmente es consecuencia de los esfuerzos extremadamente altos durante el crecimiento o debido a madera anormalmente débil cerca de la frontera de un anillo de crecimiento.

A2.4.10.2 Grietas por contracción. Son separaciones de la madera como resultado de los esfuerzos de contracción. Aparecen por lo general en las superficies y no se extienden hacia el interior excepto en los extremos.

Son por lo general de dirección radial.

A2.4.10.3 Las grietas reducen las capas de resistencia de cortante de la pieza ya que disminuyen el espesor sobre el cual actúa el esfuerzo cortante.

A2.4.10.4 El tamaño de una grieta es la distancia entre líneas que encierran la grieta y son paralelas a la cara de la pieza. Véase Figura A11.

Si la grieta es interna a la pieza, sin extenderse hacia ninguna de las caras, será visible únicamente en los extremos; sin embargo, las grietas no son defectos característicos de las especies latifoliadas. En las grietas que se extienden hasta las caras, el tamaño puede ser determinado.

A2.4.10.5 Las grietas radiales o de contracción pueden ocurrir en los extremos o a lo largo de las caras.

El tamaño de una grieta de cara es medido en la misma forma que una grieta tangencial. Esto es la penetración promedio normal a la cara. Una grieta por contracción en el extremo es medida como una grieta tangencial transversal en el extremo, Sección A2.5.

A2.4.10.6 Los tamaños de grietas permitidos en las caras son dados en las descripciones de las caras de los grados. Los tamaños limitados de las grietas son los mismos para los tres grados. Para grietas del grado 1 y 2 se toman los mismos valores y un poco mayor para el grado 3. Las limitantes en cuanto a grietas son solamente aplicadas inicialmente a las siguientes zonas:

A2.4.10.7 Miembros en flexión simple, grietas de secado, reventaduras y grietas radiales, se restringen únicamente para una distancia que cubre tres veces el peralte y el tercio medio de la pieza, únicamente en la mitad del peralte. Véase Figura A12.

A2.4.10.8 Para elementos en flexión sobre apoyos continuos, las grietas y rajaduras estarán restringidas a través de la longitud en la mitad central del peralte.

A2.4.10.9 Fuera de las zonas críticas en flexión, tensión y compresión, las grietas y rajaduras tienen un efecto muy pequeño o ninguno sobre la resistencia y no están restringidas.

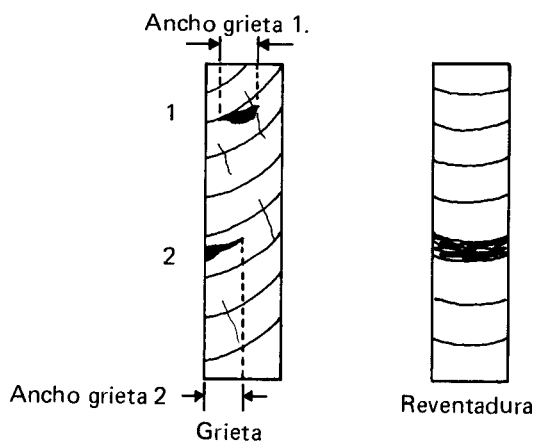
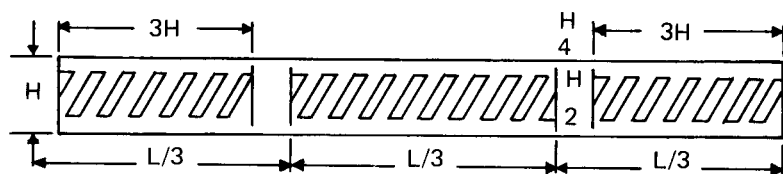
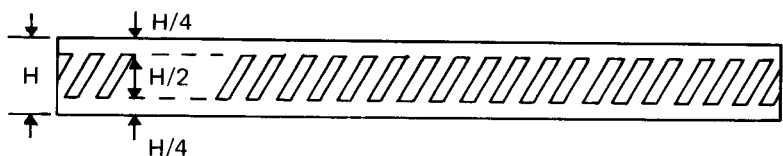


FIGURA A-11. Grietas y reventaduras.



RESTRICCIONES PARA VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS.



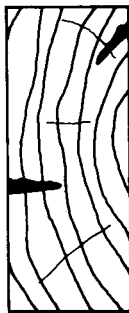
RESTRICCIONES PARA VIGA SOBRE APOYO MULTIPLE, COLUMNA O CUERDA DE ARMADURA.

FIGURA A-12. Zonas de restricción para grietas y reventaduras según uso.

A2.4.10.10 Las combinaciones de grietas y rajaduras que se encuentran marcadas pueden ser sumadas, en cuyo caso su tamaño estará limitado al tamaño permisible. Si se encuentran suficientemente espaciadas no serán sumadas. El juicio de los clasificadores es requerido para determinar si los defectos deben ser sumados. Véase Figura A13.



Los efectos se
pueden superponer



Los efectos no se pueden superponer



FIGURA A-13. Algunas posibles combinaciones de grietas y reventaduras por su colocación en la sección de las piezas.

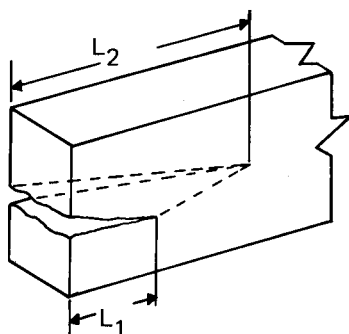
A2.5 Grietas por Cabeza

A2.5.1 Son separaciones perpendiculares al grano que se deben usualmente a un rápido secado de los extremos expuestos; también pueden ser causadas por un alivio de esfuerzos internos de crecimiento en árboles grandes, o por fractura mecánica. Las grietas o reventaduras tienen el mismo efecto en los extremos de las piezas.

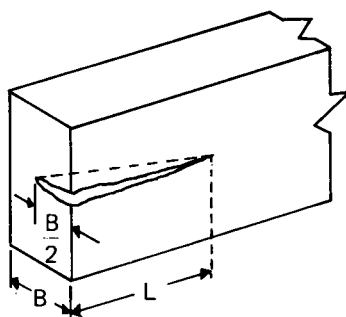
A2.5.2 Para la mayor parte de la madera estructural, la rajadura por cabeza es medida de acuerdo con su longitud promedio. Véase Figura A 14. Su limitación estará de acuerdo con las normas para madera de 15 cms o menos en espesor.

A2.5.3 Para miembros mayores de 15 cms de espesor, la grieta por cabeza es medida con un tercio de la longitud promedio y estará limitada de acuerdo con las descripciones del grado correspondiente.

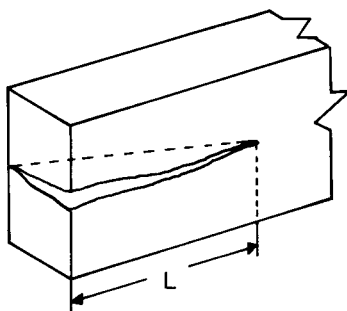
A2.5.4 Las grietas por cabeza son críticas únicamente en la unidad central del peralte.



$$\text{Largo efectivo} = \frac{L_1 + L_2}{2}$$



$$\text{Largo promedio: } L/4$$



$$\text{Largo efectivo} = L/2$$

FIGURA A-14. Medida de reventaduras en extremos.

A2.6 Fallidos

A2.6.1 Los fallidos solo se encuentran en la madera cepillada. Son áreas de la pieza que han quedado sin cepillar. Los fallidos se describen como sigue con áreas equivalentes que son permitidas.

Tamaño de fallido permisible: son series de fallidos salteados con una profundidad no mayor de .16 cms y áreas cepilladas entre estos. Pueden ser de 30 cms de longitud en caras y no mayor de 60 cms de longitud en cantos.

Deberá tomarse un área fallida aunque esté cepillada, parcialmente cepillada o enteramente sin cepillar, siempre y cuando la deficiencia no exceda de .16 cms.

A2.7 Manchas

A2.7.1 Una variación limitada en el color natural puede deberse a la oxidación de azúcares o extractivos debido a la acción del intemperismo, o también a la acción de un hongo que no ataca la madera.

A2.7.2 Las manchas de savia son una decoloración debida a la presencia de hongos que no atacan la lignina o la celulosa, pero viven de los azúcares que se encuentran presentes en la albura. Se pueden reconocer por un azul claro o una coloración negra o gris, algunas veces asociada con moho superficial.

A2.8 Defectos de Manufactura

A2.8.1 Los defectos de manufactura en estos tres grados son los mismos en el grado No. 1 y No. 2 y son un poco más severos en el No. 3. En las secciones siguientes se describen los diferentes grados:

A2.8.1.1. Grano rasgado. Son irregularidades en la superficie producidas por las cuchillas de la cepilladora al levantar partículas o quebrarlas bajo la superficie.

En este caso la norma de clasificación permitirá .16 cms de profundidad; en el caso de grano rasgado severo, la profundidad será mayor de .32 cms de profundidad.

A2.8.1.2 Grano levantado. Es una imperfección que se encuentra entre leño temprano y leño tardío en madera cepillada. Se debe generalmente a cuchillas embotadas que cortan la superficie de la madera en diferentes grados, por lo cual se generan diferentes texturas en la superficie. Esto no constituye un problema en madera latifoliada. Las ondulaciones permitidas para este tipo son de .16 cms.

A2.8.1.3 Grano suelto. Es una separación entre madera densa de verano y madera más liviana primaveral, debida usualmente a la acción mecánica de las cuchillas en madera de grano recto, presente, por lo general, en coníferas. No es característica de las latifoliadas. Deberá entenderse por grano suelto aquel que presente separaciones mayores de .16 cms.

A2.8.1.4 Mordido. Es una depresión debida al corte dispar de las cuchillas en la superficie de una pieza. El mordido está relacionado con el ajuste de presión de la máquina en relación con la velocidad de alimentación y la de los cabezales donde giran las cuchillas. Se considera como mordido mediano aquel que presenta una profundidad de .16 cms. Mordido severo será aquel que presente profundidades de hasta .32 cms.

A2.8.1.5 Marcas. Cualquier otro tipo de irregularidades sobre la superficie de las piezas debido a sobrepresión de los rodillos alimentadores o al deslizamiento de las cuchillas, etc.; no deberán exceder de .32 cms para el caso más severo; irregularidades medidas estarán alrededor de .32 cms de profundidad.

A2.8.1.6 Marcas de cuchilla. Son las impresiones de cada uno de los cortes de cada cuchilla sobre la superficie de la madera cepillada. En estas reglas de clasificación no se da ninguna especificación para marcas de cuchilla.

A 2.9 Rebajos

A2.9.1 La falla de madera por cualquier causa y la inclusión de corteza en las aristas de una pieza se conoce como rebajo. Se permitirán rebajos para prevenir astillamiento de los bordes, de la siguiente manera: bordes rebajados tendrán .16 cms de radio por cada 2.5 cms de espesor y .32 cms para espesores mayores de 2.5 cms. No se considera un defecto.

A2.10 Torcido

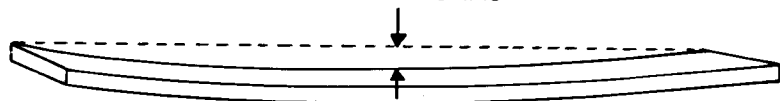
A2.10.1 El torcido es una desviación del plano de la superficie. Existen varios tipos de torcimiento: arqueado por cara, por canto, abarquillado, alabeo. Véase la Figura A15.

A2.10.1.1. Arqueo por cara. Es una desviación de la cara con respecto a su plano. Se mide en el punto donde la deformación es máxima. Se permite un arqueado para los grados uno y dos igual a la mitad del promedio y "ligero" para el grado tres. La desviación permitida se da en los *Cuadros A2.4 y A2.5*.

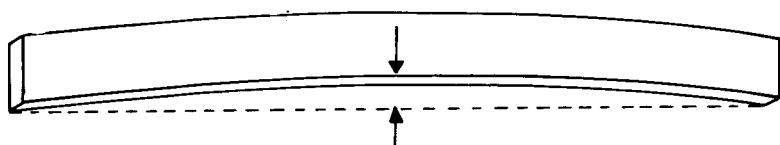
A2.10.1.2 Arqueo por canto. es una desviación del canto respecto a una línea recta que va entre ambos extremos. Se mide en el punto de mayor desviación. Las cantidades o las magnitudes de arqueado permisible se dan en los *Cuadros A2.6* para los grados 1 y 2 y *A2.7* para el grado 3.

A2.10.1.3 Abarquillado. Es una deformación de la cara respecto a una línea recta que va de canto a canto y perpendicular al eje de la pieza.

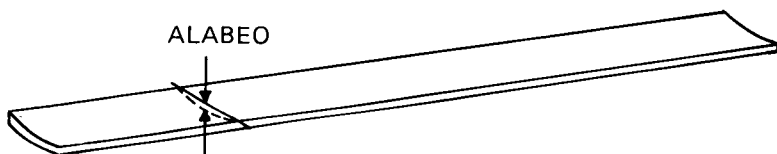
ARQUEADURAS



PANDEO



ALABEO



TORCEDURA

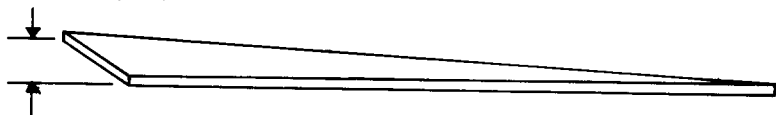


FIGURA A15. Diferentes tipos de torcedura.

Debe ser medido en el punto de mayor deformación. Las magnitudes admisibles de abarquillado se dan en el Cuadro A2.8.

A2.10.1.4 Alabeo. Es una torsión de la pieza, algunas veces con combinación de arqueos por cara y canto. Si un extremo de la pieza es colocado contra una superficie plana, la esquina opuesta en el otro extremo presentará un levantamiento sobre la superficie. La magnitud de este levantamiento permisible se da en los *Cuadros A2.9* para los grados 1 y 2 y *A2.10* para el grado 3.

