

AGRUPAMIENTO DE ESPECIES MADERERAS QUE CRECEN EN CHILE SEGUN SUS PROPIEDADES MECANICAS

Vicente A. Pérez G. *

RESUMEN

El agrupamiento de las especies madereras según sus propiedades mecánicas es una etapa necesaria para posteriormente asignar las tensiones admisibles a las maderas que se usan en la construcción.

El agrupamiento de maderas destinadas a fines estructurales, consiste en crear un conjunto de especies madereras hipotéticas, caracterizadas por determinadas propiedades resistentes, de modo que cualquier madera pueda identificarse dentro del tal conjunto, como equivalente a una de tales especies madereras hipotéticas.

El sistema fue ideado en Australia y se ha ido extendiendo en diferentes países debido a la necesidad de presentar los antecedentes estructurales de las maderas en una forma apropiada.

El presente trabajo analiza en detalle el proceso tal como se aplica en el país donde fue creado, explica las modificaciones que se necesitaron para adaptarlo a las propiedades resistentes de las maderas que crecen en Chile y finalmente, se asimila a las características físico-mecánicas de las especies madereras nacionales para las cuales se cuentan con los antecedentes que necesita el procedimiento.

ABSTRACT

The classification or grouping of timber species according to their mechanical properties is a necessary step prior to rating construction timber in terms of permissible stress.

This grouping of wood for structural purposes consists of creating a set of hypothetical timber species characterized by certain common resistance properties, so that any given "real" timber species can be identified as being equivalent to one such hypothetical species in the group.

The system was devised in Australia and has been adapted by a number of countries, as a result of the need to present timber structural data appropriately.

This paper presents a thorough review of the system as applied in its country of origin, thereafter explaining the modifications needed to adapt it to the resistance properties of timber grown in Chile. Finally, its application to the physical-mechanical properties of timber species grown or occurring locally is discussed.

* Ingeniero Civil. Jefe División Industrias, Instituto Forestal, Huérfanos 554 - Piso 5, Santiago-Chile.

INTRODUCCION

La finalidad del presente trabajo es entregar las pautas y criterios que se siguieron para estructurar la norma chilena NCh 1989, titulada "Maderas. Agrupamiento de Especies Madereras según su Resistencia. Procedimiento", destinada a ordenar las maderas de uso corriente en la construcción, según sus propiedades resistentes a diferentes esfuerzos externos.

Entre los problemas que se necesitan resolver para desarrollar los diferentes sistemas constructivos en madera, está el de asignar valores de resistencia unitarias (tensiones admisibles) a las diferentes maderas que crecen en el país.

Existen diversos métodos y procedimientos para concretar esta asignación; ellos se pueden clasificar en aquéllos que tradicionalmente se han empleado por años en los países desarrollados y, en los modernos, basados en el ensayo mecánico de piezas de madera a escala real. Estos han tenido un fuerte desarrollo en la década recientemente pasada.

El método tradicional más usado es el proceso consistente en deducir para cada especie, tensiones básicas a partir de los resultados obtenidos de probetas estándares, libres de defectos reduciendo el valor estimado como mínimo probable, por duración de carga y por sobrecarga accidentales.

Entre los nuevos métodos de asignación de resistencias unitarias se pueden mencionar el de clasificación mecánica (mechanical stress grading), el denominado proof-load grading, etc.

En Chile se hace difícil la aplicación de los métodos señalados debido a que, por una parte, sólo algunas especies madereras han sido sometidas al estudio de sus propiedades mecánicas mediante el ensayo de probetas normalizadas, libres de defectos, de acuerdo a procedimientos confiables que proporcionen valores representativos del recurso existente en el territorio nacional y además, debido al incipiente conocimiento que se tiene del proceso destinado a obtener valores de resistencia unitaria mediante la clasificación mecánica de piezas de tamaño natural.

A fin de proporcionar valores de resistencia unitaria a nuestras maderas, aun cuando sea en forma aproximada y provisoria, y mientras se implemente y desarrolle un sistema moderno de clasificación mecánica de madera, la norma NCh 1989 propone un procedimiento basado en el método australiano para agrupar las maderas que crecen en el país, de acuerdo a sus propiedades mecánicas. Este agrupamiento constituye una etapa necesaria para posteriormente proceder, con la asignación de las tensiones admisibles a las diferentes especies madereras que se destinan a la construcción.

La primera parte de este trabajo explica el método australiano de agrupamiento de especies, el cual luego se aplica directamente a las maderas crecidas en Chile y que cuentan con los datos necesarios para proceder con el agrupamiento que dicho método establece.

En la segunda parte se corrige el procedimiento australiano, de acuerdo a las características y propiedades de nuestras maderas, a fin de obtener una metodología y agrupamiento compatible con los datos recopilados para las propiedades físicas y mecánicas de las maderas que crecen en Chile. Este método es el que adoptó y oficializó la norma chilena NCh 1989.

ANTECEDENTES GENERALES

Método australiano para agrupar las especies madereras: El primer intento para agrupar especies madereras de acuerdo a los valores medios de las propiedades mecánicas obtenidas en ensayos estándares de probetas libres de defectos, se hizo en 1939 por los investigadores Langleys y Thomas.

Posteriormente Pearson (1965) y Kloot (1973) revisaron y extendieron dicha proposición conformando grupos de especies de acuerdo a los valores medios de resistencia, obtenidas en probetas libres de defectos para las propiedades de flexión y compresión paralela, tanto para el

estado verde como seco al aire ($H = 12^0/o$).

El resultado de esta revisión se incluye en la Tabla 1 para el estado verde y en la Tabla 2 para el estado seco al aire.

TABLA 1
CLASIFICACION PRELIMINAR DE LOS VALORES PARA MADERA VERDE.

