

# CALIBRACION DE XILOHIGROMETROS

Ing. Qco. Constantino Gómez

SERIE II, Nº 311

---

## INTRODUCCION

---

El presente trabajo trata de llenar un vacío en el conocimiento de la respuesta de los medidores eléctricos de humedad en madera y de sus curvas de calibración. Específicamente en este caso se hace referencia a los xilohigrómetros que funcionan bajo el principio de resistencia eléctrica.

Estudios de esta índole, prácticamente no existen publicados, para especies de madera que se utilizan o crecen en nuestro país. Las normas IRAM, no obstante, cuando tratan la determinación de humedad por medios eléctricos consideran que el aparato debe estar calibrado para la especie en medición.

La determinación de humedad con xilohigrómetros resulta uno de los medios más cómodos y rápidos, sin producir prácticamente deterioro de la pieza.

Existe siempre cierta incertidumbre en la exactitud y el significado de los valores que se pueden obtener de esta manera. Es decir, se piensa si distintas especies dan distinto comportamiento, si se tiene variaciones por el rango de humedad que se tiene ya sea alto o bajo, y por último si la lectura es un valor zonal o promedio de la humedad de la pieza que se está midiendo.

Este trabajo pretende aclarar en alguna medida estos aspectos y además ser un aporte al conocimiento en lo que a las maderas se refiere. Así, por ejemplo, se incluyen en este estudio valores de resistencia eléctrica con respecto de los distintos tenores de humedad.

La obtención de datos que pueden permitir la construcción de curvas de calibración implica una tarea un tanto larga en tiempo, especialmente si se pretende que la madera utilizada como probeta, tenga una humedad uniformemente distribuída. En cambio este trabajo involucra los gradientes de humedad propios de una madera en proceso de secado, resulta por consiguiente más rápido, pero también, aporta

conocimiento sobre el comportamiento de estos instrumentos en el uso habitual.

Se usó para este estudio una madera que crece en la provincia de Buenos Aires, especialmente en la zona del litoral marítimo y que es una promesa forestal. Se trata de Pino Pináster extraído del vivero "Florentino Ameghino" de Miramar, y cedido por el Ministerio de Asuntos Agrarios.

---

### DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

---

Se eligió un árbol de 30 años de edad, de un diámetro en la base de 40 cm. Se tableó de cuartos en tablas de 1 m de longitud que se identificaron de acuerdo a la distribución geográfica en el árbol. El espesor de las mismas fue de 29 mm, es decir, más de una pulgada, considerando que es una medida usual de madera, que de ser cepillada queda aproximadamente en la dimensión de 1 pulgada. Además este espesor permitió que el electrodo del xilohigrómetro llegara al centro del mismo. Los anchos de las tablas resultaron de 10 a 14 cm.

El número total de tablas, 60, permitió una buena distribución dentro del equipo de secado, distribución que concuerda con aquella de un secado habitual. Treinta tablas estuvieron destinadas a la extracción de probetas; las 30 restantes conformaron un andamiaje para la cómoda remoción periódica de las tablas probetas.

---

### MEDIDORES USADOS

---

Se usó un xilohigrómetro Siemens de rango de medición de 3 a 100 % de humedad y para la medida de resistencia eléctrica un Megohm Bridge Tipo 1644-A de General Radio.

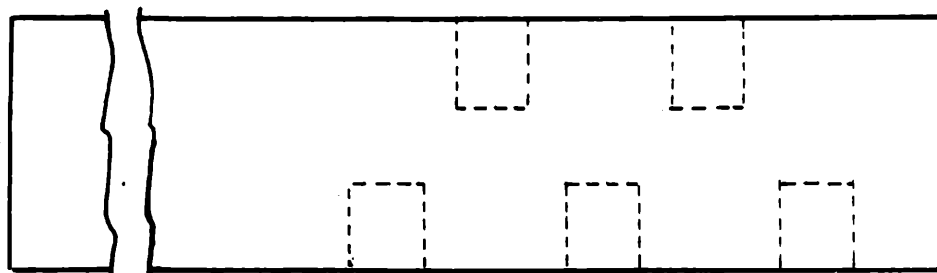
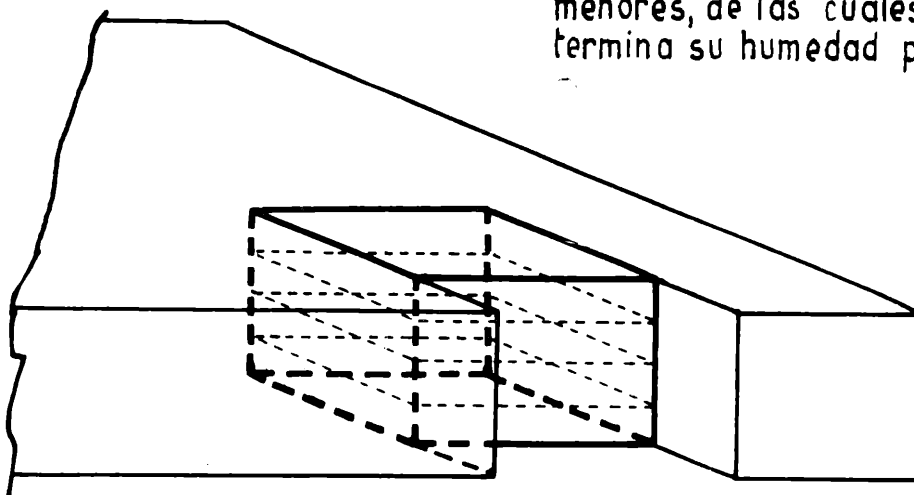


Figura N°1 a - Probetas sobre la tabla, una para cada situación de secado.

