

## EVALUACION APROXIMADA DE LAS TENSIONES BASICAS Y ADMISIBLES DE MADERAS NACIONALES

Antonio PEREZ G.\*

René ARAYA M.\*\*

René MARCHANT R.\*\*

### RESUMEN

*Después de comentar algunas propiedades y factores que influyen en la resistencia de la madera, se calculan las tensiones básicas de algunas de las maderas usadas en Chile y ensayadas en el IDIEM. Para ello se aplican, a sus correspondientes propiedades mecánicas, las relaciones obtenidas entre las respectivas tensiones básicas y de ensayo de diversas especies norteamericanas. Se completa el informe indicando los coeficientes que deben aplicarse a las tensiones básicas a fin de obtener las tensiones admisibles.*

### INTRODUCCION

Para el cálculo de elementos de estructuras de madera se requiere previamente fijar las tensiones admisibles o de trabajo de la especie a usar. Tales tensiones deberán tomar en cuenta no sólo la calidad de la madera, sino también las condiciones de servicio del elemento diseñado.

En Chile, ni la Ordenanza General ni las Normas Inditecnor especifican las tensiones de trabajo de maderas nacionales; en cambio, en la Ordenanza Especial se fijan tensiones para cuatro especies. En la actualidad es muy frecuente que los calculistas recurran a las especificaciones extranjeras y estimen las tensiones admisibles dividiendo las tensiones de ensayo por un coeficiente o factor de seguridad total que puede variar entre 3 y 5.

En otros países se han desarrollado métodos para tal estimación y uno de los más avanzados en esta materia es Estados Unidos. El procedimiento

---

\*Ingeniero Laboratorio Investigaciones Productos Forestales IDIEM

\*\*Laboratorio Investigaciones Productos Forestales IDIEM.

que en ese país se emplea parte de las *tensiones de ensayo* medias de la madera en estado verde determinadas en probetas libres de defectos y sometidas a condiciones ideales. Estas tensiones se reducen por un factor de seguridad que depende de la variabilidad de la madera y de la duración de la carga; los valores que así se obtienen se denominan *tensiones básicas*. Quedan por tomar en cuenta ciertos defectos que pueden estar presentes en la madera estructural, tales como nudos, grietas, desviaciones de fibras, etc., los cuales reducen la resistencia de la madera. Al considerar estos defectos mediante coeficientes de reducción aplicados a las tensiones básicas, se obtienen finalmente las *tensiones admisibles o de trabajo*.

Con el fin de proporcionar una base más real para fijar las tensiones admisibles en las maderas nacionales, en este informe se hace una estimación aproximada de las tensiones básicas y se presenta un método para calcular, a partir de éstas, las tensiones admisibles.

Para estimar las tensiones básicas se partió de las tensiones de ensayo de algunas especies nacionales según resultados obtenidos en el IDIEM. A estas tensiones se aplicaron coeficientes de reducción iguales a la relación entre tensiones de ensayo de especies norteamericanas y las tensiones básicas correspondientes usadas en Estados Unidos. Se han elegido los datos norteamericanos debido a que los ensayos de las maderas nacionales se efectuaron según las normas norteamericanas ASTM.

Para la determinación de las tensiones admisibles a partir de las básicas, se indican en este informe los coeficientes que deben aplicarse según los defectos de la madera usada.

Se complementa el informe con la inclusión de algunas propiedades y factores que influyen en la resistencia de la madera, lo cual introducirá al lector en el lenguaje y procedimiento que se utiliza en esta materia. Las referencias se indican en cada caso.

## FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RESISTENCIA<sup>1,2</sup>

Los factores más importantes que influyen en la resistencia de una madera estructural son: resistencia y variabilidad de la madera sin defectos, contenido de humedad, duración de la carga, y tamaño, número y ubicación de defectos tales como nudos, desviaciones de fibras, rajaduras, grietas, etc.

A continuación se proporcionan algunas consideraciones sobre estos factores.

### *Resistencia y variabilidad de la madera sin defectos*

La variación de las propiedades resistentes es común a todos los materiales,

pero el grado de variabilidad o de dispersión de ellas difiere con el tipo de material. La madera en su estado natural está sometida a numerosos factores que están variando constantemente, tales como humedad, condiciones de clima y suelo, espacio para su crecimiento, etc; esto afecta a sus propiedades resistentes, lo que se traduce en una gran variación de ellas, aun en elementos confeccionados con madera libre de defectos.

