

Estudio experimental sobre piezas de madera cargadas de punta (1)

POR

FERNANDO MANTEROLA G.

En el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad Católica el año 1921, se hicieron ensayos de resistencia de maderas solicitadas como piezas cargadas de punta, en secciones comerciales, bajo la dirección y vigilancia del profesor del ramo Don Miguel Letelier E.

Ya anteriormente se habían hecho ensayos de las demás sollicitaciones simples, y no se las había estudiado bajo este aspecto, debido a la dificultad que había para ensayar con longitudes y secciones usuales, en la máquina del laboratorio. Se le hizo el agregado que puede verse en la fotografía y que más adelante se describirá.

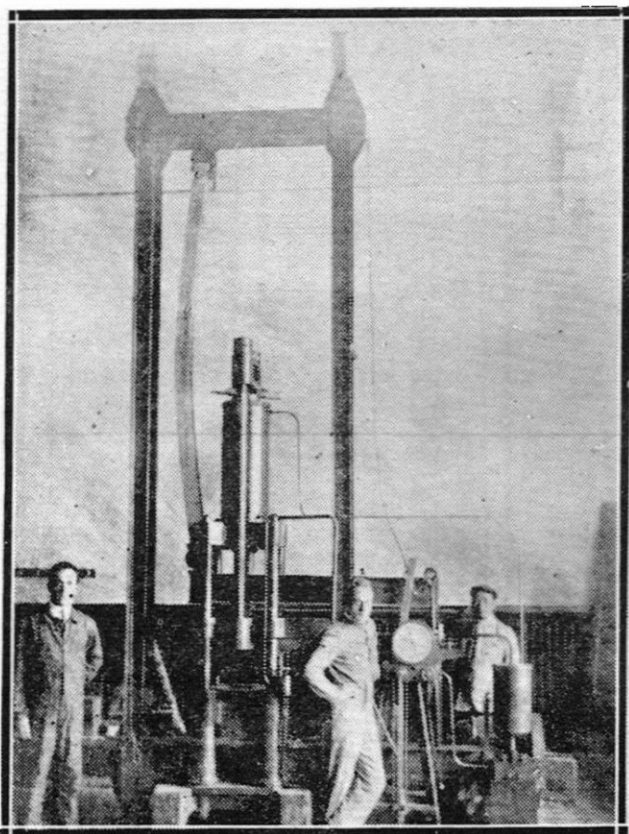
Se eligió para los ensayos maderas en buen estado de Roble, Coigüe y Alamo. La primera por ser universalmente empleada en el país en todo género de construcciones; la segunda para conocer sus características de resistencia, ya que es una madera de extraordinaria abundancia en la región Sur y que como puede verse en los cuadros de resistencia que se acompaña, tiene tasas de ruptura sólo en un 15% inferiores aproximadamente a las del roble; actualmente es una madera de reducido empleo en construcciones definitivas, debido a su constitución fibrosa fácil de descomponerse. Y por fin se hicieron ensayos también en Alamo por ser madera que se emplea bajo esta sollicitación en construcciones provisorias.

Los ensayos se hicieron en piezas de longitud uniforme 3 mts. y secciones que variaron entre 2×3 y 6×7 pulgadas o sea englobando longitudes relativas que varían entre 50 y 200 aproximadamente.

Los ensayos se hicieron solamente con piezas de extremos articulados, por reducirse en esta forma a un mínimo los motivos de error teniendo en cada ensayo el

(1) Estos ensayos se hicieron en colaboración con don Fernando Ovalle G. H.

cuidado de lubricar las rótulas; además, por que para los efectos de cálculos de piezas empotradas, o empotradas y articuladas a la vez, basta con multiplicar las cifras indicadas en las tablas de ruptura por los coeficientes relativos a cada sollicitación: 4 para las piezas empotradas en ambos extremos; 2 para las articuladas en un extremo y empotradas en el otro.