Figura N°1 b - Forma de extracción de la probeta y su corte en 4 probetas menores, de las cuales se determina su humedad por estufa.



---

## PROCEDIMIENTO

---

Las lecturas de xilohigrómetro y de megohmetro se realizaron sobre la zona de la tabla, como indica la figura 1a, de dimensiones 4x5 cm. Cada una de estas probetas fue extraída y llevada a la dimensión de 4x3 cm, que es más propiamente donde se realizó la medición eliminando 2 cm de la parte lateral de la tabla.

Veinte probetas fueron cortadas, cada una de ellas en 4 pequeñas probetas (figura 1b) para estudiar el gradiente de humedad en el sentido del espesor de la tabla. En total suman 80 probetas menores y 10 enteras sin cortar.

Recapitulando, las lecturas de xilohigrómetro y de ohmetro realizadas sobre las 30 tablas, una lectura sobre cada una de ellas por cada situación de secado en túnel, se compara con el valor de humedad, determinado sobre el total de probetas extraídas, mediante el método de secado en estufa a 0 % de humedad y que normalmente y en este caso se considera como patrón.

Todas las lecturas se realizaron a una temperatura promedio de 20°C.

---

## FORMAS DE LECTURA

---

Las cuchillas del xilohigrómetro se pueden clavar en forma transversal o en forma paralela a las fibras de la madera como muestra la figura 2. Es necesario aclarar que el flujo de corriente es inverso a esta denominación, es decir cuando las cuchillas están clavadas en la forma transversal, cortando las fibras, el flujo es paralelo a las mismas y viceversa.

Las cuchillas del xilohigrómetro Siemens se aprovecharon para realizar las lecturas del megohmetro, también en

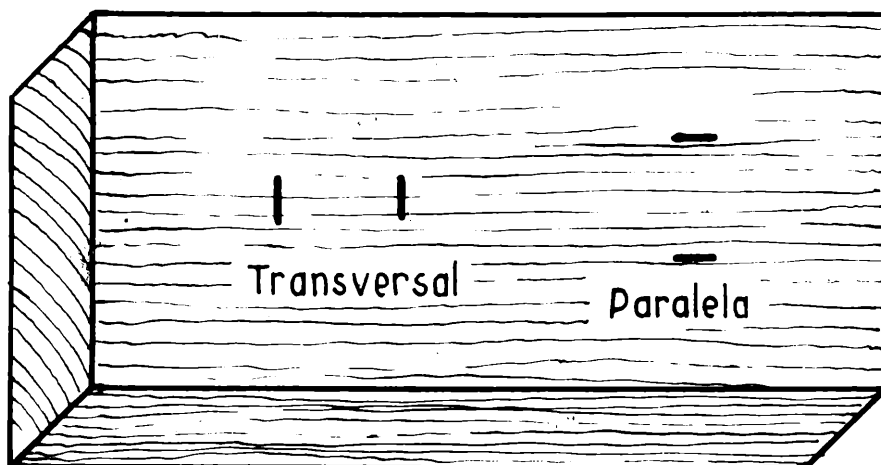


Figura N°2 Formas de clavar los electrodos del xilohigrómetro.

ambas formas. Como se está midiendo resistencia eléctrica en realidad por la conductibilidad eléctrica, ésta se establece por el camino más húmedo que vendría a ser el centro del espesor de la tabla, o sea el de mayor gradiente. Dado que las cuchillas llegan hasta el centro del espesor de las tablas, se considera que los valores marcados por los instrumentos estarán dados para estas zonas más húmedas como se ilustra en la figura 3. El hecho de cortar las probetas en 4 en el sentido del espesor y determinar el gradiente de humedad en forma gráfica con los 4 valores obtenidos por estufa a 0 %, permite considerar este valor máximo del gráfico, en el pico de la curva como el más adecuado para el correspondiente valor eléctrico.

Otra medición consistió en el uso del electrodo prensa del xilohigrómetro Siemens realizada sobre la tabla en el lugar de la probeta luego extraída. Electrodos de superficie como éste que toman la plancha de madera por las caras opuestas miden en realidad la película seca de madera entre electrodos. Es decir, el flujo de corriente eléctrica

está limitado por el camino más seco, o sea el de mayor resistencia.

