

Sistema de secado por microondas y aire caliente

## *Igualado de la Humedad de la Chapa de Madera, mediante Microondas y Aire Caliente*

Pocas veces aparece en la industria de la madera un procedimiento técnico que suponga una innovación importante. Una de estas ocasiones se ha producido con el descubrimiento de una técnica de secado de chapa de madera que es realmente innovadora. Se trata de un secado selectivo que actúa únicamente sobre la madera con un exceso de humedad, quedando sin modificarse el contenido de agua de las partes más secas. Este sistema de secado utiliza microondas y aire caliente, lo cual no es nuevo aplicado al secado de la madera, consistiendo la novedad en la alta frecuencia de la radiación empleada, que se eleva a

915 megaciclos. A estas frecuencias los conductores para dirigir el campo electromagnético son tubos huecos, llamados guías de ondas, y su disposición y manufactura bastante críticas en relación al resultado pretendido. La potencia del generador empleado en las experiencias que a continuación referimos (traducidas del *Forest Products Journal* del mes de octubre de 1970) es de 50 Kw, cifra bastante elevada en este tipo de instalación y frecuencia. Los autores del trabajo en cuestión son Helmuth Resh, Clyde A. Lofdahl, Franklin J. Smith y Carl Erb.

En la industria del tablero contrachapado son fundamentales

la uniformidad de la humedad y el valor alcanzado por ésta, especialmente empleada para encolar prensas de platos calientes, único caso con interés a considerar. Mucha o muy poca humedad conducen a deficientes encolados. En el caso de exceso de humedad se producen ampollas, formadas por la presión del vapor de agua. La excesiva sequedad también conduce a pobres uniones.

Muchos autores mantienen la idea de que un sobrecalentamiento de la madera disminuye las cualidades de adhesión. Tres son las razones que sustentan esta teoría: a), disminución del potencial de adhesión de los

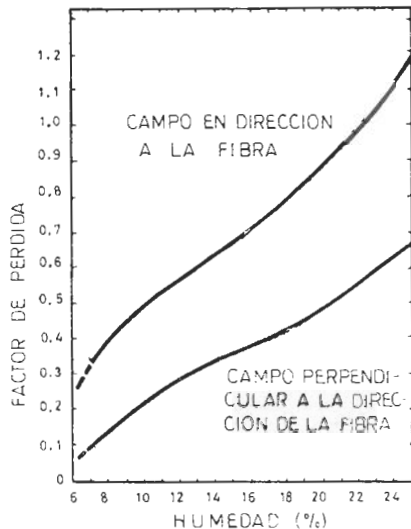
grupos hidroxilo; esto se manifestó al observar que elevando la temperatura de la madera en el secado disminuía la facilidad de mojado; b), daño físico del calor en las fibras; c), inactivación de la superficie de la madera debida a productos de deslitolación desprendidos por ésta.

Hoy día muchos fabricantes de tablero contrachapado tipo exterior intentan secar las chapas a un contenido de humedad del 3 al 5 por 100. Si bien la mayoría alcanza este promedio, lo hacen con una falta de uniformidad mucho mayor de la permisible, siendo aquí erróneo emplear únicamente el concepto de humedad media, debiendo utilizarse también criterios limitativos de las dispersiones de los valores de humedad con respecto al valor medio.

El procedimiento utilizado hasta ahora para tener chapa con una sequedad uniforme consiste en agrupar la madera con características similares de secado y en utilizar boquillas para la proyección de aire caliente con una construcción especial. A pesar de todas las precauciones utilizadas, no puede evitarse la aparición de bolsas de humedad en la chapa o, por el contrario, que algunas partes queden tan secas que no se logre una buena adhesión en el encolado. Otra solución utilizada consiste en el empleo de una segunda línea de secado para la chapa que deba volver a secarse por tener un exceso de humedad, con lo que la velocidad de alimentación de la línea principal puede ser elevada.

Hace tiempo que se ensayó el empleo de microondas para uniformizar el contenido de humedad de sustancias celulósicas. Los ensayos se realizaron con chapas, papel, formas de lápices y madera en grueso.

