



Caracterización estructural de madera aserrada de pinos asociada a grados estructurales



Laura Moya
Facultad de Arquitectura, ORT
moya@ort.edu.uy

Proyecto FONDO MARIA VIÑAS PR FVM 2009 1 2772



Nota: Esta presentación se comparte con los integrantes del Consejo Sectorial Forestal Madera con el fin de difundir los resultados del proyecto.

Se deja constancia que un artículo científico con la información generada en este proyecto está siendo evaluado para su presentación en el Congreso WCTE 2014 y otro será enviado para revisión y presentación en las XXXVI Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural.

CONSEJO SECTORIAL FORESTAL MADERA- Rivera, 25 de julio de 2013

Justificación

La madera aserrada para aplicaciones estructurales debe ser previamente clasificada de acuerdo a su resistencia mecánica y rigidez. La **clasificación estructural** permite asignarle a cada categoría una familia de tensiones que posibilita **diseñar, calcular y construir edificaciones de madera en forma confiable y eficiente.**

En los países europeos y en Brasil, la madera aserrada estructural es clasificada en “clases resistentes”; en Chile y Argentina en “grados estructurales”.

En Uruguay la madera aserrada no se encuentra clasificada estructuralmente en el mercado local y sus propiedades estructurales **no han sido asignadas a grado o clase resistente.**



La falta de información sobre las propiedades estructurales de cada pieza de madera, es uno de los principales motivos por el cual la mayoría de arquitectos, ingenieros, constructores, **NO ADOPTEN maderas nacionales con fines estructurales en arquitectura y construcción.**

Con el fin de caracterizar madera de pinos y contribuir con información científica y técnica que permita establecer un sistema de clases resistentes de madera, la Facultad de Arquitectura de la Universidad ORT y el Departamento de Proyectos Forestales del LATU, presentaron ante la Agencia Nacional de Investigación e Innovación el proyecto “**Caracterización estructural de madera aserrada de pinos (*P. elliotti* y *P. taeda*) asociada a grados estructurales**”. Proyecto aprobado en noviembre de 2010.

Ref: PR_ FMV_2009_2772

Fondos obtenidos: U\$S 45.000

Fecha de inicio: marzo 2011.

Fecha de finalización marzo 2013.

Objetivo

Determinar las propiedades mecánicas de madera aserrada de pinos y asociarlas a “grados estructurales visuales” o “clases resistentes”

Estructura del proyecto

PARTE 1- Desarrollo de un programa de ensayo en el grado con muestras representativas de piezas de madera clasificadas en grados estructurales.

PARTE 2- Desarrollo de un programa de ensayos con pequeñas probetas de madera

- Los resultados de los ensayos de pequeñas probetas brindan información complementaria a los encontrados en la Parte 1.



PARTE 1



Metodología

¿Qué se entiende por grados visuales de madera aserrada de pino?

- La pieza de madera es clasificada visualmente según sus características, especialmente nudos, presencia de médula, inclinación de la fibra y alabeos, y es asignada a un grado estructural o rechazada.
- Cada pieza de madera es ensayada mecánicamente, para determinar su resistencia de flexión y módulo elástico, tracción paralela y compresión paralela.

Para cada grado, existe un conjunto de propiedades mecánicas asociadas.

Clasificación visual de madera de coníferas para uso estructural

Normas consultadas

- UNE 56544:2007- Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas. (España)
- IRAM 9670:2002- Madera estructural. Clasificación en grados de resistencia para la madera aserrada de pinos resinosos (Pino elliottii y Pino taeda) del noreste argentino mediante evaluación visual. (Argentina)
- NCh 1207:2005- Pino radiata. Clasificación visual para uso estructural. Especificaciones de los grados de calidad. (Chile)

NCh 1207- Of 2005

Define tres grados visuales:

- GS (grado selecto)
- G1
- G2

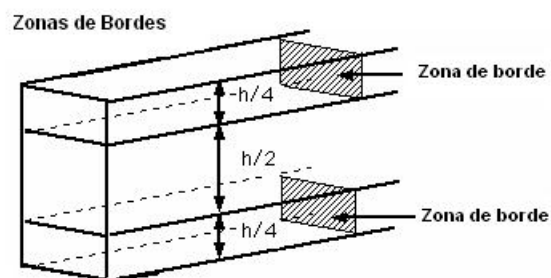
La presencia de **nudosidades** y la eventual presencia de **médula** determinan -en gran medida- la asignación de una pieza de madera a uno de los tres grados o su rechazo.