#### *Contenido de humedad*

La pérdida de humedad de una madera produce en general una mayor rigidez y resistencia de sus fibras\*. Por otra parte, este efecto puede ser neutralizado en elementos de grandes escuadrías, debido a la aparición de grietas y rajaduras durante el secamiento, las cuales disminuyen la resistencia de tracción y de cizalle. Sin embargo, se ha demostrado que, en elementos estructurales no mayores de 4" de espesor, existe un incremento efectivo de la resistencia a la flexión debido al secamiento. Lo mismo sucede con los elementos comprimidos (pies derechos, pilares, etc.) cualesquiera sean sus dimensiones.

#### *Duración de la carga*

En la madera, las resistencias, tanto en el límite de proporcionalidad como las máximas, son más altas cuando el elemento está solicitado por cargas de pequeña duración, en comparación con las correspondientes a cargas permanentes. Es por lo tanto capaz de absorber sobrecargas de considerable magnitud durante períodos cortos, o bien pequeñas sobrecargas durante largos períodos. Esta propiedad es importante para los efectos de uso de la madera en elementos estructurales, porque afecta directamente a las tensiones admisibles. Deberá aplicarse un factor de reducción importante a los valores de las tensiones obtenidas en los ensayos de laboratorio, en los cuales la carga aplicada tiene una pequeña duración. para poder obtener las tensiones admisibles aplicables a cargas de duración prolongada.

#### *Pudrición*

En las clasificaciones basadas en la resistencia se restringe o prohíbe el uso de madera con cualquier forma de putrefacción, debido a que es difícil determinar su alcance, y su efecto sobre la resistencia es a menudo mucho mayor que lo que puede estimarse en una simple observación visual.

#### *Albura y duramen*

Tanto la albura como el duramen de una misma especie tienen propiedades mecánicas similares. Sin embargo, si existe la posibilidad de putrefacción,

---

\* Sin embargo, en ensayos de tracción no es raro que la madera seca tenga igual o menor resistencia que la madera verde. Véase Tabla II, especie álamo.

se recomienda utilizar elementos que estén formados en su mayor parte por duramen, puesto que la albura es atacada fácilmente por los hongos y bacterias que producen la pudrición. En cambio, si la madera va a ser sometida a un proceso de impregnación, no deberá limitarse la cantidad de albura, debido a que ésta, por su misma estructura, absorbe en mejor forma las soluciones de los diversos preservativos.

#### *Características reductoras de la resistencia.*

Un típico elemento estructural contiene nudos, grietas y otros defectos que reducen su resistencia. Las diversas clasificaciones que existen en otros países toman en cuenta el tamaño y extensión de estas características. Algunas de estas consideraciones pueden ser:

#### *Desviación de las fibras*

En aquellos elementos donde la dirección de las fibras no es paralela a los cantos, los esfuerzos de tracción y compresión longitudinal tienen componentes que siguen esa dirección, resultando con ello una pieza menos resistente. No conviene usar estos elementos, que tienden a alabearse con el secamiento, y esta tendencia se acentúa cuanto mayor es el elemento estructural.

#### *Nudos*

Los nudos interrumpen la dirección de la fibra y provocan desviaciones localizadas con inclinaciones bastantes pronunciadas. Los nudos vivos resisten bien ciertos esfuerzos provocando con ello un aumento de la resistencia del elemento. No ocurre lo mismo con los nudos muertos o las perforaciones que dejan éstos al soltarse. Por otra parte, la desviación de las fibras causada por un nudo vivo es mucho mayor que la correspondiente a los nudos muertos o sus perforaciones. Como consecuencia de ello, los efectos de todos los tipos de nudos sobre la resistencia se equiparan y no deberá hacerse mayor distinción entre estas causales. Sin embargo, el efecto que produce un nudo sobre la resistencia de un elemento es el resultado de la combinación del nudo en sí y de la desviación de las fibras que éste provoca en su alrededor: tal efecto depende de la magnitud de sección transversal que el nudo ocupa y de su ubicación en el elemento.

#### *Rajaduras*

Las rajaduras son separaciones a lo largo de la madera que generalmente cortan los anillos de crecimiento anual y se deben, por lo común, a tensiones inducidas durante el secamiento. En elementos sometidos a flexión, reducen su resistencia al esfuerzo de cizalle. Luego la limitación de las magnitudes de estos defectos deberá efectuarse en aquellas partes en las cuales las tensiones de cizalle sean altas.

En las piezas sometidas a compresión, tales defectos no alteran mayormente la resistencia; se restringen sólo con fines de presentación y además para impedir la penetración de humedad hacia el interior, la cual puede dar origen a una putrefacción de la pieza. En elementos que van a ser usados permanentemente en estado verde, podrán permitirse pequeñas rajaduras, no así en elementos expuestos a condiciones de secamiento, en los cuales tales rajaduras se extenderán a medida que la madera se seca.

