



Introducción

El volumen actual de cortas de madera de chopo en España, de acuerdo con los datos de la Comisión Internacional del Alamo oscila en torno a los 500.000 m³ siendo el consumo estimado de 850.000 m³.

Los destinos tradicionales de esta madera son para chapa de desarrollo (40-70%), madera de sierra (20-40%), trituración (10-20%) y otros (5-10%).

Tradicionalmente ha sido empleada en la fabricación de tableros contrachapados, para cerillas y palillos (aplicación cuantitativamente poco interesante pero muy bien remunerada), embalajes y, en menor medida, para elementos estructurales del mobiliario no visibles o poco comprometidos mecánicamente.

El desprecio por esta madera como elemento resistente nace de su gran ligereza y poca dureza. Sin embargo, y aunque no puede decirse que no sea ligera y blanda, los elementos estructurales con ella construídos tienen sorprendentemente en muchos casos, un comportamiento elastomecánico similar, si no superior, al de muchos pinos.

En ensayos efectuados recientemente en el CIFOR del INIA¹ se obtuvieron valores comparables, especialmente los del módulo de rotura, con las mejores calidades de pino pinaster.

Este sorprendente comportamiento debe ser atribuido a la gran rectitud de sus fibras, al relativo pequeño tamaño y sanidad de sus nudos y a la ausencia de otros defectos tan usuales en la madera de pino como son las bolsas de resina, el entrecasco, etc.

Todo lo anterior lleva a concluir que existe una gran potencialidad para esta madera, sobre todo si a través del tratamiento (con gran facilidad de penetración en esta madera) se eleva su durabilidad en aplicaciones comprometidas y se le confiere una

El chopo

Una madera de gran potencialidad

Su secado y algunas peculiaridades

H. ALVAREZ NOVES Y J.I. FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO
CENTRO DE INVESTIGACIÓN FORESTAL. (CIFOR-INIA)
ÁREA DE INDUSTRIAS FORESTALES. MADRID

Fotos de Forintek en Québec. Todos los elementos estructurales están realizados con chopo en LVL (ver Revista 182)

mayor dureza superficial para su uso en mobiliario.

Uno de los primeros aspectos que hay que tener en cuenta cuando se elabora una madera destinada a usos nobles es el de su correcto secado.

Debido a su baja densidad, el secado de la madera aserrada de chopo es erróneamente considerado en amplios sectores de la industria, como rápido y sin problemas, lo que hace que este proceso sea con frecuencia realizado incorrectamente generando defectos incompatibles con los usos pretendidos.

Secado

La mayor dificultad para su correcto y rápido secado radica en la presencia dentro del tronco del 'corazón negro' o falso duramen que se diferencia a simple vista de la madera normal por su color más oscuro y por su notable mayor contenido de humedad (recién apeada es de 215% cuando la de la madera normal es de 125%).

El 'corazón negro' se caracteriza por una baja permeabilidad a la salida de líquidos de su interior², lo que unido a su alto contenido de humedad hace que los tiempos de secado sean más elevados.

Cuando no se tienen en cuenta estas recomendaciones la humedad final de cada una de las piezas presenta fuertes disparidades: la madera normal con contenidos de humedad por debajo del final deseado y la madera de corazón negro con humedades superiores al 30% o con valores más moderados pero a costa de colapso y agrietamiento interno.

El correcto secado de la madera de chopo debe programar las condiciones del secadero en función de este parámetro.

Una segunda dificultad son las deformaciones y rajaduras después del secado.

El abarquillado o atejado y las rajaduras de médula, son producidos por la anisotropía de la propia madera. El curvado de cara, el de canto, el alabeo y las rajaduras que tienen su origen en la testa, se ocasionan por la existencia en la madera de una o varias anomalías: tensiones longitudinales de crecimiento, madera de tensión y madera juvenil.

Aunque las deformaciones y rajaduras se producen durante el secado deben su desarrollo a las citadas anomalías de la madera, siendo prácticamente inevitable su aparición.

