

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente

EVALUACION ECONOMICA DE LA INSTALACION
DE UN SECADOR DE MADERA EN EL ASERRADERO DE LA
DIVISION EL TENIENTE DE CODELCO CHILE



MARIO RODOLFO DEL CARMEN ANGEL MICHEA

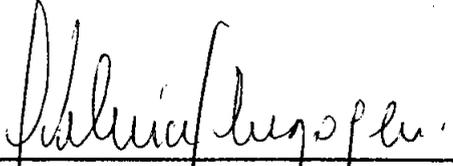
MEMORIA DE TITULO
PRESENTADA A LA FACULTAD
DE CIENCIAS FORESTALES
DE LA UNIVERSIDAD DE
CONCEPCION PARA OPTAR
AL TITULO DE INGENIERO
FORESTAL.

CONCEPCION - CHILE

1995

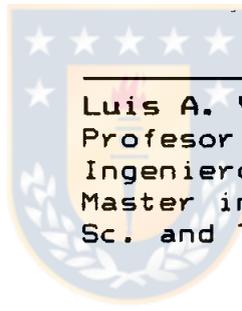
EVALUACION ECONOMICA DE LA INSTALACION
DE UN SECADOR DE MADERA EN EL ASERRADERO DE LA
DIVISION EL TENIENTE DE CODELCO CHILE

Profesor Asesor



Osvaldo E. Valeria Echevoyen
Profesor Instructor
Ingeniero Forestal.

Profesor Asesor



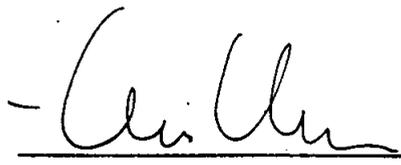
Luis A. Valenzuela Hurtado
Profesor Asociado
Ingeniero de Ejecución en Maderas
Master in Wood Sc., Ph D. in Wood
Sc. and Technology.

Director Departamento
de Manejo de Bosques
y Medio Ambiente.



Fernando R. Drake Aranda
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal.

Decano Facultad de
Ciencias Forestales.



Dr. Jaime A. Millán Herrera
Profesor Titular
Ingeniero Forestal.

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a Codelco Chile División El Teniente por haber depositado en mi la confianza de realizar este estudio, especialmente al Departamento de Servicios Generales y a la Unidad Forestal Maderera, quienes brindaron su cooperación y buena voluntad durante el período que trabaje con ellos.

Al Ingeniero Forestal Don Claudio Lobos C., jefe de la Unidad Forestal Maderera, y a cada uno de los integrantes de dicha Unidad, por su ayuda y orientación en la recopilación de antecedentes relacionados con la producción de madera aserrada en la División.

Al profesor guía Don Osvaldo Valeria E. por su entrega en favor del desarrollo de esta memoria, su aporte intelectual y su excelente voluntad, demostrada cada vez que fue requerida.

Al profesor Don Luis Valenzuela por su orientación y ayuda en el tema de secado de madera.

Por último deseo agradecer a todas las personas que, de una u otra forma, cooperaron en la realización de este estudio y que gracias a su valioso aporte hicieron posible lo que ya es realidad.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Mario y Elsa, que con su esfuerzo e infinito amor han permitido realizarme como persona y profesional.

A la Universidad de Concepción, en particular a los profesores de la Facultad de Ciencias Forestales, que durante los años de estudio aportaron con conocimientos técnicos y experiencias personales, para enfrentar el desafío laboral.

A mi hermana Carola, que siempre me dio el apoyo y la fuerza para terminar con este trabajo.

A mis amigos que siempre me han ayudado y alentado en los buenos y malos momentos.

A Dios, que desde lo alto me ilumina y acompaña en cada paso que avanzo por mi camino.

A cada uno de ellos le dedico todo mi esfuerzo y todo mi trabajo reflejado en las páginas de esta memoria de título.

INDICE DE MATERIAS

CAPITULOS	PAGINA
I. INTRODUCCION	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos	2
II. REVISION BIBLIOGRAFICA	3
2.1 Características de la madera	4
2.1.1 Especie	4
2.1.2 Permeabilidad	6
2.1.3 Durabilidad	7
2.1.4 Dimensiones	9
2.1.5 Contenido de humedad (C.H)	10
2.1.6 Punto de saturación de la fibra (P.S.F)	14
2.1.7 Contenido de humedad de equilibrio (C.H.E) .	14
2.1.8 Gradiente de humedad	16
2.1.9 Fuerzas que mueven el agua	17
2.2 Características del medio	18
2.3 Formas de secar la madera	22
2.4 Defectos de la madera	26
2.5 Métodos de secado	32
2.5.1 Secado al aire	33
2.5.2 Secado artificial	36
III. MATERIALES Y METODOS	56
3.1 Características de las especies	57
3.2 Análisis del mercado	59
3.2.1 Oferta de madera aserrada	59
3.2.2 Demanda de madera aserrada	60
3.2.3 Oferta de equipos de secado	62
3.2.4 Comercialización	63
3.2.5 Precio	64

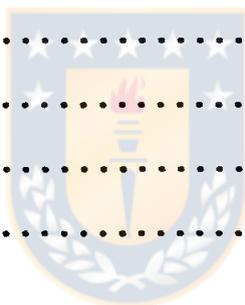
CAPITULOS**PAGINA**

3.3	Generación de alternativas	67
3.4	Estudio técnico	71
3.4.1	Definición del producto	71
3.4.2	Volumen de madera a secar	72
3.4.3	Dimensiones de las piezas	74
3.4.4	Alternativa 1: Presecado natural y secado convencional	75
3.4.4.1	Condiciones climáticas	75
3.4.4.2	Tipo de castillo	75
3.4.4.3	Distribución del patio	78
3.4.4.4	Tiempo de presecado	78
3.4.4.5	Cancha de secado	80
3.4.4.6	Secado convencional	81
3.4.4.7	Tiempo de secado	82
3.4.4.8	Defectos	83
3.4.5	Alternativa 2: Secado convencional	83
3.4.5.1	Descripción de la tecnología	83
3.4.5.2	Descripción del equipo	92
3.4.5.3	Tiempo de secado	96
3.4.5.4	Operación	98
3.4.5.5	Defectos	98
3.4.6	Alternativa 3: Secado por deshumidificación	99
3.4.6.1	Descripción de la tecnología	99
3.4.6.2	Descripción del equipo	101
3.4.6.3	Consumo operacional	102
3.4.6.4	Tiempo de secado	103
3.4.6.5	Operación	103
3.4.6.6	Defectos	104
3.5	Costo e Inversiones	104
3.5.1	Alternativa 1	104
3.5.2	Alternativa 2	105
3.5.3	Alternativa 3	105
3.6	Metodología de evaluación	106

CAPITULOS

PAGINA

IV. RESULTADOS Y DISCUCION	109
4.1 Alternativa 1	109
4.2 Alternativa 2	109
4.3 Alternativa 3	109
4.4 Análisis de sensibilidad	111
4.4.1 Evaluación económica considerando una disminución del precio de mercado para el cálculo de los beneficios	111
4.4.2 Evaluación económica considerando un aumento de los costos en un 10%	112
4.4.3 Evaluación económica considerando una disminución de las ventas en un 10%	112
V. CONCLUSIONES	114
VI. RESUMEN	115
VII. BIBLIOGRAFIA	117
VIII. APENDICE	120



INDICE DE TABLAS

TABLA N°	PAGINA
1. Contenido de humedad promedio en relación a su uso	13
2. Temperatura de ebullición en función de la presión .	49
3. Distribución anual del consumo de madera por Departamentos en División El Teniente	61
4. Consumo de madera anual de acuerdo a las especies utilizadas en División El Teniente	61
5. Distribución de la producción de madera aserrada en División El Teniente	62
6. Valor madera elaborada de eucalipto	64
7. Precio a nivel regional de madera dimensionada dimensionada y elaborada	65
8. Valor madera aserrada secada en horno	66
9. Tiempo de secado natural para madera de eucalipto ..	79
10. Tiempo de secado	96
11. Tiempo de secado para coigue	97
12. Tiempo de secado para eucalipto	97
13. Características equipo Incomac, MAC 35/4g HP	102

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	PAGINA
<u>En el texto</u>	
1. Representación esquemática del movimiento del agua en la madera	25
2. Diagrama de corte de troza aserrable	73
<u>En el apendice</u>	
1a. Producción regional de madera de eucalipto	121
2a. Producción histórica de madera de eucalipto	122



I. INTRODUCCION

En la actualidad, la madera debe competir en el mercado con diferentes sustitutos, por lo cual su uso y comercialización deben considerar un material optimizado en sus propiedades físicas y mecánicas, que resulte atractivo al consumidor.

Por estas razones, la industria de la madera aserrada debe considerar como insoslayable el tratar este material, para aumentar su durabilidad natural y su condición de estabilidad al controlar su contenido de humedad con el ambiente.

Es por ello que hoy en día el país es testigo de la proliferación de secadores de madera, los que junto con mejorar las condiciones del material, reducen los tiempos necesarios para que la madera alcance este estado de equilibrio.

La División El Teniente de Codelco Chile dentro de su proceso productivo utiliza distintos tipos de madera, las que debido a las condiciones particulares de trabajo a que están expuestas, requieren tener una gran durabilidad.

Con el propósito de aumentar el aprovechamiento de la madera de eucalipto (*Eucaliptus globulus* labill), la División El

Teniente plantea la posibilidad de instalar un secador de madera en sus dependencias.

Los objetivos que persigue el estudio son los siguientes:

1.1 Objetivo general

Evaluar distintos métodos de secado, en madera poco permeable, que resulten atractivos desde el punto de vista económico para satisfacer las necesidades de la empresa.

1.2 Objetivos específicos

1. Determinar el volumen de madera a secar.
2. Formular y evaluar alternativas de métodos de secado, de acuerdo a las características de la madera en estudio.
3. Producir madera aserrada seca, con un contenido de humedad (12%) apropiado para su uso final.
4. Evitar pérdidas de madera de eucalipto y entregar productos con mayor valor agregado.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

El secado de madera se puede definir, como un proceso físico a través del cual el leño pierde humedad hasta alcanzar el contenido de humedad de equilibrio con el ambiente que lo rodea, dependiendo principalmente de la humedad y temperatura relativa de este último, especie y uso final que se quiera dar a ella (Cubillos et al., 1987).

Este proceso es una operación importante dentro de la industria de transformación de la madera y la razón por la que se aplica puede ser alguna de estas (Pérez, 1991):

- Exigencia en productos elaborados
- Disminución del costo de transporte
- Mayor calidad en terminación superficial
- Impedir ataque de hongos (bajo 20%)
- Aumento de la resistencia
- Mejorar las propiedades térmicas (mejor aislante)

El secado de madera varía de acuerdo a las características de la madera, las condiciones ambientales a que se encuentre y el método de secado.

2.1 Características de la madera

Dentro de las características de la madera tenemos:

especie, permeabilidad, durabilidad, dimensiones, contenido de humedad, punto de saturación de la fibra, contenido de humedad de equilibrio, gradiente de humedad y fuerzas que mueven el agua.

2.1.1 Especie. Todas las especies de árboles se agrupan en dos clases, maderas duras de hojas anchas y maderas blandas de hojas perinerves. Estos términos no se refieren a la dureza efectiva de la madera, más bien a clasificar a angiospermas y gimnospermas. La estructura de las maderas duras, angiospermas, es más compleja que las maderas blandas, gimnospermas, por lo que se deben diferenciar los procedimientos de secado, debido que la estructura de la madera y la ubicación del agua influyen en este proceso (AID, 1965).

La madera está compuesta de corteza, albura, duramen y médula. Las células de la madera varían en tamaño y forma, pero la mayoría son huecas y en forma de punta en los extremos. Estas células usualmente se llaman fibras o traqueidas y son características de las maderas blandas. Existen, también células de grandes diámetros o vasos y se encuentran en las maderas duras. Otro tipo de células son los

rayos medulares que van en líneas radiales de la médula a la corteza. Algunas maderas duras contienen rayos relativamente grandes, mientras que algunas maderas blandas contienen ductos resiníferos. Ambos son susceptibles de agrietarse en el secado (Simpson, 1991).

Un tipo particular de elemento anatómico, son las punteaduras (puntuaciones), importantes en el flujo de agua. Una punteadura es como una pequeña válvula que al abrirse conecta las células adyacentes. Las punteaduras a menudo incluyen sustancias que ocasionan que el flujo de agua sea muy lento (Simpson, 1991).

Las punteaduras en maderas blandas llegan a estar aspiradas debido al proceso de secado. En la aspiración el torus es desplazado tanto que cubre la abertura de la célula. En efecto, la válvula se cierra tanto que el flujo de agua a través de ella es inhibido, el resultado es una disminución en la tasa de secado (Simpson, 1991).

La aspiración de las punteaduras areoladas están relacionadas con los procesos que causan la desecación del núcleo central del leño (Harris, 1959 citado por Esau, 1976).

Cuando el torus está en posición media el agua se desplaza a través de los poros del margen (Baley, 1957 citado por Esau, 1976). Si está en posición lateral, el movimiento de agua queda restringido (Esau, 1976).

2.1.2 Permeabilidad. La permeabilidad queda definida como la facilidad con la cual un fluido atraviesa la madera en respuesta a una diferencia de presión. Esto es importante para cualquier proceso en que un líquido sea introducido o removido de la madera (Pérez, 1983).

Los tratamientos de secado e impregnación dependen directamente de esta propiedad.

La albura es generalmente mucho más permeable y sirve para el movimiento de sustancias dentro del árbol. A medida que las células de la albura se convierten en duramen, se infiltran en ellas resinas, gomas y otros materiales que reducen la permeabilidad, por lo que el movimiento del agua desde el interior a la superficie se realiza más lento en el duramen que en la albura (AID, 1965).

La poca permeabilidad del duramen ocasiona ciertos defectos de secado y requiere condiciones de secado más suaves (Simpson, 1991).

Debido a que la humedad se mueve más libremente en la albura que en el duramen, tanto por difusión como por capilaridad, ésta, generalmente, se seca más rápidamente que el duramen bajo las mismas condiciones de secado. Sin embargo, como es sabido, el duramen de muchas especies tiene un contenido de humedad menor que la albura y puede alcanzar un contenido de humedad final más rápido (Simpson, 1991).

De acuerdo a su permeabilidad se puede clasificar las distintas especies madereras de la siguiente forma (Gutiérrez, 1990):

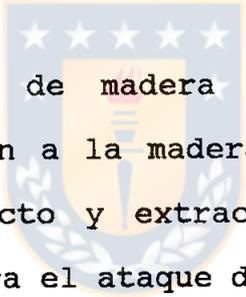
Alta permeabilidad	: Pino, Alamo, Canelo.
mediana permeabilidad:	Tepa, Olivillo, Laurel, Alerce.
mediana-baja	: Eucalipto, Coigue.
baja permeabilidad	: Luma, Tineo.

2.1.3 Durabilidad. La composición del tejido xilemático, la estructura y ordenación de sus elementos determinan las propiedades físicas del leño y su apropiado uso comercial (Forsaith, 1926; Record, 1934 citados por Esau, 1976).

Una madera se considera durable cuando es resistente físicamente y también a la pudrición y al manchado. En este sentido el duramen debido a sus características anatómicas, usualmente, es más resistente que la albura (Simpson, 1991).

La durabilidad depende de la especie, del ambiente en que se desarrolla, del tipo de hongo o insecto que la ataca y de las condiciones de la madera (Pérez, 1983).