PROPIEDAD	GRUPO PARA LA ESPECIE SEGUN EL VALOR MEDIO DE LA PROPIEDAD						
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Módulo de rotura (MPa)	103	86	73	62	52	43	36
E_f (MPa)	16.300	14.200	12.400	10.700	9.100	7.900	6.900
Tensión máxima de compresión paralela (MPa)	52	43	36	31	26	22	18

NOTA: Valores determinados para un contenido de humedad superior al Punto de Saturación de las Fibras.

TABLA 2
CLASIFICACION PRELIMINAR DE LOS VALORES PARA MADERA SECA.

PROPIEDAD	GRUPO PARA LA ESPECIE SEGUN EL VALOR MEDIO DE LA PROPIEDAD							
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8
Módulo de rotura (MPa)	150	130	110	94	78	65	55	45
E_f (MPa)	21.500	18.500	16.000	14.000	12.500	10.500	9.500	7.900
Tensión máxima de compresión paralela (MPa)	80	70	61	54	47	41	36	30

NOTA: Valores determinado o ajustados a un contenido de humedad de $12^0/o$.

Como se observa en cada estado se definen siete grupos como S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 para el estado verde y SD1, SD2, SD3, SD4, SD5, SD6, SD7 para el estado seco al aire ($H = 12^0/o$).

En la aplicación de las Tablas 1 y 2 a menudo se plantea la cuestión de cómo proceder cuando dos o las tres propiedades críticas se tienen que asignar a grupos diferentes. Una aproximación conservadora sería asignar la especie maderera al grupo de menor resistencia señalado por la propiedad de más bajo valor. Esto se puede aplicar a varias combinaciones, pero hay varias otras para las cuales se justifica mejorar la clasificación del grupo en un nivel por sobre el menor de los grupos determinados.

La Tabla 3 resume el procedimiento que la norma australiana recomienda, enfatizando los

valores de los módulos de rotura (\bar{R}_f) y el de elasticidad (\bar{E}_f) por sobre la tensión máxima de compresión paralela (\bar{R}_c).

TABLA 3

COMBINACIONES DE LA CLASIFICACION PRELIMINAR QUE PERMITE MEJORAR LA ASIGNACION FINAL DEL GRUPO EN UN NIVEL POR SOBRE EL MENOR DE LOS GRUPOS DETERMINADOS.

CLASIFICACION PRELIMINAR BASADA EN			
Módulo de rotura	Módulo de elasticidad	Tensión máxima de compresión paralela	Grupo S o SD asignado
x	x	x + 1	x
x	x - 2	x - 1	x - 1
x	x + 2	x + 1	x + 1

NOTA: El grupo x - 1 es más resistente que el grupo x. Ej. si el grupo S4 se identifica por x, entonces el grupo S3 será x - 1.

Este método sólo es aplicable a las maderas para las cuales los datos de resistencia se han tomado con un muestreo válido, considerando a lo menos 5 árboles, o dicho de otra manera, el método no da resultados confiables al no tener valores representativos.

Un reciente estudio hecho por Leicester y Keating (1981) ha relacionado la densidad y el módulo de rotura (R) de 30 especies madereras, en estado seco, provenientes de cuatro regiones escogidas alrededor del mundo, encontrándose una alta correlación entre estas dos variables. En base a esta relación se ha construido la Tabla 4, la cual permite agrupar especies en función de la densidad aparente para un contenido de humedad igual a 12^o/o.

Esto da una estimación más bien conservadora pero a lo menos permite incorporar al sistema, especies para las cuales se cuentan con pocos o ningún dato de resistencia obtenidos en el laboratorio.

TABLA 4

DENSIDAD APARENTE (H = 12^o/o) PROVENIENTE DE A LO MENOS 5 ARBOLES PARA ASIGNAR LA ESPECIE A UN GRUPO DE RESISTENCIA.

GRUPO DE RESISTENCIA								
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	
Para madera verde:								
Densidad Aparente (H = 12 ^o /o) en Kg/m ³	1.180	1.030	900	800	700	600	500	
Para madera seca:								
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8
Densidad Aparente (H = 12 ^o /o) en Kg/m ³	1.200	1.080	960	840	730	620	520	420

TABLA 5
CLASIFICACION DE LAS MADERAS NACIONALES SEGUN PROCEDIMIENTO AUSTRALIANO. ESTADO VERDE.

ESPECIE				PROPIEDAD (MPa)			GRUPO
NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	ORIGEN	ANTECED.	R _f	E _f	R _c	
ALERCE	Fitzroya cupressoides		Valor Grupo	63,6 S4	5.658 S8	42,7 S3	S7
ARAUCARIA	Araucaria araucana		Valor Grupo	44,1 S6	8.213 S6	22,6 S6	S6
CANELO	Dryas mis wintert	Chiloé	Valor Grupo	49,6 S6	7.059 S7	20,2 S7	S6
CIPRES DE LA CORDILLERA	Pilgerodendron uvifera		Valor Grupo	41,2 S7	6.816 S8	19,4 S7	S7
CIPRES DE LAS GUAITECAS	Pilgerodendron uvifera	Chiloé	Valor Grupo	47,8 S6	4.990 -	18,8 S7	S7
COIHUE	Nothofagus dombeyi		Valor Grupo	53,0 S5	9.086 S6	25,6 S6	S5
COIHUE de Chile	Nothofagus nitida	Chiloé	Valor Grupo	55,3 S5	9.202 S5	22,4 S6	S5
COIHUE de Magallanes	Nothofagus betuloides	Magallanes	Valor Grupo	54,9 S5	9.405 S5	23,5 S6	S5
LAUREL	Laurelia sempervirens		Valor Grupo	38,4 S7	6.472 S8	18,5 S7	S7
LENGA	Nothofagus pumilio	Aisén Magallanes	Valor Grupo	48,8 S6	7.816 S7	21,3 S7	S6
LINGÜE	Persea lingue		Valor Grupo	49,5 S6	7.992 S6	22,7 S6	S6
MAÑO MACHO	Podocarpus nubigena		Valor Grupo	48,5 S6	7.806 S7	22,3 S6	S6
OLIVILLO	Aextoxicon punctatum		Valor Grupo	47,1 S6	7.551 S7	21,8 S7	S6
RAULI	Nothofagus alpina		Valor Grupo	56,8 S5	8.051 S6	28,2 S5	S5
ROBLE mau limo	Nothofagus obliqua		Valor Grupo	52,1 S5	8.600 S6	25,8 S6	S5
ROBLE	Nothofagus glauca	Maule	Valor Grupo	52,9 S5	7.268 S7	25,4 S6	S6
TEPA	Laurelia philippiana		Valor Grupo	51,4 S6	8.032 S6	21,0 S7	S6
ULMO	Eucryphia cordifolia		Valor Grupo	65,0 S4	10.219 S5	29,5 S5	S4
ALAMO	Populus sp.		Valor Grupo	34,6 S8	4.962 -	15,9 S8	S8
EUCAPIPTO	Eucalyptus globulus	Santiago Valparaíso	Valor Grupo	76,3 S3	11.792 S4	35,6 S4	S3
PINO INSIGNE	Pinus radiata		Valor Grupo	35,0 S8	6.423 S8	14,6 S8	S8
PINO OREGON	Pseudotsuga menziesii	Temuco Villarrica	Valor Grupo	44,2 S6	6.835 S8	20,0 S7	S7