Notas

¹Los ensayos se realizaron sobre piezas de tamaño estructural (150x50x3000 mm) de chopo lombardo (*Populus nigra*), se obtuvieron Módulos de Rotura y de Elasticidad a flexión de entre 30 y 60 Mpa, los primeros, y entre 9.000 y 13.000 Mpa, los segundos.

²Debida al taponamiento de las punteaduras de paso (pequeños orificios que comunican a las células entre sí), obligando a emplear para su secado temperaturas más bajas y humedades relativas más altas.

³Entendiéndose por alto grado de calidad de secado el cumplimiento de las siguientes características:

- Pequeña desviación entre la humedad final obtenida y la final deseada en cada pieza.
- Pequeña diferencia de humedad (gradiente) entre la superficie y el interior de las piezas (ausencia de bolsas de humedad).
- Ligero tensionado de la madera.
- Ausencia de colapso y grietas internas.
- Moderado agrietamiento superficial.

⁴La duración del secado para piezas de 27 mm de grueso con una humedad inicial del 110% y una final del 18% puede oscilar entre 25 y 60 días. Para piezas de 50 mm con la misma humedad inicial y final puede variar entre 60 y 150 días. Descender por debajo del 16-18% de humedad puede resultar prácticamente imposible en muchas localidades del territorio español.

⁵Por otra parte, dado que en la práctica no existe control alguno sobre las variables del proceso (temperatura y humedad relativa del aire) y que lo normal es que las piezas aserradas presenten zonas con corazón negro, en la mayoría de los casos, la madera presenta bolsas o zonas húmedas y si las condiciones climáticas son propicias al secado rápido, puedan aparecer grietas superficiales, grietas internas y, en algunos casos, hasta colapso. En este caso concreto, sería conveniente frenar la velocidad de circulación del aire a través de la pila utilizando rastreos delgados.

⁶ Programa de secado de chopo de 27 mm propuesto por JOLY, MORE-CHEVALIER (1980).

Humedad de la madera H (%)	Temperaturas		Humedad Ts(°C)	Equilibrio higroscópico relativa del aire Th(°C)	de la madera Hr (%)
	Seca	Húmeda			
>50	65	59.5		76	12
50-40	65	58.5		72	11
40-30	65	57.5		71	10
30-27	75	66.5		67	9
27-24	75	64.5		61	8
24-21	75	62.5		55	7
21-18	80	65		50	6
18-15	80	61		42	5
15-12	80	56		31	4
12-8	80	50		23	3

Programa de secado de chopo de 50 mm propuesto por JOLY, MORE-CHEVALIER (1980)

Humedad de la madera H (%)	Temperaturas		Humedad Ts(°C)	Equilibrio higroscópico relativa del aire Th(°C)	de la madera Hr (%)
	Seca	Húmeda			
>50	60	55.5		80	13
50-40	60	54.5		75	12
40-30	60	53.5		72	11
30-27	70	63		71	10
27-24	70	61		64	9
24-21	70	60		61	8
21-18	75	62.5		55	7
18-15	75	59		44	6
15-12	75	55		38	5
12-8	75	51		29	4

⁷Puesto que a causa de la poca permeabilidad de este tipo de madera, se originan bolsas de humedad, grietas superficiales, grietas internas y colapso, lo cual indica que esta madera requiere un secado mucho más lento, es decir, el uso de programas de secado más suaves (temperaturas más bajas y humedades relativas más altas).

⁸ Tanto para el grueso de 27 mm como para el de 50 mm, el cual es bastante más suave que los anteriormente empleados, principalmente en su primera fase, que es precisamente la fase más delicada y la más propensa a la formación de defectos.

Programa de secado de chopo de 27 mm propuesto por PRATT (1986), y utilizado también para 50 mm

Humedad de la madera H (%)	Temperaturas		Humedad Ts(°C)	Equilibrio higroscópico relativa del aire Th(°C)	de la madera Hr (%)
	Seca	Húmeda			
Verde	50	47		85	17
60	50	46		80	15
40	50	45		75	13
30	55	47.5		65	10
25	60	49		55	8.5
20	70	54.5		45	6.5
15	75	56.5		40	5.5

Los resultados alcanzados con este programa fueron totalmente satisfactorios. La duración del secado para piezas de 27 mm con una humedad inicial del 124% y una final del 12% fue de 14 días, incluido el tiempo de precalentamiento y equilibrado. Para las piezas de 50 mm, con humedad inicial de 112% y final de 11%, 28 días, también con precalentamiento y equilibrado incluidos. Como valor de la humedad de la madera para las distintas etapas del programa de secado, se tomó la media de las piezas más húmedas.