La obtención gráfica de los valores máximos de humedad, como ilustra la figura 3, fue realizada en forma similar para las 20 probetas de las respectivas tablas sobre cada determinación de secado, 11 en total, lo que significa 220 curvas que no tiene sentido incluirlas en este informe.

---

#### FORMA DE SECADO

---

En general una madera de la que se trata de conocer su humedad, no tiene una distribución uniforme de ésta, es decir existe un gradiente que será grande o pequeño según el grado de humedad alto o bajo. Esto ocurre precisamente no para una madera largamente estacionada, sino para aquella que está en proceso de secado. Si el secado ha sido excesivamente exigido el gradiente será notablemente acentuado en el centro del espesor. En este caso precisamente se buscó de realizar un secado relativamente suave dando gradientes que pueden ser habituales en el secado.

Como se dijo anteriormente se realizaron 11 secados. Los valores de temperatura y humedad relativa del aire se ajustaron a las condiciones que se indican en la tabla I.

Para las dos últimas determinaciones y con el fin de llegar a valores tan bajos como 7 % de humedad en la madera fue necesario tomar los siguientes valores de temperatura y humedad relativa del aire.

#### 11<sup>o</sup> secado

Temperatura bulbo seco: 57°C

Temperatura bulbo húmedo: 43,5°C

Humedad relativa: 47 %

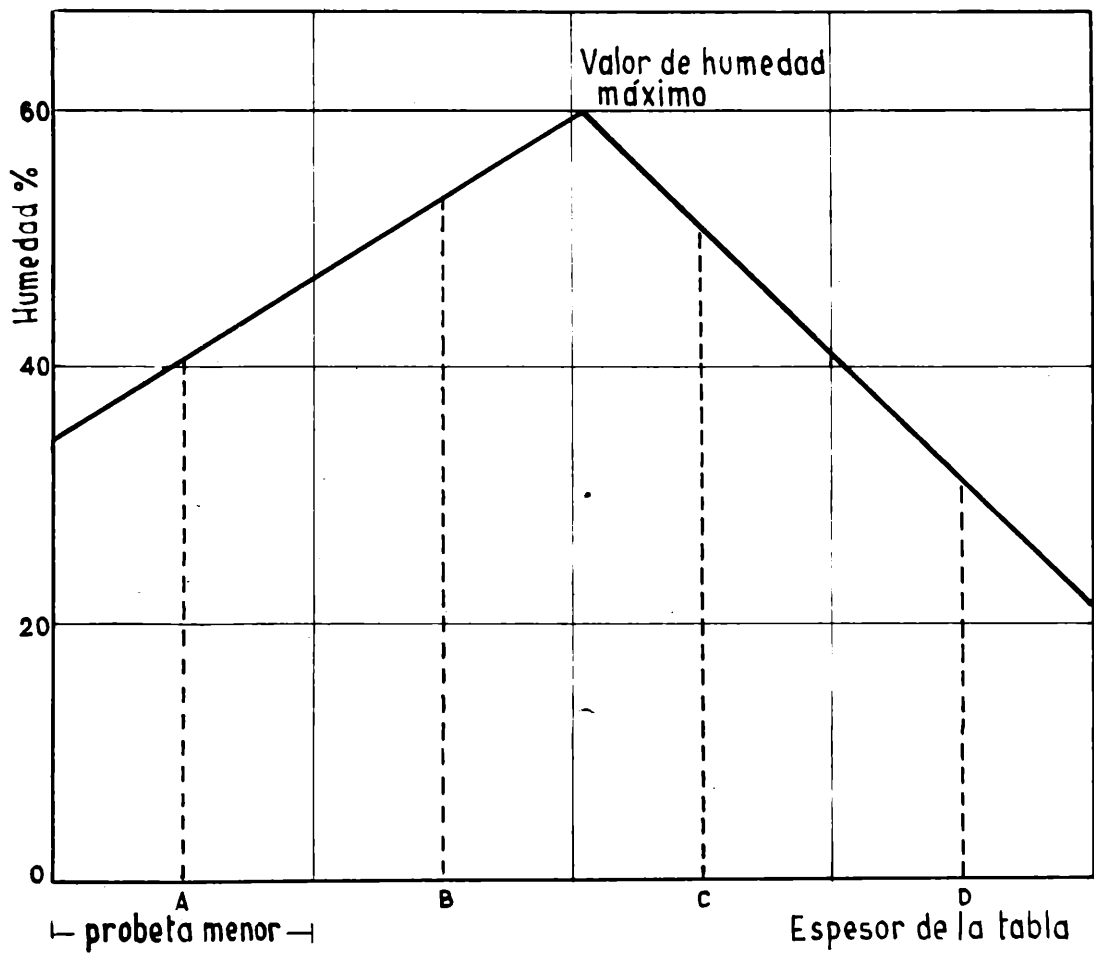


Figura N° 3 - Ejemplo de curva para determinar la humedad en el centro de la probeta.



