

# Estudio sobre maderas nacionales (Roble, Raulí, Coigüe y Pino Araucaria) efectuados por el Taller de Resistencia de Materiales.

POR EDMUNDO THOMAS

Ingeniero Director del Taller

## ESTUDIO SOBRE MADERAS CHILENAS

*Introducción.*—El estudio de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas chilenas fué iniciado por el Taller de Ensayes de Materiales de la Universidad de Chile a partir del año 1931. Estos estudios se iniciaron con el objeto de conocer científicamente, las características, resistencias y otras cualidades importantes de las maderas chilenas, a fin de efectuar con ellas un aprovechamiento racional, tanto en las construcciones estructurales como en la carpintería fina de muebles, y como dichos estudios se efectuaron de acuerdo con normas de otros similares, hechos en EE. UU. de N. A. y Alemania, permitían a su vez la comparación bajo ese punto de vista de las cualidades de nuestras maderas con respecto a las extranjeras.

De acuerdo con estas normas, el estudio completo de las propiedades físicas y mecánicas, lo constituye una larga serie de ensayos, que deben efectuarse con minuciosidad, lo cual demanda mucho tiempo, a la par que la experimentación es costosa, y requiere la preparación de un personal técnico especializado. Por este motivo, el estudio de las maderas nacionales se inició con las especies arbóreas más importantes de nuestra flora nacional como lo son el Roble, Raulí y Coigüe. Posteriormente se ha dado término al estudio completo de una conífera chilena, el Pino Araucaria, y en la actualidad, se prosiguen con mucho éxito los ensayos del Lingüe.

Los países que han logrado efectuar esta experimentación en forma completa, con todas sus especies de importancia, tienen la ventaja de saber, cuáles son entre ellas las que de acuerdo con sus propiedades físicas y mecánicas, conviene reforestar. Además de acuerdo con los conocimientos botánicos se han efectuado estas reforestaciones con los árboles de crecimiento más rápido, y en las tierras que son adecuadas para esta clase de cultivos.

La terminación de nuestros estudios, aconsejan a su vez a los organismos pertinentes sobre las especies forestales cuyas características indican que son las mejores.

En forma paralela, se han efectuado también estudios micrográficos, referentes a la estructura anatómica de las células y vasos, que son los elementos de que está

constituida la madera y estudios sobre preservación de la madera contra los ataques de hongos y bacterias, que causan la putrefacción y herrumbe.

Queda finalmente por mencionar, el problema del secamiento artificial y natural, el cual también ha sido abordado en Chile en forma industrial para pequeños trozos de madera. En Estados Unidos, existen laboratorios, que tienen pequeños hornos de secamiento artificial, y dan normas, sobre la marcha que debe seguirse con cada tipo de madera, con lo cual se consigue asegurar siempre el éxito en los resultados.

Como puede verse en esta breve introducción, la coordinación completa, de estos estudios: a) Propiedades Físicas y Mecánicas; b) Estudios Micrográficos de la estructura celular de la madera; c) Secamiento artificial y natural; y d) Preservación de la madera, proporcionan, a la técnica y a la industria, los elementos de juicio necesarios y suficientes para emplear con ventaja y economía este material que nos brinda generosamente la naturaleza.

*Propiedades Físicas de las Maderas.*—Se estiman como tales la Densidad, las variaciones del Peso por Unidad de Volumen en función de la Humedad, las Contracciones axiales, tangenciales, radiales y volumétricas, cuyas variaciones son funciones exclusivas del estado de humedad de la madera, y otras como la Conductibilidad Calórica y Eléctrica.

La Humedad es el factor dominante que impone en mayor grado sus características tanto en las propiedades físicas como en las mecánicas.

También, el secamiento artificial y natural, y la preservación de la madera, están directamente afectados por la humedad, por consiguiente es preciso indicar en detalle esta característica de tanta importancia en la madera.

1. *Humedad.*—La humedad en la madera está constituida por la savia que es agua con azúcares, almidón, tanino y sustancias colorantes en disolución. Está contenida en la madera en tres estados distintos: a) En forma de agua libre, llenando el lumen o hueco de las células y vasos; b) Saturando las paredes celulares; c) Formando parte de la materia protoplasmática de las células.

La humedad es variable según sea la especie, y el lugar en que crece. Dentro del mismo árbol, la albura tiene más humedad que el duramen, y existe mayor humedad en las partes cercanas a la base que en la parte superior del tronco.

El estado de humedad natural de la maderase encuentra en el árbol plantado y vivo. Si se saca un trozo de madera ya sea de la albura o el duramen, y se designa con  $P_H$  el peso de la muestra recién sacada, se puede observar que este peso disminuye paulatinamente, siendo la causa de esta disminución de peso, la evaporación del agua libre contenida en el lumen de las células. Al producirse el agotamiento de esta agua libre, sobreviene un cambio fundamental, en la madera, alterándose todas sus características tanto físicas como mecánicas. Tal situación ha sido designada con el nombre de *Punto de Saturación de las fibras*.

Si el trozo continúa, en las condiciones favorables de ambiente, su peso continúa disminuyendo, hasta llegar un momento en que se mantiene con ligeras alternativas, producidas por las variaciones de la humedad ambiente. Esta condición de la madera se la designa con el nombre de *Seca al Aire* y es el estado con que se designa corrientemente la madera que se llama seca.

Si se desea proseguir el secamiento más adelante es preciso colocar la pieza de madera en un horno eléctrico o de gas, a 100° Centígrados, con lo cual, se obtiene la evaporación completa del agua de saturación. En estas condiciones, se llega a un peso constante  $P_S$  denominado Peso Seco al Horno.

