

PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE POSTES DE PINO RADIATA CRECIDOS EN CHILE

Alberto Campos Barker (*)

RESUMEN

En este artículo se dan a conocer los resultados del ensayo normalizado de 315 postes a escala real y del ensayo de 8.500 probetas libres de defectos, destinados a conocer las propiedades físicas y mecánicas de los postes de pino radiata.

La metodología de ensayo fue expuesta en el artículo titulado "*Determinación de la resistencia de postes de pino radiata*", publicado en la edición N° 2 de esta revista.

Los ensayos se realizaron en tres estados: verde, seco e impregnado.

Se determinó que la tensión admisible de flexión de postes en estado seco aumenta en un 16% con respecto a postes en estado verde, y que la misma tensión disminuye un 25% en postes preservados a vacío y presión, frente a postes secos sin preservar.

Comparando los postes de pino radiata crecidos en Chile con los de la misma especie crecidos en Nueva Zelanda, se constató la similitud en las tensiones de ruptura entre ambos. Sin embargo, los módulos de elasticidad de postes de pino radiata crecidos en Nueva Zelanda son superiores hasta en un 32% a los crecidos en Chile.

Dado que una de las variables más importantes en la resistencia de los postes es la distancia entre verticilos, se entregan ecuaciones de correlación que permiten determinar las cargas máximas que soportarán los postes en función de esta variable.

ABSTRACT

This paper presents the results of a full size test of 315 Radiata pine poles under bending requirements and the results obtained by testing 8.500 small clear test specimens, in order to know the physical and mechanical properties of radiata pine poles.

The methodology of these tests was described in the paper entitled "Determination of radiata pine poles strength" published in this journal (Vol. 2).

The tests were performed with poles in three conditions: green, dry and preserved.

It was determined that, as compared to the green poles, the dry ones presented an allowable bending strength 16% higher, whereas the preserved poles presented values 25% lower than the dry ones.

Comparing the Chilean poles with those grown in New Zealand, the same kind of values for modules of rupture were found. Nevertheless, the modules of elasticity of the New Zealand grown poles were up to 32% higher.

Since one of the most important variables affecting pole resistance is the distance between whorls, functions that correlate this variable with maximum loads were developed.

(*) División Industrias, Instituto Forestal, Huérfanos 554, Santiago.

INTRODUCCION

El fuerte incremento en la producción de madera de pino radiata, no sólo se ha circunscrito a la madera aserrada, sino también ha provocado un importante aumento en el uso de postes de pino radiata. Es por esto que el Instituto Forestal realizó una investigación tendiente a llenar un vacío en este aspecto, cual es determinar las propiedades físico-mecánicas de los postes de pino radiata crecidos en Chile. Para determinar de manera real la resistencia de los postes, se consideró realizar los ensayos de acuerdo a la Norma ASTM D 1036-83 "Static Test of Wood Poles", la cual especifica que los ensayos principales deben realizarse a escala real y los ensayos secundarios en probetas libres de defectos. La metodología de ensayo se expuso en el número 2 de esta misma revista, motivo por el que se analizarán sólo los resultados de dichos ensayos, sin redundar en la explicación de la metodología de éstos.

El objetivo del presente trabajo es finalizar lo iniciado en aquel entonces, entregando en este número los resultados de los ensayos y las conclusiones que de ellos se deriven.

En la actualidad el Comité de Maderas del Instituto Nacional de Normalización ha aprobado la norma chilena NCh 2122 "Especificaciones y Dimensiones para postes de pino radiata", la cual regula y uniforma la clasificación de nuestros postes y además respalda una comercialización internacional, ya que se encuentra basada en normas reconocidas mundialmente como es el caso de las normas ASTM y ANSI.

RESULTADOS

El desarrollo del proyecto contempló el ensayo normalizado a escala real de un total de 315 postes en estado verde, seco e impregnado con sales tipo C.C.A., así como 8.500 ensayos secundarios de probetas libres de defectos provenientes de los postes ensayados. A continuación se entrega una recopilación de los resultados más relevantes del estudio.

