

Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera

Por

Froilán Carreño

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA *

ING. FROILÁN CARREÑO J.

I. Generalidades. **

Las investigaciones de carácter científico y técnicas efectuadas en los laboratorios sobre las propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera, coinciden en establecer que a pesar de su heterogeneidad en la estructura y en su composición química es susceptible de estudios que permitan su comparación con la madera de diferentes tipos de árboles que crecen en todos los continentes, y con los otros materiales que debidamente elaborados tienen aplicaciones similares a la madera.

Los investigadores que han afrontado este difícil problema han establecido normas referentes al tamaño de las probetas y a la forma específica que éstas deben tener. Esto tiene por objeto, hacer desaparecer o disminuir la influencia que estos factores puedan tener en la resistencia mecánica en cualquier tipo de sollicitación clásico indicado por la Resistencia de Materiales.

Además debe considerarse el aspecto de la humedad en la madera que tiene una influencia de importancia fundamental en la resistencia mecánica de ella.

Como por otra parte, la averiguación de la resistencia mecánica, debe efectuarse en máquina de ensayo de tamaños adecuados para obtener precisión en los resultados, este nuevo considerando influye también en la limitación del tamaño de las probetas.

El análisis de estas consideraciones, ha inducido a nuestro Instituto de Investigaciones y Ensayes de Materiales la conveniencia de adoptar la norma norteamericana A.S.T.M. D. 143-49 para los ensayos de resistencia mecánica de las maderas chilenas.

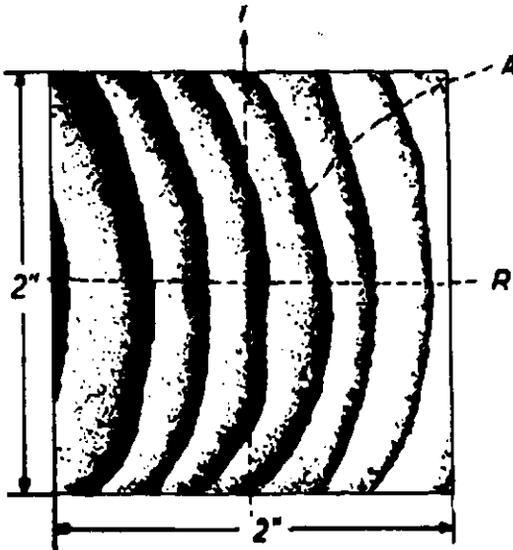
Esta consideración tiene la ventaja de poder establecer una comparación entre las maderas chilenas y las norteamericanas, y entre éstas,

* Publicado con autorización de IDIEM.

** Recibido para su publicación; Abril de 1956.

y todas las otras que se ensayan con probetas métodos determinados por esa norma.

Estas probetas tienen la forma geométrica de un paralelepípedo recto de base cuadrada. Las bases son cuadradas de 2" x 2" y las alturas varían de 4", 6" y 8". El eje de simetría axial de estas probetas es paralelo al eje vertical de crecimiento del tronco, y los anillos anuales que se destacan en las bases quedan orientados en forma radial, tangencial o diagonal con respecto a los planos de simetría del prisma según sea el tipo de ensaye.



Estas descripciones permiten darse cuenta fácil de que estas pequeñas probetas pueden obtenerse de zonas del tronco del árbol que se estudia en los cuales predomina el duramen y madera de fibras rectas debiendo el resto de la madera estar sin nudos y sin fallas.

O sea, que las probetas ensayadas tienen como material la madera de la mejor calidad que es posible obtener y en tal caso las óptimas. Como último detalle puede mencionarse en este breve resumen, que los estudios del Forest Service mencionados

en Johnson's Materials of Construction (Edición de 1939) indican: que se producen variaciones de resistencia debido a los siguientes factores: a) ubicación de la probeta con respecto a la sección del árbol; b) cantidad de anillos anuales de crecimiento por centímetro lineal considerando la dirección de la probeta en sentido radial; c) altura del tronco en que ha sido sacada la probeta; y d) proporción de la madera de verano.