Distintos procedimientos de secado para el chopo

Se analizan a continuación los procedimientos de secado en función de la calidad final alcanzada³.

Secado al aire libre

Su duración depende de las condiciones climáticas del lugar, época del año, humedad inicial y final de la madera y espesor de ésta⁴.

Como la madera que va destinada a exposición interior requiere humedades entre 8-12% es conveniente, y en muchos casos imprescindible, realizar la fase final del secado en cámara para no prolongar excesivamente el tiempo de secado⁵.

Secado en cámara con aire caliente climatizado (procedimiento tradicional)

Los resultados obtenidos en el CIFOR-INIA con los programas propuestos por JOLY, P.; MORE-CHEVALIER, F., 1980 ⁶ mostraron que estos sirven perfectamente para secar la madera normal sin producir el más mínimo defecto de secado. Por el contrario, no son apropiados para secar madera de corazón negro⁷.

Como lo normal es que se sequen juntas la madera normal con la precedente de corazón negro, se consideró conveniente utilizar el programa propuesto por PRATT, G.H., 1986⁸.

Como en las primeras pruebas de secado se había ya observado que la madera normal podía admitir programas con temperaturas más elevadas sin detrimento de la calidad del producto, se consideró conveniente realizar una prueba con estas condiciones⁹.

Secado con bomba de calor (por condensación o deshumidificación)

El sistema más empleado en España es aquel en el que prácticamente todo el proceso transcurre en circuito cerrado, salvo cuando se eleva demasiado la temperatura de la cámara, en cuyo caso se establece un intercambio de aire con el exterior.

La bomba de calor se emplea tanto para el calentamiento como para el control de la humedad relativa.

En estas condiciones, tanto la duración del secado como la calidad del producto obtenido es prácticamente igual que por el procedimiento anterior.

Su principal inconveniente se produce en el arranque, muy lento en determinadas épocas del año¹¹.

En este procedimiento casi todo el consumo energético es eléctrico, lo cual puede ser un problema.

Esta tecnología parece muy adaptada a las industrias de pequeño o mediano tamaño, que secan maderas presecadas y para las que el mantenimiento continuado de calefacción por calderas es problemático.

Secado al vacío

Dentro de esta tecnología, el sistema de más aceptación en todo el mundo es el de vacío continuo con vapor sobrecalentado¹².

El método tiene las siguientes ventajas: Es el más rápido dentro de los de cámara, con excepción del secado a alta temperatura¹³.

Permite el secado de maderas con fuertes espesores.

Y los siguientes inconvenientes:

El tamaño de las cámaras no permite grandes capacidades.

Requiere altas inversiones, tanto en adquisición como en mantenimiento.

Está indicado para las pequeñas y medianas empresas que trabajan con maderas presecadas de frondosas de gran valor y que necesitan un cuidadoso control de la calidad de secado. El escaso valor económico actual del chopo cuestiona su empleo restringiéndose a espesores muy fuertes (>75 mm) o a exigencias de calidad muy elevadas.

Secado a alta temperatura (>100°C)

Se efectuaron en el CIFOR-INIA varias pruebas (a 110°C-120°C), llegándose a las siguientes conclusiones:

El comportamiento al secado de la madera normal es totalmente diferente a la de corazón negro. La primera seca perfectamente pero la segunda, no¹⁴.

Como lo normal es que una partida de madera incluya un alto porcentaje de piezas con corazón negro, este procedimiento no es recomendable.

