

**INSTITUTO FORESTAL
SUBGERENCIA DE INDUSTRIAS
CONCEPCION**



**FORTALECIMIENTO DE LA FORMACION Y CAPACITACION
MADERERA EN LA REGION DEL BIO BIO**

CURSO N°2: SECADO DE MADERAS

Abril de 1997

NOCIONES BASICAS TEORIA DEL SECADO DE LA MADERA

Las características del secado de la madera son influenciadas en forma importante por las propiedades anatómicas y físicas de la madera.

PROPIEDADES ANATOMICAS. En general todas las especies de árboles se agrupan en dos clases:

a) Maderas Blandas o Coníferas (Ej. Pino insigne, mañío, entre otros).
b) Maderas Duras o Latifoliadas (Ej. Eucalipto, coigue, entre otros). Esta agrupación no obedece a la magnitud de la dureza real de la madera, puesto que existen maderas duras como el álamo que son más blandas que muchas coníferas. Ambas clases se diferencian fundamentalmente en su estructura anatómica. La estructura anatómica de la madera esta constituida por tejidos leñosos cuya unidad básica son las células; estas células se caracterizan por la presencia de pared celular y su forma alargada con un espacio intermedio (lúmen de la célula). En latifoliadas las células que predominan son: vasos, fibra leñosa y radio leñoso. En coníferas se presentan básicamente: traqueidas y radio leñoso. Los vasos son células ubicadas longitudinalmente que presentan una pared celular muy delgada y un amplio lúmen, en latifoliadas contribuyen en gran medida a la migración del agua durante el secado. Las fibras leñosas son células longitudinales que le dan la resistencia mecánica a la madera y se caracterizan por tener pared celular muy gruesa. Las traqueidas son células longitudinales que transportan el agua durante el secado de coníferas y también cumplen la función de conceder resistencia mecánica a esas maderas. Los radios leñosos son células orientadas radialmente que contribuyen al flujo transversal tanto en coníferas como en latifoliadas. La particular orientación de los tejidos leñosos en los sentidos longitudinal y transversal (figura 1 y figura 2), lleva a que ésta tenga diferentes características y propiedades en las distintas orientaciones, lo que se conoce como la Anisotropía de la madera. Desde el punto de vista del secado es muy importante tener presente los diferentes sentidos estructurales de la

d'après HALLIOT

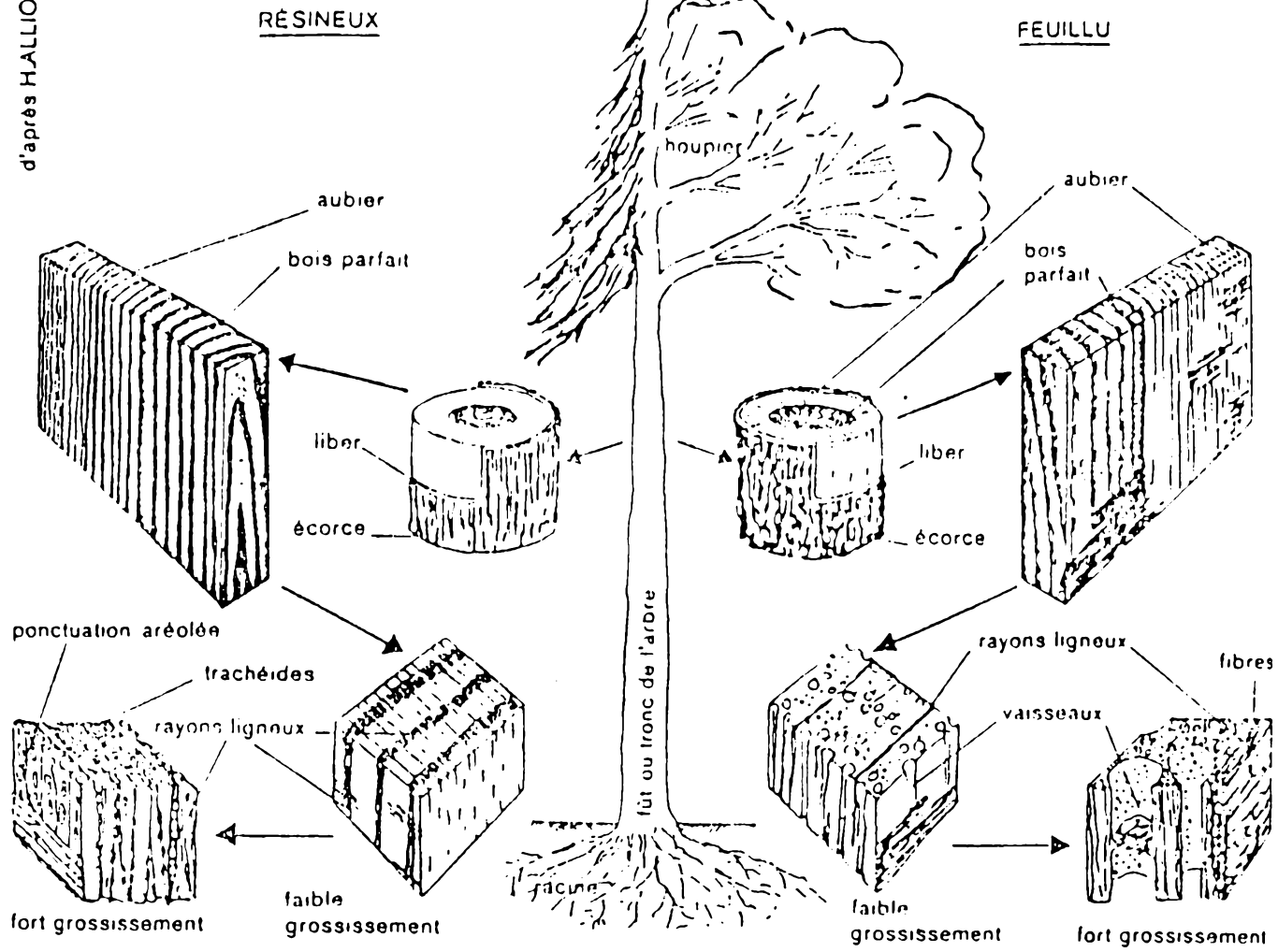


FIGURA 1: Tejidos leñosos coníferas

FIGURA 2: Tejidos leñosos latifoliadas

(Fuente: Joly y More-Chevalier 1980)

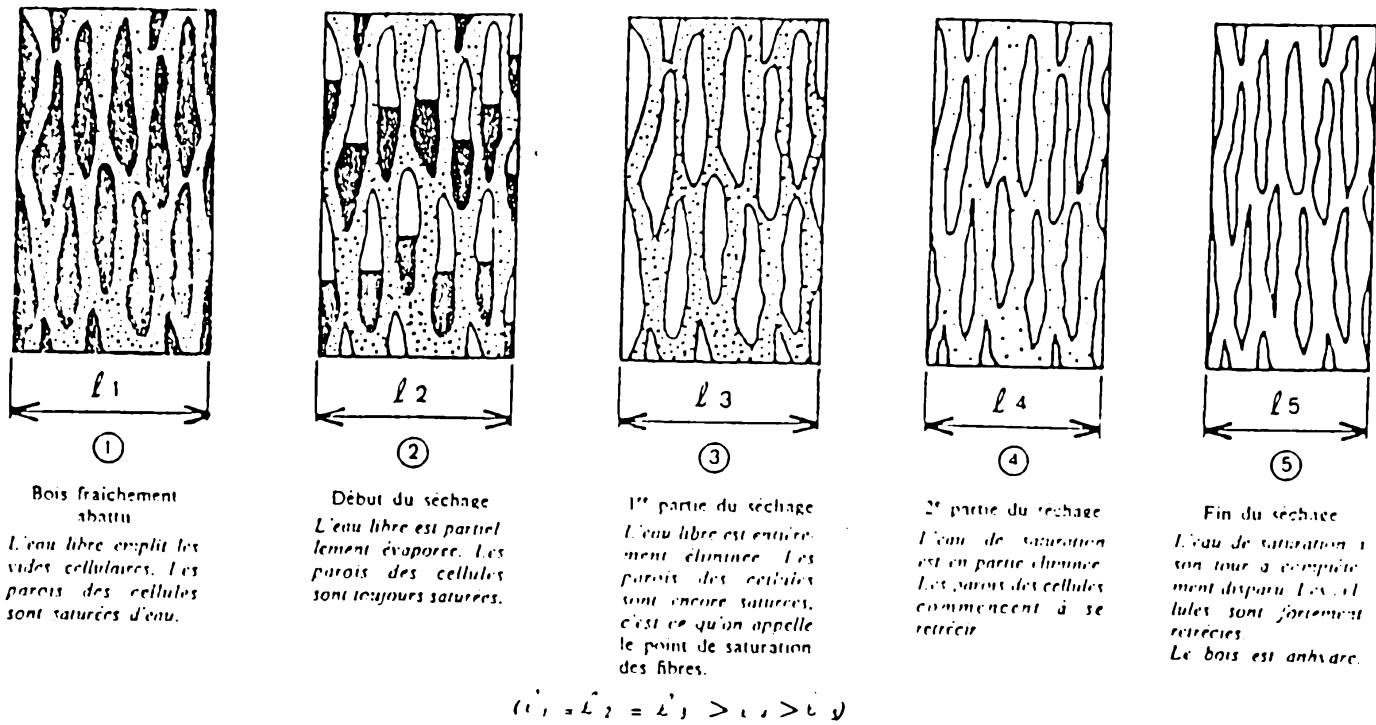


FIGURA 3: Localización del agua en la madera

(Fuente: Joly y More-Chevalier 1980)

madera ya que su comportamiento es afectado por estos, la madera seca más lentamente en el sentido transversal.

PROPIEDADES FISICAS. Para el proceso de secado intervienen la densidad, la contracción y el contenido de humedad de la madera; estas propiedades están íntimamente ligadas y la variación de una implica variación de las otras. LA HUMEDAD se presenta en la madera en forma de "agua libre" en estado líquido en los espacios vacíos (lúmenes) de las células (existe "agua libre" sobre 30% de humedad), como "agua ligada" en estado líquido y sorbida por la pared celular (entre 0% y 30% de contenido de humedad), y también se encuentra "vapor de agua" en los espacios vacíos (lúmenes) (figura 3). Durante el secado el "agua libre" es la primera que se evapora, luego comienza a eliminarse el "agua ligada". Cuando comienza a eliminarse el "agua ligada" se presentan variaciones en las propiedades físicas y de resistencia mecánica de la madera. A esta condición de humedad, cuando la pared celular está completamente saturada de "agua ligada" y no existe "agua libre" en los lúmenes, se le denomina "punto de saturación de la fibra (PSF)". EL PSF se considera generalmente constante y se le asigna para efectos prácticos un valor de 30% de contenido de humedad. Este punto es importante en el secado de la madera ya que las deformaciones bajo el PSF son más pronunciadas y las dimensiones de la madera se reducen por efecto de la contracción normal.

DENSIDAD DE LA MADERA. La densidad de la madera se define como la razón entre la masa y el volumen medido a un cierto contenido de humedad. Para aspectos prácticos se utilizan comúnmente la "densidad básica" y la "densidad de referencia". La magnitud de la densidad depende fundamentalmente de la estructura anatómica de la madera, en especial del espesor de la pared celular de las fibras. Generalmente las especies de mayor densidad son más lentas y de difícil secado.

CONTRACCION DE LA MADERA. la contracción es la reducción de las dimensiones de la madera. Como la madera es Anisotrópica la contracción es diferente en las tres direcciones de referencia, longitudinal, radial y

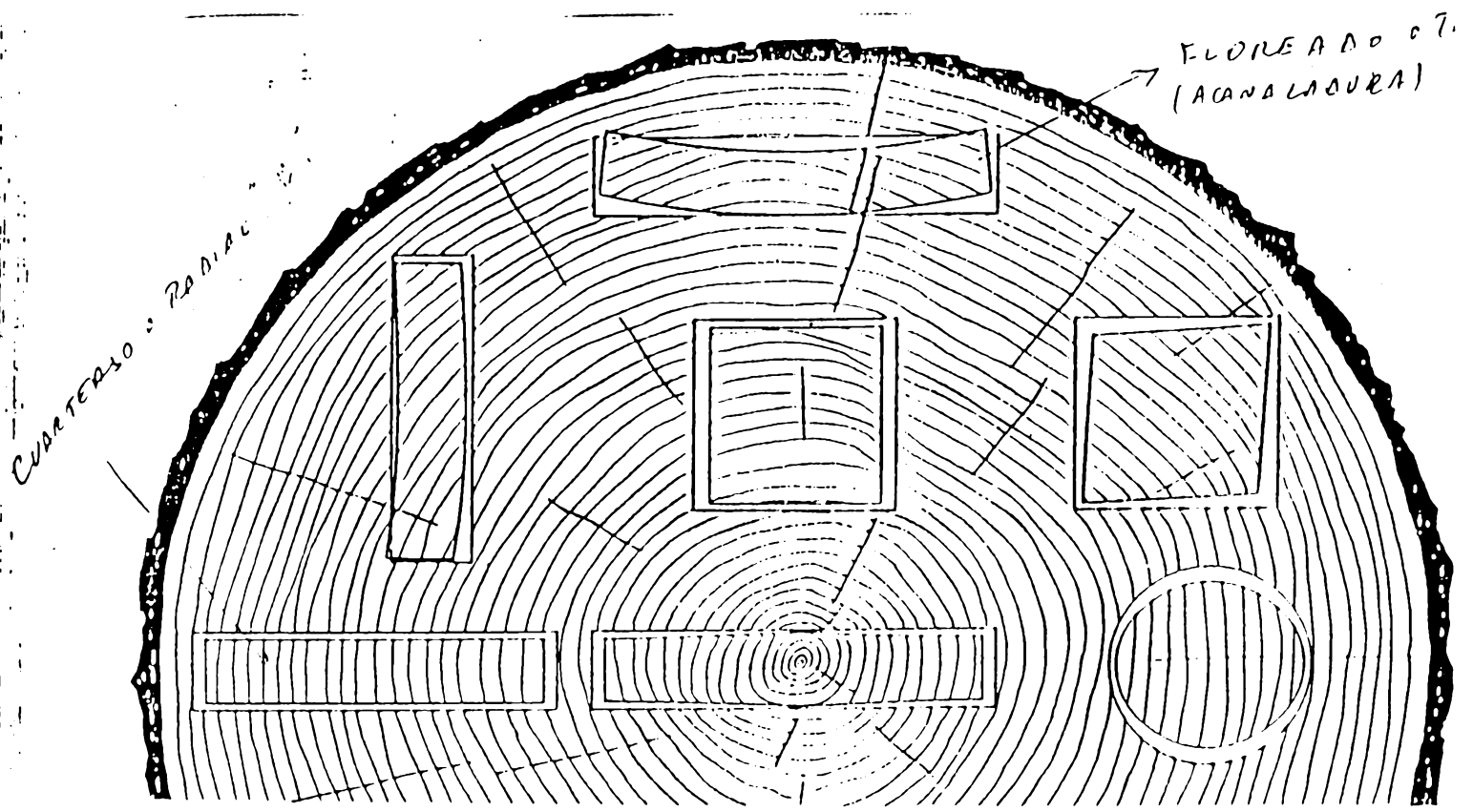


FIGURA 5: Contracción característica v distorsión por diferencias de contracción tangencial v radial

(Fuente: Rasmusen 1961)

tangencial. Así los cambios dimensionales en el sentido longitudinal son 2 a 3 veces mayor que en la dirección radial y normalmente la contracción longitudinal es muy pequeña en maderas normales. Bajo el punto de saturación de las fibras la reducción de las dimensiones de la madera está directamente relacionada con la pérdida de humedad (figura 4). Una contracción adicional llamada "colapso" puede presentarse sobre el PSF, no obstante este es recuperable mediante tratamientos con vapor saturado. Por otra parte la Anisotropía de la contracción ocasiona defectos durante el secado, tal como, la acanaladura y otros albeos (figura 5). La contracción que ocurre durante el secado de la madera debe ser considerada para fijar los niveles de sobredimensión de la madera. Asociada a la contracción de la madera se presentan las TENSIONES DE SECADO, esto es, cuando se somete a secado una pieza de madera húmeda, las fibras exteriores llegan antes que las interiores bajo el PSF y tienden por tanto a contraerse; mientras más severo es el secado, más rápido ocurre el secado de la superficie de la madera y por lo tanto mayor es la tendencia de estas fibras exteriores a contraerse; sin embargo la zona interior con un contenido de humedad sobre el PSF, restringe apreciablemente la contracción de la superficie exterior; el resultado es entonces el desarrollo de esfuerzos de tensión en las fibras exteriores que decrecen continuamente hacia el centro, hasta una región en que el esfuerzo cambia a compresión; esto se denomina la "primera etapa del secado"; a medida que el secado progresa, las fibras se estrechan más y más en el centro de la madera, que pierde suficiente humedad como para pasar bajo el PSF, en la medida que esto ocurra las fibras tienden a contraerse; sin embargo, ahora las fibras exteriores permanecen en estado de tensión y restringen parcialmente la contracción interna; cuando esto sucede la condición de esfuerzo previa se revierte y las fibras interiores llegan a estar sometidas a tensión y las externas a compresión; este estado se denomina "segunda etapa del secado", en la práctica, en la primera etapa de secado, mientras el interior de la madera este en compresión, se produce el flujo interno y las dimensiones de la zona interior son más pequeñas que antes, en cambio el exterior de la madera está sujeto a un flujo en tensión y sus dimensiones serán más grandes; en esta etapa se producen "grietas superficiales" y "colapso"; en la segunda etapa las dimensiones de la pared