Después que se corta la madera, el duramen en la mayoría de las especies resiste más a la descomposición, a las manchas y a los insectos que la albura. Sin embargo, en el árbol vivo la albura usualmente está menos sujeta al ataque, mientras que determinados hongos específicos atacan con frecuencia al duramen (AID, 1965).



El proceso de secado de madera aumenta la resistencia mecánica en comparación a la madera verde, a excepción de algunos casos de impacto y extracción de clavo. También existe un aumento contra el ataque de pudrición y manchas si la madera se mantiene a contenidos de humedad inferiores de 20% (Pérez, 1991).

La norma chilena define tres clases de durabilidad, de acuerdo a la resistencia y vida media probable en servicio de una madera sin tratar, de una calidad comercial promedio, usada en contacto con el suelo, en condiciones climáticas normales existentes en Chile (Pérez, 1983):

a) Durabilidad 1. Maderas durables, de las cuales se espera una vida útil superior a los 15 años.

b) Durabilidad 2. Maderas moderadamente durables de las cuales se espera una vida útil superior a 5 años e inferior a 15 años.

c) Durabilidad 3. Maderas poco durables de las cuales se espera una vida útil superior a 1 año pero inferior a 5 años.

2.1.4 Dimensiones. Las dimensiones de la madera a secar influyen en el tiempo de secado, ya que este aumenta con el espesor a una proporción que es más que el doble.

Teóricamente si el secado fuese controlado sólo por difusión, el tiempo de secado incrementaría por un factor de cuatro si el espesor fuera el doble. Pero debido a que otros mecanismos están involucrados en el proceso, los tiempos de secado aumentan 3-4 veces (Simpson, 1991).

Según la Junta del Acuerdo de Cartagena (1989), la duración del secado de la madera es exponencialmente proporcional a su espesor. Por tal razón es conveniente redimensionarla, antes del secado, a los espesores cercanos requeridos durante su posterior utilización.

Las variaciones de espesor en la madera causada por un aserrío deficiente conduciría a una variación excesiva del

contenido de humedad final o un tiempo exagerado dentro de la cámara de secado para igualar las diferencias. Por ejemplo, el tiempo de secado en cámara para una pulgada de espesor de roble rojo variará alrededor del 4% por cada 1/32 pulgadas de variación en espesor. A medida que el espesor de la madera es mayor, más dificultoso es el secado, mayores son los gradientes de humedad (Simpson, 1991).

La influencia del espesor es diferente según se considere una u otra fase del secado. De acuerdo con esto, en la primera etapa el factor controlante del ritmo del secado es la evaporación y en la segunda la difusión (JUNAC, 1989).

En la primera etapa la cantidad de agua perdida por evaporación, en peso, es independiente del espesor de la pieza pero no del contenido de humedad. En la segunda etapa entra en juego el fenómeno de difusión controlando el ritmo del secado. En estas circunstancias al disminuir el valor del coeficiente de difusión dependerá fuertemente del espesor de la pieza. En este caso el tiempo de secado es directamente proporcional al cuadrado del espesor de la pieza (JUNAC, 1989).

2.1.5 Contenido de humedad (C.H.). La madera en uso debe tener un contenido de humedad determinado por las condiciones

de temperatura y humedad relativa del presentes en el medio a que estará expuesta. De esta manera se evita que la madera "trabaje", es decir, sufra contracción o hinchamiento después de ser colocada en la obra o fabricar un producto (INFOR, 1967).

Todas las maderas recién cortadas contienen una cantidad considerable de humedad. Esta agua existe en la madera de dos formas (AID, 1965):

- como líquido contenido en cavidades celulares o agua libre
- como agua absorvida o retenida en las paredes de la célula misma.



El agua ligada requiere más energía para ser removida que el agua libre, además afecta las propiedades físicas y mecánicas, no así el agua libre que afecta las propiedades térmicas y de permeabilidad (Gutiérrez, 1990).

El contenido de humedad puede ser expresado como porcentaje del peso de la madera secada o peso húmedo (INFOR, 1991).

El contenido de humedad de la madera se determina por el método de secado en horno o por el uso de medidores eléctricos de humedad. El primero consiste en cortar

transversalmente trozos de diferentes partes del lote que se desea probar. Se necesita, también secar al horno el material escogido, mínimo durante 12 horas (AID, 1965).

El método de secado en horno consta de los siguientes pasos (AID, 1965):

1. Se escoge un tablón representativo y se corta, transversalmente, una sección (1 pulgada de grueso) a lo largo del grano.
2. Se quitan las astillas y se pesa la sección.
3. Se coloca la sección en horno a una temperatura de 110°C a 115°C y se seca hasta que su peso sea constante.
4. Se pesa la sección para saber su peso después del secado en horno.
5. Se realiza el siguiente cálculo:

$$\frac{\text{peso original} - \text{peso seco en horno}}{\text{peso seco en horno}}$$

El sistema de medidor eléctrico puede ser de resistencia y de radiofrecuencia por pérdida de potencia.

Las variaciones del contenido de humedad ocurren tanto entre especies como entre individuos de la misma especie (Simpson, 1991).

La albura de maderas blandas usualmente tiene un contenido de humedad más alto que el duramen, mientras que la albura de maderas duras tiene un contenido de humedad un poco superior o igual que el duramen (Pérez, 1991).

El contenido de humedad final de la madera dependerá del uso que se le asigne a la pieza.

Tabla N° 1. Contenido de humedad promedio en relación a su uso (INFOR, 1967).

TIPO DE SECADO	C.H. (%)	USO DE LA MADERA
Secado Artificial	8-9	Piso instalado sobre elementos calefaccionados
	10	Madera en edificación con mucha calefacción
	11-12	Revestimiento de interiores en edificios calefaccionados
	12-15	Muebles y puertas interiores en edificios temperados
Secado Natural	16-17	Puertas exteriores, implementos agrícolas
	18-20	Revestimientos exteriores
	21-24	Estructura sin cubierta
	25	Maderas para impregnar a presión
	25-más	Maderas sumergidas en agua

2.1.6 Punto de saturación de la fibra (P.S.F). Es definido como el contenido de humedad en el cual las paredes celular están saturadas de agua y las cavidades celulares libres de ella. Este contenido de humedad corresponde aproximadamente a un 30%, pero puede ser mayor para algunas especies (Pérez, 1991).

El punto de saturación de la fibra es de significación desde el punto de vista mecánico, físico y de algunas propiedades eléctricas (AID, 1965).

El punto de saturación de la fibra es importante en el secado de madera por las siguientes razones (Simpson, 1991):

- Se requiere más energía para evaporar agua de la pared celular que las cavidades celulares (aproximadamente 5% más a un contenido de humedad de 15% y 15% a un contenido de humedad de 6%).
- Las células de la madera no se contraen hasta el punto de saturación de la fibra.
- Muchos cambios en las propiedades físicas y mecánicas ocurren a partir del punto de saturación de la fibra.

2.1.7 Contenido de humedad de equilibrio (C.H.E.). Debido a su condición de material higroscópico y poroso, la madera cuando se seca, tiende a lograr un equilibrio entre su

contenido de humedad y la humedad relativa del ambiente que la rodea (Pérez, 1991).

La cantidad de humedad en este punto balanceado se llama contenido de humedad de equilibrio (C.H.E.). Sin embargo, como las características atmosféricas son variables, la madera raramente presenta un C.H.E. absoluto (Pérez, 1991).

La madera que alcanza el punto de saturación de la fibra, o un punto mas elevado, está en equilibrio aproximado con el aire en 100% de humedad relativa, o de aire saturado; la madera con un contenido de humedad de 0%, está en equilibrio con el aire con un contenido de humedad relativa de 0% (AID, 1965).

Este contenido de humedad depende principalmente de la humedad relativa y de la temperatura del aire circundante, mientras que la especie y la humedad interior tiene un efecto más leve en el contenido de humedad de equilibrio (Simpson, 1991).

El método más seguro para determinar la humedad de equilibrio es el de colocar probetas al exterior en el lugar que se desea determinarla, protegidas de la lluvia. Al pesar periódicamente estas probetas, de peso anhidro conocido, se

puede determinar la variación de su humedad y de su comparación con los datos meteorológicos, calcular la ecuación de regresión correspondiente, la que a posteriori, permite confeccionar para una zona un mapa con las isopletas de la humedad de equilibrio de la madera (Elwood y Leslie, 1964; Orman, 1955; Hartgiw, 1958; Schlack, 1962 citados por Bluhm et al., 1965).

2.1.8 Gradiente de humedad. Para que se inicie el movimiento de la humedad desde el interior de la madera hasta la superficie de ella es necesario que ocurra un secado inicial a través de la evaporación. De hecho, para que la humedad continúe en su movimiento desde el interior al exterior, la superficie debe estar más seca que el interior (Pérez, 1991).

El agua se mueve más rápidamente en madera de bajo peso específico, que en madera de alto peso específico. Generalmente, se mueve más rápidamente en la albura que en el duramen de una misma especie. Esta diferencia se deriva que el duramen está tapado con extractivos (AID, 1965).

Debido a la particular estructura celular de la madera el agua se mueve más lentamente en sentido transversal, es decir, en dirección perpendicular a la dirección de la fibra, que en sentido longitudinal. Se puede afirmar, como regla

general, que el movimiento en la dirección radial es 2 a 4 veces más rápido que en la dirección tangencial y que longitudinalmente es 10 a 25 veces más rápido que en la dirección tangencial (Pérez, 1991).

Un método aproximado para determinar la gradiente, consiste en usar el higrómetro, introduciendo las agujas aisladas (excepto las puntas) a diferente profundidad. La limitante es su falta de precisión para un contenido de humedad mayor a 25% (Pérez, 1991).

El gradiente de humedad se expresa como la diferencia del contenido de humedad entre la superficie exterior y el centro de la pieza. Durante la primera etapa del secado el gradiente es excesivo, pudiendo alcanzar una diferencia de hasta 60% entre la superficie (20%) y el centro (80%) (Pérez, 1991).

2.1.9 Fuerzas que mueven el agua. Cuando la madera se seca, varias fuerzas deben actuar simultáneamente para mover el agua (Siau, 1984 citado por Simpson, 1991):

1. La acción capilar causa el flujo de agua libre a través de las cavidades celulares y punteaduras.
2. Las diferencias en la humedad relativa causan el movimiento de vapor de agua a través de las cavidades celulares por difusión, la cual mueve el agua de áreas de

alta a baja humedad relativa. Las paredes celulares son la fuente de vapor de agua, esto es agua evaporada de las paredes celulares dentro de las cavidades celulares.

3. Las diferencias de contenido de humedad hacen que el agua ligada se mueve a través de las paredes por difusión, la cual mueve el agua de áreas de alto a bajo contenido de humedad.

Generalmente cualquier molécula de agua que se mueve a través de la madera por difusión lo hace a través de las paredes celulares y las cavidades celulares.

El agua se puede evaporar de la pared celular dentro de la cavidad celular, mover a través de las cavidades celulares, ser reabsorbida en la pared opuesta, mover a través de la pared celular por difusión y así hasta alcanzar la superficie de la madera.

2.2 Características del medio

La temperatura, la humedad ambiental y la velocidad del aire son los principales factores ambientales que influyen en el proceso de secado. Estas tres variables deben actuar coordinadas para obtener un secado satisfactorio, en tiempo razonable y con los mínimos defectos.

La temperatura condiciona, en primer lugar, la velocidad de

circulación del agua por el interior de la madera. El ritmo de la difusión en la madera viene fuertemente aumentado por el incremento de la temperatura y del contenido de humedad. La temperatura es también un factor de aceleración de la evaporación ya que eleva la capacidad de absorción del aire (Alvarez y Fernández-Golfín, 1992).

Si la temperatura de la madera es muy baja, se reduce el flujo de agua dentro de ella. Si la temperatura es alta el flujo de vapor es más rápido desde el interior hacia la superficie, además mejora su plasticidad y por lo tanto puede soportar tensiones internas de mayor intensidad sin que se produzcan daños estructurales a medida que se desarrolla el secado (JUNAC, 1989).

La humedad de la madera tanto en forma líquida como de vapor, se mueve más rápidamente a temperaturas altas que a temperaturas bajas (AID, 1965).

El factor más importante en el control del secado es la humedad, disminución entre un 5-10% de lo programado traería grandes consecuencias (OEEC, 1957).

Si la atmósfera tiene tanta humedad como la que puede retener, su capacidad de absorber agua en forma de vapor es

relativamente baja, por lo tanto, el secado se realizará lentamente. De lo contrario si tiene un pequeño porcentaje de la humedad que puede retener, entonces tomará humedad adicional muy rápidamente y el secado se realizará rápidamente (Courtland y Samuel, 1965).

Sin embargo, cuando la humedad relativa es muy baja durante las primeras etapas del secado, el contenido de humedad de la madera disminuye rápidamente ocasionando agrietamientos (JUNAC, 1989).

Como el secado no es solo un problema de evaporación sino también de difusión de humedad desde el interior hacia la superficie, la velocidad de secado se debe controlar variando la humedad relativa de la atmósfera secante (Courtland y Samuel, 1965).

La velocidad del aire en contacto con la superficie de la madera tiene una gran influencia en la primera fase del secado, un incremento en la velocidad de circulación del aire incide en la velocidad de secado. No obstante, este incremento tiene un límite ya que se necesita un tiempo mínimo de contacto con la madera para poder transmitir el calor y absorber la humedad. En la segunda fase del secado, conforme el frente de evaporación se interioriza en la

madera, la influencia de la velocidad del aire disminuye (Alvarez y Fernández-Golfín, 1992).

La velocidad del aire es importante para los siguientes propósitos (Courtland y Samuel, 1965):

- Distribuir el calor por la pila
- Transporte de humedad evaporada de la superficie de las tablas.

Las fibras de la albura alcanzan la humedad de equilibrio, solo si la velocidad del aire es alta, lo suficiente para evaporar el agua de la superficie tan rápido como llega a ésta. De lo contrario si la velocidad del aire es muy lenta, se requiere un gran tiempo para que la superficie de la albura alcance la humedad de equilibrio. Esta es una razón del porque este factor es tan importante, especialmente en cámaras de secado. Si es muy lento, el secado es más lento que lo requerido y se puede acumular humedad en la superficie. Si es muy rápido algunas especies sufren defectos y grietas, al igual que si la velocidad del aire y la temperatura del bulbo húmedo no son coordinadas (Simpson, 1991).

La presión es otro factor que influye en el proceso de secado. Para un estado higrométrico del aire dado, la

velocidad de circulación de la humedad en la madera aumenta conforme disminuye la presión. Por otra parte, la presión atmosférica influye en la temperatura de ebullición del agua y en el grado de excitación molecular. De esta forma el ritmo de secado puede ser fuertemente acelerado sin los peligros que se corren al emplear altas temperaturas (Alvarez y Fernández-Golfín, 1992).

Las temperaturas altas y humedad relativamente baja, estimulan el movimiento de la humedad y aceleran el secado pero estas condiciones no se pueden aprovechar porque se producen grietas en la madera (AID, 1965).

2.3 Formas de secar la madera

La madera se seca por el movimiento de la humedad interior, ya sea en forma líquida o vapor, a través de los mecanismos conocidos como capilaridad o difusión. Esto desde el centro hacia la superficie, en respuesta a la gradiente de humedad, debido a que el agua en la madera se mueve, generalmente, de zonas de alta a bajo contenido de humedad (Pérez, 1991).

