



LA BOMBA DE CALOR EN EL SECADO DE LA MADERA ASERRADA

CONCLUSIONES DE UN ESTUDIO DE SEGUIMIENTO DE INSTALACIONES INDUSTRIALES

DR. JUAN IGNACIO FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO

DR. JOSE JAVIER FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO

ING. JAIME LÓPEZ GIMENO

CIFOR-INIA

DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

APARTADO 8111, 28080 MADRID

GOLFÍN@INIA.ES

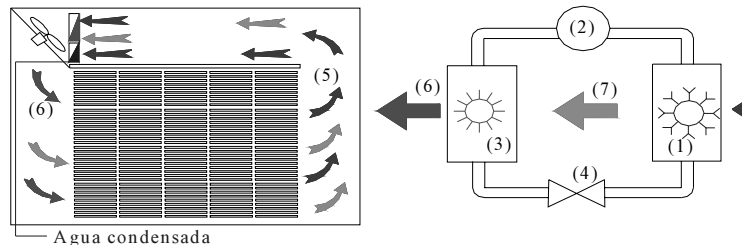
1 Introducción

El uso de la tecnología de la bomba de calor para el secado de la madera no es algo nuevo sino que data de los años 70.

La bomba de calor permite recuperar el calor latente de vaporización contenido en el vapor de agua que se elimina por las chimeneas en un secado convencional y volver a introducirlo dentro del secadero, con el consiguiente ahorro energético.

La bomba de calor (Fig. 1.1) es básicamente un ciclo clásico de aire acondicionado constituido por cuatro componentes principales: el evaporador (1), el compresor (2), el condensador (3) y la válvula de expansión (4).

El principio de este método aplicado al secado de la madera (Fig. 1.1) consiste en hacer pasar el aire húmedo procedente del interior de la cámara de secado (5) por la batería fría o evaporador (1), la cual enfría el aire hasta alcanzar su punto de rocío. Una vez que se alcanza este punto, se condensa una cierta cantidad del vapor de agua contenido por el aire y se elimina en forma líquida. Esta condensación libera una cierta cantidad de energía (calor latente de evaporación del agua) que es absorbida por la propia batería fría (1) y pasada al fluido térmico que



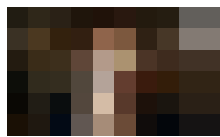
por ella circula y de aquí transportada a la batería caliente o condensador (3) por efecto del compresor (2). El aire procedente de la batería fría (7) es obligado a pasar por el condensador o batería caliente (3), donde es calentado y, eventualmente, humectado, pasando así al interior de la cámara (6).

El interés de la tecnología de la bomba de calor reside en la posibilidad de recuperar el calor latente de vaporización del agua en la propia batería fría, transfiriendo esta energía a la batería caliente mediante un vehículo adecuado (fluido refrigerante) y de aquí a la cámara de secado. Por tanto todo el proceso se efectúa normalmente en circuito cerrado sin intercambio con el exterior. La única energía externa consumida en el proceso será la eléctrica necesaria para alimentar el compresor, encargado de recircular el fluido refrigerante. De esta forma tan sencilla se consigue deshidratar el aire y mejorar el rendimiento energético

del proceso, ya que se recupera una energía que de otra forma sería expulsada al exterior de la cámara. Si un secadero funcionara de forma absolutamente hermética, sin intercambio de aire con el exterior, sería posible rebajar a algo más de la mitad el gasto energético en el proceso de secado aunque a costa de alargar bastante el proceso, especialmente en el secado de coníferas.

Esta tecnología ha progresado enormemente, motivo por lo cual secaderos de hace dos o tres años no se parecen en nada a los actuales y las opiniones que uno pudiera tener basadas en el funcionamiento de los primeros equipos pueden estar totalmente equivocadas en la actualidad.