Propiedades Físicas

Dentro de las propiedades físicas, para los efectos de este estudio, se consideró la determinación de la densidad y la humedad al momento de ensayo, y los valores que se obtuvieron son los siguientes:

TABLA 1
CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD

Estado	Contenido de Humedad (%)	Densidad (Kg/m ³)	
		Básica	Anhida
Verde	51	436	485
Seco	13	461	366
Impregnado	18	480	505

Características de Crecimiento

Una de las variables de mayor importancia en el resultado de la capacidad resistente de los postes fueron sus características de crecimiento, de éstas se midieron: Edad, porcentaje de albura, velocidad de crecimiento y conicidad. Los valores promedio de estas características son las entregadas en la Tabla 2.

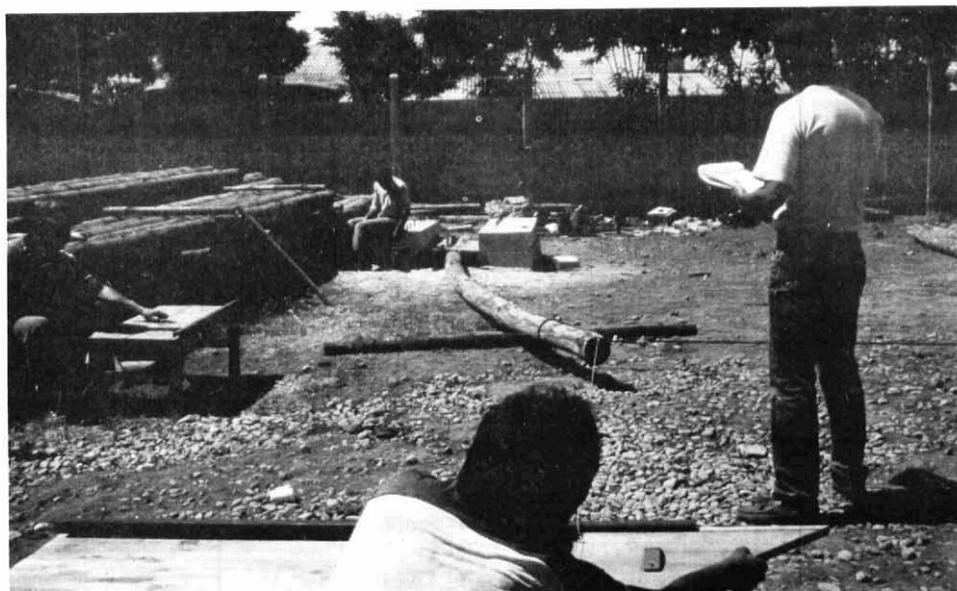
TABLA 2
PROMEDIO DE LAS CARACTERISTICAS DE CRECIMIENTO

CARACTERISTICA	ESTADO		
	Verde	Seco	Impregnado
Edad (años)	21	22	24
Porcentaje de albura (%)	49	56	50
Velocidad de crecimiento (anillos/cm)	2,5	2,7	2,9
Conicidad (cm/m)	2,1	2,2	2,2

Propiedades Resistentes Derivadas de los Ensayos Principales

Los postes, tal como se muestra en la Figura N° 1, se sometieron a ensayos de flexión. Para ello se empotró el poste en una silla de hormigón y se aplicó una carga en el extremo superior hasta provocar la ruptura.

FIGURA 1
Ensayo de Flexión a Escala Real



Los parámetros que se midieron y los resultados obtenidos se indican en las Tablas N° 3 y N° 4.

TABLA 3
RESULTADOS DE ENSAYOS PRINCIPALES

TENSIONES DE FLEXION	ESTADO		
	Verde	Seco	Impregnado
Tensión en la línea de tierra (Kg/cm ²)	537	679	614
Tensión de ruptura (Kg/cm ²)	512	645	584
Tensión admisible (Kg/cm ²)	165	191	143
Módulo de elasticidad (Kg/cm ²)	90.383	98.887	97.088