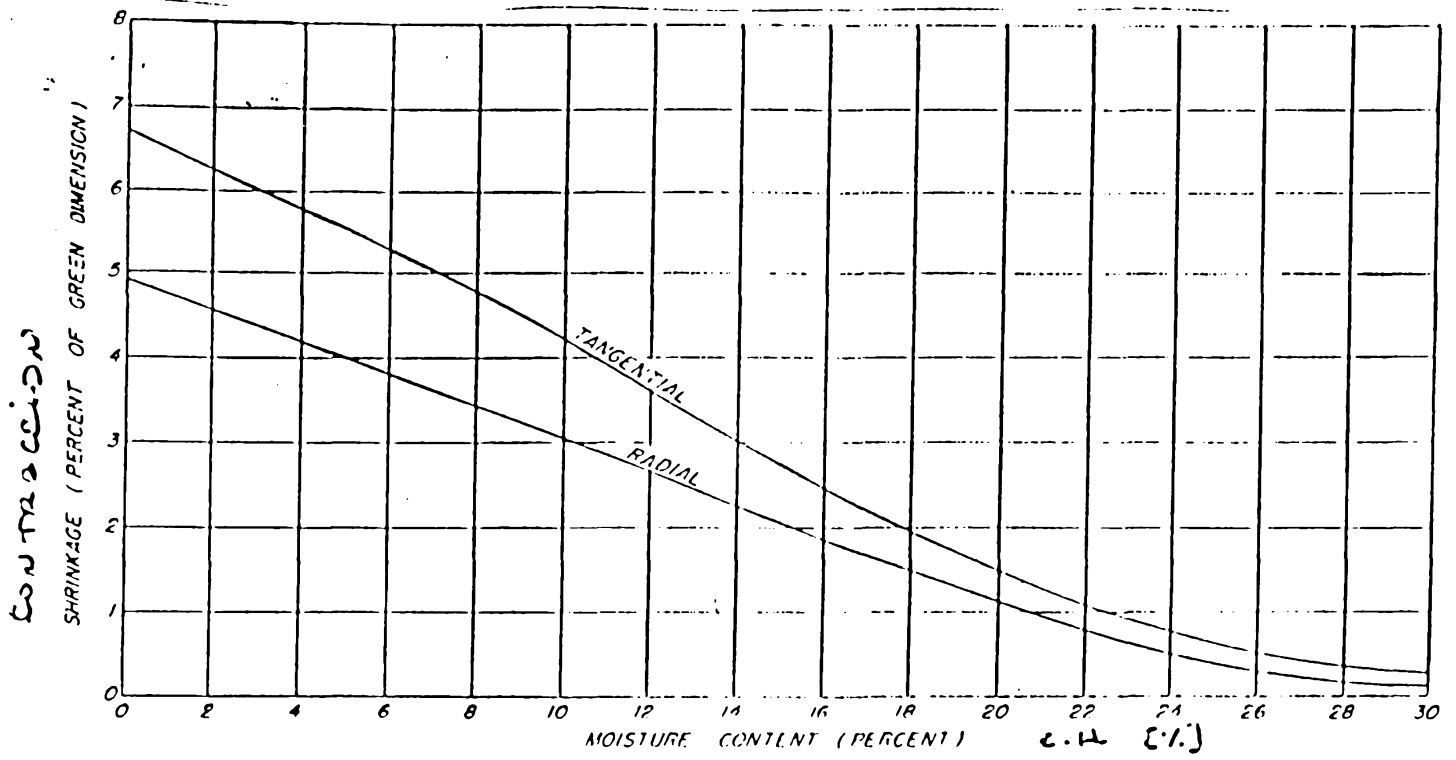


FIGURA 4: Contracción en la madera

(Fuente: Rasmusen 1961)

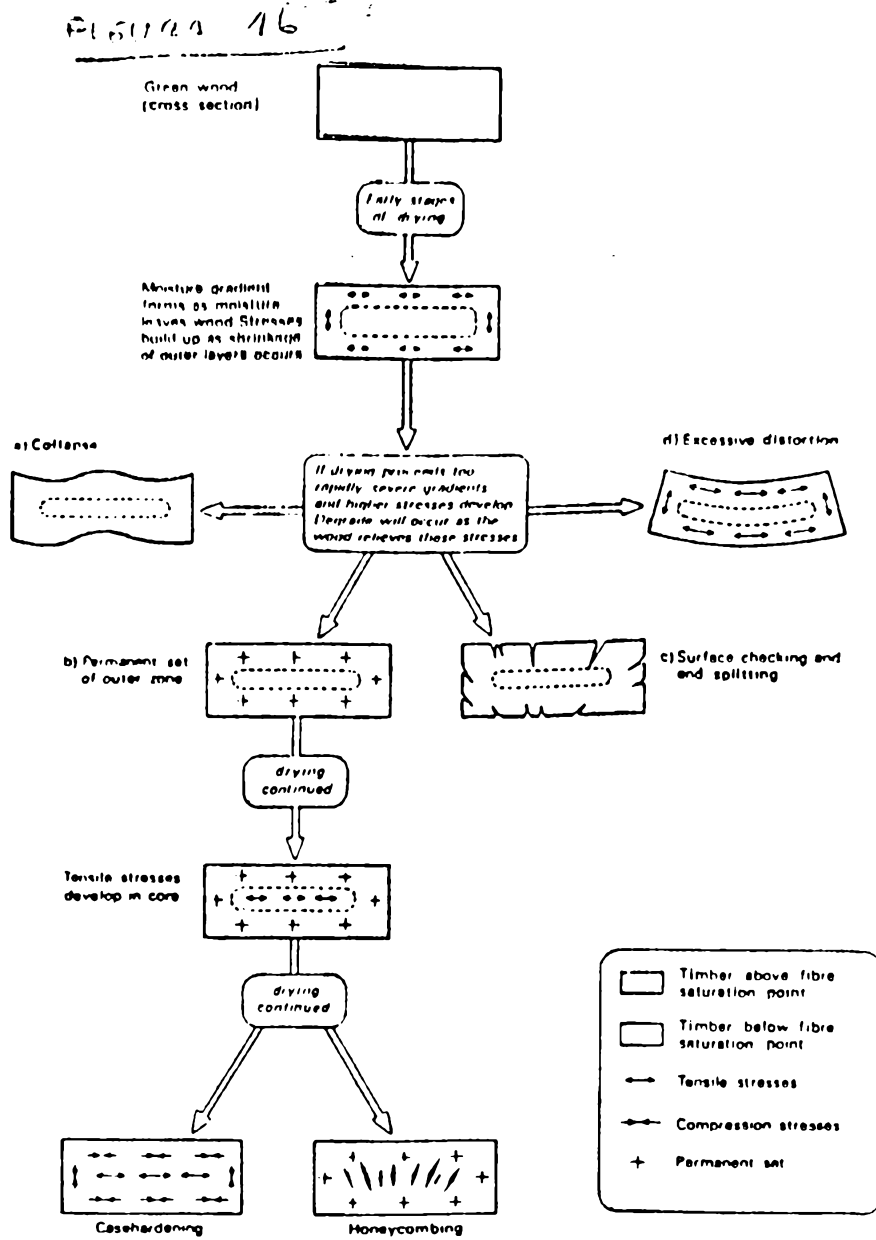


Figure 6 Simplified flow chart showing the broad relationship between the common forms of degrade which can occur during kiln and air drying



Figure 7 Surface checking on face and end of oak plank

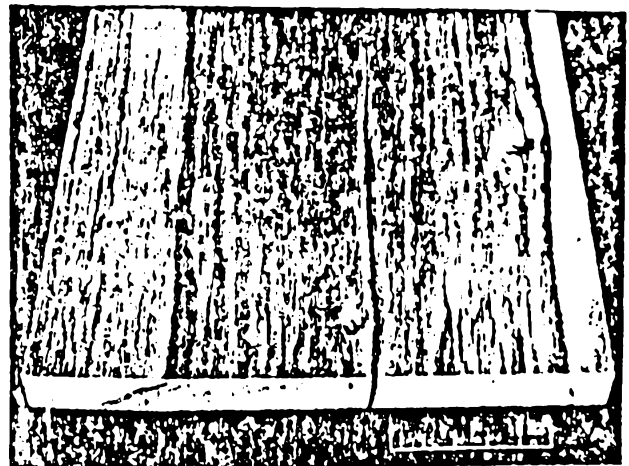
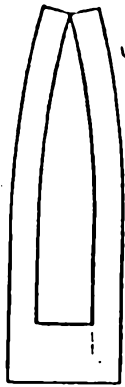


Figure 8 Cordia board showing an end split

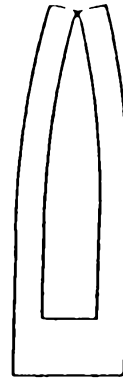
REACCION
AL ASERRAR

CONDICION DESPUES
DE SECADO EN AMBIENTE

A

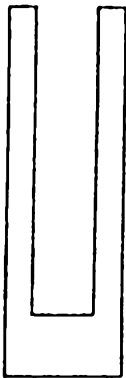


PUNTAS
HACIA DENTRO

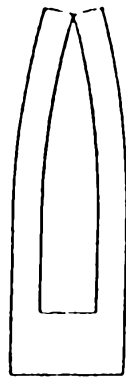


CON TENSIONES
INTERNAS

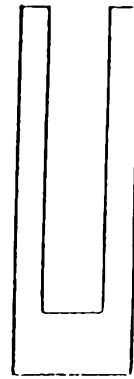
B



PUNTAS
RECTAS

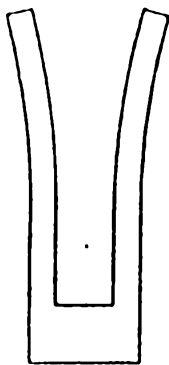


CON TENSIONES
INTERNAS

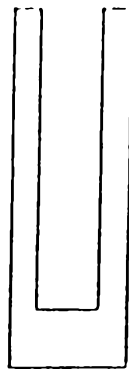


LIBRE DE
TENSIONES

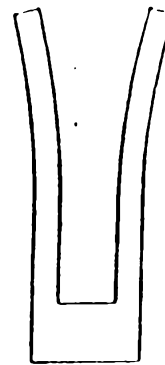
C



PUNTAS
HACIA AFUERA



SIN
TENSIONES



CON TENSIONES
INTERNAS INVERTIDAS

FIGURA 7: Resultados test tensiones secado

(Fuente: McMillen 1958)

interior son menores que las correspondientes a su contracción, en cambio las dimensiones de la pared exterior son mayores; en esta etapa se producen "grietas interiores"; esquemáticamente (figura 6) se muestran las características de ambas etapas de secado, así como el resultado de los test utilizados para evaluar el estado de las tensiones de secado (figura 7).

MOVIMIENTO DEL AGUA EN LA MADERA

Durante el secado de la madera ocurren dos procesos simultáneamente: a) transmisión de calor para evaporar el agua; b) movimiento de humedad interno. Así, el secado de la madera se produce mediante el movimiento de agua desde el interior a la superficie de la madera y por una evaporación de agua líquida desde ésta, esto ocurre como consecuencia de los dos principios del secado que se verán más adelante. Los factores que afectan ambos procesos son: temperatura, humedad relativa y velocidad del aire. En el proceso de evaporación en la superficie la temperatura incrementa la velocidad de evaporación; en el mismo sentido actúa la velocidad del aire, que conlleva mejor la humedad y eventualmente baja la humedad relativa. Respecto del movimiento interno, la temperatura también aumenta el flujo de humedad, esto es, el movimiento de agua libre y el movimiento de agua ligada son más rápidos a mayor temperatura. Por otra parte al principio del secado cuando la madera está verde, la evaporación del agua en la superficie es menor que la cantidad de agua que llega a la superficie, posteriormente durante el secado el movimiento interno es más lento que la capacidad de evaporación de la superficie; por lo tanto, inicialmente la evaporación en la superficie limita el proceso y más adelante en régimen es el movimiento interno el factor limitante del proceso de secado.

MECANISMOS DE MOVIMIENTO INTERNO. Los complejos mecanismos de movimiento de agua pueden describirse en forma simplificada como: a)

movimiento de agua libre; b) movimiento de agua ligada; c) movimiento de vapor de agua.

El agua libre está sujeta por fuerzas de origen capilar, estas fuerzas son responsables del movimiento del agua libre como resultado de la evaporación de la humedad en la superficie de la madera; este movimiento es similar al desplazamiento de un líquido a través de una tubería, en que el líquido que brota por un extremo (en la superficie de la madera) es continuamente reemplazado por el agua que proviene del interior. El movimiento de agua ligada se produce como resultado de gradientes de contenido de humedad, en que los pequeños espacios submicroscópicos de la pared celular; este movimiento es similar a la difusión de té en el agua hervida. El movimiento de vapor de agua se debe a diferencias de presión de vapor y contribuye más al secado cuando la madera está parcialmente seca.

CONDICIONES HIGROTÉRMICAS DEL AIRE El aire generalmente no está seco, sino que mezclado con cierta cantidad de agua; cuando el aire atraviesa una carga de secado, varía la cantidad de agua y el volumen de la mezcla, pero la cantidad de aire seco permanece constante. Así, la humedad relativa del aire se define como la razón entre la cantidad real de agua que contiene y la máxima cantidad de agua que puede contener un determinado volumen de aire; cuando el aire está seco la humedad relativa es 0%, cuando el aire está saturado la humedad relativa es 100%. La humedad relativa del aire determina la velocidad del secado a cualquier temperatura dada, de aquí la importancia en el control de la humedad del aire durante el proceso.

CURVAS DE SECADO Las curvas de secado pueden representar: a) la variación del contenido de humedad de la madera con el tiempo de secado (figura 8); b) la velocidad de la variación de humedad con el tiempo de secado (figura 9). En las curvas de secado se observan dos fases o etapas de secado: a) fase de velocidad de secado constante, b) fase de velocidad de secado decreciente. En la etapa de velocidad de secado constante, al principio del secado la madera se encuentra muy húmeda; cuando se seca a

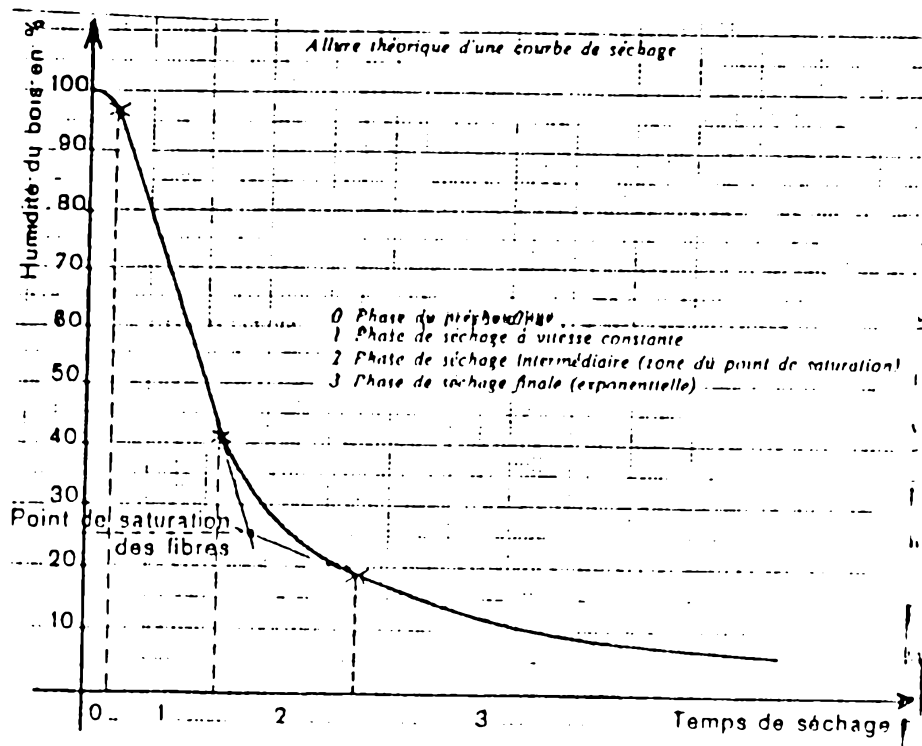


FIGURA 8: Curva de secado. Contenido de humedad v/s tiempo secado

(Fuente: Joly v More-Chevalier 1980)

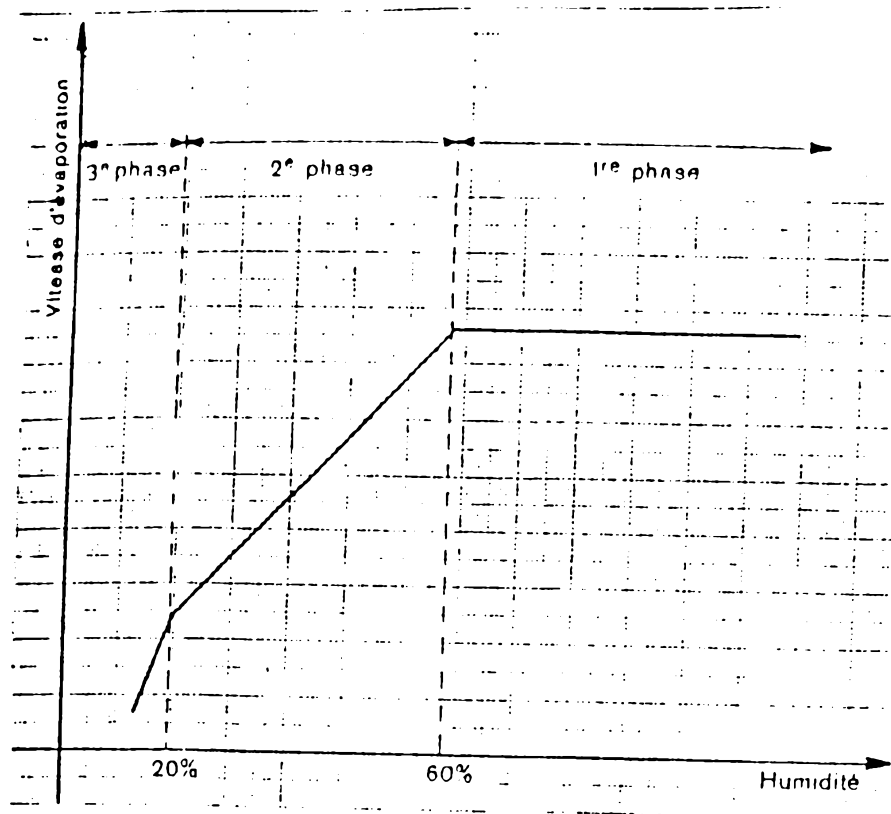


FIGURA 9: Curva de secado. Velocidad de evaporación v/s tiempo secado.