Los secaderos por bomba de calor actuales son mucho más rápidos que los de hace 2 ó 3 años pero a costa de mayores consumos energéticos ya que para conseguirlo expulsan los excesos de humedad por las chimeneas (secaderos a circuito abierto) y las carencias de



energía en ciertos momentos las compensan con el empleo de quemadores de gas-oil o gas. Tecnológicamente estos secaderos son a la vez más complejos pero más sencillos. Más complejos porque en su interior se mezclan circuitos de agua con circuitos por cuyo interior circulan fluidos refrigerantes pero más sencillos porque dichos circuitos refrigerantes al ser más pequeños son menos propensos a las fugas y en caso de producirse éstas son de más económica reparación (uno de los grandes problemas de mantenimiento de esta tecnología). En la actualidad el secadero arranca con apoyo energético externo (encendiendo quemadores o caldera), lo cual empieza a producir evaporación de agua desde la madera y elevación del grado de humedad relativa dentro del secadero. Es en este momento, cuando la humedad relativa interior empieza a dispararse por encima del valor programado, cuando la bomba de calor empieza a funcionar para controlar este exceso de humedad, condensando agua y generando una recuperación de calor que es introducida dentro del secadero. Por este motivo una vez que la bomba comienza a meter calor dentro del secadero los quemadores o la caldera externa se apagan y sólo se encenderán si la temperatura cayera por debajo de un cierto valor de alarma (señal de que no hay humedad suficiente dentro del secadero que pueda ser condensada por la bomba). El exceso de humedad por encima de la que la bomba puede condensar (lo cual suele ocurrir al principio en el secado de coníferas o cuando se emplean bombas muy pequeñas) se resuelve expulsando aire al exterior y dejando entrar aire fresco. Al final del secado, cuando la madera está ya muy seca, apenas si hay humedad dentro del secadero y, sin embargo, la demanda energética en su interior es muy elevada, volviéndose a encender

los sistemas de calefacción externos (quemadores/caldera) para elevar la temperatura en el interior. Eventualmente si la humedad relativa cayera por debajo de un cierto valor, se conectarían los sistemas auxiliares de humectación.

De acuerdo con el sistema anterior la bomba se emplea sólo para controlar la humedad relativa interior, generando un calor que es aprovechado, si procede, para el secado de la madera. Cualquier exceso de humedad relativa (por encima del que pueda condensar la bomba) o de temperatura se resuelve abriendo trampillas y cualquier defecto de temperatura o de humedad relativa interiores, encendiendo los sistemas auxiliares de calefacción o de humectación, respectivamente.

Los cambios tecnológicos antes citados han conllevado notables cambios en los rendimientos energéticos de las instalaciones, cambios que no se han reflejado en los manuales técnicos y propagandas comerciales existentes en la actualidad. Es por este motivo por lo cual desde INIA nos planteamos la necesidad de evaluar a escala industrial el funcionamiento de secaderos por bomba de calor de la última tecnología, trabajando tanto con maderas de coníferas como de frondosas.

Fruto de este trabajo, que nos ha llevado dos años, son los datos y conclusiones que seguidamente presentamos.

2. Metodología del trabajo

2.1.- Secaderos: características y regulación

En las experiencias llevadas a cabo se utilizaron cinco secaderos industriales de la modalidad de bomba de calor de media temperatura (temperatura máxima entre 50 °C y 60 °C), con una capacidad nominal entre 70 y 120 metros cúbicos de madera verde. Estos secaderos están instalados en industrias de aserrío y llevan operando en las mismas entre uno, los más modernos, y tres años.

La Tabla N° 1 recoge las características técnicas de los secaderos evaluados.

Las cámaras están fabricadas con paneles "sandwich", con aislamiento de poliuretano expandido de 75 mm. y chapas interior-exterior de aluminio (0,8 mm. de espesor) prelacado. Unos perfiles de aluminio con rotura de puente térmico enmarcan el panel. Las dimensiones de la cámara de secado habitualmente son las siguientes: 11,25 m. x 7,5 m. x 4 m., que útiles se reducen a 10 m. x 6.25 m. x 3,8 m. por la necesidad de dejar espacios libres para la circulación del aire.