A2.11 Quebrantaduras

A2.11.1 En algunas piezas de madera se podrán presentar fallas por compresión. Estas pueden ser el resultado de la generación de esfuerzos extremadamente altos que ocurrieron en algún momento en la vida del árbol, o también pueden ser debidas a daños ocasionados durante la tala de árboles. Estas quebrantaduras no siempre se notan fácilmente, especialmente en maderas sin cepillar. La madera con tales quebrantaduras no deberá ser usada en miembros estructurales. La existencia de quebrantaduras visibles a simple vista implica que otras menos visibles podrían estar presentes, por lo que este material no debería ser clasificado, aunque sean saneadas las partes visiblemente dañadas.

Son ejemplos típicos de madera con este defecto el Gavilán y la Caobilla.

A2.12 Ataque de insectos

A2.12.1 Ciertos daños ocasionados por los insectos no son perjudiciales en la madera estructural si no existe pudrición. Se permitirán huecos de insectos en forma esporádica, pero aquella madera que presenta huecos de insectos no deberá ser clasificada estructuralmente. Madera liviana con ataque de insectos, decoloración o man-

chas asociadas entre sí no deberá ser clasificada. Por ejemplo, madera atacada por termitas o comejenes tampoco será admitida. La magnitud del daño ocasionado por ataque de insectos no puede ser medida por inspección visual.

A2.13 Pudrición

A2.13.1 La madera con pudrición no es aceptable en piezas estructurales en los grados 1 y 2, con excepción de aquellos nudos que se encuentran podridos. Se permitirá una pudrición ligera en el corazón. Es permisible en el grado 3 si se restringen y son descritas en la regla y únicamente en madera de 5 cms o menos de espesor, o donde la extensión de la pudrición pueda ser observada.

A2.14 Tamaño de defectos permisibles

La asignación del tamaño permisible de los defectos que afectan la resistencia se basa en los procedimientos descritos por la norma ASTM-D245. A continuación se da el *Cuadro A-2.12*, el cual es general para estos tamaños de los defectos en función del ancho (b) y el peralte (h) de la pieza. Estas dimensiones forman la base para especificar las normas de clasificación según las dimensiones de la pieza, junto con razones de resistencia de 69 % para Grado 1, 53 % para Grado 2 y 40 % para Grado 3.

CUADRO A-2.4. Arqueo por cara para grados selecto y medio.

PERALTE (cm)	LARGO (mts)						
	1.25-2	25	3	3.5	4.0	4.5	5.0
menor							
a 5.0	1.4	1.9	2.6	5.7	7.6	9.5	11.4
5.0	0.9	1.2	3.4	3.8	5.0	6.3	8.5
7.5	0.5	1.2	1.2	1.4	1.9	2.4	7.5
10.0	0.5	0.6	0.9	1.2	1.6	1.9	2.6
12.5 – 15.0	0.3	0.6	0.8	1.1	1.4	1.7	1.9

CUADRO A-2.5. Arqueo por cara para grado general.

PERALTE (cms)	LARGO (m)						
	1.25-2	2.5	3	3.5	4.0	4.5	5.0
5.0	1.9	2.8	5.7	7.6	9.5	12.3	15.2
5.0	1.2	1.9	3.8	5.0	6.3	8.25	10.0
7.5	0.6	0.9	1.5	1.9	2.5	3.1	3.4
10.0	0.6	0.9	1.2	1.7	2.2	2.5	3.1
12.5 – 15.0	0.5	0.8	1.1	1.6	1.9	2.2	2.5

CUADRO A-2.6. Arqueo por canto para grados selecto y medio.

PERALTE (cms)	LARGO (m)						
	1.25-2	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
7.5	0.5	0.6	1.2	1.4	1.4	2.3	2.6
10.0	0.5	0.6	0.9	1.2	1.6	1.9	2.1
12.5 - 15.0	0.3	0.6	0.8	1.1	1.4	1.7	1.9
17.5 - 20.0	0.2	0.5	0.6	1.0	1.2	1.4	1.6
22.5 - 25.0	0.2	0.3	0.5	0.9	1.1	1.2	1.4
27.5 - 30.0	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.2

CUADRO A-2.7. Arqueo por canto para grado general.

PERALTE (cms)	LARGO (m)						
	1.25-2	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
7.5	0.6	0.9	1.6	1.9	2.5	3.1	3.5
10.0	0.6	0.9	1.2	1.7	2.2	2.5	2.8
12.5 - 15.0	0.5	0.8	1.1	1.6	1.9	2.2	2.5
17.5 - 200	0.3	0.6	0.9	1.2	1.6	1.9	2.2
22.5 - 25.0	0.2	0.5	0.6	1.1	1.2	1.6	1.9
27.5 - 300	0.2	0.3	0.5	0.9	0.9	1.2	1.6

CUADRO A-2.8. Abarquillado (cms).

	5.0-7.5	10.0	12.5-15	17.5-20	22.5-25	27.5-30
GRADO No. 1 y No. 2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.5
GRADO No. 3	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6

CUADRO A-2.9. Alabeo para grados selecto y medio.

PERALTE (cms)	LARGO (m)							
	1.25	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
7.5 - 10	0.5	0.6	0.9	1.1	1.4	1.6	1.9	2.0
12.5 - 15	0.6	0.9	1.4	1.7	2.0	2.4	2.8	3.1
17.5 - 20	0.9	1.4	1.9	2.4	2.8	3.3	3.8	4.3
22.5 - 25	1.1	1.7	2.4	3.0	3.5	4.1	4.7	5.4
27.5 - 30	1.4	2.0	2.8	3.5	4.3	4.9	5.7	6.3

CUADRO A-2.10. Alabeo para grado general.

PERALTE (cms)	LARGO (m)						
	1.25	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
7.5 - 10.0	0.6	0.9	1.2	1.6	1.9	2.2	2.5
12.5 - 15.0	0.9	1.2	1.9	2.2	2.8	3.1	3.8
17.5 - 20.0	1.2	1.9	2.5	3.1	3.8	4.4	5.0
22.5 - 25.0	1.6	2.2	3.1	3.8	4.7	5.3	6.3
27.5 - 30.0	1.9	2.8	3.8	4.7	5.7	6.6	7.5

CUADRO No. A-2.11. Tamaño de los defectos por grados.

	No. 1	No. 2	No. 3
Nudos en canto	33 0/o b	50 0/o b	60 0/o b
Nudos en cara:			
Centrales	33 0/o h	50 0/o h	60 0/o h
Marginales	18 0/o h	30 0/o h	38 0/o h
Inclinación del grano	1 en 12	1 en 8	1 en 6
Tamaño de grietas	53 0/o b	53 0/o b	53 0/o b
Tamaño de reventaduras	150 0/o h	150 0/o h	150 0/o h

La razón de reducción usada en el cálculo de propiedades correspondiente a las dimensiones de los defectos admitidos se presenta en el *Cuadro A2. 12*.

CUADRO A-2.12. Razones de reducción.

	No. 1	No. 2	No. 3
Módulo de ruptura	69 0/o	53 0/o	40 0/o
Módulo elástico	100 0/o	90 0/o	80 0/o
Compresión paralela	69 0/o	53 0/o	40 0/o
Compresión perpendicular	100 0/o	100 0/o	100 0/o
Tensión paralela	38 0/o	29 0/o	22 0/o
Cortante paralelo	50 0/o	50 0/o	50 0/o

REVISION DE LOS GRADOS ESTRUCTURALES

Dado un lote de madera aserrada, cada una de las piezas presentará una amplia gama de capacidad de sostener cargas. Esta variación obedece a la presencia aleatoria de defectos en las piezas, tanto en posición como en magnitud.

En el capítulo 2 se presentó un método para la selección y clasificación de madera según una reducción de resistencia en tres categorías: Grado No. 1 reduce la resistencia básica en un 31 %; el Grado No. 2 la reduce en un 47 % y el Grado No. 3 en un 60 %.

Bajo los criterios de evaluación de defectos expuestos en el Capítulo 2, dos personas llegarán a asignar el mismo grado estructural a una pieza de madera en forma independiente.

Para revisar la capacidad de separación de las normas expuestas se probaron elementos estructurales a escala natural y se compararon los resultados obtenidos con aquellos que se esperaban de acuerdo con las normas.

Para efectuar estos ensayos se siguieron las normas de la referencia 9. El material para ensayo se recolectó en los aserraderos. Para estos ensayos se emplearon vigas de 5 x 15 cms y 5 x 20 cms de sección con un claro de 200 cms. Todas las muestras fueron llevadas a un contenido de humedad de 18 % antes de ser ensayadas.

El sistema de cargas empleado fue a puntos tercios, en este caso a 66.6 cms de separación. El tiempo para alcanzar la falla oscila entre 9 y 15 minutos. En todos los casos se registró la curva de carga-deflexión. La *Figura 7* muestra el esquema de carga, cortante y momento flector de una viga sometida a flexión estática.

Para evaluar la sensibilidad del sistema de clasificación en la segregación de piezas estructurales con diferente resis-

tencia, se define el Índice de Seguridad IS de la siguiente manera:

$$IS = \text{Módulo de ruptura promedio} / MR \text{ permisible}$$

El valor de IS se calculó para cada grado en cada especie.

El *Cuadro N° 11* presenta los valores promedio por grado y por especie así como el valor admisible según *Cuadro N° 13* y el valor de IS. Los valores de IS por grados se muestran en forma gráfica en función del grado. La separación entre grados está dada en función de la razón de reducción característica del grado, *Figura 1* para Gavilán, Jaúl y Laurel y *Figura 2* para Botarrama y Pilón.

CUADRO No. 11. Valores de IS para cada grado por especie.

ESPECIE	GRADO	MR × FR	Fb	IS
Botarrama	1	642.77	108	5.95
	2	406.38	64	4.83
	3	167.40	63	2.65
Gavilán	1	868.15	140	6.20
	2	472.56	108	4.44
	3	250.69	81	3.14
Jaúl	1	358.86	110	3.26
	2	169.66	85	1.99
	3	107.76	64	1.68
Laurel	1	537.54	100	5.37
	2	293.98	77	3.81
	3	124.11	58	2.13
Pilón	1	695.13	131	5.3
	2	291.59	101	2.88
	3	118.97	76	1.56

MR = Módulo de ruptura

FR = Factor de reducción

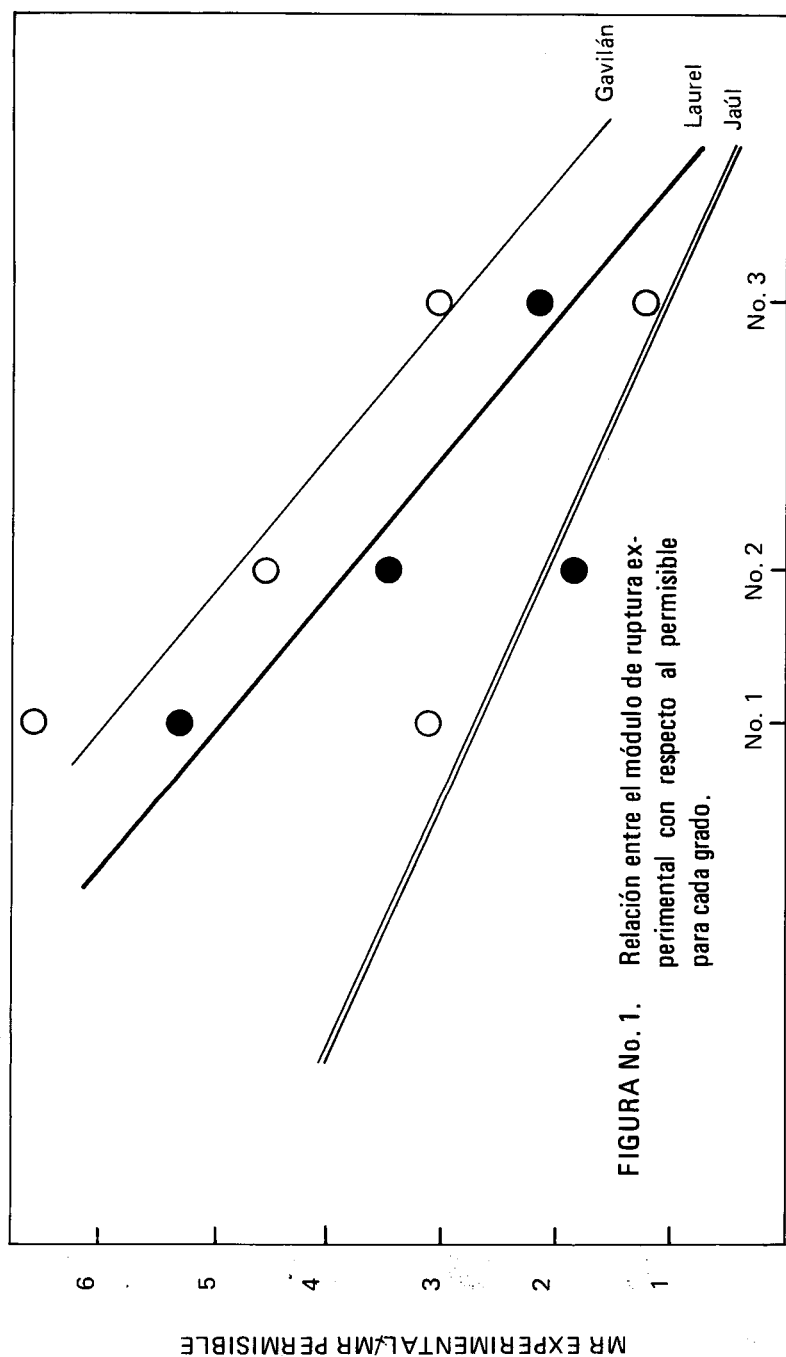


FIGURA No. 1. Relación entre el módulo de ruptura experimental con respecto al permisible para cada grado.