(Fuente: Joly y More-Chevalier 1980)

partir del estado verde su superficie está cubierta al comienzo por una película de agua líquida; esta etapa es muy corta en la madera y no se presenta si ella está presecada al aire; en maderas permeables como albura de pino insigne puede ser extensa y se observa normalmente al comienzo del secado de las maderas más delgadas. En la fase de velocidad de secado decreciente se presentan dos sub-etapas: a) etapa de secado con la superficie parcialmente cubierta de agua líquida, período que se produce cuando aparecen sectores de la superficie seca, esta etapa es muy corta; b) etapa de secado con la superficie debajo del PSF, este período es gobernado por el movimiento interno de humedad, en el secado de maderas representa prácticamente casi toda la curva de secado.

PRINCIPIOS DEL SECADO DE LA MADERA

El secado en general, y de la madera en particular es más un arte que una ciencia. Este consiste en la eliminación del agua de un material en el menor tiempo, el menor costo y la mejor calidad posible. El método empleado depende de la naturaleza del material; cuando es muy blando con una estructura porosa, gruesa y elástica, como en una esponja, se elimina el agua por simple presión mecánica; en la madera, aunque es elástica, esto no es posible porque se necesita una fuerza tan grande, que el material sería destruido en el proceso, por lo tanto, el único método posible es el de evaporar el agua.

PRIMER PRINCIPIO DEL SECADO - EVAPORACION Y CALOR NECESARIO. La evaporación es la transición del agua de la fase líquida a la fase de vapor; el punto esencial de esta transición es que requiere un aporte de calor. El fenómeno se observa cuando se hace hervir agua, pero lo mismo se aplica a la evaporación de agua a temperaturas debajo de su punto de ebullición. El calor necesario para este fin se llama "calor latente de evaporación", en general, a las temperaturas que interesan para el secado de la madera, la

cantidad de calor necesaria para evaporar un gramo de agua es 550 calorías o 2200 joules. La combustión de 1 metro cúbico de gas produce aproximadamente 8 millones de calorías o 34 millones de joules. Una tonelada de leña seca produce aproximadamente 2.5 millones de calorías o 10.6 millones de joules; por lo que con una muy buena eficiencia del 50% se necesitan 0.14 metros cúbicos de gas o 0.44 kg. de leña seca para evaporar un litro de agua. Así, el calor necesario para la evaporación es considerable. De aquí nace el primer principio del secado: "Para secar madera (o cualquier otro material) se necesita calor".

EVACUACION DEL AGUA EVAPORADA Y CIRCULACION DEL AIRE. SEGUNDO PRINCIPIO DEL SECADO. El agua se evapora en la superficie, o un poco debajo de la superficie de la madera; es en este lugar donde se necesita el calor; el calor debe ser transportado por tanto, desde la fuente donde se produce hasta la superficie de la madera. Una vez ocurrida la evaporación, el agua líquida se ha transformado en vapor, este vapor ocupa un volumen bastante más grande que el del agua líquida correspondiente; además, hay que tomar en cuenta las condiciones hidrotérmicas del aire ambiente. Como se ha mencionado la evaporación necesita calor. En cada temperatura, el aire es capaz de absorber una cierta cantidad de vapor de agua que se mide en términos de su humedad relativa; si la humedad relativa está en 100% se dice que el aire está saturado, no puede absorber más vapor y si se trata de agregar más, se condensa; en 0% de humedad relativa el aire está seco. Para mostrar el orden de grandeza se encuentra por ejemplo que a 40° C y 50% de humedad relativa, el aire contiene 45 g. de agua; a la misma temperatura en estado de saturación, contiene 59 g. de agua por kg. de aire seco (1 Kg. de aire seco ocupa un poco menos de 1 metro cúbico), podría entonces absorber unos 14 g. de agua; para absorber un Kg. de agua en estas circunstancias, se necesitarían unos 80 metros cúbicos de aire. Por otra parte, además de aportar a la madera el calor necesario para la evaporación del agua, hay que aportar también una gran cantidad de aire, para llevar el calor desde las baterías de calefacción hasta la madera, y para que pueda absorber el agua que se evapora; si el aire fuera estagnante, rápidamente se saturaría y ya no habría más evaporación. De aquí nace el segundo principio del secado: "El

secador debe ser equipado con dispositivos para hacer circular el medio secante, o sea el aire, que tiene la doble función de aportar el calor necesario para la evaporación, y de llevar fuera del secador el vapor resultante de esa evaporación". Cuando el aire pasa por entre la madera, absorbe agua de ella, poco a poco se va saturando; por lo tanto se debe asegurar que el aire tenga el potencial necesario para absorber agua cuando está en el último trecho antes de salir de entre las maderas (castillo); esto significa que debe pasar un volumen de aire adecuado, es decir, el aire debe tener una cierta velocidad mínima para cada combinación de las dimensiones de un secador, del castillo de maderas y de las condiciones del secado como para poder llevarse toda el agua que se está evaporando en el momento de secado más rápido del programa de secado, el que se produce generalmente al comienzo.

Esquemáticamente (figura 10) un secador corriente contiene el castillo de madera, la batería de calefacción para producir el calor y los ventiladores para hacer circular el aire; cualquiera que sea el proceso de secado, debe cumplir con los dos principios del secado. Poco importa si la fuente de calor es una batería de tubos por los cuales circula vapor, agua caliente o aceite a una temperatura apropiada, que son resistencias eléctricas, gases de combustión o energía generada por microondas, a condición de que proporcione el calor necesario y que el secador esté bien diseñado. El medio circulante es generalmente el aire pero en ciertos procesos, este es reemplazado por vapores orgánicos o solventes.

FOR QUE SECAR MADERA. El secado de la madera es un proceso bastante costoso en energía y por lo tanto también en madera. El equipo generalmente significa una inversión importante y el tiempo de estacionamiento de la madera en cancha o en secador también se carga al costo de producción. Por lo tanto, el secado debe producir beneficios mayores para justificar esos gastos. Es difícil asignar una prioridad absoluta a las diversas razones para secar la madera; las más importantes son sin duda la resistencia contra el ataque de hongos y la relativa estabilidad dimensional. Como se sabe, la madera es un material de origen biológico y por lo tanto, biodegradable, la biodegradación se efectúa por la acción de

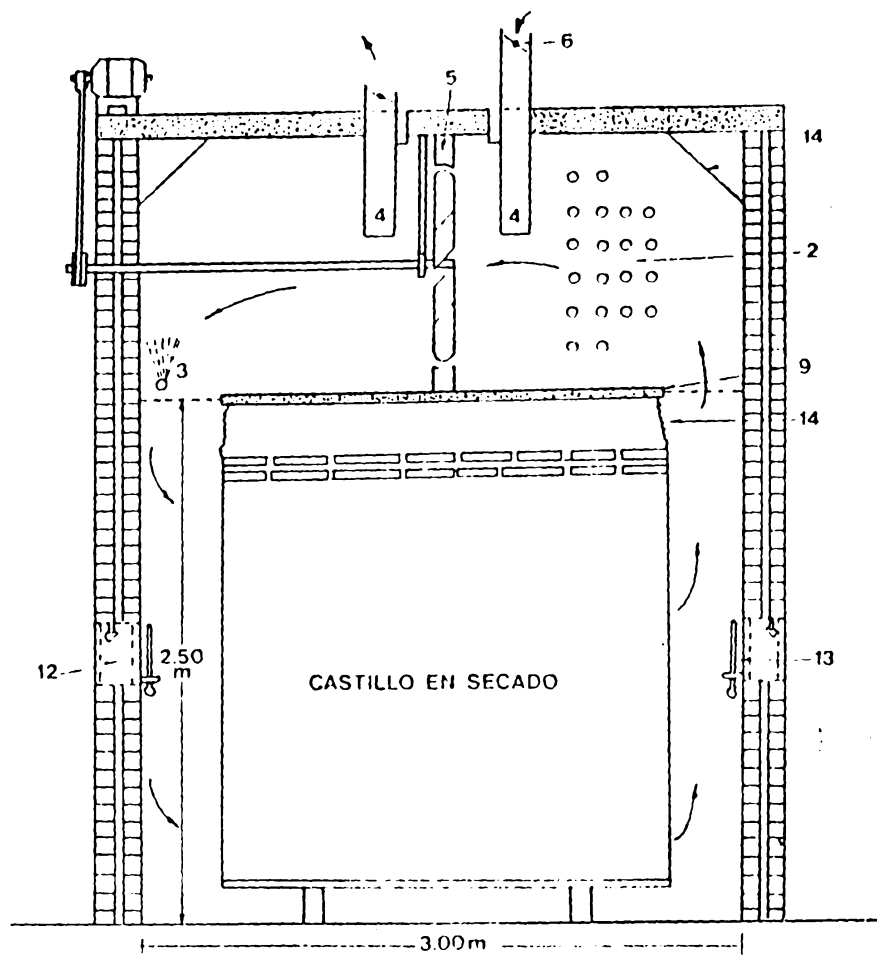


FIGURA 10: Secador corriente para madera

(Fuente: Tuset v Durán 1986)

tres tipos de organismos: hongos, insectos y taladradores marinos; para el uso de la madera en Chile y también para la madera de exportación, el agente más importante son los hongos. Se distinguen dos tipos de hongos: los que causan pudrición y a lo largo del tiempo pueden destruir la madera enteramente, y, los que causan una mancha azul cuyo efecto es una degradación puramente estética. Con casos excepcionales los hongos de mancha o pudrición no atacan la madera cuando su contenido de agua está debajo de un 20%.

Otra razón para secar la madera es su estabilidad dimensional. Por razón de su afinidad al agua, la madera se contrae cuando se seca; esto es, la madera en el estado verde original contiene bastante agua, cuando se expone a la atmósfera ambiente, su contenido de agua paulatinamente baja hasta alcanzar el valor de equilibrio correspondiente a las condiciones hidrotérmicas del aire rodeante; al mismo tiempo, se produce una contracción que puede alcanzar hasta un 10% de la dimensión original en la dirección tangencial, o más en maderas susceptibles al colapso (eucalipto, coigue, entre, otros). Una vez alcanzada la "Humedad de Equilibrio", el contenido de agua cambia con las variaciones del aire ambiente debido a los cambios climáticos, calefacción, acondicionamiento del aire, entre otros. Con cada cambio se produce una pequeña contracción o hinchamiento, se dice que la madera "Juega". Para asegurar la mayor estabilidad dimensional, conviene secar la madera a un contenido de agua que representa la media anual del equilibrio del lugar donde se va a utilizar. En Chile, este promedio es del orden de 6 a 8% en Chuquicamata, 8 a 15% en Santiago, 12 a 19% en Concepción y 13-19% en Aysén.

Si la madera se debe transportar por tierra, generalmente el flete se calcula según el peso; interesa entonces secar la madera antes de transportarla, para no pagar flete para el agua que se eliminará en el lugar de destino; esta razón se agrega a la de evitar ataque de hongos.

Otra razón muy importante es que muchas de las propiedades de la madera son mejoradas cuando está seca. Entre ellas, cabe destacar las propiedades de resistencia mecánica cuyo valor aumenta alrededor de un 25% o más en la madera seca con respecto a la madera húmeda. La madera es entonces, más fuerte u resistente en estado seco lo que aumenta su valor para el uso en la construcción excepcionalmente la resistencia al impacto es más alta en la madera verde.

La aislación eléctrica y térmica de la madera también son mucho mejores en el estado seco. En cambio la aislación acústica disminuye en la madera seca, creando así uno de los problemas que afectan las viviendas de madera.

Para los procesos de elaboración de madera (muebles) también se exige madera seca. La mayoría de los adhesivos actualmente utilizados no pegan bien en madera húmeda y para los de mayor resistencia se precisan límites superiores muy estrictos del contenido de agua. Muchos revestimientos y pinturas pueden ser aplicadas solamente a madera seca, si se desea evitar desprendimientos ulteriores. En la fabricación de artículos de precisión como muebles, puertas y ventanas es evidente que la madera debe estar seca para no tener problemas con el cerrar y abrir cajones, puertas o ventanas, por efecto de hinchamiento, o en cambio un ajuste demasiado suelto por efecto de contracción. La contracción de madera inadecuadamente secado instalado como parquet puede causar un aspecto muy feo del piso terminado por abrirse espacio entre las láminas; si está secado a un contenido de agua demasiado bajo, el piso puede levantarse al hincharse la madera posteriormente. Los ejemplos pueden multiplicarse pero los ya citados ilustran en gran medida la importancia de un secamiento adecuado de la madera.

MÉTODOS DE SECADO

Los Métodos de Secado que se conocen actualmente son:

- 1) Secado al Aire
- 2) Presecado
- 3) Secado Convencional
- 4) Secado Alta Temperatura
- 5) Secado por Deshumidificación
- 6) Secado por Vacío
- 7) Secado Solar
- 8) Secado por Alta Frecuencia
- 9) Otros métodos diversos (Vapores orgánicos, Solventes orgánicos, Bultonzado, Centrifugación, Radiación infraroja, Secado químico, Secado por productos de combustión).

EL SECADO AL AIRE.

El Secado al Aire Libre consiste en ordenar (encastillar) la madera y ubicar los castillos en dirección favorable al viento y en condiciones atmosféricas naturales. Este método se emplea comúnmente en Chile para secar eucalipto y coigue, hasta reducir el contenido de humedad de la madera al PSF.

Como las condiciones ambientales son incontrolables y dependen de la zona climática, es la circulación del aire la que puede en cierta forma mejorarse, a través por ejemplo de la disposición y espaciamiento de los castillos.

La circulación en aire de los castillos es de dos formas (figura 11):

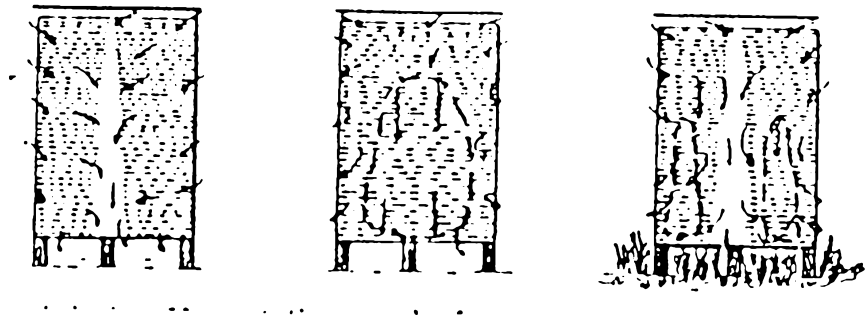


FIGURA 11: Distribución del aire durante secado natural

(Fuente: Rietz 1971)

1) movimiento horizontal 2) movimiento vertical. El movimiento horizontal es producido fundamentalmente por las corrientes locales de aire y puede mejorarse en parte a través de las dimensiones que se dan a los castillos, con las bases de los castillos y el método de encastillado. La distribución y espaciamiento de los pasillos principales y transversales y los intervalos entre los castillos en un mismo pasaje, afectan el movimiento de las corrientes locales de aire. La circulación vertical es el movimiento más importante para el secado al aire, a medida que la madera se seca, el aire en el interior del castillo se va saturando de humedad y se enfría, al absorber agua adquiere un movimiento descendente debido a su mayor peso, por ello, deben tomarse las medidas necesarias que permitan un movimiento continuo del aire a través de todo el castillo; esto se consigue mediante chimeneas verticales o espacios entre tablas bien distribuidos; el movimiento natural del aire húmedo y frío hacia abajo, trae como consecuencia un retraso en el secado de las partes inferiores del castillo; para evitar esto se debe promover una buena circulación horizontal en la parte inmediata a las bases del castillo.

EL método de secado natural produce algunos defectos en la madera, los que pueden reducirse mediante la correcta colocación de separadores. La ubicación de techos sobre los castillos, la disposición de bases adecuadas y una buena orientación de los castillos.

CONSTRUCCION DE CASTILLOS. Para la ubicación de los castillos se debe elegir un terreno con buen drenaje, plano y despejado para que tenga una buena aireación. En la construcción del castillo, especial atención debe darse al sistema de encastillado, los separadores, las bases y el techo. La madera debe estar bien separada en los castillos por el espesor. El ancho de los castillos afecta la velocidad secado, también las maderas que tienden a mancharse como pino insigne y tepa deben encastillarse en pilas angostas. Los castillos deben levantarse sobre bases sólidas, la primera camada de madera debe quedar lo suficientemente levantada por sobre el suelo, que permita una buena circulación del aire. Los castillos deben ser convenientemente techados para una buena protección de las lluvias y el sol

directo. Los separadores son los elementos de la mayor importancia en el proceso de secado, deben quedar muy bien alineados verticalmente y presentar uniformidad en su espesor (figura 12).