Los secaderos equipados con compresores semiherméticos de 20 a 50 C.V. de potencia, emplean como refrigerante el R-134a, y

Tabla N° 1. Características Técnicas de los secaderos

Modelo	MI 800	MI 700q / MI 700	MI 500q / MI 500
Potencia calorífica (W)	219.000	191.716	136.940
Potencia frigorífica (W)	175.000	153.203	109.450
Potencia nominal (W)	85.000	65.000	45.500
Caudal de aire (m³)	180.000	160.000	140.000
Capacidad secado (l / h)	210	185	135
Nº ventiladores internos	7	7	6
Nº ventiladores externos	0	4	4
Calefacción	Caldera Quemador / Sin quemador	Quemador / Sin quemador	Quemador / Sin quemador
Compresores (nº : Potencia)	2 : 40 CV	2 : 35 CV	1 : 50 CV



proporcionan una temperatura máxima al proceso de entre 50-60 °C, que es inferior a la proporcionada por los secaderos tradicionales de madera, 70 – 80 °C.

Los programas de secado que se siguieron fueron los propuestos por el fabricante del secadero. La regulación del proceso de secado se realizó por medio de un autómata programable que garantizó la regulación del secadero en función de la humedad de la madera con la ayuda de 6, 8 ó 10 sondas de medida de humedad, además de dos sondas psicrométricas que proporcionaron la temperatura seca y húmeda de la cámara en todo momento.

El sistema de circulación interior del aire era reversible, comparable al empleado en secaderos de tipo tradicional.

2.2.- Maderas estudiadas

Dado que lo que se ha pretendido en este proyecto es seguir el funcionamiento de secaderos industriales, no ha sido posible analizar esta tecnología trabajando con todas las maderas de mayor interés comercial sino con las que habitualmente trabajan los industriales que poseen secaderos por bomba de calor y que han estado dispuestos a colaborar.

Para desarrollar este trabajo se ha tenido que contar con una muy estrecha colaboración por parte de los industriales (Maderas Acha, Segismundo Andrés, Costiña, Maderas Otero, Maderas Valsaín, Gabarró Hermanos, Maderas Noroeste), motivo por lo cual no ha podido ser extendido a todos los secaderos por bomba de calor existentes en España sino sólo a una parte.

De acuerdo con lo anterior las especies y espesores analizados han sido los siguientes:

Coníferas

Pino radiata (espesores de 25 a 75 mm)
Pino pinaster (espesores de 20 a 70 mm)
Pino silvestre (espesores de 20 a 75 mm)

Tabla nº 2 Densidades básicas por especies

Especie	Densidad Básica (kg./m ³)	Especie	Densidad Básica (kg./m ³)
Pino radiata	410	Haya	560
Pino gallego	435	Fresno	575
Pino silvestre	430	Cerezo	510
Pino laricio	480	Nogal	555
Iroko	525	Roble	570
Jatoba	745	Castaño	480
Okume	360	Sapelli	530
Niangon	550	Sipo	520

Tabla nº 3 Humedades medias iniciales por especies

Especie	Humedad inicial %	Especie	Humedad inicial %
Pino radiata	60	Haya	74
Pino gallego	58	Sapelli	50
Pino silvestre	55	Sipo	67
Pino laricio	80	Tali	45
Iroko	83	Etimoe	44
Ninagon	55	Bubinga	34
Framire	82	Samba	89

Fronosas

Haya (espesores de 35 a 75 mm)
Iroko (espesores de 30 a 100 mm)
Sapelli (espesores de 75 y 100 mm)
Cambara (espesores de 30 y 40 mm)
Elondo (espesores de 25 a 75 mm)
Combinaciones de otras tropicales (Niangón, Framire, Embero, Tali Etimoe, Bubinga, etc.)

Las características, tanto de densidad básica (cociente entre la masa anhidra y el volumen en verde) como de humedad media inicial de cada una de las especies analizadas figuran en las tablas 2 y 3.