II. Variaciones de las contracciones.

Como los elementos anatómicos de que está constituida la madera pueden compararse con pequeños tubos cilíndricos o vasos llenos de agua en la madera verde, estas consideraciones nos llevan con facilidad al entendimiento del fenómeno que ocurre con las diferentes etapas del crecimiento de la madera. La humedad, no sólo llena el hueco o lumen de estos vasos sino que además impregna las paredes cilíndricas de ellos. Para nuestra exposición no entra a considerarse el agua que en la composición química de la madera también está presente, la que si no es eliminada no afecta las propiedades físicas y mecánicas que se estudian en este margen de variaciones.

En cuanto la madera se desprende del tronco, empieza a producirse el fenómeno del secamiento, que está explicado por la evaporación de la

humedad de ella en el ambiente en que se encuentra, pero siempre tendrá capacidad de absorber el exceso de humedad de la madera.

Esta absorción de humedad en las capas superficiales, provoca por la natural higroscopicidad de la madera una gradiente humedad que va desde el centro del trozo que se considere hasta la periferia, y esto no se detendrá hasta el momento en que exista un equilibrio entre la humedad que en ese momento tenga la probeta y la capacidad de absorción del medio ambiente físicamente establecido por el índice de la humedad relativa de él.

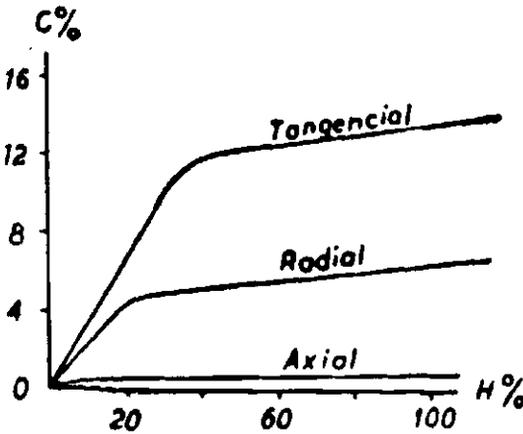
Durante el tiempo que ha transcurrido en este fenómeno se ha eliminado en primer lugar el agua libre de los lúmenes de los vasos hasta llegar al punto denominado de saturación de las fibras.

A partir de este punto, el progreso del secamiento empieza a eliminar el agua de saturación de las paredes de los vasos, los cuales se empiezan a contraer y deformar y desde este momento en adelante, la contracción se generaliza en todas las capas de fibras que han llegado a ese estado de humedad.

Es lógico que este fenómeno no puede ser simultáneo en todas partes del interior de un trozo de madera de gran escuadría y que debe empezar por las capas superficiales generalizándose hacia el interior. La intensidad de estas contracciones sigue una gradiente que acusa su máximo en las capas superficiales y es mínimo en el interior.

Los estudios efectuados en el IDIEM sobre el particular en maderas de Roble, Raulí y Coigüe concuerdan en una ley de variación de contracciones en función del progreso del secamiento que tiene la misma similitud. Pero es posible suponer que, al no tener un horno de regula-

ción de humedad y temperatura, la variación de las contracciones en la zona del punto de saturación de las fibras no sigue ninguna de las 2 leyes lineales que predominan en el gráfico, debido a la irregularidad del secamiento. Como el precio de estos hornos es elevado, es recomendable en los laboratorios que no disponen de ese equipo iniciar estos estudios en Invierno, en que el proceso del secamiento esté afectado de la lentitud que permite que sea homogéneo en toda la masa de la probeta de



madera.

El análisis de los gráficos permite rápidas interpretaciones:

1) La contracción en sentido tangencial a los anillos anuales es superior en magnitud a las contracciones en el sentido radial.