DISPOSICION DE LOS CASTILLOS. Como se menciona anteriormente, es conveniente elegir una zona de secado bien expuesta al aire. Además se debe considerar una localización adecuada con respecto al aserradero y a las cámaras de secado si es pertinente. Igualmente se recomienda elegir una orientación de las calles y pasajes en base a la dirección de los vientos dominantes y la orientación del movimiento del sol; en forma experimental se ha demostrado que cuando las calles y pasajes tienen la orientación del viento dominante el secado es más homogéneo en toda la cancha (figura 13). La disposición siguiente es un ejemplo de un buen arreglo: separación entre castillos = 0.75 m., ancho calles longitudinales = 7.5 m., ancho calles transversales = 1.5 m.; con esta disposición se obtiene lo siguiente:

- a) Con orientación paralelo al viento dominante el contenido de humedad final es 29,9% (rango 51% -21%).
- b) Con orientación perpendicular al viento dominante el contenido de humedad final es 29,7% (rango 97% -10%).

SISTEMAS ESPECIALES DE ENCASTILLADO AL AIRE La forma más usual de encastillar la madera es la de apilado rectangular (plano) con un ancho menor que la profundidad o altura y en el largo de la madera, en algunos casos, donde la producción es pequeña y no se encuentra mecanizada la formación de los castillos. es conveniente utilizar otros métodos de encastillado, tales como: vertical, triángulo o cuadrado (figura 14). El encastillado vertical permite secar rápidamente la madera y se recomienda para maderas de fácil secado, por el peligro de deformaciones. El encastillado en triángulo, es también un secado rápido, pero es desuniforme ya que los sectores de la madera que se entrecruzan secan más lento; se recomienda para maderas cortas a fin de evitar torceduras. El encastillado cuadrado permite un secado lento, que reduce los defectos pero el secado es desuniforme.

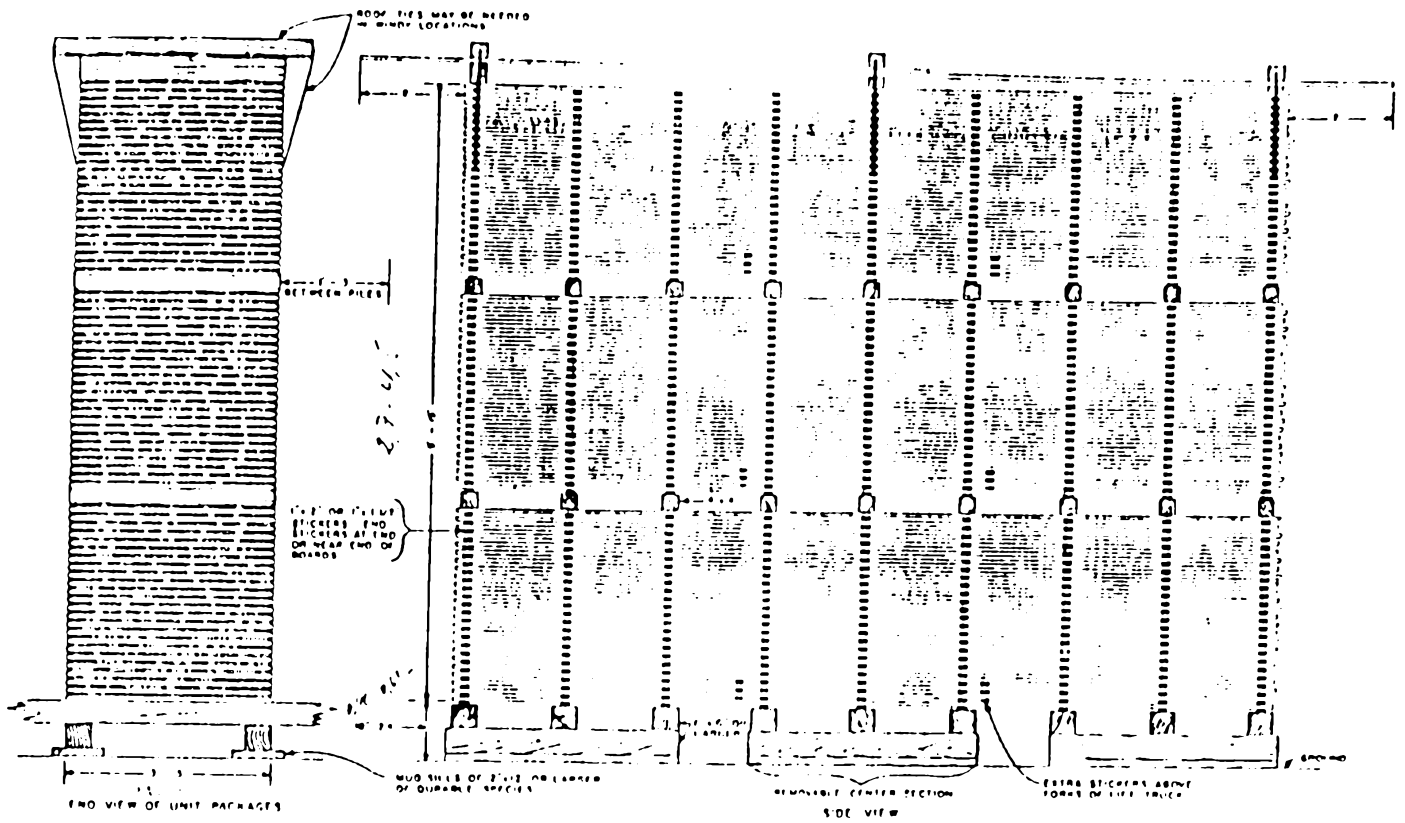
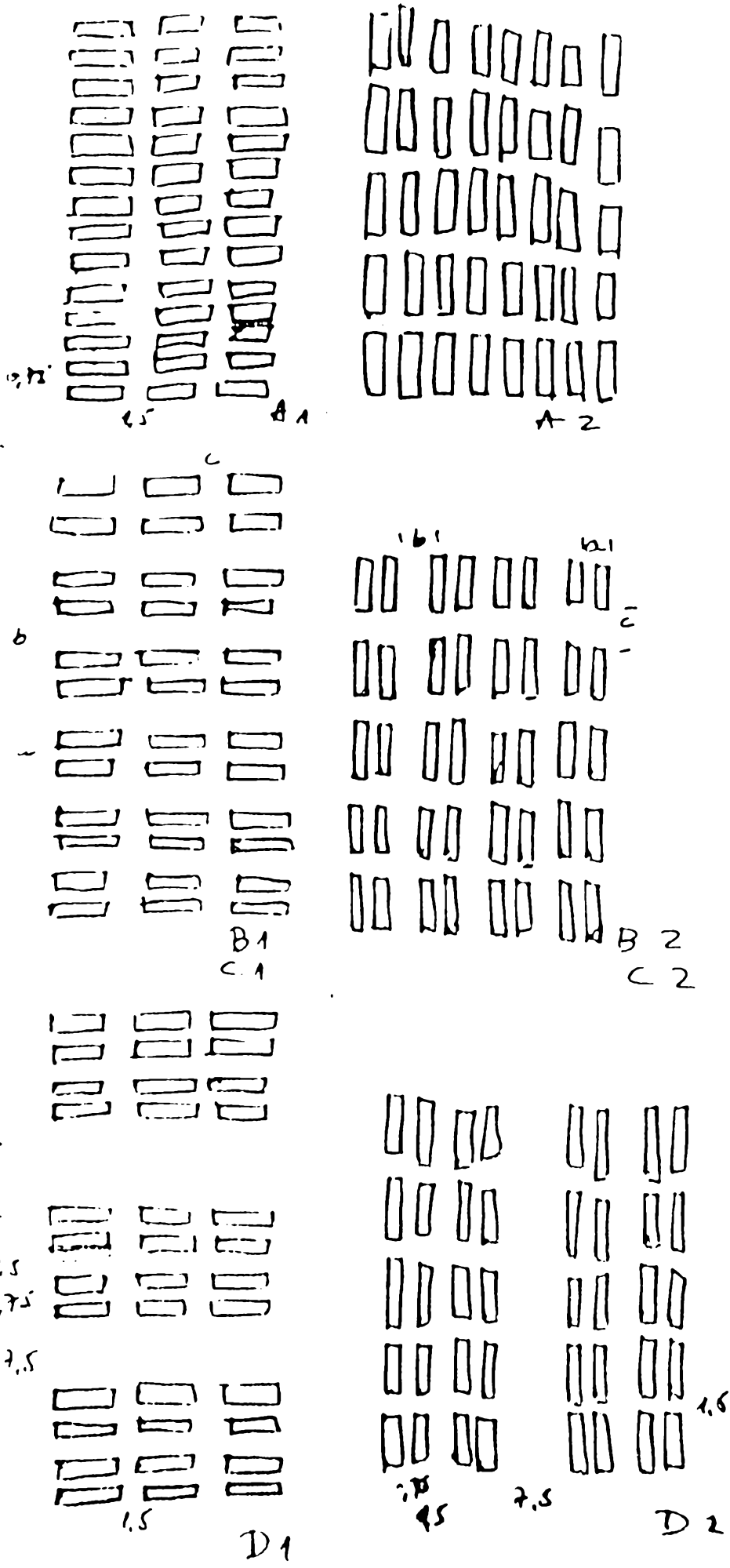


FIGURA 12: Ordenamiento separadores en castillos de madera en secado al aire

(Fuente: Rietz 1971)



a 0,75m 2,95m
 b 3m 7,5m
 c 1,5m 1,5m.

Pérdidas por evaporación

	\bar{x}	Rango	Mediana
A1	28,1	95-7	15,4
A2	23,2	56-11	20,9
B1	29,7	97,10	17,9
B2	29,9	51-21 b)	26,5
C1	39,3	98-15	29,5
C2	30,9	55-24 d)	27,4
D1	34,3	97-9	26,1
D2	27,2	62-15	24,3

FIGURA 13: Disposición de castillos en el patio de secado

(Fuente: Rietz 1971)

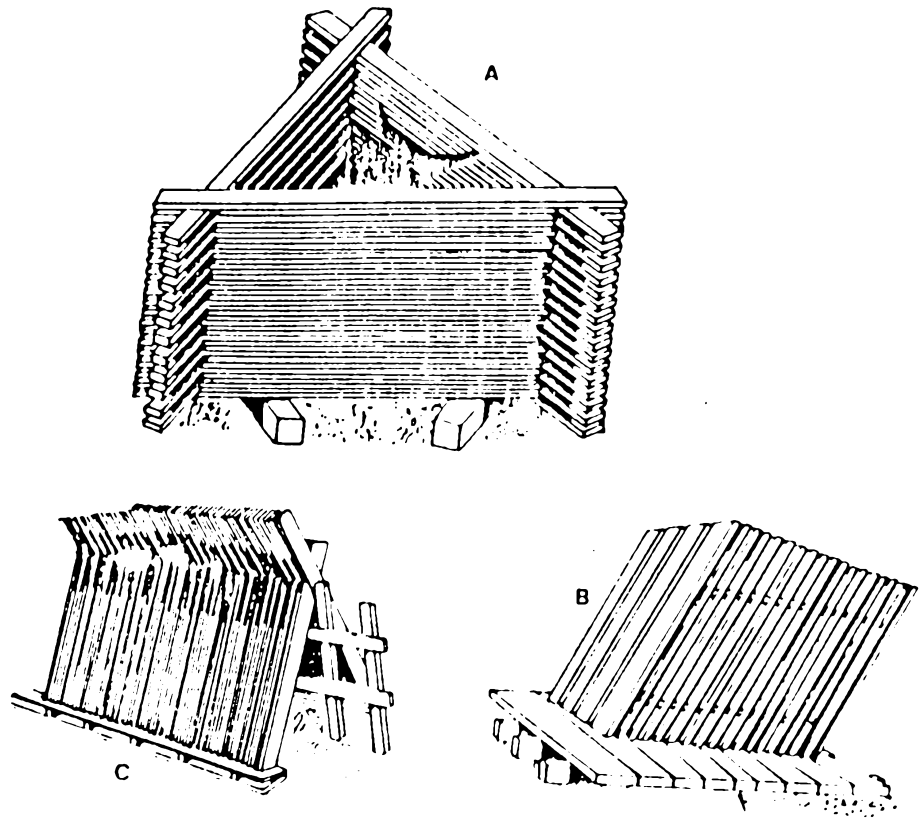


FIGURA 14: Sistemas especiales de encastillado

(Fuente: Tuset v Durán 1986)

EL PRESECADO

El presecado se ha ideado para acelerar el proceso de secado al aire, aumentando la corriente natural del aire mediante un sistema de ventiladores; esto se define como un proceso de "secado por aire forzado", en este sistema la madera puede estar a la intemperie o bajo techo (figura 15).

Otra modalidad de presecado es la que incluye además de ventiladores, una pieza o cámara y una batería de calefacción para alcanzar temperaturas de hasta 45° C. (figura 16). Las características generales de este tipo de instalaciones hacen que los presecadores tengan un campo de aplicación bien delimitada; esto es, se trata de un método que permite sustituir el secado al aire en regiones o en épocas donde las lluvias o la humedad ambiental alargan el tiempo de secado. También se pueden utilizar para el secado inicial de maderas que necesitan un secado lento para evitar la aparición de defectos (eucalipto, coigue); pero se debe tener en claro que un presecador no es adecuado para bajar el contenido de humedad de la madera más allá del 25 a 20%; por lo tanto, cuando se necesitan humedades menores, el proceso debe ser completado mediante secado final.

En resumen, con ambas modalidades de presecado se persigue reducir el tiempo de secado, obtener un contenido de humedad final uniforme y reducir los costos de secado de la madera.

EL SECADO CONVENCIONAL

De acuerdo con los principios de secado mencionados anteriormente, una cámara de secado debe cumplir con dos funciones:

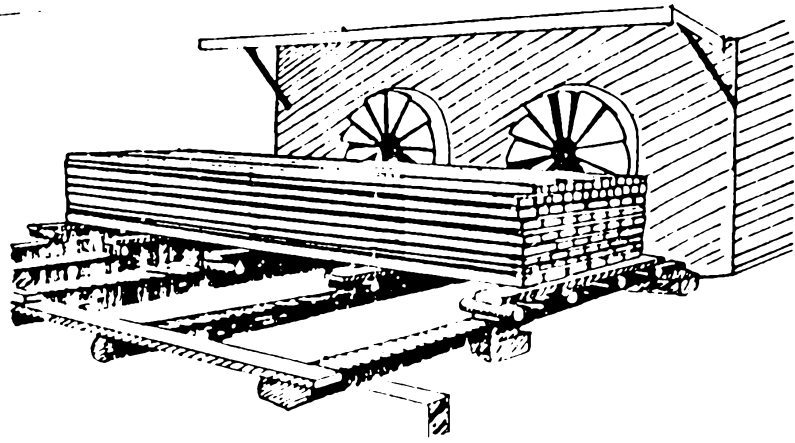


FIGURA 15: Secado por aire forzado

(Fuente: Tuset v Durán 1986)

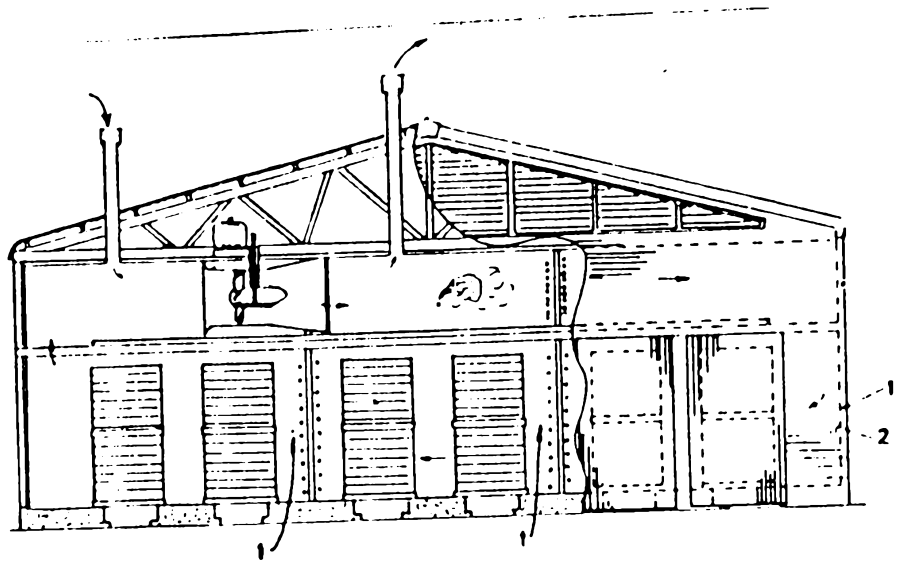


FIGURA 16: Presecador de madera

(Fuente: Tuset v Durán 1986)

- 1) aportar a la madera el calor necesario para la evaporación del agua.
- 2) llevar fuera de la cámara el vapor de agua proveniente de esa evaporación.

Tales funciones se logran comúnmente mediante los siguientes dispositivos: a) baterías de calentamiento; b) ventiladores para impulsar la circulación del aire.

Básicamente existen dos tipos de cámara de secado:

- 1) cámara de secado continuo o "túnel", en las cuales la carga de madera verde entra en un extremo y sale seca en el otro.
- 2) cámaras de secado discontinuo o "cámara", también designadas como "batch", en los cuales cada carga se seca en una operación distinta e individual.

