

RESUMEN

El sistema adoptado en la norma chilena NCh 1990 "Madera. Tensiones Admisibles para Madera Estructural", fue ideado en Australia y consiste en definir doce clases estructurales, para cada una de las cuales se entregan valores de tensiones admisibles de flexión, compresión paralela, tracción paralela, cizalle y módulo de elasticidad en flexión. Las tensiones admisibles de un elemento perteneciente a una determinada especie maderera se obtienen en función del grupo estructural al cual se asigna la especie maderera, del estado de humedad de la madera y de la calidad o grado estructural con el cual el elemento ha sido seleccionado.

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 características físico-mecánicas de las especies madereras nacionales y entrega el procedimiento que se sigue en su aplicación práctica.

ABSTRACT

The system adopted in the Chilean Standard NCh 1990 "Timber Allowable Stresses for Structural Timber" was conceived in Australia and defines twelve structural grades for which flexural allowable stresses, parallel compression, parallel tension, shearing, and flexural elasticity module are provided. The allowable stresses of an element pertaining to a determined wood species are obtained in function of the structural group to which the wood species is assigned, to the wood moisture status and the quality or structural grade which the element has been selected.

The present work, analyzes in detail the process just as it is done in Australia. It explains the modifications needed to adopt it to the physical and mechanical properties to the Chilean wood species and gives the procedure to be followed for its practical application.

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

INTRODUCCION

La finalidad del presente artículo es entregar las pautas y criterios que se siguieron para estructurar la norma chilena NCh 1990 "Madera. Tensiones Admisibles para Madera Estructural", destinada a definir tensiones admisibles de flexión, compresión paralela, tracción paralela, compresión normal, cizalle y módulo de elasticidad en flexión, para las maderas crecidas en Chile que se destinen a un uso estructural.

La determinación de las tensiones admisibles es una etapa importante del proceso para asignar tensiones de diseño a las piezas de madera que se usan en los diferentes sistemas constructivos.

Tradicionalmente se ha usado el procedimiento que implica la deducción, para cada especie, de tensiones básicas basadas en los resultados obtenidos de probetas estándares, libres de defectos y que consiste en la estimación de un valor mínimo probable, el cual se reduce con factores que consideran la duración de carga y la existencia de sobrecargas accidentales. Posteriormente se afecta la tensión básica por un coeficiente que contempla el efecto de las características reductoras de la resistencia (defectos de la madera) que se aceptan en un grado determinado. El valor resultante queda identificado como tensión admisible, el cual puede definirse como la carga por unidad de superficie que puede soportar elásticamente un elemento de madera con características reductoras (defectos) debidamente limitadas y sometido a solicitaciones de acción prolongada.

Este proceso requiere del conocimiento de las propiedades mecánicas de todas las especies madereras que se usan corrientemente en la construcción, determinadas de acuerdo a métodos confiables que proporcionen valores representativos del recurso existente en el territorio nacional.

En Chile, sólo algunas maderas cuentan con tales antecedentes, lo cual hace difícil la aplicación del proceso de determinación de tensiones admisibles mediante el uso de valores de tensiones básicas. A fin de incorporar todas las maderas que se pueden usar en estructuras, a un mecanismo común de obtención de tensiones admisibles, en Australia se ha diseñado un procedimiento que agrupa las especies madereras de acuerdo a sus propiedades resistentes (8), que define una serie de "clases estructurales", para cada una de las cuales entrega tensiones admisibles de flexión, compresión paralela y normal, cizalle y módulo de elasticidad y que son asignadas a las distintas maderas en función de los grados de calidad definidos para ellas.

Este trabajo describe el método australiano que establece tales clases estructurales; posteriormente se refiere al método elegido para la norma chilena y finalmente señala el proceso mediante el cual se asignan las tensiones admisibles a las maderas que crecen en Chile.

ANTECEDENTES GENERALES

Agrupamiento de las especies madereras

El grado de motivación para adoptar un sistema de agrupamiento de las maderas, basado en sus propiedades estructurales, varía con el número de especies que es necesario acomodar. Sin un agrupamiento, son notorios los problemas que nacen cuando se necesita publicar información para el diseño. Aun cuando en un país se cuente con datos de resistencia para un gran número de especies, no es fácil publicar la información para el diseño con una forma clara y accesible. Es en estos casos cuando el uso de las técnicas de agrupamiento facilita la presentación de los datos.

Donde el agrupamiento introduce ventajas que son de un valor particular, es en el área que regula la construcción. Además de la obvia simplificación de la presentación escrita de las

especificaciones, el agrupamiento permite tablas de diseño que son fijas o permanentes. Esto significa que no es necesario introducir cambios cada vez que se obtienen antecedentes de resistencia para una nueva especie o en el caso de otra, que existe en el mercado, y se procede a reevaluar.

Cuando sólo una especie maderera domina el ámbito de la construcción, el agrupamiento también resulta ventajoso. Las propiedades estructurales, particularmente de las especies plantadas, pueden variar entre localidades, entre distintas edades o de acuerdo a los métodos de manejo del bosque. En este caso, el agrupamiento permite asignar la madera proveniente de poblaciones según sitio, edad, etc., a distintos grupos o agregar un nuevo conjunto de tensiones admisibles a las clases estructurales ya definidas.