T A B L A I

Humedad promedio %	Temperatura bulbo seco °C	Temperatura bulbo húmedo °C	Humedad relativa del aire %
Hasta 80	45	42,5	85
80-60	50	46	80
60-40	50	45	75
40-35	54	47,5	70
35-30	54	46	65
30-25	54	45	60
25-20	56	45	55
20-16	56	44	50

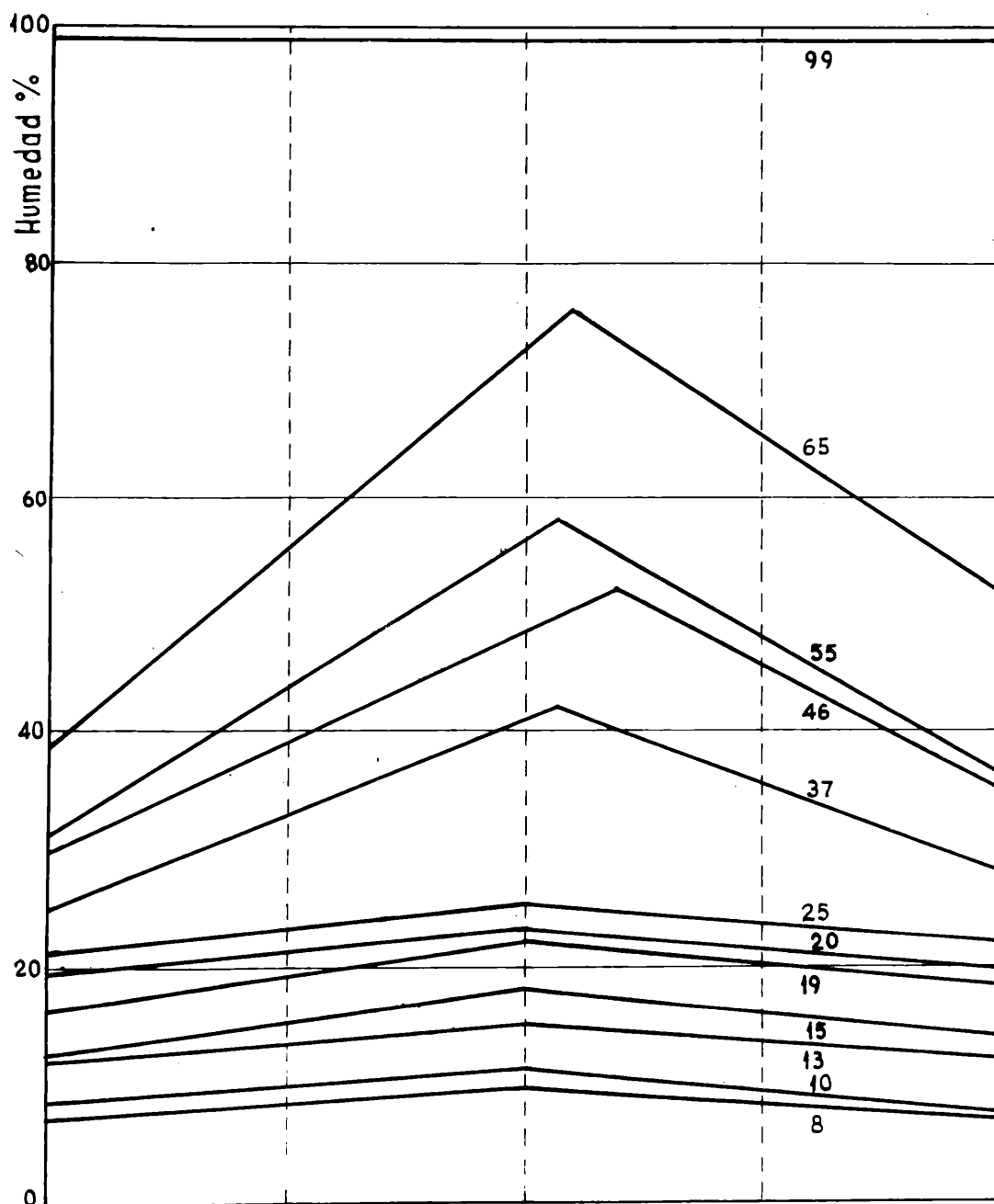


Figura N° 4 - Las curvas son promedios del gradiente de humedad en las tablas y corresponden a secados consecutivos. El valor anotado en cada curva es la humedad promedio de todas las tablas testigos y es el que se usó para controlar el secado. La primera curva corresponde a las tablas recién cortadas.

### 12º secado

Temperatura bulbo seco: 60°C

Temperatura bulbo húmedo: 37,5°C

Humedad relativa: 26 %

Es interesante destacar el cambio de los gradientes de humedad a medida del secado. La figura 4 lo visualiza. Fue obtenido por promedio gráfico de las curvas correspondientes a cada tabla y para las distintas situaciones.

---

### RESULTADOS OBTENIDOS

---

Con los valores recogidos se confeccionaron gráficos que resultan no sólo importantes respecto al fin de la calibración, sino que informan sobre el alcance que ofrecen estos aparatos.