El secado puede ser dividido en dos etapas:

movimiento de agua del interior a la superficie de la madera y evaporación del agua de la superficie (Simpson, 1991).

Es conveniente, además, dividir el movimiento del agua en dos etapas, antes de llegar al punto de saturación de la fibra, y , después de sobrepasarlo (Pérez, 1991).

Cuando el contenido de humedad es superior al punto de saturación de la fibra la humedad se mueve como:

- agua líquida, por capilaridad, debido a las fuerzas de tensión superficial y
- vapor de agua, por difusión, dentro y a lo largo del tejido celular.

Cuando el contenido de humedad está bajo el punto de saturación de la fibra la humedad se mueve como:

- vapor de agua, por difusión, y
- agua líquida que ha permanecido vinculada a las fibrillas de las paredes celulares y que se traslada, por difusión hacia zonas con distinto contenido de humedad.

El agua se mueve en la madera a través de varias vías. Estas son las cavidades de fibras y vasos, rayos celulares, punteaduras, ductos resiníferos de alguna especie blandas, otros espacios intercelulares y pasos transitorios en la pared celular (Panshin y de Zeeuw, 1980 citados por Simpson, 1991).

La mayoría del agua en la madera se pierde durante el secado a través de las punteaduras y cavidades celulares (Simpson, 1991).

El método y la rapidez del movimiento del agua en la madera tiene mucho que ver en el secado. La humedad se mueve en las tres direcciones del grano: longitudinal, radial y tangencial. El movimiento del agua es más rápido en la dirección longitudinal y más lento en la dirección tangencial (AID, 1965).

Por ejemplo, un tablón se seca por evaporación de la humedad en la superficie, la mayor parte de la humedad se evapora por las caras anchas. La evaporación se opera cuando el contenido de humedad excede el contenido de humedad de equilibrio correspondiente a la humedad y temperatura relativas del aire circundante. La madera se secará a cualquier humedad relativa inferior a 100% (AID, 1965).

Si se considera un trozo de madera y se supone que, para simplificar, la circulación de la humedad se produce en un plano y en un solo sentido, se pueden considerar tres zonas diferentes (Alvarez y Fernández-Golfín, 1992):

- Zona Z1: parte central de la pieza. El contenido de humedad es elevado (superior al 60%) y constante, permaneciendo el

2.4 Defectos de la madera

Si la calidad de la madera no fuera importante la madera podría secarse en minutos. De hecho las maderas blandas pueden secarse en un par de horas con muy poca decoloración, alabeo, acanaladura, etc. (Lamb y Wengert, 1988).

En maderas sometidas a secado pueden producirse diferentes defectos (Pérez, 1991):

- contenido de humedad desigual
- tensiones
- grietas
- colapso
- alabeos
- flujo de resina
- flojamiento de nudos
- manchado



Existen también defectos relacionados con el encogimiento, problema que ocurre en secadores en horno, el que debido a sus características de secado tiende a aumentar cualquier defecto que resulta del encogimiento, los que se pueden prevenir o limitar con un programa de secado en horno adecuado (AID, 1965).

Los defectos en cualquiera de estas categorías son causadas por una interacción de las propiedades de la madera con los factores del proceso de secado. Los defectos de la madera son los que provocan la ruptura y deformaciones del material (Simpson, 1991).

La estructura celular y los extractivos químicos contribuyen en la formación de defectos además de un contenido de humedad desigual, color y características superficiales no deseables (Simpson, 1991).

Lamb y Wengert (1988), señalan que las causas de defectos se deberían a alguna de las siguientes:

1. secado muy rápido (grietas superficiales, internas, externas y rajaduras).
2. secado muy lento (decoloración, aumenta grietas superficiales, acanaladura y curvatura).
3. Mal almacenamiento.
4. errores de operación (mal programa, acondicionamiento).
5. factores relacionados a la madera (tensión de la madera, infección bacterial).

Dentro de los defectos uno de los principales es el colapso, que se produce por una contracción anormal o irregular cuando su contenido de humedad se encuentra por sobre el punto de

saturación de la fibra (Kauman, 1962 citado por Bluhm et al., 1965).

Tiemann (1965) citado por Ecklund y Ellwood (1963) señala que la deformación celular es causada por la tensión hidrostática.

Simpson (1991), señala que las causas que producen el colapso son:

- la compresión del secado estresan las partes internas de la tabla, que exceden la fuerza de compresión de la madera.
- la tensión líquida en las cavidades celulares que están completas con agua. Ambas causas ocurren tempranamente en el secado pero el colapso no es usualmente visible en la superficie de la madera hasta finalizar el proceso.

Para lograr un hundimiento moderado, en Australia, muchos operadores prefieren hacer el secado al aire libre, o secar con anticipación el material verde. A continuación usan un tratamiento "al vapor" para "reacondicionar la madera". Esto se hace con anterioridad al tratamiento de horno secador (AID, 1965).

De las especies comerciales que crecen en Chile, Pinus radiata es la menos afectada por el fenómeno de contracción

y no presenta colapso apreciable a diferencia de *Eucaliptus* sp. que alcanza un coeficiente de contracción alto y una magnitud importante de colapso, sin embargo, inferiores a las especies nativas coigue, roble y tinea (Cuevas, 1969).

El eucalipto puede colapsarse fuertemente, incluso con programas de secado al aire (Pérez, 1991).

En todas las especies latifoliadas es evidente el colapso excepto la tepa, que sí es afectada por un porcentaje de contracción apreciable y comparable a otras latifoliadas (Cuevas, 1969).

Kauman y Mittak (1966) citados por Cuevas (1969), demostraron que la contracción y el colapso en coigue son mayores en la troza inferior que en las superiores, lo que aparece ser una tendencia general para todas las especies.

En la práctica para evitar los problemas de colapso en coigue, se recomienda, durante el secado, mantener la temperatura de bulbo seco debajo de 60°C hasta alcanzar un 30% de humedad de la madera en el centro de las tablas (Kauman y Mittak, 1965).

Bluhm y Rosende (1966) indican que el colapso en coigue se presenta en forma intensa, el que se elimina con un reacondicionamiento con vapor permitiendo subsanar notablemente las deformaciones especialmente acanaladuras, se indica que dos horas de tratamiento serían suficientes para alcanzar una recuperación del colapso.

Kauman y Mittak (1965) señalan que mediante el reacondicionamiento, además de eliminar el colapso, se pueden eliminar la mayoría de los defectos.

Kauman y Mittak (1965) señalan que un reacondicionamiento de 4 horas con aproximadamente un 17% de humedad es esencial para recuperar el colapso y eliminar deformaciones y tensiones del secado, en tablas experimentales de 1x6 pulgadas y de un largo de 1,10 metros. Un presecado al aire, seguido de un tratamiento en secador, resultaría probablemente el método más económico.

Como se ha visto, el eucalipto, es una especie que presenta un alto porcentaje de contracción y colapso, sin embargo, aproximadamente un 50% de la contracción total puede ser eliminada mediante el proceso de reacondicionamiento (Cuevas, 1965).

Otro defecto en el proceso de secado es el agrietamiento, este ocurre cuando las tensiones de secado se hacen mayores que la resistencia a la tracción de la madera (Pérez, 1991).

La evaporación del agua es más rápida desde los extremos de la madera que desde otras superficies. Esto causa agrietamiento en las puntas, lo que desmerece el valor de las piezas (Pérez, 1991).

Cuando se seca madera de una sección mas o menos cuadrada que contiene la médula en su centro, casi siempre se producen grietas. Esto se debe a las desiguales contracciones radiales y tangenciales y no es posible evitarlo en la práctica. Por lo tanto la madera debe ser aserrada de tal forma que la médula quede en la superficie de la pieza (Pérez, 1991).

Otro defecto que ocurre en el secado es el cambio de color de la madera, ocasionado por la acción química y se puede presentar en la madera durante el secado en horno. Estas decoloraciones son peores, generalmente cuando se usan altas temperaturas y humedades relativas elevadas (AID, 1965).

Si la madera se seca primero al aire bajo el punto de saturación de la fibra y luego en secador, la coloración es muy leve (Pérez, 1991).

En general, el secado con poca humedad, con temperaturas de baja a moderada, tiende a reducir la mancha química a su mínimo. Para evitar ciertas manchas, producidas por hongos, es necesario realizar tratamientos, como lo son, por ejemplo, el vaporizado preliminar; o la inmersión dentro de productos químicos especiales (AID, 1965).

Para prevenir las decoloraciones el operador debe conocer la especie de la madera y determinar el tipo de madera (albura, duramen, médula) (Simpson, 1991).

La madera aserrada de troncos viejos tiene mayor tendencia a la decoloración, que la que se presenta en la madera aserrada de troncos frescos (AID, 1965).

Si estos defectos ocurren con mucha frecuencia o en forma muy severa, puede reducir notablemente el valor de la madera y causar considerables pérdidas en su utilización (Pérez, 1991).

2.5 Métodos de secado

Los métodos de secado se podrían dividir en secado al aire y secado artificial en hornos.

2.5.1 Secado al aire. El secado al aire libre se lleva a cabo exponiendo la madera aserrada a la atmósfera del exterior en un patio de secado o en cobertizo (AID, 1965).

Esta exposición se realiza durante un período de tiempo, en el cual la madera entrega humedad a la atmósfera y tiende a llegar al punto de equilibrio higroscópico con el ambiente (Pérez, 1991).

Algunas de las razones del porque se realiza el secado al aire son las siguientes (Lamb y Wengert, 1988):

1. Preparación para cargado: Este método es uno de los baratos y efectivos para reducir el peso para el cargado. Es una regla que la madera dura pesada pierde aproximadamente 30 Lb (13,5 Kg) por cada 1000 pies madereros, de peso, por cada 1% de pérdida de C.H. Para madera dura liviana y blanda la pérdida en peso es aproximadamente 20 Lb (9 Kg) por 1000 pies madereros por cada 1% de C.H.
2. Reduce el riesgo de pudrición bajo el C.H. de 22%.
3. Es el único tipo de secado que se necesita para algunos productos como madera para construcción, exteriores y otros.
4. Preparación para el secado en cámara. El secado al aire puede reducir el uso de la energía en cámaras de vapor en 50.000-70.000 BTU por cada 1.000 pies madereros por cada 1% de reducción en contenido de humedad. Se reduce

sustancialmente el tiempo de secado. Algunas maderas no pueden tener un secado satisfactorio en cámara desde un estado verde y por lo tanto se requiere el secado al aire previo.

Uno de los factores principales de los que depende el secado natural es la condición climática de la región, afectada tanto por los factores locales como por la elevación, topografía, drenaje y cuerpos de agua.

El secado se realiza, excepto cuando la humedad relativa del aire es excesivamente alta. El secado al aire es la forma más sencilla y, en muchos casos la más barata del proceso de secar (AID, 1965).

Dening y Wenter (1982) citados por Ananías y Vergara (1991), demostraron que la precipitación y velocidad del aire tienen un efecto limitado en la pérdida de humedad durante el secado natural de maderas duras con un C.H. inicial bajo el 80%.

Los principales factores que influyen en un buen secado al aire son: contar con un lugar adecuado (patio o cancha) para exponer la madera al aire y, el apilado, que debe ser efectuado de tal modo, que el aire circule alrededor de cada una de las piezas de madera (Pérez, 1991).

El patio se debe preparar de modo que su nivel se incline un poco, evitando agujeros en el que el agua de lluvia se estanque. El patio de secado se debe mantener limpio. La vegetación o acumulación de desperdicios tales como pedazos rotos de palos o madera aserrada, estorban la libre circulación del aire por la superficie del piso (AID, 1965).

El mejor método de apilar o encastillar madera para un secado rápido, con el mínimo de agrietamiento y torcimiento, es el apilado plano. Sin embargo, maderas que se secan con facilidad y no se agrietan ni tuercen mucho, se pueden apilar en forma más sencilla por el método en caballete, apilado de pie y apilado plano en triángulo o rectángulo (Pérez, 1991).

Existen técnicas que se caracterizan por incrementar la velocidad de secamiento de la madera encastillada y porque su aplicación involucra una reducida inversión (Peck y Mcmillan, 1961; Rasmussen, 1961 citados por Bluhm, 1965).

Pucker y Smith (1961) y Stevens (1961) citados por Bluhm (1965), indican que tales técnicas pueden innovar no solo la construcción misma de castillos sino que al incorporar en ellos ventiladores y/o sistemas de calefacción accionadas al aire libre o bajo galpones de reducido costo, tienden a elevar el potencial de evaporación del aire no saturado y por

tanto, aumentar el ritmo de secamiento de la madera. Estos procesos conocidos como "secamiento a aire forzado", "secamiento al aire acelerado" y "presecamiento" han sido adoptados para secar madera desde el estado verde hasta un 15-25% de humedad.

Bluhm y Rosende (1966) indican que el coigue secado al aire tarda aproximadamente 6 meses desde 130% de humedad hasta lograr su equilibrio higroscópico. El ulmo tarda entre 3-4 meses desde 85% hasta su lograr su C.H. de equilibrio.

La principal ventaja de este método, sobre otros métodos de secado de madera, es el bajo costo de inversión inicial en equipo. Por el contrario, su principal desventaja es la larga duración del proceso y la imposibilidad de llegar a contenidos de humedad tan bajos (menores a 14%), como los requeridos para muchos usos. Otra desventaja es la imposibilidad de no controlar los factores que determinan el secado y por lo tanto hay limitaciones para impedir defectos y daños por agentes biológicos (Pérez, 1991).

2.5.2 Secado artificial. El secado artificial consiste en estacionar la madera en un lugar cerrado, bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa durante un período de tiempo previamente establecido (Pérez, 1991).

2. tipo circulación forzada de aire, donde el aire es forzado por medio de ventiladores.

El proceso de secado en este tipo de secadores se realiza según un programa determinado, que corresponde a las características de secado de la especie y a la calidad que se requiera de la madera seca (Pérez, 1991).

La principal ventaja de este tipo de secador es que desde que la madera es ubicada al mismo tiempo, las condiciones de secado pueden ser escogidas para proporcionar los requerimientos específicos de la especie y producto secado (Mackay y Oliveira, 1989).

El secador de compartimiento es más adecuado para industrias que tienen que secar diversas especies de madera, en cantidades limitadas, con diferentes características de secado y requisitos de calidad (Pérez, 1991).

b) **Secador progresivo**. Para dar solución a la necesidad de una producción continua de madera seca, se diseñó un tipo de secador que se presenta bajo la forma de tunel, el cual puede asimilarse a varias cámaras pequeñas puestas tope a tope (JUNAC, 1989).

Este tipo de secador se caracteriza porque las cargas de madera para ser secadas ingresan por un extremo de humedad y son movidas progresivamente hacia adelante en intervalos hasta conseguir el secado y descargarlo (Mackay y Oliveira, 1989).

Existen equipos con circulación transversal de aire y longitudinal de aire. Los primeros son muy similares a los de compartimiento, las cámaras son, sin embargo, mucho más largas, generalmente alrededor de 40 m. y se las conoce con el nombre de túneles. Los segundos son parecidos al de circulación transversal de aire, la diferencia consiste en que el aire circula a lo largo del secador, desde el extremo final, cruzando los castillos de madera, los que son apilados con las piezas en sentido transversal del secador. Los del primer tipo son útiles en casos en que la mayor parte de la madera requiere un método similar, como sucede en los aserraderos de pino insigne (Pérez, 1991).