En general, se puede afirmar que la técnica de agrupamiento de especies ayuda a una mejor utilización de la madera y tiene especial relevancia en el mercado de la madera estructural. En resumen, las ventajas de esta técnica son :

- a) Las regulaciones de construcción están referidas sólo a un limitado conjunto de parámetros de diseño.
- b) La comercialización de la madera estructural se hace más fácil debido a que queda referida en términos de propiedades estructurales y no mediante la nominación de la especie y al método de clasificación.
- c) El proveedor obtiene una mayor flexibilidad en la comercialización debido a que el rango de especies disponibles es mucho mayor.
- d) Se facilita la incorporación al mercado de especies poco conocidas.
- e) Se simplifica la comercialización nacional e internacional de madera estructural.
- f) Se facilita la transferencia tecnológica a través de normas y manuales de diseño.
- g) Es más económico, en tiempo y material, ubicar una especie maderera en un grupo ya definido que al correspondiente desarrollo individual de tensiones admisibles para esa especie.
- h) Es posible agrupar especies, aunque en forma conservadora, basándose sólo en la medición de sus respectivas densidades.

Método australiano para agrupar las tensiones admisibles

El primer intento para agrupar especies según los valores medios obtenidos de ensayos estándares de probetas libres de defectos se hizo en 1939 por los investigadores LANGLANDS y THOMAS (6). Posteriormente, PEARSON (1965) (7) y KLOOT (1973) (5) revisaron y extendieron dicho agrupamiento, desarrollando un conjunto de tensiones admisibles que fueron la base para el sistema de clasificación estructural actual. A partir de este conjunto de tensiones admisibles fue posible desarrollar grupos adecuados de especies clasificadas de acuerdo a su resistencia. Este proceso se contraponen al procedimiento habitual de deducir tensiones admisibles partiendo de las tensiones básicas.

COOPER (1953) (1) demostró la conveniencia de usar una serie geométrica para el establecimiento del conjunto de tensiones admisibles, lo cual fue respaldado por la International Organization for Standardization (ISO) y por la FAO. Se aceptó la serie geométrica de razón 1,25 (Serie R10) que al usar las unidades del Sistema Internacional (SI), se convierte en :

34 - 27 - 22 - 17 - 14 - 11 - 8 - 7 - 5 - 4 etc. (MPa)

Estos valores se asignan a la tensión admisible por flexión, lo cual se identifica anteponiendo la letra F. Las tensiones admisibles para las otras solicitaciones se obtienen mediante ecuaciones de regresión lineal.

Aplicando lo anterior se obtiene la Tabla 1, la cual es la base del actual sistema australiano de clasificación estructural.

TABLA 1

CLASES ESTRUCTURALES Y TENSIONES ADMISIBLES ADOPTADAS PARA ELLAS. METODO AUSTRALIANO

Flexión* Estructural	TENSIONES ADMISIBLES (MPa)				
	Flexión	Compresión Paralela	Tracción Paralela	Cizalle	Módulo de Elasticidad en Flexión
F 34	34,5	26,0	20,7	2,45	21.500
F 27	27,5	20,5	16,5	2,05	18.500
F 22	22,0	16,5	13,2	1,70	16.000
F 17	17,0	13,0	10,2	1,45	14.000
F 14	14,0	10,2	8,4	1,25	12.500
F 11	11,0	8,4	6,6	1,05	10.500
F 8	8,6	6,6	5,2	0,86	9.100
F 7	6,9	5,2	4,1	0,72	7.900
F 5	5,5	4,1	3,3	0,62	6.900
F 4	4,3	3,3	2,6	0,52	6.100
F 3	3,4	2,6	2,1	0,43	5.200
F 2	2,8	2,1	1,7	0,36	4.500

* La clase estructural se define como el índice de la capacidad resistente de una pieza de madera, determinado mediante un proceso de clasificación visual o mecánico. Se identifica en la forma "F_x" que señala, para ella, una tensión admisible de flexión (F) aproximadamente X Megapascal. Además, entrega las otras tensiones admisibles necesarias para el diseño estructural.

TABLA 2

RELACION ENTRE EL AGRUPAMIENTO DE LA ESPECIE, EL GRADO ESTRUCTURAL OBTENIDO VISUALMENTE Y LA CLASE ESTRUCTURAL. ESTADO VERDE.

IDENTIFICACION VISUAL(*)		AGRUPAMIENTO DE ESPECIES						
IDENTIFICACION	Razón de Resistencia	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
		CLASE ESTRUCTURAL						
Grado Estructural N° 1	0,75	F27	F22	F17	F14	F11	F8	F7
Grado Estructural N° 2	0,60	F22	F17	F14	F11	F8	F7	F5
Grado Estructural N° 3	0,48	F17	F14	F11	F8	F7	F5	F4
Grado Estructural N° 4	0,38	F14	F11	F8	F7	F5	F4	F3

(*) El grado estructural queda definido mediante la limitación de las magnitudes de los defectos, de modo que cada uno de ellos no disminuya la resistencia de la pieza libre de defectos en más del porcentaje señalado por la razón de resistencia.

La siguiente etapa del método australiano es relacionar el agrupamiento de las especies madereras (4) de acuerdo a sus propiedades mecánicas, la calidad estructural o grado estructural determinado visualmente y la clase estructural (F_x) definida en Tabla 1. Estas relaciones se señalan en la Tabla 2 para madera en estado verde y en la Tabla 3 para madera en estado seco ($H = 12\%$).

