

## SECADO INDUSTRIAL DE LA MADERA

SERGIO BENAVIDES

Investigador del I. E. E.

### 1.—GENERALIDADES

La madera, un material de múltiples aplicaciones en la construcción, es en nuestro país uno de los factores más positivos de solución del problema habitacional.

Sus características de materia viva proporcionan las agradables sorpresas de una variedad infinita de formas y colores que, unidas a su excelente comportamiento a las sollicitaciones mecánicas, dan como resultado un elemento rico en posibilidades arquitectónicas. Pero, por estas mismas cualidades de material vivo, es necesario acondicionarlo, mediante procesos industriales o naturales, hasta darle forma y estabilidad para ser usado.

Entre estos procesos está el de secar convenientemente la madera, con lo cual se obtienen múltiples ventajas:

- a) Estabilización de las dimensiones de las piezas.
- b) Mejoramiento de la resistencia a las sollicitaciones mecánicas.
- c) Aumento de la resistencia a los agentes biológicos de deterioro.
- d) Mayor facilidad para trabajar el material.
- e) Mejoramiento de sus condiciones de aislante térmico y eléctrico.
- f) Reducción de los costos de transporte mediante la disminución de peso.

### 2.—LA MADERA EN RELACION CON LA HUMEDAD

El conocimiento de algunos conceptos generales y de un vocabulario técnico, es necesario para comprender las variaciones de la madera con respecto a su humedad:

- a) *Contenido de humedad.*—Es la cantidad de agua que, expresada en

porcentaje de su peso totalmente seca, retiene la madera en las paredes de la fibra y en las cavidades entre éstas.

El origen de la humedad de la madera proviene de la savia de árbol vivo y de la absorción del medio ambiente en que se encuentra el material; su variación es muy grande, alcanzando frecuentemente un valor superior al 200% en la albura de algunos árboles.

b) *Punto de saturación de la fibra.*—La humedad de la madera contenida en las cavidades de las fibras es fácilmente evaporable, no así la que satura las paredes de las fibras. Por esta razón, al exponer la madera a condiciones que permiten la pérdida de la humedad, se llegará a un momento en que las cavidades de las fibras estarán desprovistas de agua y las paredes totalmente saturadas. El contenido de humedad en que sucede este fenómeno se llama "punto de saturación de la fibra", y a pesar de ser ligeramente variable para las distintas especies se puede considerar aproximadamente en un 30%.

Como las variaciones volumétricas de la madera se producen cuando ésta pierde la humedad contenida en las paredes de la fibra, la determinación del punto de saturación de éstas tiene una gran importancia. Por la dificultad de la pérdida de humedad y por estas variaciones de volumen se puede considerar que bajo este punto se producen los problemas del secado representados, principalmente, por los defectos de: grietas, rajaduras, curvaturas, alabeo, distorsión de la sección, colapso, aflojamiento de los nudos, etc.

c) *Humedad de equilibrio.*—Como la madera es un material higroscópico, absorbe o elimina agua en relación a la humedad relativa del medio en que se encuentra, llegando a producirse una armonía entre ambas, llamada "contenido de humedad de equilibrio". Este dato importantísimo para el secado industrial, determina la humedad final requerida para los diferentes usos dados al material. Alcanzarla, no siempre es posible con el secamiento natural, sobre todo si se trata de maderas que serán usadas

en interiores calefaccionados o con clima artificial.

La humedad de equilibrio varía según la humedad relativa del aire, y por lo tanto es diferente con respecto a la ubicación geográfica, las estaciones del año y el lugar de ubicación del material.