Las curvas trazadas son las siguientes:

Humedad xilohigrómetro transversal versus humedad máxima (figura 5).

Humedad xilohigrómetro paralelo versus humedad máxima (figura 6).

Humedad xilohigrómetro prensa versus humedad promedio (figura 7).

En todos estos gráficos se trazó una línea a 45° que indica la situación ideal en que la lectura coincidiera con el valor patrón determinado a 0 % de humedad en estufa.

Analizando lo que ocurre en los distintos casos se puede afirmar que el xilohigrómetro de resistencia como el usado, tiene una respuesta aceptable hasta el punto de saturación de las fibras de la madera en estudio, en nuestro caso entre 25 y 30 %. Expresado se trazó en línea llena la curva obtenida.

Es de notar en cuanto a la calibración de pino Pináster que se observa en los tres casos en consideración que los valores dados por el xilohigrómetro resultan bajos respecto de

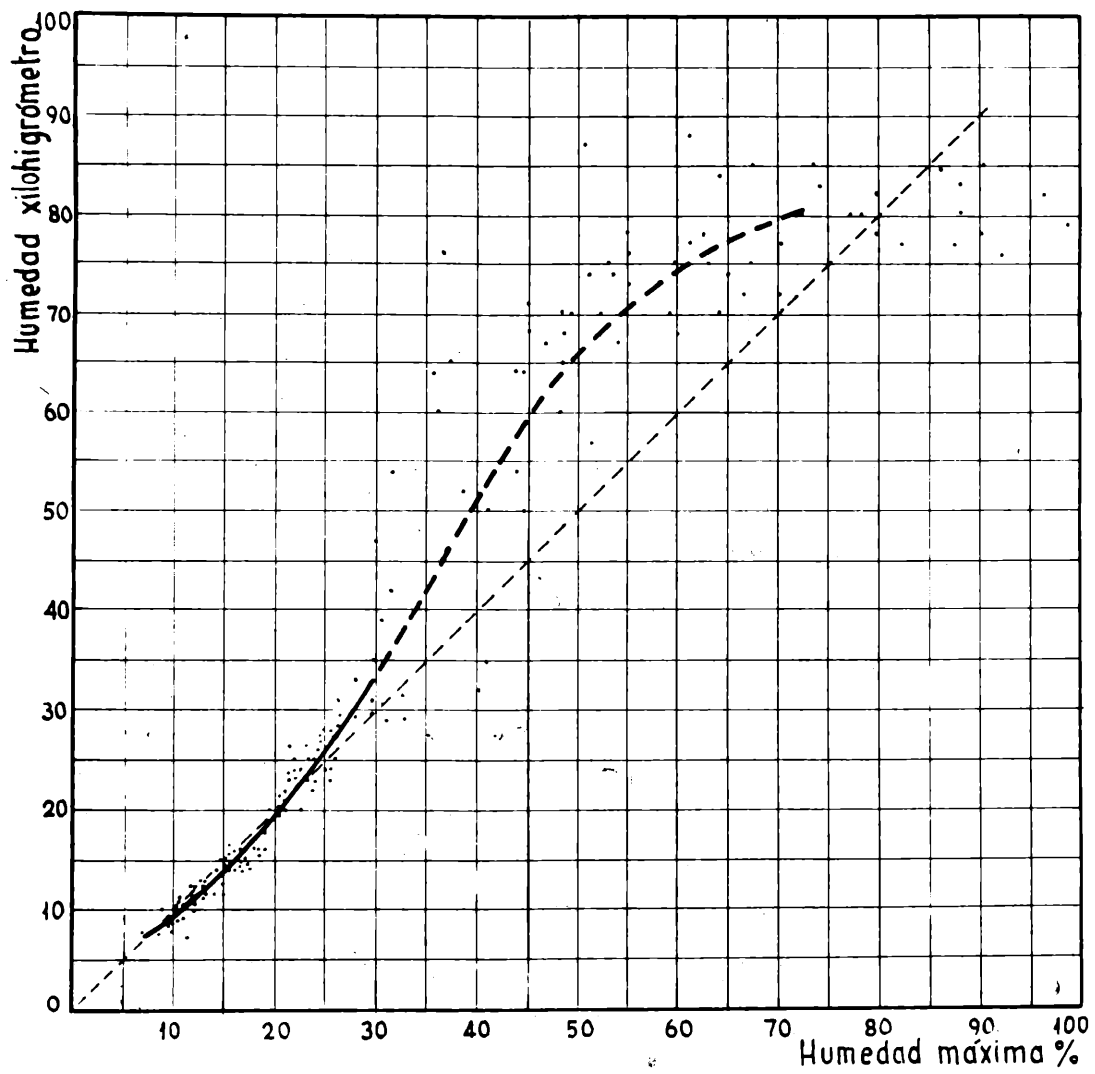


Figura N°5 - Humedad xilohigrómetro transversal respecto humedad máxima en el centro de la probeta.