Designando con  $H$  la humedad en porcentaje referida al peso seco al horno se tiene que

$$H = \frac{P_H - P_S}{P_S} \times 100$$

Aun queda la humedad que forma parte de la estructura celular de vasos y fibras, la cual para ser eliminada necesita temperaturas superiores, que producen destilación de la madera, lo que ya no tiene significado en las propiedades físicas que se estudian.

En nuestras experiencias, se determinó que la humedad máxima del Roble, Raulí y Coigüe era superior a 100%. El punto designado con el nombre de Punto de Saturación de las fibras ha sido fijado en las experiencias hechas en el extranjero alrededor del 30%. Este valor ha sido también comprobado con algunas pequeñas modificaciones en nuestras experiencias.

El estado Seco al Aire, ha sido fijado con una humedad de 15%.

2. *Densidad.*—Las experiencias que se han efectuado para determinar la densidad de la madera considerando sólo la materia maderosa, indican que este valor fluctúa entre 1,50 y 1,56 Kgs./dm<sup>3</sup> aproximadamente. No obstante, en la gran mayoría de las especies la madera flota, lo cual se debe a la existencia de poros y vasos llenos de aire o resinas que modifican el valor del peso específico haciéndolo menor que la unidad. Se designa con el nombre de densidad  $D$  al cociente entre el Peso Seco  $P_S$  y el Volumen húmedo  $V_h$ , se tiene:

$$D = \frac{P_S}{V_h}$$

Se denomina Peso por unidad de Volumen a la razón entre el peso  $P_H$  y el Volumen  $V_h$ , en un estado cualquiera de humedad.

A causa del secamiento, como se verá más adelante, se producen contracciones en la madera, con lo cual el cociente  $P.P.V. = \frac{P_H}{V_h}$  es una función directa también de la humedad.

*Contracciones.*—Las contracciones son las disminuciones de magnitud que experimenta la madera húmeda, a medida que progresa el secamiento. Las fibras y vasos, sufren un relajamiento cuando el agua contenida en su interior se evapora, y las paredes celulares se obliteran, quedando el conjunto más compacto que al principio. Debido a la existencia de rayos medulares que son haces de fibras que salen radialmente desde el centro del tronco, las contracciones en el sentido radial son menores en magnitud que las tangenciales. En el sentido axial, las contracciones son muy pequeñas.

En nuestras experiencias se determinaron las contracciones axiales, radiales y tangenciales, deduciendo las contracciones volumétricas a partir de estos valores por medio de la fórmula

$$C. V. = 100 \left[ 1 + \left( \frac{a}{100} \right) \left( 1 + \frac{t}{100} \right) \left( 1 + \frac{r}{100} \right) - 1 \right]$$

siendo  $a$  = contracción axial;  $t$  = cont. tangencial y  $r$  = cont. radial.

*Variación del Peso por unidad de volumen en función de la humedad.*—Como una consecuencia directa de las contracciones que se efectúan en la madera cuando progresa el secamiento, se producen disminuciones en el volumen. Estas disminuciones de volumen, son acompañadas de una disminución de peso, o sea, que a cada porcentaje determinado de humedad, corresponde un peso y un volumen determinados y el cociente  $P. P. V. = \frac{P_h}{V_h}$  varía siempre.

Esta variación se estudió en nuestras experiencias, con probetas prismáticas, aprovechando, el estudio de la Resistencia a la Compresión en función de la humedad, haciendo variar la humedad en pequeños intervalos desde el máximo hasta 0. Se ha podido constatar, llevando a un gráfico que tiene en abscisas los porcentajes de humedad en %, y en ordenadas, los pesos por unidad de volumen en Kgs/dm<sup>3</sup>, que esta variación es aproximadamente lineal, y las rectas trazadas, se han hecho matemáticamente de acuerdo con las ecuaciones que proporciona la Teoría de los Cuadrados Mínimos.

Estas experiencias están de acuerdo con los resultados deducidos de otras experiencias hechas en el extranjero.

*Otras Propiedades Físicas de la Madera.*—Las otras propiedades físicas mencionadas en este trabajo, tales como, la dilatación, conductibilidad calórica y eléctrica no han sido, experimentadas en nuestro Laboratorio.

*Propiedades Mecánicas de las Maderas.*—Por tales se entiende el estudio de la Resistencia de la madera, a una serie diferente de solicitaciones. Para efectuar el estudio de la Resistencia Mecánica de las maderas chilenas, se adoptó una combinación de las normas norteamericanas y alemanas en cuanto a las dimensiones de las probetas, y en lo que ha sido posible referente a otras características tales como el tiempo de duración de ensaye, y determinación de deformaciones, perfeccionando hasta donde se puede los métodos estudiados, para mejorar la precisión de las medidas.

Las determinaciones de los Coeficientes de Elasticidad de los ensayos de Compresión paralela a las fibras, normal a las fibras, y tracción paralela a las fibras, fueron hechas con el Elasticímetro de Martens. Para la determinación de los límites de proporcionalidad de estos ensayos, los de compresión normal americana y flexión, se confeccionaron gráficos con escalas lo suficientemente ampliadas a fin de precisar sin dificultad ese punto.

Los ensayos indicados: Compresión y Tracción paralela a las fibras, Compresión

Normal a las fibras, y Flexión del tipo Americano como asimismo la Compresión normal Alemana han sido clasificados de acuerdo con su importancia de Ensayes fundamentales.

