

Propiedades dieléctricas y secado de la madera

Por: Pedro Muñoz Díaz
Dr. Ingeniero de Montes
y Santiago Vignote Peña
Dr. Ingeniero de Montes

INTRODUCCION.

El procedimiento clásico de secado artificial de la madera se basa en el método de convección, en el cual el aire actúa simultáneamente de elemento de transporte del calor y del agua.

El secado de la madera resulta de la conjugación de dos fenómenos:

el transporte del agua por el interior de la madera y la evaporación de ese agua a través de la superficie de ella.

La temperatura de secado tiene una gran influencia en la circulación interior del agua, aumentando con ella según se ve en la figura 1, y sin embargo la humedad relativa del aire no parece tener una influencia notable en dicha circulación.

Por todo ello, al estudiar los métodos de secado conviene reconocer la circulación del agua en el interior de la madera. Se puede admitir que, cuando la humedad es superior al punto de saturación de las fibras, el agua en el interior se desplaza debido a fuerzas capilares y por debajo del punto de saturación, el movimiento se debe a un fenómeno de difusión causado por diferencias de humedad o de presión parcial.

En el secado de la madera, por el procedimiento clásico, las capas exteriores se calientan más rápidamente que las interiores. Este gradiente de temperatura hace que el agua de las capas exteriores, además de evaporarse a través de la superficie de la madera, tienda a condensarse en las partes más frías del interior, oponiéndose al

secado de estas capas, es decir, a la salida del agua hacia el exterior.

Para atenuar este efecto a medida que disminuye la humedad se debe aumentar la temperatura, con el fin de evitar que el coeficiente de difusión adquiera un valor tan bajo que haga imposible la salida del agua hacia el exterior (figura 2).

Por el contrario, se favorecerá la circulación del agua si el interior de la madera está a más temperatura y con mayor humedad que la parte más externa, pues ambos gradientes actuarán hacia el exterior, favoreciendo el secado. Esto es lo que ocurre en el secado con corrientes de alta frecuencia, en el que la madera a secar se coloca como dieléctrico entre las placas de un condensador.

CONDUCTIVIDAD DE LA MADERA.

La madera en ausencia de humedad tiene las propiedades de un excelente aislante, propiedad ésta que disminuye notablemente a medida que aumenta el porcentaje de agua para luego disminuir más lentamente, a partir del punto de saturación de las fibras (30 %).

A. J. Stamm, establece una relación que liga la conductividad con la humedad de la madera:

$$\log \sigma = \log \frac{1}{\rho} = a h - c$$

en donde: σ = conductividad

ρ = resistividad

h = humedad

a y c = constantes

También E. Nusser, llega a la relación

$$\rho = 1,78 \times 10^{13} \times e^{-0,736 h}$$

Estas expresiones son válidas para humedades comprendidas entre el 8 y 18 %, y son de aplicación en el funcionamiento de los xilohigrómetros, para medición de humedades mediante la determinación de la resistividad.

La conductividad varía también según la dirección que se considere dentro de la madera siendo paralelamente a las fibras, superior aproximadamente el doble que en sentido transversal.

La madera secada al aire puede considerarse como semiconductor muy lejos del papel aislante de la madera totalmente seca.