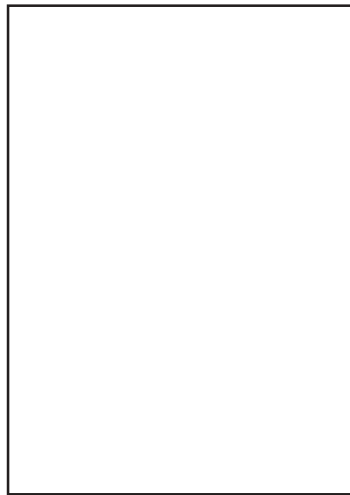
Deformaciones y rajadas

La madera aserrada de chopo es muy propensa a las deformaciones y rajadas después del secado.

La más frecuente es el abarquillado o atejado, teniendo una influencia decisiva en ella la inclinación de los anillos de crecimiento¹⁵.

Otros tipos de deformaciones, de menor importancia, son los denominados curvados de canto y de cara¹⁶.

En cuanto a las rajadas que son imputables a la propia madera y no al secado, cabe citar a las rajadas de médula y las debidas a tensiones de crecimiento, madera juvenil o de tensión¹⁷.



⁹Con este fin se seleccionaron tablas de 27 mm de grueso exentas o con muy poca proporción de corazón negro, siendo sometidas a un programa de secado propuesto por el CTBA, 1990.

El cual mantiene la temperatura constante (80°C) a lo largo de todo el proceso y únicamente disminuye la humedad relativa conforme desciende la humedad de la madera. El objetivo es acortar la duración de la operación. El resultado de la prueba, en cuanto a calidad de secado, fue muy satisfactorio y su duración, desde una humedad inicial del 120% hasta una final del 10%, fue de 4 días y dos horas. De esto se deduce que si se quiere acelerar el proceso la estrategia más adecuada consistiría en una clasificación previa de la madera separando las tablas conteniendo corazón negro y secando separadamente ambos lotes de piezas, haciendo uso de programas distintos y adecuados para cada una de ellas.

Programa de secado de chopo de 27 mm propuesto por CTBA (1990)

CHOPO DE CUALQUIER GRUESO

Humedad de la madera H (%)	Temperaturas		Humedad elativa del aire (%)	Equilibrio higroscópico Hr de la madera He(%)	
	Seca Ts(°C)	Humedar Th(°C)			
Verde	80	77.5	90		16
35	80	76.5	85		14
30	80	75	80		12
25	85	73	75		10
20	80	68	58		7
15	80	60	40		5

¹⁰En la actualidad los equipos denominados de "alta temperatura" pueden llegar a trabajar hasta los 70°C, mientras que los antiguos o de "baja temperatura" lo hacían a menos de 50° C. Con independencia de la tecnología empleada, estos secaderos pueden funcionar prácticamente igual que los "tradicionales" por aire caliente climatizado y utilizar los mismos programas de secado o con muy pequeñas diferencias.

¹¹No trabaja de forma correcta si la temperatura exterior cae por debajo de los 8°C. Este inconveniente se suele solventar, bien con resistencias eléctricas auxiliares, o por medio de una caldera para el calentamiento inicial de la madera.

¹²Los resultados obtenidos en las experiencias realizadas en el CIFOR-INIA al secar madera de chopo en una instalación piloto de este tipo (sistema MOLDRUP, fabricado por IWT) son los siguientes:

Tablas de 27 mm de grueso. Humedad inicial 110%. Humedad final 9,8%
Programa de secado MOLDRUP-T5-H6
Tiempo total del secado - 7 días y 10 horas
Calidad de secado - Muy buena.

Tablones de 50 mm de grueso. Humedad inicial 123%. Humedad final 9,5%
Programa de secado MOLDRUP - T4 - H5⁶
Tiempo total de secado - 17 días y 2 horas
Calidad de secado - Muy buena

Programa de CHOPO de 27 mm (MOLDRUP T5-H6)

Variable	Precalentamiento	Humedad de la madera Acondicionado				
		>40%	>28%	>20%	>6%	
Temperatura	62°C	62°C	67°C	72°C	77°C	67°C
Humedad relativa	90.00%	82.00%	72.00%	55.00%	32.00%	70.00%
Tiempo de precalentamiento: 3 horas						
Tiempo de acondicionamiento: 12 horas						