El secado de la madera se realiza en virtud del siguiente principio (JUNAC, 1989): se hace circular el aire caliente en sentido contrario al avance de la madera. El aire caliente, a medida que avanza a través de la pila, se va cargando de humedad y se enfría.

Los secadores progresivos requieren estar completamente llenos para un trabajo satisfactorio y los mejores resultados se obtienen solo cuando considerables cantidades de madera de la misma especie, contenido de humedad y espesor han sido ajustada (OEEC, 1957).

Los secadores progresivos son muy útiles para maderas blandas (coníferas), siendo muy utilizadas en Africa del Sur para el secado de Pinus patula. También han ganado mucha aceptación en países como Finlandia y Suecia (Bachrich, 1980 citado por JUNAC, 1989).

c) Baja temperatura. El secado de baja temperatura es aquel que tiene una temperatura máxima ambiental de 50°C. Es utilizado para realizar un presecado de la madera, especialmente en especies latifoliadas difíciles de secar. En Alemania este método se usa en cámaras de clima o de acondicionamiento, en el cual el aire no se somete a una recirculación (Pérez, 1991).

Este sistema casi siempre tiene como finalidad reducir el contenido de humedad de la madera desde el estado verde hasta un 20 a 30%, para evacuar de este modo toda el agua libre y como máximo una tercera parte del agua fijada (JUNAC, 1989).

d) Método convencional. Es aquel en el cual el calor es aplicado por convección y la humedad es extraída del secador mediante ventilación (Pérez, 1991).

El secado convencional es el de mayor aplicación en Chile, tanto para secar pino insigne como madera nativa. Se caracteriza por el uso de temperaturas comprendidas entre 50° y 100°C (Cubillos et al., 1987).

En este tipo de secadores es usual que su funcionamiento pase por el control de aire a nivel de temperatura y humedad particular sobre la superficie de la madera que será secada. Los sistemas esenciales de este secador son (Mackay y Oliveira, 1989):

1. Calefacción para evaporar la humedad de la madera.
2. Humidificación para prevenir que el aire sea muy seco y causar daños a la madera.
3. Ventilación para eliminar el aire saturado de agua e ingresar aire seco a la cámara.
4. Circulación para mover el aire entre las filas de madera para transportar el calor y vapor de agua.

Desde el punto de vista técnico presentan gran flexibilidad, adaptándose a cualquier programa de secado, por sus características de diseño y la disponibilidad de vapor, lo

que permite lograr cualquier humedad relativa dentro de la cámara (Pérez, 1991).

e) **Secado de alta temperatura**. El secado a altas temperaturas ha venido imponiéndose en países como Estados Unidos, Chile y Nueva Zelanda, debido a las necesidades de las industrias de incrementar su producción a un costo razonable y muy competitivo (JUNAC, 1989).

El secado con altas temperaturas, 100°C o más en la práctica se ha restringido solo a las coníferas permeables, como es el caso de Pinus radiata. Con esta especie se ha trabajado a una temperatura de bulbo seco igual a 115°C, y a una temperatura de bulbo húmedo de 70°C. Esto permite obtener contenidos de humedad de 15 a 19% en un período de tiempo comprendido entre 28 y 36 horas (Pérez, 1991).

Para realizar un proceso de secado en estas condiciones, se precalienta la madera con una temperatura de bulbo húmedo tan cercana como sea posible a los 100°C. Una vez que toda la madera se nivela a tal condición, la temperatura de bulbo seco se incrementa rápidamente. La temperatura máxima aplicada para el bulbo seco depende del tipo de madera. Sin embargo, se debe tener presente que cuando los motores de los ventiladores se colocan internamente, la temperatura no debe

superar los 120°C (JUNAC, 1989).

Este proceso es más eficiente que el secado a temperatura convencional. Como es poco el aire fresco inyectado, el ahorro de calor es significativo, las pérdidas de calor, por cualquier escape o falta de aislamiento, no superan en muchos casos las que se presentan en secado convencional, dada la mayor duración de este último (JUNAC, 1989).

La inversión inicial es alta pero se recupera rápidamente. Es apropiado para coníferas, muchas latifoliadas no la soportan y a otras no les conviene secarlas con este sistema (JUNAC, 1989).

f) **Secado por deshumidificación.** Este método de secado se diferencia del secado convencional en la forma que es removido el exceso de humedad desde la cámara (Mackay y Oliveira, 1989).

En el secado por deshumidificación se usa un procedimiento alternativo para extraer la humedad del interior de la cámara. El secado se realiza en una cámara hermética en la cual prácticamente no se produce intercambio de aire entre el exterior y el interior (Pérez, 1991).

Desde el punto de vista energético, este sistema utiliza fundamentalmente energía eléctrica para alimentar los calefactores, bomba termodinámica y ventiladores, complementados en algunos casos, con energía solar (Pérez, 1987).

El sistema de control para los secadores por deshumidificación varían con los diferentes fabricantes pero en la mayoría está constituido por (Mackay y Oliveira, 1989):

1. control de diferencia entre temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo.
2. control de humedad solo vía al deshumidificador.
3. control del tiempo de operación del compresor.

Los diferentes sistemas de ventilación, calefacción, control de la humedad, bomba calorífica, calefactores de refuerzo y control se ubican en una sola unidad compacta, fácil de montar y con ubicaciones alternativas. Se exceptúan de esta integración los ventiladores adicionales que dan uniformidad al movimiento del aire (Cubillos et al., 1987).

La humedad evaporada, proveniente de la madera, es condensada en un serpentín perteneciente a una unidad de refrigeración y sacada al exterior en forma de líquido (agua) (Pérez, 1991).

Mackay y Oliveira (1989), señalan que la eficiencia de este tipo de secador, en cuanto al uso de energía, se debe principalmente a que:

1. el aire húmedo no es liberado, así la energía contenida en el ambiente y la humedad del aire no se pierde; y
2. cuando la humedad del aire se condensa en los colectores de deshumidificación, el calor de vaporización es recuperado.

Según la Junta del Acuerdo de Cartagena (1989), el ciclo de secado por deshumidificación contempla 3 fases:

1. calentamiento de la madera por medio del aire seco y caliente, que absorbe su calor enfriando el compresor de la máquina de refrigeración.
2. secamiento con intercambio parcial de aire entre el interior de la cámara y el ambiente externo.
3. secamiento por condensación. El aire húmedo es condensado en el condensador de la máquina de refrigeración y drenado al exterior de la cámara.

La Junta del Acuerdo de Cartagena (1989) señala algunas ventajas y desventajas de este método:

Ventajas:

- utiliza eficazmente el calor disponible, tiene menos restricciones en cuanto a los materiales y a las construcciones de la cámara de secado.

- baja inversión inicial y costos de mantenimiento, sobre todo para cámaras cuya capacidad esté entre 45 y 70 m³.
- bajas temperaturas y velocidades, posibilitan secar al mismo tiempo, especies distintas con características físicas de secado similares.
- sistemas económicamente eficaz para el secado de pequeñas cantidades (12 -24 m³).

Desventajas:

- la baja temperatura de funcionamiento conlleva un aumento notable de los tiempos de secado, inmovilizando así el inventario de la madera y reduciendo la capacidad de producción.
- no permite el acondicionamiento final de la madera para la disminución de las tensiones (no es posible invertir el flujo del aire si el equipo de condensación trabaja).
- La cámara debe estar bien aislada para evitar las pérdidas de calor en las épocas frías. En ciertas condiciones puede ser necesaria una fuente suplementaria de calor para mantener una temperatura de secado eficaz.
- De los datos de rendimientos y costos se puede concluir que el secado por condensación no constituye una alternativa válida frente al secado de cámaras convencionales, sobre todo para productores que trabajan con especies de secado rápido, sin embargo para aserraderos y talleres de carpintería

pequeños, este sistema podría ser una buena solución ya que sus bajos costos de instalación y funcionamiento aseguran un buen rendimiento económico.

g) Secado por vacío. El objetivo principal de este método es controlar, mediante el uso de bajas temperaturas, los procesos de difusión y de evaporación que se presentan en el secado de madera, de tal forma que se alcance una alta velocidad de secado sin el característico volumen de desclasificación de piezas, típico de los métodos convencionales de secado (Pérez, 1991).

Según Joley y More (1980) citados por JUNAC (1989), el agua circula a una velocidad 5 veces mayor en un material bajo presión de 60 mm de mercurio que bajo una presión de 760 mm de mercurio. Esta propiedad sirve de fundamento para el proceso del secado al vacío.

El método de secado por vacío utiliza combinaciones de presiones reducidas y bajas temperaturas para controlar los mecanismos de difusión y de evaporación. Cuando la madera tiene un contenido de humedad menor que el punto de saturación de la fibra, el movimiento de la humedad desde el centro de la pieza hasta la superficie, se realiza por el mecanismo de difusión. Si la temperatura aumenta, lo propio

sucede con el coeficiente de difusión y con la velocidad de movimiento de la humedad hacia la superficie de la madera. Una reducción de la presión provoca este mismo efecto (Pérez, 1991).

El agua presente en la superficie de la madera se remueve con la evaporación. El punto de ebullición del agua baja a medida que la presión se reduce. Se sabe que para una presión absoluta de 152 mm de mercurio se obtiene un punto de ebullición del agua de solo 60°C, en comparación con los 100°C que se conocen para una presión de 760 mm de mercurio (presión atmosférica) (Pérez, 1991).

De lo anterior se deduce que la presión de un vacío en los secadores acelera el proceso de secado y al mismo tiempo requiere de una baja temperatura para remover el agua de la madera. A su vez, la reducción de temperatura disminuye la posibilidad de colapso en etapas iniciales del proceso de secado (Pérez, 1991).

La tabla N° 2 indica las diferentes temperaturas de ebullición en función de la presión.

Tabla N° 2. Temperatura de ebullición en función de la presión (Junac, 1989).

Presión del aire en mm de Hg	Temperatura de evaporación del agua (°C)
760	100
480	88
305	76
240	70
153	60
120	55
76	45
62	42
38	32
8	7

La aplicación de un vacío tiene una importante desventaja. Esta consiste en la limitación que se produce para aplicar métodos que transfieren calor a la madera, debido que el fenómeno de convección no puede desarrollarse en un vacío. Una solución es poner en contacto la madera con pletinas de acero que puedan transmitirle el calor (Pérez, 1991).

Un secador de vacío consta básicamente de los siguientes elementos (JUNAC, 1989):

- Una cámara (tipo autoclave), con los diferentes elementos metálicos y en la cual se coloca la carga de madera a secarse.
- un dispositivo de calefacción.
- un dispositivo de eliminación de agua.

- instrumentos de control y regulación y, en este caso particular, una bomba de vacío.

Algunas ventajas de este método son (JUNAC, 1989):

- la acción sobre la temperatura y la presión del ambiente dentro del autoclave, acelera la circulación del agua del interior a la superficie de la madera.
- por disminución del punto de ebullición del agua, se incrementa la tasa de evaporación del agua de la superficie de la madera, al aumentar la capacidad del aire para absorber mayor cantidad de vapor.
- se reduce el tiempo de secado, siendo comparable al secado a altas temperaturas, pero sin los riesgos de éste.
- se reportan bajas diferencias en el contenido de humedad final entre el centro de la pieza y la superficie, así como una reducción en las tensiones internas.

A pesar de estas ventajas este método presenta algunas limitaciones (JUNAC, 1989):

- los equipos ofrecen generalmente una baja capacidad en el volumen de madera a secar.
- los aparatos que se emplean en el ciclo de secado presentan una cierta complejidad; la aplicación alternada de ciclos de vacío y de presión normal es difícil de realizar.

h) **Secado solar**. Este proceso implica la utilización de una instalación destinada al mejor aprovechamiento de la radiación solar. De acuerdo a la forma de captar la energía solar, los secadores se pueden clasificar en tres categorías (Pérez, 1991):

1. Directos, en los cuales la luz solar incide directamente en el interior del secador a través de muros y techos transparentes.
2. Indirectos, que utilizan como calefactor el aire proveniente de un colector solar independiente y
3. Mixtos, que son una combinación de los dos procesos anteriores.

En general, se busca que mediante un colector plano la energía de radiación se convierta en energía térmica. Esta energía alcanza 60°C en zonas tropicales (JUNAC, 1989).

La gran ventaja que posee este método es el uso de una fuente de calor (sol) que se tiene donde quiera. Cualquier objeto sobre el cual brilla el sol se calienta, pero usualmente ese calor se disipa, bien por radiación o convección. Estas pérdidas se reducen mediante una capa exterior, vidrio o de algún plástico transparente que se coloque entre el objeto y los rayos de sol (AID, 1965).

Sharman (1980) citado por Quintanar (1992), menciona que aproximadamente el 70% del total de energía requerido en la manufacturación de productos de madera es consumida en el secado. Por lo que este método es una alternativa para secar a bajo costo.

En comparación con el secado al aire libre, se ha demostrado que el secado solar reduce el tiempo de secado entre 2 y 5 veces y permite obtener un contenido de humedad final por debajo de la humedad de equilibrio del lugar (JUNAC, 1989).

Un secador de tipo solar no necesita serpentines de calefacción o cambiadores de calor. Sin embargo, ya que el calor solar se absorbe por el techo y la parte superior de las paredes que reciben los rayos solares es necesario mover el aire calentado en la parte superior de la estructura para que vaya a los niveles inferiores, usando para ese objeto abanicos y sopladores (AID, 1965).

La eficiencia de estos secadores está en función de la capacidad de transformar la radiación solar en calor y la capacidad de aprovechar ese calor para calentar el aire y evaporar el agua de la madera (JUNAC, 1989).

Este tipo de secadores es utilizado principalmente en países tropicales, especialmente aquellos donde los tipos de energía tradicional son costosos y poco disponibles (Simpson, 1991).

i) Secado por vapor. La madera puede secarse dentro de una cámara convencional utilizando vapor sobrecalentado en vez de aire para calentarla y extraer la humedad evaporada de su superficie. Para esto, es necesario que el calentamiento y la inyección de vapor sean adecuados y que la cámara esté bien aislada y sea resistente al vapor (JUNAC, 1989).

Un horno secador calentado por vapor debe tener una tubería de abastecimiento del vapor. Esto consiste en una cañería a lo largo del horno, con agujeros perforados a intervalos debajo del tubo. Un solo tubo debería dar suficiente vapor, pero la circulación de aire, en un principio, recibe gran ayuda de los tubos rociadores. Ambas tuberías se conectan a una línea de abastecimiento de baja presión controlada por una válvula de cierre (AID, 1965).

El uso de vapor como medio de calor tiene ciertas ventajas sobre otros sistemas. Después que el calor es radiado dentro de la cámara, más bien ha sido ingresado por gases calientes no existe desplazamiento o cambios en la atmósfera de la cámara cuando se agrega calor.

Consecuentemente, la temperatura puede ser controlada sin afectar la humedad de la cámara. Además donde el vapor es usado como medio de calor, es también posible agregar vapor de agua tanto que hasta que la humedad relativa puede ser controlada, siempre al final del ciclo de secado cuando la cámara sin fuente de vapor es imposible hacer esto.

Sin embargo, el costo de una caldera y del equipo de calefacción es alto. Además, las calderas operan a más de 15 Lbs/pulg², presión requerida por ley para ser supervisada por un grupo de ingenieros. El vapor no es usualmente un medio económico de calor, aunque se use leña como combustible, menos operando mas de dos cámaras en un lugar (Mackay y Oliveira, 1989).

