

SOBRE PROPIEDADES FÍSICAS

DE UNA

MADERA POCO CONOCIDA EN LA INDUSTRIA : LA DEL ITÍN O BARBA DE TIGRE

(« PROSOPIS KUNTZEI » HARMS) (*)

POR EDUARDO LATZINA

ZUSAMMENFASSUNG

Ueber physikalische Eigenschaften eines in der Industrie wenig bekannten Holzes : das sogenannte Itin-oder Barba de Tigre-Holz (*Prosopis Kuntzei* Harms). — Der *Itin* ist ein merkwürdiger Baum von Nord- und West-Argentinien. Sein Holz ist ausserordentlich hart, von grosser Festigkeit, sehr schwer und dauerhaft. Der Verfasser hat dieses Holz untersucht und sein spezifisches Gewicht, seine Dichte, Porosität, Zug-, Druck- und Biegefestigkeit bestimmt. Ausserdem wurden Vergasungsversuche ausgeführt, und der Heizwert des Holzgases, der Holzverbrauch pro PS-Stunde in einem Gasmotor und andere für die Technik wichtige Werte ermittelt.

Cuando se viaja por nuestras provincias del norte para contemplar su naturaleza se ven árboles que por su aspecto singular y sus características llaman vivamente la atención del observador. Uno de estos árboles es el Itín o Barba de tigre, al cual los naturales del Chaco y de Formosa llaman Jacarandá. Su nombre botánico es *Prosopis Kuntzei* Harms. y pertenece a la familia de las Leguminosas, subfamilia de las Mimosoideas. Este árbol alcanza hasta 10 m. de alto y su diámetro en el tronco llega a veces a 0,60 m. Largas y durisi-

(*) Experimentos efetuados por el autor en los laboratorios de máquinas y de ensayos de materiales de la Escuela Industrial de la Nación « Otto Krause ».

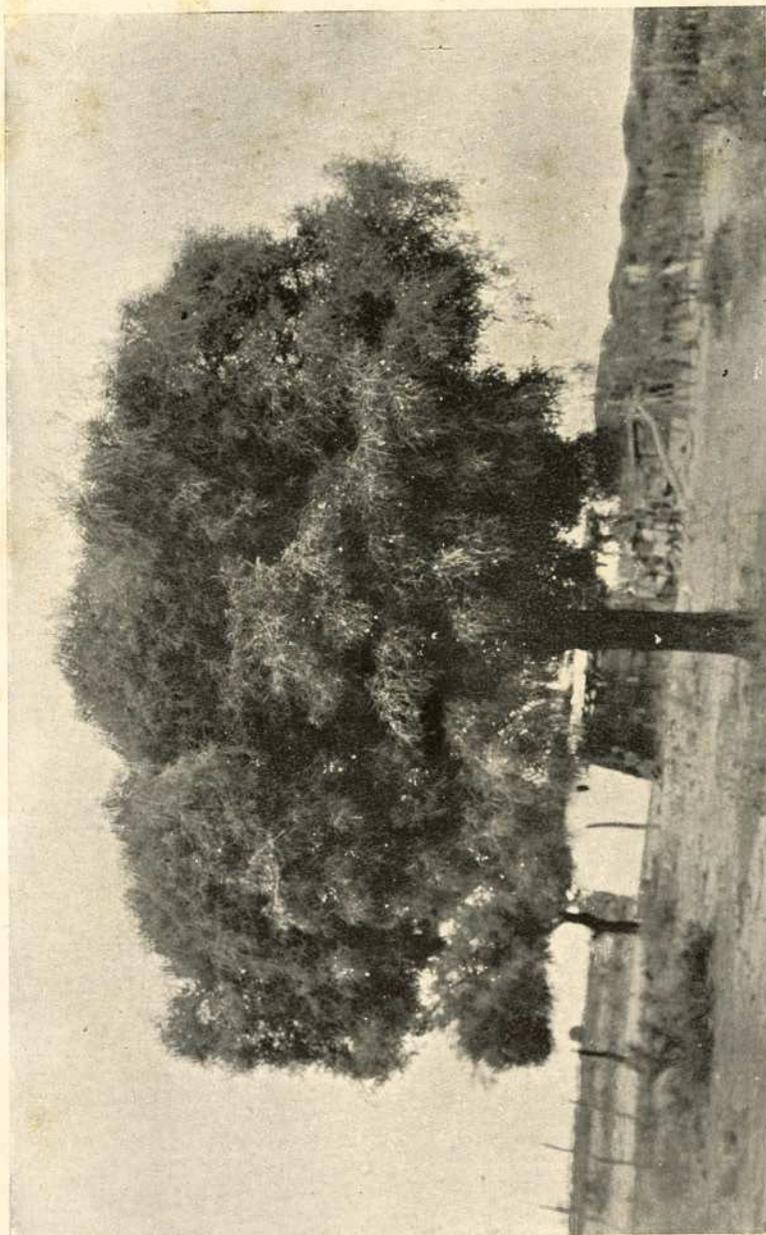
mas espinas lo cubren desde la base hasta la cima en todas direcciones, dándole un aspecto extraño e imponente. Es áfido durante casi todo el año. « En los meses de primavera y especialmente después de una lluvia, se notan en las ramificaciones de la planta pequeños puntos prominentes que dan nacimiento a nuevas espinas. Estas, que al principio son delgadas y blandas se tornan en más gruesas y duras, llegando a tener 10 a 25 cm. de largo por 3 a 6 mm. de diámetro. Es sobre estas nuevas espinas principalmente que aparecen las hojuelas en número de dos, sobre brevísimos pecíolos apenas visibles. Algunas veces se presentan dos pares de hojuelas y por excepción tres pares. Las hojuelas son oblongas, de 5 a 10 mm. de largo, duran un mes solamente y caen después. Las espinas desarrolladas son de consistencia leñosa, verduscas, angulosas, estriadas con rayas blanquecinas y forman ramos fasciculados. Inflorescencia en espigas cilíndricas, de 5 a 8 cm. de largo. Las flores son sésiles o de pedúnculos muy cortos. Blancas al principio, se convierten después en amarillentas y llegan a tomar un color rosado. El fruto es una legumbre recta, dura, compacta, de 10 a 20 cm. de largo por 8 a 12 mm. de ancho. Exteriormente es negro violáceo, reluciente, algo rugoso. Contiene un mesocarpio pulposo, seco, astringente, en medio del cual se encuentran íntimamente adheridos a él 8 a 10 endocarpios cuadrados con las esquinas redondeadas, convexos, de 1 cm. de largo por 6 a 8 mm. de ancho y 3 a 5 mm. de espesor. En cada uno de estos endocarpios se encuentra una semilla ovoidea, lisa, convexa, de 4 mm. de largo por 2 a 3 mm. de ancho. Las raíces son largas, fibrosas, muy duras, pesadas, de color rojizo, con puntos o escamitas brillantes de apariencia resinosa. Exteriormente estas raíces son rugosas, agrietadas, de color pardo-rojizo, inodoras y de sabor propio.»