En Chile, recién se han iniciado estudios tendientes a determinar las humedades de equilibrio con un criterio científico. El Instituto Forestal y la Universidad de Chile, a través del Departamento de Tecnología de la Madera de la Facultad de Agronomía están haciendo mediciones que permitirán trazar las isopleas de la humedad de equilibrio de la madera en un mapa del país.

d) *Variaciones volumétricas.*—La pérdida de humedad de las paredes de las fibras producen una disminución de su espesor que se traduce en una variación volumétrica de las piezas de madera. Esta variación es proporcional al contenido de humedad hasta el punto de saturación de la fibra, desapareciendo más allá de éste; es diferente de acuerdo a las especies, defectos de la madera, ubicación de ésta con respecto al árbol, y crecimiento de éste. Respecto al último punto se puede indicar que la madera formada en el verano se contrae menos que la de invierno en el sentido longitudinal de la fibra y más en el transversal.

Tomando en cuenta su ubicación en el árbol, la madera se contrae en tres direcciones, cada una de las cuales tiene un valor diferente.

Longitudinal o paralela con respecto al eje longitudinal del tronco. Las contracciones en este sentido son pequeñas 0,1 a 0,2%.

Tangencial o paralela a los anillos de crecimiento. El valor en este sentido es el mayor, siendo aproximadamente 2 veces mayor que la contracción radial.

Radial o perpendicular a los anillos de crecimiento. Su diferencia con respecto a la contracción tangencial provoca la mayoría de las deformaciones de la madera.

Para encontrar el valor de las variaciones volumétricas provocadas por el cambio de humedad se puede usar la siguiente fórmula:

$$S = \frac{(M_i - M_f) D}{(30 - S_r)} - M_i$$

Donde:

S—Contracción o expansión.

M<sub>i</sub>—Contenido inicial de humedad.

M<sub>f</sub>—Contenido final de humedad.

D—Dimensión inicial.

30—Punto de saturación de la fibra.

S<sub>t</sub>—Contracción tangencial dividido por 100.

S<sub>r</sub>—Contracción radial dividido por 100.

NOTA: Para el valor de las contracciones de las diferentes especies de maderas chilenas se puede consultar en la bibliografía:

"LA MADERA" de A. Fernández G. y E. Torricelli D.

"COSTOS DEL SECADO INDUSTRIAL DE LA MADERA" Seminario de Edificación. Sergio Benavides V. pág. 24.

e) *Variaciones de peso.*—Las diferencias en el peso de la madera son un factor importante en su valor debido principalmente a que los centros de consumo están muy alejados de los lugares de producción haciendo que los costos de transporte sean un alto porcentaje del costo final del material.

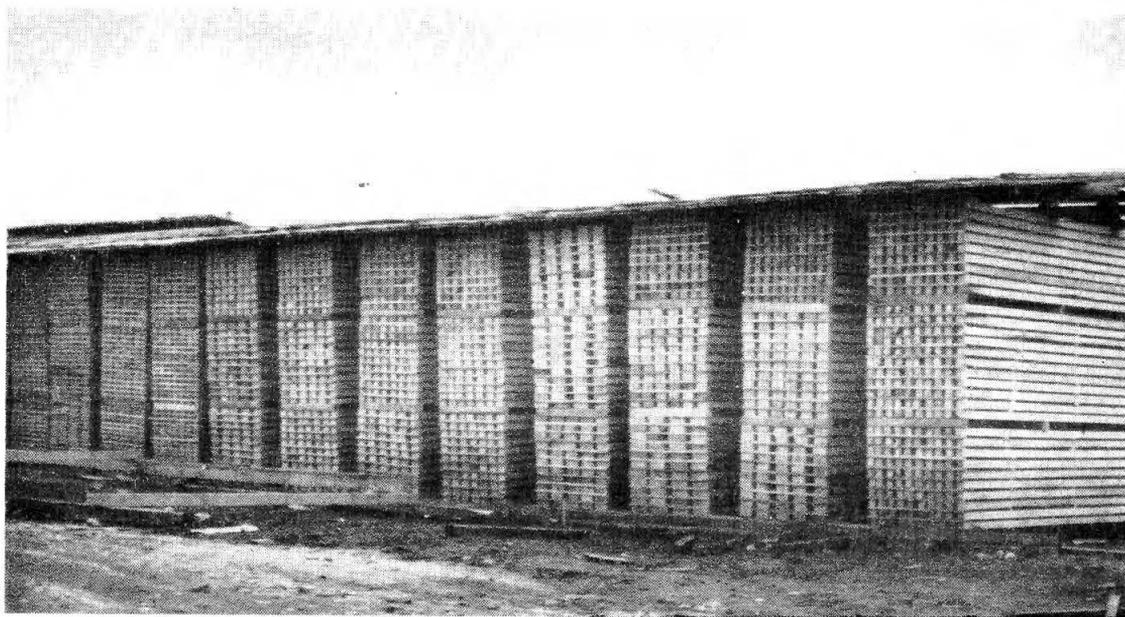
El peso de la madera es muy diferente entre una especie y otra, y aún en una misma especie varía en función a la edad, lugar de crecimiento ubicación de la madera en el árbol, etc.