Aquellas maderas que se someten al proceso desde el estado verde, se contraen más de lo normal; también pueden presentar colapso celular. Los efectos usuales del proceso son la exudación de resina, aflojamiento de nudos y endurecimiento debido a la acción combinada del vapor y la temperatura (JUNAC, 1989).

El método de secado por vapor puede afectar las propiedades mecánicas de la madera, reduciéndolas hasta en un 16% (Pérez, 1991).

j) Secado con calor directo. En este sistema, gases calientes son descargados directamente en la cámara (Mackay y Oliveira, 1989).

Este método es escogido por algunos productores de madera como alternativa debido al alto costo de trabajo con vapor y a la baja temperatura de operación de los sistemas de agua caliente. Casi todos estos secadores usan gas natural aunque unas pocas usan propano o butano como combustible (Mackay y Oliveira, 1989).



III. MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizará en el aserradero, perteneciente a la Unidad Forestal y Maderera, del Departamento Servicios Generales de la División El Teniente de Codelco Chile, ubicado en calle Millán N°1020 de Rancagua.

El aserradero de la Unidad, se puede dividir en tres áreas:

1. Aserradero: utilizado para el dimensionamiento de rollizos de eucalipto.

2. Carpintería y elaboración: tiene como finalidad la producción de las diferentes piezas y pedidos especiales realizados por la empresa.

3. Baño impregnador: Se realiza la impregnación de madera de coigue, con creosota, específicamente durmientes y piezas destinadas a zonas de trabajo con alta humedad o donde la madera permanece sumergida en agua. Este baño es del tipo caliente frío y para su realización se cuenta con dos pozos, impregnando un volumen anual de 45.000 pm.

Dentro de la infraestructura existe, además, una caldera alimentada con el despusite del aserrío, que se utiliza para el calentamiento del pozo de impregnado y para las duchas de los trabajadores.

3.1 Características de la especie

El eucalipto (Eucaliptus globulus Labill) es una de las más importantes especies introducidas en el país y con la cual se han realizado extensas plantaciones en el litoral comprendido entre las provincias de Aconcagua y Arauco (Fernández y Torricelli, 1942).

En general esta especie se encuentra distribuida desde Copiapó a Osorno. Las plantaciones más importantes están en Santiago, San Antonio, San Fernando, Constitución, Arauco y Angol (Pérez, 1983).

Su calidad es muy apreciada, pero a su vez, es una de las que presenta mayores dificultades en el proceso de secado, debido a sus características anatómicas y estructurales (Pérez, 1991).

La madera de eucalipto es de un color castaño claro amarillento, sin albura diferenciada y anillos de crecimiento bien visibles. De gran dureza, pesada y moderadamente durable (Anexo N°1) (Fernández y Torricelli, 1942).

Es elástica y resistente, de contextura densa, impregnada de jugos tánicos, que la hace incorruptible. El duramen es impenetrable, pero la albura se impregna fácilmente,

aumentando su durabilidad debido a la paralización completa de la savia según procedimientos técnicos perfeccionados (Pérez, 1991).

Por su gran resistencia mecánica, ha sido utilizada como puntales para minas, postes, andamios y puentes. Además en durmientes y construcciones pesadas. Por su elasticidad es muy adecuada para mangos de herramientas, cajones, envases. Por su dureza y veteado es muy apreciada en la fabricación de parquets (Fernández y Torricelli, 1942).

La metodología utilizada en el estudio es la siguiente:

- 
- Análisis del mercado
 - Generación de alternativas
 - Estudio técnico
 - Costos e Inversión
 - Metodología de evaluación

Desarrollando esta metodología y analizando cada uno de estos puntos, se puede evaluar la conveniencia de instalar un secador de madera.

3.2 Análisis del mercado

3.2.1 Oferta de madera aserrada. El mercado nacional de la madera aserrada basa su producción, principalmente, en madera aserrada de pino radiata, especies del bosque nativo y eucalipto.

Con relación al mercado de la madera nativa, la región productora más destacable es la décima región, con el 54% (193.470 m³), seguida por la novena con un 23% (83.870 m³). Dentro de las especies producidas el coigue, la tepa y el roble son las más importantes (50%) (INFOR, 1991).

La producción de eucalipto, de acuerdo al censo de 1990, se estima en 31.217 m³ en aserraderos permanentes y 9.666 m³ en aserraderos del tipo móvil. Las principales regiones productoras de madera aserrada de esta especie son la VIII y IX región (Figura N° 1a).

Un porcentaje de la madera producida es tratada con ciertos procesos, con el propósito de aumentar su durabilidad y adaptación con el ambiente y condiciones de trabajo. De acuerdo a estos tratamientos aplicados, del total del volumen de madera aserrada producida, 2.020.503 m³ son tratados con baños antimancha, 204.643 m³ secados artificialmente y 12.498 m³ impregnados (INFOR, 1991).

Históricamente, la producción de madera aserrada de eucalipto comienza a ser significativa desde 1980 con 29,9 mil m³ sin una tendencia clara hasta 1988 donde aumenta a 52,3 mil m³ y la producción varía alrededor de ese valor (Figura N° 2a) (INFOR, 1993).

En relación con la situación futura de producción de estas especies, es necesario tener presente las proyecciones de las disponibilidades de madera que ofrecen las plantaciones de pino radiata y eucalipto, además del proyecto, en estudio, de recuperación del bosque nativo, que hacen estimar una creciente producción de madera aserrada.

3.2.2 Demanda de madera aserrada. La producción de madera aserrada y elaborada tiene como destino los distintos departamentos de la División El Teniente.

El principal consumidor de madera aserrada es el departamento Mina, con una demanda aproximada de 181.000 pm, dentro de las cuales las principales especies usadas son coigue y eucalipto.

la distribución de madera consumida anualmente se aprecia en la tabla N° 3.

Tabla N° 3. Distribución anual del consumo de madera por Departamentos en División El Teniente.

Departamento	Consumo anual	Porcentaje
Mina	181.000 pm	70,2 %
Concentrador	20.000 pm	7,8 %
Fundición	23.000 pm	8,9 %
Eléctrico	6.000 pm	2,3 %
Servicios Generales	15.000 pm	5,8 %
Otros	13.000 pm	5,0 %
Total	258.000 pm	100,0 %

Es importante señalar que entre los diferentes departamentos, todos utilizan coigue, principalmente. El Departamento Concentrador utiliza, además, luma (3.000 pm), El Departamento Servicios Generales utiliza pino radiata (aprox. 3.500 pm).

Tabla N° 4. Consumo de madera anual, de acuerdo a las especies utilizadas en División El Teniente.

Especie	Consumo anual	Porcentaje
Eucalipto	71.000 pm	27,8 %
Coigue	156.000 pm	60,5 %
Ulmo	3.700 pm	1,4 %
Roble	1.500 pm	0,6 %
Pino	22.000 pm	8,5 %
Luma	3.000 pm	1,2 %
Total	258.000 pm	100,0 %

La Unidad Forestal Maderera de División El Teniente, produce madera con distinto grado de elaboración.

Tabla N° 5. Distribución de la producción de madera aserrada en División El Teniente.

Nivel de producción	Producción anual	Porcentaje
Dimensionada	101.000 pm	39,15 %
Elaborada	86.000 pm	33,33 %
Impregnada	45.000 pm	17,44 %
Elaborada secundaria	26.000 pm	10,08 %
Total	258.000 pm	100,00 %

3.2.3 Oferta de equipos de secado. El mercado nacional de los equipos de secado se basa principalmente en fabricantes europeos y norteamericanos.

Los equipos más utilizados en Chile son del tipo convencional, tanto para secar pino como madera nativa (Cubillos et al., 1987).

El mercado ofrece, además, secadores de baja temperatura, basados en la técnica del secado por deshumidificación.

Su utilización ha sido limitado en Chile al secado de maderas nativas en la pequeña y mediana industria, la mayoría localizados en Santiago (Cubillos et al., 1987).

Recientemente la técnica del secado por vacío ha sido introducida en el país por fabricantes europeos y chilenos. Sin embargo no ha sido utilizada masivamente, a pesar de ofrecer varias ventajas, debido a su alta inversión, pequeña capacidad de producción comparado con otros sistemas de secado y falta de conocimientos técnicos.

3.2.4 Comercialización. La madera seca aserrada, producto de la realización del proyecto, será destinada al consumo interno de la División El Teniente.

La madera de eucalipto llega a la planta como rollizos proveniente de la Hacienda Cauquenes, propiedad de División El Teniente, y de productores de la VIII región, durante todo el año.

Los productos elaborados en la planta son despachados a los diferentes Departamentos de acuerdo a los pedidos que estos realizan.

Es necesario realizar un programa de comercialización dirigido a los usuarios, de manera de informar los distintos productos y trabajos que se realizan.

3.2.5 Precio. Históricamente el precio de la madera aserrada de eucalipto ha tenido un incremento positivo, presentando un cambio considerable a partir del año 1988, en el área metropolitana, y desde 1991 en la VIII región.

Tabla N° 6. Valor madera elaborada de Eucalipto (puesta en barraca). \$/m3 (precio nominal en pesos).

Año	Región Metropolitana	VIII Región
1985	32.508	-
1986	48.354	-
1987	75.432	37.026
1988	126.818	52.737
1989	134.976	63.444
1990	153.582	81.071
1991	-	106.468
1992	309.600	151.677
1993	412.703	173.559
1994	494.314	184.345

(-) : No registra valor.

Fuente : INFOR, 1994.

Actualmente, el precio de la madera aserrada, en el mercado interno, posee diferencias de acuerdo a la ubicación regional donde se comercializa el producto. En la sexta región, por ejemplo, el precio promedio de la madera dimensionada corresponde a 305.428 \$/m3 equivalente a 18 US\$/pm, mientras que en la octava región es un 50% de este valor.

Tabla N° 7. Precio a nivel regional de madera dimensionada y elaborada. \$/m³ (puesto en barraca).

MADERA DIMENSIONADA (PUESTA BARRACA Y DEPOSITO)				
Región	Provinc.	Unidad	Precio promedio	Precio máximo
V	Valpo.	\$/m ³	290.853	535.385
VI	Cachap.	\$/m ³	305.428	359.340
VIII	Biobio	\$/m ³	155.820	-
VIII	Ñuble	\$/m ³	152.725	161 714
IX	Cautín	\$/m ³	151.509	212.000
RM	Maipo	\$/m ³	305.407	-
RM	Stgo.	\$/m ³	518.623	551.200

MADERA ELABORADA (PUESTA BARRACA Y DEPOSITO)				
Región	Provinc.	Unidad	Precio promedio	Precio máximo
V	Valpo.	\$/m ³	335.537	535.385
VI	Cachap.	\$/m ³	328.770	377.275
VIII	Biobio	\$/m ³	178.080	-
VIII	Ñuble	\$/m ³	170.681	-
IX	Cautín	\$/m ³	296.800	-
RM	Maipo	\$/m ³	323.385	-
RM	Stgo.	\$/m ³	560.062	593.600

(-) : No registra valor.

Fuente : INFOR, 1995.

Considerando los datos proporcionados en las tablas anteriores, podemos señalar que el mercado de la madera aserrada de eucalipto presenta buenas expectativas a futuro, las que son garantizadas por un buen precio actual y su incremento a través de los años.

Sin embargo, el valor de la madera aserrada de eucalipto que ha sido secada en horno (secado artificial), es aún mayor, debido a los bajos niveles de humedad que presenta la madera.

Tabla N° 8. Valor madera aserrada secada en horno
(puesto en barraca). \$/m3.

MADERA SECADA EN HORNO (PUESTO BARRACA)			
Especificaciones	Región	Ciudad	Precio promedio
Madera dimens. I-III			
12% CH 19 mm	VIII	Concep.	345.348
12% CH 25 mm	VIII	Concep.	345.348
25 mm	X	Valdiv.	307.612
38 mm	X	Valdiv.	307.612
50 mm	X	Valdiv.	307.612
Madera dimens. I-IV			
12% CH 19 mm	VIII	Concep.	277.508
12% CH 25 mm	VIII	Concep.	277.508

Fuente : INFOR, 1995.

El precio de venta del producto está directamente relacionado con el precio de adquisición de los rollizos de eucalipto. Este varía según las condiciones del proveedor, método de extracción y calidad de las piezas.

De acuerdo a las siguientes características el precio de compra fijado por la Unidad Forestal y Maderera es el siguiente:

Eucalipto: rollizos, recién cortados, rectos, lisos, con corteza, sin ramificaciones, libre de deformaciones. Cabezal menor de 14" de diámetro mínimo y cabezal mayor de 24" de diámetro como máximo.

1 TM eucalipto = \$ 20.000 a \$ 28.000
--

El precio de adquisición de la pulgada maderera aserrable, de eucalipto, se estima en US\$ 3,3.

El precio de mercado de la pulgada maderera dimensionada de eucalipto, en Rancagua, es en promedio aproximadamente, \$10.000 (US\$ 24).

Para evaluar el proyecto se ha fijado el precio en 18 US\$/pm (precio promedio madera aserrada VI región), considerando que son piezas obtenidas de un segundo aserrío y sin los largos comerciales habituales.

3.3 Generación de alternativas.

Como se señaló anteriormente, el secado de madera depende de factores externos e internos de la madera. Estos factores son

fundamentales para la elección del método de secado a aplicar.

El secado natural tiene la ventaja de ser el más conveniente desde el punto de vista económico. Sin embargo, presenta limitaciones para lograr un contenido de humedad final inferior al punto de saturación de la fibra, controlar las condiciones de secado, etc.

Dentro de los secadores artificiales que ofrece el mercado, existe una gran variedad de marcas, capacidades y cualidades de equipos, los que se han analizado para seleccionar los adecuados de acuerdo a las condiciones planteadas en el estudio.

Con relación a la capacidad de la cámara de secado es recomendable utilizar hornos pequeños ya que originan menos riesgos por deficiencias operacionales, posibilita una continua mantención de los equipos, mejor aprovechamiento y control de las variables ambientales dentro de la cámara y tiempos cortos de carga y descarga.

En cuanto a la técnica ha utilizar para secar madera de eucalipto, artificialmente, tanto el secado convencional como el secado por deshumidificación parecen ser las indicadas. Se

descarta el secado por vacío principalmente por su alta inversión, escasa oferta de equipos a nivel nacional y desconocimiento de experiencias a nivel industrial que aseguren un resultado exitoso.

Es importante recalcar que no existe una solución modelo y única y que en la elección del equipo de secado se deben considerar varios criterios. Además, todos los métodos son técnicamente viables para el secado de maderas latifoliadas densas y delicadas (JUNAC, 1989).

La eficiencia de estos sistemas de secado se determinará en base, al contenido de humedad final de 12%, el tiempo requerido para lograrlo, el consumo operacional y los defectos producidos en el secado.

De acuerdo a los antecedentes planteados anteriormente y al análisis de métodos y equipos de secado, se han formulado las siguientes alternativas:

Alternativa 1: Presecado natural y secado convencional.

Consiste en realizar el presecado al aire, de la madera, hasta el punto de saturación de la fibra y luego introducirla a una cámara de secado convencional, para conseguir un contenido de humedad final de 12%.

Para el presecado se debe determinar el tamaño de cancha, distribución, apilado, protección, tiempo de secado, contenido de humedad final y los diferentes costos de este proceso.

Para la etapa de secado convencional se debe escoger un equipo que cumpla con los requerimientos mensuales de producción, estimando los costos de secar madera desde un contenido de humedad, aproximado, de 30% a un contenido de humedad final de 12%.