- Para controlar la presencia de **nudos** se aplica el método de la “razón de área-nudosa:RAN”

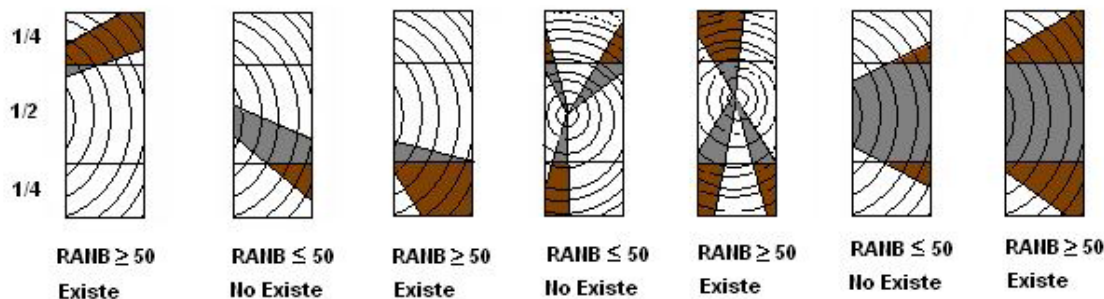
- La presencia de **médula** se considera como una característica no recomendable para los grados GS y G1, no tanto por sus implicancias debilitantes sino por las consecuencias que su presencia genera sobre la estabilidad dimensional de la pieza.

NCh1207-Of 2005						
Límites admisibles para los grados estructurales visuales						
Grado	GS		G1		G2	
Nudos	sin CB	con CB	sin CB	con CB	$h \leq 15 \text{ cm}$	$h > 15 \text{ cm}$
RANT	$\leq 33\%$	$\leq 20\%$	$\leq 50\%$	$\leq 33\%$	$\leq 66\%$	$\leq 50\%$
RANB	$\leq 50\%$	$> 50\%$	$\leq 50\%$	$> 50\%$		
RANI					$\leq 50\%$	$\leq 33\%$
RANNA	no se acepta		$\leq 0,25$		$\leq 0,33$	
Médula	no se acepta		se acepta con restricción		se acepta sin restricción	
Inclinación fibra	1:8		1:6		1:6	