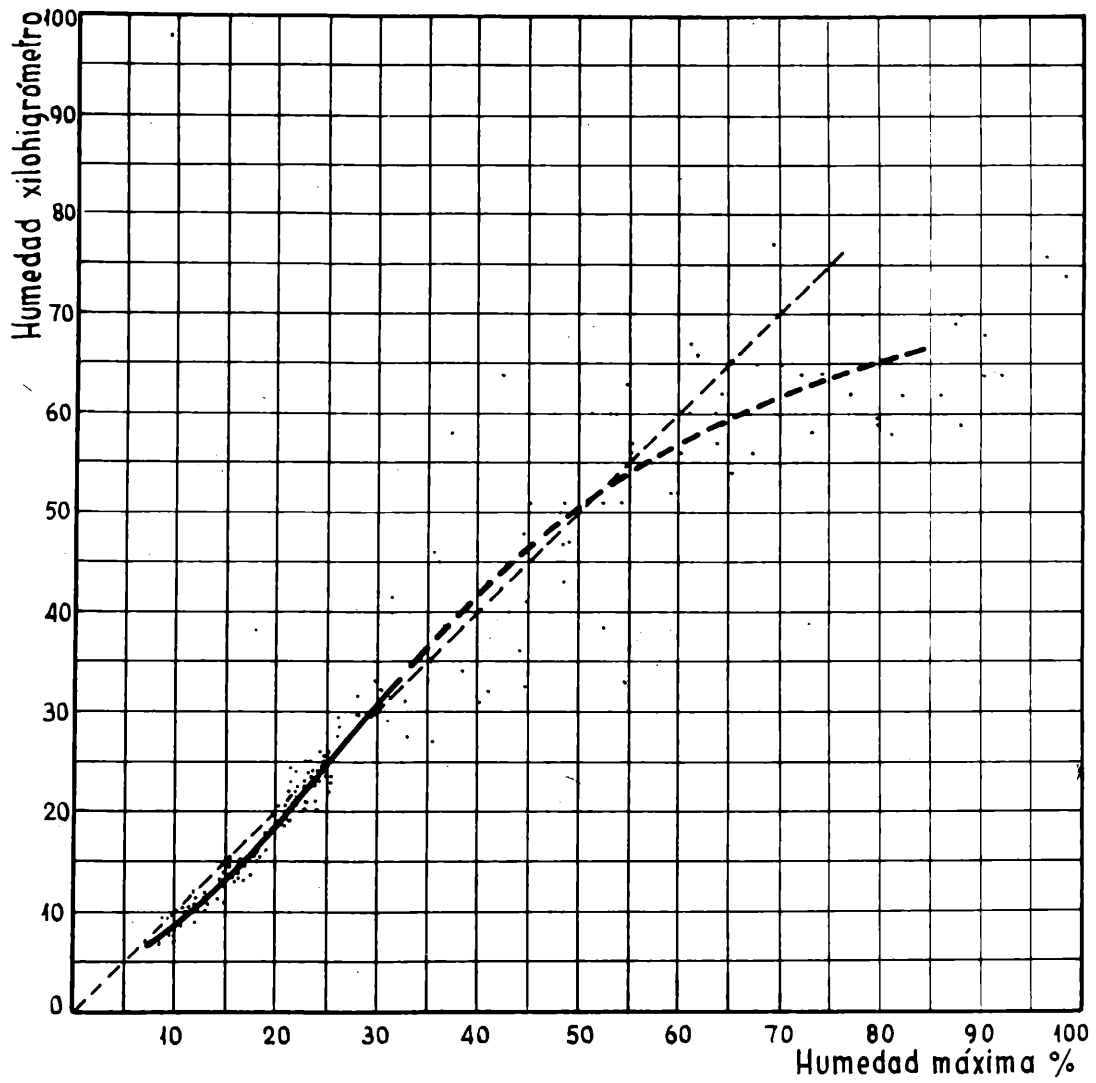


Figura N°6 - Humedad xilohigrómetro pararela respecto humedad máxima en el centro de la probeta.

los obtenidos por estufa.

Comparando las lecturas de las figuras 5 y 6, es decir lecturas realizadas en forma transversal y paralela respectivamente (flujo de corriente a lo largo de la fibra y perpendicularmente a ella) las del segundo caso son más bajas y no sólo hasta el punto de saturación sino en toda la extensión de la curva.

La curva de la figura 7, es decir la realizada con valores tomados con el electrodo prensa, están correlacionados con el valor promedio a estufa, aunque, como ya se dijo, en realidad miden el valor más bajo del gradiente de humedad. Esta debe ser la razón de mostrar valores más bajos, aunque paralelos a la línea de 45°.

---

#### CONSIDERACIONES GENERALES

---

1. De las curvas obtenidas se puede establecer que los valores por encima del punto de saturación de las fibras tienen un carácter cualitativo. En cambio cuando las lecturas están realizadas por debajo del 25 %, el error probable es aproximadamente de 3 unidades de contenido de humedad.