2) Las contracciones en sentido axial son escasas en magnitud y no tienen importancia.

3) El progreso de las contracciones es lento cuando el secamiento avanza desde el máximo hasta la zona de 40% en maderas cuyo porcentaje de humedad es muy alto (Sobre 100) cuando están en estado verde.

4) El progreso de las contracciones es rápido, cuando el secamiento avanza desde 20% hasta el estado de madera seca al horno en que la humedad es de 0%.

Esta consideración tiene el siguiente alcance: la madera en el estado llamado seco al aire, tiene desde 15 a 20% de humedad. En este estado deben encontrarse las maderas de los muebles y de todas las casas en tabladas, etc. Adornos interiores y cualquier trabajo de carpintería, y esto explica que las variaciones de contracción son más tangibles en ese estado cuando llega el verano y las expansiones mayores en el invierno.

Algunos ensayos de laboratorio indican las siguientes cifras de contracción que se dan a continuación:

CONTRACCION EN %

	<i>Tangencial</i>	<i>Radial</i>	<i>Axial</i>	<i>Humedad</i>
Roble	0 — 11%	0 — 4,5%	0,09%	0 — 60%
Raulí	0 — 6,9%	0 — 3,6%	0,04%	0 — 60%

Para el Coigüe en 5 muestras de diferentes árboles los resultados fueron:

	<i>Tangencial</i>	<i>Radial</i>	<i>Axial</i>	<i>Humedad</i>
Coigüe 219	0 — 11,5%	0 — 4,4%	0 — 0,3%	0 — 90%
Coigüe 220	0 — 14,3%	0 — 6,7%	0 — 0,2%	0 — 90%
Coigüe 221	0 — 14,0%	0 — 5,1%	0 — 0,6%	0 — 90%
Coigüe 222	0 — 11,0%	0 — 4,2%	0 — 0,2%	0 — 90%
Coigüe 223	0 — 14,0%	0 — 6,2%	0 — 0,2%	0 — 90%

III. Variación de la resistencia en función de la Humedad.

Los ensayos de resistencia a la comprensión efectuados con probetas del mismo árbol, han podido permitir el conocimiento de que la madera tiene una resistencia variable cuando se está secando.

Los ensayos efectuados en el IDIEM, han permitido obtener datos que guardan una estrecha similitud con referencia a los obtenidos en el Forest Products Laboratory de U. S. A. y en el Instituto das Pesquisas Tecnológicas de Sao Paulo - Brasil.

Los gráficos correspondientes al estudio del Roble y del Raulí, fueron publicados en el N° 6 de la Revista de Caminos de 1934. (Año VIII noviembre y diciembre de 1934).

El gráfico del Coigüe (*Nothopagus Dombeyi*) está en la memoria de Título sobre Propiedades Físicas y Mecánicas de las maderas chilenas (1938) de Froilán Carreño J.

La interpretación de estos gráficos es la siguiente:

1) La madera no manifiesta variaciones de resistencia cuando el secamiento progresa desde el máximo contenido de humedad (Madera verde) hasta el punto de saturación de las fibras caracterizadas.

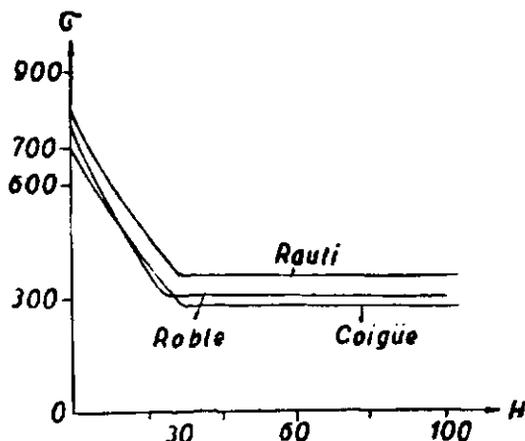
2) A partir de este punto, la resistencia empieza a crecer rápidamente, y llega al máximo cuando la madera está seca al Horno con un 0% de Humedad. Puede verse que la resistencia de la madera seca al horno llega a valores superiores al doble de la resistencia de la madera húmeda.