El peso específico de las paredes celulares es el mismo en todas las maderas, si se le considera absolutamente seco (1,54) pero la estructura de la madera y los factores anteriormente citados alteran este valor, haciéndolo diferente para cada especie y calidad.

Los cambios de humedad bajo el punto de saturación de la fibra producen una variación del peso de la madera que depende, además de la pérdida de agua, de las contracciones volumétricas. Sobre este punto la madera varía solamente en función de la pérdida de humedad.

Los datos existentes para los pesos de maderas chilenas son muy pocos y

Secado natural.



se hace fundamental un estudio racional que permita el cálculo del peso en función de la humedad y de la especie, considerando sus variaciones volumétricas.

Estos datos no podrían ser exactos debido a las variaciones que determina el crecimiento de cada árbol, pero su aproximación sería de gran utilidad.

### 3.—SECADO

Como ya se dijo, la madera debe ser llevada a la humedad de equilibrio con el medio en el cual será usada; para conseguir esto, existen en general dos formas de secado:

\*Natural o al aire.

\*Industrial o artificial.

El primero consiste en exponer al aire la madera convenientemente apilada en canchas o cobertizos. La rapidez del secado y la humedad final lograda dependen de la humedad relativa del aire y del sistema de apilado.

El secado industrial es una forma de acelerar, controlar y uniformar el secado de la madera, para lo cual se se han creado diferentes procesos industriales. Entre éstos, el más racional y usado es el de colocar la madera en un ambiente al cual se le han variado, en forma controlada, sus condiciones de humedad, temperatura y circulación del aire; se llama "secamiento en cámaras" y en este artículo nos referiremos especialmente a él.

El secamiento artificial de la madera tiene ventajas evidentes sobre el natural:

a) Mayor rapidez en acondicionar la madera para ser usada.

b) Reducción del espacio de almacenamiento y manipulación.

c) Independencia de las condiciones climáticas.

d) Reducción de las pérdidas ocasionadas por el proceso de secado (agrietamiento, manchas, etc.).

e) Homogeneidad de la humedad final.

f) Posibilidad de determinar el contenido de humedad para usos en terminaciones interiores, que, por ser más bajas que la humedad de equilibrio de la madera en el exterior, no pueden ser alcanzados mediante el secado natural.

Antes de considerar los diferentes tipos de secadores, diremos algunas cosas importantes en relación al secamiento en cámaras.

Los factores fundamentales del secamiento son:

\* Ventilación.

\* Humedad Relativa.

\* Temperatura.

Todo estos factores están en íntima relación y la modificación de uno provoca la de los otros para producir un secado correcto.

\**Ventilación.*—El aire deberá tener un movimiento constante y uniforme en todas las superficies de la madera, permitiendo evaporar la humedad tan pronto como ésta llega.

Será necesario la reposición controlada del aire de manera de mantener las condiciones de temperatura y humedad relativa elegidas.

Atendiendo a la forma en que se produce el movimiento del aire, las cámaras de secado se dividen en:

# *Circulación natural:* El aire es impulsado por las diferencias de densidad que se producen con el contacto con la madera, que lo enfría y humedece.