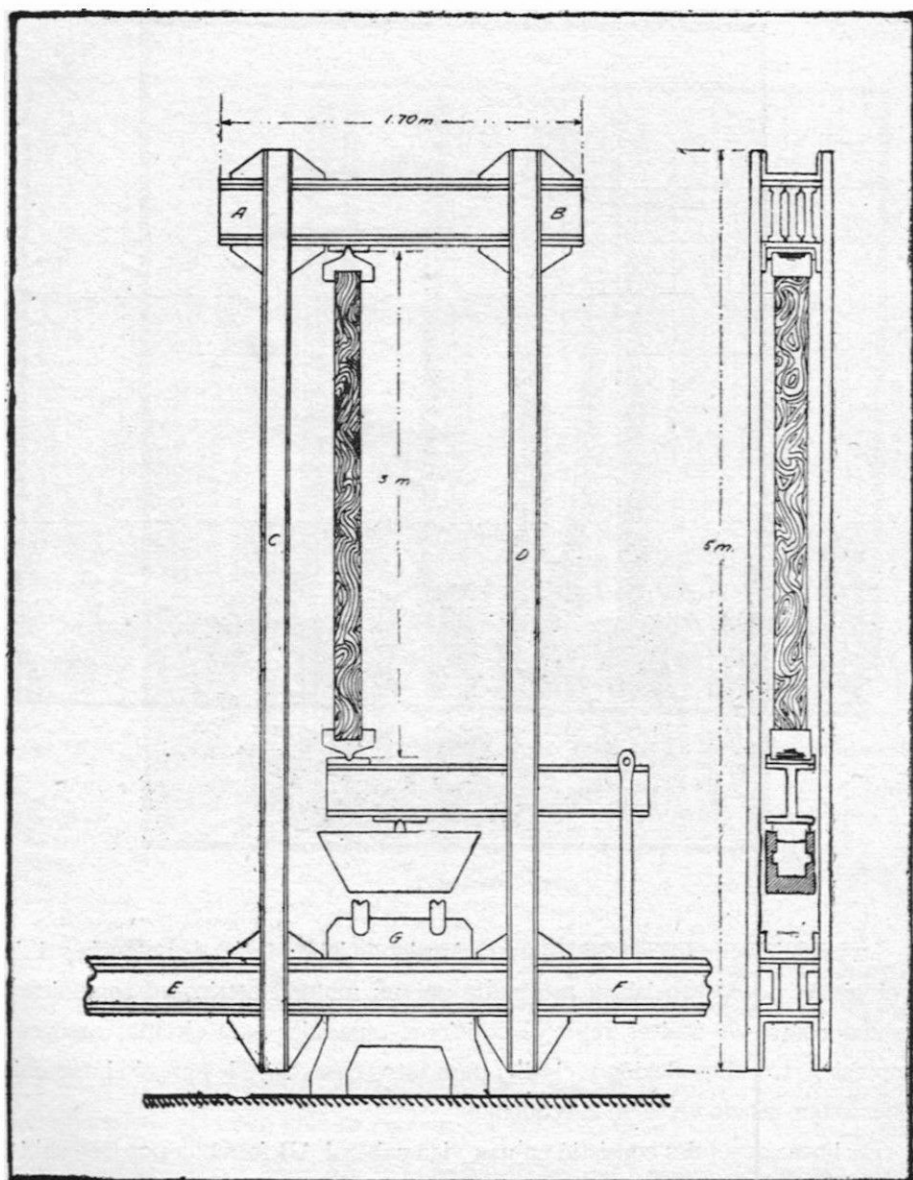
Grabado 1

La máquina con que se operó; fué la Amsler de laboratorio, de potencia máxima en el pistón de 80 toneladas, accionada por un motor electrico en comunicación con una bomba de aceite. Tenía disposiciones especiales para ejecutar ensayos de compresión, tracción, flexión y cisalle; para estos ensayos se le agregó el andamiaje de hierro que puede verse en el esquema.

En líneas generales consistió en una viga cabezal AB formada por tres doble T y dos platabandas, viga cajón de gran rigidez. Este cabezal estaba sostenido por