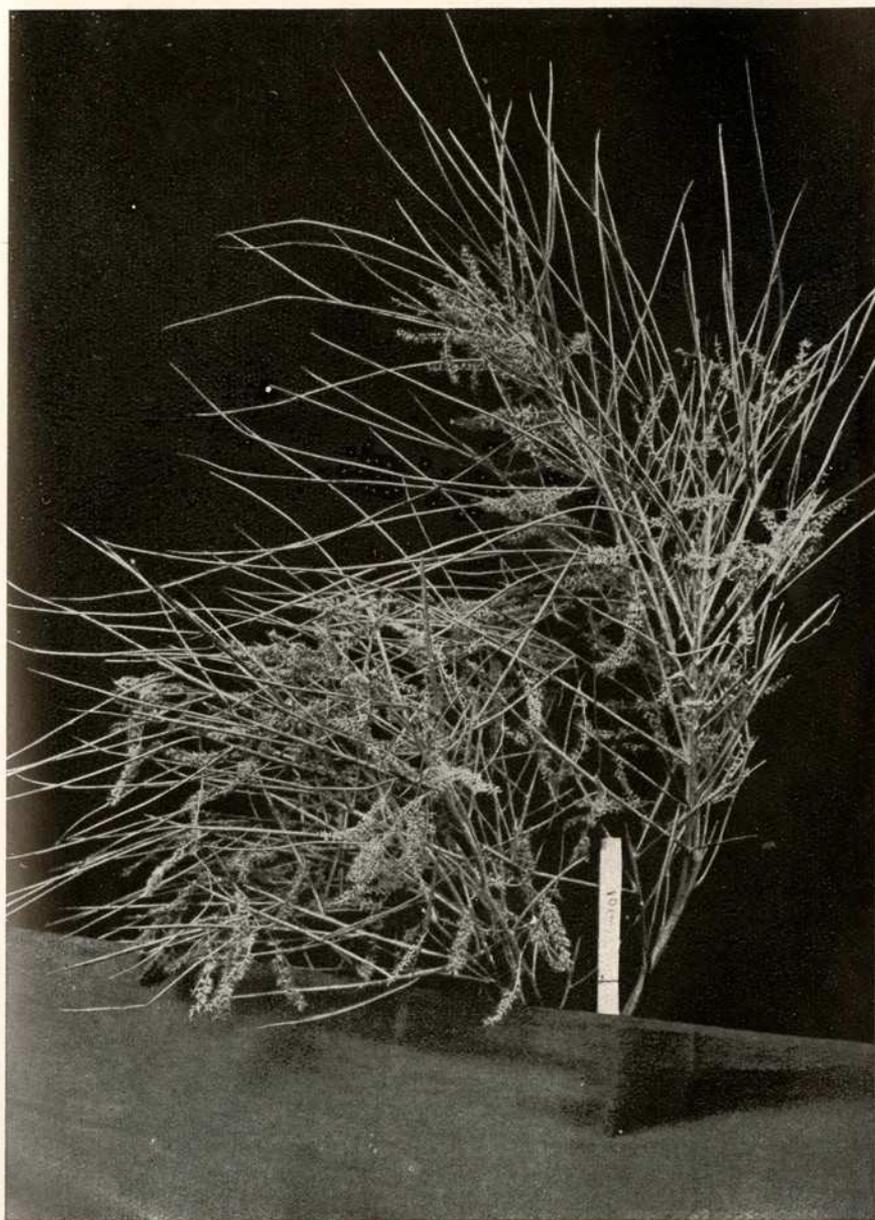
La corteza del tronco es más bien delgada, de color, en parte castaño y en parte grisáceo. Tiene grietas que siguen más o menos la dirección del eje del tronco.

El leño tiene mucho duramen y poca albura. El duramen de la madera recién cortada es de color violáceo, el cual se torna después de cierto tiempo en pardo-oscuro. La albura es

E. LAZARNA, *El Itín o Barba de tigre*

LÁMINA I

*Prosopis Kuntzei* Harms, Itín o Barba de tigre. El Charco, Santiago del Estero. (Foto de R. Schreiter)



Rama de Itín en flor. Procedencia : El Charco. Santiago del Estero. (Foto de R. Schreiter)

blanco-amarillenta. El duramen es compacto, quebradizo, muy duro y pesado. Tiene fibras retorcidas y entreveradas, por lo cual resulta trabajoso cortarlo con hacha. El aserrín que la madera produce es de color pardo-violáceo.

El Itín es bastante copudo cuando está bien desarrollado, como puede verse en la lámina que acompaña a este trabajo. Es más corpulento en Santiago del Estero y el Chaco que en la provincia de Córdoba, donde su altura no excede, por lo general, de 4 m. Por otra parte, el árbol cordobés ofrece un aspecto diferente del santiaguense y del chaqueño. Esto indujo a Teodoro Stuckert a crear la especie *Prosopis barbaticgridis* Stuck. que se refiere al Barba de tigre de Córdoba. Probablemente, la especie propuesta por Stuckert es, a lo sumo, una variedad de *P. Kuntzei*.

La especie considerada es xerófita y habita en Córdoba, San Juan, La Rioja, Catamarca, Santiago del Estero, Tucumán, Salta, Jujuy, Formosa, Chaco y Santa Fe. Tiene, pues, una dispersión geográfica bastante extensa.