TABLA 3

**RELACION ENTRE EL AGRUPAMIENTO DE LA ESPECIE,
EL GRADO ESTRUCTURAL OBTENIDO VISUALMENTE Y
LA CLASE ESTRUCTURAL. ESTADO SECO ($H = 12\%$)**

IDENTIFICACION VISUAL (*)		AGRUPAMIENTO DE ESPECIES							
IDENTIFICACION	Razón de Resistencia	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8
		CLASE ESTRUCTURAL							
Grado Estructural N° 1	0,75		F34	F27	F22	F17	F14	F11	F8
Grado Estructural N° 2	0,60	F34	F27	F22	F17	F14	F11	F8	F7
Grado Estructural N° 3	0,48	F27	F22	F17	F14	F11	F8	F7	F5
Grado Estructural N° 4	0,38	F22	F17	F14	F11	F8	F7	F5	F4

(*) El grado estructural queda definido mediante la limitación de las magnitudes de los defectos, de modo que cada uno de ellos no disminuya la resistencia de la pieza libre de defectos en más del porcentaje señalado por la razón de resistencia.

TABLA 4

TENSION ADMISIBLE PARA COMPRESION NORMAL A LAS FIBRAS

AGRUPAMIENTO PARA MADERA EN ESTADO		TENSION ADMISIBLE PARA COMPRESION NORMAL (MPa)
Verde	Seco ($H = 12\%$)	
	SD1	10,4
	SD2	9,0
	SD3	7,8
S1	SD4	6,6
S2	SD5	5,2
S3	SD6	4,1
S4	SD7	3,3
S5	SD8	2,6
S6		2,1
S7		1,7

Una vez fijada la clase estructural para una determinada madera, se procede a la asignación de las tensiones admisibles mediante los valores que para esa clase estructural entrega la Tabla 1.

El valor de tensión admisible de compresión normal se obtiene de la Tabla 4, la cual sólo depende del grupo de la especie maderera.

Tensiones Admisibles para las maderas nacionales según procedimiento australiano

Al aplicar el método australiano a las maderas crecidas en Chile se obtienen los resultados señalados en la Tabla 5 para el estado verde y en la Tabla 6 para el estado seco ($H = 12\%$).

TABLA 5

TENSIONES ADMISIBLES QUE LES CORRESPONDEN A LAS MADERAS CRECIDAS EN CHILE, SEGUN METODO AUSTRALIANO. ESTADO VERDE.

GRUPO ESTRUCTURAL	ESPECIE MADERERA	TENSIONES ADMISIBLES (*) SEGUN GRADO ESTRUCTURAL APLICADO A CADA GRUPO			
		Grado Estr. N° 1 (RR = 0,75)	Grado Estr. N° 2 (RR = 0,60)	Grado Estr. N° 3 (RR = 0,48)	Grado Estr. N° 4 (RR = 0,38)
S 3	EUCALIPTO	F17	F14	F11	F8
S 4	ULMO	F14	F11	F8	F7
S 5	COIGÜE COIGÜE (Chiloé) COIGÜE (Magallanes) RAULI ROBLE	F11	F8	F7	F5
S 6	ARAUCARIA CANELO LENGA LINGUE MAÑO MACHO OLIVILLO ROBLE (Maule) TEPA	F8	F7	F5	F4
S 7	ALERCE CIPRES CORDILLERA CIPRES GUAITECAS LAUREL PINO OREGON	F7	F5	F4	F3
S 8	ALAMO PINO RADIATA	F5	F4	F3	F2

(*) Los valores de las tensiones admisibles se pueden obtener de Tabla 1.

TABLA 6

**TENSIONES ADMISIBLES QUE LES CORRESPONDERIAN A LAS
MADERAS CRECIDAS EN CHILE, SEGUN METODO
AUSTRALIANO. ESTADO SECO (H = 12%)**

GRUPO ESTRUCTURAL	ESPECIE MADERERA	TENSIONES ADMISIBLES (*) SEGUN GRADO ESTRUCTURAL APLICADO A CADA GRUPO			
		Grado Estr. N° 1 (RR = 0,75)	Grado Estr. N° 2 (RR = 0,60)	Grado Estr. N° 3 (RR = 0,48)	Grado Estr. N° 4 (RR = 0,38)
SD3	EUCALIPTO	F27	F22	F17	F14
SD5	COIGÜE COIGÜE (Chiloé) LINGÜE ROBLE TINEO ULMO	F17	F14	F11	F8
SD6	ARAUCARIA CANELO COIGÜE (Magallanes) LAUREL LENGA MAÑO HOJAS LARGAS OLIVILLO RAULI ROBLE (Maulé) TEPA PINO OREGON	F14	F11	F8	F7
SD7	ALERCE CANELO (Chiloé) CIPRES CORDILLERA MAÑO MACHO PINO RADIATA	F11	F8	F7	F5
SD8	CIPRES GUAITECAS MAÑO HEMBRA ALAMO	F8	F7	F5	F4

(*) Los valores de las tensiones admisibles se pueden obtener de Tabla 1.

A fin de establecer la aplicabilidad del método australiano a las maderas que crecen en Chile se determinaron las tensiones admisibles de cuatro especies crecidas en el país, dos nativas y dos introducidas, mediante el método australiano (Método A) y el tradicional que contempla el uso de la tensión básica calculada en base a la resistencia al límite de exclusión del 5% y de los factores de ajuste señalados en la Tabla 7 (Método B).