Alternativa 2: Secado convencional. Consiste en estacionar la madera en una cámara de secado convencional desde verde hasta un contenido de humedad de 12%.

De acuerdo a estudios anteriores, los procedimientos convencionales son los que ofrecen mejores garantías cuando se trata de obtener bajos niveles de humedad final. además, es posible realizar un reacondicionamiento de la madera eliminando las tensiones de secado y permitiendo recuperar la mayor parte del colapso.

Alternativa 3: Secado por deshumidificación. El secado por deshumidificación, caracterizado por bajas temperaturas, aparece como el apropiado para maderas latifoliadas densas y

delicadas, aunque no siempre resulta el más económico. Sin embargo, expone a la madera a condiciones propicias para el desarrollo de hongos, sobre todo cuando el contenido de humedad inicial es alto.

Esta alternativa evaluará el estacionar la madera dentro de una cámara de secado por deshumidificación desde un estado verde hasta un contenido de humedad final de 12%.

El secado por deshumidificación no es recomendable para secar grandes volúmenes, ya que una cámara grande para el secado por deshumidificación requiere de una máquina de refrigeración muy potente que son muy costosas.

Estas alternativas serán evaluadas y comparadas entre si para finalmente determinar la más conveniente.

3.4 Estudio técnico

3.4.1 Definición del producto. El producto a obtener de la realización del proyecto consiste en madera aserrada seca, medido en pulgadas madereras (pm), de eucalipto, en espesores de 1 pulgada, con anchos y largos variables, de acuerdo al largo aprovechable del rollizo.

3.4.2 Volumen de madera a secar. De acuerdo a estudios de rendimiento de trozas en aserraderos, se estima que el aprovechamiento real de éstas, en porcentaje, es aproximadamente el siguiente (Wettling y Planas, 1965):

Volumen de madera	(%)
Aserrada	50%
Astilla	30%
Aserrín	20%
Total aserrable	100%

Anualmente el aserradero produce 71.000 pm, volumen equivalente al 50% del total aserrable. Esto significa que si se aprovecha el volumen astillable, en piezas aserradas de mayor valor agregado, como subproductos del aserrío, alcanzaría un volumen de 21.300 pm, equivalente a 502,36 m³ anuales y por lo tanto 41,86 m³ mensuales.

Según estudios de diagramas de corte, se estima que el volumen aserrable de una troza es el siguiente:

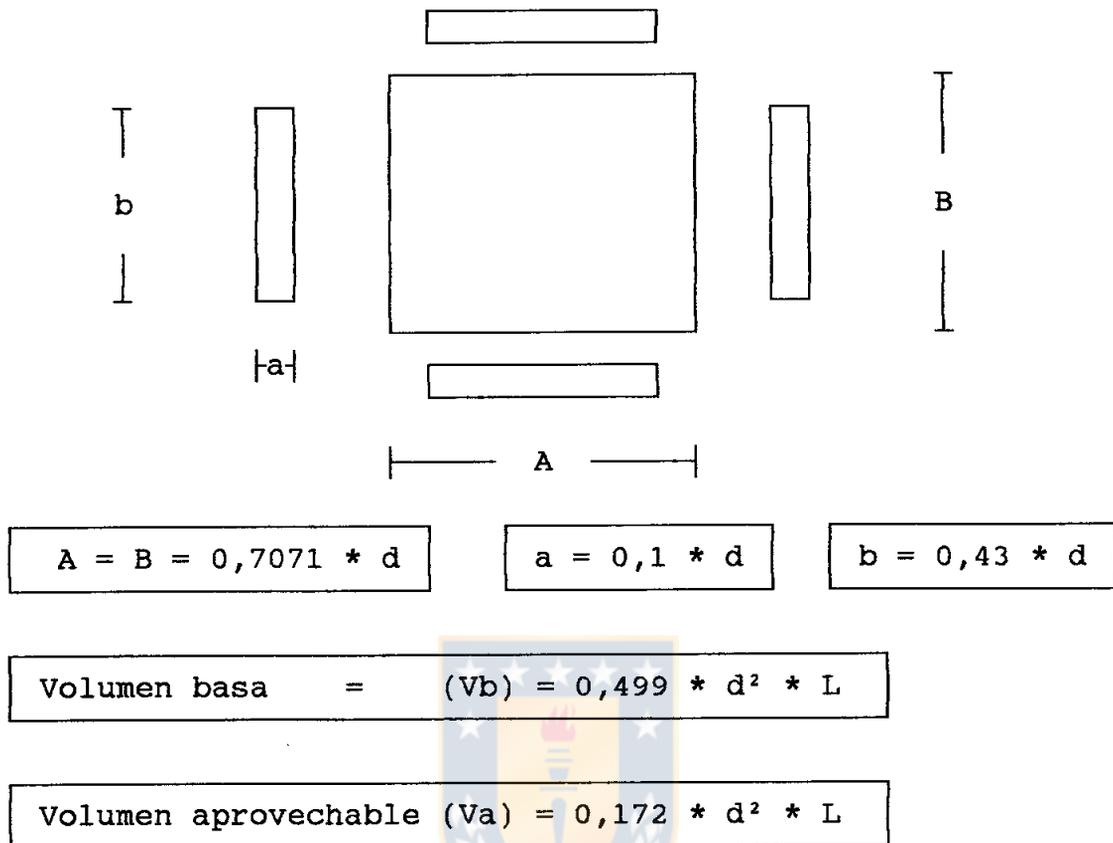


Figura N° 4: Diagrama de corte de troza aserrable (Cesar Moya, 1992).

El porcentaje del volumen aprovechable en relación al volumen de la basa equivale a:

$$\% = Va/Vb = (0,172 * d^2 * L) / (0,499 * d^2 * L) * 100 = 34\%$$

donde, d = diámetro menor de la troza

L = largo de la troza

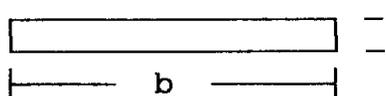
Si el volumen anual de madera aserrada de eucalipto es 71.000 pm, significa que el volumen aprovechable es:

$$71.000 \text{ pm} * 0,34 = 24.424 \text{ pm/año} = 2.035 \text{ pm/mes} = 47 \text{ m}^3/\text{mes}$$

Por lo tanto el volumen potencial a secar mensualmente, de acuerdo a estos dos criterios, se estima en 40 m³.

3.4.3 Dimensiones de las piezas. El volumen aprovechable corresponde a la madera obtenida de las tapas y de trozos que, por problemas de defectos, no son utilizados en piezas de grandes dimensiones.

Las dimensiones a obtener de las tapas, en relación al diámetro menor del rollizo, son las siguiente:



The diagram shows a horizontal rectangle. Below the rectangle, a dimension line with arrows at both ends is labeled 'b'. To the right of the rectangle, there are two horizontal lines, one above and one below, representing the thickness 'a'.

$$a = 0,1*d$$

$$b = 0,43*d$$

Como el diámetro mínimo de los trozos varía entre 14" y 24", las piezas a producir podrán tener las siguientes dimensiones:

- espesor (a): 1,4" y 2,4"
- ancho (b): 6,02" y 10,32"

Sin embargo, la madera de eucalipto presenta gran contracción durante el secado, la que se define como la pérdida de dimensiones que ocurre cuando la madera se seca desde el estado verde al estado seco (Pérez, 1983).

Por esta razón es conveniente producir piezas cuarteadas de un ancho máximo al de el espesor de la tapa, es decir, piezas secas de 1" y 2" de espesor.

Las piezas de mayor ancho se obtienen a partir de trozos, que por defecto, no son aprovechados completamente.

3.4.4 Alternativa 1: Presecado natural y secado convencional.

3.4.4.1 Condiciones climáticas. Las características climáticas de la zona, es la principal variable a considerar para el presecado de madera y es la que determina la velocidad de secado, la humedad de equilibrio, defectos de la madera, etc (Anexo N°2).

3.4.4.2 Tipo de castillo. El castillo se levantará sobre 4 bases de dimensiones 8 x 8" y una altura de 50 cm, sobre las que se ubicarán 2 vigas de 6 x 8" x 1,5 m de largo, las que sostendrán 3 travesaños de 4 x 4" x 2 m de largo, todas las piezas en madera de eucalipto.

Se realizará un castillo horizontal con separadores de 1" de espesor en madera de eucalipto previamente secada.

Este tipo de apilado permite un secado homogéneo y un paso del aire, a través de la pila, uniforme.

El espaciamiento entre separadores depende de las tablas, de su resistencia al aplastamiento y de su tendencia a deformarse. Como norma general, se acostumbra distancias de 40 cm para tablas delgadas, 60 cm para tablas entre 20 y 30 mm y de 80 a 100 cm para madera más gruesa (JUNAC, 1989). Se utilizarán 3 separadores a lo largo de la pieza con un espaciamiento de 70 cm.

La madera apilada debe ser protegida de la intemperie, de esta forma se evita que las piezas de la parte superior se revienten y contraigan por efecto del sol y del agua. En las primeras etapas del secado el agua simplemente retrasa el secado. En las últimas etapas si las piezas se mojan se desarrolla el reventamiento, aumenta el tamaño de las grietas existentes o el manchado.

Para dar máxima protección, el techado debe sobresalir de los lados y extremos de la pila. Para las pilas en declive, el techado debe sobresalir, aproximadamente, 0,3 m en el frente,

0,15 m a los lados y 0,8 m atrás (AID, 1965).

El techo de la pila se realizará con lampazos de eucalipto. Si es necesario se colocarán travesaños encima del techado, sujetos a la pila con cuerdas y alambres, para que no se lo lleve el viento.

El castillo tendrá las siguientes dimensiones:

Altura (h): 3,0 m = 118,11"

Ancho (a) : 2,0 m = 78,74"

Largo (l) : 1,5 m = 59,05"

- Superficie de castillo:

$$S = a * l$$

$$S = 3m^2$$

- Volumen de madera por castillo:

$$V_c = 0,9 * D / (D+s) * a * h * l$$

D: espesor de piezas

s: espesor de separadores

0,9: factor de encastillado

Si el espesor de las piezas es $1'' = 0,0254 \text{ m}$

$$V_c = 4,05 \text{ m}^3/\text{castillo}$$

Como el volumen a secar mensualmente corresponde a 40 m^3 , se necesitan 10 castillos para cumplir con la producción.

El área ocupada por un castillo es 3 m^2 , por lo tanto la superficie requerida para secar eucalipto es 30 m^2 para los 10 castillos.

Los castillos se realizarán en forma manual por medio de 2 encastilladores y para el traslado de la madera se utilizará un montacarga.

3.4.4.3 Distribución del patio. El patio será rectangular con calles de 4 m ubicadas de norte a sur y pasillos entre los castillos de 2 m de ancho, ubicados de este a oeste.

La superficie total (incluido pasillos y calles) es 126 m^2 , para los 10 castillos (Anexo N°3).

3.4.4.4 Tiempo de presecado. De acuerdo a un estudio realizado en Concepción, Ananías y Vergara (1991) estimaron que el tiempo requerido para el secado de eucalipto de 25 mm de espesor es como se indica en la siguiente tabla:

Tabla N°9. Tiempo de secado natural para madera de eucalipto (Ananías y Vergara, 1991).

Tiempo en semanas			
Temporada	C.H. (30%)	C.H. (25%)	C.H.(20%)
Otoño	14	27	41
Invierno	15	23	31
Primavera	12	15	19
Verano	10	13	19

En este mismo estudio se estimó que los días de secado al aire durante un año son aproximadamente 240 días, lo que indicaría que el tiempo requerido para un presecado natural, en Rancagua, sería inferior debido a la mayor temperatura y menor humedad relativa del ambiente.

Storr (1977) citado por FAO (1981), señala que el tiempo necesario para secar madera de *E. grandis* y *E. saligna* es de 4 a 6 meses, para tablas de 25 mm de espesor.

La madera de eucalipto requerirá 6 meses para alcanzar un contenido de humedad del 30% (P.S.F.) dadas las condiciones climáticas de la zona del proyecto.

Un tiempo prolongado de exposición de la madera implica un aumento de los defectos (grietas y manchado), riesgo de incendio y tiempo de capital inmovilizado.

3.4.4.5 Cancha de secado. Es importante que la cancha de secado se realice cerca del aserradero, con el objeto de acortar la distancia de arrastre entre planta y patio.

El patio debe ser parejo, limpio y poseer una cierta pendiente para evitar la acumulación de agua dentro del castillo. Además es necesario que no esté rodeado por edificios altos o árboles.

De acuerdo a la orientación de los castillos, es recomendable que los extremos no queden expuestos directamente al sol para evitar la rajadura y partidura de estos. La dirección del viento no es importante, porque éste no pasa directamente a través de la pila, excepto aquellas expuestas al viento directo (AID, 1965).

Para cumplir con la demanda mensual de madera seca se debe hacer una planificación del proceso de presecado natural.

La superficie necesaria para producir madera seca de acuerdo a los requerimientos mensuales, es 126 m². Como esta especie necesita 6 meses, como promedio, para alcanzar el contenido de humedad deseado, se realizarán bloques de 10 castillos cada mes, hasta completar un total de 6 bloques. De esta forma al finalizar el sexto mes, el primer grupo de castillos

habrá completado el presecado.

El primer bloque, es reemplazado por nuevos castillos, los que se estacionan durante los seis meses que dura el secado.

La superficie requerida para esta distribución de 6 bloques (incluido calles de este a oeste de 4 m de ancho y de 6 m de norte a sur) es 1.240 m² (Anexo N°4).

3.4.4.6 Secado convencional. Para conseguir un contenido de humedad final de 12% es necesario ingresar los castillos, luego de alcanzar el punto de saturación de la fibra, a una cámara de secado convencional.

Este tipo de secado se realiza a temperaturas que varían entre 45 y 90°C y en el interior de la cámara se puede controlar la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del aire.

Este secador permite aplicar un acondicionamiento de la madera, con el fin de eliminar tensiones internas producidas en el presecado, y posterior al secado permite un reacondicionamiento para preparar la madera para su entrega final.

Esto es posible debido a sus características de diseño y disponibilidad de vapor (mayores antecedentes se entregan en el estudio técnico de la alternativa N°2).

La operación a seguir, luego de realizar el presecado, consiste en colocar dentro de la cámara los 10 castillos (40 m³) que han conseguido el P.S.F., cada castillo será montado sobre 2 vigas, las que sostendrán 3 travesaños.

El cargado y descargado de la cámara se realizara por medio de un montacarga y dos trabajadores.

El coeficiente de utilización del secador es 0,92, lo que se explica por el tiempo empleado para realizar el servicio de mantención general del equipo.

3.4.4.7 Tiempo de secado. El tiempo que la madera de Eucaliptus globulus requiere dentro de un secador convencional, desde el P.S.F. hasta un contenido de humedad de 10% es de 3 a 4 semanas (PNUD, 1991).

El tiempo necesario para completar el secado se fija en 30 días, lo que incluye el cargado y descargado de la cámara y el acondicionamiento y reacondicionamiento de la madera.

3.4.4.8 Defectos. La madera de eucalipto presenta en las fases iniciales del secado contracción o cambio de forma.

Sobre el punto de saturación de la fibra, las maderas comienzan a contraerse, muy poco a lo largo del eje longitudinal y más a lo largo del eje radial de la sección transversal, y aún más en la dirección tangencial a los anillos de crecimiento.