NOTA: R_f = módulo de rotura a la flexión; E_f = módulo de elasticidad;
 R_c = tensión máxima a la compresión paralela.

TABLA 6:
CLASIFICACION DE LAS MADERAS NACIONALES SEGUN
PROCEDIMIENTO AUSTRALIANO. ESTADO SECO.

ESPECIE				PROPIEDAD (MPa)			GRUPO
NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	ORIGEN	ANTECED.	E _f	E _f	R _c	
ALLERCI	Fitzroya cupressoides		Valor Grupo	59,8 SD7	8.041 SD8	35,5 SD8	SD7
ARAUCARIA	Araucaria araucana		Valor Grupo	75,8 SD6	11.444 SD6	41,6 SD6	SD6
CANELO	Drymis Winteri		Valor Grupo	69,2 SD6	9.257 SD7	36,5 SD7	SD6
CANELO	Drymis winteri	Chiloé	Valor Grupo	68,7 SD6	8.712 SD8	36,0 SD7	SD7
CIPRES DE LA CORDILLERA	Austrocedrus chilensis		Valor Grupo	63,7 SD7	8.532 SD8	37,1 SD7	SD7
CIPRES DE LAS GUAITECAS	Págerodendron uvífera	Chiloé	Valor Grupo	60,5 SD7	5.722 SD7	40,6 SD7	SD8
COIHUE	Nothofagus dombeyi		Valor Grupo	90,6 SD5	13.043 SD5	47,9 SD5	SD5
COIHUE <i>de Chiloé</i>	Nothofagus nitida	Chiloé	Valor Grupo	91,6 SD5	12.285 SD6	48,6 SD5	SD5
COIHUE <i>de Magallanes</i>	Nothofagus betuloides	Magallanes	Valor Grupo	69,5 SD6	10.111 SD7	43,6 SD6	SD6
LAUREL	Laurelia sempervirens		Valor Grupo	74,7 SD6	11.170 SD6	50,8 SD5	SD6
LENGA	Nothofagus pumilio	Aisén Magallanes	Valor Grupo	86,6 SD5	9.973 SD7	42,2 SD6	SD6
LINGUE	Persea lingue		Valor Grupo	97,1 SD4	12.381 SD6	50,4 SD5	SD5
MAÑO HEMBRA	Saxegothaea conspicua		Valor Grupo	52,4 SD8	6.963	48,6 SD5	SD8
MAÑO HOJAS LARGAS	Podocarpus saligna		Valor Grupo	91,6 SD5	10.356 SD7	55,4 SD4	SD6
MAÑO MACHO	Podocarpus nubigena		Valor Grupo	68,4 SD6	8.218 SD8	51,1 SD5	SD7
RAULI	Nothofagus alpina		Valor Grupo	76,9 SD6	9.787 SD7	35,9 SD7	SD6
ROBLE <i>pellin</i>	Nothofagus obliqua		Valor Grupo	82,1 SD5	12.121 SD6	46,7 SD6	SD5
ROBLE	Nothofagus glauca	Maule	Valor Grupo	79,7 SD5	9.224 SD7	45,9 SD6	SD6
OLIVILLO	Aextoxicon punctatum		Valor Grupo	70,6 SD6	9.660 SD7	42,0 SD6	SD6
TEPA	Laurelia philippiana		Valor Grupo	77,6 SD6	9.611 SD7	40,9 SD6	SD6
TINCU	Weinmannia trichosperma		Valor Grupo	88,4 SD5	11.866 SD6	47,5 SD5	SD5
ULMO	Lucryphia cordifolia		Valor Grupo	87,0 SD5	11.032 SD6	64,1 SD3	SD5
ALAMO	Populus sp.		Valor Grupo	52,6 SD8	7.620	30,0 SD8	SD8
EUCALIPTO	Eucalyptus globulus	Santiago Valparaíso	Valor Grupo	117,5 SD3	15.691 SD4	68,5 SD3	
PINO INSIGNE	Pinus radiata		Valor Grupo	64,4 SD7	8.355 SD8	36,3 SD7	SD7
PINO OREGON	Pseudotsuga menziesii	Temuco Villarrica	Valor Grupo	77,7 SD6	9.218 SD7	37,3 SD7	SD6

NOTA: R_f = mód. de rotura a la flexión; E_f = mód. de elast.; R_c = ten. máx. a la comp. paralela.