TABLA 4
CARGAS MEDIAS DE RUPTURA

CLASE	CARGAS MEDIAS DE RUPTURA (Kg) Y ESTADIGRAFOS PARA ESTADOS:								
	VERDE			SECO			IMPREGNADO		
	NUMERO DE ENSAY.	VALOR MEDIO	COEF. DE VAR. (%)	NUMERO DE ENSAY.	VALOR MEDIO	COEF. DE VAR. (%)	NUMERO DE ENSAY.	VALOR MEDIO	COEF. DE VAR. (%)
5	30	960	14,9	26	1047	31,6	30	930	22,2
6	30	788	16,9	30	876	28,4	30	815	24,6
7	30	699	19,7	30	843	20,4	31	785	23,8
9	15	666	19,2	15	805	26,1	18	670	25,6

Propiedades Resistentes Derivadas de los Ensayos Secundarios

Una vez que cada poste fue ensayado se obtuvieron de él probetas libres de defectos destinadas a realizar ensayos secundarios que permitieran establecer la relación entre la resistencia del poste y las probetas libres de defectos provenientes de éste. Los resultados obtenidos se indican en la Tabla N° 5.

TABLA 5
RESULTADOS DE ENSAYOS SECUNDARIOS EN FLEXION

FLEXION ESTATICA	ESTADO		
	Verde	Seco	Impregnado
Tensión límite de proporcionalidad (Kg/cm ²)	301	543	420
Módulo de ruptura (Kg/cm ²)	503	795	648
Módulo de elasticidad (Kg/cm ²)	84.840	101.609	86.879

Ecuaciones de Regresión

Los resultados de la medición de la distancia entre verticilos en los postes (d_{vert}) y la carga máxima promedio (\bar{P}) de éstos, se pueden relacionar a través de las ecuaciones de regresión lineal indicadas, en las cuales se indica además el coeficiente de correlación correspondiente (r).

TABLA 6
ECUACIONES DE REGRESION, ESTADO VERDE

CLASE	ECUACIONES	r
5	$\bar{P} = 765,0 + 2,63 \times d_{vert}$	0,562
6	$\bar{P} = 446,3 + 4,73 \times d_{vert}$	0,549
7	$\bar{P} = 157,3 + 6,89 \times d_{vert}$	0,978
9	$\bar{P} = 29,0 + 6,05 \times d_{vert}$	0,993

TABLA 7
ECUACIONES DE REGRESION, ESTADO SECO

CLASE	ECUACIONES	r
5	$\bar{P} = 389,7 + 9,28 \times d_{vert}$	0,285
6	$\bar{P} = 243,5 + 9,00 \times d_{vert}$	0,749
7	$\bar{P} = 479,0 + 4,99 \times d_{vert}$	0,851
9	$\bar{P} = 217,0 + 5,30 \times d_{vert}$	0,652

TABLA 8
ECUACIONES DE REGRESION, ESTADO IMPREGNADO

CLASE	ECUACIONES	r
5	$\bar{P} = 1375,3 - 6,76 \times d_{vert}$	-0,207
6	$\bar{P} = 410,5 + 5,80 \times d_{vert}$	0,535
7	$\bar{P} = 29,6 + 9,06 \times d_{vert}$	0,938
9	$\bar{P} = 373,4 + 3,07 \times d_{vert}$	0,452

Relación entre Resultados de Ensayos Principales y Secundarios

Uno de los parámetros importantes de medir es encontrar la razón de resistencia (R.R.) y la razón de rigidez (R.R.e.) de los postes. La razón de resistencia se define como el cociente entre la tensión de ruptura media obtenida en los ensayos principales (\bar{R}_f) y el módulo de ruptura medio obtenido en los ensayos secundarios (\bar{M}_r).

La razón de rigidez se define como el cociente entre el módulo de elasticidad medio obtenido en los ensayos principales (\bar{E}_f) y el módulo de elasticidad medio obtenido en los ensayos secundarios (\bar{M}_e).

Los valores determinados para ambos parámetros son los que se indican en la Tabla 9.

TABLA 9
RAZONES DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ

RAZON	ESTADO		
	Verde	Seco	Impregnado
$R.R. = \frac{\bar{R}_f}{\bar{M}_r}$	0,986	0,760	0,91
$R.R.e = \frac{\bar{E}_f}{M_e}$	1,060	0,790	1,12

La explicación de un valor mayor que la unidad de la razón de rigidez se encuentra en el efecto de la forma cilíndrica del poste, la cual le da un óptimo comportamiento estructural, además de la influencia de madera de mayor densidad en la periferia de la sección transversal, lo que influye sobre el momento de inercia del poste sometido a deformación aumentando su rigidez.