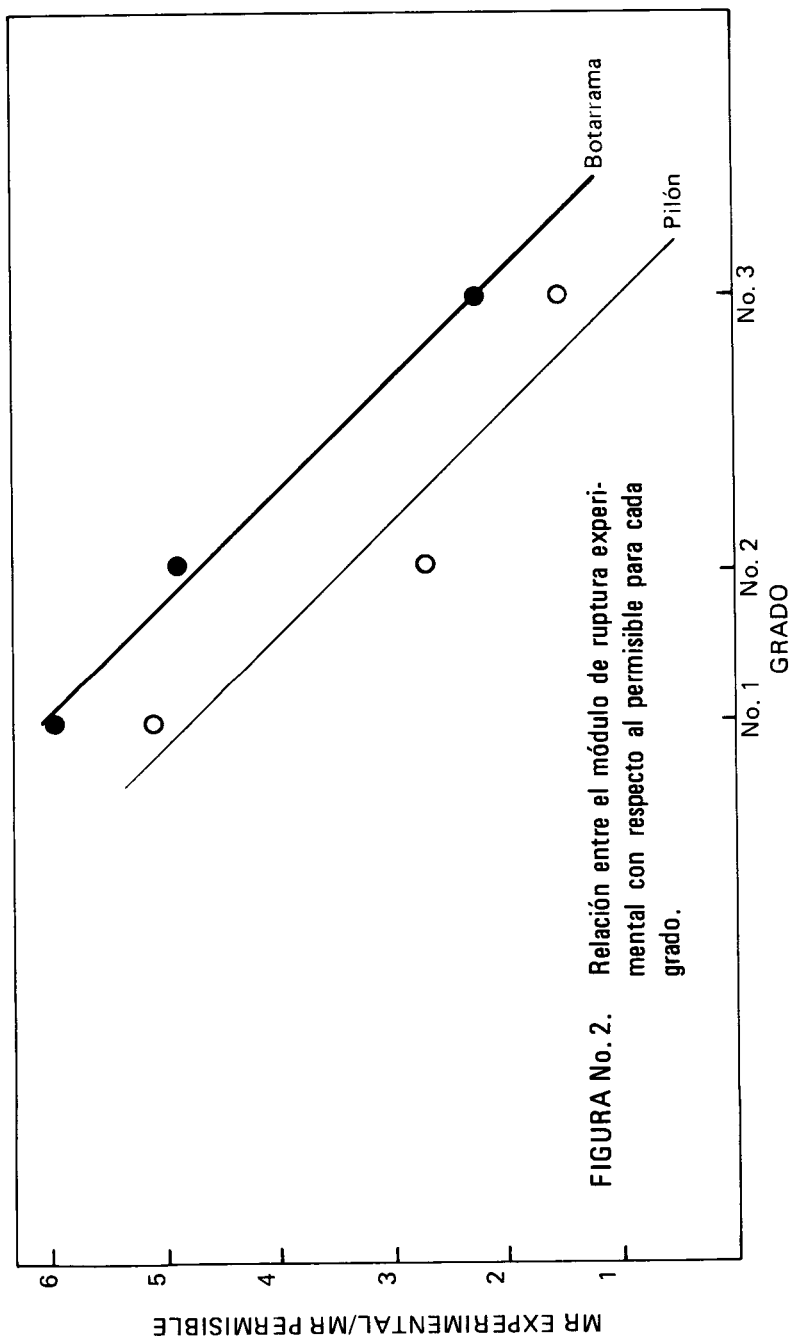


FIGURA No. 2. Relación entre el módulo de ruptura experimental con respecto al permisible para cada grado.

LITERATURA CITADA EN LOS CAPITULOS 1, 2, 3 y 4.

1. Albertin, W., Rosero Galarza, P. y Santander Flores, C. **Inventario forestal y análisis estructural de la Finca La Milena de la Compañía Maderas Grupo Pozuelo-Marín S.A.** Turrialba: CATIE, 1974.
2. American Society of Testing and Materials. **Standard Methods for Establishing Clear Wood Strength Values.** D-2555, Parte 22, 1977.
3. American Society of Testing and Materials. **Standard Methods for Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visually Graded Lumber.** D-245, Parte 22, 1977.
4. American Society of Testing and Materials. **Standard Methods of Static Test of Timbers in Structural Sizes.** D-198, Parte 22, 1977.
5. American Society of Testing and Materials. **Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber.** D-143, Parte 22, 1977.
6. Bello, G. *et al.* **Ejecución del inventario forestal de la Finca Llanos de Cortez, Bagaces, Guanacaste.** Informe de práctica de especialidad. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica. Departamento de Ingeniería Forestal, 1978.
7. Centeno, J. C. **Sistema andino de clasificación para madera estructural.** Mérida: Laboratorio de Productos Forestales, 1978.
8. Costa Rica. ITCO. Departamento de Planificación. Sección de Formulación y Promoción de Proyectos. **Proyecto de manejo e**

industrialización forestal para la reserva de Chambacú. San José: ITCO, 1978.

9. Costa Rica. ITCO. Departamento de Planificación. Sección de Formulación y Promoción de Proyectos. **Proyecto industrial forestal para Sabogal. Reserva de Chambacú (Estudio preliminar).** San José: ITCO, 1977.
10. González, R. **Relación entre el peso específico y algunas propiedades mecánicas del *Alnus jorullensis* HBK.** Turrialba: IICA, 1970.
11. González Meza, R. **Inventario forestal de la compañía Desarrollo Agrícola Chambacú.** San José, Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección General Forestal. Departamento de Investigaciones, 1970.
12. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Laboratorio de Productos Forestales. **Wood Testing Program of Selected Forest Areas, Costa Rica.** Turrialba: IICA, 1968.
13. Lara, B. **Estudio de dos especies de maderas nacionales para uso en puentes.** Tesis. San Pedro de Montes de Oca: Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, 1972.
14. Lizano P., C.L. y López, L.M. **Estudio de la prefactibilidad para la utilización de los recursos forestales en la región noreste del país.** San José: Corporación de Desarrollo del Tortuguero, 1972.
15. Llach, L. **Madera laminada encolada.** Tesis. San Pedro de Montes de Oca: Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería Civil, 1970.
16. Machado, Sebastiao Do Amarz. **Estudio comparativo do medicado num bosque secundario tropical.** Tesis Mag. Sc. Turrialba: IICA, 1972.
17. Maeglin, R. y Wahlgren, H. **Western Wood Density Survey, Report No. 2.** U.S. Forest Service. FPL-183, 1972.
18. Monge, F. **Programas para el análisis de las propiedades mecánicas de la madera.** Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica, Centro de Investigación de Ingeniería en Maderas, 1980.

19. Murillo, A. **Propiedades mecánicas del Laurel (*Cordia alliodora*) y la Caobilla (*Guarea sp.*) en condición seca.** Tesis. San Pedro de Montes de Oca: Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería Civil, 1973.
20. National Hardwood Lumber Association. **Rules for the Measurement and Inspection of Hardwood and Cypress Lumber and the National Hardwood Lumber Sales Code.** Lugar, edit, 1974.
21. Northeastern Lumber Manufacturers Association. **Standard Grading Rules for Northeastern Lumber.** Lugar, edit, 1974.
22. Petriceks, J. **Plan de ordenación del bosque de la Finca La Selva.** Tesis Mag. Sc. Tu
Tesis Mag. Sc. Turrialba: IICA, 1956.
23. Rico, J. **Estudio tecnológico de tres especies maderables del trópico americano.** Turrialba: IICA, 1974.
24. Rodríguez, J. E. **Proyecto de manejo e industrialización forestal integrada en la zona de Coto Sur (La Vaca y anexos).** San José: ITCO, 1977. (Serie estudios No. 15).
25. Rodríguez, J.E. *et al.* **Estudio para la instalación de un equipo de asierre en la Finca La Vaca (Parte informe técnico forestal).** San José: ITCO, 1977.
26. Sander, G. Huhn *et al.* **Estudio geográfico regional de la zona norte de Costa Rica, capítulo 6: "Vegetación".** San José: ITCO, 1966.
27. Santander, C.I. **Inventario forestal detallado de las Fincas Las Cruces de la Organization for Tropical Studies (OTS).** Heredia: Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Ambientales, 1978.
28. Southern Pine Inspection Bureau. **Standard Grading Rules for Southern Pine Lumber.** Lugar: Edit. 1970.
29. Truque, J.A. **Propiedades físicas y mecánicas del Laurel y la Caobilla en condición verde.** Tesis. San Pedro de Montes de Oca: Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería Civil, 1972.
30. Tuk, J. **Investigación para la sustitución de la madera de Pochote**

(Bombacopsis sp.) en la fabricación de encofrados. Turrialba: CATIE, Laboratorio de Productos Forestales, 1975.

31. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Laboratorio de Productos Forestales. **Sobre las propiedades de cuatro especies maderables de Costa Rica: Ciprés, Gavilán, Lechoso, Vainilla.**
32. Universidad Nacional. Escuela de Ciencias Ambientales. **Inventario Forestal de la Finca Pozo Azul, Sarapiquí, Heredia, C.R.** Heredia: UNA, 1978.
33. U.S. Forest Service. **Western Wood Density Survey, Report No. 1.** FPL-27, julio de 1965.
34. Western Wood Products Association. **Special Product Rules.** Lugar: Editorial, 1977.
35. Western Wood Products Association, Oregon. **Standard Grading Rules for Western Lumber.** Lugar: Editorial, 1974.

NORMAS RECOMENDADAS PARA EL DISEÑO CON MADERA ESTRUCTURAL

La madera es posiblemente uno de los materiales de construcción más profundamente investigados. Este intenso análisis se debe tal vez a su gran variabilidad, si se compara con otros materiales.

Basta con revisar los anales de centros de investigación tales como los de los Estados Unidos y Canadá: Forest Products Research Laboratory de Wisconsin y sus estaciones experimentales en todo el territorio estadounidense y en Canadá; Forintech en British Columbia; decenas de universidades de ambos países con programas definidos entre los cuales sobresalen: Oregon State, Washington State y University of Washington, University of Idaho, Mississippi State, Purdue University, State University of New York, University of Massachusetts entre otras. En Suecia: Forest Products Laboratory; en Dinamarca: Technical University of Denmark; en Alemania, las escuelas de Roseheim y Lumbeck; en Inglaterra: British Research Establishment. En Latinoamérica se perfilan tres países: el de México: Instituto de Investigaciones Forestales; en Costa Rica, el Centro de Investigación de Ingeniería en Maderas y Laboratorio de Productos Forestales, y en Brasil, el Instituto de Pesquisas de San Pablo y el Laboratorio de Productos Forestales de Brasilia.

El objetivo de este trabajo es el de entregar a los ingenieros, arquitectos y diseñadores de estructuras los medios con los cuales proyectar estructuras de madera.

Estas normas recomendadas en el diseño con madera se complementan con los capítulos 2 y 3: "Normas de clasificación de madera estructural" y "Propiedades de diseño para madera estructural", en los cuales se dan los valores mecánicos y elásticos para cinco especies que presentan grandes ven-

tajas de ser usadas estructuralmente. También se detalla el procedimiento para reducir la resistencia de piezas que contengan defectos, según sea la naturaleza, posición y magnitud de estos.

Las normas para el cálculo de estructuras de madera que se dan en este capítulo han sido probadas exhaustivamente por el American Institute of Timber Construction como procedimiento usual.

En general, una estructura de madera eficientemente proyectada y adecuadamente calculada, producirá una solución que, en el caso de grandes claros —tales como fábricas, talleres, gimnasios, etc.— ha probado ser la solución más económica usando madera de coníferas en los países nórdicos. En Costa Rica se dispone de maderas tropicales latifoliadas cuyas características mecánicas son superiores a las coníferas mencionadas.

5.1 ELEMENTOS SUJETOS A FLEXION

5.1.1 Variables

E	:	módulo elástico (kg/cm^2)
B	:	ancho sección (cm)
D	:	peralte sección (cm)
E_f	:	esfuerzo permisible en flexión (kg/cm^2) incluyendo todas las correcciones circunstanciales
F_v	:	esfuerzo permisible en cortante (kg/cm^2)
C_d	:	factor de profundidad
C_e	:	factor de esbeltez
C_k	:	esbeltez límite entre viga corta e intermedia
I	:	segundo momento de área de la sección transversal respecto al eje neutro (cm^4)
S	:	módulo de sección (cm^3)

5.1.2 Momento flector máximo

La resistencia a flexión de una pieza viene dada por:

$$F_f = \geq \frac{M D/2}{I} \quad \text{ó} \quad \frac{M}{S}$$

para sección rectangular:

$$E_f = \geq 6M / BD^2 C_d$$

Donde C_d viene dado por:

$$C_d = 0.81 (D^2 + 922) / (D^2 + 568), D \geq 30 \text{ cms}$$

Recientemente Bohannon, con base en técnicas estadísticas en vez de consideraciones mecánicas, desarrolló la siguiente ecuación:

$$C_d = (30/D)^{1/9}, D \geq 30 \text{ cms}$$

para secciones circulares:

$$F_f = \geq 32 M / (1.18) \pi (D^3 C_d)$$

El factor C_d se calcula según se describió.

5.1.3 Estabilidad lateral

1. Vigas con ancho mayor que el peralte no requieren apoyo lateral en flexión pura.
2. Vigas con la zona de compresión soportada para resistir desplazamientos laterales no requieren modificar el esfuerzo de diseño F_f en tanto que no se permita desplazamiento en la zona de compresión.
3. Para vigas cuyo peralte sea mayor que el ancho, la viga deberá estar restringida de giro en los apoyos, y el esfuerzo de diseño será limitado según se trate de viga corta, larga o intermedia.

5.1.4 Factor de esbeltez en vigas

Se define el factor de esbeltez por:

$$C_e = L_e D/B^2$$

donde:

L_e = longitud efectiva (cm)

El valor de L_e depende del sistema de cargas aplicado y de los vínculos de la viga. Se puede calcular por el Cuadro No. 1

CUADRO No. 1. Longitud efectiva en vigas.

SISTEMA DE CARGA Y APOYOS	VALOR DE L_e
Carga concentrada al centro, simplemente apoyada.	1.61 L *
Carga uniforme — distribuida simplemente apoyada	1.92 L
Momentos iguales en extremos. Simplemente apoyada.	1.84 L
Carga concentrada, en extremo libre. Voladizo.	1.69 L
Carga uniforme distribuida. Voladizo.	1.06 L
Cualquier otra condición	1.92 L

* Claro sin soportar. Para vigas con extremos fijos y el borde de compresión restringido al desplazamiento lateral en toda su longitud $L = 0$. Si los extremos están fijos pero libre el borde de compresión, $L = 0$ longitud total del claro. Si los extremos están fijos y soportada a intervalos con restricción al giro y al desplazamiento lateral, $L =$ longitud entre apoyos laterales. Si los extremos se encuentran fijos, arriostrada contra rotación pero no se restringen los desplazamientos laterales (arriostre con elementos en cruz delgados), $L =$ longitud total del claro.