El colapso en la madera aserrada se presenta especialmente en espesores menores de 7,5 a 8 cm. En la cara radial, cuarteada, se presenta con una superficie acanalada (efecto tabla de lavar), sobre la cara tangencial o de corte paralelo, fuertes hendiduras abiertas y deformaciones en la superficie. Es preferible el cuarteado debido a que el efecto de tabla de lavar es superado con un aserrado más grueso y posterior cepillado.

En tablas de 2,5 cm o menos de espesor, no se presentan problemas de rajaduras si se estacionan cuidadosamente.

3.4.5 Alternativa 2: Secado convencional

3.4.5.1 Descripción de la tecnología. El secado convencional se realiza a temperaturas que varían entre 45 y 90°C y se lleva a cabo dentro de cuartos llamados cámaras u

hornos, en los cuales se puede controlar la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del aire.

Desde el punto de vista técnico presenta una gran flexibilidad por sus características de diseño y la disponibilidad de vapor.

Además de lo anterior, se tiene la ventaja de poder aplicar técnicas especiales en secados de alta exigencia, con el fin de minimizar gradientes de humedad y eliminar la presencia de tensiones internas, y en algunas especies que presentan colapso (eucalipto y coigue) efectuar un reacondicionamiento para eliminar este defecto (Cubillos et al., 1987).

La edificación de un secador, debido a las condiciones requeridas, obliga a un diseño que satisfaga en forma fundamental los siguientes factores (Gutiérrez, 1972):

- Temperatura de trabajo del proceso
- Humedad relativa del aire durante las etapas del secamiento.
- Resistencia a la corrosión por parte del ambiente interior provocado por el proceso, como son los ácidos orgánicos que se volatilizan de la madera, humedad relativa del aire, etc..
- Grado de aislación térmica para disminuir las pérdidas de calor para las diferentes partes de la estructura.

A continuación se presentan los principales elementos que componen una cámara de secado:

a) Elementos y construcciones.

Las cámaras deben albergar permanentemente la madera durante el secado; por lo tanto deben soportar las condiciones climáticas exteriores y tener suficiente aislamiento para mantener el clima interior (JUNAC, 1989).

- Cimiento: Los cimientos deben soportar la estructura de la cámara, incluidas las paredes y los techos. Las características constructivas deben estar referidas a las condiciones mecánicas del suelo y las capas de la edificación (JUNAC, 1989).

- Piso: El piso de una cámara debe ser lo suficientemente resistente para poder soportar el peso de las pilas de madera y el continuo tránsito. Para un drenaje correcto, todo piso debe tener un desnivel apropiado y dirigido hacia el canal de drenaje y su superficie debe ser lisa y limpia.

- Paredes: Las paredes pueden ser construidas de concreto armado y albañilería, estructura prefabricada en base a acero y aluminio utilizando aislantes térmicos entre las tapas de la pared y estructura de madera de alta durabilidad (Gutiérrez, 1972).

Debido a latente peligro de corrosión, no es recomendable la construcción de paneles en acero y todos los elementos de fijación (tornillos, arandelas, pernos y tuercas) deben ser de un material resistente a este fenómeno (JUNAC, 1989).

Cuando los muros son de ladrillos, se construyen en doble pared, la exterior puede quedar con el ladrillo a la vista, la interior debe recubrirse con un producto resistente a altas humedades y temperaturas y su acabado debe ser lo mas liso posible, para lograr una buena circulación del aire (JUNAC, 1989).

El mejor aislado lo ofrecen las paredes prefabricadas de elementos estructurales de aluminio, con aislación térmica de alta eficacia.

- Techo: El techo debe tener sus juntas de dilatación separando las paredes, para evitar agrietamiento, tanto en las paredes como en el techo. La superficie superior del techo debe recubrirse con un material aislante liviano, con el objeto de evitar la condensación del vapor en la superficie interior (JUNAC, 1989).

- Falso techo: Se utiliza para separar el espacio destinado a los ventiladores de aquel donde se apila la madera. Sobre

el falso techo se colocan los ventiladores, los bafles orientadores del aire y los radiadores o serpentines, según el diseño de las cámaras.

- Puertas: Son elementos importantes debido a que exigen una fácil manipulación y un alto grado de aislación térmica. Por ello son fabricados en base a una doble capa de aluminio con aislante térmico intermedio (Gutiérrez, 1972).

Están ubicadas en uno o en los dos extremos del secadero. También puede tratarse de una puerta lateral, dependiendo de las facilidades para la carga de madera (JUNAC, 1989).

- Ventilas: Sirven para renovar el aire de las cámaras y controlar la humedad interior. Estas pueden ubicarse sobre el techo o en la parte superior de las paredes.

b) Sistema de calefacción.

Lo componen un conjunto de radiadores formado por tubos de acero apropiados, cubiertos por aletas helicoidales corrugadas (Cubillos et al., 1987).

El sistema de calefacción dentro de la cámara cumple las siguientes funciones (JUNAC, 1989):

- Calentar el edificio y el equipo.

- Calentar la madera y el agua que ella contiene
- Calentar el aire hasta la temperatura programada.
- Reponer el calor que sale en el aire húmedo durante el proceso de secado, las pérdidas por escapes y el calor que tiene la madera seca cuando sale de la cámara.

El calentamiento del aire dentro de la cámara se hace a través de radiadores que conducen el calor a la cámara. Existen varios tipos de superficies radiadoras, tales como resistencias eléctricas, tubos para gases calientes, radiadores para vapor y agua caliente.

Tuberías de conducción, válvulas de paso, trampas termodinámicas y filtros de vapor, completan el sistema (Cubillos et al., 1987).

c) Sistema de ventilación

Torgeson (1947) citado por Courtland y Samuel (1965) indican que los propósitos de la circulación del aire en la cámara son:

1. Distribuir uniformemente el calor por toda la cámara.
2. Transportar el agua evaporada de la superficies de las tablas.
3. Proporcionar un medio de mezclado y acondicionamiento del aire antes de que entre a la carga.

4. Transportar el calor de los serpentines calefactores y así aumentar la velocidad de transmisión de calor.

El sistema de ventilación lo conforman ventiladores de tipo axial conduciendo el flujo de aire en sentido transversal a la cámara. Están dispuestos en un eje único longitudinal o utilizan ejes transversales, uno por ventilador. Para efectos de movimiento, el conjunto es accionado mediante un motor eléctrico con transmisión de poleas y correas (Cubillos et al., 1987).

Periódicamente debe hacerse una revisión y lubricación de los rodamientos y de los ejes, para evitar vibraciones y daños que causan interrupciones durante el proceso de secado (JUNAC, 1989).

d) Sistema de humidificación

Tiene como objetivo entregar la humedad necesaria a la cámara de acuerdo a un programa de secado.

Está compuesto por los dispositivos de inyección de vapor o agua, de control automático y de los elementos de aspersion. La revisión de cada una de estas partes se hace durante cada proceso y el mantenimiento entre carga y carga (JUNAC, 1989).

e) Sistema de control.

Podemos clasificar los sistemas de control en tres tipos:

a. Control manual.

La temperatura en un secador se mide por medio de termómetros, los que pueden ser indicadores, registradores o controladores.

La humedad relativa se mide por el uso de termómetros de bulbo seco y húmedo. El primero es un termómetro común y corriente y mide la temperatura ambiente. El de bulbo húmedo es similar, excepto que el elemento sensible a la temperatura está cubierto con un lienzo que se mantiene húmedo.

La diferencia entre ambas lecturas es conocida como depresión de bulbo húmedo. La depresión y la temperatura de bulbo seco están relacionada con la humedad relativa y se utiliza para medirla.

Se recomienda controlar la velocidad del aire dentro de la cámara, ya que la velocidad del aire sobre la parte sensitiva del bulbo húmedo debe ser como mínimo 2 m/s, para obtener una buena lectura.

b. Control semiautomático

Estos aparatos mantienen las condiciones climáticas de la cámara más o menos constantes y ajustadas al horario de secado preestablecido.

Los equipos más simple de controladores pueden controlar automáticamente la temperatura de la cámara y en casos más sofisticados también la humedad relativa.

c. Control automático

Estos equipos no requieren un ajuste manual durante el proceso de secado. El cambio de las condiciones climáticas se hace automáticamente. Esto permite operar un secadero continuamente, sin interrupciones, obteniéndose así una máxima utilización.

Los equipos que predominan de este tipo son los sistemas computarizados. Estos computadores, con sus circuitos incorporados para el control (motoválvulas de calefacción y humidificación, ventiladores, radiadores, ventilas, sensores de contenido de humedad y humedad de equilibrio, temperatura del aire circundante, gradiente de secado, etc), optimizan el rendimiento de las cámaras al emplear tiempos de secado menores, combinados con una mejor calidad del producto final.

3.4.5.2 Descripción del equipo. Secador de madera R. Hildebran en elementos prefabricados de aluminio puro tipo RHD 2000 K.

Los datos técnicos del secador se indican en el anexo N° 5.

a. Cámara de secado.

Estructura en perfiles de aluminio puro.

Cerchas prefabricadas de aluminio para apoyo del techo, soldadas sobre el ancho de la cámara sin conexiones atornilladas.

Paneles de aluminio puro prefabricados con paredes dobles.

Las paredes son resistentes a la corrosión. Aislamiento con lana de fibras minerales. Paredes exteriores en aluminio de calamina trapezoidal. Techo con pendiente en función de la configuración del secador.

Todos los elementos de fijación (tornillos, arandelas, pernos y tuercas) en aluminio o acero inoxidable.

Paneles sellados con silicón elástico, durable y resistente a altas temperaturas.

Cámara de construcción modular para instalación fácil y rápida, que se puede ampliar o trasladar en cualquier momento.

b. Equipo interior de funcionamiento

- Puertas. Las puertas se construyen con paneles metálicos de aluminio. Todos los elementos de fijación en material resistente a la corrosión. Aislamiento térmico de alta eficacia.

- Ventiladores. Fabricados de aluminio con aspas de fundición. Capacidad del aire igual en ambas direcciones.

Motores resistentes a altas temperaturas y corrosión. Cuerpo de motor en aluminio y eje en acero inoxidable. Motores y ventiladores balanceados dinámicamente.

- Falso techo. Para separar el espacio destinado a los ventiladores de aquel donde se apila la madera. Dispositivos para el soporte de los ventiladores y baffles en aluminio.

- Radiadores para el calentamiento. Radiadores en tubos bimetalicos con aletas formadas de un tubo de aluminio en un proceso especial de laminado y perfilado en frío. Alta transmisión de calor y mínimo de mantenimiento.

- Ventiladas. En aluminio sobre el techo con dispositivo automático para abrir y cerrar, permitiendo la entrada y salida de aire, con techos de protección y motores individuales.

- Humidificación. Sistema de humidificación con sistema de agua fría. Tubería en acero inoxidable. Dispositivos especiales para rociar uniformemente. Posee válvula para controlar la humidificación.

- Armario de control. Prefabricados con todos los dispositivos para motores y servo-motores.

- Válvulas. Válvula modulante para controlar la temperatura del secador.

c. Sistema de control

Sistema de control, automático computarizado, para el control del clima, la temperatura y con 8 sondas para la humedad de la madera.

El sistema compuesto de microprocesadores de alta capacidad controla el proceso de secado totalmente automático sin ajuste manual.

Esto permite la operación del secador continuamente con una máxima productividad y obtener un mejor control de la calidad del secado.

La variación de los parámetros durante el secado se efectúa automáticamente en relación del contenido de humedad de la madera o a base del tiempo.

Mediante dispositivos eléctricos (electrodos), el computador puede determinar instantáneamente el contenido de humedad de la madera y el contenido de humedad de equilibrio (CHE) dentro de la cámara (humedad de la superficie de la madera). La relación que existe entre los dos valores es el gradiente de secado.

El computador posee en la memoria diferentes programas con gradientes de secado para distintos tipos de madera.

Este concepto muy funcional permite que la madera misma determine las condiciones dentro de la cámara. El sistema puede funcionar con el valor de la muestra más alta o con el promedio de las muestras.

El operador puede modificar todos los programas y cambiar los valores de regulación durante el secado manualmente.

Se requiere para este sistema de control un computador central con disco duro y sistema a base de MS-DOS, compatible con IBM y en ambiente WINDOWS.

3.4.5.3 Tiempo de secado. La duración del proceso de secado de madera de eucalipto dependerá del contenido de humedad con que ingrese a la cámara.

Courtland y Samuel (1965) señalan los siguientes tiempos de secado, medidos en días, que requieren algunas maderas de estas características, secadas en equipos convencionales, para alcanzar el contenido de humedad deseado a partir de diferentes contenidos de humedad inicial (Tabla N° 10):

Tabla N° 10. Tiempo de secado (Courtlan y Samuel, 1965).

	Tiempo de secado (días)	
	Contenido de humedad (inicial-final)	
	(20%-6%)	(Verde-6%)
Red gum (duramen)	8-12	15-25
Sap gum (albura)	5-7	10-15

Otros autores, señalan que la madera de eucalipto secada artificialmente en secadores de tipo convencional demora, aproximadamente, 8 semanas en disminuir el contenido de humedad desde verde a 13% para piezas de 1" de espesor.

Cubillos et al. (1987), señala los siguientes tiempos de secado para coigue (Tabla N° 11), madera de similares características de secado que eucalipto.

Tabla N° 11. Tiempo de secado para coigue:

	Tiempo de secado (días)	
	C.H.inicial = verde, C.H. final = 12%	
Especie	25 mm	50 mm
Coigue	28	45

Los resultados obtenidos en un proyecto PNUD (1991), para el secado de madera de eucalipto, indican los siguientes tiempos de secado (Tabla N° 12):

Tabla N° 12. Tiempo de secado para eucalipto.

	Tiempo de secado (días)	
	Contenido de humedad (inicial-final)	
	(72%-20%)	(23%-10,7%)
Presecado artif. Secado artificial	35	3

Para efecto de evaluación del estudio, el tiempo de secado requerido para lograr un contenido de humedad final del 12% se fija en 60 días, incluidos el reacondicionamiento de la madera y la carga y descarga de la cámara.

3.4.5.4 Operación. Para cumplir con la demanda mensual se necesita adquirir 2 cámaras de secado con capacidad para 40 m³, de esta forma se garantiza un secado de madera lento (60 días) y cuidadoso que no arriesgue la producción.

El coeficiente de utilización del secador será de 0,92, debido al tiempo estimado para la reparación de equipos.

La operación la realizará un operador, encargado de las cámaras, los equipos de control y la caldera.

La carga y descarga de la cámara se realizará por medio de grúa horquilla, para lo que se requiere un operador de montacarga y dos ayudantes (encastilladores).

Se utilizará como combustible, para el calentamiento de la cámara, los desechos provenientes del aserrío de la madera.

3.4.5.5 Defectos. Es importante regular la temperatura y la humedad relativa de la cámara, de manera de obtener los mínimos defectos.

Si se seca muy rápido se produce en la madera el fenómeno de endurecimiento superficial (case-hardening), lo que interrumpe el secado de las capas internas de la madera (FAO, 1981).

El problema de contracciones en la madera de eucalipto se presenta en el secado artificial y ocasiona el colapso.

La magnitud de la contracción puede ser notable, por ejemplo Henderson (1946) citado por FAO (1981) señala un 22,5% de contracción en Eucaliptus globulus en California cuando se seca a partir del estado verde (79% C.H.) a secado al horno.

En este tipo de secador, es posible realizar el reacondicionamiento de la madera. Este proceso consiste en aplicar vapor saturado a la presión atmosférica, durante 2 a 6 horas (FAO, 1981).