# *Circulación forzada:* Los ventiladores que impulsan el aire permiten el control de la velocidad. Se pueden colocar dentro o fuera de la cámara.

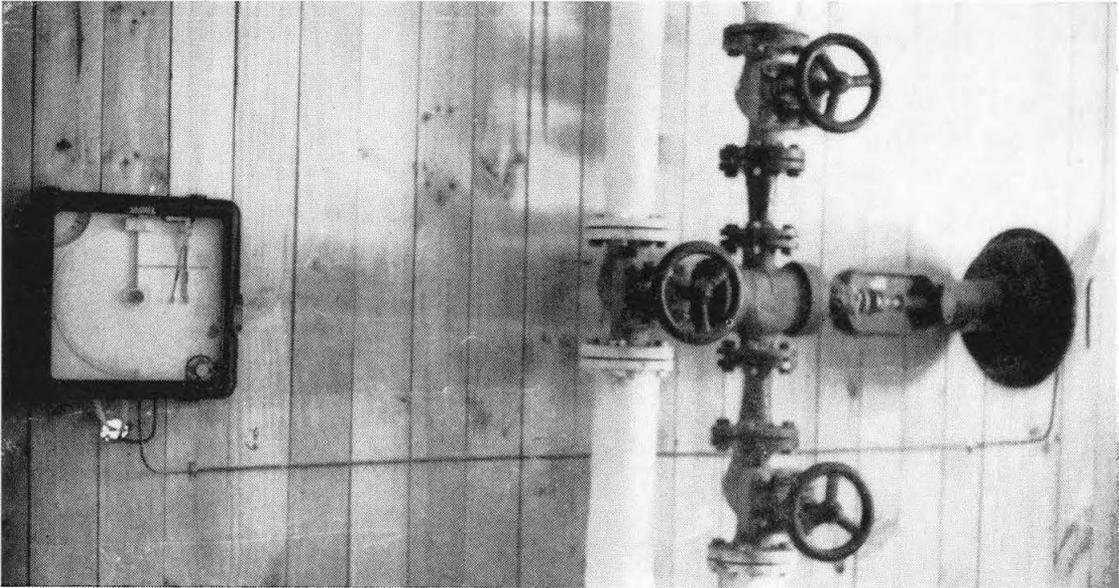
\* *Humedad Relativa:* Se puede definir como la relación, expresada en porcentaje, entre el contenido de humedad del aire y el necesario para su saturación.

El aire se hace más higroscópico a medida que su humedad relativa disminuye permitiendo aumentar su poder secador.

\* *Temperatura:* El aumento de temperatura, produce una disminución de la humedad relativa del aire y al mismo tiempo permite que la madera pierda su humedad con mayor rapidez. Esto determina que la tem-

\* *Células de secamiento:* Son una sucesión de condiciones de humedad y temperatura del aire indicadas por la experiencia y que permiten programar el secamiento.

Estas células de secamiento depen-



Instrumentos de control de un secador progresivo.

peratura sea un factor muy importante en el proceso de secamiento.

La fuente productora de calor es generalmente el vapor, muy fácil y barato de producir mediante la combustión de los desechos de la madera.

La energía necesaria para el funcionamiento de una cámara es muy variable, correspondiendo a las características de aislación y diseño del secador, de las condiciones atmosféricas del lugar de emplazamiento y de la madera que se desea secar.

\* *Instrumentos de control:* La temperatura y la humedad relativa existentes en el interior de la cámara se pueden medir con un sicrómetro. Las medidas que éste indique permitirán la modificación de los factores anteriormente señalados de acuerdo a las células de secamiento y a las muestras colocadas dentro de la cámara. Esta modificación puede ser manual o automática.

den de la especie, dimensión y humedad inicial de la madera.