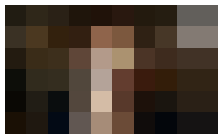
En todos los casos se ha observado una gran dispersión en el contenido inicial de humedad de la madera tanto dentro de la misma carga como entre las distintas pruebas. Esto es debido principalmente a que la mayoría de estas industrias secan según demanda con lo que en la cámara se introducen paquetes que llevan de 1 a 30 días de oreado al aire.

Análogamente, se observó una gran disparidad entre los valores finales

de humedad para cada una de las tomas de datos realizadas. No obstante, se puede considerar un valor medio del contenido final de humedad de la carga de madera del 13 %, tanto para madera de coníferas como fronosas

El análisis del material estudiado permite llegar a la conclusión de que el estudio claramente presenta algunas carencias respecto de especies y espesores analizados, condiciones iniciales y finales de humedad, etc. En este sentido puede llamar la atención no haber podido trabajar ni con roble ni con castaño pero tan pronto como se conozca la existencia de secaderos trabajando con estas especies e industriales interesados en la colaboración, se intentará incorporarlas.

Por todo lo anterior podría ocurrir que el funcionamiento observado para las especies anteriormente citadas fuera muy distinto al que un industrial concreto observase



para una especie concreta distinta de las anteriores.

2.3.- Equipos y sistemas de medida.

Para la determinación de los consumos eléctricos se emplearon analizadores de redes adecuadamente instalados. Se hicieron mediciones para el total del secadero, para los compresores y para la ventilación.

Para la determinación de la cantidad de agua extraída se emplearon tres metodologías distintas dependiendo de la accesibilidad y facilidad para su aplicación "in situ". El primer método y el más laborioso,

consistió en establecer por diferencia de peso al inicio y al final del secado la cantidad de agua extraída. Para ello durante la operación de carga y descarga del secadero se hicieron pasar por la báscula todos y cada uno de los paquetes que se secaron.

El segundo método consistió en la determinación de la humedad inicial y final de la madera por secado en estufa de unos testigos. Estos datos junto al volumen de madera a secar y la densidad básica permitieron obtener una estimación bastante precisa de la cantidad de agua extraída en el proceso.

descritos.

Con todos estos datos se calcularon los siguientes otros:

Duración: Se refiere al número de horas transcurridas desde el inicio al fin del proceso. **Humedad inicial:** se refiere a la humedad, expresada en tantos por ciento, con que la madera es introducida en el secadero.

Humedad final: Se refiere a la humedad final o de salida del secadero (media 13%).

Eficiencia energética (SMER) o Energía específica: Es el cociente entre el consumo total de energía (kWh) y el número de litros de agua realmente evaporada durante el ciclo. Se expresa en kWh/l. Allí donde fue posible se midió este parámetro en la primera y segunda etapas del secado.

Velocidad de extracción (o condensación): Es el cociente entre la cantidad de agua eliminada y el tiempo de secado. Se expresa en l/h.

El tercer método consistió en la instalación de un medidor de agua a la salida del desagüe de condensados procedente de la evaporadora. Conviene destacar que en este último método, al tratarse de un sistema abierto (secaderos modernos), hay una cierta cantidad de agua no contabilizada que se elimina a través de las trampillas de ventilación, generalmente al final del secado, al haber un intercambio con el aire exterior.

La evaluación de la calidad del secado se ha hecho de acuerdo con las recomendaciones del EDG (European Drying Group).

2.4. Épocas de medida

Con el fin de buscar la influencia de las condiciones ambientales en el proceso de secado las pruebas se realizaron en distintas épocas del año. Para su presentación fueron agrupadas según las estaciones del año.