Las microondas son utilizables en este sistema por ser absorbidas selectivamente. Las moléculas de agua, por tener una polaridad mayor, son afectadas



**Fig. 1.—Factor dieléctrico de pérdida en función de la humedad para abeto Douglas y una frecuencia del campo de 1.000 MHz.**

más intensamente que las moléculas de celulosa y lignina, que tienen una baja polaridad. En las moléculas con más baja polaridad se produce una mayor atenuación de potencia, con la correspondiente elevación de temperatura debido a la llamada fricción molecular. Este fenómeno es el mismo que el utilizado en los clásicos generadores de radiofrecuencia, consistiendo la diferencia en que al emplearse en este caso ondas centimétricas se produce una selectividad mucho mayor en el secado y se logran chapas con humedades muy uniformes, como ya veremos.

La potencia absorbida,  $P_a$ , es directamente proporcional a la frecuencia de la radiación electromagnética,  $f$ , al cuadrado de la intensidad del campo,  $E$ , y al factor dieléctrico de pérdida,  $e$

$$P_a = k \cdot f \cdot E^2 \cdot e$$

El factor dieléctrico de pérdida varía en función de un número de parámetros físicos, tales como el contenido de humedad, densidad, dirección de la fibra, contenido en minerales y temperatura. De todos ellos, la influen-

cia del contenido de humedad es muchísimo más importante. En el gráfico número 1 puede verse claramente la influencia que a las frecuencias que estamos tratando tiene la humedad de la madera en el factor dieléctrico de pérdida. La absorción de potencia al 15 por 100 de humedad es el doble que al 7 por 100, tres veces al 22 por 100 y cuatro veces al llegar al punto de saturación de la fibra. La absorción de potencia y el calentamiento son proporcionales, por lo que la selectividad del procedimiento queda evidente.

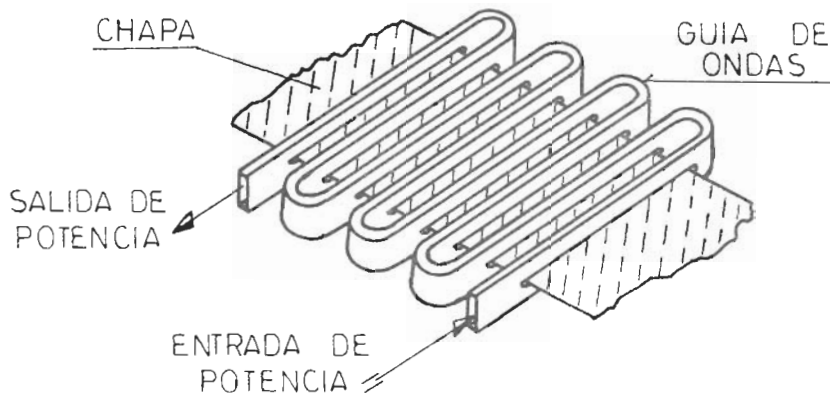
Los objetos de la investigación fueron:

- Determinar cuantitativamente la facilidad de las microondas unidas al aire caliente para secar selectivamente y uniformizar la humedad de la chapa.
- Evaluar el efecto del resecado con microondas sobre la calidad de la línea de cola y sobre las propiedades del tablero contrachapado.

El estudio se realizó en cuatro fases. En la primera, chapas clasificadas como demasiado húmedas después de haber pasado por una línea standard de secado con aire caliente fueron resecadas con una velocidad de alimentación constante mediante un sistema de microondas y aire caliente.

Con base en los resultados obtenidos en la primera fase del estudio, la segunda fase de la investigación se desarrolló hacia lograr igualar la humedad en un tiempo mínimo mediante la modificación de la velocidad de alimentación. Se instaló un sistema automático para controlar la rapidez de alimentación.

La tercera fase del estudio se refiere a la evaluación comparativa de la calidad de la línea de cola manufacturada con chapa seca una sola vez, resecado con microondas, y resecado utilizando únicamente aire caliente. La



**Fig. 2.—Guía de ondas doblada mostrando en su interior una chapa en proceso de secado.**

cuarta fase del trabajo consiste en comparar la resistencia a la flexión y la rigidez de tableros construidos con chapa tratada mediante un campo de microondas.

El equipo utilizado para la experimentación consiste en tres sub-sistemas agrupados dentro de una estructura principal. Cada una de estas partes es, respectivamente: el generador de microondas, el sistema de aire caliente y la unidad de alimentación. El alimentador admite chapa con un ancho máximo de un metro y de cualquier longitud.

