

LIGNUM.
MARIAUD CONSULTING

COMPRENDER LA MADERA

PARA TRABAJARLO MEJOR



Nuestro PROGRAMA

01

Apilado de la madera

02

Los diferentes métodos de secado

03

Mecanismos del secado

04

Transformaciones internas del bois durante el secado



Comprender la madera

El secado de la madera es **una etapa fundamental** en tonelería. Permite reducir el nivel de humedad de la madera hasta alcanzar un equilibrio con el entorno. Una madera mal secada trabaja, **se deforma**. Pero más allá de la simple deshidratación, el secado es un verdadero proceso de maduración y transformación que impacta directamente la calidad organoléptica de las barricas.

◆ 1. El apilado en pila muerta

- Utilizado principalmente **para el transporte** o el **almacenamiento** a corto plazo.
- Las piezas se apilan sin listones, directamente unas sobre otras.
- **No permite ninguna** circulación de aire → **no es adecuado** para el secado.
- **Riesgo de moho** o **de deformación** en caso de almacenamiento prolongado.



◆ 2. El apilado sobre listones

- Método estándar para el **secado natural**.
- Se colocan listones entre cada capa de duelas.
- Los listones son de **madera blanca** (álamo, abeto) para evitar **marcas de color** en el bois (taninos, esencias que dejan huella).
- **Favorece el riego natural por la lluvia y, sobre todo, la aireación homogénea.**



◆ 3. Las pilas abiertas

- Variante **améliorée** de l'empilage sur liteaux.
- Les merrains sont espacés volontairement entre eux dans chaque couche, ce qui **maximise l'aération latérale**.
- S'utilise pour **des bois qui doivent sécher plus vite** ou dans des zones humides.

◆ 4. El apilado en torre

- Método artesanal que consiste en disponer los merrains en círculos, formando **una torre de sección circular**.
- El centro se deja vacío para asegurar **una circulación de aire vertical**.
- Este método ofrece una excelente ventilación natural y una **exposición homogénea al aire**.
- Más difícil de estabilizar, requiere rigor y conocimiento técnico.
- Todavía utilizada por algunas tonelerías tradicionales para maderas de excepción.



◆ 5. El apilado en espiga (para las piezas de fondo)

- Las piezas cortas se colocan intercaladas, una sí y una no, en cada capa.
- Permite una mejor estabilidad de la pila.
- Reparto más homogéneo del peso.

Secado natural



El secado natural es el método histórico y aún hoy mayoritariamente utilizado en la tonelería de alta gama.

- **Duración:**
- Entre 18 y 36 meses, e incluso hasta 48 meses para algunos lotes destinados a grandes vinos o a espirituosos finos.

Método:

- Los merrains se apilan al aire libre, sobre listones, en pilas bien aireadas y orientadas hacia los vientos dominantes.
- El espacio entre los listones permite una buena circulación del aire entre las tablas.

Particularidades:

- Exposición a los ciclos naturales (lluvia, viento, heladas, sol), lo que favorece el lavado de los taninos solubles y la transformación lenta del material.
- La madera pierde su humedad de forma progresiva, sin tensiones internas.

Proceso biológico:

- Joseph & Marche (1972) observaron una flora microbiana en las capas profundas del roble durante el secado: hongos lignívoros y bacterias específicas.
- Estos microorganismos participan en la degradación parcial de ciertos taninos y en la formación de compuestos aromáticos.

Efectos enológicos:

- Redondez, finura de aromas, menos amargor.
- Presencia de lactonas (notas amaderadas), furfural (notas tostadas), vainillina.

Secado natural

1. Condiciones climáticas ideales

El **secado natural** depende fuertemente del clima local. Se deben equilibrar dos fases:

Fase húmeda inicial :

- Permite el lavado de los taninos solubles.
- Favorece la implantación de una flora fúngica específica, útil para la maduración.

Fase seca progresiva :

- Asegura una deshidratación lenta y homogénea.
- Reduce el riesgo de contracción brusca y aparición de grietas.