2.5. Parámetros medidos

Para la obtención de los datos necesarios para la evaluación de cada secadero, se hicieron visitas

periódicas a los secaderos, y se realizaron las siguientes mediciones en cada ciclo de secado:

- Consumo eléctrico global de cada secadero (kWh)
- Consumo del compresor 1 (kWh)
- Consumo del compresor 2 (kWh)
- Consumo de la ventilación (kWh)
- Consumo de la ventilación exterior, si la hubiere (kWh).
- Consumo del quemador o caldera de apoyo (litros de gasoil o m³ de gas)
- Temperatura (°C)
- Duración total del ciclo (horas)
- Horas de funcionamiento del compresor 1 (horas)
- Horas de funcionamiento del compresor 2 (horas)
- Humedad final de la madera (%)
- Humedad inicial de la madera (%)
- Peso inicial de la madera (kg), si procediese
- Peso final de la madera (kg), si procediese
- Especie de madera
- Espesor (mm.)
- Volumen de madera verde (m³)
- Calidad de secado de acuerdo con las recomendaciones del EDG (European Drying Group)

Conviene advertir que el estudio ha sido realizado a escala industrial y por tanto no ha sido posible tomar en todos los secaderos todos los parámetros anteriormente

3. Resultados

Con el fin de facilitar en la medida de lo posible la comprensión de las conclusiones que se pueden extraer del presente trabajo, en la Tabla 4 siguiente se aporta exclusivamente un resumen de resultados medios pero referidos a aquellas experiencias en las que se poseen todos los datos. Los resultados a nivel de especie o experiencia concreta pueden diferir ligeramente de los aquí contemplados. De acuerdo con lo anterior y simplificando enormemente las cifras de secado, podría decirse que un secado típico de **coníferas desde verde** consumiría entre **0,64 y 0,73 kWh/litro** de agua evaporada, necesitando entre 150 h (6 días) y 215 h (9 días), en función de la humedad inicial. Para las **frondosas** estas cifras dependen del espesor de la madera por lo que considerando un espesor medio de 65 mm el consumo energético



variaría entre **1,05 kWh/l** (Hi-Hf=50%) y **1,12 kWh/l** (Hi-Hf=50%), consumiendo un total de 540 h (23 días) a 900 h (38 días)¹.

De los datos obtenidos se observa claramente que los equipos empleados en el secado de coníferas altamente permeables deben estar sobredimensionados para hacer frente a las altas velocidades de extracción (l/h) que se generan en la primera fase del secado (por encima del 30% de humedad en la madera) de estas maderas. Esta mayor potencia penaliza fuertemente la eficiencia energética global del secadero ya que pasada esta fase inicial esta potencia es infrutilizada, ya que la tasa de extracción (l/h) baja a la mitad. Por este motivo al aumentar la cantidad de agua a extraer (Hi-Hf mayor) el consumo específico de energía (kWh/l) disminuye muy poco, manteniéndose casi constante y aumentando solo la duración del proceso ya que la bomba puede encontrarse ante una limitación física (hay que abrir trampillas en el secadero por exceso de humedad). En las frondosas la velocidad de extracción en la fase inicial es

menor, lo que permite emplear bombas de menor potencia, haciéndose un uso más racional y lineal de esta potencia instalada a lo largo de todo el proceso. Por este motivo se observa que conforme crece la cantidad de agua a eliminar durante el proceso (Hi-Hf mayor), disminuye muy notablemente el consumo específico de energía (kWh/l), es decir, que el proceso se hace cada vez más rentable. Esto es así por cuanto el dimensionamiento de la bomba no se encuentra con tantas limitaciones y puede condensar este exceso de agua (sigue trabajando en circuito cerrado). De acuerdo con lo anterior podría

decirse que el número de horas en las que el secadero trabaja a circuito abierto es muy superior con coníferas permeables que con frondosas.

También se puede observar que el espesor influye en la duración del proceso pero apenas en el consumo específico de energía.

Por las razones antes apuntadas se observa que en el caso de la madera de coníferas conviene un oreo previo ya que el aumento de la humedad de entrada en el secadero lo único que va a generar es un aumento de duración del proceso y de consumo total de energía, no reduciéndose apenas el consumo específico (kWh/l). Por el contrario, cuando se trabaja con frondosas un aumento en la humedad de entrada en el secadero no es tan dramático ya que el aumento total de energía no es tan acusado y puede ser absorbido, en la mayoría de los casos, por la bomba.