Los ensayos que he efectuado con la madera de Itín se refieren a los pesos específicos relativo y absoluto, a la compacidad y porosidad, dureza, resistencias a la rotura por tracción, compresión y flexión, poder calorífico del leño, gasificación de la madera, consumo de leña por caballo-hora indicado y por caballo-hora efectivo, poder calorífico del gas pobre, análisis del leño, composición del gas pobre, aceites obtenidos, alquitrán recogido durante la prueba de gasificación, etc.

El material utilizado en estos ensayos fué suministrado por la Dirección General de Tierras, y procede de la Estación Experimental que esta repartición mantiene en el Chaco.

Peso específico relativo. — Se determinó por medio de varios cubos de unos 10 cm. de arista extraídos de dos troncos diferentes. Dichos cuerpos fueron terminados cuidadosamente en el torno de mecánico, a fin de que tuviesen formas perfectas. Luego se pesaron y se midió el volumen de cada uno de ellos. Al efectuarse las pesadas, el leño tenía 15,48 a 16,02 % de humedad. Se obtuvo así

$$\gamma = 1,263 - 1,299 \text{ kg/dm}^3.$$

Peso específico absoluto. — Se refiere al aserrín de la madera y fué determinado con ayuda del picnómetro. El aserrín obtenido mediante una sierra muy fina para metales se hizo pasar por un tamiz de mallas pequeñísimas. Una cierta cantidad de este aserrín fué colocado en una cápsula de porcelana cuyo peso había sido determinado. Se pesó la cápsula con el aserrín y se la colocó en una estufa a 105°C hasta que el primero perdió toda su humedad. Luego se llenó el picnómetro con agua destilada hasta la marca que lleva su tubo capilar. En seguida se pesó el picnómetro lleno, junto con la cápsula que tenía aserrín seco.

Si P es el peso del picnómetro vacío, A el del agua que contiene, C el de la cápsula, M el del aserrín seco y G el peso total, se verifica

$$P + A + C + M = G.$$

Todo el aserrín de la cápsula se introdujo después en el picnómetro, con lo cual una parte del agua fué expulsada del instrumento. Hecho esto se sometió el picnómetro al vacío para que el aire interpuesto entre las partículas de aserrín escapase al exterior. El nivel del agua descendió dentro del instrumento y se restableció el nivel primitivo introduciendo líquido. El picnómetro contiene ahora menos agua que antes. Llamando A' el peso de esta última y G' el del conjunto, se tiene ahora

$$P + A' + C + M = G'.$$

Por resta se obtiene

$$A - A' = G - G'.$$

A - A' es el peso del agua desalojada por el aserrín, número que es igual al volumen de esa cantidad de líquido. Por consiguiente, el peso específico absoluto de la madera está dado por

$$\gamma' = \frac{M}{A - A'}.$$

Así se encontró

$$\gamma' = 1,512 \text{ kg/dm}^3.$$

Se aprovechó este ensayo para hallar el valor de la humedad del aserrín que resultó igual a 0,087 o sea 8,7 %.

Determinado los dos pesos específicos se obtuvo el *grado de compacidad* de la madera que está dado por la relación

$$\frac{\gamma}{\gamma'} = \frac{1,279}{1,512} = 0,845 = 84,5 \%$$

(1,279 es el peso específico medio).

El *grado de porosidad* de la madera resulta de aquel valor, pues es igual a $1 - 0,845 = 0,155 = 15,5 \%$.

Dureza. — Esta se determinó con la máquina de Brinell haciendo penetrar en la madera una bola de acero sobre la cual actúa un esfuerzo que se hace aumentar gradualmente. Para este ensayo se requiere que la superficie de la madera sobre la cual la bola deja su impresión, esté perfectamente lisa. El esfuerzo que desarrolla la máquina actúa normalmente a dicha superficie. La penetración de la bola, o sea la altura del casquete esférico que ella forma en la madera, se mide con un esclerómetro. Este señala automáticamente el valor de la penetración en centésimos de milímetro. Cuando se trata de maderas muy duras como el Quebracho colorado, el Palo Santo, el Guayacán (*Bulnesia Sarmientii*) y el Itín se dispone la máquina para que pueda desarrollar una carga máxima de 500 kg. El valor de la carga lo da directamente un manómetro en el cual se puede seguir el crecimiento progresivo de la misma durante el ensayo. Por lo general, se procura que la penetración de la esfera no exceda de 3 mm, a fin de que las fibras de la madera no se disgreguen por efecto de la carga. Si P es la carga en kg correspondiente a la profundidad y (en mm), la dureza en *unidades Brinell* está dada por la fórmula

$$D = \frac{P}{\pi dy}$$

La dureza se determinó en la dirección de las fibras (⊙) y en dirección normal (⊥) a la anterior para el duramen. Los valores que se obtuvieron son los siguientes:

Carga empleada P = 500 kg.

⊙ 1) $y = 1,08$ mm, $D = 14,73$; 2) $y = 1,08$ mm, $D = 14,73$;
3) $y = 1,00$ mm, $D = 15,91$; 4) $y = 1,015$ mm, $D = 15,67$.

⊙ $D_{\text{máx}} = 15,91$, $D_{\text{mín}} = 14,73$, $D_{\text{med}} = 15,26$.

⊥ 1) $y = 1,31$ mm, $D = 12,15$; 2) $y = 1,22$ mm, $D = 13,04$;
3) $y = 1,31$ mm, $D = 12,15$; 4) $y = 1,19$ mm, $D = 13,37$; 5)
 $y = 1,24$ mm, $D = 12,83$; 6) $y = 1,36$ mm, $D = 11,70$; 7)
 $y = 1,14$ mm, $D = 11,70$; 8) $y = 1,11$ mm, $D = 14,38$.

⊥ $D_{\text{máx}} = 14,38$, $D_{\text{mín}} = 11,70$, $D_{\text{med}} = 12,94$.

De estos valores se desprende que la dureza del Itín en sentido normal a las fibras es poco inferior a la dureza en dirección de las mismas. Esto no ocurre, en general, con las demás maderas.

Para la clasificación de las maderas del país según su dureza propongo la siguiente escala:

1. Maderas muy duras: ⊙ $D_{\text{med}} = 10$ y más unidades Brinell.
2. Maderas duras: ⊙ $D_{\text{med}} = 7-10$ unidades Brinell.
3. Maderas semiduras: ⊙ $D_{\text{med}} = 4-7$ unidades Brinell.
4. Maderas blandas: ⊙ $D_{\text{med}} = 2-4$ unidades Brinell.
5. Maderas muy blandas: ⊙ D_{med} menos de 2 unidades Brinell.