TABLA 7
AGRUPACION DE LAS MADERAS NACIONALES SEGUN DENSIDAD
Y COMPARACION CON LA OBTENIDA CLASIFICANDO SEGUN
RESISTENCIA. METODO AUSTRALIANO.

ESTADO VERDE				ESTADO SECO			
ESPECIE	Densidad Kg m ³	GRUPO SEGUN		ESPECIE	Densidad Kg m ³	GRUPO SEGUN	
		Densidad	Resistencia			Densidad	Resistencia
EUCALIPTO	800	S4	S3	FUCALIPTO	800	SD5	SD3
ULMO	728	S5	S4	COIHUE COIHUE (Chiloé) LINGUE ROBLE TINEO ULMO	663	SD6	SD5
COIHUE	663	S6	S5		618	SD7	
COIHUE	618	S6			618	SD7	
COIHUE (Magall.)	-	-			778	SD5	
RAULI	539	S7			756	SD5	
ROBLE	778	S5			728	SD6	
ARAUCARIA	672	S6		S6	ARAUCARIA	672	SD6
CANELO	504	S7	CANELO		509	SD8	
LENGA	584	S7	COIHUE (Magall.)		-	-	
LINGUE	618	S6	LAUREL		586	SD7	
MAÑO MACHO	522	S7	LENGA		584	SD7	
OLIVILLO	597	S7	MAÑO H. LARGAS		-	-	
ROBLE (Maule)	715	S5	RAULI		539	SD7	
TEPA	563	S7	ROBLE (Maule)		715	SD6	
			TEPA		563	SD7	
			PINO OREGON		446	SD8	
			OLIVILLO	597	SD7		
ALERCE	542	S7	S7	ALERCE	542	SD7	SD7
CIPRES (Cord.)	546	S7		CANELO (Chiloé)	504	SD8	
CIPRES (Guaít.)	509	S7		CIPRES (Cord.)	546	SD7	
LAUREL	586	S7		MAÑO MACHO	522	SD7	
PINO OREGON	446	S8		PINO INSIGNE	513	SD8	
ALAMO	433	S8	S8	CIPRES (Guaít.)	509	SD8	SD8
PINO INSIGNE	513	S7		MAÑO HEMBRA	-	-	
				ALAMO	433	SD8	

Agrupamiento de las maderas nacionales según procedimiento australiano: Al aplicar el método australiano a las maderas crecidas en Chile y ensayadas en base a las prescripciones de la norma ASTM, se obtienen los resultados señalados en la Tabla 5 para el estado verde y en la Tabla 6 para el estado seco al aire.

En la Tabla 7 se incluye un resumen con los resultados de este proceso conjuntamente con la aplicación del criterio de agrupamiento de acuerdo a la densidad aparente para un contenido de humedad igual a 12^o/o.

Discusión de los grupos resultantes para las maderas nacionales originados del uso directo del método australiano: Dado el estado actual del conocimiento de las propiedades mecánicas de las especies madereras que crecen en Chile, el procedimiento australiano ayuda a tener un método para asignar tensiones admisibles a todas las maderas crecidas en el territorio nacional, aun cuando en ellas no se haya determinado en forma conveniente sus propiedades resistentes.

En las Tablas 5 y 6 se observa un desajuste en los grupos asignados por el módulo de rotura (\bar{R}_f) respecto a los que resultan con el módulo de elasticidad (\bar{E}_f). En la gran mayoría de las maderas el grupo que se asigna según \bar{E}_f es de peor calidad que el obtenido con \bar{R}_f .

En la Tabla 7 se observa que esta descordinación es mayor cuando se agregan los grupos que resultan al usar la densidad aparente, para un contenido de humedad de 12^o/o, como criterio de agrupamiento.

Lo anterior señaló la conveniencia de ajustar las tablas dadas por el método australiano (Tablas 1 y 2) de modo que ellas sean deducidas directamente de las características resistentes de nuestras maderas.

CORRECCION DEL METODO AUSTRALIANO PARA AJUSTARLO A LAS CARACTERISTICAS DE LAS MADERAS NACIONALES

Metodología usada en la corrección para el estado verde:

- i) Se aceptó la serie especificada en el método australiano para el módulo de rotura medio (\bar{R}_f), en estado verde, la cual es:

$$\bar{R}_f \text{ (MPa)} \quad 103 - 86 - 73 - 62 - 52 - 43 - 36 - 30 - \text{etc.}$$

- ii) Al hacer la correlación entre \bar{R}_f y \bar{E}_f para los valores en estado verde que existen en el país se obtuvo la ecuación de regresión siguiente:

$$\bar{R}_f = 18,21 + 0,00417 \times \bar{E}_f$$

- cuyo coeficiente de correlación es $r = 0,700$ y cuya comparación con la relación $f(\bar{R}_f, \bar{E}_f) = 0$ usada por el sistema australiano se indica en la Figura 1. En las rectas así determinadas se puede observar la diferencia que existe para las relaciones entre R_f y E_f aplicadas a las maderas de ambos países, en estado verde.
- iii) Con la ecuación de regresión anterior se calcularon los valores que le corresponden a \bar{E}_f para cada valor de \bar{R}_f , consultado en la serie aceptada.

$$\bar{R}_f \text{ (MPa)} \quad 103 - 86 - 73 - 62 - 52 - 43 - 36 - 30.$$

$$\bar{E}_f \text{ (MPa)} \quad 20.300 - 16.300 - 13.100 - 10.500 - 8.400 - 6.700 - 5.400 - 4.300$$

- iv) Finalmente, con los datos existentes de propiedades mecánicas en estado verde, se hizo el estudio de la razón entre tensión máxima de compresión paralela (\bar{R}_c) y el módulo de rotura (\bar{R}_f) (que para el sistema australiano es igual a 0,5), resultando para nuestro caso el valor de 0,4645. Los valores de \bar{R}_c para la serie escogida se determinaron con la expresión $\bar{R}_c = 0,4645 \bar{R}_f$, obteniéndose:

$$\bar{R}_f \text{ (MPa)} \quad 103 - 86 - 73 - 62 - 52 - 43 - 36 - 30$$

$$\bar{R}_c \text{ (MPa)} \quad 48 - 40 - 34 - 29 - 24 - 20 - 17 - 14$$

- v) De lo anterior resultan los grupos señalados en la Tabla 8.