A estos ensayos se agrega el denominado resistencia-humedad que se realiza con las probetas del tipo de ensaye de Compresión paralela a las fibras sistema americano, y con la madera de un árbol determinado, con humedades variables entre el máximo y 0%.

Los otros ensayos a que se ha sometido la madera son los siguientes: Tracción normal a las fibras, en el sentido tangencial y radial respecto a los anillos anuales de crecimiento; Cizalle Simple tangencial, radial y diagonal respecto a los anillos anuales de crecimiento; Clivaje tangencial y radial respecto a los anillos anuales (sist. americano); Clivaje tangencial y radial respecto a los anillos anuales (sist. alemán); Dureza; Cizalle Doble, normal a las fibras, radial y tangencial a los anillos anuales de crecimiento.

Todos los tipos de ensayos enumerados, se han realizado con madera húmeda, y madera seca al aire del mismo árbol. Se hicieron, además sobre madera de 5 árboles distintos de cada localidad, tomándose en total 2 localidades, o sea que los promedios que se indican corresponden a 10 árboles, 5 por cada localidad.

Se determina la humedad, en cada ensaye colocando la probeta al horno eléctrico a 100° a fin de excluir de los promedios húmedo y seco, a toda probeta cuya humedad fluctúa entre 20 y 30% que se estiman en estado semi-seco.

Las probetas, permanecen en el interior del horno hasta llegar a peso constante, para lo cual es preciso llevar un registro individual de sus pesadas, las cuales fueron hechas con balanza de precisión de 0,001 gramos.

#### COMPRESIÓN PARALELA A LAS FIBRAS

Este tipo de ensaye y el de Resistencia-Humedad fueron realizados con probetas prismáticas de base cuadrada de dimensiones 2 × 2 × 8 pulgadas. Se determinaron: las deformaciones totales, Carga en el Límite de Proporcionalidad, Coeficiente de Elasticidad y Humedad.

#### RESULTADOS DE LOS ENSAYES DE COMPRESIÓN PARALELA A LAS FIBRAS SISTEMA AMERICANO

##### MADERA-HÚMEDA H > 30%

Especie	Fatiga L. P. Kgs/cm <sup>2</sup>	Fatiga Rupt. Kgs/cm <sup>2</sup>	Coef. E. Kgs/cm <sup>2</sup>	Humedad %	Número Ensayes
Roble.....	143.6	263.2	110.897	90.3	26
Raulf.....	196.2	288.5	82.746	63.2	14
Coigüe.....	197.7	257.9	92.517	123.4	40
Pino A.....	169.3	229.6	67.236	60.9	38

## COMPRESIÓN PARALELA A LAS FIBRAS SISTEMA AMERICANO

## MADERA SECA AL AIRE

Especie	Fatiga L. P. Kgs/cm <sup>2</sup>	Fatiga Rupt. Kgs/cm <sup>2</sup>	Coef. E., Kgs/cm <sup>2</sup>	Humedad %	N.º Ens.
Roble .....	....	476.3	....	12.3	12
Raulí .....	....	366.1	....	17.7	2
Coigüe.....	242.8	449.3	111.519	15.9	35
Pino A. ....	278.2	424.2	109.184	16.9	31

## COMPRESIÓN NORMAL A LAS FIBRAS SISTEMA AMERICANO

Los ensayos de compresión normal a las fibras sistema americano se efectúan en probetas de 2 × 2 × 6 pulgadas. La carga se efectúa en el tercio central de la probeta en una sección de 2 × 2 pulgadas, estando la probeta en posición horizontal con las fibras paralelas a esa dirección. La carga se efectúa verticalmente en dirección normal a las fibras, y tangencial a los anillos anuales de crecimiento, y se computa la carga en el límite de proporcionalidad, y la carga de ruptura con sus correspondientes fatigas.

## RESULTADOS DE LOS ENSAYES DE COMPRESIÓN NORMAL A LAS FIBRAS. SISTEMA AMERICANO

## MADERA - HÚMEDA

Especie	Fatiga L. P. Kgs/cm <sup>2</sup>	Fatiga Rupt. Kgs/cm <sup>2</sup>	Humedad %	Número Ensayes
Roble .....	98.6	....	108.2	16
Raulí .....	49.5	....	74.2	16
Coigüe.....	108.1	160.4	127.6	40
Pino A. ....	42.7	84.5	55.6	36

## MADERA - SECA

Roble .....	68.5	....	13.1	15
Raulí .....	80.0	....	18.3	2
Coigüe.....	90.9	194.1	16.4	28
Pino A. ....	81.1	158.3	12.9	38

## COMPRESIÓN NORMAL A LAS FIBRAS SISTEMA ALEMÁN

Los ensayos de compresión normal a las fibras en el sistema alemán se hicieron en probetas de forma cúbica de 10 cms. por arista, cortadas en forma tal que el anillo de crecimiento anual sea diagonal a una de las caras del cubo. En estas probetas se determina el coeficiente de Elasticidad y la carga en el límite de proporcionalidad. En las probetas húmedas, no se presenta en forma visible la carga de ruptura, pues

la madera sufre un achatamiento indefinido, computándose sólo la carga máxima que permanece estacionaria en un largo período de deformación. El gráfico de cargas-deformaciones del ensaye es el que indica el momento en que la probeta ha cesado de trabajar. En el caso de la madera seca, se producen rupturas características en forma de deslizamientos sobre las superficies anulares.