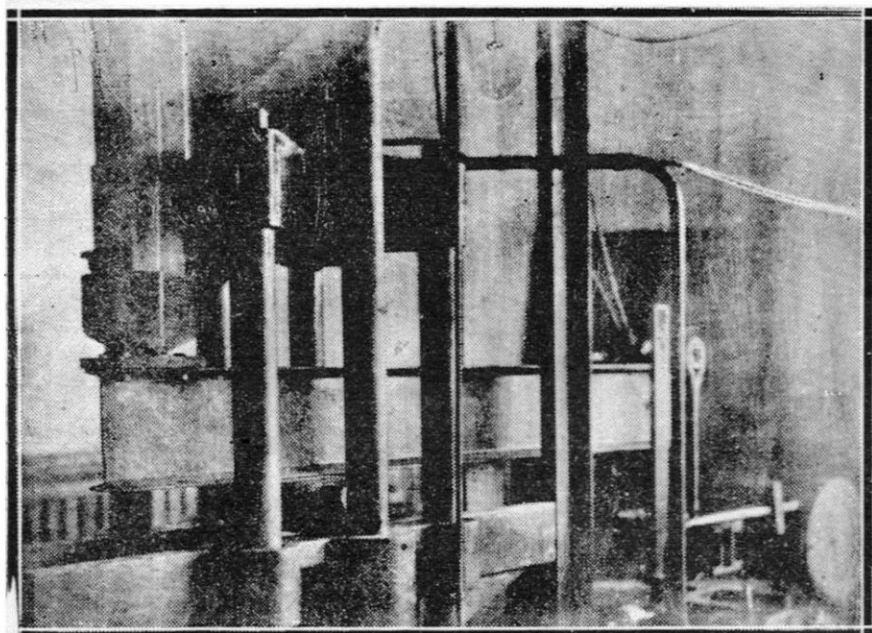
cuatro montantes CD fierros U, los que a su vez descansaban en una viga cajón EF formada por dos U y dos platabandas que pasaba por debajo del pie de la máquina G.

La pieza de madera embutida en dos casquetes de fundición, se la comprimía gradualmente por medio de un balancín, como puede verse en la fotografía.



Esquema del agregado

Este balancín tenía un extremo fijo por medio de un tirante y en el otro alojaba la rótula del casquete extremo de la pieza por ensayar. En esta forma la máquina siempre tuvo un esfuerzo centrado. En lo que respecta a la pieza ensayada, tenía una escuadría de menor rigidez en el sentido de las rótulas, de modo de obligarla así a pandearse en este plano; esta es la razón por qué las piezas ensayadas no fueron nunca de secciones cuadradas, sino rectangulares de 2×3 , 3×4 , 4×5 y 6×7 pulgadas.



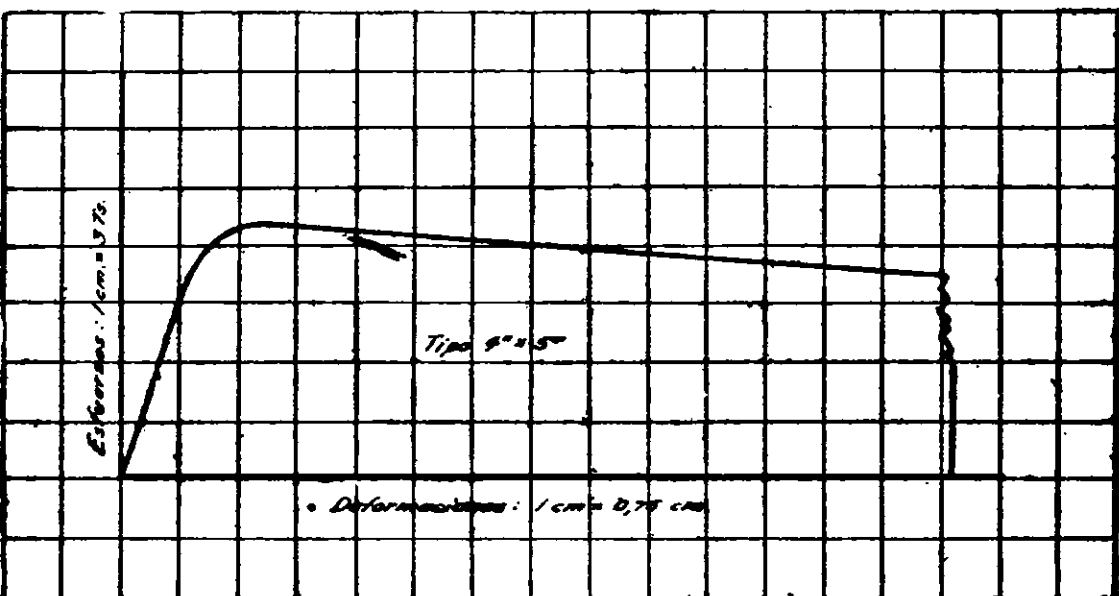
Grabado 2

Los ensayos la máquina los registraba dibujando para cada uno un diagrama como el que se acompaña; éste corresponde a una pieza de roble-pellín que se quebró con un esfuerzo de 13 500 kgs.