### *Grietas y partiduras*

Las grietas son separaciones a lo largo de las fibras, cuya mayor parte ocurre entre los anillos de crecimiento. Las partiduras son separaciones a lo largo de la madera debidas al desgarramiento de sus células.

Los efectos de grietas y partiduras sobre la resistencia y las limitaciones que deberán hacerse para ellas son idénticos a los enumerados para las rajaduras.\*

## TENSION BASICA

La tensión básica de una madera se puede definir como la tensión de trabajo que se puede aplicar a ella cuando no tiene defectos y se la usa en condiciones de medio ambiente tales que no le provocarán deterioros.

Su valor se determina aplicando a las tensiones medias de ensayo, factores de reducción que consideran:

- a) la variabilidad de la madera libre de defectos,
- b) el efecto de carga permanente o de larga duración,
- c) un coeficiente de seguridad y
- d) un porcentaje que varía de acuerdo al comportamiento que se le conoce a la madera en los diversos elementos estructurales.

El valor así obtenido no incluye los defectos que reducen la resistencia, detallados anteriormente. La tensión básica es por lo tanto independiente de la clasificación y proporciona una medida de la resistencia inherente a la madera sin defectos, de una especie determinada.

### *Estimación de la tensión básica*

Primeramente se procedió a determinar para 76 especies norteamericanas, las razones  $r$  formadas entre la tensión básica dada para cada una de ellas en es-

---

\* La norma INDITECNOR 30 - 102 da las siguientes definiciones: Rajaduras, son aberturas producidas en los extremos de una pieza por un desgarramiento longitudinal de las fibras. Grietas, separaciones que se presentan entre fibras vecinas. Partiduras, separaciones avanzadas de las células, producidas por un desgarramiento longitudinal de las piezas.

tado verde  $TB$ , y los valores de sus correspondientes propiedades mecánicas  $R$ , extraídas de ensayos en madera sin defectos, tanto en estado verde  $R_v$  como seco  $R_s$ . De esta manera se obtuvieron las razones medias  $r_v$  y  $r_s$  que aparecen en la Tabla I, para las propiedades que en ella se indican, en que:

$$r_v = \frac{TB}{R_v} \quad \text{y} \quad r_s = \frac{TB}{R_s}$$

La dispersión de estas razones  $r$ , se indica a través de los coeficientes de variación correspondientes. Ellos expresan que los factores de reducción que se aplican a las tensiones de ensayo para obtener las tensiones básicas, son diferentes para las distintas especies, aun cuando ellas estén sometidas a un mismo tipo de esfuerzo.

TABLA I

RAZON ENTRE LA TENSION BASICA Y LA TENSION DE ENSAYO EN MADERAS SIN DEFECTOS, PARA ESPECIES NORTEAMERICANAS

Maderas	Estado de la madera en el ensayo	Número de esp. consideradas $n$	Flexión y tracción paral.		Cizalle horiz. máximo		Compresión normal		Compresión paralela		Módulo de elasticidad a flexión	
			Razón* $\bar{r}$	Coef.** de Var. %	Razón* $\bar{r}$	Coef.** de Var. %	Razón* $\bar{r}$	Coef.** de Var. %	Razón* $\bar{r}$	Coef.** de Var. %	Razón* $\bar{r}$	Coef.** de Var. %
DU-RAS	Verde	41	0,246	10,9	0,150	10,7	0,470	17,2	0,399	13,7	1,125	15,0
	Seco	41	0,147	14,0	0,099	11,3	0,259	21,7	0,200	14,9	0,867	17,4
BLAN-DAS	Verde	34	0,267	8,0	0,156	12,9	0,457	20,9	0,372	8,8	1,018	8,9
	Seco	33	0,161	9,9	0,112	13,6	0,272	21,5	0,188	9,2	0,816	10,1

\* Media aritmética de las razones calculadas a partir de datos del "Wood Handbook"<sup>2</sup>

\*\* Coeficientes de variación de las razones  $r$  de las  $n$  especies.

Como segundo paso y con el fin de obtener en forma aproximada las tensiones básicas de algunas maderas nacionales en estado verde, se aplicaron estas razones medias  $\bar{r}$  a las tensiones medias de ensayo, en el estado correspondiente, obtenidas en el IDIEM para las siguientes especies chilenas: álamo (30)\*, aramo australiano (18), eucalipto (17), pino insigne (40), tenio (20) y ulmo (24). De los valores encontrados para estas maderas, los que pueden considerarse como más representativos de la especie son los correspondientes al pino insigne<sup>6</sup>, pues tanto la elección de los árboles en el bosque como la extracción de las probetas de los árboles, fueron realizadas por ri-

\* Entre paréntesis se indica el número de probetas ensayadas en cada propiedad mecánica considerada.

gurosos métodos de azar. Los resultados se incluyen en la Tabla II.