Metodología usada en la corrección para el Estado seco:

- i) Se aceptó la serie dada por el procedimiento australiano para el módulo de rotura (\bar{R}_f), en estado seco:

$$\bar{R}_f \text{ (MPa)} \quad 150 - 130 - 110 - 94 - 78 - 65 - 55 - 45 - \text{etc.}$$

- cuya razón entre dos valores consecutivos es, aproximadamente: 1,186.
- ii) Se hizo la correlación entre \bar{R}_f y \bar{E}_f para los valores en estado seco que existen en Chile, obteniéndose la ecuación de regresión:

$$\bar{R}_f = 22,517 + 0,005412 \bar{E}_f$$

para la cual se obtuvo un coeficiente de correlación de $r = 0,790$ y cuya comparación con la relación $f(\bar{R}_f, \bar{E}_f) = 0$ usada por el sistema australiano se señala en la Figura 2.

- iii) Con la ecuación de regresión anterior se obtuvo para los valores de \bar{R}_f de la serie aceptada, los valores de \bar{E}_f siguientes:

\bar{R}_f (MPa) 150 - 130 - 110 - 94 - 78 - 65 - 55 - 45

\bar{E}_f (MPa) 23.556 - 19.860 - 16.165 - 13.208 - 10.251 - 7.850 - 6.000 - 4.150

FIGURA 1
COMPARACION DE RELACION $R_f = f(E_f)$
ENTRE SISTEMA AUSTRALIANO Y PROCEDIMIENTO PROPUESTO.
ESTADO VERDE.

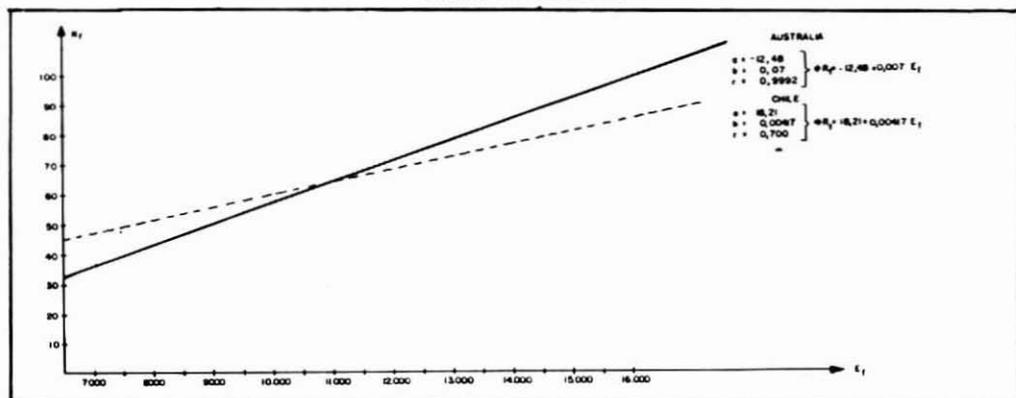
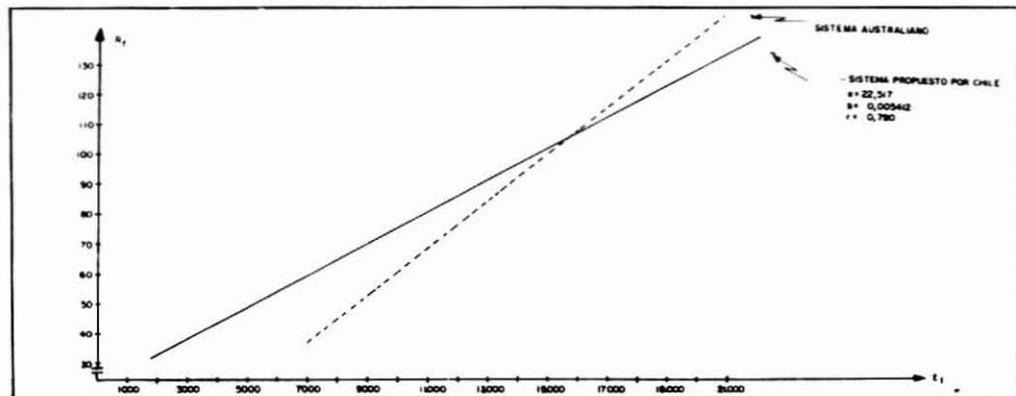


FIGURA 2
COMPARACION DE RELACION $R_f = f(E_f)$ ENTRE SISTEMA AUSTRALIANO
Y PROCEDIMIENTO PROPUESTO. ESTADO SECO.



- iv) La relación entre \bar{R}_C / \bar{R}_f para el estado seco resulta, en promedio, igual a 0,5886 con lo cual los valores para \bar{R}_C se calculan con la ecuación:

$$\bar{R}_C = 0,5886 \bar{R}_f, \text{ resultando:}$$

$$\bar{R}_f \text{ (MPa) } 150 - 130 - 110 - 94 - 78 - 65 - 55 - 45$$

$$\bar{R}_C \text{ (MPa) } 88 - 77 - 65 - 55 - 46 - 38 - 32 - 26$$

- v) De lo anterior resultan los grupos señalados en la Tabla 9.