5.1.5 Viga corta

Para vigas cuyo factor de esbeltez no sea mayor que 10 se podrá aplicar el esfuerzo permisible total.

5.1.6 Viga intermedia

Para vigas cuyo factor de esbeltez es mayor que 10 pero no excede el valor de C_k , donde:

$$C_k = 0.775 \sqrt{E/F_f}$$

el esfuerzo permisible en flexión se calculará según:

$$F'_f = F_f (1 - (C_s / C_k)^4 / 3)$$

5.1.7 Viga larga

En vigas cuyo factor de esbeltez es mayor a C_k pero inferior a 50.

El esfuerzo permisible en flexión se calculará según:

$$F'_f = 0.40 E / C_e^2$$

5.2 ELEMENTOS SUJETOS A COMPRESION

5.2.1 Variables

L : longitud efectiva de la columna (cm)

U : factor de rigidez que depende del tipo de vínculo de la columna. Para extremos articulados, $U = 1$. Para ambos extremos empotrados, $U = 4$

C_{ce} : factor de esbeltez para columnas

F'_c : esfuerzo de diseño permisible en columnas reducido por esbeltez (kg/cm^2)

- C_{ckr} : esbeltez límite entre columna corta e intermedia, cualquier sección
- C_{ck} : esbeltez límite entre columna corta e intermedia, sección rectangular
- F_c : esfuerzo de diseño permisible en compresión, para columna corta (kg/cm^2)
- E : módulo elástico de la madera (kg/cm^2)
- r : radio de giro de la sección transversal (cm)
- I : segundo momento de área de la sección transversal (cm^4)
- A : área de la sección transversal (cm^2)

Las columnas constructivamente se dividen en dos grupos: de sección sólida y de sección compuesta, tales como: elementos separados o de celosía.

5.2.2 Columnas sólidas

Las columnas se diseñarán de acuerdo con el esfuerzo admisible calculado para columnas: cortas, intermedias o largas según el factor de esbeltez para columnas calculado por:

$$C_{ce} = 1U/d$$

donde:

d = dimensión menor de la sección (cm)

5.2.3 Columnas cortas

Para columnas cuyo factor de esbeltez sea menor

que 11 se calculará la carga axial máxima con el esfuerzo permisible total.

$$F'_c = F_c$$

5.2.4 Columnas intermedias

Para columnas cuyo factor de esbeltez sea mayor que 11 pero inferior a C_{ck} , donde:

$$C_{ck} = 0.671 \sqrt{UE / F_c}$$

el esfuerzo permisible en compresión se calculará según:

$$F'_c = F_c (1 - (C_{ce} / C_{ck})^4 / 3)$$

5.2.5 Columnas largas

Para columnas cuyo factor de esbeltez sea mayor que C_{ck} , pero inferior a 50, el esfuerzo permisible en compresión se calculará según:

$$F'_c = 0.3 E / (C_{ce})^2$$

El factor de esbeltez máximo recomendado es:

$$\text{Max} = 50 \sqrt{U}$$

5.2.6 Columnas con sección no rectangular

$$r = \sqrt{I/A}$$

donde:

I = Segundo momento de área de la sección transversal respecto a un eje dado (cm^4)

A = Area de la sección transversal

5.2.7 Columnas cortas

Para columnas cuyo factor de esbeltez $1/r$ sea menor que 38, el esfuerzo permisible será:

$$F'_c = F_c$$

5.2.8 Columnas intermedias

Para columnas cuyo factor de esbeltez $1/r$ sea mayor que 38 pero inferior a:

$$C_{ckr} = 2.32 \sqrt{UE/F_c}$$

donde:

U = factor que depende de los vínculos de la columna en los apoyos.

El valor de esfuerzo permisible se calculará según:

$$F'_c = F_c (1 - ((1/r) / C_{ckr})^4 / 3)$$

5.2.9 Columnas largas

Para columnas cuyo factor de esbeltez sea mayor que C_{ckr} pero inferior a $173 \sqrt{U}$ el valor del esfuerzo permisible se calculará según:

$$F'_c = 3.619 UE / (1/r)^2$$

El factor de esbeltez máximo recomendable es:
 $173 \sqrt{U}$

5.3 ELEMENTOS SUJETOS A FLEXION Y COMPRESION COMBINADA

5.3.1 Variables

C_{ce} : factor de esbeltez para columnas

C_{ckr} : límite entre columna intermedia y larga

- P : carga axial en el extremo y constante a lo largo de la columna (kg)
- A : área de la sección transversal (cm²)
- F'_c : esfuerzo permisible en compresión reducido por esbeltez (kg/cm²)
- F_b : esfuerzo permisible en flexión incluyendo todas las correcciones circunstanciales (kg/cm²)
- M : momento en cualquier punto a lo largo del claro de la columna (kg-cm)
- S : módulo de sección (cm³)
- J : factor de magnificación del momento debido a la deformación elástica por flexión
- e : excentricidad de la carga axial.

5.3.2 Ecuación de interacción

La ecuación generalizada de interacción para el cálculo de carga y momento para un elemento sujeto a flexocompresión viene dada por:

$$\frac{P/A}{F'_c} + \frac{M/S + (P/A) (6 + 1.5J) (e/d)}{F_b - JP/A} \leq 1$$

J varía desde cero para columnas cortas hasta uno para largas. Para columnas intermedias varía proporcionalmente y viene dado para secciones rectangulares por:

$$J = (C_{ce} - 11) / (C_{ck} - 11)$$

Ecuaciones simplificadas según las condiciones particulares de una viga columna son:

Carga excéntrica únicamente:

$$\frac{P/A}{F'_c} + \frac{(P/A) (6 + 1.5J) (e/d)}{F_b - JP/A} \leq 1$$

Carga axial y cargas laterales equivalentes a un momento M en un punto cualquiera de la altura libre.

$$\frac{P/A}{F'_c} + \frac{M/S}{F_b - JP/A} \leq 1$$

5.4 ELEMENTOS SUJETOS A CORTANTE

5.4.1 Variables

- b : ancho (cm)
- D : peralte (cm)
- L : segundo momento de área (cm^4)
- I : claro de la viga
- V : carga cortante (kgs)
- P : carga concentrada (kgs)
- F_v : esfuerzo admisible en cortante (kg/cm^2)
- Q : momento estático del área sobre el eje neutro o bajo este (cm^3)
- W : carga uniforme y distribuida sobre la viga (kg/cm)

5.4.2 Carga cortante efectiva

El valor de la carga cortante en el apoyo para una viga simplemente apoyada se calculará según:

Para una carga uniformemente distribuida:

$$V = w (l - 2D)/2$$

Para una carga concentrada móvil:

$$V = P(l - D)/l$$

5.4.3 Esfuerzo cortante efectivo

El valor máximo de esfuerzo cortante vendrá dado por:

$$\frac{VQ}{Ib} \leq F_v$$

Para vigas de sección rectangular

$$3V / 2bdf_v \leq 1$$

Para vigas no rectangulares deberá incluirse además un factor de forma según la geometría de la sección.

LA MADERA EN MATERIALES COMPUESTOS

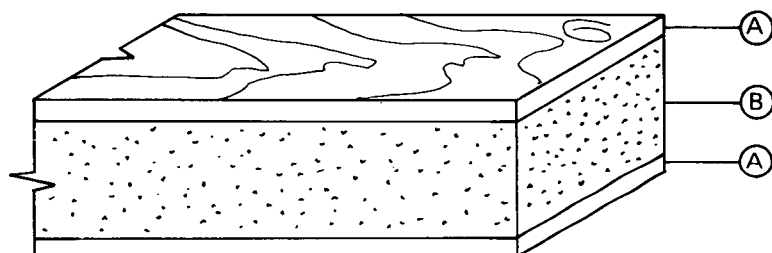
En el área de los materiales compuestos de madera se deben incluir todos aquellos productos constituidos por madera y algún material aglutinante. Dentro de esta definición están los tableros de partículas, de cemento-madera y los concretos livianos. Se consideran también materiales compuestos aquellos que se forman por combinación de madera bajo diferentes procesos de manufactura u otros materiales. Por ejemplo: tableros de tres capas en las cuales las dos exteriores corresponden a madera debobinada y el núcleo por madera aglomerada. La *Figura No. 3* muestra algunos tipos de materiales compuestos. La sección A permite el uso intensivo de bosques jóvenes. En este tipo de utilización se pueden aprovechar, con un alto rendimiento, árboles de diámetro promedio de 50-70 centímetros. Este sistema es intensivo en uso de maquinaria. La idea central en cada uno de los tableros compuestos tipo A y D es colocar un material resistente a los esfuerzos normales que se generan en esas zonas. Según la misma idea, pero adicionando rigidez a la sección, funcionan las vigas tipo B y A con un considerable espesor en la Capa B, como se presentan en la *Figura N° 3*.

En Costa Rica no se han investigado todas las maderas de uso factible en esta industria. A. Cruz (2) en 1976 realizó un estudio para medir las características de tableros aglomerados con tres tipos de madera: Ceiba, *Ceiba pentandra*; Copal, *Protium costaricensis* y Pílón, *Hieronyma alchorneoides*. Los tableros fueron realizados con prensa plana y urea-formaldehído. Los resultados fueron obtenidos para tableros constituidos por: madera de cada una de las tres especies, a dos niveles de densidad: 0.8 y 0.7 y dos niveles de contenido de resina, así como para la mezcla en iguales proporciones de

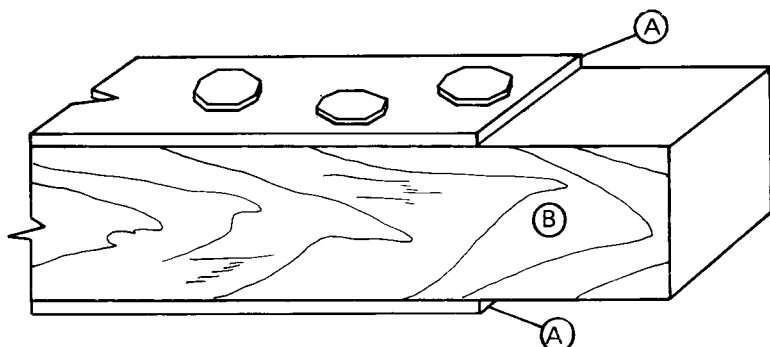
las tres especies. Las propiedades incluidas en esta investigación fueron: densidad de los tableros, flexión estática, cohesión interna, retención de tornillos y estabilidad dimensional.

El *Cuadro N° 12* resume los resultados obtenidos por Cruz (2).

Los resultados logrados no muestran gran diferencia en cuanto a resistencia mecánica notable entre especies de diferente densidad. Por ejemplo: Ceiba y Pilon, en las cuales las propiedades mecánicas de la madera difieren notablemente, véase en *Cuadro N° 2*, para Ceiba, módulo de ruptura: 484 kgs/cm² y un módulo de ruptura: 74.8×10^3 kgs/cm². Para Pilon, se encontró, a nivel de promedios, un módulo de ruptura de 802 kgs/cm² y un módulo elástico de 118×10^3 kgs/cm².

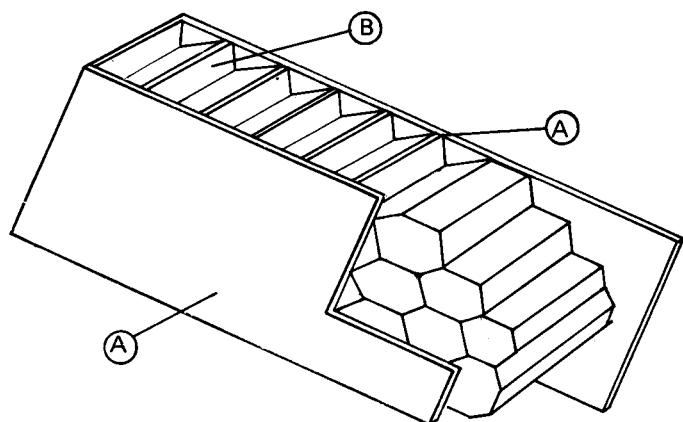


A Tableros tipo emparedado: A) Madera debobinada o en chapa. B) Núcleo de aglomerado de madera. Las capas son unidas con adhesivo compatible con ambos sustratos.

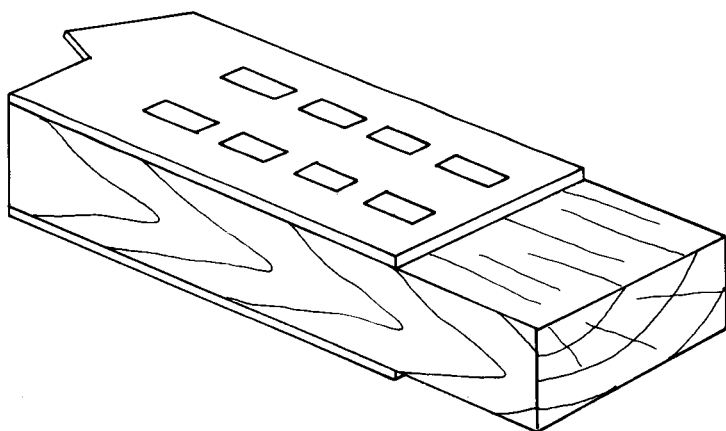


B Vigas reforzadas con platinas de acero unidas mecánicamente a un núcleo de madera sólida o laminada. También puede usarse adhesivo epóxico.

FIGURA No. 3. Ejemplos de materiales compuestos en la madera.



- D Paneles con caras de: A) Madera debobinada o asbesto, o metal con núcleo. B) Tipo panal de abeja de papel.



- C Refuerzo con platinas troqueladas; las placas son colocadas a presión o a golpe de mazo.

CUADRO No. 12. Resultado de los ensayos de tableros aglomerados con tres especies tropicales.