2. La diferencia que pueda existir entre especies posiblemente no sea grande pero es de notar que la importancia de este hecho está por debajo del punto de saturación de las fibras y especialmente dentro del rango del 15 %. Posiblemente las diferencias sean debidas a la presencia de electrolitos distintos o de diferente concentración o diferencias en la estructura de la madera que modifican el área disponible dentro de la misma (3).

Las lecturas de xilohigrómetro más altas en el caso de lecturas de electrodos dispuestos de manera que el flujo de corriente sea paralelo a la dirección de la fibra, prueba que es el camino más fácil para la conductibilidad eléctrica.

Si la madera ha sido tratada con sales inorgánicas de carácter electrolítico las lecturas serían falsas, no así en

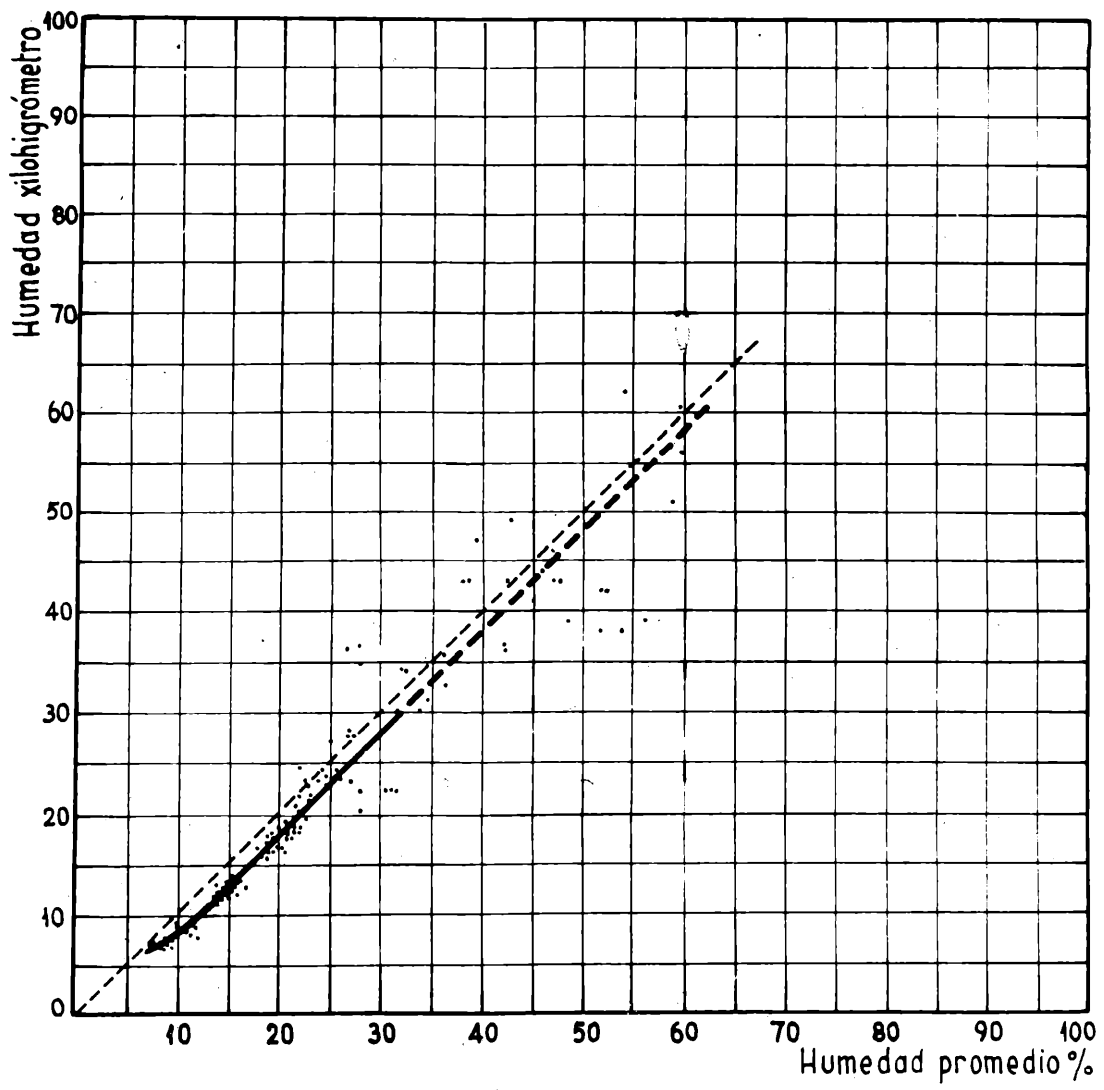


Figura N° 7 - Humedad xilohigrómetro prensa respecto humedad promedio.