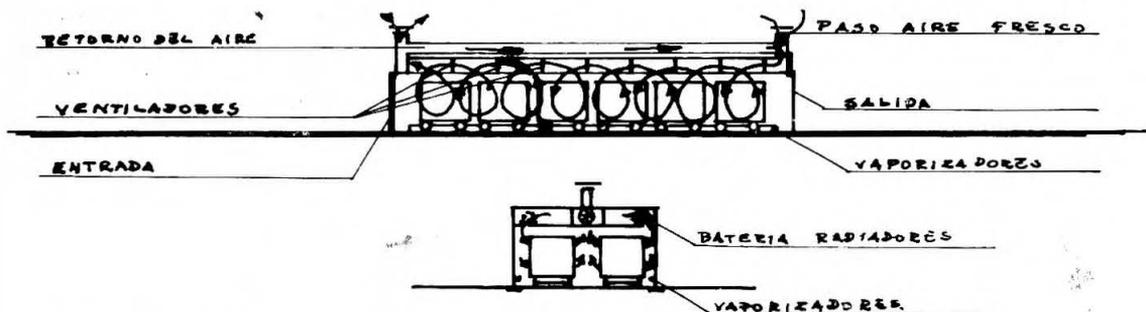
\* *Muestras:* Son probetas representativas de las condiciones de la madera a secar y que pueden ser probadas en cualquiera etapa del secado.

Las muestras son preparadas especialmente para el control de cada defecto producido por el secamiento y se ubican en diferentes puntos del castillo.

Atendiendo a su método de carga los secadores se agrupan en:

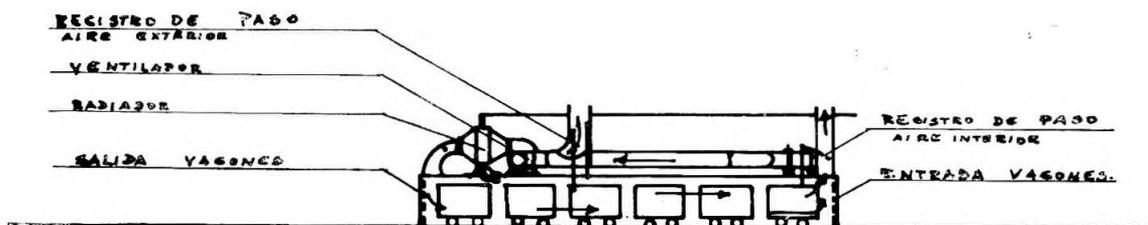
- a) Secadores progresivos;
- b) Secadores de compartimiento.

a) *Secadores progresivos.*—Son secadores en los cuales se dan simultáneamente las diferentes etapas del secado. Constan de un túnel por uno de cuyos extremos es introducida la madera encontrando bajas temperaturas y alta humedad en el aire; a



tunel de ventilación múltiple.

SECA DORES                      PROGRESIVOS.



medida que avanza, las condiciones se hacen más rigurosas hasta alcanzar, en la salida por el otro extremo, condiciones ajustadas para la finalización del proceso.

El grado de control que se tiene sobre la operación es muy limitado, por lo cual este tipo de secadores sólo es apropiado para maderas homogéneas en su dimensión, especie y humedad inicial y que sean de fácil secado.

Mientras más largo es el túnel, mayor variedad de condiciones se pueden obtener.

La forma de circulación del aire divide a estos secadores en:

- De circulación longitudinal.
- De circulación transversal.