Comparación entre Postes Chilenos y Neozelandeces

Sin lugar a dudas, debido a las similitudes existentes resulta interesante realizar una comparación entre los ensayos de postes de pino radiata crecidos en Chile y los resultados de ensayos de postes de pino radiata crecidos en Nueva Zelanda, para esto se entregan las Tablas N° 10, N° 11 y N° 12.

TABLA 10
COMPARACION RESULTADOS CHILENOS Y NEOZELANDECES
Estado Verde

ORIGEN	NUMERO DE ENSAYOS	TENSION DE RUPTURA R_f (Kg/cm ²)	MODULO DE ELASTICIDAD E_f (Kg/cm ²)	RAZON $P_1 / P_{m\acute{a}x}$
Chile	105	512	90.383	0,60
Nueva Zelanda	72	526	106.400	0,55

P_1 = Carga en el límite de proporcionalidad.

$P_{m\acute{a}x}$ = Carga máxima o de ruptura.

TABLA 11
COMPARACION RESULTADOS CHILENOS Y NEOZELANDECES
Estado Seco

ORIGEN	NUMERO DE ENSAYOS	TENSION DE RUPTURA R_f (Kg/cm ²)	MODULO DE ELASTICIDAD E_f (Kg/cm ²)	RAZON $P_1 / P_{m\acute{a}x}$
Chile	101	645	98.887	0,69
Nueva Zelandia	12	697	123.769	0,52

P_1 = Carga en el límite de proporcionalidad.

$P_{m\acute{a}x}$ = Carga máxima o de ruptura.

TABLA 12
COMPARACION RESULTADOS CHILENOS Y NEOZELANDECES
Estado Impregnado

ORIGEN	NUMERO DE ENSAYOS	TENSION DE RUPTURA R_f (Kg/cm ²)	MODULO DE ELASTICIDAD E_f (Kg/cm ²)	RAZON $P_1 / P_{m\acute{a}x}$
Chile	109	584	97.088	0,67
Nueva Zelandia	12	571	127.964	0,59

P_1 = Carga en el límite de proporcionalidad.

$P_{m\acute{a}x}$ = Carga máxima o de ruptura.

Comparación entre Ensayos en Estado Seco e Impregnado

El conocimiento de la variación en la resistencia de un poste en estado impregnado frente a un poste seco sin impregnar, entregará una relación cuantitativa del efecto que tiene sobre las propiedades físico-mecánicas el proceso de preservación a vacío y presión, la Tabla 13 entrega estas relaciones.

TABLA 13
PROPIEDADES ESTADO IMPREGNADO vs ESTADO SECO

PROP. RESISTENTE	UNIDAD	ESTADO IMPREGNADO	ESTADO SECO	Razón = $\frac{\text{Est. Impregnado}}{\text{Estado Seco}}$
Tensión de ruptura	Kg/cm ²	584	645	0,905
Tensión en la línea de tierra	Kg/cm ²	614	679	0,904
Módulo de elasticidad	Kg/cm ²	97.088	98.887	0,981
Tensiór. admisible	Kg/cm ²	143	191	0,748

CONCLUSIONES

Para analizar los resultados de los ensayos principales de los 315 postes se determinaron ecuaciones de regresión que relacionan la tensión de ruptura (R_f) con el módulo de elasticidad (E_f). En este sentido se entrega la recta de regresión determinada directamente de los ensayos y la recta de regresión que excluye el 5%, es decir, con una confiabilidad estadística tal que el 95% tendrá una tensión de ruptura superior a la calculada mediante la ecuación.