TABLA 8
AGRUPACION PRELIMINAR PARA LAS MADERAS NACIONALES.
ESTADO VERDE.

PROPIEDAD (MPa)	GRUPO ASIGNADO SEGUN EL VALOR PROMEDIO DE LA PROPIEDAD MECANICA QUE SE INDICA						
	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7
Módulo de rotura - R_f	130	110	94	78	65	55	45
Módulo de Elast. - E_f	19.860	16.160	13.200	10.250	7.850	6.000	4.150
Tensión máx. de compresión Paralela - R_C	77	65	55	46	38	32	26

TABLA 9
AGRUPACION PRELIMINAR PARA LAS MADERAS NACIONALES.
ESTADO SECO.

PROPIEDAD (MPa)	GRUPO ASIGNADO SEGUN EL VALOR PROMEDIO DE LA PROPIEDAD MECANICA QUE SE INDICA						
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
Módulo de rotura - R_f	86	73	62	52	43	36	30
Módulo de Elast. - E_f	16.300	13.100	10.500	8.100	5.900	4.800	2.800
Tensión máx. de compresión Paralela - R_C	40	34	29	24	20	17	14

Metodología usada en la corrección del método de agrupamiento según la densidad aparente: Las especies madereras que no cuentan con valores de propiedades mecánicas se asignarán a uno de los grupos señalados, mediante el uso de las ecuaciones de regresión que resultan entre las variables \bar{R}_f y \bar{D}_{12} (densidad aparente para $H = 12^0/o$) determinadas tanto para el estado verde como para el estado seco.

Usando los valores de \bar{R}_f y \bar{D}_{12} que existen en el país se obtuvieron las siguientes ecuaciones de regresión:

$$\text{Estado verde: } \bar{R}_f = 0,632 \cdot D_{12}^{0,6838} \quad (r = 0,60)$$

$$\text{Estado seco: } \bar{R}_f = 0,519 \cdot D_{12}^{0,7821} \quad (r = 0,707)$$

Introduciendo en estas ecuaciones los valores de \bar{R}_f fijados en los distintos grupos para el estado verde y seco, se obtiene la Tabla 10 que permite asignar el grupo al cual pertenece una especie maderera para la cual aún no se conocen sus propiedades mecánicas.

TABLA 10
AGRUPACION PRELIMINAR PARA MADERAS CON PROPIEDADES
MECANICAS DESCONOCIDAS DE ACUERDO A SU DENSIDAD
APARENTE (H = 12^o/o).

ESTADO VERDE							
GRUPO	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
D_{00} (H = 12 ^o /o)	1.320	1.040	820	630	480	370	280
ESTADO SECO							
GRUPO	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7
D_{00} (H = 12 ^o /o)	1.170	940	770	610	480	390	300

NOTA: D_{00} = densidad aparente basada en masa y volumen a H = 12^o/o.

RESULTADOS OBTENIDOS

Aplicando al criterio corregido los valores de propiedades mecánicas en estado verde, determinados para las maderas crecidas en Chile, se obtienen los resultados señalados en la Tabla 11.

Para el estado seco los resultados se incluyen en la Tabla 12.

En la Tabla 13 se incluye un resumen de este proceso conjuntamente con la aplicación del criterio de agrupamiento de acuerdo a la densidad aparente para un contenido de humedad igual a 12^o/o.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Los valores de las propiedades mecánicas usados para agrupar las especies madereras según el método australiano y el método derivado de él, fueron recopilados de investigaciones hechas en los diferentes laboratorios de productos forestales del país. Se han preferido las propiedades determinadas según las prescripciones de las normas ASTM porque ellas representan el mayor volumen de antecedentes determinados en el país y además debido a que las normas chilenas son, en lo fundamental, una copia de las especificaciones de las normas norteamericanas.

Los procedimientos empleados para extraer las probetas que dieron origen a los datos ocupados no siempre siguieron una metodología adecuada pero, mientras no se renueven tales valores habrá que aplicarlos al método de agrupamiento definido.

La corrección efectuada al procedimiento australiano uniformó los grupos asignados al usar el módulo de rotura, el módulo de elasticidad y la tensión máxima de compresión paralela

ESPECIES MADERERAS SEGUN PROPIEDADES MECANICAS

a las fibras de las distintas especies. Esto se observa tanto para el estado verde (Tabla 8) como para el estado seco al aire (Tabla 9).

En general, el grupo que resulta al aplicar el valor de la densidad aparente ($H = 12^{\circ}/o$) de una madera es más conservador que el correspondiente al criterio de resistencia para esa madera, no alejándose de él en más de un grupo, tal como lo establece el método australiano.

De lo anterior se deduce que el ajuste era necesario y que las Tablas 8, 9 y 10, junto con respetar la filosofía del método australiano, reflejan las características físico-mecánicas de nuestras especies madereras.

TABLA 11
CLASIFICACION DE LAS MADERAS NACIONALES SEGUN PROCEDIMIENTO
PROPUESTO. ESTADO VERDE.