Fig. 1

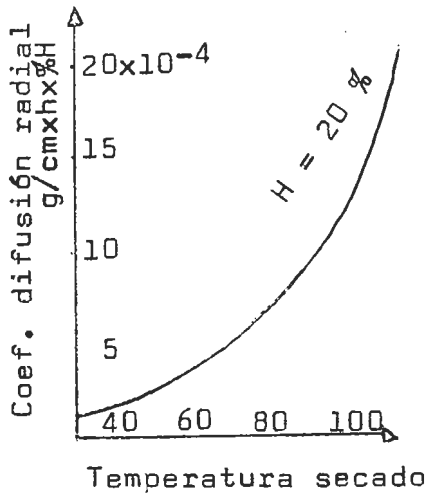
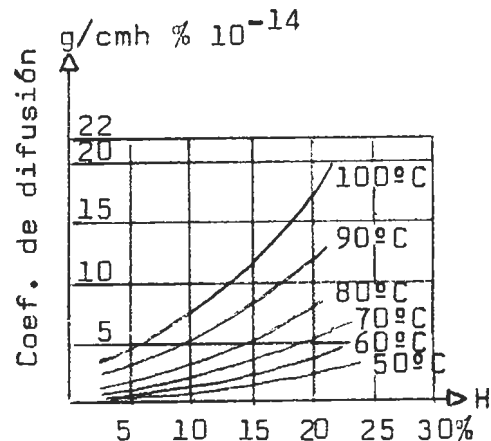


Fig. 2



Stamm, atribuye los siguientes valores de resistividad de la madera, según los valores de humedad:

Humedad	Resistividad (Ω cm)	
Secada artificialmente	H = 7,5 %	10^{10}
Secada al aire	H = 15 %	$3,5 \times 10^8$
En saturación de las fibras	H = 30 %	$2,5 \times 10^5$
Saturada de agua	H = 150%	4×10^3

En cuanto a la variación con la temperatura se puede afirmar que la conductividad eléctrica se hace el doble por cada incremento de 10 °C de temperatura.

En lo referente al uso de corriente alterna o continúa la resistividad es mucho más baja para la corriente alterna, siendo Skaar el que comprobó que la resistividad de una madera seca era 10^{12} veces menor con corriente alterna.

PROPIEDADES DIELECTRICAS DE LA MADERA.

a) Generalidades

Como se ha dicho anteriormente, un método posible de secado diferente al convencional consiste en la utilización de corrientes de alta frecuencia.

Según el mismo, se coloca la madera a secar (dieléctrico) entre las placas de un condensador (electrodos). Las moléculas de agua contenidas en la madera, constituyendo dipolos, se orientan de acuerdo con el sentido que en cada momento tenga el campo eléctrico existente. En un momento determinado se orientarán perpendicularmente a los electrodos, pero al cambiar el sentido del campo eléctrico, las moléculas de agua giran 180° para orientarse de acuerdo con el nuevo sentido del campo. Teniendo en cuenta que este proceso se repite unas doce millones de veces por segundo, en corrientes de alta frecuencia, el movimiento vibratorio de las moléculas de agua se manifiesta con desprendimiento de calor que será mayor en las zonas más húmedas, como son las zonas más internas de la madera y por tanto el secado se realiza del interior al exterior, según se dijo anteriormente.

Es decir, la madera comportándose como un dieléctrico al introducirse entre las armaduras de

un condensador y someterse a un campo eléctrico experimenta una polarización, es decir, una orientación de sus moléculas.

Recordando la expresión de la capacidad de un condensador plano

$$C = \frac{\epsilon S}{d} \quad C_1 = \frac{\epsilon S}{d}$$

en donde: C = capacidad sin dieléctrico
 C₁ = capacidad con dieléctrico (madera)
 ε = permitividad del medio
 ε₀ = permitividad del vacío
 S = superficie de las armaduras
 d = separación de las armaduras

Obtendremos la expresión

$$\frac{C_1}{C} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \epsilon_r \quad (\text{constante dieléctrica})$$

de donde:

$$C_1 = \epsilon_r C$$

expresión que muestra que la capacidad del condensador es directamente proporcional a la constante dieléctrica. La polarización del material depende de la constante dieléctrica "ε_r" siendo mayor cuanto mayor sea ε_r siendo los mejores aislantes los que tienen la constante dieléctrica más pequeña.

Con fines comparativos se exponen a continuación algunos valores de la constante dieléctrica ε_r para varios materiales.