#### RESULTADOS DE LOS ENSAYES DE COMPRESIÓN NORMAL A LAS FIBRAS. SISTEMA ALEMÁN

MADERA - HÚMEDA					
Especie	Fatiga L. P. Kgs/cm <sup>2</sup>	Fatiga Rupt. Kgs/cm <sup>2</sup>	Coef. E. Kgs/cm <sup>2</sup>	Humedad %	N.º Ensayes
Roble .....	17.9	59.0	6007.0	102.3	17
Raulf.....	18.8	43.7	5381.0	69.0	17
Coigüe.....	21.4	52.9	3580.0	131.6	40
Pino A. ....	13.1	28.9	1916.2	55.9	38

  

MADERA - SECA					
Especie	Fatiga L. P. Kgs/cm <sup>2</sup>	Fatiga Rupt. Kgs/cm <sup>2</sup>	Coef. E. Kgs/cm <sup>2</sup>	Humedad %	N.º Ensayes
Roble .....	....	46.1	....	14.8	16
Raulf.....	....	83.7	....	11.7	13
Coigüe.....	35.4	79.6	6751.0	12.6	34
Pino A. ....	25.1	60.6	3179.5	15.9	28

#### TRACCIÓN PARALELA A LAS FIBRAS

Para la determinación de la fatiga a la tracción se adoptó la probeta tipo americano con una sección cuadrada de 5/16 de pulgada, y con el anillo diagonal. Este es el ensaye más difícil de efectuar por cuanto la probeta tiende a romperse por cizalle longitudinal lo que hay que evitar. Las deformaciones deben ser tomadas con un doble sistema de Elasticímetros, pues la ruptura que es siempre violenta, destruye los delicados aparatos del Sistema Martens, y los gráficos cargas-deformaciones, deben ser hechos 2 veces, a fin de conocer la deformación hasta la ruptura. En este caso es preciso conocer también la curva del error del elasticímetro de Martens, pues generalmente, la curva carga-deformación de los ensayes de tracción paralela a las fibras, indica que el límite de proporcionalidad es muy alto y poco preciso.

#### RESULTADOS DE LOS ENSAYES DE TRACCIÓN PARALELA A LAS FIBRAS

MADERA - HÚMEDA					
Especie	Fatiga L. P. Kgs/cm <sup>2</sup>	Fatiga Rupt. Kgs/cm <sup>2</sup>	Coef. E. Kgs/cm <sup>2</sup>	Humedad %	N.º Ensayes
Roble .....	444.9	619.0	93.477.0	97.3	6
Raulf.....	381.3	551.3	80.102.0	96.3	8
Coigüe.....	478.3	724.2	90.525.0	106.2	40
Pino A. ....	297.1	522.3	81.384.5	103.7	32

## MADERA - SECA

Roble .....	519.0	827.3	110.101.0	17.8	5
Raulf .....	462.2	581.3	79.890.0	15.3	3
Coigüe.....	497.3	850.9	90.879.0	14.8	32
Pino A. ....	707.4	1060.5	128.367.8	18.1	38

## FLEXIÓN

Este ensaye se efectúa en probetas de  $2 \times 2 \times 30$  pulgadas, con una luz de 28 pulgadas entre los apoyos. La madera empleada en estos ensayes, y entre los ya mencionados, debe estar absolutamente sana, sin nudos y con sus fibras rectas, y paralelas al eje mayor de la pieza. Los valores obtenidos de este tipo de ensayes son de fundamental importancia en construcciones, ya que la mayor parte de las estructuras trabajan a la flexión.

En el ensaye se computa, la carga en el límite de proporcionalidad, la carga máxima, y el coeficiente de Elasticidad. Además el ensaye se prolonga hasta obtener la deformación correspondiente a la mitad de la carga máxima, a fin de deducir los trabajos totales y unitarios correspondientes al límite de proporcionalidad, carga máxima y media carga máxima.

## RESULTADOS DE LOS ENSAYES A LA FLEXIÓN

## MADERA - HÚMEDA

Especie	Fatiga L. P. Kgs/cm <sup>2</sup>	Fatiga Rupt. Kgs/cm <sup>2</sup>	Coef. E. Kgs/cm <sup>2</sup>	Trab. L. P.	Deform. Rupt.	Humedad %	N.º Ensayes
Roble ....	358.6	531.1	87.751.0	0.0770	0.5371	122.7	8
Raulf .....	364.6	578.9	82.147.0	0.0913	0.7090	81.3	15
Coigüe....	315.2	521.6	83.316.0	....	....	134.1	40
Pino A. ..	281.9	451.4	84.458.2	....	....	53.0	38

## MADERA - SECA

Roble ....	633.6	837.3	123.592.0	0.1814	0.7672	15.0	10
Raulf .....	516.3	783.6	99.795.0	0.1491	0.5154	12.3	8
Coigüe....	513.7	794.3	106.246.0	....	....	15.9	17
Pino A. ..	472.9	722.8	116.707.2	....	....	13.7	38

## ESTUDIO RESISTENCIA-HUMEDAD

Con este nombre se designa al estudio de la variación de la resistencia a la compresión paralela a las fibras obtenidas de un mismo árbol, con humedades variables

entre el máximo y cero. La dificultad de estos ensayos está en la preparación de las probetas, que deben ser ensayadas con una humedad determinada, para lo cual es preciso someter a un minucioso control de pesadas a la probeta hasta obtener de ella el peso preciso que el control le asigna para el momento del ensaye.