Programa de CHOPO de 50 mm (MOLDRUP T4-H5)

Variable	Precalentamiento	Humedad de la madera Acondicionado				
		>40%	>28%	>20%	>6%	
Temperatura	59°C	59°C	64°C	69°C	74°C	64°C
Humedad relativa	90.00%	86.00%	76.00%	59.00%	34.00%	70.00%

Tiempo de precalentamiento: 5,5 horas
Tiempo de acondicionamiento: 22 horas

Hay que tener en cuenta que el procedimiento de secado al vacío manifiesta su máxima eficacia en el secado dentro del rango higroscópico, es decir, cuando la humedad de la madera está por debajo del 30%. Es por ello, que los resultados que se ofrecen en este caso, al tratarse de madera con una humedad inicial por encima del 100%, no resalta suficientemente la gran rapidez de este procedimiento comparado con el secado en cámara con aire caliente climatizado (tradicional).

Las tensiones de crecimiento producen grandes rajadas en dirección longitudinal. Todos estos tipos de rajado se distinguen fácilmente del agrietamiento interno, superficial o de testa (propio de un mal secado), por su gran dimensión. El rajado está muy frecuentemente asociado a fuertes deformaciones de las piezas¹⁸.

Conclusiones y recomendaciones

1°.- La madera normal de chopo, en general, es una madera permeable y de secado fácil, rápido y sin defectos. Por el contrario, la madera procedentes de corazón negro y, muy especialmente de los 2 ó 3 primeros anillos, se comporta al secado como una madera muy impermeable de secado lento y difícil y muy propensa a la aparición de bolsas de humedad, colapso y grietas internas.

2°.- Tiempos de secado recomendables ¹⁹.

3°.- Con el fin de disminuir el tiempo de la madera dentro de la cámara de secado (cualquiera que sea el procedimiento elegido) es recomendable efectuar previamente un presecado al aire (hasta el 30% de humedad).

4°.- Cuando existe una alta proporción de corazón negro, la temperatura de secado en cámara tradicional o en bomba de calor no debe superar los 50°C, mientras exista agua libre (H>30%). A partir de este punto se puede elevar la temperatura hasta 75°C de forma escalonada.

5°.- Cuando existe una pequeña proporción de corazón negro (sin anillos próximos a la médula), la temperatura de secado en cámara tradicional se puede mantener a 80°C de forma constante durante todo el proceso de secado.

6°.- La madera normal (totalmente exenta de corazón negro) se seca perfectamente a alta temperatura (120°C), secándose en menos de 24 horas para gruesos de 27 mm y en menos de 48 horas para gruesos de 50 mm. Por el contrario, la madera de corazón negro no es apropiada para ser secada a alta temperatura debido a la aparición de colapso, grietas superficiales e internas.

7°.- No se aprecian diferencias de comportamiento entre los distintos clones.

8°.- Las deformaciones y rajadas que se producen durante el proceso de secado se pueden reducir de forma apreciable efectuando un correcto apilado y además sometiendo la pila de madera a un peso entre 250 y 1.000 kilos por metro cuadrado, dependiendo del grueso de la madera y el grado de reducción deseado.



¹³ Ya que permite reducir la duración del secado (dentro del rango higroscópico) entre tres y cinco veces respecto del secado "tradicional", con igual calidad de secado.

¹⁴La primera se seca perfectamente a alta temperatura (120°C) en menos de 24 horas para gruesos de 27 mm y en menos de 48 horas para gruesos de 50 mm. Por el contrario, la madera de corazón negro no admite este tipo de secado, debido a la aparición de colapso, grietas superficiales e internas, muy especialmente cuando se trata de piezas que incluyen la médula o próxima a ella (tres o cuatro primeros anillos).