SECADORES DE TUNEL. Son útiles cuando se debe secar siempre la misma madera, misma proveniencia, el mismo espesor, en las mismas condiciones de humedad, ya que no es posible cambiar las condiciones rápidamente. En estos secadores los castillos de maderas, colocados, en carros sobre rieles, entran en un extremo y salen en el otro; cada vez que entra un nuevo castillo húmedo, sale uno seco al otro lado, y los demás avanzan por un lugar dentro del secador (figura 17), el efecto de programa se obtiene al admitir el aire caliente en el extremo seco de la cámara donde encuentra en primer lugar el castillo más seco; este aire está en las condiciones finales del programa; al avanzar paulatinamente en el "túnel" en el sentido contrario al de movimiento de los castillos, se carga de humedad y su temperatura ambiental baja; de este hecho las condiciones del secado llegan a ser más suaves. Por lo tanto, el programa en un secador de túnel opera con el bulbo húmedo siempre en el mismo nivel de temperatura mientras el bulbo seco baja paulatinamente; normalmente estos secadores operan con temperaturas de bulbo seco entre 60 y 40° C. y con temperaturas de bulbo húmedo entre 35 a 38° C. En Chile no son muy empleados; en algunas plantas hay largas instalaciones con unos 15 a 20 de estos túneles en paralelo, cada uno conteniendo una fila de diez o más castillos.

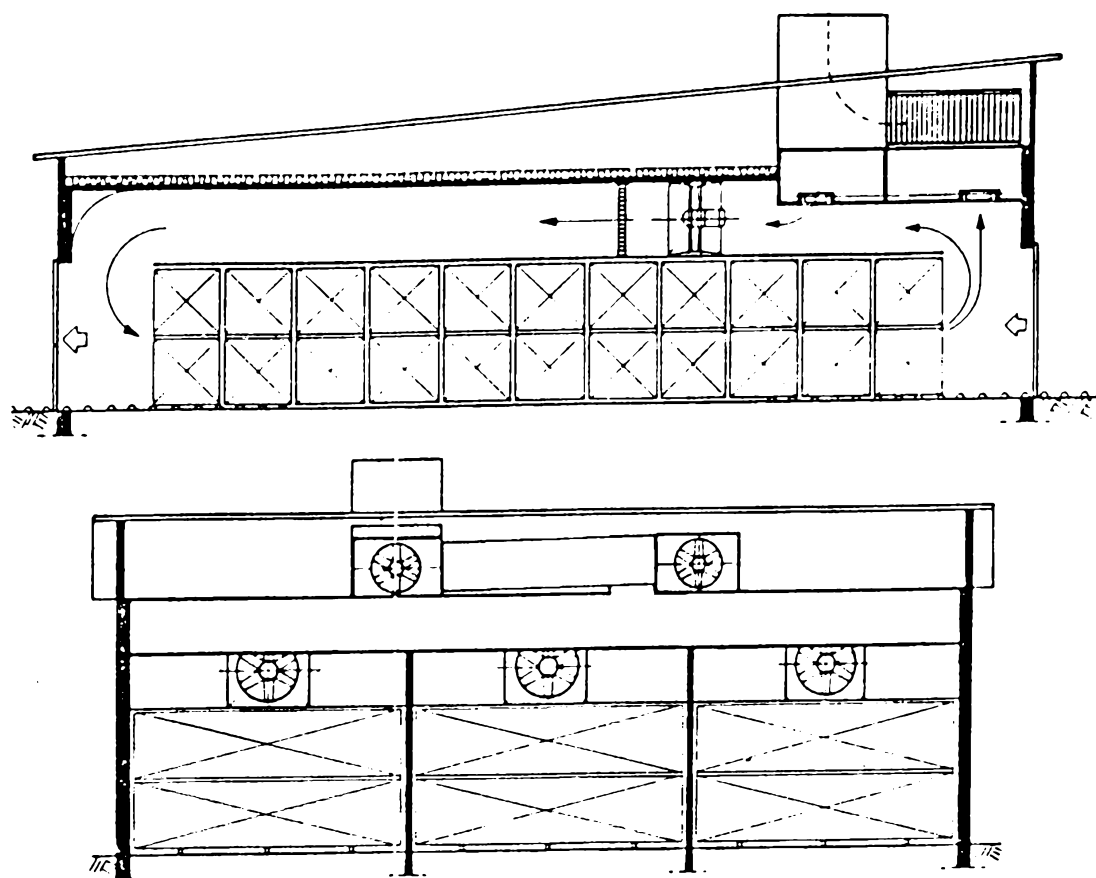


FIGURA 17: Secador de Túnel

(Fuente: Bachrich 1980)

SECADORES DE CAMARA. Son los más comúnmente utilizados y debe haber muy buenas razones para escoger otro método de secado. Un secador de cámara tiene como elementos esenciales:

a) La obra civil (piso, paredes, techo), frecuentemente en concreto armado, pero también puede ser en ladrillos o maderas; las paredes pueden fabricarse en aluminio o acero inoxidable.

b) Tuberías de calefacción, son tuberías de acero, generalmente con aletas para mejorar la transferencia de calor, por los cuales circula comúnmente vapor a presión; están ubicadas en un lugar conveniente cerca de los ventiladores.

c) Ventiladores, en los modelos de mayor éxito se colocan sobre la carga de madera por encima de un cielo falso; también pueden ubicarse lateralmente. Pueden ser montados cada uno en un eje transversal con su propio motor, o todos en un mismo eje longitudinal con un solo motor en el extremo del secador.

d) Tubería humidificación, generalmente un tubo con perforaciones para inyectar vapor de baja presión para la humidificación del aire circulante en el secador; a veces se usa una pulverización de agua fría o precalentada. En tal caso es muy importante asegurarse que el agua entre en forma de gotitas lo suficientemente pequeñas como para evaporarse rápidamente y no formar neblina.

e) Pantallas o deflectores, que tienen la función de tapar las aperturas entre el castillo y el cielo falso, entre el castillo y la puerta, en definitiva para guiar el aire a pasar por los castillos de madera exclusivamente.

f) Ventilias, que son pequeñas chimeneas en el techo, para cada ventilador hay una para evacuar el aire caliente cargado de humedad y otra para admitir aire fresco seco desde el exterior; están provistas de dispositivos adecuados para abrir y cerrarlas. Los componentes mencionados son esenciales; un secador contiene además varios equipos auxiliares, especialmente los instrumentos para el control y la regulación de las condiciones internas del secador. La base de funcionamiento es la circulación del aire acondicionado, impulsado por los ventiladores, que pasa a través de los castillos para aportar a la madera el calor necesario para la evaporación

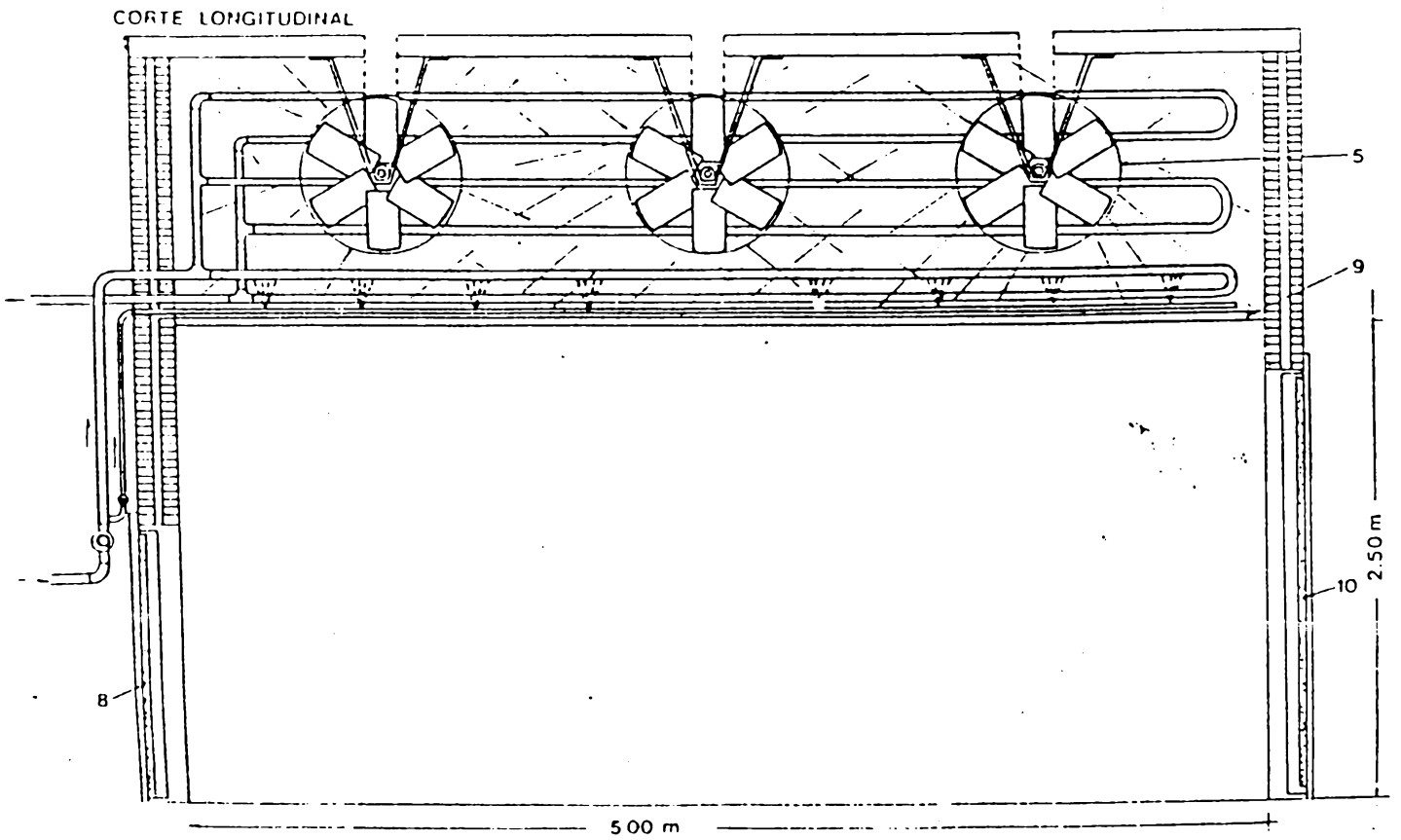
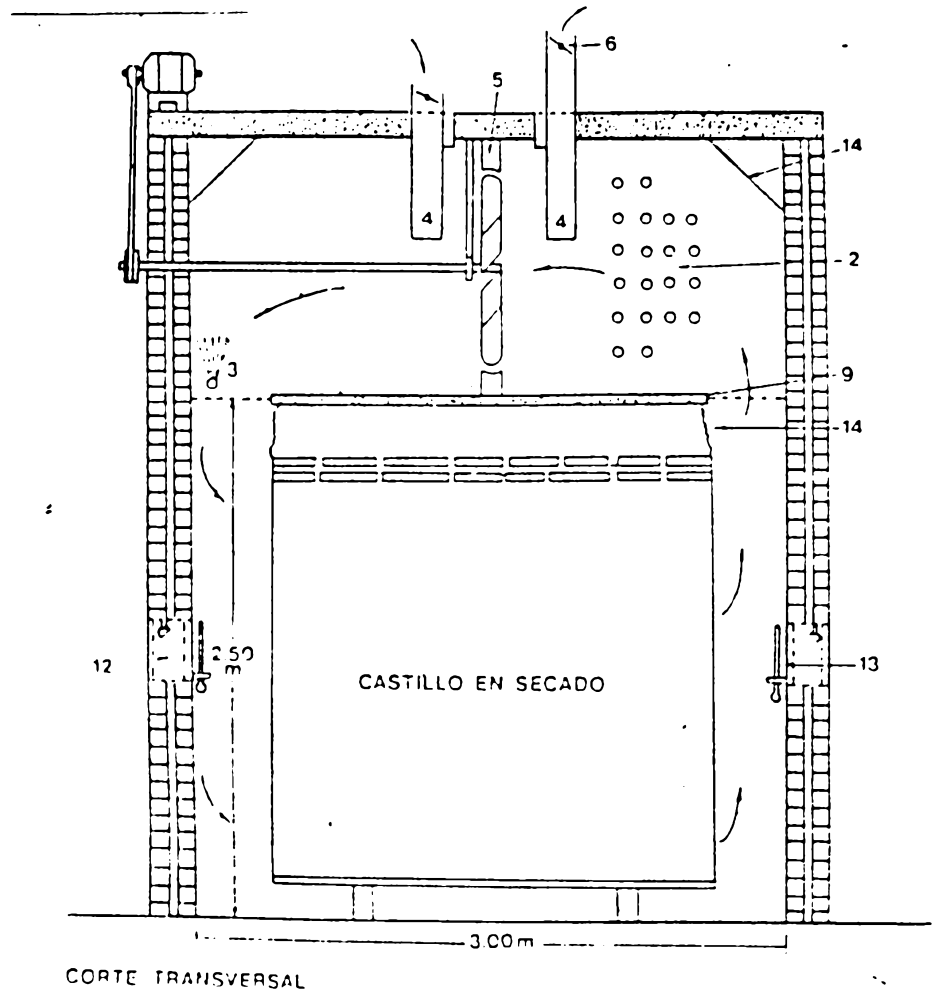


FIGURA 18: Secador de cámara

(Fuente Tuset y Durán 1986)

del agua y llevarse el vapor resultante de esta evaporación, el que es evacuado fuera del secador por la ventila apropiada (figura 18).

EL SECADO EN ALTAS TEMPERATURAS (SAT)

Por convención se designa secado en alta temperatura S.A.T. aquel que emplea temperaturas de bulbo seco por encima de 100° C.; se habla de muy alta temperatura cuando se emplean temperaturas superiores a 150° C. Un secador de alta temperatura es esencialmente un secador de cámara convencional con mayor capacidad de calefacción, mayor velocidad del aire (sobre 5 m/seg) y paredes mejor aisladas para evitar pérdidas excesivas de calor. El proceso tiene las siguientes etapas:

- calentamiento rápido de la madera plenamente verde en vapor saturado a 100° C. (1 a 2 horas).
- en ciertos casos, una vaporización inicial de una o un par de horas.
- el secado propiamente tal, de 8 a 12 horas, con la temperatura de bulbo seco en 120 a 130° C. dejando al bulbo húmedo encontrar su propio nivel, que está al comienzo cerca de 100° C. y baja luego a unos 70 a 80° C.; el control se efectúa con las ventilas.
- un acondicionamiento en vapor saturado a 100° C. por 3 a 4 horas.
- Un período de enfriamiento con las puertas del secador abiertas, por unas 4 a 8 horas.

El proceso total toma 22 a 24 horas para madera de pino de hasta 2 pulgadas de espesor. El SAT es especialmente apto para madera juvenil que tiene tendencia a torcerse por efecto de la presencia de fibra espiral; la torcedura es en gran parte inhibida por "flujo plástico" impuesto por los pesos colocados sobre el castillo, se utilizan pesos de 500 a 1000 Kg/m². La distribución final de humedad es enteramente satisfactoria si el proceso se ejecuta correctamente, con 80% de la carga estando dentro de un rango de \pm 4% de la media. Sin embargo, durante el SAT es frecuente la aparición de

pequeñas grietas internas en tablas de más de 35 mm de espesor y por lo tanto, en Chile no se le encuentra adecuado para secar madera de pino insigne para "clears" o muebles. La ventaja principal del SAT es su rapidez.

EL SECADO POR DESHUMIDIFICACION

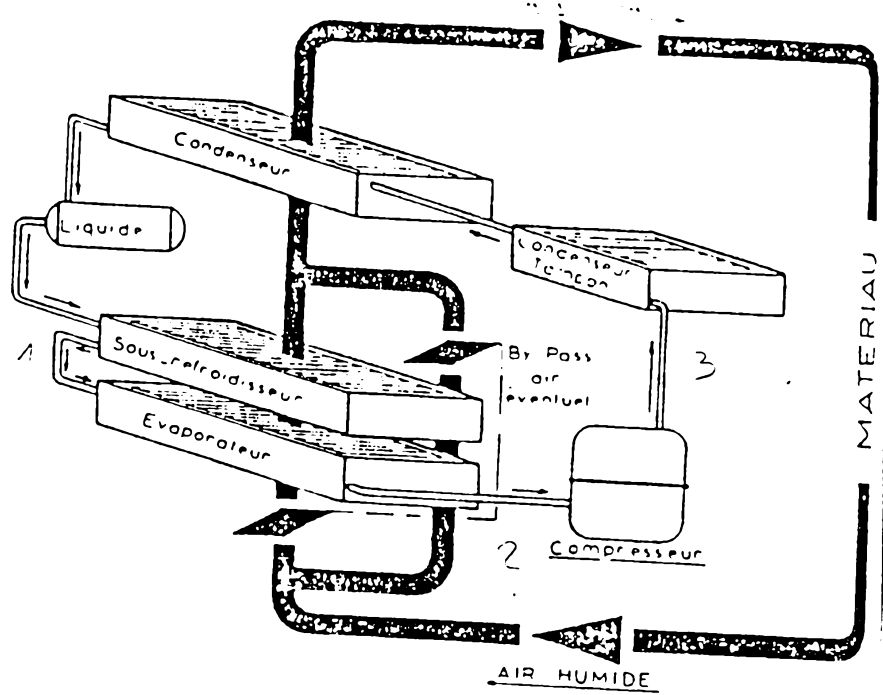
Este método emplea una cámara semejante a un secador convencional, pero utiliza un circuito de refrigeración invertido para aportar el calor necesario para la evaporación; además, elimina el agua por condensación y recupera el calor latente de evaporación que contiene, usándolo nuevamente para calentar el aire que circula en el secador.

La componente esencial de un secador por deshumidificación es un circuito de refrigeración semejante al que se emplea en una heladera, pero utilizado al revés; el aire caliente y húmedo que viene de los castillos de madera se dirige sobre un intercambiador de calor cuya parte fría está constituida por el evaporador del circuito de refrigeración; la temperatura de este evaporador está debajo del punto de rocío del aire húmedo que viene de los castillos; por lo tanto, una parte de esta humedad se condensa sobre el evaporador y es eliminada en forma de agua líquida. Después de pasar por el evaporador, el aire está más frío y más seco; a continuación pasa por otro intercambiador de calor, constituido por el condensador del circuito de refrigeración donde es recalentado; por fin el aire se dirige hacia la cámara de secado donde pasa a través de los castillos y el ciclo comienza nuevamente. Este tipo de secador se caracteriza por la circulación del aire en "circuito cerrado" esto es, sin intercambio de aire con el exterior.