Se han hecho gráficos, en que cada punto representa la resistencia máxima en ordenadas y la humedad correspondiente en abscisas. Del análisis de estos gráficos se desprende, que cuando la madera pierde su humedad desde el máximo hasta un valor cercano al 30%, la resistencia permanece casi constante. A partir de este punto, la resistencia crece rápidamente, hasta llegar a un valor cercano al doble y aún superior.

El hecho de coincidir el punto correspondiente a la humedad del 30% con el rápido crecimiento de la resistencia, y en los gráficos de la contracción-humedad, del rápido incremento de la contracción, indica que el punto denominado de Saturación de las fibras tiene importancia fundamental en el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de la madera.

Al mismo tiempo se deduce que la madera a medida que se seca más, aumenta en resistencia. La madera seca, tiene la ventaja, de su menor peso, y la variación de las contracciones es menor, por cuanto, al estar seca, la variación de humedad puede aminorarse tanto como sea posible, pintándola, barnizándola o sometiéndola a la acción de un baño preservativo a base de aceites.

El incremento de la resistencia mostrado en detalle en el gráfico, queda también comprobado con los resultados de todos los ensayos húmedos y secos que se dan en el presente trabajo.

#### OTROS ENSAYES EFECTUADOS EN LA MADERA

Para completar la serie de ensayos, mencionados anteriormente, se han hecho ensayos de cizalle simple paralelo a las fibras, en sentido tangencial, radial y diagonal a los anillos anuales; tracción normal a las fibras, en sentido radial, y tangencial a los anillos anuales; clivaje sistema americano, tangencial y radial a los anillos anuales; clivaje sistema alemán, tangencial y radial a los anillos anuales, y dureza.

En estos ensayos se computa la carga máxima y la humedad en el momento del ensaye. La precisión con que se hacen estos ensayos es análoga a los ya anteriormente descritos.

1) *Cizalle*.—Los ensayos de cizalle, fueron hechos en sentido paralelo y normal a las fibras. Las pruebas de cizalle simple, en sentido paralelo a las fibras, fueron tomadas de tal manera que el plano de falla fuera tangencial, radial y oblicuo respecto a los anillos anuales de crecimiento de la madera. A este último tipo se designó con el nombre de cizalle simple diagonal. Las pruebas de cizalle normal a las fibras, se hicieron como cizalle doble, siendo la dirección de la carga tangencial, y radial a los anillos anuales. Las probetas empleadas en este tipo de ensaye tienen la forma cilíndrica, y la carga se efectúa al centro, llegándose a la ruptura completa.

## RESULTADOS DE LOS ENSAYES DE CIZALLE SIMPLE PARALELO A LAS FIRMAS

## MADERA - HÚMEDA

Especie	Ciz. Simp. Tang			Ciz. Simp. Rad.			Ciz. Simp. Diag.		
	Fat. Kgs/cm <sup>2</sup>	Hum. %	N.º Ens.	Fat. Kgs/cm <sup>2</sup>	Hum. %	N.º Ens.	Fat. Kgs/cm <sup>2</sup>	Hum. %	N.º Ens.
Roble...	89.0	84.1	26	66.7	77.9	19	89.3	79.2	20
Raulí...	83.4	85.3	30	62.5	87.1	27	72.7	66.2	25
Coigüe...	94.1	103.9	36	71.2	91.4	36	90.4	96.9	40
Pino A...	72.2	54.7	34	58.0	51.0	30	70.6	46.6	30

## MADERA - SECA

Roble ....	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Raulí ...	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Coigüe....	125.5	13.9	39	95.8	14.2	39	115.5	16.2	35
Pino A. ...	127.1	13.8	39	89.6	13.8	40	104.7	14.3	39

Como puede observarse de acuerdo con los valores medios de estos cuadros, la fatiga en el cizalle simple tangencial es siempre superior a la fatiga radial. Esto se debe a la existencia de los rayos medulares que en el sentido tangencial son cortados normalmente, lo cual opone naturalmente mayor resistencia a este tipo de sollicitación, lo que no ocurre en el caso del cizalle simple radial.

2) *Cizalle Doble Normal a las fibras.*—Este ensaye se hace en probetas cilíndricas de Diámetro = 3 cms. y L = 15 cms. La carga actúa al centro, computándose la carga máxima y la humedad, haciendo actuar la dirección de la carga en sentido tangencial y radial a los anillos anuales de crecimiento. Se han hecho gráficos de algunos de estos ensayos, observándose un período elástico y después un período de ascenso irregular produciéndose la ruptura generalmente en carga inferior a la máxima.

## RESULTADOS DE LOS ENSAYES DE CIZALLE DOBLE NORMAL A LAS FIBRAS

## MADERA - HÚMEDA

Especie	Cizalle Doble Tangencial			Cizalle Doble Radial		
	Fatiga Kgs/cm <sup>2</sup>	Humedad %	N.º Ens.	Fatiga Kgs/cm <sup>2</sup>	Humedad %	N.º Ensayes.
Roble ....	306.4	90.4	8	..	..	..
Raulí .....	215.5	78.9	10	..	..	..
Coigüe....	238.1	96.1	40	241.2	91.8	40

## MADERA - SECA

Coigüe....	287.0	13.5	37	297.9	12.7	33
------------	-------	------	----	-------	------	----

3) *Ensayes de Clivaje*.—Los ensayos de clivaje o partitura fueron hechos en probetas de tipos americano y alemán. Estos ensayos dan una idea, sobre la resistencia a la partitura de la madera. Las probetas americanas tienen una abertura circular de una pulgada de diámetro para permitir que la mordaza de la máquina la pueda tomar. La sección resistente de estas probetas tiene 2 pulgadas de ancho por 3 de largo. Las probetas del sistema alemán tienen una abertura seguida de una entalladura de cinco cms. de profundidad. La sección resistente de estas probetas tiene 2,5 cms. de ancho y 4 cms. de profundidad. Debido a la forma distinta de actuar la carga, no pueden compararse en ninguna forma los resultados obtenidos por estos dos procedimientos, sirviendo solamente como resultados relativos de resistencia de las maderas ensayadas.