El Itín es, pues, una madera muy dura.

Para el *Prosopis alba* Griseb. o Algarrobo blanco obtuve ⊙ $D_{\text{med}} = 7,13$ (referido a duramen). Según la escala anterior, la madera de Algarrobo blanco debe considerarse como dura. El ensayo con *Bumelia obtusifolia* Roem. et Schulte, cuyos nombres vernáculos son Guaraniná, Ibirá-hú, Ibirá-ñi-rá, Horcomolle, Lanza colorada, Guayaibí-raí, etc., me dió ⊙ $D_{\text{med}} = 5,46$. Se trata, pues, de una madera semidura.

La madera de *Banara guianensis* Aubl., llamada vulgarmente Francisco Alvarez o Ibirá-obí-rá, dió ⊙ $D_{\text{med}} = 3,86$, es decir, que es blanda según la escala anterior. Muy blanda es la madera de *Cordyline dracaenoides* Kth., especie que habita en Misiones y cuyos nombres vulgares son Huy-varaná, Ambatí y Yuca. El ensayo dió ⊙ $D_{\text{med}} = 1,91$.

COMPARACIÓN DEL ITÍN CON OTRAS MADERAS MUY DURAS

	⊙ D_{med}	⊥ D_{med}
<i>Bulnesia Sarmientii</i> Lor. ex Griseb. Palo Santo....	13,48	12,11
<i>Schinopsis Lorentzii</i> (Griseb.) Engl. Quebracho color.	11,93	12,30
<i>Caesalpinia melanocarpa</i> Griseb. Guayacán.....	12,82	10,26
<i>Prosopis Kuntzei</i> Harms. Itín.....	15,26	12,94

Ensayos de resistencia a la compresión. — Se efectuaron con cubos de 5 cm. de arista, terminados en el torno de mecánico para que resultasen de formas geométricas perfectas y con caras planas y lisas. Fueron ensayados en la máquina universal de Amsler existente en la Escuela Industrial de la Nación « Otto Krause » y que puede desarrollar esfuerzos hasta de 80 toneladas. Los cubos fueron sometidos a una carga progresiva hasta conseguir su rotura. Los ensayos se efectuaron haciendo actuar la carga en dirección de las fibras y en sentido normal a las mismas. Los cuerpos se encontraban — en cuanto a su contenido de agua — en el estado llamado de sequedad al aire. Con la primera dirección de la carga, la rotura de los cubos se produjo con 21.100-23.400 kg. Para la carga específica de rotura se obtuvo

$$\odot K_c = 849-937 \text{ kg/cm}^2.$$

La carga en sentido perpendicular a las fibras produjo la rotura de los cuerpos cuando alcanzó 9000-9250 kg, resultando así

$$\perp K_c = 360-371 \text{ kg/cm}^2.$$

COMPARACIÓN DE LA MADERA DE ITÍN CON OTRAS MUY DURAS

	⊙ K_c	⊥ K_c
<i>Bulnesia Sarmientii</i> . Palo Santo.....	818-868 kg/cm ²	512-525 kg/cm ²
<i>Myrrhinium atropurpureum</i> . Palo de lata.	840	—
<i>Prosopis Kuntzei</i> . Itín.....	849-937	360-371

Ensayos de resistencia a la tracción. — Para estos experimentos se emplearon probetas prismáticas de unos 40 cm. de largo y

sección rectangular de 2×5 cm aproximadamente. Las probetas estaban ensanchadas en sus extremos, a fin de asegurar la

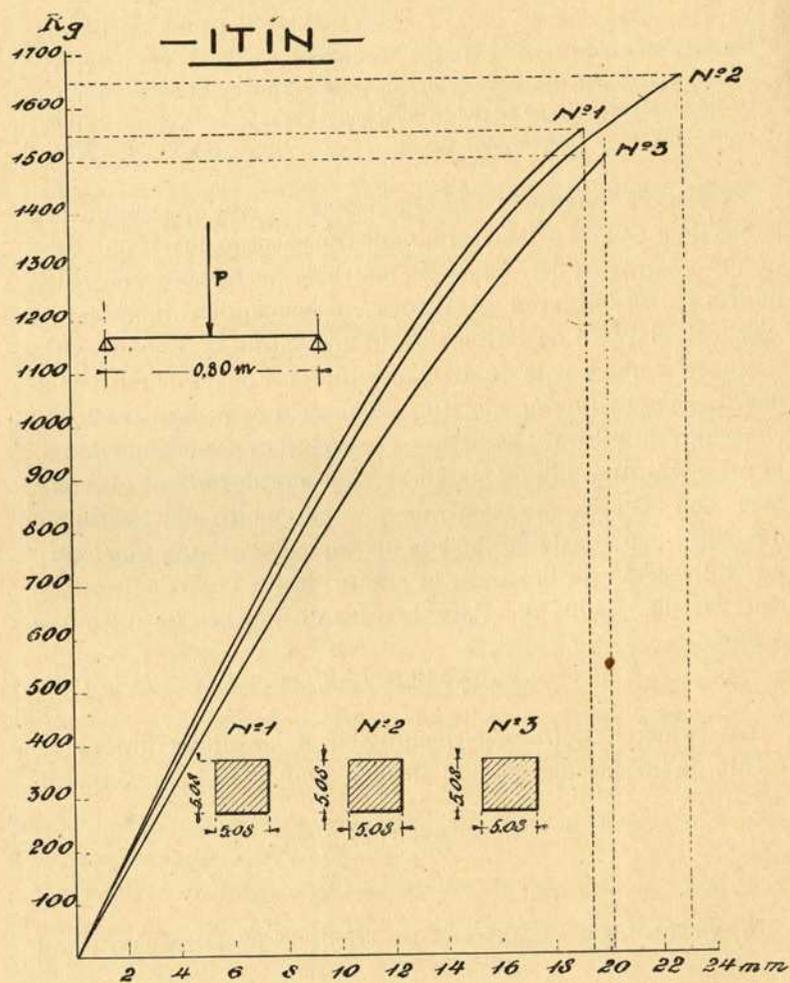


Diagrama de flexión obtenido con la madera de Itín. *Prosopis Kuntzei* Harms.

unión inmovible de estas partes con las mordazas de la máquina de ensayos.