En la tabla 5 se efectúa una comparación entre el secado tradicional y el de bomba de calor (con o sin quemadores o caldera auxiliar) desde la óptica medioambiental, considerando como indicador la producción de CO₂ por cada tipo de energía empleado.

Tabla Nº 5. Comparación entre métodos de secado

Tipo de secadero	Consumo Eléctrico / Emisiones de CO ₂ *	Consumo Gasoil / Emisiones de CO ₂	Consumo Total / Emisiones de CO ₂
Secadero tradicional	0,1 GJ / m ³ 16,5 kg. CO ₂ / m ³	1,1 GJ / m ³ 80,3 kg. CO ₂ / m ³	1,2 GJ / m ³ 96,8 kg. CO ₂ / m ³
Secadero por bomba de calor con gasoil	0,39 GJ / m ³ 64,35 kg. CO ₂ / m ³	0,11 GJ / m ³ 8,03 kg. CO ₂ / m ³	0,5 GJ / m ³ 72,4 kg. CO ₂ / m ³
Secadero por bomba de calor sólo con energía eléctrica	0,54 GJ / m ³ 89,1 kg. CO ₂ / m ³	0 GJ / m ³ 0 kg. CO ₂ / m ³	0,54 GJ / m ³ 89,1 kg. CO ₂ / m ³

*Las emisiones de CO₂ se han calculado sobre la base de que la producción media de CO₂ por cada kWh de energía eléctrica en bornes de usuario es, en España, igual a 0,6 kg.

Nota: Una bomba de calor eléctrica que funcione con electricidad procedente de fuentes de energías renovables no desprende CO₂

¹ Nota: En la Tabla 4 no se aporta el dato de consumo de kWh/m³ ya que su valor depende de la humedad inicial y al no ser ésta homogénea en todas las experiencias, los datos resultantes podrían llamar a engaño. No obstante, se puede afirmar que con Haya y a igualdad de humedad el secadero consume 2,4 veces más kWh por cada m³ de madera que con pino radiata.

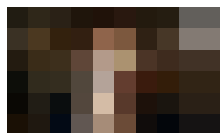


Tabla N° 6. Evaluación de la calidad del secado.

Grueso (mm)	H.inicial (%)	Humedad final (%)		Repartición (%) (**)	Bolsas de humedad	Tensiones internas	Colapso Grietas	
		Media (%)	Homogeneidad (%) (*)				Sup.	Internas
Pinos								
25	60	9	100	2.45	Ninguna (1) (2) Bajas	No	Ninguno	Ninguna Ninguna
50	65	12	95	3.7	Ninguna (1) (2) Bajas	No	Ninguno	Ninguna Ninguna
75	48	11	92	4.2	Ninguna (1) (2) Bajas	No	Ninguno	Ninguna Ninguna
Fronzosas								
27	75	12	92	2.45	Muy escasas (1) (2) Bajas	(1) Bajas	Ninguno	Ninguna Ninguna
50	64	9	86	2.54	Muy escasas (1) (2) Bajas	(1) Bajas	Ninguno	Ninguna Ninguna
75	80	11	82	3.42	Frecuentes (1) (2) Bajas	(1) Bajas	Ninguno	Ninguna Ninguna

(*) % de tablas incluidas en el intervalo (humedad final media \pm 2 %)

(**) Media de las diferencias de humedad entre el corazón y la superficie de las tablas.

(1) A la salida del secadero. (2) Después de cuatro días del desdoblado

En la tabla 5 se observa que las emisiones de CO₂ con el empleo de la bomba de calor en su primera concepción, sólo funcionando con energía eléctrica, reduce las emisiones de CO₂ en un 8 % y que al añadir el gasoil como apoyo se reducen las emisiones de CO₂ en un 25 %. Esto es debido a que el aporte de gasoil reduce los tiempos de secado y se reduce el consumo de energía eléctrica, que es la parte que más contribuye en las emisiones de CO₂.