Finalmente, la Tabla III da los valores adoptados para las tensiones básicas para el estado verde de las especies señaladas, los cuales son el promedio de los valores que se han deducido en la Tabla II.

Estos valores pueden utilizarse en el diseño de elementos estructurales, confeccionados con madera sin defectos en estado verde y solicitados con carga permanente.

TABLA II  
ESTIMACION DE LAS TENSIONES BASICAS DE MADERAS CHILENAS

MADERA TIPO	ESPECIE	ESTADO MADERA ENSAYO	FLEXION			TRACCION PARALELA			CIZALLE			COMPRESION NORMAL			COMPRESION PARALELA			MODULO DE ELASTICIDAD A LA FLEXION			
			$R_f^*$	$\bar{r}_l$	TB	$R_{tp}^*$	$\bar{r}_l$	TB	$R_g^*$	$\bar{r}_l$	TB	$\sigma_{cn}^{**}$	$\bar{r}_l$	TB	$R_{cp}^*$	$\bar{r}_l$	TB	$E_f$	$\bar{r}_l$	TB	
DURAS	EUCALIPTO	VERDE	768	0,25	190	1 105	0,25	275	127	0,15	19	74	0,47	35	364	0,40	145	118.450	1,13	134.000	
		SECO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	AROMO AUSTRALIANO	VERDE	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		SECO	989	0,15	145	1 493	0,15	220	130	0,10	13	100	0,26	26	575	0,20	115	131.150	0,87	114.000	
ULMO	VERDE	662	0,25	165	1 057	0,25	265	98	0,15	15	62	0,47	29	301	0,40	120	103.700	1,13	117.000		
	SECO	866	0,15	130	---	---	---	149	0,10	15	96	0,26	25	653	0,20	131	109.800	0,87	96.000		
TENIO O TINEO	VERDE	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
	SECO	873	0,15	130	947	0,15	140	130	0,10	13	95	0,26	25	484	0,20	97	114.100	0,87	99.000		
BLANDAS	PINO INSIGNE	VERDE	357	0,27	95	---	---	---	51	0,16	8	---	---	---	149	0,37	55	65.490	1,02	67.000	
		SECO	657	0,16	105	690	0,16	110	76	0,11	8	71	0,27	19	370	0,19	70	85.240	0,82	70.000	
	ALAMO	VERDE	353	0,27	95	579	0,27	155	48	0,16	7	17	0,46	8	162	0,37	60	50.550	1,02	52.000	
		SECO	536	0,16	85	532	0,16	85	70	0,11	8	31	0,27	8	306	0,19	58	77.700	0,82	64.000	

\*Tensión de rotura en kg/cm<sup>2</sup>

\*\*Tensión al límite de proporcionalidad en kg/cm<sup>2</sup>

$\bar{r}_l$  razones medias de Tabla I

TB es la tensión básica en kg/cm<sup>2</sup>

TABLA III

TENSIONES BASICAS PARA ESTADO VERDE Y CARGA PERMANENTE

Especie	Flexión kg/cm <sup>2</sup>	Tracción paralela kg/cm <sup>2</sup>	Cizalle kg/cm <sup>2</sup>	Compresión normal kg/cm <sup>2</sup>	Compresión paralela kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad a flexión kg/cm <sup>2</sup>
Eucalipto	190	275	19	35	145	134.000
Aromo australiano	145	220	13	26	115	114.000
Ulmo	145	265	15	27	125	106.000
Tenio o Tineo	130	140	13	25	97	99.000
Pino Insigne	100	110	8	19	62	68.000
Alamo	90	120	7	8	59	58.000

## RAZON DE RESISTENCIA

La razón de resistencia de las piezas de madera estructural es el porcentaje de resistencia que queda luego de hacer la reducción por nudos, desviación de fibras, rajaduras, etc. Así, una razón de resistencia de 75% indica que se debe efectuar una reducción de 25% a la tensión básica. Las reducciones debidas a nudos y desviaciones de fibras no son acumulativas; así por ejemplo, si la razón de resistencia por nudos es 75% y la correspondiente a desviación de fibras es 69%, la razón de resistencia que combina ambos defectos es de 69%.

Las razones de resistencia son aplicables a los siguientes esfuerzos: tracción y compresión paralela, flexión, y cizalle horizontal en vigas. El módulo de elasticidad en la flexión y las tensiones en compresión normal, prácticamente no son afectados por tales defectos y se acepta una razón de resistencia de 100%.