Las cargas de rotura variaron de 13.200 a 14.000 kg. Con las

secciones exactas de las probetas ensayadas resultó para la carga específica de rotura por tracción:

$$K_t = 1234-1343 \text{ kg/cm}^2.$$

Valores comparativos de resistencia a la tracción

<i>Bulnesia Sarmientii</i> . Palo Santo.....	$K_t = 1010-1201 \text{ kg/cm}^2$
<i>Bumelia obtusifolia</i> . Guaraniná.....	$K_t = 649-686$
<i>Balfourodendron Riedelianum</i> o Guatambú-morotí.....	$K_t = 754-879$
<i>Prosopis Kuntzei</i> . Itín.....	$K_t = 1234-1343$

Ensayos de resistencia a la flexión. — Se llevaron a cabo con probetas prismáticas de 1 m. de largo más o menos, y de sección cuadrada de 5 cm \times 5 cm. En la máquina, las probetas están apoyadas horizontalmente en dos puntos separados entre sí de 80 cm. La carga actuó en el punto medio de cada probeta. Una vez puesta en marcha la máquina, se midieron para los valores progresivos de la carga de 50 en 50 kg, las flechas correspondientes de la pieza flexionada. Los valores de la carga se obtuvieron directamente del medidor de esfuerzos de que está provista la máquina. Las flechas se midieron con un defleómetro que acusa el valor de las mismas en décimos de milímetro. Estas flechas se refieren al punto medio de la línea neutra. Con los valores de la carga y los correspondientes de la flecha se trazaron diagramas. Las escalas empleadas en estos trazados fueron para las abscisas 5 mm. representan 1 mm.; y para las ordenadas 1 mm. representa 10 kg.

Se ensayaron tres probetas que tenían la misma sección de 5,08 cm \times 5,08 cm. La Nº 1 se rompió con una carga de 1550 kg y 19,35 mm de flecha. La Nº 2 quedó destruída con la carga de 1650 kg y 22,9 mm de flecha. La Nº 3 sólo resistió a 1500 kg de carga, y al producirse la fractura, su flecha fué de 20,1 mm.

Llama la atención el desarrollo de los diagramas obtenidos, cuya primera parte es recta hasta la carga de 800 kg aproximadamente. Esta parte recta forma un ángulo grande con el eje de abscisas, y mayor que el correspondiente a cada una de las demás maderas del país que ensayé a la flexión. La parte recta del

diagrama se prolonga con una línea arqueada de poco encorvamiento.

Para las tres piezas ensayadas se determinaron la distancia e de la fibra más alejada de la línea neutra, el momento de inercia I de la sección referido a su línea neutra, la carga P_p correspondiente al límite de proporcionalidad, la tensión σ_p del material en dicho límite, la tensión σ_r de la madera en el instante de producirse la rotura y el módulo de elasticidad E . Todos estos valores han sido reunidos en el cuadro que sigue.

Número de la probeta	Dimensiones de la sección en cm	Luz en cm	I cm ⁴	e cm	P_p kg	σ_p kg/cm ²	P_r kg	σ_r kg/cm ²	E kg/cm ²
1	5,08 × 5,08	80	55,49	2,54	800	732	1550	1418	189 853
2	5,08 × 5,08	80	55,49	2,54	800	732	1650	1510	178 816
3	5,08 × 5,08	80	55,49	2,54	800	732	1500	1373	163 597
Promedios.....						732	1566	1433	~177 400

Estos ensayos se efectuaron a los 17 meses de haber sido cortados los troncos, es decir, que la madera se encontraba en el estado llamado de sequedad al aire.

COMPARACIÓN CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON OTRAS MADERAS DEL PAÍS

	P_p kg	σ_p kg/cm ²	P_r kg	σ_r kg/cm ²
<i>Bumelia obtusifolia</i> . Guaraniná	200	176	945	828
<i>Schinopsis Lorentzii</i> . Quebracho colorado.	200	182	976	891
<i>Astronium Balansae</i> . Urunday.....	216	179	925	767
<i>Prosopis Kuntzei</i> . Itín.....	800	732	1566	1433

Como se ve por este cuadro, el Itín es una madera de gran resistencia a la flexión; tal vez la más resistente de todas las del país. Desgraciadamente, el árbol no abunda, ni las dimensiones de su tronco son suficientes para obtener vigas.

Poder calorífico de la leña. — El poder calorífico se determinó

para el duramen, la albura y la corteza con los resultados siguientes:

	Superior	inferior
Duramen.....	3752 kcal/kg	3400 kcal/kg
Albura.....	4210 »	3822 »
Corteza.....	3510 »	3164 »

Valores prácticos del poder calorífico de la madera enviada desde el Chaco por la Dirección General de Tierras: Superior 3950 kcal/kg. Inferior 3600 kcal/kg.

Composición química de la madera. — El análisis fué efectuado por el doctor Carlos Gini con el siguiente resultado:

Humedad.....	11,00 %
Materias volátiles.....	52,90
Carbón fijo.....	32,00
Cenizas.....	4,10
<i>Total</i>	100,00

Ensayo de gasificación. — Esta prueba se efectuó mediante la instalación especial para la producción de gas de leña existente en el laboratorio de máquinas de la Escuela Industrial de la Nación. Esta instalación se compone de los siguientes aparatos:

1° El *gasógeno*, dentro del cual se opera la transformación de la leña en gas por combustión incompleta.

2° Un *separador de polvo* que retiene la ceniza arrastrada por el gas.

3° Un *separador de alquitrán* dentro del cual se enfría el gas al contacto con agua y abandona el alquitrán que arrastra.

4° Un *scrubber* en donde el gas termina de enfriarse mediante una lluvia de agua fría y pierde sus hidrocarburos pesados.

5° Una *cámara secadora* para que el gas pierda su humedad al contacto con sustancias ávidas de agua.

6° Un *receiver* al cual llega el gas limpio y frío, como se requiere para que su combustión se realice en buenas condiciones dentro del motor.

La corriente de gas pobre es conducida desde el gasógeno hasta el motor por una cañería que atraviesa todos esos aparatos en el orden expresado.