Las expresiones generales en el Método B fueron las siguientes :

$$T.B = \frac{R_K}{n} = \frac{\bar{R} \cdot 1,645 S_R}{n}$$

Para: flexión, compresión paralela, tracción paralela y cizalle.

$$T.B = \frac{\bar{R}}{n}$$

Para: compresión normal y módulo de elasticidad en flexión.

en que:

T.B. = tensión básica

R_K = resistencia característica, calculada en base al límite de exclusión del 5%.

\bar{R} = resistencia media

n = factores de ajuste a ser aplicados a las propiedades obtenidas en madera libre de defectos y cuyos valores son los incluidos en Tabla 7.

TABLA 7

FACTORES DE AJUSTE (n)

PROPIEDAD	CONIFERAS	LATIFOLIADAS
- Flexión	2,1	2,3
- Módulo de elasticidad	0,94	0,94
- Tracción paralela	2,1	2,3
- Compresión paralela	1,9	2,1
- Cizalle	4,1	4,5
- Tensión en el límite de proporcionalidad en compresión normal	1,5	1,5

Los valores obtenidos por ambos métodos se entregan en la Tabla 8 para el estado verde y Tabla 9 para el estado seco (H = 12%).

Discusión de las tensiones admisibles resultantes para las maderas nacionales originadas del uso directo del método australiano

De la simple observación de los valores de tensiones admisibles encontradas por el método australiano (Método A) y por el tradicional (Método B) se observa que:

a) En general, las tensiones admisibles derivadas de la aplicación del Método A son menores que aquellas que entrega el Método B. La excepción ocurre con la tensión admisible de compresión paralela y el módulo de elasticidad en flexión (E_f).

b) Los valores deducidos por ambos métodos son semejantes, con excepción del módulo de elasticidad (E_f).

c) Los E_f que se deducen con el Método A (australiano) varían con el grado estructural y aquellos obtenidos con el Método B (tradicional) son constantes.

Este desajuste del módulo de elasticidad en flexión se discutió en profundidad en el artículo "Agrupamiento de Especies Madereras que Crecen en Chile según sus Propiedades

TABLA 8

COMPARACION ENTRE LAS TENSIONES ADMISIBLES DETERMINADAS
SEGUN EL METODO AUSTRALIANO (METODO A) Y
EL TRADICIONAL (METODO B). ESTADO VERDE

E S P E C I E		TENSIO-	GRADO 1		GRADO 2		GRADO 3		GRADO 4	
NOMBRE	GRUPO SEGUN	NES	(RR = 0,75)		(RR = 0,60)		(RR = 0,48)		(RR = 0,38)	
	MET. AUSTR.	MPa	Met. A	Met. B						
Coigüe	S 5	$\sigma_{f,ad}$	11,0	15,2	8,6	12,2	6,9	9,7	5,5	7,7
		$\sigma_{cp,ad}$	8,4	7,7	6,6	6,1	5,2	4,9	4,1	3,9
		$\sigma_{tp,ad}$	6,6	9,1	5,2	7,3	4,1	5,8	3,3	4,6
		$\sigma_{cz,ad}$	1,05	1,12	0,86	0,90	0,72	0,72	0,62	0,57
		E_T	10.500	8.693	9.100	8.693	7.900	8.693	6.900	8.693
Tepa	S 6	$\sigma_{f,ad}$	8,6	14,8	6,9	11,8	5,5	9,4	4,3	7,5
		$\sigma_{cp,ad}$	6,6	6,4	5,2	5,1	4,1	4,1	3,3	3,2
		$\sigma_{tp,ad}$	5,2	8,9	4,1	7,1	3,3	5,6	2,6	4,5
		$\sigma_{cz,ad}$	0,86	1,12	0,72	0,90	0,62	0,72	0,52	0,57
		E_T	9.100	8.609	7.900	8.609	6.900	8.609	6.100	8.609
Pino Radiata	S 8	$\sigma_{f,ad}$	5,5	10,9	4,3	8,7	3,4	7,0	2,8	5,5
		$\sigma_{cp,ad}$	4,1	4,1	3,3	3,2	2,6	2,6	2,1	2,1
		$\sigma_{tp,ad}$	3,3	6,6	2,6	5,2	2,1	4,2	1,7	3,3
		$\sigma_{cz,ad}$	0,62	0,87	0,52	0,69	0,43	0,55	0,36	0,44
		E_T	6.900	6.833	6.100	6.833	5.200	6.833	4.500	6.833
Eucalipto	S 3	$\sigma_{f,ad}$	17,0	22,0	14,0	17,6	11,0	14,1	8,6	11,2
		$\sigma_{cp,ad}$	13,0	12,1	10,2	9,7	8,4	7,8	6,6	6,1
		$\sigma_{tp,ad}$	10,2	13,2	8,4	10,6	6,6	8,5	5,2	6,7
		$\sigma_{cz,ad}$	1,45	1,60	1,25	1,28	1,05	1,03	0,82	0,81
		E_T	14.000	13.218	12.500	13.218	10.500	13.218	9.100	13.218

Mecánicas". Lo anterior establece la conveniencia de corregir las clases estructurales (Tabla 1) entregadas por el método australiano, a fin de adaptarlas a las características resistentes de las maderas que crecen en Chile.