### *Estimación de la razón de resistencia*

Para estimar los valores de la razón de resistencia, se hace necesario previamente aceptar una clasificación de la madera, como la recomendada por INDITECNOR en su Norma 30-102<sup>4</sup>, la cual clasifica las maderas estructurales en las clases A, B y C. Dicha norma dice textualmente: "los usos a que pueden destinarse esta madera podrían ser los siguientes:

*Clase A*, para piezas sometidas a esfuerzos especiales y/o que estén a la vista.

*Clase B*, para ser usada en piezas sometidas a esfuerzos dominantes de flexión.

*Clase C*, para elementos sometidos a compresión, pero teniendo especial cuidado de colocar (para evitar el pandeo) soportes laterales a no más de 1,50 m

Si se desea diseñar un elemento estructural bajo estas especificaciones, se deberán tener presentes las limitaciones en cuanto a defectos, que especifica la Tabla III" (de dicha Norma).

A base de tales indicaciones, se pueden dar las siguientes reglas para obtener las razones de resistencia que consideran los diferentes factores que afectan a las mismas:

### *Desviación de las fibras<sup>2</sup>.*

Los valores de las razones de resistencia que se deben aplicar a las tensiones básicas de flexión, tracción y compresión paralela cuando la fibra no es recta se indican en la Tabla IV.

**TABLA IV**  
**RAZONES DE RESISTENCIA PARA DIFERENTES DESVIACIONES**  
**DE FIBRAS<sup>2</sup> PARA TENSIONES BASICAS DE FLEXION,**  
**COMPRESION Y TRACCION PARALELAS**

Desviación de las fibras	Clase A y Clase B	Clase C
1 en 6	—	56 - 50
1 en 8	53 - 50	66 - 56
1 en 10	61 - 53	74 - 66
1 en 12	69 - 61	82 - 74
1 en 14	74 - 69	87 - 82
1 en 15	76 - 74	87 - 100
1 en 16	80 - 76	—
1 en 18	85 - 80	—
1 en 20	85 - 100	—

### Nudos

Una forma aproximada para estimar la razón de resistencia que considera el efecto de los nudos sobre las piezas es la siguiente:

$$RR = 100 - 49 \frac{d}{D}$$

en que:  $RR$  = razón de resistencia en %

$d$  = diámetro del nudo presente en el elemento y

$D$  = diámetro del nudo máximo admisible en la clase a la cual pertenece dicho elemento.

La norma INDITECNOR 30-102 especifica que los diámetros máximos de los nudos individuales o la suma de los diámetros de los nudos presentes en cada 60 cm de longitud de la pieza no deberá exceder de  $D = b/6$  para la Clase A;  $D = b/4$  para la Clase B; y  $D = b/3$  para la Clase C, en que  $b$  es el ancho de la pieza. Luego si se reemplazan estos valores en la fórmula de la razón de resistencia dada anteriormente se obtienen las siguientes fórmulas:

$$\text{Clase A : } RR = 100 - \frac{6d}{b}$$

$$\text{Clase B: } RR = 100 - \frac{4d}{b}$$

$$\text{Clase C: } RR = 100 - \frac{3d}{b}$$

### Rajaduras, grietas, partiduras

Su magnitud se mide por la distancia de dos líneas que pasan por sus extremos y que son paralelas a los cantos cuya dirección forma con ellas el ángulo mayor.

Las fórmulas que dan aproximadamente la razón de resistencia que debe adoptarse en elementos que presentan este tipo de defectos son:

- a) en elementos pertenecientes a la clase A y B, para los cuales la razón de resistencia afecta a la tensión básica de cizalle horizontal,

$$RR = 100 - 49 \frac{d}{0,5 b} \text{ para madera a ser usada permanentemente en estado verde.}$$

$$RR = 100 - 49 \frac{d - 0,115 b}{0,445 b} \text{ para madera a ser usada en estado seco.}$$

En estas fórmulas.  $d$  = magnitud de la rajadura existente en la pieza.

La segunda fórmula considera que una rajadura de magnitud igual o menor a  $0,115 b$  no es importante y por lo tanto no es necesario efectuar una corrección de la tensión básica de cizalle.

- b) en elementos pertenecientes a la Clase C, es decir para piezas sometidas a esfuerzos de compresión, las fórmulas que se recomiendan son:

$$RR = 100 - 50 \frac{d - 0,2b}{0,4 b} \text{ para madera a ser usada permanentemente en estado verde, y}$$

$$RR = 100 - 50 \frac{d - 0,3 b}{0,4 b} \text{ para madera en estado seco}$$

Un resumen de las diversas estimaciones aproximadas de la razón de resistencia, considerando la clasificación de las maderas estructurales dada por INDITECNOR, aparece en la Tabla V.