Hay que comprender que el deshumidificador consta de dos circuitos; el circuito de circulación del aire que se describe anteriormente y el circuito de refrigeración. El evaporador del circuito de refrigeración sirve para condensar la humedad del aire y el condensador del circuito de

refrigeración sirve para recalentar el aire. El componente más importante del circuito de refrigeración es el compresor; el refrigerante que llega del evaporador en forma de vapor es comprimido a alta presión; a continuación pasa por el condensador donde se convierte al estado líquido, entregando su calor latente de condensación; este calor sirve para calentar el aire que pasa fuera del condensador en el intercambiador de calor; el refrigerante líquido, todavía bajo alta presión, pasa por una válvula de expansión donde se convierte en una mezcla de líquido y vapor para dirigirse al evaporador; en éste, el líquido restante se convierte enteramente en vapor, consumiendo para este efecto el calor latente de evaporación que proviene de la condensación fuera del evaporador, de la humedad del aire proveniente de la cámara de secado (figura 19). Todo circuito de refrigeración con el intercambiador de calor y el compresor incluido está montado en una unidad compacta; esta unidad se puede colocar fuera o dentro de la cámara de secado, con un sistema de ductos y ventiladores apropiados para hacer circular el aire (figura 20). La clave del sistema es la naturaleza del fluido refrigerante; este debe condensarse y evaporarse en niveles apropiados según las variables del proceso: presión, volumen y temperatura. Para no dañar el compresor, es esencial que el vapor que llegue a él tenga un grado de sobrecalentamiento suficiente para que no entren gotitas de líquido que dañarían las válvulas; por otra parte, el vapor no debe estar en una temperatura demasiado alta, lo que podría provocar una oxidación del aceite de lubricación del compresor en las válvulas, lo que también las dañaría; por lo tanto, hay que encontrar un refrigerante cuyo ciclo termodinámico es tal que entra en el compresor con bastante sobrecalentamiento pero a temperaturas no demasiado altas (figura 21).

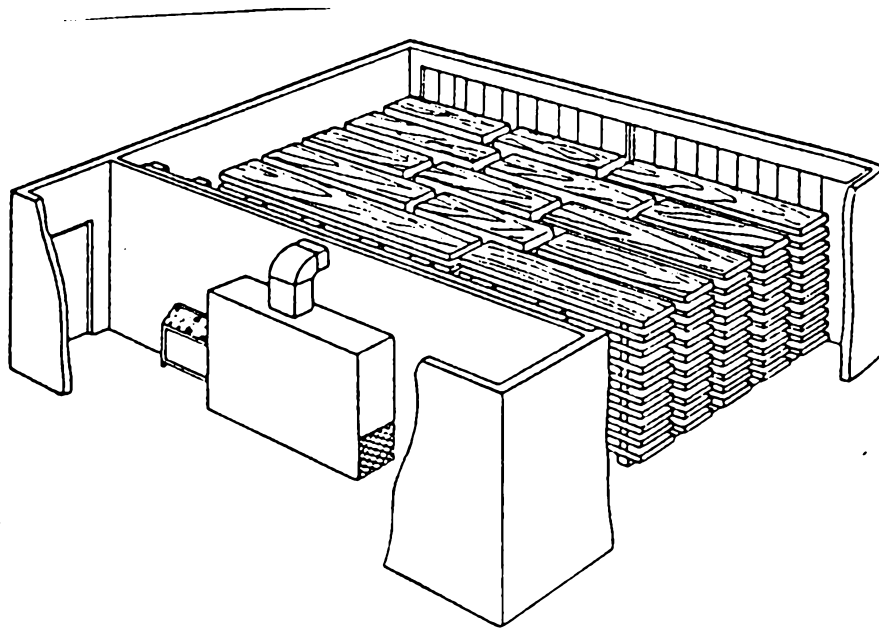
La primera generación de deshumidificadores estuvo limitada por la utilización de refrigerantes disponibles, cuya temperatura de operación es por debajo de los 50° C.; una innovación fue la introducción de un nuevo refrigerante el R-114, que permite operar en temperaturas cercanas a 100° C.; en adición, se puede enfriar el compresor mediante un circuito auxiliar de refrigerante líquido; el R-114 es menos denso que los refrigerantes más antiguos y su calor latente de evaporación es más bajo, de modo que se



Schema de principe d'un appareil avec sous-refroidisseur selon J.-P. Gauvreau (sèche à moyenne température). (Doc. Sadi).

FIGURA 19: Circuito circulación del aire y circuito refrigeración (Secador deshumidificación)

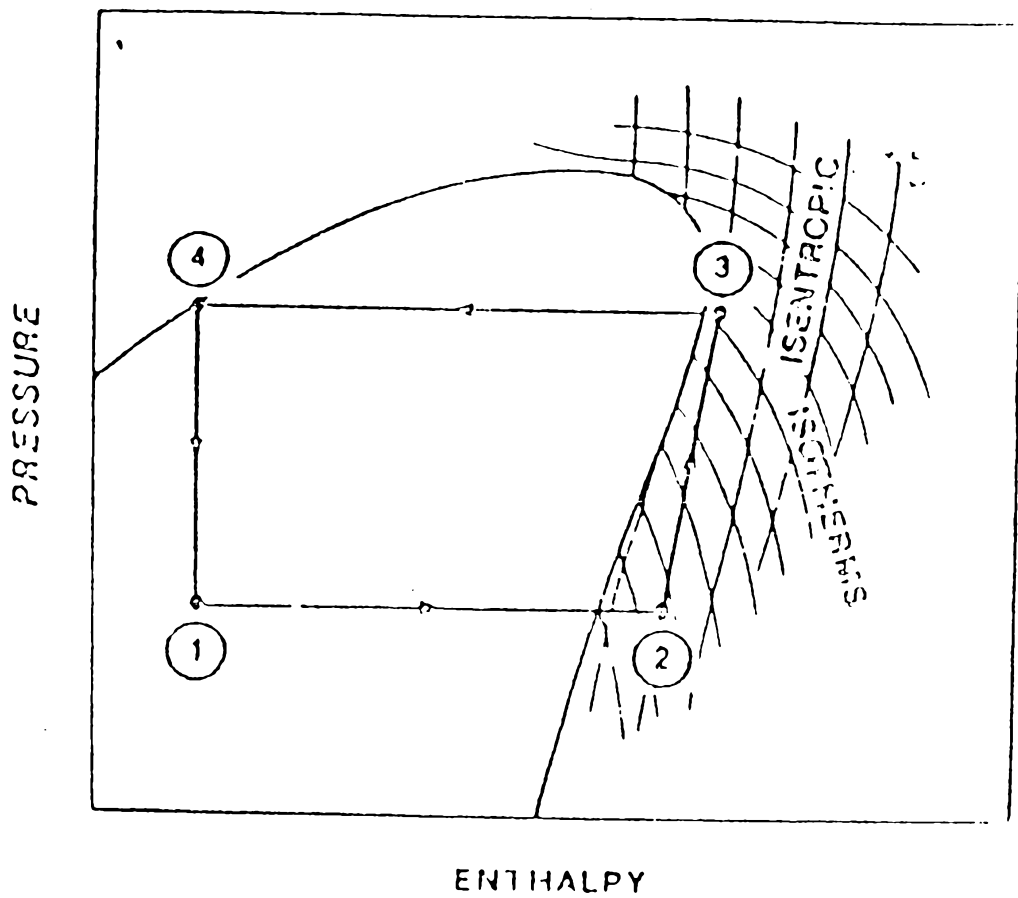
(Fuente: Joly v More-Chevalier 1980)



Appareil de sechage place en dehors de la cellule (D après doc. CEAF)

FIGURA 20: Secador por deshumidificación

(Fuente: Joly y More-Chevalier 1980)



Ideal vapor compression cycle using
refrigerant R-114.

FIGURA 21: Ciclo termodinámico refrigerante R-114

(Fuente. Joly y More-Chevalier 1980)

debe circular un mayor volumen para obtener el mismo efecto; sin embargo, estas desventajas son compensadas por la posibilidad de operar a más alta temperatura. Estos desarrollos han dado lugar a una segunda generación de deshumidificadores que operan con R-114 a temperaturas de 80 a 90° C. Los deshumidificadores de primera generación se recomiendan especialmente para el secado de maderas latifoliadas difíciles hasta el punto de saturación de las fibras; debajo de este punto el largo tiempo necesario para secar estas maderas a 8 a 10% a temperaturas de 40 ó 50° C. hace poco económica la operación; en cambio los deshumidificadores de la segunda generación se pueden aplicar a todas las especies tal como en secadores convencionales de cámara y constituyen efectivamente una competencia para éstas; los programas son semejantes pero generalmente más simples en los deshumidificadores. Entre las ventajas del sistema de secado por deshumidificación se pueden mencionar el menor costo de inversión y la mayor economía de calor, ya que una parte del calor latente de evaporación del agua se recupera en la unidad de refrigeración; entre las desventajas, consta la dificultad de aplicar un programa de secado bien preciso con frecuentes cambios de las condiciones y especialmente la imposibilidad de tratamientos de vaporización para aliviar las tensiones de secado especialmente en los aparatos de segunda generación, además, el agua condensada contiene ácidos y productos químicos en solución y no se debe descargar sin tratamiento en el suelo o en los ríos. Los diferentes tipos de deshumidificadores son útiles especialmente en situaciones donde:

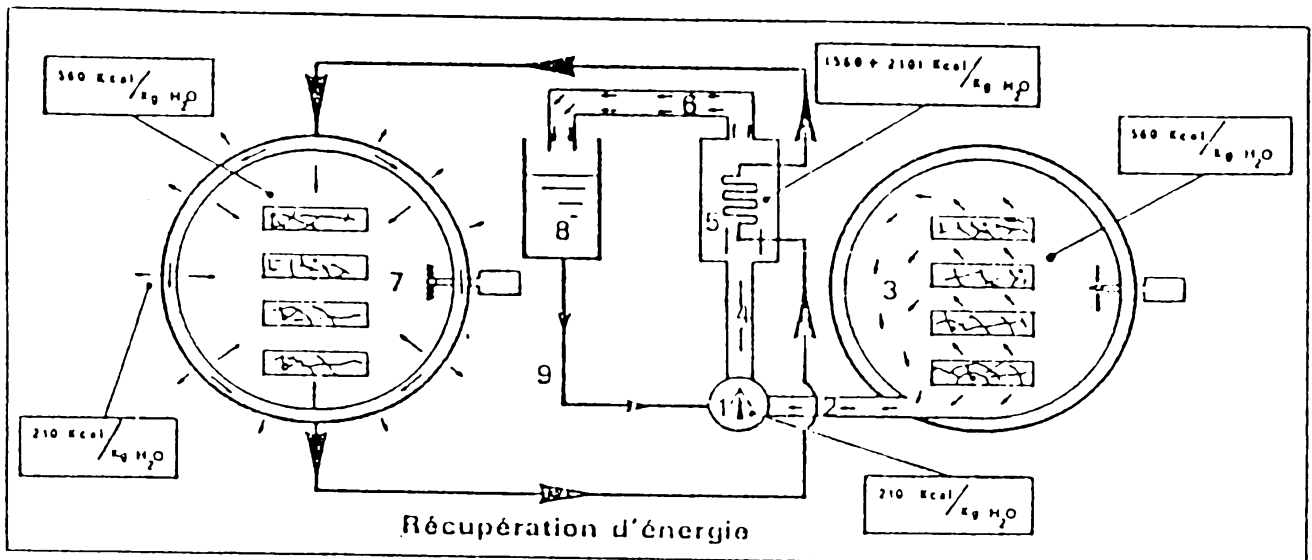
- No alcanza el capital para adquirir secadores convencionales.
- Electricidad es la fuente de energía exclusiva.
- se deben secar pequeñas cantidades de diferentes especies o escuadrias.
- no es prioritario secar rápidamente.

En Chile se emplea este método en el extremo sur para el secado de madera, así como en otras regiones en plantas pequeñas para el secado de eucalipto y maderas nativas.

EL SECADO POR VACIO

El secado bajo vacio se ha estado experimentando desde 1920; durante los últimos años ha ganado una cierta popularidad y plantas según este principio están funcionando en todo el mundo. El problema principal cuando se opera bajo vacio es como hacer llegar el calor hasta la madera; la casi ausencia de aire hace imposible transferir calor por convección, como es el caso en el secado tradicional; por lo tanto, hay que emplear otros métodos. El vacio acelera considerablemente la evaporación del agua de la superficie de la madera y también acelera pero no tanto, la circulación del agua dentro de la madera, además en ciertas circunstancias, la presión total al interior de la madera puede ser mayor que la exterior, empujando el agua capilar en la dirección longitudinal hacia las puntas de las tablas donde se evapora; por lo tanto, el secado puede ser bastante más rápido bajo vacio que en un ambiente a presión normal atmosférica. Puesto que el agua hierve bajo vacio a temperaturas menores a 100°C ., es posible acelerar el proceso de secado y al mismo tiempo bajar la temperatura a 30 o 40°C .; por ejemplo, a 0.1 at. el agua hierve a 46°C . El problema de aporte de calor se ha solucionado mediante diferentes métodos.

SECADO BAJO VACIO METODO DISCONTINUO. En este método se usa alternativamente vacio y presión atmosférica. Durante la fase de presión atmosférica, se transfiere calor por el método usual de convección mediante circulación de aire debidamente acondicionado; durante la fase siguiente de vacio, la evaporación se efectúa, utilizando el calor sensible almacenado en la madera que es transformado en el calor latente necesario; cuando se agota el calor almacenado se repite el ciclo. El autoclave en el cual se lleva a cabo el secado, está provisto de una doble pared en la cual circula agua caliente para mantener la temperatura más o menos constante; muchas veces se utilizan dos unidades en tandem (figura 22), mientras una está bajo el vacio, la otra se recalienta mediante inyección de aire caliente a presión atmosférica; cuando le toca a ésta ser puesta bajo vacio, el vapor de agua que contiene es evacuado por la bomba de vacio y se condensa en un



Système permettant une importante récupération d'énergie dans le cas d'un fonctionnement en tandem de deux séchoirs à vide discontinu. (Doc. Maspell)

FIGURA 22: Secador por vacio "en tandem".

(Fuente: Joly y More-Chevalier 1980)

intercambiador de calor; su calor latente de condensación se transfiere a la doble pared del primer autoclave para recalentar el agua circulando en ella.

SECADO BAJO VACIO. METODO CONTINUO. En este método se aplica vacío continuamente durante todo el proceso de secado; el calentamiento se entrega mediante placas metálicas huecas al interior de las cuales circula agua caliente para aportar el calor necesario para la evaporación; el vapor producido se evacúa constantemente por una bomba de vacío. Una variante de este método consiste en efectuar un vacío parcial y el aire que queda en el autoclave se circula normalmente como en una cámara tradicional y aporta calor por convección.

SECADO BAJO VACIO CALENTAMIENTO POR ALTA FRECUENCIA. El secado por alta frecuencia genera calor en la madera por el efecto de un campo electromagnético alternativo; y es en principio un método ideal para calentar la madera durante el secado por vacío; no obstante ser muy rápido produce generalmente una mala distribución del contenido de humedad final, tiene el riesgo de producir grietas internas y es de alto costo.

El secado bajo vacío permite secar con éxito ciertas maderas muy sensibles en cuanto al cambio de su color natural con altas temperaturas, por ejemplo el roble europeo (*Quercus sp.*) secado bajo vacío permite obtener el efecto deseado en una o dos semanas, en vez de un año o más tiempo de secado al aire. En Chile se ha experimentado a nivel industrial con cierto éxito el secado bajo vacío de eucalipto y coigue. Las desventajas principales del método de secado por vacío son un alto costo de instalación, un alto costo de operación y mantención, por ello la capacidad de las unidades es generalmente reducida (10 a 20 m³).

EL SECADO SOLAR

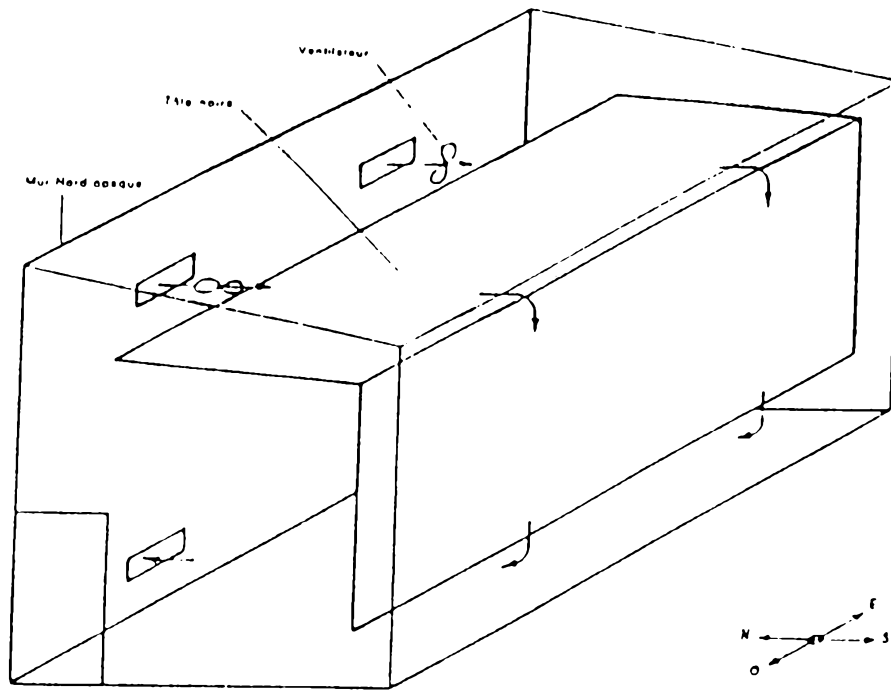
Hace más de treinta años que se experimentan diferentes sistemas de secado solar; se pueden distinguir tres tipos de secadores solares.