⚠ Las regiones demasiado secas o calurosas son desfavorables, ya que la madera se deshidrata demasiado rápido, con una pérdida notable de calidad.

2. Fases del secado natural

- **Fase 1 (0 a 6 meses)** : madera verde, alto contenido de agua.
- **Fase 2 (6 a 12 meses)** : secado activo, aparición de microgrietas.
- **Fase 3 (> 12 meses)** : estabilización progresiva, compactación de las fibras.

El secado dura generalmente entre **12 y 36 meses**, y a veces más para las maderas destinadas a los espirituosos.

3. El lavado del madera

Durante las lluvias, el agua corre por las pilas de madera. Este fenómeno provoca la extracción de compuestos hidrosolubles como:

- Elagitaninos, responsables en parte de la astringencia.
- Ácidos fenólicos.

El lavado es más eficaz en los primeros 6 meses, cuando la madera aún es rica en agua.

Después de 10 meses, los taninos restantes están más atrapados en la estructura de la madera.

💡 **Los taninos eliminados son más amargos que los que permanecen en la masa. Esta extracción selectiva contribuye al equilibrio aromático del madera.**

Secado natural

4. La aspersión de las pilas

Para compensar un clima demasiado seco, algunas tonelerías practican la **aspersión controlada** :

- Simula lluvias regulares y favorece el lavado.
- Homogeneiza el desarrollo fúngico útil.
- Regula la temperatura de la madera.

⚠ Un exceso de riego es perjudicial: puede eliminar compuestos interesantes (polisacáridos, ligninas extractibles, algunos elagitaninos aromáticos).

Por eso, la **aspersión debe adaptarse** en función de:

- El clima local (frecuencia, intensidad).
- El resultado deseado (más o menos estructura, aromas amaderados, etc.).

💡 **La maduración** es el resultado de **un equilibrio sutil** entre el agua, el sol, el viento y la actividad biológica del bois.



Séchage naturel

Almacenamiento al aire libre:

- Los maderas se orientan en función de los vientos dominantes para limitar el riesgo de **grietas superficiales** (gerces) causadas por un secado demasiado rápido.
- La parte superior de las pilas se protege con **chapas o placas inclinadas**, para evitar la penetración del agua de lluvia y la exposición directa al sol.
- La zona de almacenamiento debe ser **sana, limpia y sin vegetación**, para evitar humedad estancada y riesgos fúngicos.

Almacenamiento bajo techo:

Este almacenamiento se realiza bajo **una estructura cubierta y ventilada**, tipo hangar para madera.

- La **apertura del edificio** se orienta idealmente hacia el este, para proteger los bois de la lluvia predominante y de la radiación solar directa al final del día.
- **Los laterales con persianas abiertas** (láminas inclinadas) favorecen **la circulación transversal del aire**.
- Se deja un **pasillo entre las pilas** para crear un **efecto chimenea**, lo que mejora la ventilación vertical natural.

Secado artificial (o mecánico)



El secado artificial se utiliza como complemento, para estabilizar los bois al final del secado natural o para responder a necesidades de producción más rápidas.

Duración:

De unos pocos días hasta 2 semanas, según la tecnología utilizada y el nivel de humedad deseado.

Ventajas:

- Ahorro importante de tiempo.
- Reducción del espacio de almacenamiento.
- Posibilidad de programar ciclos adaptados a cada especie.

Inconvenientes:

- No permite la evolución aromática que se obtiene con el secado natural.
- Requiere un seguimiento riguroso de los parámetros (temperatura, humedad, velocidad del aire).
- Puede provocar tensiones internas si la madera aún está demasiado "verde".

Uso razonado:

Muchas tonelerías utilizan el secador únicamente para finalizar el nivel de humedad después de un secado natural.

Por ejemplo, **pasar del 20% al 14% justo antes de la producción**, para garantizar **la estabilidad dimensional durante el corroyage**.

Secado artificial (o mecánico)

1. Función y límites

El **secado artificial** responde principalmente a un solo objetivo: la pérdida de agua para alcanzar **una higrometría compatible** con la fabricación. Este método permite reducir rápidamente el nivel de humedad del bois a un valor estable.