Especie	Contenido Resina (°/o)	Densidad (1)	MOR (KG/cm ²)	Flexión: (1) E (KG/cm ²)	Cohesión interna (2) (KG/cm ²) x 10 ³	Retención de tornillos (Kg) Borde (1) Cara (2)	Expansión de 65 °/o a 92 °/o H.R. a 20 °C. (°/o) (3)
Ceiba	6	0.61	397.0	51.6	2.46	104. 150.	0.51
Ceiba	9	0.60	343.0	53.2	1.34	127. 78.	0.35
Copal	6	0.68	452.6	60.1	9.70	129. 255.	0.31
Copal	9	0.68	538.4	72.2	21.6	215. 269.	0.34
Copal	9	0.80	584.2	81.0	23.2	270. 305	0.38
Pilón	6	0.69	257.4	44.2	2.53	92. 156	0.40
Pilón	9	0.70	328.6	45.6	6.47	89. 139	0.39
Pilón	9	0.80	474.3	66.4	13.7	151. 218	0.38
Mezcla	9	0.71	395.4	52.1	3.87	90. 147	0.36

NOTAS: (1) Promedio de seis muestras, en base a peso seco al horno y volumen a 65 °/o H.R. y 20 °C.

(2) Promedio de cuatro muestras.

(3) Promedio de dos muestras.

Concluye Cruz que, con base en los resultados obtenidos, las especies estudiadas pueden ser usadas con éxito en la fabricación de paneles de densidad media. Los valores se presentan cuantitativamente muy por encima de los valores requeridos por el estándar comercial (CS-236-66).

Aunque la estabilidad dimensional no cumple con los requisitos mínimos de la norma citada, esto era de esperarse debido a que no se usó cera como estabilizador. La cera se emplea normalmente en la fabricación de paneles aglomerados. Se recomendó no usar maderas livianas, peso específico menor que 0.40, ya que aparentemente dan mayores problemas de fabricación que las de mayor peso.

Uno de los principales inconvenientes en nuestro medio para la fabricación de tableros aglomerados de alta calidad es la resina. En efecto, los adhesivos con base de fenol-resorcinol o fenol-formaldehído son derivados del petróleo. Aunque se cuenta ya con algunas investigaciones tendientes a extraer estas resinas de la misma madera, lo cierto es que no se dispone aún de un proceso industrial, ni tampoco se conoce el potencial en especies del trópico y los datos obtenidos cubren únicamente especies de bosques templados.

La solución inmediata para la aglutinación de las partículas de madera se encuentra entonces en otro material. El cemento se fabrica y su costo es comparativamente inferior a las resinas sustituidas. Desafortunadamente el uso de paneles aglomerados con cemento es restringido. Su principal aplicación se limita a la construcción de paredes, sea de viviendas o como divisiones en edificios. El mercado para estos productos es actualmente ilimitado, a causa del déficit de vivienda que existe en Latinoamérica.

La madera, como material orgánico que es, y, debido a la variabilidad que existe en cuanto a composición química de una especie a otra, reacciona en forma diferente con el cemento, principalmente por los distintos contenidos de azúcares y hemicelulosa que se presentan entre especies y aun entre árboles de la misma especie.

La literatura al respecto está concentrada en artículos sumamente teóricos respecto a los fenómenos físico-quími-

cos de la interacción cemento-celulosa, o en artículos cuyo objetivo es vender la fábrica completa, es decir, maquinaria tipo llave en mano. No se reportan estudios en maderas tropicales.

Durante la segunda guerra mundial, en Alemania la madera se convirtió en una floreciente industria. En Dinamarca, durante esa misma época, se utilizó la pulpa de madera (base de la industria del papel) como sustituto del asbesto.

Uno de los grandes investigadores en este campo es Sanderman, quien inició el estudio de esta técnica empleando la termometría de sistemas durante la fragua.

Al respecto cabe destacar que la primera investigación con el propósito de estudiar el comportamiento de varias especies y la calidad de concreto de madera, fue la de Bonilla, L. (1). En 1977 ella estudió cinco especies: Ciprés, *Cupressus lusitanica*; Lechoso, *Brosimum utile*; Gavilán, *Pentaclethra macroloba*; Eucalipto, *Eucaliptus deglupta*; Cedro macho, *Carapa sp.*

En este estudio se emplearon dos procedimientos para medir la compatibilidad del cemento Portland tipo II con las diversas especies. El procedimiento fue de tipo mecánico y logró resultados inmediatos. Esto, sin embargo, no garantiza la permanencia de la unión. El segundo método fue el termométrico, al cual nos hemos referido. Este método consiste en medir la temperatura de mezclas de prueba aprovechando que la hidratación del cemento es una reacción exotérmica. Las mezclas son colocadas en un recipiente bien aislado de la temperatura ambiente, impidiendo que las variaciones externas afecten los resultados.

La *Figura N° 4* muestra los resultados de las curvas: temperaturas contra tiempo obtenidas para las cinco especies y para una mezcla patrón de agua-cemento. Esta fue la única prueba de observación de este fenómeno en maderas costarricenses. Dicho estudio explica los resultados obtenidos por Tuk y Rodríguez (8) cuando usaron madera de Caobilla en 1979 para hacer tableros, experimento que se detallará más adelante.

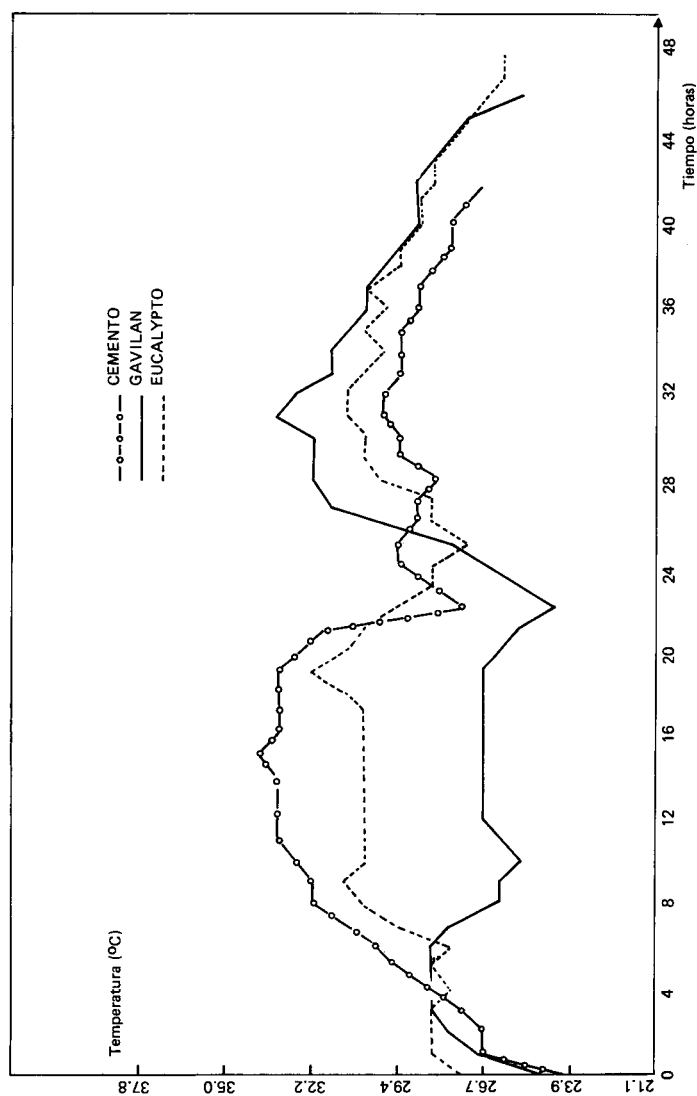
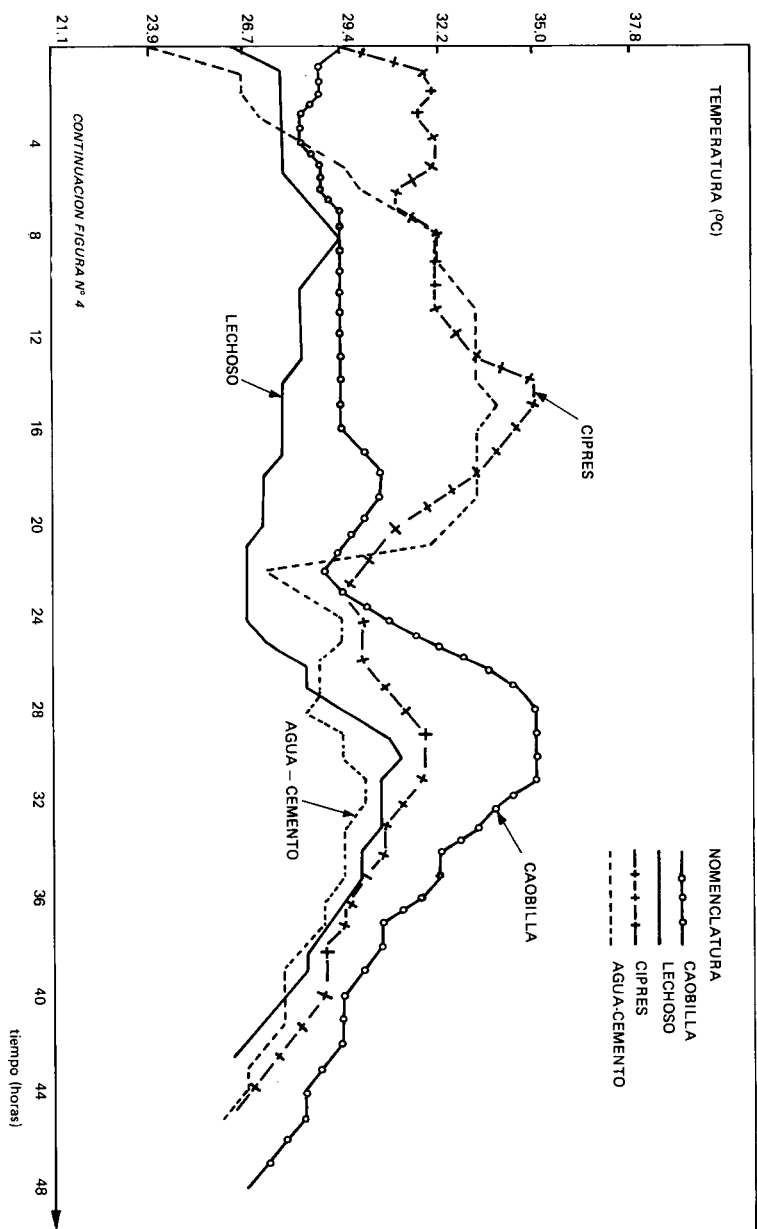


FIGURA No. 4. Temperatura contra tiempo transcurrido de reacción para varias mezclas de agua cemento con especies de madera



La composición de los paneles se detalla en el *Cuadro N° 13* en tanto por ciento del peso total de la mezcla. Se indican además algunos índices determinantes de la característica de la pasta: peso del cemento entre el peso del agua (C/A), peso del cemento entre el peso de la madera (C/M) y peso del agua entre el peso de la madera (A/M).

El aserrín empleado fue el obtenido de sierra, el cual pasa 100^o/o de la malla N° 4 y 1.5 la 200. El aserrín de eucalipto fue un poco más fino pero no muestra una diferencia significativa.

Las fibras de ambas maderas fueron producidas con una cepilladora de metal. Las medidas promedio de las fibras fueron: 30 cms por 0.8 cms de ancho y 0.04 cm de espesor.

Los paneles fueron formados a mano, colocando una capa de mezcla de cemento de 5 cms agua y agregado. Luego se prensaron hasta un esfuerzo de 2.7 kgs/cm² los paneles de aserrín. Los de fibra hasta 5.7 kgs/cm² en promedio. El espesor final fue de 3 cms. La presión se aplicó durante un minuto. La densidad de los materiales producidos se muestra en el *Cuadro N° 13*.

Las propiedades mecánicas fueron obtenidas del promedio de tres ensayos, número insuficiente para obtener proyecciones estadísticas, aunque significativo para hacer comparaciones entre algunos factores. Los resultados de flexión fueron obtenidos en condición de humedad de equilibrio con el ambiente (no se especifican más datos respecto a la humedad del panel); estos resultados se listan en el *Cuadro N° 14*.

Otros ensayos también fueron realizados: clavado, aserrado, aislante acústico y conductividad térmica.

Como ya dijimos, después del trabajo de Bonilla se realizó otra investigación sobre paneles de madera aglomerados con cemento. Este estuvo a cargo de Tuk y Rodríguez (8). Se exploró el efecto de variar la relación cemento/madera. Se usaron relaciones desde 5.63 hasta 1.44; el número de réplicas para cada combinación fue de cuatro ensayos.

CUADRO No. 13. Composición y características de paneles con tres tipos de material orgánico y 2 tipos de virutas con base en el peso.

TIPO PARTICULA	CEMENTO (o/o)	AGUA (°/o)	AGREGADO (°/o)	RELACIONES			PESO UNITARIO (grs/cm ³)	FLEXION (1)	
				C/A	C/M	A/M		MOR (Kg/cm ²)	E $\times 10^3$ Kg/cm ²
Aserrín Ciprés	50.0	34.7	15.3	1.44	3.26	2.26	1.00	21.8	2.38
Aserrín Eucalypto	50.0	35.4	14.2	1.39	3.53	2.52	1.13	26.8	4.81
Fibras Ciprés	65.3	27.2	7.6	2.39	8.71	3.59	1.42	30.1	1.36
Fibras Eucalypto	66.2	25.8	7.9	2.56	8.36	3.26	1.58	48.1	4.59
Bagazo caña	50.0	36.7	13.3	1.36	3.75	2.75	1.01	29.3	1.39
Arena	25.6	18.8	56.0	1.34	0.45	.744	2.03	43.7	7.37

(1) Promedio de tres ensayos.
Tomado de Bonilla, L. (1)

La fuente de partículas fue la cepilladora y la canteadora. Este tipo de partículas son de mayor tamaño que las usadas por Bonilla, y dan un producto más resistente, aunque de textura más gruesa. Debe observarse también que las mezclas usadas en este estudio fueron mucho más secas que las del estudio precedente, como se puede comprobar si se examinan los índices agua/madera. La resistencia máxima a la flexión también mejoró al emplearse estas mezclas más secas con partículas más grandes.

Las partículas se obtuvieron en cepilladora y canteadora con una profundidad de corte de 2 milímetros y con una velocidad de las cuchillas de corte de 5500 revoluciones/minuto. La velocidad de alimentación promedio fue de 12 metros/minuto. El aserrín que pasaba la malla 80 fue eliminado con el objeto de excluir todos los finos presentes. Las partículas finas presentan una superficie específica muy alta que absorbe las partículas de cemento.