E S P E C I E				P R O P I E D A D (Mpa)			G R U P O
NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	ORIGEN	ANTECED.	R _f	E _f	R _c	
ALERCE	<i>Fitzroya cupressoides</i>		Valor Grupo	41,4 E6	6.531 E5	18,5 E6	E5
ARAUCARIA	<i>Araucaria araucana</i>		Valor Grupo	44,1 E5	8.213 E4	22,6 E5	E4
CANELO	<i>Drymis winteri</i>	Chiloé	Valor Grupo	49,6 E5	7.059 E5	20,2 E5	E5
COIHUE	<i>Nothofagus dombeysii</i>		Valor Grupo	53,0 E4	9.086 E4	25,6 E4	E4
COIHUE	<i>Nothofagus nitida</i>	Chiloé	Valor Grupo	55,3 E4	9.202 E4	22,4 E5	E4
COIHUE	<i>Nothofagus betaioides</i>	Magallanes	Valor Grupo	54,9 E4	9.405 E4	23,5 E5	E4
LAUREL	<i>Laurelia sempervirens</i>		Valor Grupo	38,4 E6	6.472 E5	18,5 E6	E5
LENGA	<i>Nothofagus pumilio</i>	Aisen Magallanes	Valor Grupo	48,8 E5	7.816 E5	21,3 E5	E5
LINGUE	<i>Persea lingue</i>		Valor Grupo	49,5 E5	7.992 E5	22,7 E5	E5
OLIVILLO	<i>Aextoxicon punctatum</i>		Valor Grupo	47,1 E5	7.551 E5	21,8 E5	E5
RAULI	<i>Nothofagus alpina</i>		Valor Grupo	56,8 E4	8.051 E5	28,2 E4	E4
ROBLE	<i>Nothofagus obliqua</i>		Valor Grupo	52,1 E4	8.600 E4	25,8 E4	E4
ROBLE	<i>Nothofagus glauca</i>	Maule	Valor Grupo	52,9 E4	7.268 E5	25,4 E4	E4
TEPA	<i>Laurelia philippiana</i>		Valor Grupo	51,4 E5	8.032 E5	21,0 E5	E5
ULMO	<i>Eucryphia cordifolia</i>		Valor Grupo	65,0 E3	10.219 E4	29,5 E3	E3
MAÑO MACHO	<i>Podocarpus nubigenus</i>		Valor Grupo	48,5 E5	7.806 E5	22,3 E5	E5
ALAMO	<i>Populus sp.</i>		Valor Grupo	34,6 E7	4.962 E6	15,9 E7	E6
EUCALIPTO	<i>Eucalyptus globulus</i>	Santiago Valparaiso	Valor Grupo	76,3 E2	11.792 E3	35,6 E2	E2
PINO INSIGNE	<i>Pinus radiata</i>		Valor Grupo	35,0 E7	6.423 E5	14,6 E7	E6
PINO OREGON	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Temuco Villarrica	Valor Grupo	44,2 E5	6.835 E5	20,0 E5	E5
CIPRES DE LA CORDILLERA	<i>Austrocedrus chilensis</i>		Valor Grupo	41,2 E6	6.816 E5	19,4 E6	E5
CIPRES DE LAS GUAITECAS	<i>Pilgerodendron uvifera</i>	Chiloé	Valor Grupo	47,8 E5	4.990 E6	18,8 E6	E5

TABLA 12
CLASIFICACION DE LAS MADERAS NACIONALES SEGUN PROCEDIMIENTO
PROPUESTO. ESTADO SECO.

E S P E C I E				PROPIEDAD (MPa)			GRUPO
NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	ORIGEN	ANTECED.	E _f	E _f	R _c	
ALERCE	Fitzroya cupressoides		Valor Grupo	59,8 ES6	8.041 ES5	35,5 ES6	ES5
ARAUCARIA	Araucaria araucana		Valor Grupo	75,8 ES5	11.444 ES4	41,6 ES5	ES4
CANELO	Drymis winteri	Chiloé	Valor Grupo	68,7 ES5	8.712 ES5	36,0 ES6	ES5
CANELO	Drymis winteri		Valor Grupo	69,2 ES5	9.257 ES5	36,5 ES6	ES5
CIPRES DE LA CORDILLERA	Austrocedrus chilensis		Valor Grupo	63,7 ES6	8.532 ES5	37,1 FS6	ES5
CIPRES DE LAS GUAITECAS	Pilgerodendron uvifera	Chiloé	Valor Grupo	60,5 ES6	5.722 ES7	40,6 ES5	ES6
COIHUE	Nothofagus dombeyi		Valor Grupo	90,6 ES4	13.043 ES4	47,9 ES4	ES4
COIHUE	Nothofagus nitida	Chiloé	Valor Grupo	91,6 ES4	12.283 ES4	48,6 ES4	ES4
COIHUE	Nothofagus betulides	Magallanes	Valor Grupo	69,5 ES5	10.111 ES5	43,6 ES5	ES5
LAUREL	Laurelia sempervirens		Valor Grupo	74,7 ES5	11.170 ES4	50,8 ES4	ES4
LENGA	Nothofagus pumilio	Aisén Magallanes	Valor Grupo	86,6 ES4	9.973 ES5	42,2 ES5	ES4
LINGUE	Persea lingue		Valor Grupo	97,1 ES3	12.381 ES4	50,4 ES4	ES3
MAÑO HEMBRA	Saxegothaea conspicua		Valor Grupo	52,4 ES7	6.963 ES6	48,6 ES5	ES6
MAÑO HOJAS LARGAS	Podocarpus saligna		Valor Grupo	91,6 FS4	10.356 FS4	55,4 ES3	ES4
MAÑO MACHO	Podocarpus nubigenus		Valor Grupo	68,4 ES5	8.218 ES5	51,1 ES4	ES5
OLIVILLO	Aextoxicon punctatum		Valor Grupo	70,6 ES5	9.660 ES5	42,0 ES5	ES5
RAULI	Nothofagus alpina		Valor Grupo	76,9 ES5	9.787 ES5	35,9 ES6	ES5
ROBLE <i>pellin</i>	Nothofagus obliqua		Valor Grupo	82,1 ES4	12.121 ES4	46,7 ES4	ES4
ROBLE	Laurelia philippiana	Maule	Valor Grupo	79,7 ES4	9.224 ES5	45,9 ES4	ES4
TEPA	Laurelia philippiana		Valor Grupo	77,6 ES5	9.611 ES5	40,9 ES5	ES5
TINEO	Weinmannia trichosperma		Valor Grupo	88,4 ES4	11.866 ES4	47,5 ES4	ES4
ULMO	Eucryphia cordifolia		Valor Grupo	87,0 ES4	11.032 ES4	64,1 ES3	ES4
ALAMO	Populus sp.		Valor Grupo	52,6 ES7	7.620 ES6	30,0 ES7	ES6
EUCALIPTO	Eucalyptus globulus	Santiago Valparaíso	Valor Grupo	117,5 FS2	15.691 ES3	68,5 FS2	ES2
PINO INSIGNE	Pinus radiata		Valor Grupo	64,4 ES6	8.355 ES5	36,3 FS6	ES5
PINO OREGON	Pseudotsuga menziesii	Temuco Villarrica	Valor Grupo	77,7 ES5	9.218 ES5	37,3 ES6	ES5