## TENSION DE TRABAJO

La tensión de trabajo se obtiene efectuando el producto entre la razón de resistencia que corresponde a una determinada clase o grado de una clasificación y la tensión básica de la especie considerada. Con los valores determinados para la tensión de trabajo se pueden calcular los diferentes elementos estructurales confeccionados con la madera perteneciente a la clase que ha dado origen al valor de la razón de resistencia usado.

### Ejemplo.

Determinar las tensiones de trabajo de un elemento de pino insigne de 2'' x 4'' de escuadría que se empleará como viga (Clase B) y que tiene una desviación de fibra de 1 en 10, un nudo de 1/2'' de diámetro y una rajadura de 1/4'' de longitud en el centro de la pieza. El elemento estará permanentemente en estado verde ( $H > 30\%$ ).

**TABLA V**  
**RESUMEN DE LAS RAZONES DE RESISTENCIAS CORRESPONDIENTES A**  
**LOS DEFECTOS MAS IMPORTANTES**

Defecto	Tensión básica afectada	Estado del elemento en servicio	Valor aproximado de la razón de resistencia para elementos de		
			Clase A	Clase B	Clase C
Desviación de fibras	Flexión, tracción paralela, compresión paralela.	Verde o seco	Ver Tabla IV	Ver Tabla IV	Ver Tabla IV
Nudos	Flexión, tracción paralela, compresión paralela y cizalle	Verde o seco	$RR = 100 - 49 \frac{6d}{b}$	$RR = 100 - 49 \frac{4d}{b}$	$RR = 100 - 49 \frac{3d}{b}$
Rajaduras, grietas, partiduras	Cizalle	Verde	$RR = 100 - 49 \frac{d}{0,5b}$		---
		Seco	$RR = 100 - 49 \frac{d - 0,115b}{0,445b}$		---
	Compresión paralela	Verde	---	---	$RR = 100 - 50 \frac{d - 0,2b}{0,4b}$
		Seco	---	---	$RR = 100 - 50 \frac{d - 0,3b}{0,4b}$

RR', razón de resistencia; b, ancho del elemento; d, magnitud del defecto considerado.

Las tensiones básicas del pino insigne son: flexión = 100 kg/cm<sup>2</sup>; compresión normal = 19 kg/cm<sup>2</sup>; cizalle = 8 kg/cm<sup>2</sup>; compresión paralela = 62 kg/cm<sup>2</sup>; tracción paralela = 110 kg/cm<sup>2</sup>; F = 68.100 kg/cm<sup>2</sup> (datos obtenidos de Tabla III).

Estimación de la razón de resistencia:

- 1) por desviación de fibra (1:10)  $RR = 60\%$  (Tabla IV)
- 2) por nudos  $RR = 100 - 49 \cdot 4d/b = 75\%$  (Tabla V)
- 3) rajaduras  $RR = 100 - 49 d/0,5b = 94\%$  (Tabla V)

De 1) y 2) se obtiene que  $RR = 60\%$  (el valor más desfavorable), que afecta a las tensiones de flexión, compresión y tracción paralela. De 3)  $RR = 94\%$ , que afecta a la tensión de cizalle.

Luego las tensiones de trabajo son: flexión =  $100 \times 0,60 = 60$  kg/cm<sup>2</sup>; compresión normal = 19 kg/cm<sup>2</sup>; compresión paralela =  $62 \times 0,60 = 37$  kg/cm<sup>2</sup>; E = 68.100 kg/cm<sup>2</sup>; cizalle =  $8 \times 0,94 = 7,5$  kg/cm<sup>2</sup>; tracción paralela =  $110 \times 0,6 = 66$  kg/cm<sup>2</sup>.

## MODIFICACIONES DE LAS TENSIONES DE TRABAJO

Los valores de las tensiones de trabajo que se determinan siguiendo el método descrito son utilizables en elementos de madera en estado verde, sometidos a carga permanente. Sin embargo, se pueden aplicar también a madera en otras condiciones efectuando las modificaciones que se indican a continuación:

### *Para madera en estado seco*

El resultado de la pérdida de humedad en la madera es un aumento en la resistencia. Los incrementos que se recomiendan para espesores nominales menores de 4 pulgadas aparecen en la Tabla VI; están basados en la resistencia real de la madera en estado seco para los diferentes esfuerzos.

TABLA VI

INCREMENTO DE LAS TENSIONES PARA ELEMENTOS A SER USADOS PERMANENTEMENTE EN ESTADO SECO ( $H < 15\%$ ).

Espesor del elemento	4" - 2"		< 2" - 1"
	Incremento de la razón de resistencia	Incremento de la tensión básica	Incremento de la tensión básica
Flexión y tracción paralela	$\Delta RR = \frac{RR_V - 50}{2}$	---	25 %
Compresión paralela	---	10 %	27,5 %
Compresión normal	---	50 %	50 %
Módulo de elasticidad	---	10 %	10 %
Cizalle	Ver Tabla V	---	12,5 %

$RR_V$ , razón de resistencia estimada para madera en estado verde.