En abscisas iban las flechas a escalas doble y en ordenadas los esfuerzos. Bien claramente se observan en el gráfico 3 períodos: 1) de crecimiento de la flecha junto con el aumento del esfuerzo resistente; 2) de disminución del esfuerzo resistente junto con el crecimiento de la flecha; y 3) la ruptura, que se opera con una tasa aproximadamente los $\frac{3}{4}$ de la crítica (máxima) del ensayo. Esto tiene su explicación racional pues en el primer período se trata de una pieza de madera solicitada como cargada de punta y sin flecha inicial, y en este tercer caso es ya con una considerable flecha.

Un criterio que se tuvo en cuenta para juzgar de la bondad de cada pieza ensayada fué la forma del diagrama; cuando la pieza tenía algún nudo o algún costado débil, el ángulo formado por la primera parte de la curva con el eje de los esfuerzos

*Gráfico N.º 4.
Ensayo de una pieza de ROBLE PELLIN*



crecía en razón inversa con la resistencia de la pieza. Para los efectos de la construcción de las tablas que se acompaña, se consideró sólo los ensayos de piezas en buen estado.

He aquí las tablas para estas tres maderas, objeto de los ensayos:

(1) LONGITUDES RELATIVAS TASAS DE RUPTURA Kgs. : cm²

$\frac{L}{r}$	Roble	Coigue	Alamo
50	195	166	125
55	184	156	116

(1) La longitud relativa que se ha considerado para la construcción de estas tablas, no es el cociente de la longitud de la pieza por la dimensión menor de la sección, sino que la relación entre esta longitud y el radio de giro mínimo, que en el caso de un rectángulo es

$$r = \frac{b}{\sqrt{12}}, \text{ siendo } b \text{ el lado menor.}$$

60	173	145	107
65	163	136	99
70	153	127	91
75	144	119	84
80	134	110	78
85	126	102	71
90	117	95	65
95	109	87	59
100	101	81	53
105	93	75	48
110	86	69	44
115	79	63	40
120	72	58	36
125	67	53	33
130	62	48	30
135	56	44	27,5
140	52	40	25,5
145	48	37	23,8
150	44	34	22,5
155	41	31,5	21,6
160	38	29,5	21
165	36	28,9	20
170	34	28,3	19,5
175	32	27,7	19
180	31	27,2	18,7
185	30	26,6	18,3
190	29	26	18
195	28	25,5	17,8
200	27	25	17,5

**

Un punto interesante de este estudio fué comparar las tasas de ruptura media que resultaron de los diferentes ensayos, con los valores que se obtendrían para

esas longitudes relativas empleando la fórmula usual de Euler y ver entre qué límites es aplicable esta expresión.

$$\text{La fórmula de Euler es: } P = K \pi^2 \frac{E \times J}{L^2} \quad (\text{a})$$

P es el esfuerzo total de ruptura

K es el coeficiente de disposición de los extremos y en este caso de articulados = 1

E coefi. de Elasticidad de la madera

J momento mínimo de inercia de la sección W de la pieza

L largo total de la pieza.

Como lo que nos interesa para la comparación, son las tasas críticas, transformamos esta expresión (a) en (b) dividiendo ambos miembros por la superficie W y sustituyendo J por su valor Wr^2 .

$$\text{(b) } tr = \frac{E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2}$$

En lo que respecta a E, se lo midió con suficiente exactitud, por medio de varias experiencias de flexión y se encontró para el Ròble:

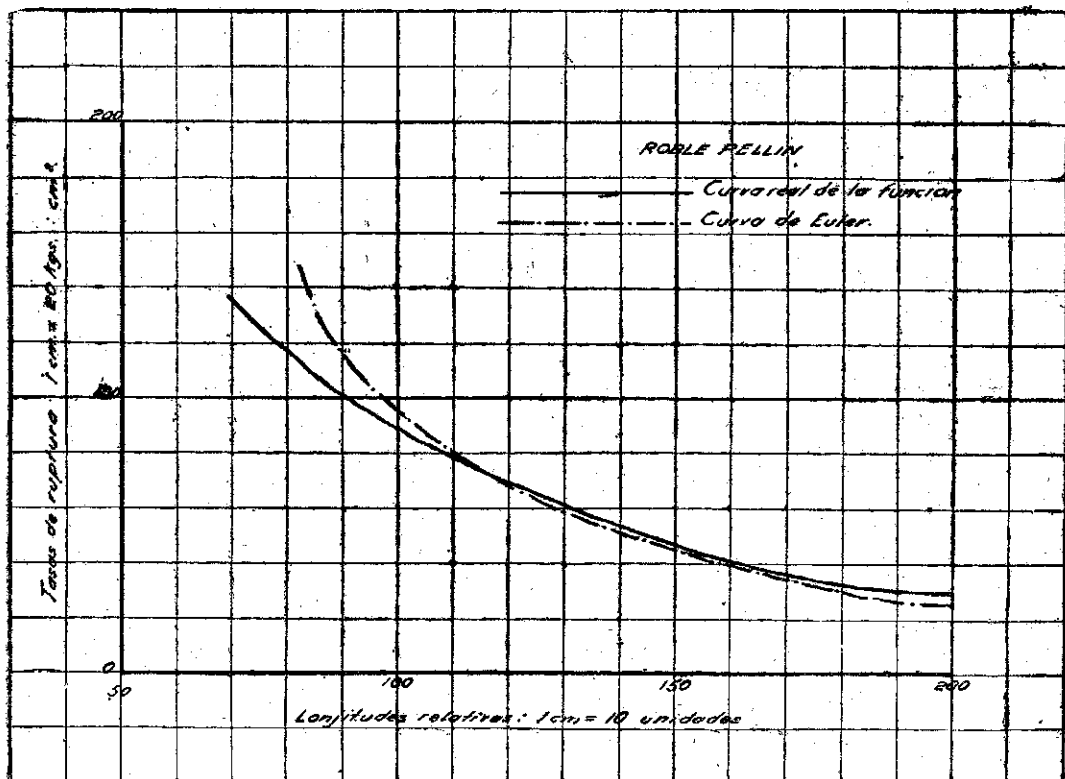
$$E = 105\,000.$$

En el gráfico adjunto se dibujaron ambas curvas.

la curva real de la función $t = f\left(\frac{L}{r}\right)$ dibujada con raya continua, y la de Euler con línea discontinua.

Como puede verse, para longitudes relativas entre 100 y 200 están muy próximas, pero inferiores a 100 (piezas de gran sección en pequeña longitud), se apartan sensiblemente y la de Euler da tasas críticas (resistentes) mayores que el límite de aplastamiento de la madera. En consecuencia, estos ensayos confirmaron la recomendación de Tetmayer de usar la fórmula de Euler sólo entre estos límites.

Gráfico N° 2



Como curiosidad se estudió a qué familia de curvas pertenecerían las tres que se habían dibujado para las tres maderas ensayadas y se vió que con alguna aproximación pertenecían al género parábola, (la fórmula de Euler es de esta familia) Fácil fué encontrar las constantes, y así las ecuaciones que con bastante aproximación rigen esta función entre los límites ensayados, que por lo demás son los usuales son:

$$\text{para el Roble } t_r = 0,00817 \left(\frac{L}{r} \right)^2 - 3,185 \frac{L}{r} + 337,3$$

$$\text{Coigüe } t_r = 0,00764 \left(\frac{L}{r} \right)^2 - 2,847 \frac{L}{r} + 289,2$$

$$\text{Alamo } t_r = 0,00709 \left(\frac{L}{r} \right)^2 - 2,485 \frac{L}{r} + 230,8$$

expresiones en las cuales se obtiene t_r en Kgs. por cm^2 . poniendo en centímetros la longitud y radio de giro de la pieza.

* * *

He recopilado estas conclusiones del estudio experimental hecho en 1921, por insinuación de D. Miguel Letelier E. que ha estimado serían de interés para los "Anales del Instituto" conocer las características de resistencia en esta sollicitación, de maderas de tan amplio empleo en construcciones.