CORRECCION DE LAS CLASES ESTRUCTURALES

- Al igual que el procedimiento australiano, se establecieron 12 clases estructurales, de modo que a cada clase le corresponda un valor de tensión admisible para las sollicitaciones de flexión, compresión paralela, tracción paralela, cizalle y módulo de elasticidad.
- Se escogió la serie geométrica del método australiano para la tensión admisible en flexión y las clases estructurales se designaron en forma similar. Los valores de la serie, en MPa, fueron:

34,5 - 27,5 - 22,0 - 17,0 - 14,0 - 11,0 - 8,6 - 6,9 - 5,5 - 4,3 - 3,4 y 2,8.

TABLA 9

COMPARACION ENTRE LAS TENSIONES ADMISIBLES DETERMINADAS SEGUN EL METODO AUSTRALIANO (METODO A) Y EL TRADICIONAL (METODO B). ESTADO SECO.

E S P E C I E		TENSIO-	GRADO 1		GRADO 2		GRADO 3		GRADO 4	
	GRUPO SEGUN	NES	(RR = 0,75)		(RR = 0,60)		(RR = 0,48)		(RR = 0,38)	
NOMBRE	MET. AUSTR.	MPa	Met. A	Met. B						
Coigüe	SD 5	$\sigma_{f,ad}$	17,0	19,2	14,0	15,4	11,0	12,3	8,6	9,7
		$\sigma_{cp,ad}$	13,0	13,8	10,2	11,1	8,4	8,8	6,6	7,0
		$\sigma_{tp,ad}$	10,2	11,5	8,4	9,2	6,6	7,4	6,2	5,8
		$\sigma_{cz,ad}$	1,45	1,64	1,25	1,31	1,05	1,05	0,86	0,83
		E_T	14.000	11.001	12.500	11.001	10.500	11.001	9.100	11.001
Tepa	SD 6	$\sigma_{f,ad}$	14,0	19,4	11,0	15,5	8,6	12,4	6,9	9,8
		$\sigma_{cp,ad}$	10,2	12,2	8,4	9,8	6,6	7,8	5,2	6,2
		$\sigma_{tp,ad}$	8,4	11,7	6,6	9,3	5,2	7,5	4,1	5,9
		$\sigma_{cz,ad}$	1,25	1,25	1,05	1,00	0,82	0,80	0,72	0,63
		E_T	12.500	10.226	10.500	10.226	9.100	10.226	7.900	10.226
Pino Radiata	SD 7	$\sigma_{f,ad}$	11,0	18,0	8,6	14,4	6,9	11,5	5,5	9,1
		$\sigma_{cp,ad}$	8,4	10,4	6,6	8,3	5,2	6,6	4,1	5,3
		$\sigma_{tp,ad}$	6,6	10,8	5,2	8,6	4,1	6,9	3,3	5,5
		$\sigma_{cz,ad}$	1,05	0,99	0,82	0,79	0,72	0,63	0,62	0,50
		E_T	10.500	8.888	9.100	8.888	7.900	8.888	6.900	8.888
Eucalipto	SD 3	$\sigma_{f,ad}$	27,5	30,7	22,0	24,6	17,0	19,6	14,0	15,6
		$\sigma_{cp,ad}$	20,5	18,8	16,5	15,1	13,0	12,0	10,2	9,5
		$\sigma_{tp,ad}$	16,5	18,4	13,2	14,7	10,2	11,8	8,4	9,3
		$\sigma_{cz,ad}$	2,05	2,13	1,70	1,71	1,45	1,37	1,25	1,08
		E_T	18.500	17.423	16.000	17.423	14.000	17.423	12.500	17.423

Las clases estructurales se designaron anteponiendo la letra "F" a cada una de las tensiones admisibles señaladas, ajustadas al entero, con lo cual los doce grados quedaron así:

F34 - F27 - F22 - F17 - F14 - F11 - F8 - F5 - F7 - F5 - F4 - F3 y F2.

La identificación señala:

- Que se trata de clases estructurales
- Que cada clase involucra y proporciona tensiones admisibles para las sollicitaciones de flexión, comprensión paralela, cizalle y módulo de elasticidad en flexión.
- Que la identificación está dada por la tensión admisible de flexión (F) y que el valor de esta tensión, aproximadamente, el señalado por los dígitos que siguen a la F, en MPa. Así, F8 señala que la clase estructural tiene, aproximadamente, una tensión admisible de flexión igual a 8 MPa.

- El resto de las tensiones admisibles que proporciona la clase estructural son las que entrega el método australiano, con excepción del módulo de elasticidad en flexión E_f . Las tensiones admisibles de compresión paralela, tracción paralela y cizalle se han deducido, en Australia, a través de relaciones conocidas y ecuaciones de regresión lineal entre cada una de ellas y la tensión admisible flexión.
- El módulo de elasticidad en flexión (E_f) se obtuvo mediante la aplicación de las ecuaciones de regresión lineal encontradas para las maderas que crecen en Chile, con los antecedentes obtenidos en los ensayos realizados en diferentes laboratorios nacionales de investigación.

RESULTADOS

El resultado de la corrección o ajuste descrito anteriormente se presenta en la Tabla 10, en la cual se incluyen las doce clases estructurales aceptadas por las norma chilena NCh 1990 y sus correspondientes tensiones admisibles.

TABLA 10
CLASES ESTRUCTURALES DEFINIDAS EN NCh 1990.