SECADO SOLAR TIPO INVERNADERO. Consiste en una cámara con paredes y techo de vidrio o un plástico como polietileno, en la cual se colocan los castillos de madera. Capta la energía solar en el interior y generalmente está provisto con una circulación de aire por ventilas y/o con pequeños ventiladores.

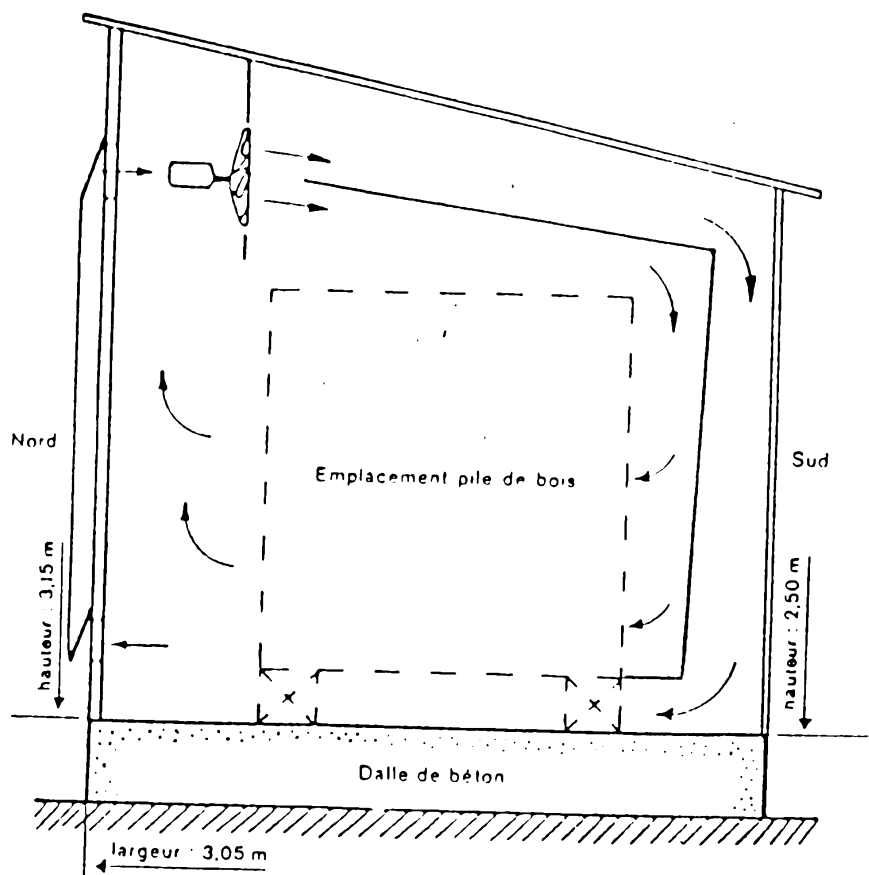
SECADO SOLAR MEDIANTE COLECTORES DE ENERGIA SOLAR. Se trata de una cámara liviana de madera u hormigón con colectores de energía solar en forma de hojas de plástico negro expuestas con un ángulo apropiado al sol y protegidas por placas de vidrio; el calor del sol es transmitido al aire que circula detras de los colectores que lo conduce al espacio de secado mediante ventiladores apropiados (figura 23).

SECADO SOLAR CON CALEFACCION AUXILIAR. Puede ser uno de los modelos descritos anteriormente, al que se adiciona un sistema de calefacción electrica auxiliar para mantener la temperatura del aire durante la noche algunos grados por encima de la temperatura ambiente; otros modelos poseen en vez de calefactores eléctricos, dispositivos para almacenar el calor en un material de gran capacidad de calor como un muro de ladrillos.

La ventaja principal de estos secadores es su bajo costo, un secador solar con calefactores de aproximadamente 4 m² por metro cúbico de capacidad, es capaz de secar con "buen tiempo" maderas latifoliadas desde verde a 12% de humedad en unas 6 semanas. La desventaja principal es que estos secadores por su naturaleza tienen capacidades limitadas y están sujetos a la variabilidad del tiempo; no se recomiendan para empresas que deben entregar madera secada en plazos fijos, pero puede ser útil para



Schema de principe d'un séchoir solaire utilisant l'effet de serre (D'après un document C.T.B.)



Coupe transversale d'un séchoir solaire suivant le principe mis au point par le Centre Technique du Bois (Doc. C.T.B.)

FIGURA 23: Secador solar

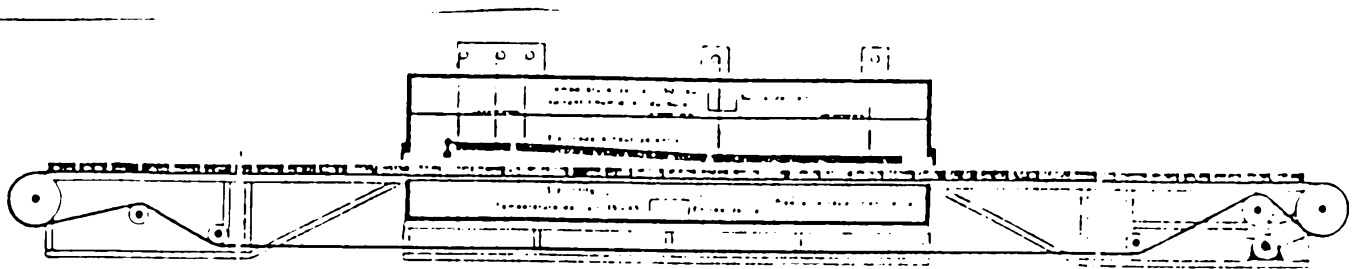
(Fuente: Joly y More-Chevalier 1980)

pequeñas fábricas de muebles, que requieren secar madera sin emplear tecnología sofisticada.

EL SECADO POR ALTA FRECUENCIA Y MICROONDAS.

Ambos métodos utilizan el fenómeno físico de la acción sobre la madera de un campo eléctrico alternando de polaridad con alta frecuencia. El rango llamado alta frecuencia se extiende de 3 a 15 MHz (largo de ondas 20 a 100 m) y el campo de las microondas va de 1000 a 5000 MHz (largo de ondas 0.025 a 0.3 m). Los cambios rápidos de la polaridad eléctrica inducen una oscilación en las moléculas de agua al interior de la madera lo que genera calor; la cantidad de calor generada es función de la cantidad de agua presente; por lo tanto, el método parece ideal ya que aporta calor en el interior de la madera donde el contenido de humedad es mayor. No obstante, es muy difícil dosificar la intensidad del campo eléctrico de tal modo que haya suficiente calor para el secado sin causar grietas internas; un aporte de calor en exceso al interior de la madera provoca una producción rápida de vapor que no puede escaparse, por lo tanto, la temperatura y la presión en el interior de la madera aumentan, causando grietas internas que muchas veces inutilizan la madera.

Aunque es factible técnicamente el secado en campos electromagnéticos, es un método a utilizar para casos muy especiales, debido al alto costo de la energía y del equipo (figura 24).



SCHEMA D'UN SECHOIR A HAUTE FREQUENCE

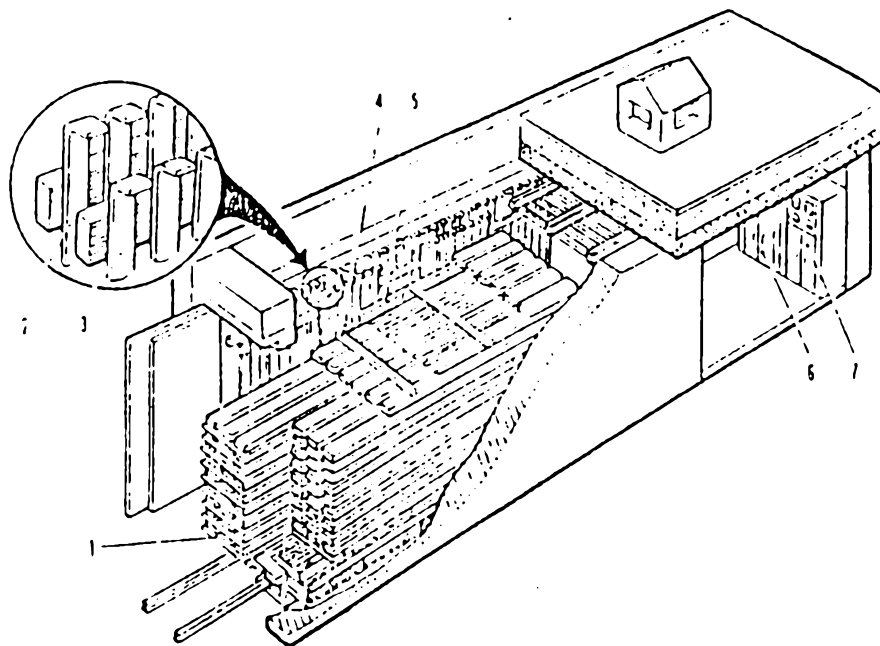
L'installation comporte quatre parties

La partie électrique, le générateur HF et la régulation automatique - Le tunnel de séchage isolé à la laine de verre - Le tapis roulant qui transporte les ébauches en bois et qui passe dans le tunnel de séchage - L'installation de ventilation combinant les effets de l'air chaud climatisé avec ceux de la haute fréquence.

Lors du passage des ébauches brutes sous les électrodes, l'eau contenue dans le bois est rapidement chauffée par l'agitation moléculaire. Le ventilateur souffle sur le bois, ici de bas en haut, pour éliminer par des cheminées munies de clapets, la vapeur d'eau ainsi produite. La régulation automatique règle la vitesse du tapis, l'intensité du courant et la distance entre le bois et l'électrode supérieure (re marquer ce dernier réglage obtenu par un système de poulies et contre poids) (Dnc Bully)

FIGURA 24: Secador alta frecuencia

(Fuente: Joly v More-Chevalier 1980)



SCHEMA D'UN SECHOIR UTILISANT LE CHAMP MAGNETIQUE

(Doc. « Holz Kurier » selon Modelist Konstruktor 1976)

1. Wagonnet avec le bois - 2. Enroulement de base du solénoïde - 3. Enroulement secondaire du solénoïde - 4. Baguettes d'empilage - 5. Grille ferromagnétique - 6. Armoire de commande - 7. Régulation et contrôle.

FIGURA 24; Secador Campo electromagnético

(Fuente: Joly v More-Chevalier 1980)

METODOS DIVERSOS DE SECADO DE MADERA

Variados métodos se han propuesto para secar la madera, entre ellos tienen cierta aplicación los siguientes:

SECADO EN VAPORES ORGANICOS. Se reemplaza al aire como medio secante por vapores orgánicos, tal como tetracloro-etileno. El secado es generalmente bajo vacío y es más rápido que el secado convencional. Se ha aplicado en U.S.A. con éxito para postes y durmientes, pero experimentos en Australia en madera aserrada, aún cuando exitosos desde el punto de vista técnico, no encuentran aceptación industrial.

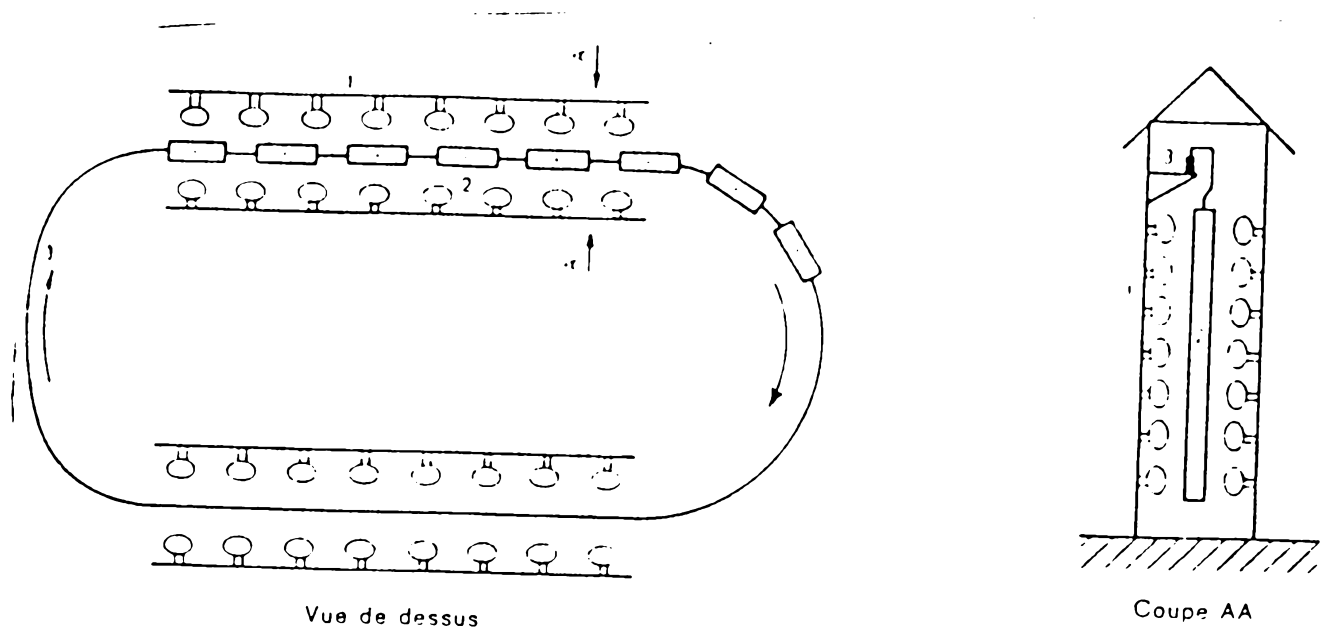
SECADO POR SOLVENTE ORGANICO. Se reemplaza el aire por un solvente líquido, especialmente acetona; la madera se hierve en la acetona y se seca satisfactoriamente; tiene aplicación en laboratorio, pero es peligrosa su contaminación y el riesgo de incendio.

BOULTONIZADO. La madera se hierve a presión atmosférica o bajo vacío en una mezcla de aceite pesado y pentaclorofenol; se seca y al mismo tiempo se impregna con el preservante. Se ha utilizado para la preservación de durmientes y postes.

SECADO POR CENTRIFUGACION. La madera se coloca sobre una plataforma que da vuelta alrededor de un eje vertical entre 30 a 60 RPM; la fuerza centrífuga debe acelerar la evacuación del agua.

SECADO POR RADIACION INFRARROJA. Es útil solamente para determinar el peso anhidro de astillas o virutas; si se usa una intensidad suficiente para secar la madera, se quema la superficie (figura 25).

SECADO QUIMICO. Consiste en la impregnación de la madera con una sal, tal como la sal corriente, urea u otros productos. Estos productos químicos tienen la propiedad de reducir la presión parcial del vapor de agua en la



Schema d'un séchoir aux infra rouges - 1. Rangées de lampes infra rouges - 2. Planches suspendues à un convoyeur aérien - 3. Convoyeur aérien à vitesse réglable.

FIGURA 25: Secador por radiación infraroja

(Fuente: Joly v More-Chevalier 1980)

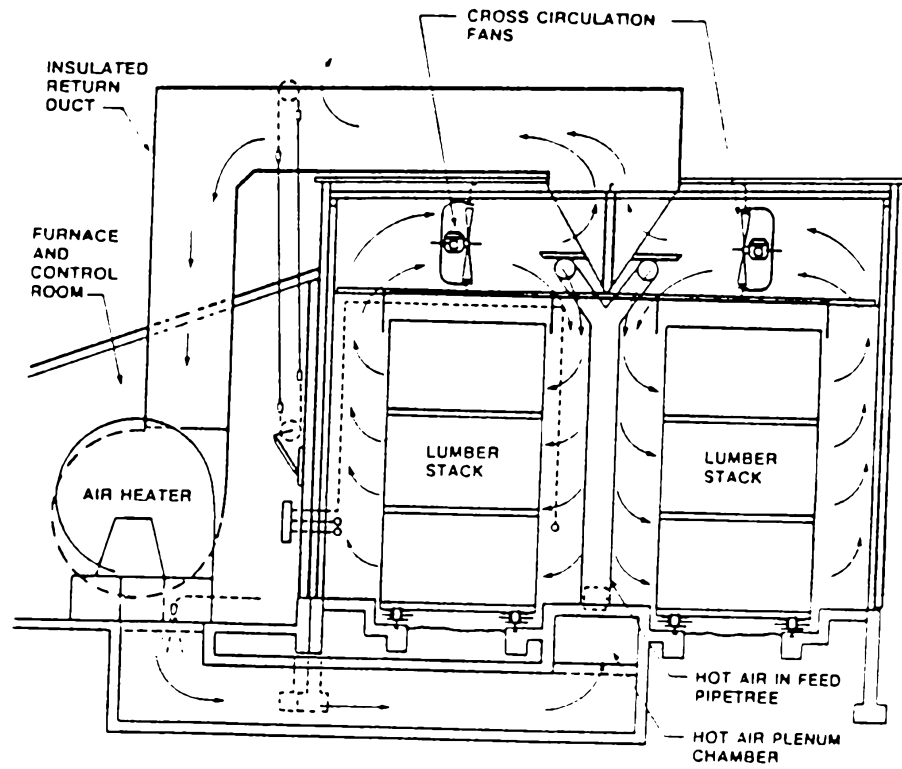


FIGURA 26: Secador directo por aire caliente

(Fuente: Bachrich 1980)

madera de tal modo que la evaporación en la superficie sea más lenta y la gradiente de humedad en la madera sea menor, la menor gradiente impide tensiones de secado muy altas y en consecuencia hay menos peligro de grietas. Este método es especialmente útil para secar secciones especiales como rodela completas de fustes para la fabricación de artículos decorativos, por ejemplo platos o ceniceros de madera.