TABLA 14
REGRESION R_f (vs) E_f

ESTADO	Nº DE ENSAYOS	RECTA DE REGRESION	RECTA DE REGRESION CON 5% DE EXCLUSION	r
Verde	105	$R_f = 333 + 1,95 \times 10^3 E_f$	$R_f = 202,4 + 1,95 \times 10^3 E_f$	0,623
Seco	101	$R_f = 73,2 + 5,8 \times 10^3 E_f$	$R_f = 145,4 + 5,8 \times 10^3 E_f$	0,756
Impregnado	109	$R_f = 222,2 + 3,7 \times 10^3 E_f$	$R_f = 188,3 + 3,7 \times 10^3 E_f$	0,582

En las propiedades mecánicas, como era de esperar, se produjeron diferencias de acuerdo al estado de los postes. La cuantificación de éstas es de suma importancia ya que entrega los factores de modificación a usar en un poste inicialmente en estado verde y que se usará en estado seco o impregnado.

El resultado de los ensayos indicó que la tensión admisible de flexión en un poste en estado verde se incrementó en un 16% al secar el poste. En un poste originalmente seco e impregnado a vacío y presión y secado posteriormente al aire, la tensión admisible de flexión disminuyó en un 25% debido al proceso de preservación.

Se pudo constatar durante los ensayos y posteriormente en el procesamiento de los datos obtenidos en ellos, la directa relación entre verticilos y la carga máxima que soporta el poste.

La mayoría de los postes fallaron en las secciones donde se encontraban los verticilos, además como era de esperarse, a mayor distancia entre verticilos mayor fue la carga soportada para postes de geometrías similares. Las ecuaciones que relacionan estas variables están dadas en las Tablas 6, 7 y 8.

Sin lugar a dudas, resulta muy interesante evaluar las razones de resistencia y rigidez, las cuales son excepcionalmente altas comparándolas con la madera aserrada de pino radiata. Sin embargo, en el caso de postes desempeña un factor determinante la geometría circular de éste, la cual le da favorables condiciones de inercia a los postes sometidos a flexión. Es por este motivo que el cociente entre valores de ensayos a escala real y los valores obtenidos en probetas libres de defectos es tan alto.

La comparación entre investigaciones realizadas en Nueva Zelandia y en Chile permiten notar la similitud de resultados en la tensión de ruptura entre los postes crecidos en uno y otro país. Sin embargo, los módulos de elasticidad medidos en Nueva Zelandia son superiores a los medidos en estos ensayos realizados en Chile en una proporción que fluctúa entre 18% y 32%.

Finalmente, resulta conveniente recomendar y fomentar el uso de la NCh 2122 "Postes de pino radiata, Especificaciones y Dimensiones", la cual regula y clasifica los postes de acuerdo a la metodología de la norma "American National Standards Institute 05.1-1979" "Specifications and Dimensions for Wood Poles", logrando así optimizar el uso de las propiedades resistentes de los postes de pino radiata crecidos en Chile.

BIBLIOGRAFIA

1. AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE (ANSI), U.S.A. "Specifications and Dimensions for Wood Poles" ANSI 05.1-1989.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, STATIC TEST OF WOOD POLES. ASTM - D 1036 - 1983.
3. CAMPOS B. ALBERTO (1987). Determinación de la resistencia de postes de pino radiata. INFOR. Chile. Ciencia e Investigación Forestal. Vol. 1 N° 2 Diciembre. pp. 93-107.
4. COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION, AUSTRALIA. "The Strength of Australian Poles Timbers". Paper N° 53, 1968.
5. FOREST RESEARCH INSTITUTE, NEW ZEALAND FOREST SERVICE. "Radiata Pine Wood Properties Survey (1977-1982), Bulletin N° 50, 1983.
6. FOREST RESEARCH INSTITUTE, NEW ZEALAND FOREST SERVICE. "The Strength of New Zealand Radiata Pine Poles", Technical Paper N° 36, 1965.
7. FOREST RESEARCH INSTITUTE, NEW ZEALAND FOREST SERVICE. "Wood Properties of Radiata Pine in Some Forest of the Bay of Plenty/Taupo Región", Bulletin N° 81, 1984.
8. PEREZ G. VICENTE y CAMPOS B. ALBERTO (1989). "Propiedades Físico-mecánicas de Postes de pino radiata crecidos en Chile. INFOR. Chile, Informe Técnico N° 115, Enero.