### RESULTADOS DE LOS ENSAYES DE CLIVAJE SISTEMA AMERICANO

MADERA - HÚMEDA						
Especie	Clivaje Tangencial			Clivaje Radial		
	Carga cm. ancho Kgs/cm.	Humedad %	N.º Ens.	Carga cm. ancho Kgs/cm.	Humedad %	N.º Ens.
Roble .....	65.4	83.7	22	..	..	..
Raulí .....	53.4	98.4	26	..	..	..
Coigüe .....	75.1	102.9	41	65.1	101.8	40
Pino A. ....	49.3	49.3	26	32.6	50.2	28

MADERA - SECA						
Especie	Clivaje Tangencial			Clivaje Radial		
	Carga cm. ancho Kgs/cm	Humedad %	N.º Ens.	Carga cm. ancho Kgs./cm.	Humedad %	N.º Ens
Coigüe. ...	121.7	14.7	33	77.9	13.9	34
Pino A. ..	69.7	13.5	36	48.2	13.2	40

### CLIVAJE SISTEMA ALEMAN

MADERA - HÚMEDA						
Especie	Clivaje Tangencial			Clivaje Radial		
	Carga cm. ancho Kgs/cm.	Humedad %	N.º Ens.	Carga cm. ancho Kgs/cm.	Humedad %	N.º Ens.
Roble .....	23.5	83.0	21	..	..	..
Raulí .....	16.9	81.2	23	..	..	..
Coigüe .....	24.6	97.6	40	17.6	95.7	40
Pino A.....	16.8	50.6	21	10.9	45.3	24

MADERA - SECA						
Coigüe....	34.4	14.6	40	28.4	12.8	40
Pino A. ..	23.9	12.9	40	15.6	12.9	40

4) *Tracción Normal a las Fibras.*—Estos ensayos son efectuados con probetas del sistema americano, y proporcionan datos sobre la resistencia al alargamiento en sentido normal a las fibras. Las probetas diseñadas para este ensaye tienen una doble entalladura, a ambos lados, a fin de permitir que las mordazas confeccionadas ad hoc, permitan actuar de tal manera que el esfuerzo sea parejo. Mirado en cierta forma este ensaye, es una modificación del de clavaje. Se computa la carga máxima de ruptura de cada probeta y su humedad correspondiente. La carga actúa en sentido tangencial y radial a los anillos anuales de crecimiento.

## ENSAYES DE TRACCIÓN NORMAL A LAS FIBRAS

## MADERA - HÚMEDA

Especie	Tracción Nor. Tangencial			Tracción Nor. Radial		
	Fatiga Rupt. Kgs/cm <sup>2</sup>	Humedad %	N.º Ens.	Fatiga Rupt. Kgs/cm <sup>2</sup>	Humedad %	N.º Ens.
Roble. ....	56.8	93.5	25	..	..	..
Raulí ....	45.3	93.4	23	..	..	..
Coigüe. ....	69.7	96.9	40	53.7	102.6	37
Pino A. ....	43.6	55.1	23	24.0	50.8	24

## MADERA - SECA AL AIRE

Coigüe. ...	95.7	14.3	40	65.8	13.5	37
Pino A. ..	75.0	13.5	40	41.3	13.7	40

Tanto en estos ensayos de tracción normal a las fibras como en los clavajes puede comprobarse, la influencia de la existencia de los rayos medulares, pues en ambos casos las fatigas tangenciales son superiores a las fatigas en sentido radial.

5) *Ensayes de Dureza.*—En estos ensayos, se determina el esfuerzo necesario en Kgs., que es preciso, para hacer penetrar hasta su diámetro máximo a una esfera metálica de 9,85 mms. de diámetro en las caras de una probeta de 2 × 2 × 6 pulgadas. La mayor dimensión de esta probeta es paralela a la dirección de las fibras. En estos ensayos se promedian las penetraciones en las caras tangenciales radiales y axiales.

## RESULTADOS DE LOS ENSAYES DE DUREZA

## MADERA - HÚMEDA

Especie	N.º Ens.	Tangencial Kgs.	Radial Kgs.	Axial Kgs.	Humedad %
Roble .....	20	421.9	433.8	410.0	101.9
Raulí .....	23	288.2	278.7	339.4	92.1
Coigüe. ....	40	392.3	405.1	395.0	97.9
Pino A. ....	24	262.4	268.4	272.9	49.0

## MADERA - SECA

Roble .....	..	..	..	..	..
Raulí .....	..	..	..	..	..
Coigüe.....	33	427.4	435.5	481.5	15.2
Pino A. ....	40	312.2	307.9	411.6	12.5

## CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE RESISTENCIA DE LAS MADERAS CHILENAS

Del análisis del cuadro resumen final, se puede ver que las maderas de Roble, Raulí y Coigüe, que pertenecen a la misma familia (*Nothophagus*) presentan cierta analogía en sus diferentes clases de resistencias. Esto sirve de elemento de juicio para escoger la madera más adecuada para la construcción o mueble que se vaya a ejecutar. A estos se agrega una conífera, el Pino *Araucaria* que en general presenta valores de resistencia que no se diferencian demasiado con los de los anteriores.