Aire o Vacío	1
Madera de haya o roble en estado anhidro:	de 2,5 a 4
Celulosa seca:	6,5
Mica:	de 7 a 8
Agua:	81

De ello puede apreciarse el pequeño valor de la constante dieléctrica de la madera y lo elevado de la del agua, por lo que al adquirir la madera una pequeña cantidad de la misma se va elevando notablemente el valor de la citada constante dieléctrica.

No obstante, conviene indicar que la constante dieléctrica de la madera no es constante, y depende de diversos factores como peso específico, humedad y dirección del campo, de

un modo análogo a lo que sucede con la conductividad. Para frecuencias bajas, inferiores a 1000 Hz existe una relación logarítmica entre la constante dieléctrica y la humedad:

$$\log \epsilon_r = \frac{1}{1+h} \log \epsilon_s + \frac{h}{1+h} \log \epsilon_a$$

en donde: ε_r = constante dieléctrica de la mezcla madera-agua
 ε_s = constante dieléctrica de la madera seca
 ε_a = constante dieléctrica del agua
 h = humedad de la madera referido al peso anhidro

b) Angulo de pérdida y factor de potencia

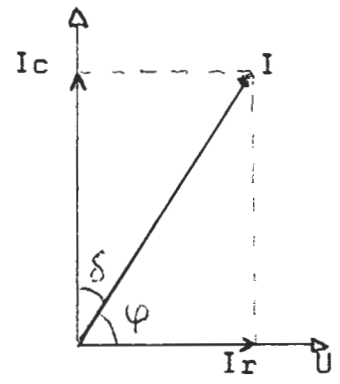
En el caso de un condensador alimentado por corriente alterna de alta frecuencia, si entre las armaduras del mismo existe el vacío, la tensión y la intensidad están desfasadas 90° y la energía media disipada en el condensador es nula. Si en lugar del vacío existe un dieléctrico entre las armaduras la corriente ya no está desfasada 90° con respecto a la tensión "V" sino que existe un desfase con un ángulo menor de 90° (figura 3).

El factor de potencia es "cos φ" y el ángulo de pérdida "δ" es el complementario de "φ". La intensidad "I" es la resultante de "I_c" desfasada 90° con respecto a la tensión, e "I_r" en fase con la misma.

c) Constante Dieléctrica

Como se vió anteriormente la constante dieléctrica "ε_r" de un material es la razón entre la capacidad de un condensador con un dieléctrico entre sus armaduras y la capacidad

Fig. 3



del mismo condensador cuando entre sus armaduras existe el vacío.

d) Factor de Pérdida

La cantidad de energía acumulada en el condensador depende de la constante dieléctrica. El factor de potencia “ $\cos \varphi$ ” del material, indica la parte de esta energía que se transforma en calor en el momento de la descarga del condensador. El producto de estas dos características es el factor de pérdida “ p ”: $p = \epsilon_r \cos \varphi$ de modo que los materiales que tengan un mismo factor de pérdida transformarán en idénticas condiciones, cantidades iguales de energía en calor.

e) Resistividad

Existe una relación que liga a la resistividad con la frecuencia constante dieléctrica y con el factor de potencia:

$$\rho = \frac{1,8 \times 10^6}{f \epsilon_r \cos \varphi}$$

en donde: ρ = resistividad
 f = frecuencia en Megahercios
 ϵ_r = constante dieléctrica
 $\cos \varphi$ = factor de potencia

f) Calentamiento por pérdidas dieléctricas

Cuando se coloca entre las armaduras de un condensador alimentado con corriente de alta frecuencia un material dieléctrico se produce calor en el seno de sus moléculas al paso de la corriente eléctrica.

Además, el tiempo necesario para que un cuerpo adquiera una temperatura determinada es independiente de sus dimensiones y de la temperatura del medio, y solo dependen de la intensidad de la corriente que le atraviesa.

Si el material que se coloca entre las armaduras no es un aislante perfecto cede una cierta cantidad de energía al exterior, estableciéndose desde el centro a la periferia un gradiente de temperatura al estar el interior a mayor temperatura.

(Continuará)