4. Conclusiones

1. La tecnología del secado mediante bomba de calor se muestra altamente eficiente como puede observarse de los consumos registrados, que se establecen en el entorno de 0,64 a 0,7 kWh/l para las coníferas y de 1 a 1,3 kWh/l para las fronzosas.
2. La especie y la humedad inicial influyen de forma decisiva en los valores de la duración y la energía específica (kWh/l) y el espesor sólo parece influir apreciablemente en la duración.

3. De acuerdo con lo dicho en el punto anterior, la eficacia del secadero por bomba de calor es muy sensible a las condiciones de carga del secadero y en especial a la especie empleada, al gradiente de humedad (Hi-Hf) y al espesor (solo duración).

4. El costo de operación se reduce al introducir en el secadero madera ya oreada, con lo que se puede decir que conviene realizar un presecado al aire y posteriormente bajar el contenido de humedad desde valores próximos al 40 % hasta la humedad final deseada.

5. La calidad obtenida por este sistema es siempre elevada.

6. En general se aprecia que los costes de funcionamiento se reducen conforme la humedad inicial es más baja a pesar de que el rendimiento energético es peor.

7. Los costes del secado por bomba de calor son muy similares a los del secado tradicional aunque el creciente precio de los productos petrolíferos y la relativa estabilidad del precio de la energía eléctrica pueden hacer que esta similitud desaparezca a favor de la

bomba.

8. Los modernos secaderos a circuito abierto han sido diseñados específicamente para reducir la duración del proceso cuando se secan maderas altamente permeables y así hacerlos más competitivos en este segmento del mercado. No obstante, es necesario tener en cuenta que aún con estas evidentes mejoras en la duración, estos secaderos no pueden competir, en lo que a duración del proceso se refiere, con los secaderos de alta temperatura (80-90°C) en los que se trata de maximizar la producción aún a costa de peores calidades de secado. Por otra parte, estos secaderos a circuito abierto han empeorado su efectividad energética con respecto a los de circuito cerrado, motivo por lo cual son menos rentables que estos últimos cuando se trata de secar maderas difíciles (eucalipto, roble, castaño, etc.) o a baja temperatura (coníferas con resinas, fronzosas propensas a exudaciones de gomas, etc.). De lo antedicho se deduce que para conseguir su máxima rentabilidad, los equipos deben ser diseñados específicamente para el

tipo de maderas (especies, calidades, espesores, humedades iniciales, productividades, etc.) que se vayan a introducir, con lo que su oferta es mucho más inelástica que la de los secaderos tradicionales (cámara y caldera).

9. La más clara ventaja existente con los últimos modelos (abierto y circuitos refrigerantes dobles aguas) radica en que al tener circuitos refrigerantes a gas más pequeños que los antiguos las averías son menos costosas y frecuentes.

5. Bibliografía

ÁLVAREZ NOVES, H.; FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO, J.I.; (1992). *Fundamentos teóricos del secado de la madera*. Ministerio de Agricultura, Monografías INIA n° 82.

BANNISTER, P.; CARRINGTON, C.G. Y LIU, Q.; (1994). "Dehumidifier Drying Technology: New Opportunities" 4th IUFRO International Wood Drying Conference. Rotorua, New Zealand.

BANSAL, B; BANNISTER, P. Y CARRINGTON, C.G.; (1997). "Performance of a geared dehumidifier" *International Journal of Energy Research*. (21) 1257 – 1260

FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO, J.I. Y ÁLVAREZ NOVES, H.; (1998). *Manual de secado de maderas*. AITIM. Madrid.

NOTA FINAL: Para poder completar este estudio y para poder comparar sus resultados con otras tecnologías (tradicional con caldera, con fuego directo), etc., los autores llaman a la colaboración de las empresas que hayan elaborado sus propios estudios de consumo de energía. estos trabajos serán tratados de forma anónima pero permitirán saber al industrial si sus consumos son "normales" o no y al conjunto de la industria si un determinado método es "nejor" energéticamente que otro.