El motor que se utilizó es monocilíndrico, horizontal de 25 CV y procede de la fábrica *Gasmotoren Otto Deutz*. Es de cuatro tiempos, de simple efecto y ejecuta con carga normal 290 a 300 revoluciones por minuto. La regularización de su marcha se obtiene por medio de un regulador Hartung que actúa sobre la cantidad de gas que ingresa en el cilindro, y por un volante muy pesado.

Las características del cilindro son las siguientes:

Diámetro del émbolo: $d = 260$ mm.

Carrera del émbolo: $s = 390$ mm.

Area del émbolo: $F = 530,9$ cm².

La potencia indicada en caballos-vapor de este motor de combustión interna está dada por la fórmula

$$N_i = \frac{F p_i s n}{9000} [\text{CV}],$$

en la cual significan

p_i la presión media indicada en kg/cm²,

n el número de revoluciones por minuto.

Como en este caso $\frac{Fs}{9000}$ es igual a 0,023, la fórmula de la potencia se reduce a

$$N_i = 0,023 p_i n.$$

Es la que se ha empleado en estos ensayos.

El rendimiento mecánico del motor es $\tau_m = \frac{N_e}{N_i} = 0,79$. Por tanto, la potencia efectiva en caballos-vapor está dada por

$$N_e = \tau_m N_i.$$

El motor funcionó acoplado con una centrifuga que eleva el agua desde un estanque subterráneo hasta un depósito montado sobre el techo del laboratorio. El agua de este depósito se descarga por medio de un *trop-plein* al estanque subterráneo. Así, la centrifuga puede funcionar con carga indefinidamente, pues imprime un movimiento circulatorio a una masa de agua dada.

Los ensayos de gasificación de la madera comprendieron las siguientes operaciones y cálculos:

1. Obtención de diagramas de trabajo durante todo el período de funcionamiento del motor.
2. Cálculo de la potencia correspondiente a estos diagramas.
3. Determinación de la energía en caballos-horas desarrollada por el motor durante su período total de funcionamiento.
4. Pesada de la leña introducida en el gasógeno durante todo el período de ensayo.
5. Pesada de la ceniza y de la leña carbonizada que se encontró en el horno después del ensayo.
6. Pesada del alquitrán retenido por el separador especial.
7. Determinación del consumo de combustible por caballo-hora.
8. Determinación del rendimiento económico del conjunto formado por gasógeno y motor.
9. Análisis del gas producido en el generador.
10. Determinación del poder calorífico de este gas.
11. Análisis de los gases de escape del motor.
12. Análisis del alquitrán.

Para obtener buenos valores del consumo específico medio de leña, el motor debe marchar ocho horas. Como la cantidad de leña disponible era reducida, el motor sólo funcionó cinco horas y media.

El peso de la leña correspondiente al gas consumido por el motor se obtuvo deduciendo de la cantidad total de combustible introducido en el gasógeno, la leña quemada durante el período de puesta en marcha del horno y la madera carbonizada que quedó en el mismo y en el cenicero, después que el motor se detuvo espontáneamente por falta de gas. El consumo de combustible durante el período de puesta en marcha del gasógeno es difícil de determinar. Empero, se puede admitir en pruebas de este género que el consumo total de combustible durante todo el período de ensayo, incluyendo la puesta en marcha del horno, es uniforme cuando la carga del motor es constante. Esto concuerda más o menos con las observaciones efectuadas en pruebas de esta clase. He aplicado esta hipótesis

en el caso presente, pues la centrífuga puede considerarse como una carga prácticamente constante para el motor.

Los diagramas de trabajo que sirvieron para determinar la energía desarrollada por el motor fueron tomados con el indicador a cada cuarto de hora. El área de estos diagramas se midió con un planímetro de Amsler. La división del área de cada diagrama por la longitud de su base dió la altura media del primero. Midiendo esta altura en la escala del resorte del indicador (2 mm. equivalentes a 1 kg/cm²) se obtuvo la presión media indicada. En los instantes en que se sacaron los diagramas se midieron los números de revoluciones del motor. Con estos números y el valor de la presión media indicada se calculó la potencia. Esta última multiplicada con 0,25 hora dió la energía desarrollada por el motor durante cada cuarto de hora. Todos estos valores fueron reunidos en el cuadro que figura al final de este trabajo.

La carga del gasógeno con viruta comenzó a las 8 horas para producir un calentamiento preliminar. Un cuarto de hora más tarde se introdujo leña en el horno y se dió viento al mismo con un ventilador. A las 9⁰⁰ horas ya había buen gas en el generador. El motor entró en funcionamiento a las 10 horas, y desde este instante marchó sin interrupción hasta las 15³⁷ horas, deteniéndose espontáneamente por haberse quemado toda la leña contenida en el gasógeno. La máquina estuvo, pues, en actividad durante 5 horas 37 minutos.

Cantidad total de leña que recibió el gasógeno : 251 kg.

Cantidad de leña carbonizada que se retiró del gasógeno : 14,2 kg.

Consumo de combustible durante el ensayo : B = 236,8 kg.

Período total de actividad del gasógeno : 7 horas 22 minutos.

Cantidad de combustible correspondiente al gas consumido por el motor : $236,8 \frac{5,61}{7,36} = 180,4$ kg.

Energía desarrollada por el motor durante el ensayo (véase el cuadro al final) : 147,92 CV_ih.

Consumo de combustible por CV_ih : $B_1 = \frac{180,4}{147,92} = 1,21$ kg.

Consumo de combustible por CV_eh : $\frac{B_1}{\eta_m} = \frac{1,21}{0,79} = 1,53$ kg.

Poder calorífico inferior de la madera : W_i = 3600 kcal/kg.

Rendimiento económico de la instalación de gas pobre :

$$\eta_e = \frac{632}{B_1 W_i} = \frac{632}{1,21 \cdot 3600} = 0,145 = 14,5 \%$$

Cantidad de ceniza retirada del horno : ~ 9 kg. Esto representa el 3,5 % del peso del combustible.

Cantidad de alquitrán extraído del separador : ~ 8 kg, equivalente al 3,1 % del peso del combustible.

Combustión. — Tardó bastante en iniciarse. Antes de producirse el gas combustible se formó un humo denso de color gris amarillento. El gas pobre arde con llama de color celeste pálido.