### *Por duración de la carga*

Los valores de las tensiones básicas indicadas en la Tabla III se han deducido considerando cargas permanentes; por lo tanto, las tensiones de trabajo que de allí se deduzcan serán las pertinentes para dichas cargas. Si existe la certeza de que sobre el elemento actuará una determinada carga de pequeña duración, se pueden incrementar para esa carga las tensiones de trabajo recomendadas para esfuerzo permanente, multiplicando por los factores de la curva de la Fig. 1. Estos incrementos son aplicables también a cargas intermitentes tomando como duración de la carga la suma de los tiempos.

Esta curva es una representación aproximada de los datos extraídos principalmente de los ensayos de flexión en las especies norteamericanas Dou-

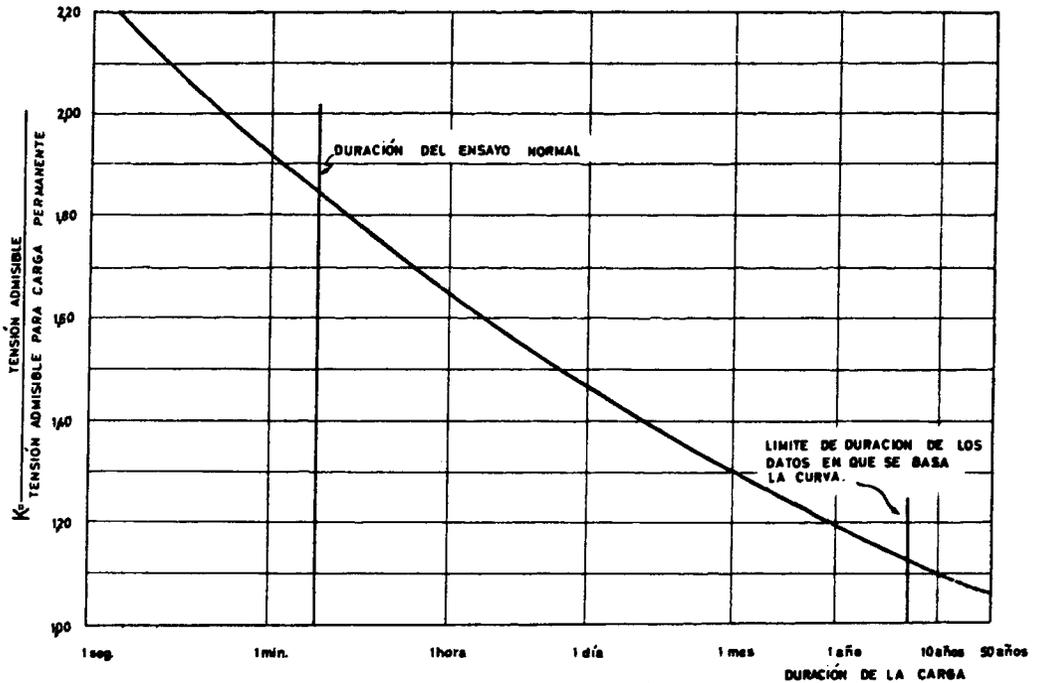


Fig. 1. Relación entre la tensión de trabajo y la duración de la carga.

glas fir y Sitka spruce. Se ha demostrado, a través de numerosos ensayos, que esta relación se mantiene en otras especies y para algunas propiedades tales como tracción, compresión paralela y normal, cizalle horizontal.

En cuanto al módulo de elasticidad de trabajo a la flexión, hay que advertir que procede de ensayos de corta duración sin habersele hecho ninguna reducción por concepto de duración de la carga; por consiguiente no admite incremento para cargas de corta duración. Por el contrario, para cargas permanentes habrá que considerar los fenómenos de fluencia lenta, para lo cual es usual tomar un módulo de deformación igual a la mitad del módulo de elasticidad básico.

#### *Por pudrición*

La pudrición se excluye de la mayoría de las clasificaciones estructurales debido a que no existe un método numérico satisfactorio que puede apreciar sus efectos. No es posible asignar tensiones de trabajo a maderas podridas. En algunas clasificaciones se permite la presencia de esta descomposición en los nudos, con tal de que no alcance a la madera sana que los rodea. Si la pudrición es detectada en o cerca de las áreas altamente solicitadas, el elemento se debe reemplazar. Cuando se usa madera sin impregnar y las condiciones son favorables a la putrefacción, la pieza puede perder parte de su resistencia antes de que el defecto sea detectado. En este caso conviene reducir las tensiones de trabajo para asegurar la pieza. El porcentaje de reduc-

ción para estos casos debe escogerlo el calculista y un valor adecuado puede ser 25% o un poco más. La pudrición afecta especialmente a la resistencia al impacto y a la rigidez del elemento. La reducción de las tensiones de trabajo por esta causa tiene como único fin proveer a la pieza de una protección temporal hasta que el defecto sea ubicado y se proceda entonces a tomar las providencias del caso. Es necesario insistir en que no existe una tensión de trabajo que dé seguridad a la madera podrida.