ESPECIES MADERERAS SEGUN PROPIEDADES MECANICAS

TABLA 13

AGRUPACION DE LAS MADERAS NACIONALES SEGUN DENSIDAD Y COMPARACION CON LA CLASIFICACION SEGUN RESISTENCIA. METODO CORREGIDO.

ESTADO VERDE				ESTADO SECO			
E S P E C I E	Densidad Kg/m ³	GRUPO SEGUN		E S P E C I E	Densidad Kg/m ³	GRUPO SEGUN	
		Densidad	Resistencia			Densidad	Resistencia
EUCALIPTO	800	E4	E2	EUCALIPTO	800	ES3	ES2
ULMO	728	E4	E3	LINGUE	618	ES4	ES3
ARAUCARIA	672	E4		ARAUCARIA	672	ES4	
COIHUE	663	E4		COIHUE	663	ES4	
COIHUE (Chiloé)	618	E5		COIHUE (Chiloé)	618	ES4	
COIHUE (Magall.)	—	—		LAUREL	586	ES5	
RAULI	539	E5		LENGA	584	ES5	ES4
ROBLE	778	E4		MAÑO H. LARGAS	—	—	
ROBLE (Maule)	715	E4		ROBLE	778	ES3	
TINEO	756	E4		ROBLE (Maule)	715	ES4	
				TINEO	756	ES4	
				ULMO	728	ES4	
ALERCE	542	E5		ALERCE	542	ES5	
CANELO (Chiloé)	504	E5		CANELO	509	ES5	
LENGA	584	E5		CANELO (Chiloé)	504	ES5	
LINGUE	618	E5		CIPRES (Cord.)	546	ES5	
OLIVILLO	597	E5		COIHUE (Magall.)	—	—	
TEPA	563	E5	E5	MAÑO MACHO	522	ES5	ES5
MAÑO MACHO	522	E5		OLIVILLO	527	ES5	
PINO OREGON	446	E6		RAULI	539	ES5	
CIPRES (Cord.)	546	E5		TEPA	563	ES5	
LAUREL	586	E5		PINO INSIGNE	513	ES5	
CIPRES (Guait.)	509	E5		PINO OREGON	446	ES6	
ALAMO	433	E6		CIPRES (Guait.)	509	ES5	
PINO INSIGNE	513	E5	E6	MAÑO HEMBRA	—	—	ES6
				ALAMO	433	ES6	

CONCLUSIONES

1. El agrupamiento de especies madereras según sus propiedades mecánicas constituye una etapa necesaria para proceder con la asignación de las tensiones admisibles a las diferentes maderas que se usan en la construcción.
2. El procedimiento adoptado en Chile para agrupar las especies madereras según sus propiedades mecánicas está basado en el criterio australiano, el cual se ajustó para considerar las características físico-mecánicas de las maderas crecidas en el país.
3. El procedimiento adoptado contempla siete grupos a los cuales se puede asignar una especie maderera según sus propiedades mecánicas en estado verde (ver Tabla 8) y siete grupos para el estado seco al aire (ver Tabla 9).

4. Las maderas, para las cuales no se conocen sus propiedades mecánicas, pueden ser incorporadas al sistema de agrupamiento en base al valor medio de su densidad aparente (masa y volumen determinados a un contenido de humedad igual a 12^o/o) usando la Tabla 10.
5. Las pautas y criterios analizados en este trabajo constituyeron los antecedentes básicos para estructurar la norma chilena NCh 1989 Maderas. Agrupamiento de Especies Madereras según su Resistencia. Procedimiento, aprobada en 1986.
6. La aplicación del método especificado en la norma NCh 1989, usando los datos con que se cuentan a la fecha para las diferentes especies madereras crecidas en el país, da como resultado la agrupación, según resistencia, señalada en la Tabla 13.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- CENTENO, J.C. (1978). Andean Grading System for Structural Hardwood Timber. Working Stress-Strength Groups. Forest Products Research Society, 32nd Annual Meeting, Atlanta, Georgia, U.S.A.
- ESPILY JR., E.B. (1978). Strength Grouping of Philippine Timbers for Utilization of Lesser-Known Species. For. Prod. Res. Ind. Development Commission, Nat. Sci. Development Board. Tech. Note N° 187.
- KEATING, W.G. (1985). Review of Timber Grouping Systems. UNIDO. Meeting on Timber Stress Grading and Strength Grouping, Vienna, Austria, December. UNIDO Document ID/WG 359/4.
- KEATING, W.G. (1981). Utilization of mixed species through Grouping and Standards. Aust. For. 43(4): 233-244.
- KEATING, W.G. and BOLZA, E. (1982). Characteristics, properties and uses of 362 species and species groups from South-East Asia, Northern Australia and Pacific Region. Inkata Press, Melbourne, Aust.
- KLOOT, N.H. (1973). The Strength Group and Stress Grade Systems. CSIRO Aust. For. Prod. Newsl. N° 394. Sep-Oct., pp 1-12.
- LEICESTER, R.H. (1981). Grouping and Selection of species for Structural Utilization. CSIRO, Aust. Div. of Bldg Res. Tech. Paper (Second Series) N° 39.