3) La resistencia de la madera en estado seco al aire, es superior a la resistencia de la madera húmeda en una proporción superior al 60%.

Como puede verse a través de las interpretaciones que permiten esos estudios, existe una relación bien definida entre el secamiento de la madera, sus contracciones, la Resistencia Mecánica y el Peso por unidad de Volumen.

Existe además, una ventaja en emplear la madera en el estado más seco que sea posible obtenerla, por cuanto en esa condición es más liviana y tiene mayor resistencia a toda clase de solicitaciones.

A esto se agrega el conocimiento que se tiene de que la mayoría de los insectos, larvas, hongos y otros micro-organismos que atacan la madera, producen su efecto destructor y herrumbre cuando la madera tiene un estado de humedad acentuado.



IV. PROGRAMA DE TRABAJO DE IDIEM EN RELACION CON LA RESISTENCIA DE MADERAS NACIONALES

El IDIEM realiza estudios sistemáticos de la Resistencia de las siguientes maderas:

Lingue	Persea Lingue
Mañío macho	Saxegothasa conspicua
Mañío hembra	Podocarpus nubigenus
Ulmo	Eucryphia cordifolia
Laurel	Fytzroya Patagónica
Aromo Australiano	Acacio Melanoxjlia
Tenío	Weinmaunia trichosperma
Canelo	Drimys winteri
Pino insigne	Pinus Radiata

El Roble, Raulí, Coigüe y Pino Araucaria que figura en el cuadro fueron ensayados antes del año 1935.

Las especies Aromo Australiano y Pino Insigne son de origen extranjero y han sido adaptados a nuestro clima.

Los ensayos a que se han sometido las probetas de madera son los siguientes:

- 1) Cizalle simple tangencial;
- 2) Cizalle simple radial;
- 3) Cizalle simple diagonal;
- 4) Tracción normal tangencial;
- 5) Tracción normal radial;
- 6) Clivaje tangencial sistema americano;
- 7) Clivaje radial sistema americano;
- 8) Clivaje tangencial sistema alemán;
- 9) Clivaje radial sistema alemán;
- 10) Dureza tangencial, radial y axial;
- 11) Compresión paralela a las fibras;
- 12) Compresión normal a las fibras;
- 13) Tracción paralela a las fibras, y
- 14) Flexión estática sistema americano.

Las experiencias cizalle, tracción normal, clivaje y dureza tangencial, radial y diagonal indican que la dirección de la carga en el ensaye de la probeta es paralela al eje de crecimiento del árbol, o sea paralela a las fibras, y el plano de acción de la carga está aplicado en las probetas en una posición tal, que resulte tangente o radial con respecto a los anillos anuales de crecimiento de la madera.

Puede observarse que en general, las resistencias de todas las sollicitaciones de carga que actúan en sentido tangencial a los anillos anuales son superiores en magnitud a las que operan en sentido radial. La causa de esta diferencia puede encontrarse en la existencia de los Rayos Medulares que son haces de fibras que crecen radialmente desde el centro del tronco hacia la periferia.

Estos rayos medulares deben ser cortados normalmente a su eje de crecimiento cuando actúa el dispositivo de carga en las probetas de cizalle simple tangencial, tracción normal tangencial a las fibras y clivaje tangencial; en cambio por su orientación dentro de la constitución del tejido de la madera, no oponen ninguna resistencia cuando el plano de acción de la carga actúa en sentido radial, o sea, normal a la tangente de los anillos anuales de crecimiento de la madera.

Madera húmeda y seca.