Flexión Estructural	TENSIONES ADMISIBLES (MPa)				
	Flexión	Compresión Paralela	Tracción Paralela	Cizalle	Módulo de Elasticidad en Flexión
F 34	34,5	26,0	27,5	2,45	18.150
F 27	27,5	20,5	22,0	2,05	15.000
F 22	22,0	16,5	17,0	1,70	12.600
F 17	17,0	13,0	14,0	1,45	10.600
F 14	14,0	10,5	11,0	1,25	9.100
F 11	11,0	8,3	8,6	1,05	7.900
F 8	8,6	6,6	6,9	0,86	6.900
F 7	6,9	5,2	5,5	0,72	6.100
F 5	5,5	4,1	4,3	0,62	5.500
F 4	4,3	3,3	3,4	0,52	5.000
F 3	3,4	2,6	2,8	0,43	4.600
F 2	2,8	2,1	2,2	0,36	4.350

Aplicando el agrupamiento dado por la norma NCh 1989 (señalado en la Tabla 11) y los grados estructurales especificados para las especies latifoliadas (NCh 1970/1) y para las coníferas (NCh 1970/2) se obtienen las relaciones señaladas, en Tabla 12 para el estado verde y en Tabla 13 para el estado seco ($H = 12\%$).

Las tensiones admisibles de compresión normal se terminan con la Tabla 14.

Las tensiones admisibles determinadas por el método normalizado por NCh 1990 (Método C), es decir, el obtenido al ajustar el método australiano, se aplicó a las especies madereras: Coigüe, Tapa, Pino Radiata y Eucalipto, y se comparó con el método tradicional (identificado como Método B en Tablas 8 y 9). Los resultados de esta comparación se entregan en Tabla 15 para el estado verde y en la Tabla 16 para el estado seco ($H = 12\%$).

TABLA 11

AGRUPAMIENTO DADO POR LA NORMA NCh 1989.

ESTADO VERDE		ESTADO SECO	
ESPECIE	GRUPO	ESPECIE	GRUPO
EUCALIPTO	E 4	EUCALIPTO	ES 2
ULMO	E 3	LINGUE	ES 3
ARAUCARIA COIGÜE COIGÜE (Chiloé) COIGÜE (Magallanes) RAULI ROBLE ROBLE (Maule) TINEO	E 4	ARAUCARIA COIGÜE COIGÜE (Chiloé) LAUREL LENGA MAÑO HOJAS LARGAS ROBLE ROBLE (Maule) TINEO ULMO	ES 4
ALERCE CANELO (Chiloé) LENGA LINGUE OLIVILLO TEPA MAÑO MACHO PINO OREGON CIPRES (de la Cordillera) LAUREL CIPRES (De las Guaitecas)	E 5	ALERCE CANELO CANELO (Chiloé) CIPRES (De la Cordillera) COIGÜE (Magallanes) MAÑO MACHO OLIVILLO RAULI TEPA PINO RADIATA PINO OREGON	ES 5
ALAMO PINO RADIATA	E 6	CIPRES (De las Guaitecas) MAÑO HEMBRA ALAMO	ES 6

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

La determinación de las tensiones admisibles realizada con el método tradicional ha sido severamente criticada en la última década por investigadores de experiencia de países desarrollados. Uno de los típicos puntos en discusión es que él acepta un módulo de elasticidad constante para cualquier grado de calidad. El método australiano, y por ende, el normalizado, corrige esta situación, asignando diferentes valores de E_f a los distintos grados estructurales.

Respecto a las otras tensiones admisibles se observa una similitud aceptable entre los valores obtenidos por ambos métodos, resultando, en general, más conservadores los obtenidos por el método tradicional.

TABLA 12

**RELACION ENTRE EL AGRUPAMIENTO DE LA ESPECIE,
EL GRADO ESTRUCTURAL OBTENIDO VISUALMENTE Y
LA CLASE ESTRUCTURAL. ESTADO VERDE.**

IDENTIFICACION VISUAL(*)		AGRUPAMIENTO DE ESPECIES **						
IDENTIFICACION	Razón de Resistencia	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
		CLASE ESTRUCTURAL***						
		Grado Estructural N° 1	0,75	F27	F22	F17	F14	F11
Grado Estructural N° 2	0,60	F22	F17	F14	F11	F8	F7	F5
Grado Estructural N° 3	0,48	F17	F14	F11	F8	F7	F5	F4
Grado Estructural N° 4	0,38	F14	F11	F8	F7	F5	F4	F3

* Especificados en NCh 1970/1 (latifoliadas) y NCh 1970/2 (coníferas)

** Según NCh 1989 (ver Tabla 11)

*** Según Nch 1990 (ver Tabla 10)

TABLA 13

**RELACION ENTRE EL AGRUPAMIENTO DE LA ESPECIE,
EL GRADO ESTRUCTURAL OBTENIDO VISUALMENTE Y
LA CLASE ESTRUCTURAL. ESTADO SECO (H = 12%).**

IDENTIFICACION VISUAL(*)		AGRUPAMIENTO DE ESPECIES **						
IDENTIFICACION	Razón de Resistencia	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7
		CLASE ESTRUCTURAL***						
		Grado Estructural N° 1	0,75		F34	F27	F22	F17
Grado Estructural N° 2	0,60	F34	F27	F22	F17	F14	F11	F8
Grado Estructural N° 3	0,48	F27	F22	F17	F14	F11	F7	F7
Grado Estructural N° 4	0,38	F22	F17	F14	F11	F8	F7	F5

* Especificados en NCh 1970/1 (latifoliadas) y NCh 1970/2 (coníferas)

** Según NCh 1987 (ver Tabla 11)

*** Según Nch 1990 (ver Tabla 10)

El procedimiento normalizado permite asignar tensiones admisibles en forma aproximada y provisoria a maderas para las cuales se cuenta con poca información confiable, lo cual es el caso de numerosas especies madereras que crecen en el país.