b) *Secadores de compartimiento.*— Son cámaras cerradas en las cuales

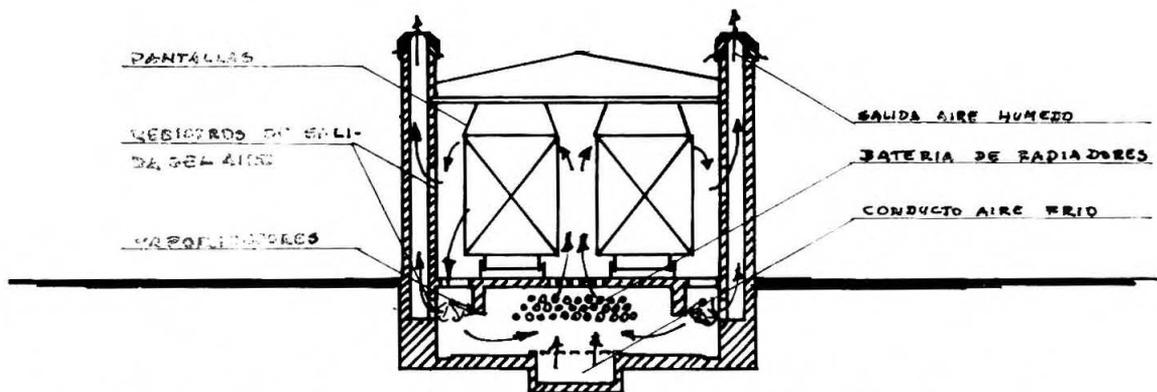
se coloca la madera y se le aplican sucesivamente las condiciones necesarias de temperatura y humedad del aire.

En estos secadores es posible variar en cualquier momento el programa de secado de acuerdo a las condiciones del proceso.

Basándose en la forma de circulación del aire se puede agrupar a los secadores en:

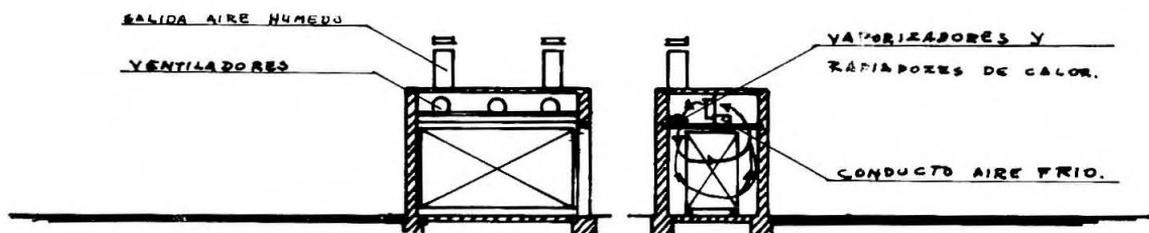
- Ventilación Natural.
- Ventilación Forzada.
- Circulación longitudinal.
- Circulación transversal.

Los secadores de circulación forzada transversal con los ventiladores axiales interiores son los que más aceptación tienen, debido a su mejor funcionamiento.



esquema de cámara de vent. natural.

## SECADORES DE COMPARTIMIENTO O.



cámara de ventilación interna.

Al hacer una comparación entre los secadores progresivos y de compartimiento se obtienen las siguientes conclusiones.

### SECADORES PROGRESIVOS

#### Ventajas

- Menor costo de construcción.
- Menor costo de funcionamiento.
- Producción constante.

#### Desventajas.

- Sólo se puede secar una especie de igual dimensionamiento y con una misma humedad final.
- No permiten interrupción del proceso.
- Las condiciones óptimas son difíciles de obtener.

—No es posible secar maderas propensas a los defectos del secado.

—No son apropiadas para pequeñas producciones.

—La carga y descarga producen variaciones de las condiciones de secamiento.

### SECADORES DE COMPARTIMIENTO

#### Ventajas

- Se puede construir en gran variedad de tamaños.
- Se puede interrumpir el proceso.
- Se pueden alternar especies y dimensiones.
- Cada carga puede ser llevada a una humedad diferente, según el uso.
- Se puede alterar el proceso, evitando pérdidas por defectos.

—Se pueden aplicar condiciones rigurosas para acelerar el secado.

—El secamiento final es homogéneo y preciso.

#### *Desventajas.*

—Mayor costo de instalación.

—Operación más costosa.

—Mayor vigilancia del proceso.

#### 4.—CONSIDERACIONES ECONOMICAS

En una comparación de costos entre el secado industrial y el natural es necesario considerar.