Los ensayos se realizaron a 14 y 28 días acondicionados al aire sin ningún sistema especial.

Los resultados de composición y resistencia se muestran en el *Cuadro N° 14*. Se obtuvieron correlaciones entre la densidad y el módulo elástico con un coeficiente de correlación $r = .92$ que es excelente. La ecuación de predicción fue:

$$\text{Módulo elástico} = 3326.2 * \text{Densidad} - 3120.9$$

Donde el módulo elástico viene en kgs/cm^2 y la densidad debe estar en toneladas/ m^3 .

Al cabo de 6 meses de haber sido fabricados, estos tableros mantienen su integridad. No se han rajado ni presentan daño alguno.

CUADRO No. 14. Composición y características de paneles de ciprés.

GRUPO	CEMEN- TO (%)	AGUA (%)	MADE- RA (%)	CAL (%)	RELACIONES			PESO UNITA- RIO	FLEXION (KG/cm ²)			
					C/A	C/M	A/M		MOR 14d	MOR 28 d	E 14 d	E 28 d x1000
1	61.23	24.70	10.88	3.18	2.48	5.63	2.27	1.32	48.5	54.7	1.19	1.53
2	59.84	22.90	12.21	5.03	2.61	2.61	1.88	1.37	39.5	47.2	1.69	1.77
3	62.18	22.61	12.06	3.13	2.75	2.75	1.87	1.33	50.8	35.3	1.19	1.42
4	61.23	24.70	10.88	3.18	2.47	2.48	2.27	1.33	41.8	40.0	1.19	1.17
5	64.07	22.87	10.09	2.95	2.80	2.80	2.27	1.43	44.0	52.4	1.32	1.48
6	56.02	28.00	12.35	3.62	2.00	2.00	2.27	1.25	54.7	44.3	1.02	1.14
7	49.98	31.48	12.57	5.95	1.58	1.59	2.50	1.18	26.2	24.8	0.58	.52
8	49.90	34.68	10.43	4.95	1.43	1.44	3.32	1.09	20.5	27.5	0.42	.62

ELEMENTOS ESTRUCTURALES COMPUESTOS DE MADERA

Bajo esta denominación se incluyen secciones compuestas por madera bajo diferentes formas o combinada con otros materiales, con el objeto de disponer la madera de manera que funcione del modo más eficaz posible. Esto se debe a que es un material ortotrópico, es decir, con propiedades direccionales. Algunos productos de la madera presentan baja resistencia bajo ciertos esfuerzos y alta bajo condiciones de carga diferentes. Por ejemplo: el contrachapeado tiene un módulo elástico en cortante alto, pero baja resistencia a la tensión. El aglomerado presenta esfuerzos de resistencia al cortante mayores en comparación con su resistencia a la tensión.

Finalmente, existen razones económicas para utilizar el material según sean los recursos disponibles en cada caso particular de costo de materiales contra costo en mano de obra.

Las vigas cajón o H son elementos estructurales muy livianos y rígidos. Las alas están compuestas por madera sólida o laminada, marcados como elementos A en la *Figura No. 5*. Esta es la mejor forma de disponer el grano de la madera para resistir los esfuerzos normales generados por un momento flector. Las almas, que son los elementos señalados con B, pueden ser de madera contrachapeada, aglomerada o tabli-lla en diagonal.

Dos trabajos de investigación sobre este tipo de vigas se han realizado. En 1974 Fernández, C. (3) diseñó y probó cuatro vigas tipo cajón. Estaban construidas con alas de madera de Laurel y almas de contrachapeado. La *Figura N° 6* muestra el tipo, dimensiones y juntas empleadas en la fabricación de las vigas modelo. También se muestra el tipo de arriostre para poder llevar a carga máxima estas vigas.

Las fallas reportadas indican que tres de las vigas no die-

ron resultado debido a sobrecarga del adhesivo que unía el alma con el ala, en el contrachapeado. Una viga falló por carga normal en el ala sometida a tensión.

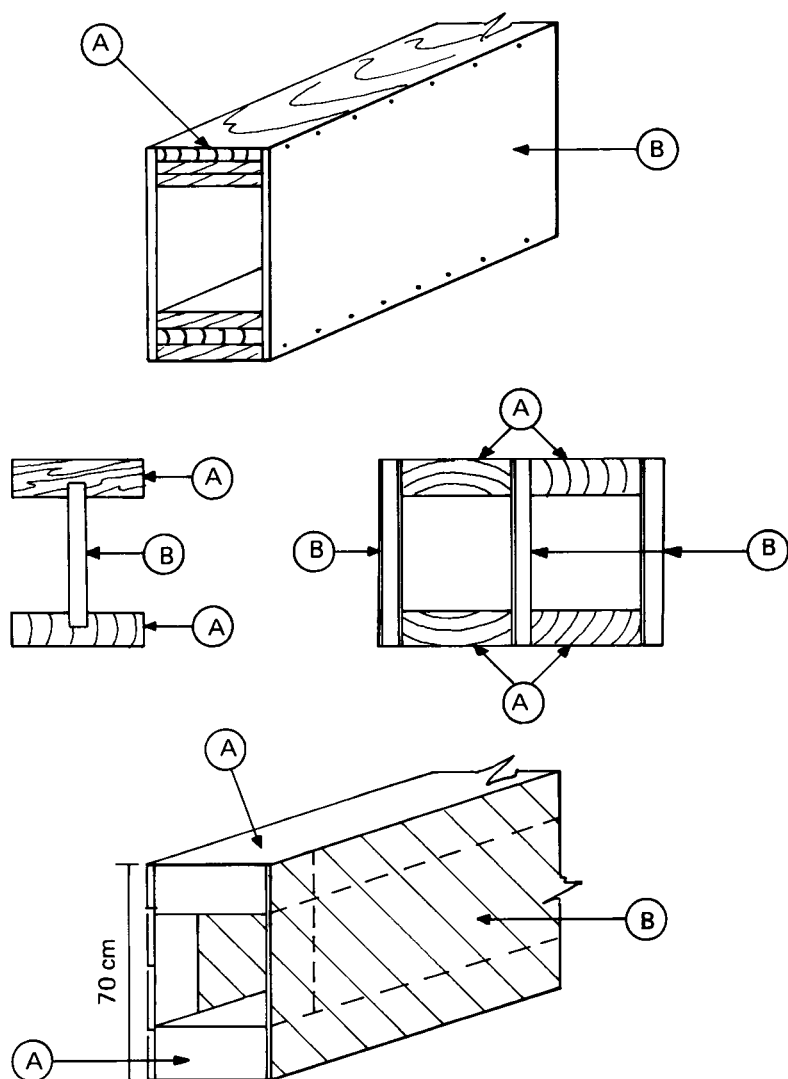


FIGURA No. 5. Vigas cajón y H que muestran la disposición de los elementos estructurales.

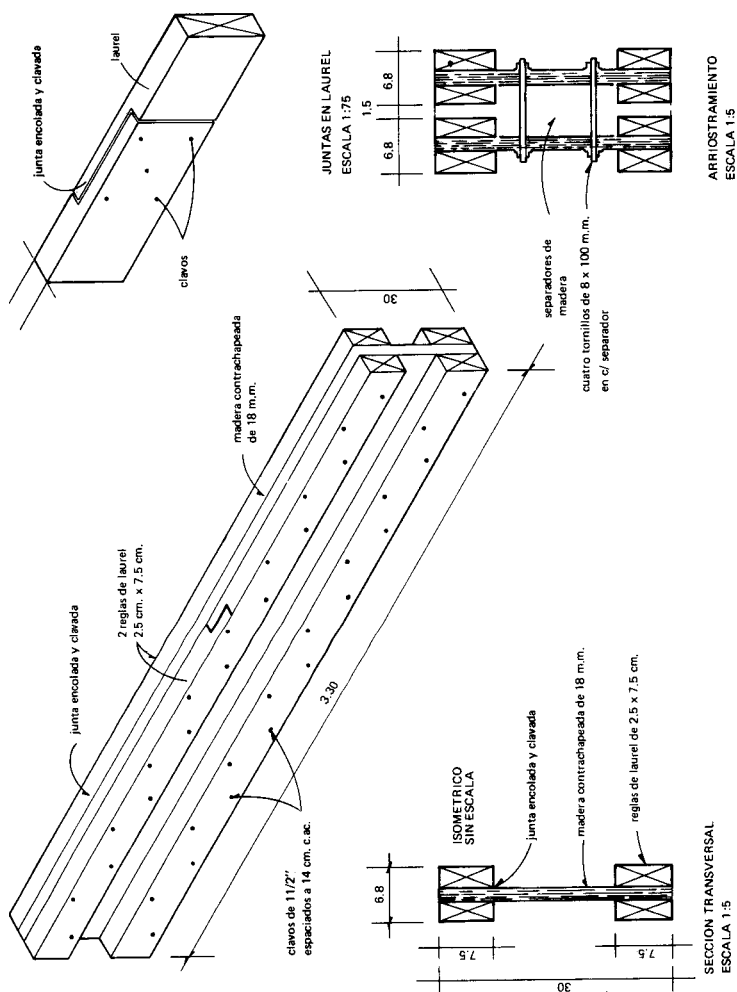


FIGURA No. 6. Características de las vigas H y arriostre para el ensayo de flexión empleadas por Fernández.

Las juntas fueron realizadas aplicando la presión por medio de clavos. Se usó un promedio de 210 clavos de 3.8 cms por cada metro cuadrado en el área de unión. La resina usada fue polivinil-acetato emulsionado, conocido como cola blanca.

Los valores empleados en el diseño de estas vigas fueron esfuerzos básicos de Laurel.

Las juntas clavadas y encoladas que fueron probadas por separado presentaron una resistencia promedio de 45 kgs/cm². El resultado que dieron estos ensayos, al nivel de carga máxima, se listan en el *Cuadro N° 15*.

El contrachapeado fue ensayado en forma separada del lote que se iba a usar en la fabricación de las vigas. Presentó un esfuerzo máximo en cortante a través del espesor de 81 kgs/cm². Se observó una gran variabilidad. Desde un mínimo de 58 hasta 101 kgs/cm² como máximo. El contrachapeado no era de tipo estructural.

Es interesante observar que el esfuerzo presentado por la madera de Laurel en estos ensayos estaba por encima del valor de diseño obtenido posteriormente. El valor para diseño, recomendado para Laurel en el *Cuadro N° 10*, es de 71.6 kgs/cm² para la tensión paralela al grano. Esto implica que, de haberse proyectado estas vigas con los valores recomendados para el grado selecto de Laurel, esta madera habría tenido un factor extra de capacidad de 2.74 para el primer ensayo. El segundo habría ofrecido un valor de 2.86. Ambos factores se obtuvieron dividiendo el esfuerzo máximo de Laurel bajo la acción de la carga máxima (196 y 205) entre el valor de diseño en tensión (71.6). La rigidez del conjunto no se reportó en este trabajo. Sin embargo, la razón claro/deflexión a la carga de falla fue de 55 para el ensayo No. 1 y 73 para el No. 2. Con base en gráficos de carga-deflexión incluidos en este estudio, puede obtenerse la razón claro/deflexión para otros niveles de carga. Por ejemplo: para una carga viva de 300 kgs/m² y una carga muerta de 275 kgs/m² y vigas separadas a un metro, presentaría una deflexión de 1 cm, con lo cual la relación sería 330.

CUADRO No. 15. Resultados obtenidos del ensayo de cuatro vigas H de madera.

VALOR MECANICO CORRESPONDIENTE	ENSAYO No. 1	ENSAYO No. 2
	VIGA 1 Y 2	VIGA 3 Y 4
Carga total por viga (Kgs)	3500	3650
Momento máximo (Kgs/m)	1750	1825
Cortante máximo (Kgs)	1750	1825
Esfuerzo máximo en el Laurel (Kgs/cm ²)	196	205
Esfuerzo cortante en junta encolada clavada (Kg/cm ²)	12.4	13.0
Esfuerzo cortante máximo a través del espesor en madera contrachapeada (Kg/cm ²)	42.0	44.0
Flecha máxima (cms)	6.0	4.5

Tomado de Fernández, C. (3), con permiso del autor.

El autor ha empleado este sistema en la construcción de entrepisos en edificios de oficinas, logrando claros de 5.10 metros con separación entre vigas de 0.90 metros. Las vigas construidas e instaladas tienen alas de madera de Pilón y las almas de contrachapeado del tipo conocido como marino, es decir, de pino y resina de formaldehído o fenólica. Estos entrepisos resultaron ser más económicos debido al ahorro en la estructura principal, como consecuencia de la reducción en carga muerta. La vibración del piso es nula; se proveyeron arriostres al centro del claro (2.50 m) y el resto del amarre lo suplió el entramado del cielo. La separación entre vigas cajón está limitada únicamente por el tipo de tabloncillo de 37 mm de espesor. La presión de encolado se aplicó con clavos de 5 cms de longitud espaciados y alternados a 10 cms de separación aproximadamente.

Otro estudio realizado en el campo de las vigas compuestas estuvo a cargo de Picado, F. (4) quien, en 1979, investigó

el comportamiento de vigas construidas con madera de Caobilla y aglomerado. Los valores de diseño concordaron con los valores experimentales obtenidos. En este estudio se ensayaron dos tipos de viga: H y cajón. Las vigas H fueron reforzadas en el alma contra cortante en las zonas próximas a los apoyos, elementos marcados con *c* en la *Figura N° 6*. Estos bloques de madera llenan la misma función que los aros que se usan en las vigas de concreto armado. La *Figura N° 7* muestra los detalles de las vigas H; la *Figura N° 8* las dimensiones y detalles de las vigas tipo cajón empleadas en el estudio.

El claro usado en la flexión de las vigas experimentales fue de 200 centímetros. En este estudio se tomó en cuenta la variación del módulo elástico entre el aglomerado y la madera, por lo cual las secciones se transformaron en aglomerado para su análisis. Se hicieron 3 ensayos para cada tipo. Las vigas fueron probadas aplicando las cargas concentradas a puntos tercios del claro. Los resultados obtenidos se listan en el *Cuadro N° 16*. La carga máxima reportada corresponde a la resultante total.