**TABLA II. VALORES DE RESISTENCIA ELECTRICA EN MEGOHMS CON RESPECTO A LA HUMEDAD DE LA MADERA. DETERMINACIONES REALIZADAS EN SENTIDO TRANSVERSAL**

<u>Humedad, %</u>	<u>Resistencia, megohms</u>
7	6 300
8	3 414
9	1 488
10	749
11	372
12	194
13	100
14	41
15	23,5000
16	14,3000
17	10,0000
18	6,2000
19	2,9500
20	2,0500
21	1,5300
22	1,1400
23	0,8360
24	0,6390
25	0,4780
26	0,4020
27	0,3450
28	0,2840
29	0,2260
30	0,1800
35	0,1130
40	0,0780
45	0,0600
50	0,0480
55	0,0376
60	0,0300
65	0,0240
70	0,0200
75	0,0178
80	0,0159
85	0,0148
90	0,0137



el caso de maderas impregnadas de creosota o de pentaclorofenol que no afectarían significativamente el movimiento iónico (3) y por consiguiente el valor de resistencia.

3. Las lecturas obtenidas en nuestro caso miden el valor máximo de humedad en la probeta, pero normalmente una determinación de humedad se hace sobre probetas enteras y determinadas por estufa dando un valor promedio de humedad. Si se usa un xilohigrómetro y observando los gradientes ilustrados en la figura 4 se deduce que clavando los electrodos a  $1/4$  o  $1/5$ , aproximadamente, de profundidad puede dar esos valores promedio. De la misma manera si se miden maderas de mayor espesor esta condición debe mantenerse, siempre que los gradientes sean normales.

Para determinar humedad en madera de espesor tal que las púas o cuchillas del xilohigrómetro no alcancen, se pueden usar clavos que se penetran hasta la profundidad requerida y a la separación aproximada de los electrodos del xilohigrómetro.

4. El efecto de la temperatura tiene importancia pues tiende a dar un valor mayor que aquel de la calibración. Para la corrección existen tablas o curvas (3, 6).

5. Se debe evitar la lectura cuando las condiciones climáticas son tales que la madera se cubre de una película de humedad superficial; casos extremos serían el rocío y la lluvia. La lectura efectuada correspondería en este caso al camino más fácil de conducción eléctrica o sea la capa superficial.

---

#### VALORES DE RESISTENCIA ELECTRICA

---

Obtener informes de resistencia eléctrica de una madera respecto de su humedad, cuando la determinación está realizada con un aparato muy sensible, tiene una doble importancia. Por un lado nos identifica la madera en estudio y por otro los valores obtenidos tienen el carácter de patrones y permiten ser usados como un dato de utilidad para la fabricación.

TABLA III. VALORES DE RESISTENCIA ELECTRICA EN MEGOHMS CON RESPECTO A LA HUMEDAD DE LA MADERA. DETERMINACIONES REALIZADAS EN SENTIDO PARALELO

Humedad, %	Resistencia, megohms
7	7 917
8	3 393
9	1 575
10	774
11	329
12	171
13	75
14	44
15	24,1000
16	14,2000
17	8,0000
18	4,1000
19	3,0500
20	2,1000
21	1,5200
23	0,8170
24	0,6730
25	0,5240
26	0,4000
27	0,3600
28	0,2690
29	0,2050
30	0,1820
35	0,1120
40	0,0850
45	0,0610
50	0,0420
55	0,0315
60	0,0259
65	0,0220
70	0,0190
75	0,0167

de xilohigrómetros de industria nacional.

Las determinaciones del presente trabajo fueron tomadas con el megohmetro anteriormente mencionado y utilizando las cuchillas del xilohigrómetro Siemens, al momento de realizar las determinaciones con éste. Es necesario informar que las cuchillas penetran en la madera 15 mm y a una distancia entre ellas de 22 mm siendo el ancho de las mismas de 6 mm.

En las tablas II y III están consignados los resultados para determinaciones en sentido transversal y paralelo respectivamente como indica la figura 2.

Se observa que la resistencia a la corriente continua de la madera varía ampliamente con la humedad debajo del punto de saturación de las fibras. Desde aproximadamente 30 a 0 % de humedad existe una relación aproximadamente lineal inversa entre el logaritmo de la resistencia y el logaritmo del contenido de humedad.

A medida que el contenido de humedad crece por arriba del punto de saturación de las fibras la resistencia eléctrica cambia erráticamente pero solamente una pequeña cantidad.

---

#### BIBLIOGRAFIA

---

1. Mata, Rodolfo A.- Determinación de correcciones aplicables a xilohigrómetros eléctricos del tipo de resistencia. (Universidad Austral de Chile).
2. Duff, John E.- A probe for accurate determination of moisture content of wood products in use. Forest Products Laboratory. Madison. Research Note FPL-0142, August 1966.
3. James, Williams L. - Electric moisture meters for wood. Forest Products Laboratory FPL-08, July 1963.
4. Kollman F. - Tecnología de la madera. Ministerio de Agricultura, Madrid, 1959.
5. Villiere, A.- Séchage des bois. Dunod, Paris, 1966.
6. Rasmusen, E. F. - Dry kiln. Agriculture Handbook, 188. Forest Products Laboratory, 1968.