Sin embargo, a diferencia del **secado natural**, el secado artificial **no provoca una maduración biológica ni química comparable**.

- No elimina los taninos ásperos mediante lavado.
- No favorece la flora fúngica beneficiosa.
- No induce la evolución lenta de los compuestos volátiles responsables de la **calidad enológica** del bois.

Por lo tanto, **no permite por sí solo obtener maderas plenamente maduras y afinadas**, aptas para la crianza de vinos finos.

Aun así, su uso sigue siendo frecuente por **razones económicas y técnicas**.

Séchage artificiel (ou mécanique)

2. Razones de uso

Espirituosos (bourbon, whisky)

- Principalmente elaborados a partir de **roble americano**, cuyas cualidades aromáticas (vainilla, lactonas) son muy buscadas.

- *El roble americano (**Quercus alba**) es muy valorado por su **alto contenido en vainillina y lactonas**, que aportan **aromas de vainilla y frutas** (melocotón, coco) muy apreciados en **el bourbon y el whisky**.*
- *Los estadounidenses utilizan barricas nuevas llamadas "**charred oak barrels**": el **tostado/carbonización** permite una caramelización de la madera, lo que **refuerza aún más las notas de vainilla y dulzura**.*

- El bois secado artificialmente es perfectamente adecuado para estos aromas y tolera bien la falta de evolución aromática, especialmente con altos grados alcohólicos.
- El mercado de barricas para espirituosos es aproximadamente 5 veces más grande que el del vino, lo que justifica económicamente el uso de este tipo de secado.

Le marché des fûts pour whisky et spiritueux (scotch + whisky + vins) est estimé à environ 2,1 milliards \$ en 2024, avec les fûts américains représentant la majeure partie (1,49 Md\$)

Producción continua en tonelería

- Durante los periodos húmedos, **la humedad ambiental** puede aumentar entre un **5 y un 10%**, haciendo que las duelas no sean aptas para la fabricación.
- Los **secadores** permiten una puesta en producción inmediata, sin necesidad de almacenar grandes volúmenes bajo techo.
- Son por tanto **esenciales en climas húmedos o durante el invierno**, para mantener el ritmo de producción.

Secador por convección forzada

El secado por convección forzada es el más utilizado en tonelería: un circuito de aire caliente y húmedo se impulsa en una cámara para lograr un secado controlado.

🎯 Composición del sistema

- Ventilador: asegura una **circulación homogénea del aire**.
- Intercambiadores térmicos: vapor o agua caliente para calentar el aire.
- Humidificador: inyección de vapor o pulverización de agua para mantener la humedad adecuada.

🔄 Fases del secado (según los estándares de la literatura)

Fase de calentamiento

- Alta temperatura, atmósfera saturada de humedad.
- Objetivo: homogeneizar el bois y evitar grietas o fisuras superficiales (gerces).

Fase de migración capilar

- El bois, aún por encima del punto de saturación de las fibras, **ve migrar el agua libre hacia la superficie por capilaridad**.
- Esta transferencia está descrita por modelos científicos (leyes de Fick y Fourier) en investigaciones sobre secado.

Fase crítica

- Cuando el madera alcanza el punto de saturación de las fibras ($\approx 25\text{--}30\%$ de humedad), se disminuyen la temperatura y la ventilación.
- Es crucial para **evitar tensiones internas**: la literatura menciona riesgos de deformaciones, colapsos o grietas.

Fase de acabado

- Ventilación reducida o detenida.
- El bois entra en la zona higroscópica y la humedad residual se controla mediante **tablas de sorción** (abaques de sorption).

Secador de aire caliente y húmedo

- El aire es impulsado por ventiladores y **luego calentado mediante radiadores.**
- A continuación, pasa por **rampas de humidificación** (pulverización de agua o inyección de vapor).
- **El aire caliente y húmedo** atraviesa las pilas de bois, **provocando la evaporación del agua contenida en la madera.**
- Al cargarse de humedad, el aire se enfría.
- Una parte del aire es evacuada al exterior a través de chimeneas regulables, para extraer el agua liberada.
- **Un aporte de aire exterior renueva el volumen evacuado** y el ciclo se repite.