Fue necesario desarrollar un sistema especial para transmitir energía a la chapa. Se llegó al dispositivo de la figura «2», que consiste en una guía de ondas doblada repetidas veces en forma de «U» con una sección longitudinal que permita el paso de la chapa. Así se pueden emplear velocidades de alimentación de orden de 45 metros por minuto.

Las dimensiones de la guía de ondas para la transmisión de energía a la frecuencia de 915 megaciclos son, en sección, de 12,5 por 25 cm. La potencia aplicada a la chapa con esta guía es de unos 25 Kw., que se invierte casi totalmente en la evaporación del agua en las zonas de elevada humedad. En cambio cuando la chapa está parcialmente seca, únicamente se ab-

sorbe en el secado un 5 ó 10 por 100 de la energía disponible. Para aumentar la eficacia del sistema en este caso es por lo que se dobla la guía de ondas en forma de U repetidas veces. De esta manera casi toda la energía se aplica en el secado de la chapa. La cantidad de potencia tomada por la chapa es por lo tanto, un indicador indirecto de la humedad de ésta. En los ensayos se utilizó este método para conocer dicha humedad y regular automáticamente la velocidad de alimentación.

Para evitar una aplicación no balanceada de potencia se utilizaron dos guías de ondas con alimentaciones opuestas, cada una consistente en diez codos en forma de «U». Al final de cada guía de ondas se colocó una carga de potencia artificial, con la misión de absorber cualquier potencia residual y poder, de esta manera, operar con el generador a la máxima potencia, independientemente de la carga representada por la chapa en cualquier momento.

Para conseguir un elevado nivel de seguridad en el trabajo y evitar la posible fuga de potencia en la forma de microondas se construyó un sistema de puertas-barrera, que en caso de abrirse interrumpieran el funcionamiento de la máquina.

El generador utilizado es el Cryodry 1V-50P, de fabricación

standard, que tiene dos salidas independientes de 25 Kw. cada una. La frecuencia de 915 MHz fue determinada por ser éste un canal aprobado para uso industrial, en el cual no hay peligro de interferencia con otros servicios.

El sistema de aire caliente se formó por 42 boquillas colocadas por encima y por debajo de la chapa, con un caudal de 350 metros cúbicos por minuto y a una temperatura regulable hasta un máximo de 190° C.

Para controlar automáticamente la velocidad de alimentación en función de la humedad de la chapa, se instalaron dos medidores de potencia, uno en la entrada de la guía de ondas y otro en la salida, dándonos la diferencia entre las dos medidas una indicación de la humedad de la chapa. La señal eléctrica diferencia de las antedichas medidas es enviada al mecanismo controlador de la velocidad de la cinta de alimentación. En este sistema una pequeña diferencia entre el nivel de potencia señalado por los medidores indica una baja humedad, aumentándose por el controlador la velocidad de paso de la chapa por la guía de ondas.

Los resultados obtenidos pueden resumirse de la siguiente manera:

## I.—Secado utilizando una velocidad de alimentación constante

La chapa se tomó de la rechaza en una línea de secado normal por tener zonas con exceso de humedad. Se tomaron seis especies diferentes de madera y varios gruesos. El resultado logrado está representado en la tabla «A», que muestra la uniformidad lograda con el secadero de microondas.

Hay que advertir que de haberse proseguido el secado mediante un sistema clásico habría al final una mayor dispersión en las humedades y, lo que es más