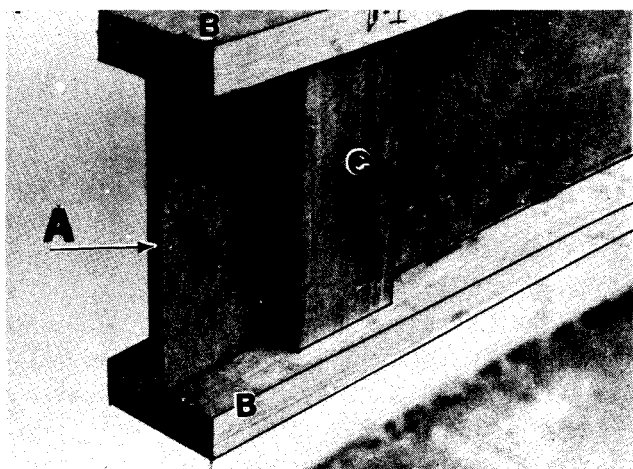


FIGURA No. 7. Fotografía del extremo de una viga tipo H. Construida con alas de madera de caobilla. Alma de aglomerado reforzada la unión ala-alma se hizo ranurando las alas, no se usaron clavos en esta unión, el adhesivo fue urea formaldehído.

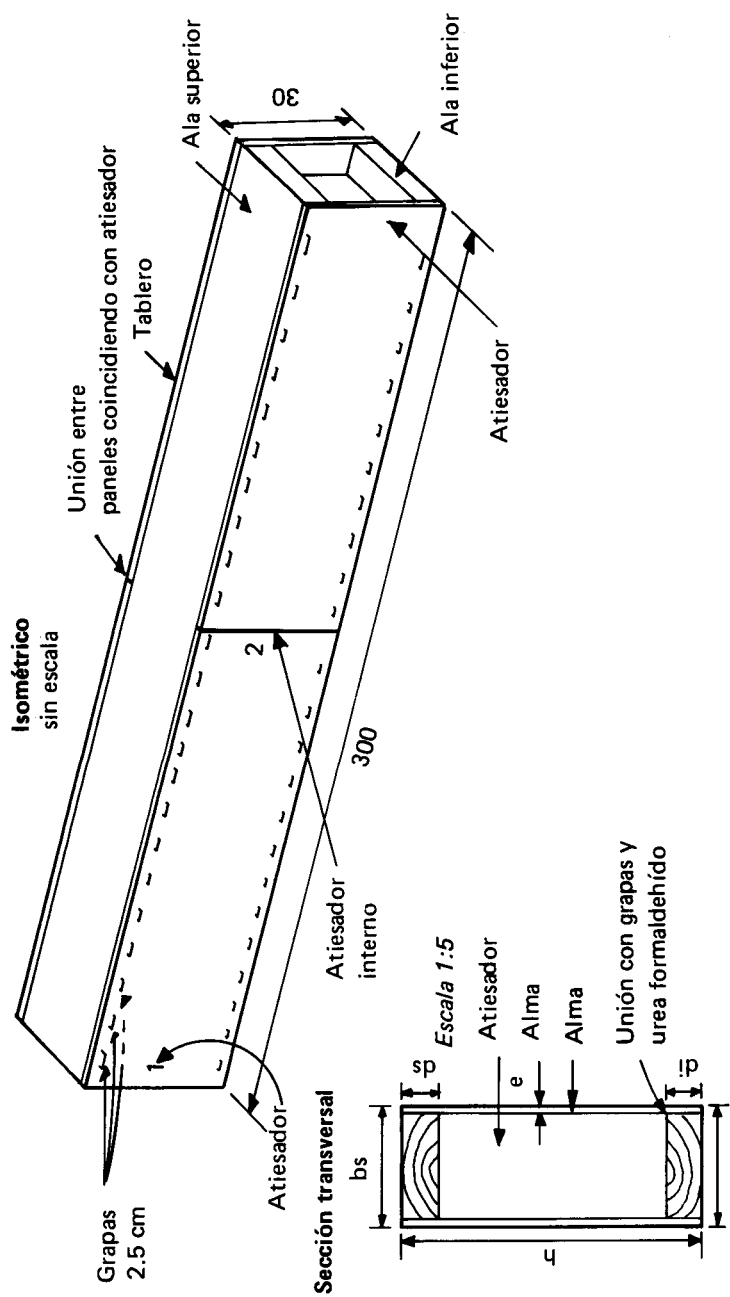


FIGURA No. 8. Detalle de las vigas cajón construidas con madera aglomerada y sólida ensarpadas a flexión por Picado F.

Las fallas fueron cuidadosamente revisadas. Se apunta como principal responsable de la falla temprana en las vigas I1, C3, la unión entre el ala y el alma, debido a deficiencias de fabricación.

El nivel máximo de carga a que llegó la viga está gobernado por falla o cortante en el alma. El esfuerzo máximo promedio que resiste el aglomerado en pruebas separadas fue de 139 kgs/cm². El esfuerzo promedio máximo para juntas encoladas de madera de Caobilla y aglomerado fue de 34 kgs/cm². La desviación estándar para estos ensayos de juntas encoladas fue 5.02, con un nivel de porcentaje de falla en la madera de 100 0/o. Ensayos de tensión paralela al lote de madera, antes de fabricar las vigas, evidenciaron una resistencia máxima de 672 kgs/cm², con una desviación estándar de 63.0 kgs/cm².

La relación claro/deflexión a carga máxima fue de 127 en promedio para las vigas H. Para las vigas cajón fue de 84 a niveles de carga mucho mayor, como se aprecia en el *Cuadro N° 16*.

La relación de resistencia calculada menos la resistencia experimental dividida entre la experimental, muestra que el diseño de estas vigas es bastante aproximado y dentro del rango de la seguridad.

CUADRO No. 16. Resultados experimentales del ensayo de vigas H y cajón de madera de caobilla y aglomerado.

TIPO VIGA	CARGA MAXIMA (KGS)	DEFLEXION (CM)	ESFUERZO MA-DERA (KG/cm ²)	ESFUERZO CORTANTE ALMA-ALA (KG/cm ²)	MAXIMO AGLOMERADO (KG/cm ²)	DRC/RE ⁽¹⁾ (0/o)
I 1	1298	0.62	111.	13.4	103.	-31
I 2	2752	1.01	237.	27.7	215.	+35
I 3	2216	0.73	194.	23.5	181.	+24.
C 1	4038	1.62	247	1.86	225.	+39.
C 2	3513	1.21	213	1.61	196.	+30.
C 3	2300	0.73	138	1.00	126.	-9.2

(1) Diferencia entre la resistencia calculada y resistencia experimental. La resistencia, fue calculada para falla por cortante en el alma.

El uso de la madera como material estructural conduce tarde o temprano a enfrentar otro dilema: las uniones entre piezas para conformar la estructura. Son excepciones las grandes vigas o las piezas de madera masiva como las usadas en los puentes rústicos de penetración.

El sistema de unión más corriente en nuestro medio es el clavo, adecuado para unir reglas pequeñas y con cargas mínimas, casi insignificantes. La estructura de madera más frecuente es la cercha. Muy ineficiente y con un alto consumo de madera, las cerchas residenciales son elementos con cargas muy bajas (no mayor de los 100 kgs en nudos) ya que generalmente cuentan con apoyos intermedios y la separación entre cerchas no excede el metro.

Después de los clavos, los conectores para efectuar las uniones más comunes en orden de capacidad de carga son los tornillos auto-roscantes, los pernos, las placas dentadas y los anillos partidos. También las grapas colocadas con martillo neumático han resultado muy efectivas. La *Figura N° 9* ilustra los sistemas de conexión enumerados. En algunas uniones especiales, tales como en el caso de armaduras en las cuales converjan barras o perfiles de acero y piezas de madera, se emplean placas de cortante y, entre barras de madera, únicamente se usan los anillos partidos en adición de los pernos, en cuyo caso los pernos no tomarán carga, llevándose la los anillos o las placas de cortante únicamente. La *Figura N° 9* muestra placas de corte (H1), de 6.7 cms de diámetro para cargas intermedias. Por ejemplo: con madera densa de 5 cms de espesor, placas en ambas caras y carga paralela al grano, puede usarse un valor de 1490 kgs/placa para diseño. Para las placas de corte de 10 centímetros, es posible traspasar cargas mayores con seguridad.

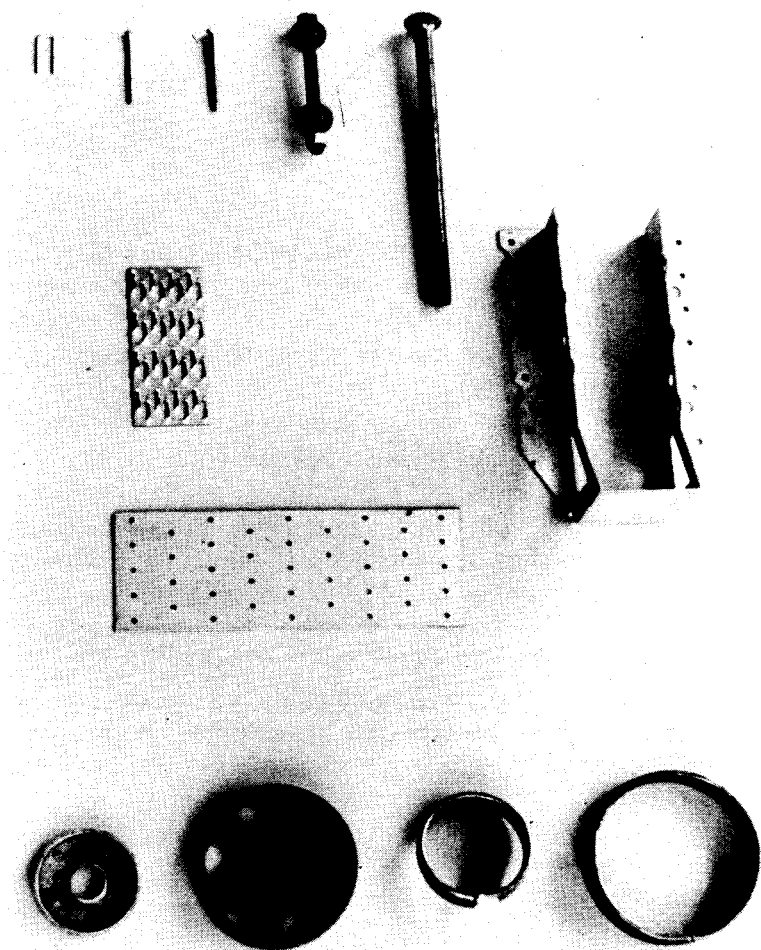


FIGURA N° 9. Algunos sistemas de conexión: A Grapas, B Clavos, C Tornillo autorroscante, F Placa perforada, G Soporte de viga, H1 Placa de cortante, H2 Placa de 10 cms de cortante de servicio pesado. I1 Anillos partidos de servicios livianos 5 cms, I2 Anillo partido servicio pesado 10 cms.

Para las condiciones anteriores, pero con madera de 7.5 centímetros de espesor, la capacidad por placa es de 21.77 kgs. Este dato está basado en cálculos desarrollados para especies norteamericanas.

Tres estudios se han realizado para establecer cargas de diseño con conectores metálicos.

En 1975, Tuk (7) realizó un trabajo con el objeto de establecer los valores de diseño para juntas con anillos partidos de 5 y 10 centímetros de diámetro, con madera de Lechoso, *Brosimum utile*. La madera usada en los ensayos fue de 3.8 por 15.0 cms para probar los anillos de 10 cms de diámetro con pernos de 1.9 cms de diámetro.

Los anillos de 5 cms se probaron con piezas de 2.5 por 10 centímetros y pernos de 1.25 centímetros de diámetro. El valor referido anteriormente para un anillo de 5 cms de diámetro (1490 kgs) sería excesivo para la madera de Lechoso ya que el valor de diseño en las mismas condiciones sería de 1110 kgs, como se muestra en *Cuadro No. 17*.

El valor de resistencia al desplazamiento lateral de clavos observado al límite proporcional es sumamente aproximado al valor calculado con la ecuación de predicción. Sustituyendo los valores de: $G = 0.410$, $d = 0.338$, el valor estimado de P será de 61 kgs. La resistencia experimental observada fue de 55.2 kgs. El error es de un 10 por ciento, lo cual es excelente en este tipo de cálculos.

La selección y distribución de los conectores es un problema difícil que requiere de experiencia. Un proyecto puede ser afectado económicamente en gran medida por detalles de uniones.

En los países industrializados el desarrollo de tipos de uniones más eficientes ha llevado a un mejor uso de la madera como material estructural.

El fin de un conector es distribuir, sobre la mayor área posible, las cargas que se van a transferir de un miembro a otro. La aplicación de cada conector depende de cada problema específico, pero en términos generales puede dividirse de acuerdo con el tipo de estructura. En aquellas de tipo liviano se utilizan clavos, pernos y tornillos. Puede ser ventajoso utilizar adhesivo junto con estos conectores.

CUADRO No. 17. Capacidad de carga para diseño de uniones en madera de lechoso⁽¹⁾ en condición verde y seca.

TIPO	CARACTERISTICAS	DIRECCION DE LA CARGA PARALELA		DIRECCION DE LA CARGA PERPENDICULAR	
		Capacidad máxima	Capacidad de diseño	Capacidad máxima	Capacidad de di- seño
Extracción de clavos	Clavos de 4 cm de lon- gitud y 0.28 cm de diá- metro. Penetración mínima en el miembro principal 1.90 cm.			27 kg/cm	4.5 kg/cm
Desplazamiento lateral de clavos	Clavos de 6.13 cm de longitud en cortante simple; penetración de 3.7 cm en el miembro principal	25 kg	15.6 kg	47 kg/cm (11.9)	8 kg/cm (11.9)
Anillos de 10 cm de diámetro	Pernos de 1.9 cm de diámetro, hueco 2.2 cm. Sección mínima de la madera en piezas late- rales 14 x 3.8 cm. Condición en doble cor- tante.	9600 kg	2400 kg	7393 kg	1850 kg
Anillos de 5 cm de diámetro	Pernos de 1.26 cm de diámetro, con hueco de 1.58 cm. Sección mínima de la madera: 10 x 2.5 cm en piezas laterales. Con- dición en doble cortante.	11640 kg (22)	2910 kg (22)	7667 kg (21)	1916 kg (21)
		4172 kg	1043 kg		
		4428 kg (15.3)	1110 kg (15.3)		

(1) Los valores en las casillas se interpretan así: el superior a la condición verde y el inferior a la condición de humedad cuyo porcentaje se indica en los paréntesis.