Secadores por condensación

Funcionan en **circuito cerrado.**

El aire cargado de humedad se dirige hacia un condensador (superficie fría), donde el vapor de agua se condensa.

Luego, el aire se recalienta y se reinyecta en la cámara.

Ventajas:

- Consumo de energía muy bajo.
- Sin expulsión de aire al exterior.

Inconvenientes:

- Secado más lento.
- Potencia limitada para grandes volúmenes.

👉 Adaptado para talleres con poca superficie disponible o que buscan un secado progresivo y constante.

Secadores al vacío

- Durante el secado de la madera, **la circulación interna del agua** es el factor limitante, mucho más lenta que la evaporación: entre **100 y 1000 veces más lenta, según la especie**.
- Al crear una depresión (vacío de aire), se acelera esta circulación de **5 a 6 veces**, lo que permite un secado mucho más rápido y homogéneo.
- El funcionamiento se basa en la alternancia de **fases de vacío y de ventilación**:
 - Fase 1: aplicación del vacío → se reduce la presión → el agua migra más rápidamente hacia la superficie.
 - Fase 2: ventilación suave con aire templado para extraer la humedad.
 - Este ciclo se repite varias veces al día.
- Este sistema permite también **evaporar el agua a temperaturas muy bajas (30 a 50°C)**, lo que limita el riesgo de grietas, sobrecalentamiento o tensiones internas.
- Muy adecuado para maderas frágiles o de alto valor.

¿Por qué es importante?

El método de secado de la madera (al aire libre o en horno) influye en la composición química del roble.

Esto modifica su impacto sobre el vino o el espirituoso: algunos compuestos químicos aportan amargor, mientras que otros desarrollan aromas atractivos (vainilla, coco...).

Estudios científicos

Una investigación publicada en 2008 por Martínez et al. (J. Agric. Food Chem., 56(9):3089–96) comparó varios métodos de secado (natural, artificial, mixto) en roble americano y europeo.

Concluyó que el secado natural permite:

- **Una mayor reducción de los elagitaninos** (taninos agresivos),
- **Un mejor desarrollo de los compuestos volátiles aromáticos** (fenoles, lactonas, furanos, etc.), en comparación con el secado exclusivamente artificial.

Una revisión más reciente (Bo Zhang et al., Int. J. Mol. Sci., 2015) confirma que el lavado natural, la oxidación lenta y la actividad enzimática durante un secado lento **umentan la riqueza aromática de la madera.**

Puntos clave

Menor concentración de elagitaninos en la madera secada naturalmente:

El lavado por la lluvia, la oxidación progresiva y la flora microbiana degradan estos taninos agresivos.

Mayor presencia de aromas agradables:

La vainillina, el eugenol y las lactonas (sabor a coco) aumentan significativamente con el secado natural.

Perfil aromático más equilibrado y mejor adaptado al vino;

La madera secada artificialmente conserva un carácter más bruto y amargo.

El secado artificial como complemento del secado natural

En tonelería, **el secado artificial se utiliza a menudo después de un largo secado natural**, con el objetivo de estabilizar la madera justo antes de entrar en producción.

Esta práctica evita que los merrains ya afinados reabsorban humedad debido al ambiente.

¿Por qué hacerlo?

Incluso tras 24 a 36 meses de secado natural, la madera sigue siendo **higroscópica**, es decir, absorbe o libera agua según la humedad del aire. Durante las épocas húmedas (otoño/invierno) o en climas marítimos, el contenido de humedad del bois puede **aumentar entre un 5% y un 10%**.

¿Qué permite el secado artificial en este caso?

- Reducir la humedad del bois a un nivel objetivo (12–16%).
- **Uniformar el contenido de humedad** en el corazón de los merrains.
- Acelerar la producción, **sin necesidad de almacenar grandes volúmenes en espacios protegidos**.

¿Qué tipo de agua hay en la madera?