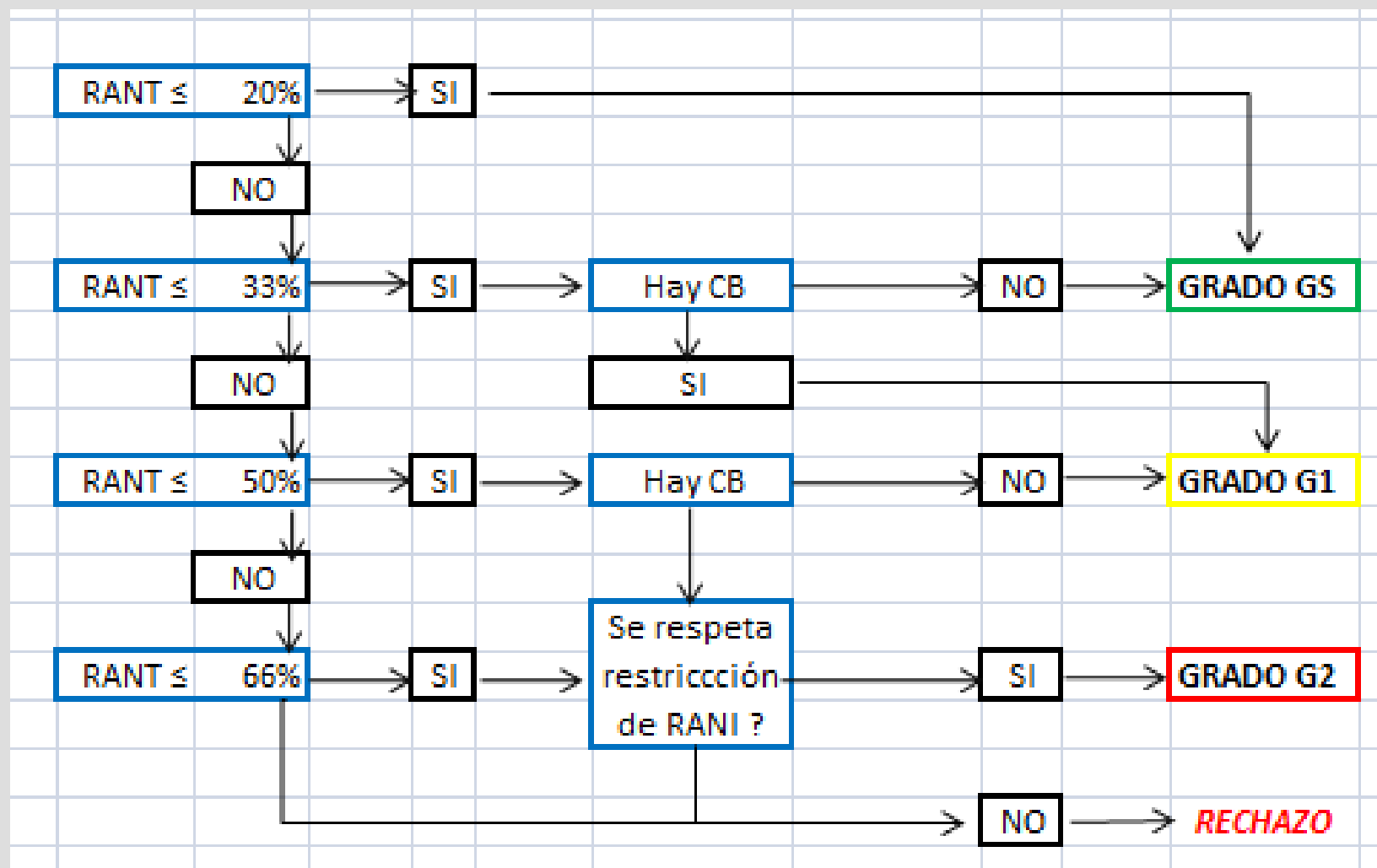
Razón de Area Nudosa en la Zona de Borde (RANB)



PROYECCIÓN DE NUDOS SOBRE UNA SECCIÓN TRANSVERSAL- Condición de Borde



Clasificación por nudosidades- RANT



Aptitud por alabeos

DIMENSIONES

menor o igual a
5 mm en seccion
tanto b como h

SI

NO

RECHAZO

ENCORVADURA (CROOK)

menor o igual a
15 mm en 3 m / L

SI

NO

RECHAZO



COMBADO (BOW)

menor o igual a
25 mm en 3 m / L

SI

NO

RECHAZO



TORCEDURA (TWIST)

menor o igual a
6 mm en 3 m / L

SI

NO

RECHAZO



ACANALADURA (CUP)

menor o igual a
6 mm en 3 m / L

SI

NO

RECHAZO



CONTENIDO DE HUMEDAD MENOR O IGUAL A 19%

Madera APTA para continuar siendo evaluada por otros
atributos como:

- Nudos (RANB - RANT - RANI - RANNA)
- Madera de compresión
- Rajaduras
- Grietas
- Arista faltante
- Bolsas de resina o corteza
- Grano inclinado
- Médula

MADERA APTA
POR ALABEOS

Notas:

b = base o ancho
h = altura o espesor
L = longitud

Grados estructurales para madera de pino radiata- NCh 1198

NCh 1198- 2006							
Tensiones admisibles y módulo de elasticidad para madera aserrada de pino radiata (CH=12%)							
Grados visuales		GS	G1	G1 y mejor	G2		
Flexión- adm	Ff	11	7,5	9,5	5,4		
Tracción II- adm	Ttp	6	5	5,5	4,0		
Compr II- adm	Fcp	8,5	7,5	7,8	6,5		
MOE flex-medio	Ef	10.500	10.000	10.100	8.900		
Compr perp-adm	Fcn	2,5	2,5	2,5	2,5		
Cizalle-adm	Fcz	1,1	1,1	1,1	1,1		
Densidad media	r media	450					
5to. Perc densidad	rk	370					