La posibilidad de efectuar investigaciones sobre la resistencia mecánica simultáneamente en madera húmeda (verde) y madera seca ha quedado circunscrita en nuestro estudio al Coigüe y Pino Araucaria y en escala más restringida como puede verse en el cuadro general al Roble y Raulí.

En las otras especies que aparecen en la lista fué necesario atenerse a la madera existente encastillada en los subterráneos de la Escuela de Ingeniería hasta el año 1948, que después fué trasladada al edificio del IDIEM. Esta madera estaba ya muy seca.

Los estudios de la variación de resistencia a la compresión en función de la humedad, indican en forma clara que la resistencia mecánica de la madera se incrementa eficazmente cuando la madera se seca más allá del límite designado como seco al aire, o sea cuando la humedad de la madera es inferior al 15%.

Los valores medios de la resistencia en los diferentes ensayos que aparecen en el cuadro, confirman en la mayoría de los casos esta aseveración.

Estos antecedentes permiten suponer que si hubiese sido posible disponer de madera en estado húmedo en las diferentes especies ensayadas en estado seco, los resultados correspondientes serían inferiores.

CUADRO DE VALORES DE ENSAYES

El cuadro de valores de los ensayos de resistencia mecánica que acompaña a este trabajo establece las cifras que se han obtenido en IDIEM, como término medio de tres árboles por especie y cuatro probetas por cada árbol. Los valores individuales detallados de los ensayos, han aparecido o aparecerán en otras publicaciones.

Trabajos futuros.

Las especies ensayadas representan las maderas de mayor explotación actual. Seguramente está de relieve el hecho de que la activa explotación de las reservas forestales de Chile, está raleando y agotando la existencia del Roble y Raulí, lo cual exige la explotación de otras maderas.

Considerando esta idea se ha iniciado en diferentes zonas del país la plantación de Alamo, Pino Insigne, Eucaliptus y Aromo Australiano.

Nuestro IDIEM ha podido ensayar el Aromo Australiano y Eucaliptus y los resultados revelan que el primero es una madera de condiciones superiores en cuanto a resistencia mecánica a las otras maderas ensayadas.

Es posible suponer que el Eucaliptus tenga asimismo una mejor performance, con la madera de su especie, en estado seco al aire y correctamente secada, es decir sin grietas ni rajaduras.

Este problema está en nuestro IDIEM en estudio por cuanto la madera de esta especie se contrae en forma extraordinaria y las consecuencias de estas contracciones son grietas profundas, que alteran totalmente las condiciones de continuidad del material.

Podemos por lo tanto señalar, que en el futuro se deberá continuar con el estudio de las especies utilizables —o maderables como se suele decir— que aún quedan por ensayar que son originarias de Chile.

Algunas de ellas son de carácter arbustivo como es el caso de la Luma y otros como el Nirre y la Lengua que están ampliamente diseminadas en los bosques australes y patagónicos.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ENSAYES DE MATERIALES.

UNIVERSIDAD DE CHILE.

RESISTENCIA MECANICA DE MADERAS CHILENAS.- SEGUN NORMA A.S.T.M. N°D.143-49.