TABLA A

ESPECIES	GRUESO EN PULGADAS	NUMERO DE OBSERVACIONES	HUMEDAD INICIAL (%)		VELOCIDAD ALIMENTACION pies/min.		TEMPERATURA DEL AIRE (°F)		HUMEDAD FINAL (%)	
			DESVIACION		MEDIA	RANGO	MEDIA	RANGO	MEDIA	DESVIACION TIPICA
			MEDIA	TIPICA						
ABETO DOUGLAS	1/10	3,612	9,2	6,0	32,8	10-48	235	90-300	5,8	1,0
ALERCE AMERICANO	1/10	1,860	7,9	3,2	35,3	22-48	260	225-300	5,9	1,2
ALERCE AMERICANO	7/32	258	12,3	3,6	19,2	15-25	225	nulo	8,0	1,7
TSUGA DEL PACIFICO	1/6	828	10,3	7,4	27,7	15-35	200	90-255	6,1	0,8
TSUGA DEL PACIFICO	7/32	318	11,1	6,9	15,0	nulo	225	nulo	5,8	0,8
ABETO DEL COLORADO	1/6	456	12,7	9,7	33,3	30-40	242	225-275	5,0	0,7
ABETO DEL COLORADO	7/32	474	10,0	4,3	36,0	30-40	230	225-250	6,3	1,0
PICEA DE ENGELMANN	1/10	876	8,5	4,6	24,2	15-35	242	230-255	4,5	0,9
PINO PONDEROSA	1/10	1,176	9,7	5,4	36,0	18-48	242	225-275	5,2	0,9

importante, algunas muestras tendrían una humedad muy pequeña, con el consiguiente problema de encolado posterior. El autocontrol del sistema es tal que cuando la humedad de la chapa llega a ser del 4 por 100 prácticamente no se aplica potencia en esa zona da madera no bajando de esta cifra la humedad final de la chapa, y esto es extensible a cualquier punto y no sólo a humedades promedio.

El empleo de aire caliente se hizo para lograr arrastrar rápidamente el agua evaporada de la chapa, pues en caso contrario se hubiesen reducido grandemente las ventajas del procedimiento.

## II.—Secado utilizando una velocidad de alimentación variable y controlada automáticamente en función de la humedad de la chapa

Dado que el sistema es realmente selectivo, no hubo mucha diferencia en los resultados al variar la velocidad de alimentación en función de la humedad esto referido al contenido final de humedad. En cambio, sí hubo diferencia en el rendimiento conseguido, puesto que aumentó considerablemente la producción de chapa seca por unidad de tiempo. Este resultado es la consecuencia lógica del aprovechamiento que se logra al no someter la chapa al campo electromagnético más que el tiempo ne-

cesario para lograr el fin propuesto.

En casos de chapa teniendo únicamente algunos puntos de sobrehumedad se alcanzó un aumento de la velocidad del secado, incluso superior al 100 por 100 respecto al sistema de alimentación con velocidad uniforme. En el caso más desfavorable, el aumento en el rendimiento fue del 8 por 100, lo que da idea del interés que tiene este sistema de control de la velocidad de alimentación de la chapa en secado con microondas.

## III.—Estudio de la influencia en las características de encolado

Se encontró que no había prácticamente diferencia en las propiedades de adherencia logradas con chapa seca en línea de aire caliente y aquellas chapas que por tener zonas de excesiva humedad al salir de esta fase fueron tratadas en el secadero de microondas. No obstante, si esta chapa con excesiva humedad es llevada a valores correctos de ésta mediante secaderos de aire caliente se producen fallos en la calidad del encolado conseguido posteriormente, lo cual demuestra la superioridad del secado por microondas y aire caliente para corregir chapas que tengan excesiva humedad. Estos ensayos sobre el encolado se hicieron y resultan válidos para colas de fenol-formaldehído y proteinicas.

## IV.—Estudio de las modificaciones en la flexibilidad de la chapa, debidas al secado por microondas

Todos los ensayos realizados con distintas especies de madera y con chapas de muy distintos groesos mostraron que la flexibilidad después de este secado fue en todos los casos prácticamente igual a la que hubieran tenido de haberse seguido un procedimiento clásico de secado.

Resumiendo los resultados de los ensayos, puede decirse que el secado de chapa que ha sido detectada como demasiado húmeda a la salida de una línea clásica de secado por aire caliente puede secarse a valores óptimos de humedad empleando un sistema de secado a base de microondas. Este sistema no produce zonas con excesiva sequedad, ya que su selectividad es tal que no disminuye la humedad de la chapa por debajo del 4 por 100.

La variación de la humedad de alimentación de la cinta que transporta la chapa mediante un control diferencial basado en el consumo de potencia instantáneo del generador permite mejorar el rendimiento en el secado por encima del 100 por 100.

No se modifican por este tratamiento ni las propiedades de flexibilidad de la chapa ni sus características de encolabilidad.

(Forest Products Journal, octubre 1970.)