(*) Al límite proporcional. Aproximadamente 0.25 cms. de desplazamiento.

En estructuras pesadas o sujetas a cargas cíclicas se prefiere usar anillos partidos, placas de cortante, placas dentadas y placas metálicas.

Las uniones con clavos deben ser diseñadas con base en la resistencia que ofrece el clavo al desplazamiento lateral y la resistencia a la extracción.

Existen algunos trabajos realizados por Wilkinson, T. (9), (10), que dan un tratamiento teórico al problema de calcular la resistencia al desplazamiento lateral. El problema se enfoca comparándolo con el análisis de una viga sobre fundación elástica. Esta resistencia al desplazamiento puede estimarse, cuando no se disponga de tal valor, por:

$$P = 857.3 \delta G^{0.75} d^{1.75} E^{0.25}$$

donde:

P: carga de resistencia lateral por clavo (kgs)

δ : desplazamiento relativo entre los miembros a los cuales ocurre la carga P. Normalmente 0.025 cms

G: peso específico de la madera, basado en el peso seco y volumen al contenido de humedad a que estará en servicio, sin dimensiones

d: diámetro del clavo (cm)

E: módulo de elasticidad del clavo (2×10^2 kg/cm²)

El valor de resistencia es independiente de la dirección del grano.

Las uniones con pernos constituyeron durante muchos años el único método disponible para efectuar uniones con madera. El número de pernos aumenta según la carga que se debe transmitir, pero cuanto mayor sea la cantidad de pernos menor será el área efectiva, reduciendo la capacidad de carga de los elementos unidos.

El empleo de anillos partidos requiere de secciones con un ancho y peralte mínimos. Por ejemplo: en el caso de anillos de 6.3 cms de diámetro, la sección mínima recomendable es de 9 por 3.8 centímetros. Para anillos de 10 cms de diámetro, la sección mínima con anillos en ambas caras es de 14 por 3.8 centímetros. La separación mínima entre conectores también es importante para asegurar la resistencia de diseño. El lector podrá encontrar esta información en gráficos y cuadros desarrollados para cubrir todos los casos posibles en el capítulo 5 del libro *Timber Construction Manual*, preparado por el American Institute of Timber Construction y editado por J. Wiley e Hijos.

En julio de 1977 se publicó el informe correspondiente al trabajo de Ramírez, A. (5). En él se presenta la resistencia de uniones con madera de Tempisque, *Masticodendron capiri*, y Níspero, *Manilkara achra*. Los conectores fueron anillos de 5.0 y 10.0 cms de diámetro nominal, pernos de 1.25 y 1.90 cms de diámetro. Basándose en los valores obtenidos, se derivaron capacidades para diseño con cada uno de los conectores estudiados.

Ramírez determinó que el desplazamiento relativo entre los elementos unidos sometidos a carga de diseño es inferior a los 2 milímetros. También señala un comportamiento de tipo elastoplástico con un alto grado de ductilidad en este tipo de uniones.

Los valores fueron obtenidos en condición verde, es decir, para un contenido de humedad mayor que 30 %. Estos valores se resumen en el *Cuadro No. 18*.

Otro sistema de unión fue investigado por Tuk (6) para uniones estructurales livianas; este sistema es económico y de gran rigidez en lo que respecta a los nudos donde concurren las barras unidas por este medio. El sistema consiste en transferir las cargas mediante placas de madera contrachapeada de una barra a otra. Las placas se sujetan mediante grapas colocadas con pistola neumática. La *Figura N° 10* muestra una unión típica. Debido a que el tamaño de las placas es pequeño, se permite usar residuos del contrachapeado de otros procesos de fabricación.

**CUADRO No. 18. Capacidad de carga para diseño en madera de tem
pisque y níspero en condición verde⁽¹⁾.**

CLASE DE UNION	ESPECIE	CARGA MAXIMA Y DIRECCION DE APLICACION DE CARGA	
		Paralela	Perpendicular
Anillo de 10 cms de diámetro nominal	Tempisque	332 (21392)	2155 (13833)
Anillo de 5 cms de diámetro nominal		(1470) 9438	917 (5883)
Perno de 12.5 mm de diámetro nominal		858 (5508)	787 (5050)
Perno de 19.0 mm de diámetro nominal		1694 (10875)	1499 (9625)
Anillo de 10 cms de diámetro nominal	Níspero	3569 (22910)	1949 (12510)
Anillo de 5 cms de diámetro nominal		1494 (9590)	870 (5585)
Perno de 12.5 mm de diámetro nominal		863 (5540)	792 (5085)
Perno de 19.0 mm de diámetro nominal		1773 (10100)	1405 (9020)

(1) Los valores en paréntesis corresponden a la resistencia máxima promedio.

Los ensayos fueron realizados empleando contrachapeado de 12.5 milímetros de espesor sujeto con grapas de 2.5 centímetros de longitud. La madera empleada fue Pilón a 19 0/o de contenido de humedad. Se encontró que la capacidad última por grapa varía significativamente, según la posición de la abertura respecto al grano de la madera.

La capacidad última en promedio fue de 36.5 kilogramos/grapa, para grapa paralela al grano y 40.3 kilogramos/grapa si se colocan perpendicularmente.

Valores de diseño derivados con base en estas resistencias observadas para las direcciones paralela y perpendicular, respectivamente, son: 5.8 y 6.3 kilogramos/grapa.

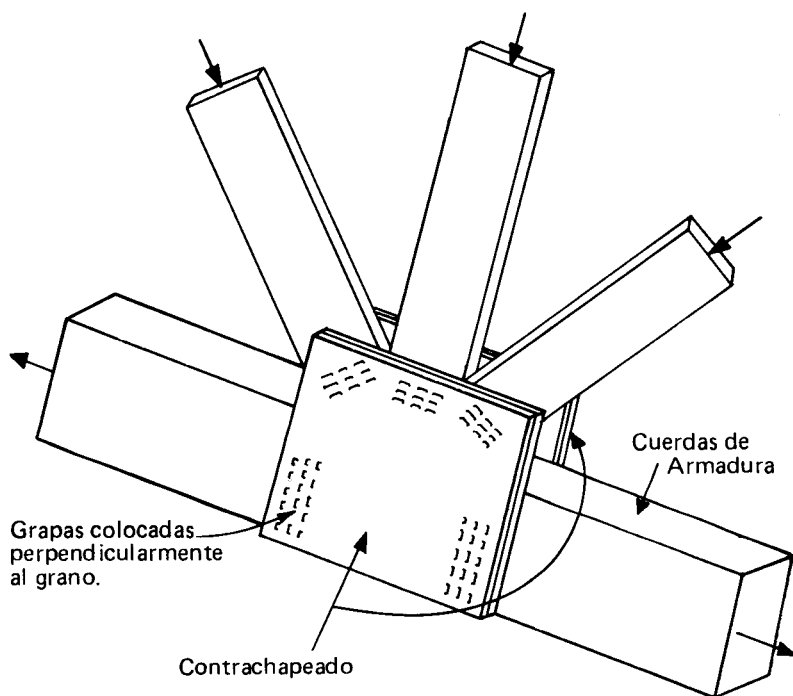


FIGURA No. 10. Unión en un nudo de una armadura; se emplean contrachapeado y grapas colocadas con pistola neumática.

CONCLUSIONES

Las especies maderables que crecen mezcladas en los bosques tropicales presentan dificultad de procesamiento. Estas dificultades provienen de la heterogeneidad que le imposibilita a un productor ofrecer cualquier cantidad de una especie determinada.

En un futuro próximo, al adicionarse nuevas especies a las ya investigadas, se podrán ofrecer valores de diseño aplicables a grupos específicos de maderas. Los esfuerzos de diseño de mezclas de especies se hacen empleando técnicas estadísticas especiales para dicho propósito.

Con respecto a las normas, debe observarse que estas son sencillas. Por ejemplo, no existe variación del tamaño máximo de nudos centrales a lo largo de la viga. Un perfeccionamiento adicional mayor de la norma permite aumentar el diámetro promedio según nos alejemos del centro de la viga. Esto es posible si se tiene certeza de que la pieza de madera será usada como viga simplemente apoyada, para la cual la zona de máximo momento ocurre al centro del claro.

El lector encontrará valiosa la información de las propiedades básicas de las demás especies, desarrolladas por los investigadores costarricenses, que le permiten hacer evaluaciones de la calidad mecánica de maderas para las que aún no se han desarrollado esfuerzos de diseño.

Debe observarse que estas normas se han obtenido independientemente de la calidad mecánica de las especies. Las normas reducen el esfuerzo básico que es la cualidad que varía de una especie a otra.

La utilización de la madera en estructuras de gran tamaño ha comenzado en Costa Rica; así, una bodega de 40 metros de claro con arcos triarticulados tipo A con madera la-

minada encolada, separados a 6 metros, resultó ser más económica que la opción en perfiles de acero. Una ventaja que presenta la mayor parte de estructuras pesadas de madera, en comparación con las de concreto y acero, es la menor carga muerta que se trasmite a las fundaciones. La reducción del área de apoyo de placas y las vigas de amarre constituye una economía directa importante.

El problema de la sismicidad es de reconocida importancia en nuestro país. La madera presenta una característica de resistencia única. Para cargas de impacto, es decir, con duración de pocos segundos, exhibe aumentos de resistencia de hasta 33 % mayor que los valores de diseño presentados en el *Cuadro N° 10*. De nuevo, una estructura calculada de tal manera que incluya esta propiedad, reduce considerablemente los costos de la subestructura.

En este estudio se presentó una secuencia lógica del proceso de utilización de la madera. El primer paso fue el aserrado y clasificación de la madera en tres categorías de resistencia-elasticidad. Para cada categoría o grado se definieron las normas que permiten de manera inequívoca la segregación de los grupos estructurales y las dimensiones con las que deberá ser producida la madera.

El segundo paso de esta secuencia lo integran las ecuaciones para el diseño de miembros estructurales de madera, una vez que esta haya sido clasificada. Las fórmulas que se presentan se basan en las ecuaciones corrientes de la resistencia de materiales. Sin embargo, el análisis de estabilidad de los elementos se debe hacer de forma más rigurosa en las estructuras construidas con madera.

Un tercer paso, más elaborado, lo constituyen los materiales que usan la madera como materia prima para fabricar nuevos productos. En esta etapa del estudio se enumeraron los productos que fueron investigados y las propiedades mecánicas asociadas con ellos.

Finalmente, se presentaron resultados del análisis de sistemas estructurales completos de mediana complejidad. Dichas investigaciones comprobaron la capacidad de predicción de las ecuaciones de diseño al ser probadas las estructuras en ensayos destructivos.

Las uniones de miembros estructurales de estados tensionales extremos que han sido probados experimentalmente, completan la información necesaria para proyectar o analizar de manera confiable un sistema estructural.

Los capítulos en conjunto constituyen una unidad indispensable para resolver la falta de uso estructural que tiene la madera en nuestro medio.

La utilización intensiva más técnica de la madera redundará en una importante economía de divisas, un aumento en la demanda de mano de obra en todos los niveles —agrícola e industrial, calificada y no calificada— y una rotación del capital más rápida.

Es evidente que la producción de bienes con mayor valor agregado estimulará en forma positiva la industria forestal, fomentando de esta manera el aumento de áreas boscosas con fines industriales. Las especies que fueron seleccionadas se prestan para ser plantadas industrialmente: Laurel, Jaúl, Gavilán, o para ser manejadas en bosques naturales de trópico muy húmedo: Pílon, Gavilán, Botarramas.

LITERATURA CITADA EN LOS CAPITULOS 6, 7 Y 8.

1. Bonilla, L. **Hormigones livianos no estructurales**. Informe de proyecto final. San Pedro de Montes de Oca: Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil, 1977.
2. Cruz, A. **Properties of Experimental Particleboard from Three Costa Rican Hardwoods**. Tesis Mag. Sc. Yew York: State University of New York, 1976.
3. Fernández, C. **Estructuras compuestas de madera sólida y madera contrachapeada**. Informe de proyecto final. San Pedro de Montes de Oca: Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil, 1974.
4. Picado, F. **Diseño y ensayo de viga compuestas de madera sólida y aglomerada**. Informe de práctica de especialidad. Cartago: ITCR, Departamento de Maderas, 1979.
5. Ramírez, A. **Resistencia en uniones de madera con dos especies aptas para la construcción de puentes**. Informe de proyecto final. San Pedro de Montes de Oca: Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil, 1977.
6. Tuk, J. "Nueva técnica para la construcción con madera". **Tecnología en Marcha**. Vol. 1 (3): 15 - 18, octubre - diciembre, 1978.
7. Tuk, J. **Resistencia en juntas de mardera**. Informe de proyecto final. San Pedro de Montes de Oca. Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil, 1975.

8. Tuk, J. y Rodríguez, R. Tableros de virutas aglomeradas con cemento Portland. **Tecnología en Marcha**. Vol. 2 (2): 3 - 16, julio - setiembre, 1979.
9. Wilkinson, T. L. "Analysis of Nailed Joints with Dissimilar Members". **Journal of the Structural Division**. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 1972.
10. Wilkinson, T. L. Theoretical Lateral Resistance of Nailed Joints. **Journal of the Structural Division**. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 1972.

La edición de esta obra fue aprobada por el Consejo Editorial de la Editorial Tecnológica de Costa Rica en la sesión número 45. Se terminó de imprimir en el mes de diciembre de 1981 en el Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Composición de textos : Néstor Veas A.
Diseño de cubierta, ilustraciones y artes finales: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
Su edición consta de quinientos ejemplares



EDITORIAL TECNOLÓGICA DE COSTA RICA

Diseño y construcción de estructuras de madera

© 2026 Juan Tuk Durán

Editorial Tecnológica de Costa Rica

Tecnológico de Costa Rica

Esta obra se encuentra disponible en acceso abierto, con autorización de la persona titular de los derechos correspondientes.

Se distribuye bajo la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional:



Se permite compartir la obra, con el debido reconocimiento de la autoría y de la fuente editorial, para usos no comerciales y sin distribuir versiones modificadas, de conformidad con los términos de la licencia.

Los materiales de terceros identificados en la obra pueden estar sujetos a condiciones de uso diferentes.