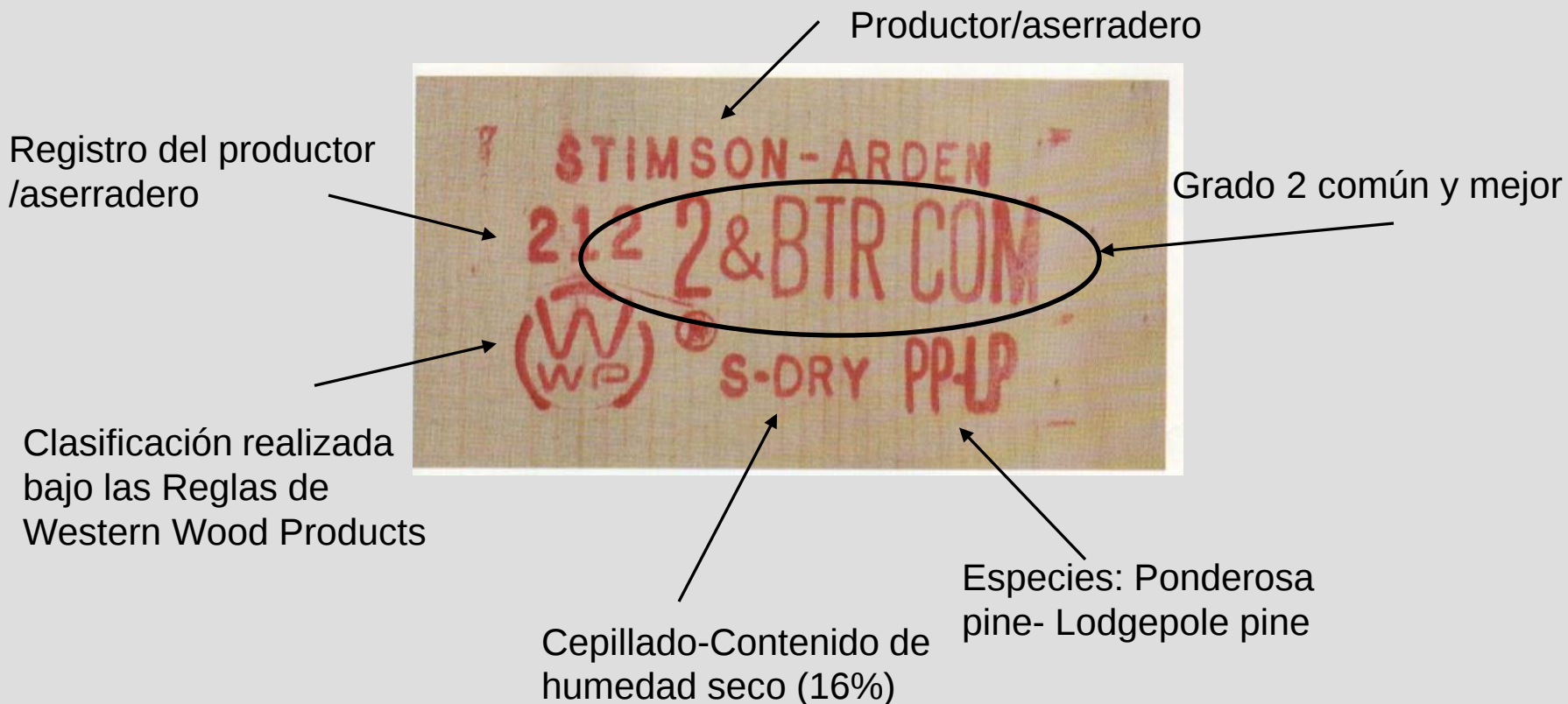


Razón de ser de la clasificación estructural

Única forma de poder asignar propiedades mecánicas de diseño a pieza de madera (M.Wagner 2005)

Sin una clasificación de por medio, el diseño estructural
NO TIENE SENTIDO NI VALIDEZ (M.Wagner 2005)

Madera clasificada estructuralmente- Ejemplo de sello





Proyecto experimental

Materiales y métodos

Selección de tablas y bloques de madera

- M1- Material de árboles de 25 años provenientes de una plantación del litoral*. 480 tablas (60 x 170 x 3300 mm) y 100 bloques
- M2- Material de árboles* de 15 años provenientes de una plantación del sur-oeste*. 480 tablas (60 x 170 x 3300 mm) y 75 bloques



*Similar composición de especies en cada plantación: 90% de *P. elliotti* y 10% de *P. taeda*.