Análisis del gas pobre (Gini). — El gas fué captado en el cilindro del motor y se le hizo pasar por el aparato de Orsat y las buretas de Hempel, obteniéndose el siguiente resultado :

Anhídrido carbónico.....	7,4 %
Oxígeno.....	0,6
Oxido de carbono.....	20,9
Hidrocarburos no saturados.....	0,2
Hidrógeno.....	20,0
Metano.....	2,1
Nitrógeno.....	48,8
Total.....	100,0 %

Análisis de los gases de escape del motor. — Estos gases se capturaron mediante un dispositivo especial. Haciéndolos pasar por el aparato de Orsat se encontró que contenían :

Anhídrido carbónico.....	14,4 %
Oxígeno.....	3,8
Oxido de carbono.....	0,6

Como se ve, la combustión fué buena, pues la cantidad de óxido de carbono no quemado es muy pequeña.

Análisis completo del alquitrán (Gini)

Agua.....	14,00 %
Acido acético.....	0,10
Aceites livianos (130° a 170°).....	0,00
Aceites medios (170° a 220°) fenólicos.....	2,50
Aceites pesados (220° a 270°) creosota.....	7,20
Aceites verdes (270° a 320°) antraceno.....	20,20
Residuos (pez).....	55,00
Pérdida.....	1,00
<i>Total</i>	100,00 %

Densidades

Del alquitrán a 18° C.....	1,180
De los aceites medios.....	1,000
De los aceites pesados.....	1,090
De los aceites verdes.....	1,100

Aplicaciones de la madera. — Debido a su gran dureza, la madera no se deja trabajar fácilmente con herramientas. No obstante, se la emplea en carpintería, ebanistería y en la construcción de marcos de puerta. Se la puede utilizar con ventaja para durmientes de ferrocarril y astas de lanza. En el Chaco santiagueño se la emplea para rayos de ruedas de carro. Los indios del Chaco usan la madera en arcos de flecha, lanzas y palas para abrir pozos, por la dureza de la primera y su insignificante desgaste a la intemperie o en la sombra (A. Gancedo). Es apropiada para postes de alambrado, pues el tanino que contiene asegura su conservación. Es muy buena para adoquines, pero el árbol no es tan abundante como para fabricarlos en grandes cantidades. La madera se presta para trabajos de torno, para la ejecución de cajas finas y de objetos de fantasía, bastones, pequeños muebles etc., que resultan vistosos con el color pardovioláceo de la primera.

Según J. Fernández, la corteza y la raíz sirven para teñir la lana de negro. A este fin el hilado debe ser tratado con alumbre. Luego se sumergen los hilos en agua de cáscara de mistol. Se prepara después una decocción de cáscara y raíz de Itín ralladas. Finalmente se filtra la decocción. En el líquido así obtenido se introduce el hilado para teñirlo.

Aun cuando la madera quema bien y se presta para la gasificación, no sería racional cortar troncos de una esencia de tan

buenas propiedades para quemarlos en hogares de caldera o en gasógenos. Sólo los desechos del aprovechamiento industrial de la madera deben utilizarse como combustible. Y en este caso es preferible transformarlos en gas pobre a quemarlos en una caldera, porque, como lo demuestra la experiencia, los motores de gas pobre de leña tienen un rendimiento económico que es casi el doble del que acusan los motores de vapor con el mismo combustible.

CÁLCULO DE LA ENERGÍA DESARROLLADA POR EL MOTOR

Fecha del ensayo: 12 de noviembre de 1931.

Hora	Número del diagrama	Area en cm ²	Altura media en cm	Presión media indicada en kg/cm ²	Número de revoluciones por minuto	Potencia indicada en caballos-vapor	Energía en caballos-horas
10							
10 ¹⁵	1	7,50	1,153	5,76	296	39,21	9,80
10 ³⁰	2	5,50	0,852	4,26	296	29,00	7,25
10 ⁴⁵	3	6,00	0,937	4,68	296	31,86	7,96
11	4	5,90	0,914	4,57	296	31,11	7,77
11 ¹⁵	5	5,60	0,868	4,34	296	29,54	7,38
11 ³⁰	6	5,00	0,775	3,87	295	26,25	6,56
11 ⁴⁵	7	5,10	0,790	3,95	296	26,89	6,72
12	8	4,50	0,697	3,48	296	23,69	5,92
12 ¹⁵	9	5,10	0,790	3,95	296	26,89	6,72
12 ³⁰	10	5,10	0,790	3,95	296	26,89	6,72
12 ⁴⁵	11	4,80	0,744	3,72	295	25,24	6,31
13	12	4,60	0,713	3,56	295	24,15	6,03
13 ¹⁵	13	5,30	0,821	4,10	294	27,72	6,93
13 ³⁰	14	5,00	0,775	3,87	294	26,16	6,54
13 ⁴⁵	15	5,30	0,828	4,14	294	27,99	6,99
14	16	4,50	0,703	3,51	295	23,81	5,95
14 ¹⁵	17	5,25	0,820	4,10	296	27,91	6,97
14 ³⁰	18	5,00	0,775	3,87	295	26,25	6,56
14 ⁴⁵	19	5,05	0,789	3,94	294	26,64	6,66
15	20	4,70	0,728	3,64	285	23,86	5,96
15 ¹⁵	21	4,10	0,640	3,20	280	20,59	5,14
15 ³⁰	22	4,40	0,681	3,40	260	20,33	5,08

147,92

DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DEL GAS POBRE

Fecha del ensayo: 14 de noviembre de 1931.

Temperatura de local: $t = 20^{\circ} \text{C}$.

Temperatura en el medidor de gas: $t_g = 20^{\circ} \text{C}$.

Temperatura de los gases de la combustión: $t'_g = 21^{\circ} \text{C}$.

Estado barométrico: $b = 751,5 \text{ mm CHg}$.

Estado barométrico reducido a 0° : $b_0 = 749 \text{ mm CHg}$.

Presión relativa en el gasómetro del calorímetro:

$$u = 3 \text{ mm CA.}$$

Presión relativa en el mismo gasómetro:

$$0,0735 u = U = 0,22 \text{ mm CHg.}$$

Tensión del vapor de agua a t° : $s = 17,94 \text{ mm CHg}$.

Presión absoluta del gas seco:

$$p_g = b_0 + U - s = 731,28 \text{ mm CHg.}$$

Volumen del gas quemado $G = 15 \text{ l}$.