SECADO DIRECTO POR AIRE CALIENTE. SECADO POR PRODUCTOS DE COMBUSTION (POC). En este tipo de secador los productos de combustión calientan aire en un quemador de leña, el cual es llevado directamente a la cámara donde se distribuye adecuadamente mediante pequeños ventiladores. También existen equipos calentadores de aire que son utilizados para inyectar aire caliente a la cámara de secado (figura 26). Con este secador se pueden alcanzar temperaturas de 70 a 80° C., pero la humedad ambiental no puede ser muy alta. No obstante, la temperatura puede elevarse incorporando al secador intercambiadores de calor, y la humedad ambiental puede mejorarse utilizando un humidificador de aire. En Chile se desea introducir esta tecnología, apta para secar madera aserrada en pequeñas y medianas industrias.

NOMINA DE PLANTAS DE SECADO EN CHILE

Las principales plantas de secado existentes en Chile con su capacidad instalada, las especies que secan y el contenido de humedad final que alcanza la madera en cada caso se indica en cuadro 1.

REGION	PROVINCIA	RAZON SOCIAL	NUMERO	CAP. MAXIMA	ESPECIF	C HUMEDAD
			CAMARAS	DE CARGA M / MES	PRINCIPAL	PROMEDIO FINAL (%)
07	Talca	Aserraderos Copihue S.A.	5	2.500	PIR	10
		Eduardo Martín Abojón	2	620	PIR	15
	Curicó	Maderas Toro y Cia Ltda	1	270	PIR	15
08	Concepción	Maderera Leonera Ltda.	10	3.300	PIR	15
		Cementos Bio-Bio S.A.	3	740	PIR	15
		Forestal Arauco S.A.	6	3.700	PIR	8
		Forestal Colcura S.A.	9	4.800	FLC	12
		Univ. del Bio-Bio	1	309	PIR	12
		Maderas Manquilevida	1	247	PIR	18
		Fernando Hartwig e Hijo	1	165	PIR	15
	Unidad Industrial Maderera	1	250	PIR	17	
	Rubio	Aserradero Chiquan S.A.	3	2.600	PIR	10
	Bio-Bio	Barraca Cabrero Ltda.	2	1.400	PIR	14
Maderas Nacimiento S.A.		2	1.300	PIR	15	
Aserraderos Andinos Ltda		4	1.800	PIR	8	
Ranulfo Maldonado		2	520	PIR	16	
Raul Perez Serani		2	250	PIR	17	
Arauco	Forestal Catempangue S.A.	2	1.600	S/I	S/I	
09	Cautín	Marcelo Foucade M	6	2.000	PIR	8
		Constructora Longleur Ltda.	1	620	PIR	18
		Silvia Ugarte C	2	186	PIR	12
		Maderera Pacifico Ltda.	5	800	TIP	8
10	Valdivia	EMASIL	4	1.500	PIR	12
		Centro Exp. Forest. U.A. de Ch	3	1.000	PIR	16
		TEMSA	3	1.200	TIP	12
		Luminadora de Maderas S.A.	4	2.100	PIR	10
		Constructora CAPRELA	3	324	PIR	15
	Osorno	Enrique Cáster II	1	500	PIR	12
	Puerto Montt	Soc. Construc. Los Lagos	2	600	TIP	8
	Chilo	INDUIDOR Ltda	2	1.200	TIP	15
		Soc. La Pirámida	1	825	TIP	20
11	Aysén	Industria Previso	1	7	LEN	10
12	Magallanes	Soc. Ind. de la Patagonia	3	142	LEN	12
		Exc. Industrial N° 46	1	14	LEN	15
		Maderas Stambuck	1	19	LEN	15
		Pablo Thomson Urbina	1	47	LEN	14
		Marcelo Pincheira	1	14	LEN	18
	M.N.	Roberto Hernández	2	495	PIR	12
		Ind. Mader. Klingenberg	2	206	PIR	12
		Illas y Cia. Ltda	2	2.000	PIR y OIR	15
		Maderas San Eugenio	1	83	PIR	12
		Tarrago Aguada y Cia.	1	124	PIR	S/I
		Alfonso Díaz Miranda	1	1.600	S/I	S/I

fuente: Elaborado en base a censo realizado por INFOR (faltan aún las Regiones V, VI y VIII A, B, C)

S. I : Sin información

PIR : Pino Radiata

TIP : Tapa

LEN : Langa

OIR : Otras

CUADRO 1: Principales plantas secado existentes en Chile

(Fuente: Peredo 1990)

BIBLIOGRAFIA

1. Bachrich, J. 1980. Dry kiln handbook. Simonds, Canada.
2. Joly, P.; More-Chevalier, F. 1980. Théorie, pratique, économie du séchage des bois, Vial, France.
3. Kauman, W.; Ananías, R. 1989. Curso de Secado. Apuntes mimeografiados, Departamento Ingeniería Maderas, U.B.B., Concepción.
4. Mc Millen, J. 1958. Stresses in wood during drying. Report 1652, F.P.L., Forest Service, U.S.D.A., U.S.A.
5. Novoa, M.; Rivas, O. 1990. Secado por vacío. Una experiencia con Eucalyptus globulus. Seminario titulación Departamento Ingeniería en Maderas, U.B.B., Concepción.
6. Peredo, M. 1990. Secado de la madera. Apuntes curso actualización en tecnología de la madera. Instituto Tecnología Productos Forestales, U. Austral, Valdivia.
7. Rasmusen, E. 1961. Dry kiln operator's Manual, Agriculture Handbook Nº 188, F.P.L. Forest Service, U.S.D.A., U.S.A.
8. Rietz, R. 1971. Air Drying of lumber. Agriculture Handbook Nº 402. F.P.L., Forest Service, U.S.D.A., U.S.A.
9. Tuset, R.; Duran, F. 1986. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Hemisferio Sur, Uruguay.

FLUJO 10

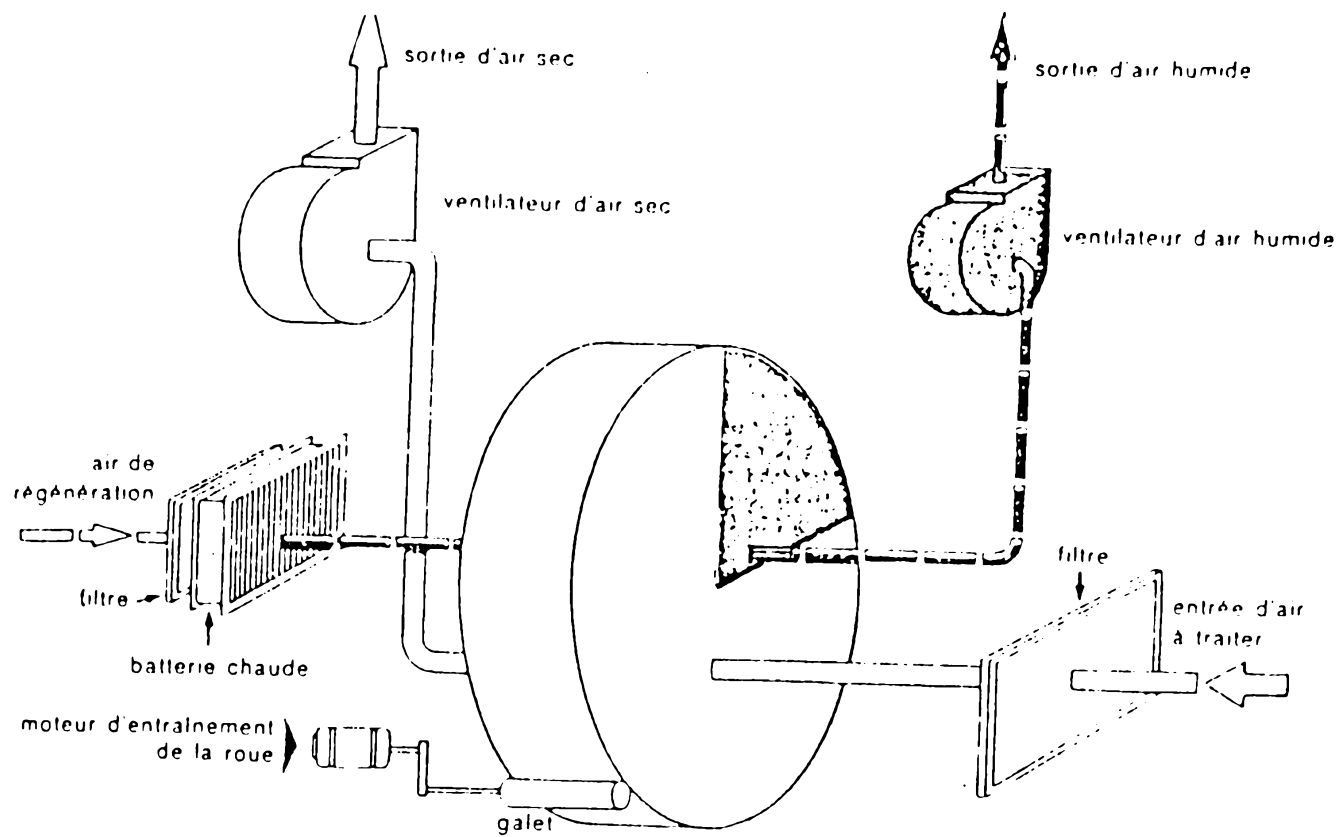
Tensiones Seccao. 1ª y 2ª Etapa

1ª ETAPA ← Extension : TENSION
Interior : COMPRESION

T	T	T	T	T	T	T	T
	C	C	C	C	C	C	C
T	C	C	C	C	C	C	T
T	T	T	T	T	T	T	T

2ª ETAPA ← Extension : COMPRESION
Interior : TENSION

C	C	C	C	C	C	C	C
	T	T	T	T	T	T	C
C	T	T	T	T	T	T	C
C	C	C	C	C	C	C	C

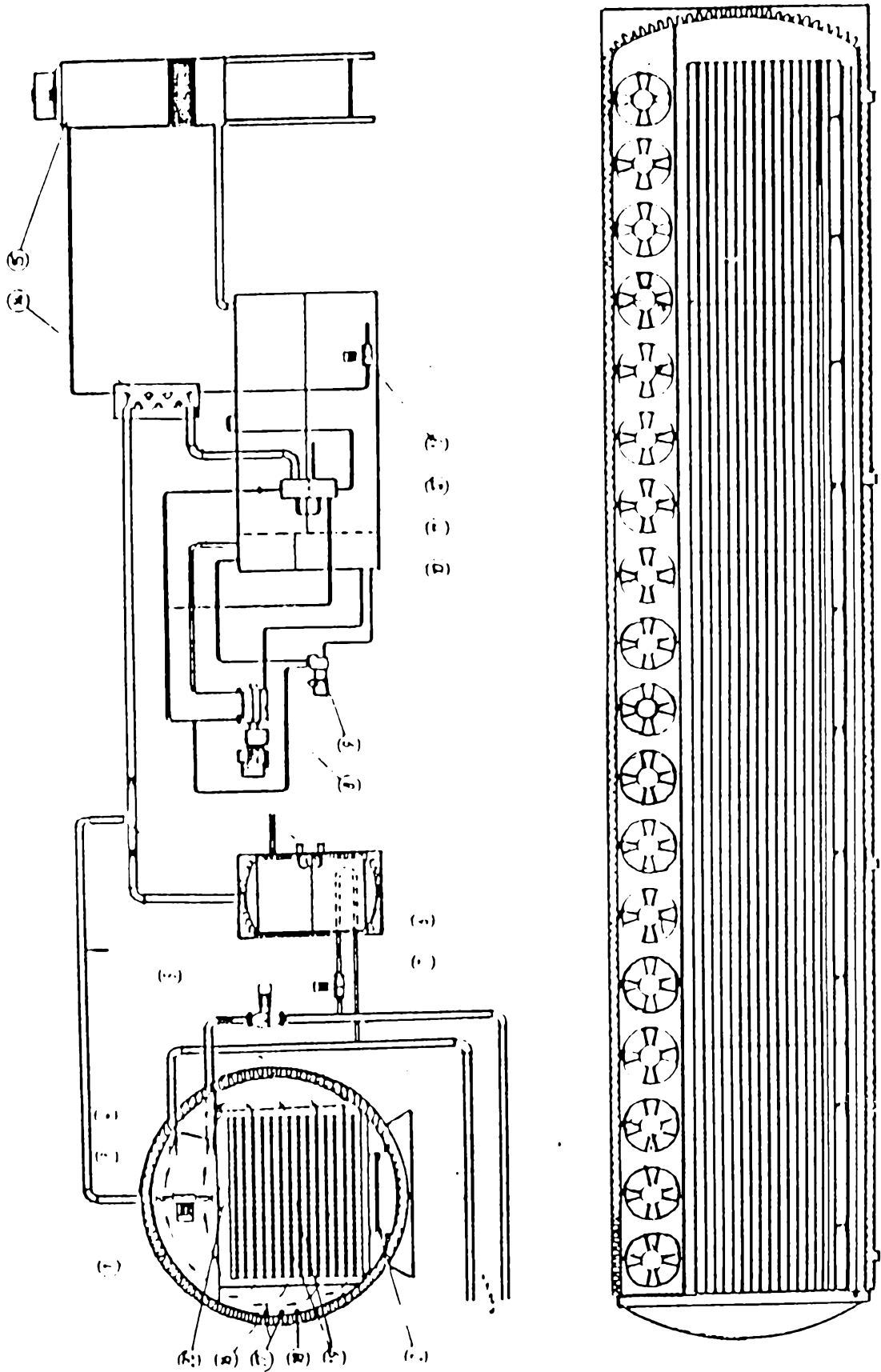


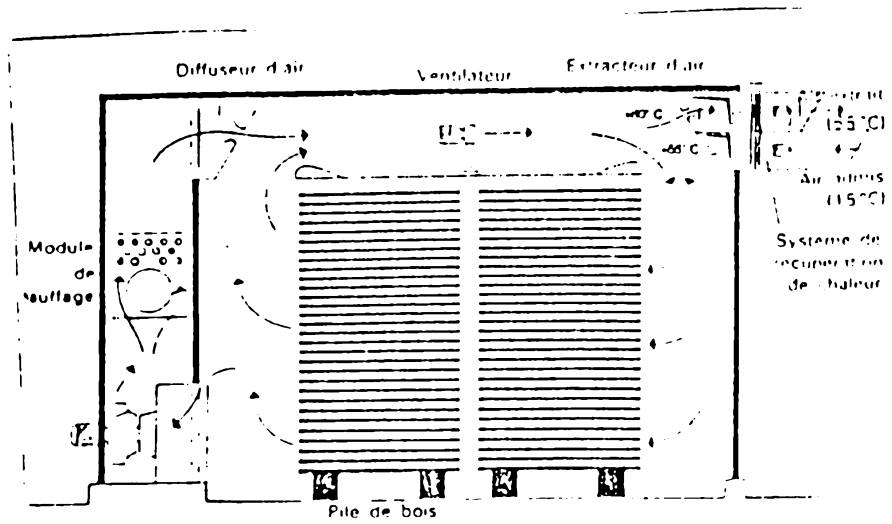
PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA ROUE MUNTERS

La roue Munters permet de fixer le chlorure de lithium utilisé comme agent déshydrateur. (Doc. Climacure)

METHODS OF HEATING *

MEDIUM	PRESSURE	HEATING MEDIUM TEMP °F	ADD HUMIDITY	HEAT EXCH	VENT CONTROL	DIRECT FIRED	CONSTITUTED TO ATMOSPHER	MOST SUITABLE FOR
1 Low pressure steam	15 PSI	250 F	Steam	Yes	Yes	No	No	Temp to 185 F Hi Humidity
2 Med pressure steam	150 PSI	366 F	Steam	Yes	Yes	No	No	Temp to 240 F Good Humidity Control
3 Hi pressure steam	Over 150 PSI	Over 366 F	Steam & Water	Yes	Yes	No	No	Hi Temp Kilns
4 Low Pressure Hot Water	50 PSI	250 F	Hot Water	Yes	Yes	No	No	Temp to 185 F
5 Electricity	410V- 550V	1500 F	Optional Water or Steam	Yes	Yes	No	No	Hi Temp or Booster to Lower Temp Kiln
6 Gas Butane Heated W/Heat Exchanger		700 F	Optional Water or Steam	Yes	Yes	No	No	Med Hi Temp Very Rare
7 Gas-Butane Heated Direct Fired		400 F	Optional Water or Steam	No	Yes	Yes	Yes	Med to Hi Temp Low Humidity WB Say - 160°F
8 Wood Waste Direct Fired		400 F	Optional Water or Steam	No	Yes	Yes	Yes	Med to Hi Temp Low Humidity
9 Wood Waste Fired W/Heat Exchanger		1000 F	Optional Water or Steam	Yes	Yes	No	No	Med to Hi Temp Very Rare
10 Wood Waste Fired Heat Exchanger W/Heating Oil		100- 500 F	Optional Water or Steam	Yes	Yes	No	No	Hi Temp — Rare





Temple de séchoir type traditionnel équipé d'un système de récupération de chaleur au niveau des évents (on réchauffe l'air admis avec la chaleur de l'air extrait). (Doc. Hildebrand)