- a) Costos del proceso;
- b) Costos de transporte;
- c) Mejoramiento de la calidad del material;
- d) Mercado del producto.

a) Los costos del proceso son, en general, menores en el secado industrial, en que el natural, especialmente en las maderas latifoliadas que ofrecen mayor resistencia a la pérdida de humedad.

Las razones de este menor costo son: la rapidez del secado evita el alto incremento del lucro cesante de grandes capitales inmovilizados; las menores pérdidas producidas en el secado artificial, que se hacen más valiosas a medida que mejora la calidad de la madera.

b y c) Ambos puntos están íntimamente relacionados por el hecho de que la madera secada artificialmente alcanza, en general, humedades inferiores y más uniformes que la secada al aire.

La instalación de secadores en los lugares de producción de la madera, reduce los costos de transportes por la pérdida de peso, y además por la producción constante a través de las diferentes estaciones del año, generalmente muy rigurosas, permitiendo la utilización continua de los equipos de transportes, contribuyendo a su rápida amortización.

La resistencia de la madera a las sollicitaciones mecánicas mejora a medida que pierde su humedad, haciendo posible la utilización de tasas de trabajo más altas; agregando a

esto la mayor facilidad con que el material puede ser trabajado con máquinas y su estabilización dimensional, tendremos un elemento que hace posible el empleo de modernas técnicas de edificación, llámense éstas, precortado, prefabricación, laminado, etc.

d) Las exigencias del mercado externo son rigurosas y hacen necesaria la exportación de un producto de humedad uniforme que sólo es posible mediante el secado industrial.

El mercado interno está evolucionando hacia la adopción de las técnicas de edificación ya nombradas que exigen un material mejorado mediante estos procesos industriales.

A estas consideraciones agregaremos el beneficio que la instalación de secadores en los centros productores produce en cuanto a descentralización industrial, ocupación de mano de obra barata y aprovechamiento de desechos en la producción de energía y calor.

#### 5.—PRODUCCION Y CONSUMO

Del estudio de los cuadros I y II, se deduce que la capacidad de secado industrial en el país, es muy baja, si se considera que gran parte de la madera usada en la construcción debe tener una humedad menor que la que es posible obtener con el secado al aire. Es también importante apuntar que los valores de estos cuadros fueron obtenidos suponiendo una producción continua y operación correcta de los secadores que no siempre es efectiva en esta industria.

El desconocimiento de parte de productores y consumidores de las ventajas de un buen secado de la madera, el hecho de que la zona sur del país no cuente con las instalaciones suficientes para secar ni siquiera sus propias necesidades de madera de construcción, son significativos para valorar el estado actual del secado industrial.

En los últimos años se produjo un marcado interés por instalar secadores para la madera de pino insigne, como consecuencia del incremento de las exportaciones, pero esta tendencia

ha decaído como resultado de la inestabilidad de los mercados internos y externos, el alto costo de las

instalaciones y el desconocimiento de los costos de producción de parte de la mayoría de los empresarios.

CUADRO N° 1 (AÑO 1963)

	Compartimiento	Progresivos	Alta temp.	Antiguos	En construcción	Total
Capacidad de carga	1.682,80m <sup>3</sup>	708,00m <sup>3</sup>	34,60m <sup>3</sup>	673,80m <sup>3</sup>	846,40m <sup>3</sup>	3.945,60m <sup>3</sup>
Capacidad de secamiento diario	280,—m <sup>3</sup>	236,—m <sup>3</sup>	34,60m <sup>3</sup>	33,70m <sup>3</sup>	208,—m <sup>3</sup>	788,30m <sup>3</sup>
Porcentaje de la producción total	8,8%	7,5%	1,1%	1,07%	6,7%	25%

Tiempo de secado: Progresivo — 3 días  
Compartimiento — 6 días

Alta temperatura 1 día  
Antiguos 20 días

Producción Anual de madera: 950.000.00 m<sup>3</sup> (1962-1963)