Temperatura media del agua a la salida del calorímetro:

$$t_s = 21^{\circ}28 \text{ C.}$$

Temperatura media del agua a la entrada en el calorímetro:

$$t_e = 19^{\circ}69 \text{ C.}$$

$$t_s - t_e = 1^{\circ}95 \text{ C.}$$

Peso del agua de circulación: $A = 10305 \text{ g}$.

Poder calorífico superior: $W_s = \frac{A(t_s - t_e)}{G} = 1092,2 \text{ kcal/m}^3$.

Peso del agua de combustión por litro de gas: $C = 0$.

Poder calorífico inferior: $W_i = 1092,2 \text{ kcal/m}^3$ (a la temperatura del ambiente).

Reducción de este poder calorífico al estado normal de gas seco de 15°C y una atmósfera (735,5 mm de CHg) de presión:

$$W_s = W_s \frac{735,5}{P} \frac{273 + t_g}{273 + 15} = 1112 \text{ kcal/m}^3.$$

ABREVIATURAS EMPLEADAS

mm: milímetro.

cm: centímetro.

dm: decímetro.

m: metro.

cm²: centímetro cuadrado.

dm³: decímetro cúbico.

l: litro.

m³: metro cúbico.

cm⁴: centímetro a la cuarta potencia (en momentos de inercia de superficies planas).

g: gramo.

kg: kilogramo.

h: hora.

kg/cm²: kilogramo por centímetro cuadrado.

kg/dm³: kilogramo por decímetro cúbico.

°C: grado centígrado.

cal: pequeña caloría o caloría-gramo.

kcal: kilocaloría o caloría grande (= 1000 cal).

CV: caballo-vapor.

CV_i: caballo-vapor indicado.

CV_e: caballo-vapor efectivo.

CVh: caballo-vapor-hora o simplemente caballo-hora

CV_ih: caballo-hora indicado.

CV_eh: caballo-hora efectivo.

kcal/kg: kilocaloría por kilogramo de combustible.

kcal/m³: kilocaloría por metro cúbico de gas.

DESIGNACIONES

b : estado barométrico a la temperatura del ambiente.

b_0 : estado barométrico reducido a 0° .

s : tensión del vapor de agua a t° .

u : presión relativa en el gasómetro del calorímetro de Junkers.

U : presión relativa en el gasómetro del mismo calorímetro expresada en columna de mercurio.

CA: columna de agua.

CHg: columna de mercurio.

- p_g : presión absoluta del gas seco relativa al calorímetro de Junkers.
 γ : peso específico relativo.
 γ' : peso específico absoluto de la madera.
 t : temperatura del ambiente.
 t_g : temperatura en el medidor de gas del calorímetro de Junkers.
 t'_g : temperatura de los gases de la combustión en el calorímetro de Junkers.
 t_s : temperatura media del agua a la salida en el mismo calorímetro.
 t_e : temperatura media del agua a la entrada en el mismo calorímetro.
A : peso del agua de circulación en el calorímetro de Junkers.
G : volumen de gas quemado en el mismo calorímetro.
C : peso por litro de gas del agua de combustión producida en el mismo calorímetro.
 W_s : poder calorífico superior.
 W_i : poder calorífico inferior.
 W_o : poder calorífico superior de un gas reducido al estado de sequedad, a la temperatura de 15° C y a la presión de 735,5 mm CHg.
 d : diámetro.
 s : carrera del émbolo.
 F : área del émbolo.
 n : número de revoluciones por minuto.
N : potencia en caballos-vapor.
 N_i : potencia indicada en caballos-vapor.
 N_e : potencia efectiva en caballos-vapor.
 τ_m : rendimiento mecánico.
 τ_e : rendimiento económico.
B : consumo total de combustible.
 B_i : consumo de combustible por caballo-hora indicado.
D : dureza de la madera en unidades Brinell.
 y : penetración de la bola de acero en el material, tratándose de determinaciones de dureza.
P : carga.
 P_p : carga en el límite de proporcionalidad en los ensayos de flexión.
 P_r : carga de rotura en los ensayos de flexión.
 τ_p : tensión máxima del material correspondiente a P_p .
 τ_r : tensión máxima del material correspondiente a P_r .
 K_c : carga específica de rotura por compresión.
 K_t : carga específica de rotura por tracción.
I : momento de inercia.

- e : distancia de la fibra más alejada a la superficie neutra en ensayos de flexión.
E : módulo de elasticidad.
 \odot : en sentido de las fibras.
 \perp : en sentido normal a las fibras.

Las placas correspondientes a las dos láminas del Itín pertenecen al señor Rodolfo Schreiter, de Tucumán.

Las copias en papel fueron ejecutadas por el señor Carlos O'Donnell.

BIBLIOGRAFIA

- BAUMANN, R. y LANG, G., *Das Holz als Baustoff*, segunda edición, München, 1927.
FERNÁNDEZ, J., *Plantas tintóreas y arte de teñir en la provincia de Santiago del Estero*, Buenos Aires, 1916.
GANCEDO, A., *Flora arbórea del territorio nacional del Chaco y proyecto de ley*, Buenos Aires, 1916.
LATZINA, E., *Gasificación de maderas argentinas para la producción de energía mediante motores de gas pobre*. Ensayos efectuados en el laboratorio de máquinas de la Escuela Industrial de la Nación « Otto Krause », Buenos Aires, 1931.
— *Index de la Flora dendrológica argentina compilado para los investigadores de las propiedades físicas y aplicaciones industriales de nuestras maderas*, en *Publicación número 3 de la Comisión honoraria de reducciones de indios*, Buenos Aires, 1935.
— *Poderes caloríficos de maderas argentinas*. Ensayos efectuados en el laboratorio de máquinas de la Escuela Industrial de la Nación, en *Boletín del Ministerio de Agricultura de la Nación*, tomo XXX, entrega número 1, año 1931.
LATZINA, F., *Diccionario geográfico argentino con ampliaciones enciclopédicas rioplatenses*, tercera edición.
— *Suplemento al diccionario geográfico argentino*, Buenos Aires, 1906.
MONROY, F. A., v. DAS HOLZ, *Gemeinfassliche Darstellung seiner Erzeugung Gewinnung und Verwertung*, V. D. I. Verlag, 1929.