Tomando en cuenta ahora, el alto índice de contracción del Coigüe, aparece la desventaja que tiene la madera de este árbol frente a las otras, pues las construcciones que se hagan con madera de coigüe, en estado húmedo se secarán, dentro de su plazo según sean las condiciones del ambiente que las rodee, pero durante el secamiento se torcerán y encorvarán, y si el secamiento es más o menos rápido, se producirán agrietamientos tanto en el interior como en el exterior, lo cual es siempre necesario evitar.

El roble también tiene un alto índice de contracción pero el secamiento al aire de esta madera es siempre lento, y no está expuesta a rápidos cambios como en el caso del coigüe. Por consiguiente tiene siempre la desventaja de ser una madera pesada lo que es un inconveniente sobre todo cuando se la debe transportar desde grandes distancias.

Los ensayos se han efectuado con trozos de madera en el más perfecto estado, esto es con fibras rectas sin nudos y con madera sana. Es preciso tomar muy bien en cuenta este detalle al proyectar piezas resistentes de tamaño estructural y grandes escuadrías, pues siempre es difícil conseguir que la madera de esos tamaños esté exenta de algún defecto tales como nudos, fibras torcidas, oquedades en el interior producidas por secamiento al aire en condiciones no correctas, o bien por ataques de larvas de insectos u hongos, etc. Estos defectos generalmente son poco visibles desde el exterior.

Por consiguiente en cuanto a las fatigas de trabajo admisibles, se podrán considerar las clasificaciones de las maderas de acuerdo con el Reglamento para Maderas de Exportación, aprobado por Decreto N.º 1453 de 27 de diciembre de 1933. No se podrá por lo tanto aceptar la misma fatiga de trabajo para una madera de primera clase que para una de segunda o tercera. Como también las maderas de primera clase en piezas de gran escuadría pueden estar afectadas por los defectos antes indicados, se puede adoptar como fatiga de las piezas estructurales el 75% de las obtenidas en los ensayos de las probetas.

También es preciso tomar en cuenta la pérdida de resistencia que experimentan las vigas solicitadas por cargas permanentes en el transcurso de los años, y se ha acepta-

do que esta carga permanente no sea mayor de un 60% de la carga de ruptura de las probetas.

### SECAMIENTO DE LAS MADERAS

Las experiencias realizadas dejan de manifiesto la conveniencia de emplear la madera en estado seco, llamándose por tal, el estado seco al aire, que tiene un valor cercano al 15% del peso seco en la mayoría de las especies.

La madera seca, tiene la ventaja de ser liviana lo que es ya una economía en el transporte, tiene mayor resistencia que la madera húmeda, según se vé por los resultados de nuestras experiencias, y tiene más estabilidad en cuanto a las dimensiones con que es cortada, pues al tener una humedad que varía poco con el estado higrométrico del aire, no se producen contracciones que deformen las secciones primitivas.

El problema del secamiento se puede considerar, desde el punto de vista de la rapidez y economía, y desde el punto de vista de los pequeños y grandes trozos.

La madera en los aserraderos y barracas, es apilada en castillos; cuando está correctamente encastillada y al abrigo de las lluvias, en forma tal que el aire circule por el interior del castillo se produce el secamiento al aire, que en algunas piezas como los tablones de roble de más de 4" de espesor es lento, pero en otras maderas como el raulí y coigüe es un poco más rápido. Esto exige por lo tanto, el encastillaje de mucha madera, la inmovilización de mucho capital, y el peligro de incendios, que eleva las pólizas de seguro, lo que se traduce en un encarecimiento de la pieza elaborada.

El secamiento artificial, resuelve el problema de la rapidez, y permite el empleo de la madera elaborada sin exigir el almacenamiento de ella por el tiempo necesario hasta su secamiento correcto, y además, permite obtener las piezas con el grado de sequedad que se necesite para los fines consiguientes.

Este problema ha sido resuelto en forma industrial mediante la instalación de hornos de secamiento que son recintos cerrados y correctamente aislados para impedir fugas de calor, dentro de los cuales se colocan carritos que llevan la madera correctamente encastillada, y se hace circular aire cuya humedad y temperatura se gradúa en forma sistemática a medida que progresa el proceso del secamiento. El procedimiento descrito corresponde al horno de tipo fijo que es el que permite obtener la madera mejor secada. Además del procedimiento intermitente descrito, existe el horno de secamiento continuo, que está constituido por un túnel por el cual avanzan los carros con la madera encastillada. En un extremo, donde entra la madera húmeda, el aire que circula está húmedo y frío, en el otro extremo donde sale la madera seca, el aire está seco y caliente, y entre estas 2 situaciones extremas del ambiente existe una graduación de calor y humedad a lo largo del túnel, que permite a la madera el secarse a medida que los carros avanzan.

Estos procedimientos son recomendables para maderas aserradas de pequeña escuadría, tales como listones, tablas y tablones empleadas generalmente en obras de carpintería fina para muebles, entablados, puertas y ventanas, etc.