Clasificación de tablas (NCh 1207)

960 tablas clasificadas en 3 grados estructurales (GS, G1, G2) o rechazadas (R)



Cantidad de ensayos por grado estructural

El conjunto de tablas clasificadas fue dividido en 3 grupos para ensayos de flexión, compresión II y tracción II. Cada grupo incluyó tablas de c/u de los 3 grados estructurales.

- Ensayos de flexión: 290 tablas- 251 resultados
- Ensayos de tracción II: 290 tablas- 273 resultados
- Ensayos de compresión II 290 tablas- 270 resultados

Ensayos de compresión y tracción- INFOR (Chile)

- 580 tablas clasificadas fueron enviadas a INFOR para ensayos de compresión II y tracción II.
- Supervision de ensayos en INFOR- Hugo O'Neill



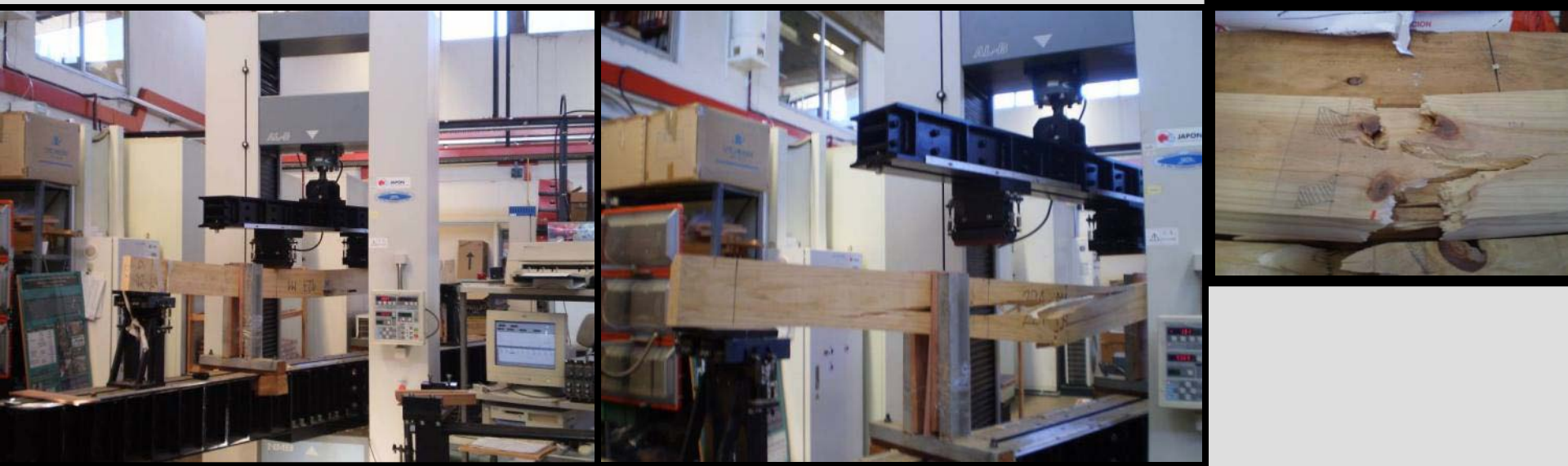
Equipo para ensayos de compresión paralela



Equipo para ensayos de tracción paralela

Ensayos de flexión- Dpto. Proyectos Forestales LATU

- 290 tablas clasificadas fueron ensayadas a flexión “de canto”
- 110 tablas clasificadas fueron ensayadas a flexión “de cara”



Ensayos de densidad y CH

Estimación de propiedades medias y características

Para cada muestra (M1 y M2) se calcularon las resistencias de las piezas que fallan y se determinó, el valor medio y el 5to percentil.

Se realizó el mismo procedimiento para el total de la población (M1 y M2).