MADERA HUMEDA.- HUMEDAD DE 30 - 100%

NOMBRE DE LAS ESPECIES FORESTALES ENSAYADAS	PESO UNIDAD DE VOLUMEN	DENSIDAD	CIZALLE SIMPLE TAMB	CIZALLE SIMPLE RADIAL	CIZALLE SIMPLE DIAG	TRACCION NORMAL TAMB	TRACCION NORMAL RADIAL	CLIVAJE TANGENCIAL	CLIVAJE RADIAL	DUREZA TANGENCIAL	DUREZA RADIAL	DUREZA AXIAL	COMPRESION PARALELA A LAS FIBRAS			COMPRESION NORMAL		TRACCION PARALELA A LAS FIBRAS		FLESION ESTATICA FATIGAS			
													LIM DE PROP	RUPTURA	COEFICIENTE DE ELASTICIDAD	LIM DE PROP	RUPTURA	FATIGA L P	FATIGA RUP	COEFICIENTE DE ELASTICIDAD	LIM DE PROP	FATIGA MAX	COEFICIENTE DE ELASTICIDAD
	Kgrs/dm ³	Fat/Rup	Kgrs/cm ²	Kgrs/cm ²	Kgrs/cm ²	Penetracion en Kgrs	Kgrs/cm ²	Kgrs/cm ²	Kgrs/cm ²	Kgrs/cm ²	Kgrs/cm ²	Kgrs/cm ²	Kgrs/cm ²	Kgrs/cm ²	Kgrs/cm ²	Kgrs/cm ²	Kgrs/cm ²	Kgrs/cm ²	Kgrs/cm ²	Kgrs/cm ²	Kgrs/cm ²		
ROBLE		80	67	80	57	45	422	636	410	144	263	110,897	99		445	619	93477	359	531	87751			
RAULI		83	63	73	45	53	288	279	339	194	289	82748	50		381	551	80702	365	579	82747			
COIGÜE	1063	0511	04	77	90	70	54	75	85	392	405	395	198	258	92517	108	160	478	724	90525	375	522	83316
PINO A	0721	0472	72	58	71	44	24	49	32	262	268	273	189	230	67230	63	85	297	522	81385	282	451	86458
EUCALIP	1087	0607	37	70	70	77	70	70	70	381	402	418	316	332	96319	80	203	319	783	87580	338	689	88447

MADERA SEMI SECA.- HUMEDAD DE 15 - 30%

ALERCE	0524	0421					30	30					293	433		76	127				380	649	57664
--------	------	------	--	--	--	--	----	----	--	--	--	--	-----	-----	--	----	-----	--	--	--	-----	-----	-------

MADERA SECA.- HUMEDAD 13%

ROBLE															476		89	519	827	110,911	936	837	123382	
RAULI															360		80	402	581	72890	510	784	99795	
COIGÜE	0820	038	26	06	100	90	60	122	78	427	438	481	243	449	111519	91	194	497	651	90,879	514	794	106,242	
PINO A	0584	0514	327	06	105	75	47	70	48	312	308	412	278	424	100,184	81	158	707	1061	128,308	473	723	118,707	
PINO INS	0509	0450	100	94	100	41	24	60	34	185	186	272	277	630	102,350	90	147	528	690	86,125	382	546	64,008	
MARIPU	0534	0475	11	100	92	44	22	00	44	327	339	386	392	531	110,834	122	173	672	855	100,457	516	734	84,153	
MARIPU	0530	0469	13	112	28	47	30	58	43	252	263	383	300	521	103,306	117	197				476	701	82,230	
ALERCE	0509	0448	104	87	78	31	23			231	283	404			338		334	749	80,061					
LINGUE	0829	0582	28	107	26					8372	268	258	328	400	372	136,703	95	189				897	967	122,598
ULMO	0680	0603	141	137	44	63	62	71	74	275	292	439	430	653	168,691	98	164				806	868	109,757	
LAUREL	0558	0493	124	104	118	78	49	88	67	249	236	331	294	517	122,952	76	119	683	835	125,473	607	774	98,103	
AROMO A	0621	0553	158	124	115	51	32	73	41	456	434	481	401	727	171,690	143	193	1018	1728	178,240	863	1268	151,075	
TENID	0647	0570	110	103	122	66	45	83	58	330	306	424	288	484	112,660	95	184	613	947	123,030	442	673	114,383	
CANELO	0521	0453	116	76	83	84	37	78	43	217	183	322	242	372	92,232	151	107	825	88,155	358	704	100,149		

EDMUNDO THOMAS H.
DIRECTOR

FROILAN CARREÑO J.
ING. JEFE

R. MARCHANT R.
INVESTIGADOR

R. ARAYA H.
TECNICO