El ensayo de piezas de madera a escala real permitirá deducir tensiones admisibles más exactas y reales con métodos que son ampliamente usados en países tecnológicamente desarrollados.

En Chile, este proceso ya se ha iniciado con el Pino Radiata, a través de CORMA y de la FUNDACION CHILE. Con estos métodos modernos es posible incorporar los resultados

TABLA 14

TENSION ADMISIBLE DE COMPRESION NORMAL

AGRUPAMIENTO PARA MADERA EN ESTADO		TENSION ADMISIBLE PARA COMPRESION
Verde	Seco (H = 12%)	NORMAL (MPa)
	ES 1	9,0
	ES 2	7,4
	ES 3	6,1
E 1	ES 4	5,0
E 2	ES 5	4,1
E 3	ES 6	3,4
E 4	ES 7	2,8
E 5		2,3
E 6		1,9
E 7		1,6

obtenidos a una de las clases estructurales definidas en la Tabla 10, en función de la tensión admisible de flexión y del módulo de elasticidad. Para las sollicitaciones de compresión y tracción paralela, cizalle y compresión normal se podrán adoptar los valores de tensiones admisibles dados por la norma NCh 1990 para la clase estructural seleccionada, si no se cuentan con las relaciones y regresiones entre estas resistencias y las obtenidas del ensayo de flexión.

CONCLUSIONES

- a) Las tensiones admisibles constituyen una etapa importante en el proceso de diseño estructural de las construcciones en madera.
- b) El procedimiento adoptado en Chile por la norma NCh 1990 "Madera. Tensiones Admisibles para Madera Estructural" está basado en el criterio australiano, el que se ajustó para considerar las características mecánicas de las maderas crecidas en el país.
- c) El procedimiento adoptado contempla doce clases estructurales (ver Tabla 10), a las cuales se puede asignar una especie maderera según su grupo estructural, definido éste en las normas NCh 1970/1 y NCh 1970/2.
- d) Cada clase estructural incluye los valores de tensiones admisibles de flexión, compresión

sión paralela, tracción paralela, cizalle y módulo de elasticidad. La tensión admisible de compresión normal a las fibras se determina sólo en función del grupo estructural de la madera y de su estado de humedad (verde o seca).

e) Las pautas y criterios analizados en este trabajo constituyeron los antecedentes que se tuvieron en cuenta para estructurar la norma chilena NCh 1990, aprobada en 1986.

f) La aplicación del método normalizado a cuatro especies madereras crecidas en el país (Coigüe, Tepa, Pino Radiata y Eucalipto) se presenta en las Tablas 15 para el estado verde y en Tabla 16 para el estado seco, bajo el encabezamiento "Método C".

TABLA 15

COMPARACION ENTRE LAS TENSIONES ADMISIBLES DETERMINADAS SEGUN EL METODO TRADICIONAL (METODO B) Y EL NORMALIZADO (METODO C). ESTADO VERDE.

ESPECIE		TENSIO- NES MPa	GRADO 1		GRADO 2		GRADO 3		GRADO 4	
NOMBRE	GRUPO SEGUN MET. AUSTR.		(RR = 0,75)		(RR = 0,60)		(RR = 0,48)		(RR = 0,38)	
			Met.A	Met. B	Met. A	Met.B	Met.A	Met.B	Met.A	Met.B
Coigüe	E 4	$\sigma_{t,ad}$	15,2	14,0	12,2	11,0	9,7	8,6	7,7	6,9
		$\sigma_{cp,ad}$	7,7	10,5	6,1	8,3	4,9	6,6	3,9	5,2
		$\sigma_{tp,ad}$	9,1	11,0	7,3	8,6	5,8	6,9	4,6	5,5
		$\sigma_{cz,ad}$	1,12	1,25	0,90	1,05	0,72	0,86	0,57	0,72
		E_t	8.693	9.100	8.693	7.900	8.693	6.900	8.693	6.100
Tepa	E 5	$\sigma_{t,ad}$	14,8	11,0	11,8	8,6	9,4	6,9	7,5	5,5
		$\sigma_{cp,ad}$	6,4	8,3	5,1	6,6	4,1	5,2	3,2	4,1
		$\sigma_{tp,ad}$	8,9	8,6	7,1	6,9	5,6	5,5	4,5	4,3
		$\sigma_{cz,ad}$	1,12	1,05	0,90	0,86	0,72	0,72	0,57	0,62
		E_t	8.609	7.900	8.609	6.900	8.609	6.100	8.609	5.500
Pino Radiata	E 6	$\sigma_{t,ad}$	10,9	8,6	8,7	6,9	7,0	5,5	5,5	4,3
		$\sigma_{cp,ad}$	4,1	6,6	3,2	5,2	2,6	4,1	2,1	3,3
		$\sigma_{tp,ad}$	6,6	6,9	5,2	5,5	4,2	4,3	3,3	3,4
		$\sigma_{cz,ad}$	0,87	0,86	0,69	0,72	0,55	0,62	0,44	0,5
		E_t	6.833	6.900	6.833	6.100	6.833	5.500	6.833	5.000
Eucalipto	E 2	$\sigma_{t,ad}$	22,0	22,0	17,6	17,0	14,1	14,0	11,2	11,0
		$\sigma_{cp,ad}$	12,1	16,5	9,7	13,0	7,8	10,5	6,1	8,3
		$\sigma_{tp,ad}$	13,2	17,0	10,6	14,0	8,5	11,0	6,7	8,6
		$\sigma_{cz,ad}$	1,60	1,70	1,28	1,45	1,03	1,25	0,81	1,05
		E_t	13.218	12.600	13.218	10.600	13.218	9.100	13.218	7.900