La madera contiene dos tipos de agua:

- **Agua libre:** como en una esponja, llena los pequeños conductos de la madera.
- **Agua ligada:** adherida a las paredes celulares, es más difícil de eliminar.

Primero se elimina el agua libre, y luego el agua ligada.

Este segundo paso es más lento y delicado.

Las grandes etapas del secado

- ● **Evaporación del agua libre**
- El aire caliente y seco hace que el agua salga hacia el exterior.
- La madera permanece estable (sin deformaciones).

- ● **Punto de saturación**
- La madera ya no contiene agua libre.
- Comienza a contraerse: es cuando pueden aparecer grietas.

● **Estabilización**

- Se sigue eliminando el agua ligada.
- La madera alcanza su "equilibrio higroscópico": está estable y lista para ser utilizada.

¿Qué pasa dentro de la madera?

■ **¿Cómo sale el agua?**

- Por capilaridad: el agua sube hacia la superficie como en una pajita.
- Por difusión: atraviesa lentamente las paredes de la madera.

■ **Contracción (la madera se encoge)**

- La madera se reduce un poco al perder agua.
- Si el proceso es demasiado rápido, puede agrietarse.

■ **Tensiones internas**

- El interior permanece húmedo mientras el exterior se seca: eso genera tensiones.
- Puede causar deformaciones o roturas.

Lo que cambia en la madera (química y microbios)

● Oxidación

- El aire hace reaccionar ciertos compuestos (como los taninos).
- Esto cambia el color y los futuros aromas de la barrica.

💧 Lavado por la lluvia (lessivage)

- Cuando llueve sobre la madera, algunos compuestos (como taninos amargos) son arrastrados.
- Esto es beneficioso para el sabor final.

🍄 Hongos útiles

- Algunos hongos microscópicos crecen sobre la madera durante el secado natural.
- Degradan lentamente la pared de la madera y liberan precursores aromáticos.
- Ejemplos: *Aureobasidium pullulans*, *Trichoderma*.

Influencia de la flora fúngica en la composición química

γ Desarrollo fúngico

- Una gran diversidad de esporas fúngicas se deposita rápidamente en la superficie de los merrains. Sin embargo, solo entre el **3 y el 6%** de estas esporas germinan y forman **un micelio activo**, capaz de colonizar la madera.
- Solo tres hongos son verdaderamente capaces de implantarse y desarrollarse de forma duradera:
 - *Aureobasidium pullulans*
 - *Trichoderma harzianum*
 - *Trichoderma koningii*

Mecanismo de acción

- Los hongos penetran a través de microgrietas presentes en la superficie de los merrains.
- Después de un mes, se forma un micelio visible en cultivo;
- tras **12 meses de secado**, este micelio puede extenderse hasta **10 mm de profundidad en la madera**.
- Este micelio produce **enzimas extracelulares** (como las β -glucosidasas) que digieren parcialmente las paredes celulares de la madera.

Efectos químicos y organolépticos

- La actividad enzimática **libera precursores aromáticos** como lactonas, furfural, vainillina, entre otros.
- La madera gana en redondez y finura, y pierde astringencia.
- Aunque **la biomasa del micelio permanece baja** (invisible a simple vista), su efecto químico sobre los extractos de la madera es significativo.

Importancia en tonelería

- La presencia de esta **microflora especializada** (en lugar de una colonización fúngica aleatoria) no solo **es normal**, sino **deseable** para la maduración de la madera.
- **Una flora demasiado diversa o invasiva** puede llevar a la producción de **celulasas agresivas** (Trichoderma, Penicillium...), que **consumen la lignina o los taninos**, alteran la estructura de la madera y reducen sus cualidades organolépticas.

Resumen técnico

- **3-6% de esporas germinadas** → hasta 10 mm de micelio
- Principales agentes: A. pullulans, T. harzianum, T. koningii
- Efectos: digestión enzimática suave → B
- Control deseable: un secado natural bien controlado favorece estos hongos **sin desarrollo excesivo**.



*La madera es un material
noble, porque proviene de
un ciclo largo.
Depende de nosotros
respetarlo.*