¹⁵La deformación máxima se produce en piezas con anillos inclinados 45° respecto a las caras de la pieza y la mínima con inclinaciones de 0° ó 90° (piezas totalmente tangenciales o radiales respectivamente). Hay que tener en cuenta que esta madera posee un coeficiente de anisotropía (cociente entre las contracciones totales tangencial y radial) de 3,0 y una diferencia absoluta entre los valores de las contracciones totales tangencial y radial de 5,0, siendo considerado, por consiguiente, el riesgo de atejado de esta madera como alto (Alvarez Noves, Fernández-Golfin, 1996)

¹⁶Producidos por la frecuente existencia de madera de tensión y madera juvenil en esta especie con una contracción longitudinal mayor de lo normal y que lleva a las deformaciones citadas en función de que aparezca en cara o canto. Las tensiones de crecimiento, tan frecuentes en los árboles jóvenes de crecimiento rápido, también tienen influencia en los curvados y alabeos de la madera.

¹⁷La madera juvenil y la madera de tensión tienen, como ya hemos dicho anteriormente, una mayor contracción longitudinal que la madera normal, lo cual produce fuertes tensiones longitudinales durante el secado, pudiendo dar lugar en un primer momento a deformaciones de canto y posteriormente al desarrollo de largas rajadas en la dirección longitudinal. Las rajadas de médula tienen su origen en la médula o están orientadas hacia ella. Normalmente solo aparecen en aquellas piezas que incluyen la médula del árbol o que son cortadas muy próximas a ella. Este tipo de grietas se desarrolla a causa de la fuerte anisotropía de la contracción, no pudiendo ser evitadas ni siquiera haciendo uso de condiciones muy suaves de secado.

¹⁸Hay escasos medios para evitar el rajado producido por las causas anteriormente citadas, si bien parece que un vaporizado previo de la madera coadyuva a la relajación de las tensiones de crecimiento, así como la colocación de cargas sobre las pilas de madera antes de iniciarse el secado, disminuye, en cierto grado, la tendencia de esta clase de madera al rajado y a las deformaciones.

¹⁹Los tiempos de secado, por métodos, aplicables figuran en la tabla adjunta

Procedimiento de secado	Grueso (mm) inicial (%)	Humedad (%)	Humedad final secado	Duración del
Al aire	27	110	18	25-60 días
	50	110	18	60-150 días
Tradicional y bomba de calor: Temp. 50-75°C	27	124	12,9	14 días
	50	112	13	28 días
Tradicional Temp. 80°C	27	120	10	4 días y
	muy poco corazón negro			2 horas
Vacío continuo	27	110	9,8	7 días
	50	123	9,5	y 10 horas 17 días y 2 horas

Bibliografía

ÁLVAREZ NOVES, H., 1984.- Secado de la madera al aire. SEA (19/84HD) 28 pp.
 ALVAREZ NOVES, H., 1986.- Deformaciones de la madera aserrada producidas durante y después del secado. SEA (8/86HD) 22 pp.
 ALVAREZ NOVES, H.; FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO, J.I., 1996.- Humedad de la madera en la construcción. Valores recomendados y riesgo de cambio dimensional en España. Revista AITIM nº 182 (65-71).
 BOONE, R.; KOZLIK, C.; BOIS, P.; WERGERT, E., 1988.- Dry kiln schedules for commercial woods-temperate and tropical. Gen, Tech, Rep. FPL-GTR-57. Madison, WI, US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory 158 pp.
 CTBA, 1989.- Le séchage du peuplier. 100 pp.
 CTBA, 1990.- Sechage du bois: guide pratique. 103 pp.
 JOLY, P.; MORE-CHEVALIER, F., 1980.- Théorie, pratique et économie du séchage des bois. Editions H. Vial, 91410 Dourdan, France. 204 pp.
 PRATT, G.H., 1986.- Timber drying manual. Princes Risborough Laboratory, 122 pp.
 TRADA (Timber Research and Development Association), 1988.- Contemporary timber drying. Stocking lane. Buckinghamshire HP14 4ND. UK. 105 pp.
 WILLIAMS, D.H.; KININMOUTH, J.A., 1984.- High-temperature kiln drying of radiata pine sawn timber. New Zealand Forest Service. FRI Bulletin nº 73. Rotorua, New Zealand. 16 pp.
 WARD, J.C.; PONG, W.Y., 1980.- Wetwood in tress: A timber resource problem. Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. General Technical Report PNW-112, 56 pp.