TABLA 16

COMPARACION ENTRE LAS TENSIONES ADMISIBLES DETERMINADAS SEGUN EL METODO TRADICIONAL (METODO B) Y EL NORMALIZADO (METODO C). ESTADO SECO (H = 12%).

E S P E C I E		TENSIO- NES MPa	GRADO 1		GRADO 2		GRADO 3		GRADO 4	
NOMBRE	GRUPO SEGUN MET. AUSTR.		(RR = 0,75)		(RR = 0,60)		(RR = 0,48)		(RR = 0,38)	
			Met.A	Met. B	Met. A	Met.B	Met.A	Met.B	Met.A	Met.B
Cogüe	ES 4	$\sigma_{f,ad}$	19,2	22,0	15,4	17,0	12,3	14,0	9,7	11,0
		$\sigma_{cp,ad}$	13,8	16,5	11,1	13,0	8,8	10,5	7,0	8,3
		$\sigma_{tp,ad}$	11,5	17,0	9,2	14,0	7,4	11,0	5,8	8,6
		$\sigma_{cz,ad}$	1,64	1,70	1,31	1,45	1,05	1,25	0,83	1,05
		E_f	11.001	12.600	11.001	10.600	11.001	9.100	11.001	7.900
Tepa	ES 5	$\sigma_{f,ad}$	19,4	17,0	15,5	14,00	12,4	11,0	9,8	8,6
		$\sigma_{cp,ad}$	12,2	13,0	9,8	10,5	7,8	8,3	6,2	6,6
		$\sigma_{tp,ad}$	11,7	14,0	9,3	11,0	7,5	8,6	5,9	6,9
		$\sigma_{cz,ad}$	1,25	1,45	1,00	1,25	0,80	1,05	0,63	0,86
		E_f	10.226	10.600	10.226	9.100	10.226	7.900	10.226	6.900
Pino Radiata	ES 6	$\sigma_{f,ad}$	18,0	17,0	14,4	14,0	11,5	11,0	9,1	8,6
		$\sigma_{cp,ad}$	10,4	13,0	8,3	10,5	6,6	8,3	5,3	6,6
		$\sigma_{tp,ad}$	10,8	14,0	8,6	11,0	6,9	8,6	5,5	6,9
		$\sigma_{cz,ad}$	0,99	1,45	0,79	1,25	0,63	1,05	0,50	0,86
		E_f	8.888	10.600	8.888	9.100	8.888	7.900	8.888	6.900
Eucalipto	ES 2	$\sigma_{f,ad}$	30,7	34,5	24,6	27,5	19,6	22,0	15,6	17,0
		$\sigma_{cp,ad}$	18,8	26,0	15,1	20,5	12,0	16,5	9,5	13,0
		$\sigma_{tp,ad}$	18,4	27,5	14,7	22,0	11,8	17,0	9,3	14,0
		$\sigma_{cz,ad}$	2,13	2,45	1,71	2,05	1,37	1,70	1,08	1,45
		E_f	17.423	18.150	17.423	15.000	17.423	12.600	17.423	10.600

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. COOPER, K.L. (1953). Preferred Stress Grades for Structural Timber. *Sust. J. Appl. Sci.* 4:77-83.
2. INN. NCh 1989. 1986. Agrupamiento de Especies Madereras según su Resistencia - Procedimiento. INN. Santiago, Chile. 12 p.
3. INN, NCh 1990. 1986. Madera. Tensiones Admisibles para Madera Estructural. INN. Santiago, Chile. 7 p.
4. KEATING, W.G. (1982). Review of Timber Strength Grouping Systems. UNIDO. Meeting on Timber Stress Grading and Sttrength Grouping, Viena, Austria, December. UNIDO Document ID/WG 359/4.
5. KLOOT, N.H. (1973). The Strength group and Strees grade Systems. CSIRO *Sust. For. Prod. Newsl.* N° 394. Sept-Oct., pp. 1-12.
6. LANGLANDS, I., and Thomas, A.J. (1939). Handbook of Structural Timber Design. CSIRO, Aust. Div. of For. Prod. Technical Paper N° 32.
7. PEARSON, R.G. (1965). The establishment of working Stresses for groups of species, CSIRO *Sust., Div. For. Prod. Technol. Paper* N° 35.
8. PEREZ, G. VICENTE (1987). Agrupamiento de Especies Madereras que Crecen en Chile según sus propiedades Mecánicas, INFOR Chile, Ciencia e Investigación Forestal - Vol 1, N° 1, Abril, pp. 89-103.