Resultados

Propiedades de flexión- por Grado para c/Muestra

Muestra	Grado	MOE				MOR			Densidad		
		N° rep	Local	Global	$E_{(0.05)}$	N° rep	media	fmk	N° rep	media	rk
			media (MPa)	media (MPa)	(MPa)		(MPa)	(MPa)		(kg/m ³)	(kg/m ³)
M1	GS	55	7391	7020	3680	55	47	24	102	442	369
	G1	31	5876	4948	2981	31	31	12			
	G2	16	5484	4439	3869	16	23	11			
M2	GS	29	5599	4589	3215	29	29	15	148	367	325
	G1	76	4981	3786	3186	76	26	15			
	G2	44	4579	3262	2865	44	20	6			

Propiedades de flexión- por Muestra

Muestra	Todos los Grados	MOE				MOR			Densidad		
		N° rep	Local	Global	$E_{(0.05)}$	N° rep	media	fmk	N° rep	media	rk
			media (MPa)	media (MPa)	(MPa)		(MPa)	(MPa)		(kg/m ³)	(kg/m ³)
M1		102	6631	5931	3256	102	38	14	102	442	369
M2		149	4983	3787	3147	149	25	12	148	367	325

Propiedades de tracción- por Grado para c/Muestra

Muestra	Grado	Tracción		
		Nº rep	Fmedia (MPa)	Fck (MPa)
M1	GS	77	33	14
	G1	43	20	9
	G2	35	10	4
M2	GS	34	17	8,1
	G1	50	12	8
	G2	34	9	4

Propiedades de tracción- por Muestra

Muestra	Todos los Grados	Tracción		
		Nº rep	Fmedia (MPa)	Fck (MPa)
M1		155	24	7,2
M2		118	13	5,5

Propiedades de compresión- por Grado para c/Muestra

Muestra	Grado	Compresión		
		Nº rep	Fmedia (MPa)	Fck (MPa)
M1	GS	91	26	20
	G1	36	13	16
	G2	22	19	13
M2	GS	20	23	17
	G1	55	20	15
	G2	46	18	11

Propiedades de compresión- por Muestra

Muestra	Grado	Compresión		
		Nº rep	Fmedia (MPa)	Fck (MPa)
M1		149	25	16,9
M2		121	20	12,7

Asignación de tablas a grados estructurales

Penalizar el material por “razones prácticas”

VS

Establecer grados estructurales a través de la clasificación

Al no contar con madera clasificada en el mercado, resulta de poca utilidad para los arquitectos, ingenieros y constructores, reportar los resultados de este proyecto por muestreo. Es más “práctico” y “realista” informar sobre las propiedades estructurales sin distinguir procedencia y edad, ya que la madera que se encuentra en el mercado local carece de cualquier tipo de especificación técnica.

¿Penalizar el material por “razones prácticas”?

Las propiedades que determinan la asignación de una pieza a un determinado grado o clase estructural son fundamentalmente las de **flexión** y la **densidad**

Resumen- Estadística descriptiva del conjunto de Tablas (M1 y M2 juntos)

		MOE	MOR	Densidad	f Tracción	f Compresión
		(MPa)	(MPa)	(kg/m ³)	(MPa)	(MPa)
	N	263	263	261	273	270
	Media	5716	31	399	19	22
	Media corr (EN384)	4741				
	Máx	12858	88	589	53	35
	Min	2749	5	307	3	10
	StD	2026	15	6	13	5
	COV (%)	43	49	14	65	22
	5to Perc	3208	13	330	7	13

¿Establecer grados estructurales a través de la clasificación ”?

Grados estructurales por Muestra

Muestra	Grado	MOE				MOR				Densidad		
		Nº rep	Local media (MPa)	Global media (MPa)	$E_{(0.05)}$ (MPa)	Nº rep	media (MPa)	fmk (MPa)	fm adm (MPa)	Nº rep	media (kg/m ³)	rk (kg/m ³)
M1	C14=GS	55	7391	7020	3680	55	47	24	11	102	442	369
	otro=G1yG2	47	5742	4775	3064	47	28	13	6			
M2	NE=GS y G2	105	5152	4007	3266	105	27	15	7	148	367	325
	NE=G2	44	4579	3262	2865	44	20	6	3			

Comparación:

“nuestros grados” vs grados o clases resistentes definidos en normas de otros países

NCh 1198- Madera de pino radiata

NCh 1198- 2006					
Tensiones admisibles y módulo de elasticidad para madera aserrada de pino radiata (CH=12%)					
Grados visuales		GS	G1	G1 y mejor	G2
Flexión- adm	Ff	11	7,5	9,5	5,4
Tracción II- adm	Ttp	6	5	5,5	4,0
Compr II- adm	Fcp	8,5	7,5	7,8	6,5
MOE flex-medio	Ef	10.500	10.000	10.100	8.900
Compr perp-adm	Fcn	2,5	2,5	2,5	2,5
Cizalle-adm	Fcz	1,1	1,1	1,1	1,1
Densidad media	r media	450			
5to. Perc densidad	rk	370			

NO
CALIFICA

IRAM 9670- Madera de pinos resinosos

IRAM 9670							
Valores característicos y admisibles para las clases de pino estructural- Pinos resinosos							
		Valores característicos		Valores admisibles			
Grados visuales		G1	G2		G1	G2	
Flexión	Ff,k	23,9	11,9	Ff	11,3	5,6	
Tracción II	Ttp,k	12,0	6	Ttp	5,7	2,8	
Compr II	Fcp,k	23,9	11,9	Fcp	12,6	6,2	
MOE flex	Ef	9.000	7.500	Ef			

GS de M1

EN 338		European strength class system for softwood species according to EN 338 (basic property values used for the classifications are printed bold)								
Strength classes		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35
Flexión	fm,k	14	16	18	20	22	24	27	30	35
Tracción II*	ft,0,k	8	10	11	12	13	14	16	18	21
Compr II**	fc,0,k	16	17	18	19	20	21	22	23	25
Mean MOE II	E0,mean	7.000	8.000	9.000	9.500	10.000	11.000	11.500	12.000	13.000
5to. Perc MOEII	E0.05	4.700	5.400	6.000	6.400	6.700	7.400	7.700	8.000	8.700
Mean density	r mean	350	370	380	390	410	420	450	460	480
5to. Perc density rk		290	310	320	330	340	350	370	380	400
		GS de M1								
Tensile and Compressive stresses derived from characteristic bending strength										
* Tracción II	$f_{t,0,k} = 0.6 \times f_{m,k}$									
** Compresión II	$f_{c,0,k} = 5(f_{m,k})^{0.43}$									



Conclusiones

Conclusiones preliminares

- La clasificación visual realizada sobre tablas de tamaño comercial junto con los resultados de los ensayos físicos y mecánicos, permitieron definir preliminarmente **dos grados estructurales o clases resistentes**, similares a los establecidos en las normas europeas y del cono sur.
- A partir de los valores característicos y medios de las propiedades estructurales, el 54% de las tablas de madera de pinos de 25 años plantados en el litoral pudo ser asignado a la **clase C14** de la norma europea EN 338, y el 46% restante puede ser asignado a “**otra clase estructural**”, a proponer, para la madera de pinos cultivados en el país.

- Las tablas de madera de pinos de 15 años plantados en el suroeste, no cumple con los requisitos estructurales definidos en las normas europeas o del cono sur. Probablemente si se aumentara la edad de corte de los árboles, las propiedades físicas y mecánicas de la madera se incrementarían calificando como material estructural.

Comentarios finales

- Es imprescindible contar con madera clasificada estructuralmente para promover el uso intensivo de la madera en arquitectura y construcción. *Sin una clasificación mecánica, el diseño estructural NO TIENE SENTIDO ni VALIDEZ.*
- Resulta ineludible la elaboración de una norma de clasificación de madera de pinos cultivados en el país, y una norma de cálculo de estructuras de madera.



Integrantes del equipo de investigación

Matías Cagno

Andrea Cardoso

Francisco Gatto

María Fernanda Laguarda

Diego Ramos

Estudiantes colaboradores:

Juan Manuel González

Marcelo Pécora

Marine Getti

Lorena Tovagliares

Responsables científicos del proyecto:

Laura Moya y Hugo O'Neill

Agradecimiento:

El equipo de investigación agradece a la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII) por los fondos aportados para la realización de este proyecto.