#### *Por tratamiento de la madera*

Puede ser necesario, al establecer las tensiones de trabajo, considerar las posibles reducciones de la resistencia ocasionadas por las altas temperaturas y presiones inherentes al proceso del tratamiento. Los diferentes ensayos realizados en Estados Unidos han demostrado que es conveniente una reducción de 25% o más para las tensiones de flexión y de compresión normal, dependiendo esto de las condiciones adoptadas; en cambio, las tensiones de compresión paralela y el módulo de elasticidad son afectados en menor grado. Finalmente, el efecto sobre las tensiones de cizalle debe estimarse a través de una inspección de las rajaduras y grietas que pudieran aparecer después del proceso.

Estas reducciones de la resistencia pueden disminuirse en general restringiendo las temperaturas, los períodos de calor y las presiones tanto como sea posible, con tal de que la absorción y la penetración del preservativo en estas nuevas condiciones aseguren un buen tratamiento.

#### *Por temperatura*

Los valores de las tensiones de trabajo deducidas a base de las tensiones de la Tabla III son aplicables a madera que va a usarse a temperatura ordinaria. La madera no sufre alteraciones en su resistencia cuando se la expone ocasionalmente a temperaturas ligeramente superiores a los 65°C. Cuando el período de exposición es prolongado por sobre dicho valor, deberán hacerse descuentos especiales.

#### *Ejemplo:*

Modificar las tensiones de trabajo de flexión y de compresión paralela, deducidas en el ejemplo anterior, de modo que ellas consideren la madera en estado seco ( $H < 15\%$ ) y una carga de un mes de duración.

Para la flexión se tenía: tensión básica = 100 kg/cm<sup>2</sup>; razón de resistencia  $R R_{\nabla} = 60\%$ ; tensión de trabajo = 60 kg/cm<sup>2</sup>.

Para la compresión paralela: tensión básica = 62 kg/cm<sup>2</sup>; tensión de trabajo = 37 kg/cm<sup>2</sup>.

Considerando el estado seco de la madera tenemos, según Tabla IV:

a) para la flexión, un incremento  $\Delta RR = \frac{RR_v - 50}{2} = \frac{60 - 50}{2} = 5\%$   
 luego  $RR_s = 60 + 5 = 65\%$ .

b) para la compresión paralela:  $0,10 \times 62 = 6,2 \text{ kg/cm}^2$ .

Por lo tanto, las tensiones de trabajo considerando la madera en estado seco serán: para la flexión  $0,65 \times 100 = 65 \text{ kg/cm}^2$ , y para la compresión paralela  $37 + 6,2 = 43,2 \text{ kg/cm}^2$ .

Al considerar la carga de un mes de duración, se tiene, según Fig. 1: para la flexión  $1,3 \times 65 = 84 \text{ kg/cm}^2$ , y para la compresión paralela  $1,3 \times 43,2 = 56 \text{ kg/cm}^2$ .

#### REFERENCIAS

1. ASTM D 245 - 57 T. "Methods for establishing structural grades of lumber". Filadelfia, E.U.A..
2. U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE "Wood Handbook," Agriculture Handbook nº 72, F.P.L., E.U.A. 1955.
3. BROWN, H.P.; PANSIN, A.J. y FORSAITH, C.C. "Textbook of wood technology", vol. II. Mc Graw - Hill. Nueva York, 1952.
4. INDITECNOR, 30 - 102 "Clasificación de las maderas aserradas según su aspecto". Santiago, Chile.
5. ASTM D 143-52, "Standard methods of testing small clear specimens of timber". Filadelfia, E.U.A.
6. ALBALA, H. "Propiedades mecánicas y asociadas del pino insigne". Revista del IDIEM, vol.5 nº 2, (octubre 1966). pp. 83-92.

#### APROXIMATE EVALUATION OF BASIC AND WORKING STRESSES OF SOME CHILEAN WOODS

##### SUMMARY:

*After reviewing some properties and factors related to the strength of wood, the basic stresses are figured out for some species currently used in Chile for which results of tests performed at IDIEM were available. For this purpose the test strengths are reduced in the same ratios as were derived from data pertaining to north american species. Finally coefficients are presented to get working stresses out of basic stresses.*