FUENTE: INSTITUTO FORESTAL

CUADRO N° 2

ESPECIALIDAD A QUE ESTAN DEDICADOS LOS SECADORES

	N° de secadores	N° de unidades	Capacidad de carga m <sup>3</sup>	Capacidad de secado m <sup>3</sup>	Capac. neta %	Capac. secado %
Madera aserrada	21	37	2.210.00	530.00	56%	71%
Parquets	15	50	1.214.00	132.20	31%	17%
Varios	13	23	521.00	96.10	13%	12%
Totales	49	110	3.945.00	788.30	100%	100%
Instalaciones que secan pino insigne	7	18	1.410.—	395.—	35%	50%

FUENTE: INSTITUTO FORESTAL

#### 6.—Costo de un secador.

Los valores más adelante señalados corresponden a un secador instalado por una industria maderera en la zona central. Este secador tiene las siguientes características:

\* Secador progresivo de ventilación longitudinal forzada.

\* Túneles de secado de las siguientes dimensiones:

Ancho . . . . . 6,00 metros  
Alto . . . . . 3,25 metros  
Largo . . . . . 25,00 metros

\* Capacidad de producción: 100,00m<sup>3</sup> diarios de madera de pino insigne.

\* Aprovechamiento de los deshechos de madera (astillas) para la producción de vapor.

\* Edificio de madera de pino insigne impregnado con sales de arsénico y cobre.

—Estructura de 70x120mm sin diagonales.

—Forros exteriores de 20mm de espesor sobre un film de polietileno.



Secador progresivo ubicado en la localidad de Menque, Provincia de Concepción.

—Forros interiores de 20mm en diagonal sobre papel fieltro.

—Aislante térmico de lana de vidrio; doble colchoneta.

—Interiores de los túneles revestidos con planchas de asbesto-cemento de 4mm de espesor, clavado al forro de madera. (El fabricante del equipo del secador especificaba un edificio de hormigón, con condiciones térmicas menos eficientes. La variación introducida por la empresa permitió el ahorro de un 35% del valor del edificio).

A continuación damos los costos proporcionados por la empresa:

Edificio del secador ..	E <sup>o</sup> 120.000
Equipo del secador instalado .. . . . .	320.000
Edificio para calderas	12.000

Equipo de calderas instalados (nacional) . .	110.000
Valor total	E <sup>o</sup> 562.000

El costo aproximado del secado de madera de pino insigne, introducido con humedad promedio 40% y llevada a un 15% final, es de aproximadamente E<sup>o</sup> 10,00 por m<sup>3</sup>, valor que se amortiza casi totalmente por el menor costo de transporte hasta el centro de consumo de la madera ubicado a 100 Km., de distancia. Si se consideran las otras ventajas económicas que proporciona el secado artificial y que ya fueron indicadas, es evidente que este costo no tan sólo es amortizado en su totalidad, sino que permite al empresario obtener una utilidad consecuente a su inversión y riesgo.

#### BIBLIOGRAFIA

CENTRO REGIONAL DE AYUDA TECNICA.—Secado de Madera.

TESIS PRESENTADA POR JUAN SANHUEZA H.—Estudio e informe sobre comparación de dos secamientos industriales de madera. Facultad de Agronomía, Universidad de Chile, 1960.

ELIEL J. SAHLMAN - MARIO HAN R.—Secamiento artificial de la Madera. Instituto Forestal.

A. FERNANDEZ GARCIA - E. TORRICELLI DIAZ.—La Madera.

E. TORRICELLI D.—Propiedades Físicas y mecánicas de las maderas chilenas.

A. VALLIERE.—Sécheje des Bois.

LEVY H. y DOBRY R.—Estudio de las contracciones de la madera en función de la humedad e inclinación con respecto a los anillos de crecimiento. IDIEM.

JUAN CORTES.—Seminario de Edificación Secamiento artificial de la Madera. I. E. E.

SERGIO BENAVIDES.—Seminario de Edificación Costos del secado industrial de la madera. I. E. E.