Cuando el secamiento artificial no está bien ejecutado, es decir no se han manejado en su forma debida los factores de que depende: el calor, la humedad y la velocidad de circulación del aire en el interior del horno, se producen defectos graves en la madera que se trata de secar. El más común, es el denominado por los americanos Caseharde-

ning, o sea el endurecimiento superficial, que es el caso cuando se secan rápidamente las superficies externas, produciendo las contracciones correspondientes, y causando en el interior grandes grietas y alvéolos, que inutilizan totalmente la pieza por secar. La experiencia que se tiene sobre tal fenómeno, ha indicado la necesidad de cortar pequeños trozos de la madera que se trata de secar, denominados controles de humedad los cuales dan idea cómo va marchando el secamiento en el castillo, y cuándo el control indica que se quiere producir el endurecimiento superficial, se da a la madera un tratamiento de aire húmedo, a fin de retardar el secamiento superficial impidiendo en esta forma el desastre.

El secamiento de trozos de madera de gran escuadría no puede hacerse en forma económica por medio del horno de secamiento. Siempre en el interior de un trozo de madera, de esta naturaleza mantiene una humedad bastante superior que la de sus capas externas. Por lo demás la necesidad de secar la madera de estas dimensiones va aparejado con la de efectuar algún tratamiento de preservación, a fin de impedir el ataque de microorganismos tales como los hongos, los insectos cuyas larvas perforan el interior de los troncos, y en tal caso se sigue un procedimiento mixto, sometiendo la madera a un baño de aceite, en el interior de un recinto metálico, constituido por un cilindro de acero de grandes dimensiones con cierre hermético dentro del cual es introducida una wagoneta con su carga de vigas o durmientes. En el interior de este cilindro existe una red de cañerías, para inundar de aceite, creosota y para hacer circular el vapor que ha de calentar el baño. Generalmente se hace un vacío, a fin de efectuar la vaporización de la savia a una temperatura inferior a la de 100°. La mezcla de aceite con agua es extraída y el análisis de ella indica el estado de secamiento del trozo tratado. Al finalizar, se restablece la presión atmosférica, por lo cual se produce una impregnación de la madera tratada. El procedimiento descrito se denomina «Full-all process», y es muy recomendable, por cuanto la madera tratada no es sometida a temperaturas elevadas que puedan dañarla, y permite efectuar el secamiento y la impregnación conjuntamente.

*Conclusiones.*—Como puede verse, el problema del mejor aprovechamiento de la madera presenta algunas dificultades, que se subsanan con la experimentación metódica y ordenada de sus propiedades físicas y mecánicas. Permite por lo tanto la substitución de una especie por la más barata, o por la que tiene cualidades semejantes.

En el caso de las maderas que han de emplearse a la intemperie, tales como los durmientes de ferrocarril, postes de telégrafo, teléfono, bodegas, puentes, etc., y que están expuestas al ataque de microorganismos, hongos, bacterias, insectos, pájaros y otros agentes que atacan la madera, limitando su duración en servicio, se han estudiado los procedimientos adecuados que la inmunizan prolongando ampliamente su duración en el servicio, constituyendo así una economía.

El progreso de la industria, creó rápidamente substitutos a los usos primitivos de la madera, como en el caso de los muebles, carrocerías de vehículos, vagones de ferrocarril, etc., construcción de casas, obras de arte en los caminos como ser puentes menores y alcantarillas, etc., pero lejos de aminorar su importancia la madera ha recuperado su valor como material para esos usos y construcciones, y es de gran interés como se comprende para nosotros, agotar toda investigación científica que contribuya a ampliar los actuales conocimientos que de ella se tienen.

RESULTADO DE LOS ENSAYOS EN ALGUNAS MADERAS NACIONALES

MADERA EN ESTADO HUMEDO H 30%

Nombre de las especies forestales ensayadas	Fatiga de rupt. en Kg/cm'										Penetración Kgs/			Kgs/cm <sup>3</sup>			Kgs/cm <sup>3</sup>			Kgs/cm <sup>3</sup>							
	Cizalle simple tang.	Cizalle simple radial	Cizalle simple diagonal	Cizalle doble tang.	Cizalle doble radial	Traction normal tang.	Traction normal radial	Clivaje tang. americano	Clivaje radial americano	Clivaje tang. alemán	Clivaje radial alemán	Dureza tangencial	Dureza radial	Dureza axial	Lim. Prop. Compresión para las fibras	Ruptura normal americano	Lim. Prop. Compresión nor-mal a las fibras	Carga máx.	Coefficiente de elasticidad Alemán	Traction para tela a las fibras	Coefficiente de elasticidad americano	Lim. Prop.	Fat. máx.	Coefficiente de elasticidad americano			
Roble.....	89	67	88	306	..	57	..	65	..	24	..	422	434	410	144	263	110,897	99	..	18	59	6,007	619	93,477	359	631	87,751
Rauil.....	83	63	73	216	..	45	..	53	..	17	..	288	279	339	196	289	82,746	50	..	19	44	5,381	551	80,102	365	579	82,147
Coigüe.....	94	71	90	238	241	70	54	75	65	25	18	392	405	395	198	258	92,517	108	160	21	53	3,850	724	90,525	315	522	83,316
Pino A.....	72	58	71	..	..	44	24	49	32	17	11	262	268	275	169	230	67,236	43	85	13	29	1,916	522	81,385	282	451	84,458

MADERA EN ESTADO SECO AL AIRE

Roble.....	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	476	..	69	..	..	..	46	..	827	110,101	634	837	123,592
Rauil.....	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	366	..	80	..	..	..	84	..	581	79,890	516	784	99,795
Coigüe.....	126	96	116	287	298	96	66	122	78	34	28	427	436	481	243	469	111,519	91	194	35	80	6,751	851	90,879	514	794	106,246	
Pino A.....	127	90	105	..	..	75	41	70	48	24	16	312	308	412	278	424	110,184	81	158	25	61	3,180	1061	128,308	473	723	116,707	