Para coigue, madera de similares características de secado que eucalipto, la temperatura óptima de este tratamiento es 100°C, en un tiempo de 4 horas y con una recuperación volumétrica, aproximada, de 13% (Bluhm et al., 1965).

3.4.6 Alternativa 3: Secado por deshumidificación.

3.4.6.1 Descripción de la tecnología. El deshumidificador es termodinámicamente idéntico a una bomba de calor (equipo de enfriamiento utilizado como calentador). Dicha bomba es un dispositivo usado para extraer calor de una fuente de baja temperatura y llevarlo a una de alta temperatura, agregándole un cierto trabajo mecánico (Cubillos et al., 1987).

Los componentes básicos de una bomba de calor son un evaporador, un condensador, un compresor y una válvula de control (Anexo N°6).

La madera colocada en una cámara hermética y aislada térmicamente, es secada por medio de un flujo continuo de aire seco que circula a través de las pilas con una temperatura que varía progresivamente entre aquella de la cámara y 45°C. El aire seco que pasa uniformemente a través de las pilas, absorbe la humedad que se evapora de la madera. La humedad transportada por el aire es expulsada o succionada por la máquina de refrigeración que la condensa.

Luego el agua es evacuada al exterior de la cámara por medio de una tubería de drenaje (JUNAC, 1989).

La circulación del aire a través de las pilas es realizada por un sistema de ventilación forzada que forma parte de la unidad de secado y por un grupo de ventiladores externos (suplementarios) que permiten una velocidad adecuada permanente del aire que, al absorber la humedad de la madera, la deshidrata (JUNAC, 1989).

Al iniciarse el proceso de secado, un calefactor eléctrico auxiliar eleva la temperatura del aire hasta los 24°C,

temperatura a la cual el calefactor automáticamente se corta. Con esto se obtiene la energía calórica necesaria para elevar la temperatura de la cámara a un nivel efectivo para una recuperación eficiente del calor y, a través del calor adicional entregado por el proceso de deshumidificación, la temperatura de la cámara aumenta progresivamente hasta un rango de operación que va desde los 27 a los 49°C, dependiendo de las diferencias psicrométricas y del contenido de humedad de la madera. (Cubillos et al., 1987).

El sistema de control usado en secadores por deshumidificación se basa en termómetros de resistencia (R.T.D.), sensores de bulbo húmedo y registros de control (Simpson, 1991).

Los materiales de construcción varían desde madera, albañilería y paneles de aluminio (Simpson, 1991).

3.4.6.2 Descripción del equipo. Equipo de secado de madera con bomba de calor "INCOMAC" modelo MAC35/4G HP. Fabricado en estructura de aluminio y acero inoxidable. Tensión de servicio 380 volt 50 ciclos.

Ductos colectores de aire aislados para la transferencia térmica de calor y transporte de aire y vapor saturado.

Controles electrónicos con capacidad de regular semiautomáticamente y automáticamente los diferentes procesos de secado según el tipo de madera. Control de humedad en forma automática por intermedio de la C.H.E de la madera.

Dos unidades de ventilación suplementaria con motores tropicalizados, para alta humedad y temperatura.

Humidificadores de agua para el control de la humedad de la cámara según indique automáticamente el programador electrónico.

3.4.6.3 Consumo operacional

Tabla N° 13. Características equipo INCOMAC, MAC35/4G HP.

Características:	Consumo
Capacidad de secado	40 m3
Potencia compresor	7,5 Kw
Ventilador principal	2,2 Kw
Ventilador suplementario	1,5 Kw x 2 = 3,0 Kw
Potencia total instalada	23 Kw
Capacidad de aire en circulación	20.500 m3/hr
Consumo medio de energía	9,0 Kw/hr

El equipo deshumidificador MAC35/4G HP, debe ser montado en una pieza adyacente a la cámara de secado.

3.4.6.4 Tiempo de secado. El secado por deshumidificación debido a las bajas temperaturas con que trabaja, demora más tiempo que el secado convencional.

Como promedio el tiempo necesario para disminuir el contenido de humedad desde la condición de verde a un 13% es, aproximadamente, 64 días para 1" de espesor y 90 días para un espesor de 2" (Cubillos et al., 1987).

3.4.6.5 Operación. Para cumplir con la demanda mensual se necesita adquirir 2 cámaras de secado con capacidad para 40 m³, de esta forma se garantiza el secado de madera en un tiempo de 60 días.

El coeficiente de utilización de las cámaras de secado será 0,92, debido al tiempo requerido para la revisión y reparación de los equipos.

La operación de los secadores la realizará un operador, encargado de las cámara y los equipos de control.

La carga y descarga de la cámara se realizará por medio de grúa horquilla, para lo que se requiere un operador de montacarga y dos ayudantes (encastilladores).

3.4.6.6 Defectos. El secado por deshumidificación no permite el reacondicionamiento de la madera lo que trae como consecuencia el aumento de defectos en comparación con el secado convencional y por lo tanto existe un incremento del riesgo de pérdida de la producción.

3.5 Costos e inversiones.

En el siguiente capítulo se determinan las inversiones a realizar para cada alternativa y los costos involucrados.

3.5.1 Alternativa 1: Presecado natural y secado convencional. Para esta alternativa se ha considerado como inversión la adquisición del terreno necesario para la cancha de secado y la compra de un secador de madera. El valor asignado al terreno y obras civiles es de 10 US\$/m².

La inversión inicial del proyecto se estima en US\$ 12.400 (terreno) y US\$ 87.445 (secador convencional).

El costo de producción unitario es de 11,15 US\$/pm (7,82 US\$/pm de presecado y 3,33 US\$/pm de secado convencional).

Existe, además, un costo de reemplazo y/o reparación de equipos en el 4º y 8º año, del horizonte de estudio, equivalente a un 20% de la inversión.

El detalle de los costos se indica en el anexo N° 7.

3.5.2 Alternativa 2: Secado convencional. Esta alternativa implica adquirir dos secadores de madera Hildebrand, lo que se traduce en una inversión total de US\$174.890.

El costo unitario de producción es de 11,258 US\$/pm.

Existe, además, un costo de reemplazo y/o reparación de equipos en el 4° y 8° año, del horizonte de estudio, equivalente a un 20% de la inversión.

El detalle de los costos se indica en el anexo N° 8.

3.5.3 Alternativa 3: Secado por deshumidificación. Para cumplir con una producción de 40 m³ aserrados secos mensualmente, desde verde a un contenido de humedad del 12%, se debe adquirir 2 cámaras de secado y sus respectivos componentes.

El valor de cada equipo es de US\$ 57.922, lo que significa una inversión de US\$ 115.844 y un costo de producción total de 11,930 US\$/pm.

Se ha estimado un costo de reemplazo y/o reparación de equipos en el 4º y 8º año, del horizonte de estudio, equivalente a un 20% de la inversión.

El detalle de los costos se indican en el anexo N° 9.

3.6 Metodología de evaluación.

Para el análisis del estudio se ha considerado un escenario pesimista, donde el precio se mantiene constante durante el horizonte de estudio, a pesar de que la tendencia ha sido creciente en los últimos años. De esta manera se analiza el comportamiento de cada alternativa y sus resultados bajo este punto de vista y se demuestra que el análisis en un escenario diferente implicaría un mejor resultado y afectará por igual a todas las alternativas.

Cada alternativa será analizada en un horizonte de estudio de 10 años, tiempo escogido debido a la vida útil (promedio) de los secadores artificiales estudiados y a la inversión que cada alternativa implica.

El análisis de los diferentes flujos de caja se realiza en periodos anuales, a una tasa mínima atractiva de retorno de 10%, debido a que ésta es la tasa de interés planteada por División El Teniente de acuerdo a su rentabilidad.

Los criterios usados para evaluar el estudio son los siguientes:

1. Valor actual neto (VAN): Capitalización de los flujos de caja neto dentro de un período de estudio y a una tasa de interés dada.

Este criterio plantea que el proyecto debe aceptarse si su VAN es igual o superior a cero (Sapag y Sapag, 1983).

En el presente estudio, debido a la comparación de diferentes alternativas, se escogerá aquella que presente el mayor VAN.

Este indicador ha sido escogido debido a que considera el valor del dinero en el tiempo, permite comparar alternativas de inversión y es fácil de calcular.

2. Tasa interna de retorno (TIR): Tasa de interés que hace igual a cero el valor actual de un flujo de beneficios netos (Fontaine, 1983).

El criterio de la TIR evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por período con la cual la totalidad de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual (Sapag y Sapag, 1983).

3. IVAN : Criterio práctico de evaluación que mide la significancia del VAN sobre la inversión. Ganancia obtenida por cada peso invertido.



IV. RESULTADOS Y DISCUSION

El desarrollo de los cuadros de flujo de caja, resultantes de la evaluación económica se indican en el anexo N° 10.

4.1 Alternativa 1: Presecado natural y secado convencional

VAN (10%)	=	US\$ 562.541,1
TIR (%)	=	97,8
IVAN	=	5,6

4.2 Alternativa 2: Secado convencional

VAN (10%)	=	US\$ 519.312,4
TIR	=	69,7
IVAN	=	3,0

4.3 Alternativa 3: Secado por deshumidificación

VAN (10%)	=	US\$ 503.041,4
TIR (%)	=	96,3
IVAN	=	4,3

La alternativa de secado más conveniente para producir madera seca de eucalipto es realizar un presecado al aire de 6 meses y luego un secado en cámara convencional de 30 días.

Sin embargo, las otras dos opciones de secado son económicamente rentables de realizar. La diferencia radica, principalmente, en el costo unitario de producción y en la inversión inicial requerida.

Este último factor es fundamental en la toma de decisiones, ya que para las dos alternativas descartadas se requiere comenzar el proyecto con la adquisición de dos cámaras de secado, mientras que para la alternativa seleccionada la compra del equipo se puede realizar hasta 6 meses después de iniciado el proyecto.

En la evaluación económica no se ha considerado el capital de trabajo para ninguna de las alternativas, esto se debe principalmente a que el estudio se ha realizado con datos provenientes del aserradero de la División El Teniente, el cual de materializar el proyecto no requeriría de este capital de trabajo. Además, este capital de trabajo afectará por igual a las tres alternativas planteadas y por lo tanto no modificará el resultado obtenido hasta ahora.

Sin embargo, para realizar un completo estudio, se deben evaluar las alternativas modificando ciertas variables sensibles a posibles cambios durante el período de estudio. Este análisis se conoce como análisis de sensibilidad.

4.4 Análisis de sensibilidad

El detalle de los cuadros de flujo de caja se indican en el anexo N° 11.

4.4.1 Evaluación económica considerando una disminución del precio de mercado para el cálculo de los beneficios.

El precio de venta para la pulgada maderera seca de eucalipto se ha estimado en 15 US\$/pm.

1. Alternativa 1: Presecado natural y secado convencional

VAN (10%) =	US\$	270.930,3
TIR (%) =		57,4
IVAN =		2,7

2. Alternativa 2: Secado convencional

VAN (10%) =	US\$	206.676,8
TIR (%) =		35,6
IVAN =		1,2

3. Alternativa 3: Secado por deshumidificación

VAN (10%) =	US\$	190.405,8
TIR (%) =		45,8
IVAN =		1,6

4.4.2 Evaluación económica considerando un aumento de los costos en un 10%.

1. Alternativa 1: Presecado natural y secado convencional.

VAN (10%)	=	US\$ 454.120,2
TIR (%)	=	83,3
IVAN	=	4,5

2. Alternativa 2: Secado convencional

VAN (10%)	=	US\$ 401.990,6
TIR (%)	=	57,2
IVAN	=	2,3

3. Alternativa 3: Secado por deshumidificación

VAN (10%)	=	US\$ 378.716,7
TIR (%)	=	76,5
IVAN	=	3,3

4.4.3 Evaluación económica considerando una disminución de las ventas en un 10%.

1. Alternativa 1: Presecado natural y secado convencional.

VAN (10%)	=	US\$ 387.574,6
TIR (%)	=	74,2
IVAN	=	3,9

2. Alternativa 2: Secado convencional

VAN (10%)	=	US\$ 331.731,0
TIR (%)	=	49,6
IVAN	=	1,9

3. Alternativa 3: Secado por deshumidificación

VAN (10%)	=	US\$ 315.460,1
TIR (%)	=	66,4
IVAN	=	2,7

Estos análisis nos demuestran lo conveniente que resulta el secar madera de eucalipto en la sexta región, especialmente en la ciudad de Rancagua.

A pesar de haber modificado las principales variables que afectarían la rentabilidad del proyecto, este aún resulta atractivo desde el punto de vista económico para todas las alternativas. Sin embargo, la alternativa de un presecado natural y posterior secado convencional es la que se escoge en definitiva como la más conveniente desde el punto de vista económico (Anexo N°12).

La rentabilidad del proyecto se debe principalmente al bajo precio de compra de la madera de eucalipto, por parte de la División El Teniente y al buen precio de mercado que posee la pulgada maderera seca de eucalito en la zona.

V. Conclusiones

El aserradero de la División El Teniente produce anualmente 71.000 pm de eucalipto, utilizadas principalmente como madera estructural, este volumen de producción podría incrementar, si se aprovecha un cierto volumen de madera considerado actualmente como desecho, el cual se estima en 18.656 pm/año.

Este volumen para ser aprovechado debe estar seco, de manera de obtener un producto estabilizado y de buena calidad que permita una rápida comercialización.

Dentro de los métodos de secado conocidos, el que presentó los mejores resultados desde el punto de vista económico fue el estacionar la madera durante 6 meses de presecado natural y luego introducirla a una cámara convencional por un período de 30 días. Además, el secado convencional permite realizar un reacondicionamiento de la madera, eliminando ciertas tensiones propias del secado de eucalipto.

Con este método se consigue un producto final, con un contenido de humedad de 12%, a un costo de producción de 11,15 US\$/pm y con una inversión inicial de US\$99.845.

VI. Resumen

Actualmente, existen diferentes formas de secar la madera, ya sea en forma natural o artificialmente.

La elección del método adecuado dependerá de las condiciones ambientales, características de la madera y su uso final.

En el presente estudio se evalúan económicamente tres alternativas de secado para madera de eucalipto en un volumen de producción de 40 m³ mensuales y en espesores de 1 pulgada de espesor, con el objeto de obtener un mejor aprovechamiento de las trozas aserradas.

Las alternativas consideradas en el estudio son presecado natural y secado artificial, secado convencional y secado por deshumidificación, las que fueron escogidas en base a estudios y experiencias anteriores recogidas de la revisión bibliográfica. Estas alternativas fueron comparadas y evaluadas de acuerdo a criterios técnicos y económicos.

Técnicamente existe diferencia en los tiempos de secado, consumo energético y defectos producidos en el proceso.

Económicamente la principal diferencia es el monto de la inversión inicial y el costo de producción de la pulgada de madera seca de eucalipto para cada alternativa.

El análisis de la información obtenida, permite concluir que un presecado natural seguido de un secado convencional es la alternativa más atractiva, ya que posee la menor inversión inicial y a la vez el menor costo de producción, lo que se agrega a la posibilidad de controlar de las variables ambientales y permitir el reacondicionamiento de la madera, minimizando los defectos producidos.



BIBLIOGRAFIA

1. A.I.D. Secado de madera. (1965). Manual de operaciones para el programa de cooperación. Centro Regional de Ayuda Técnica. Agencia para el Desarrollo Internacional. México.
2. Alvarez N., H. Fernández-Golfín S., J.I. Fundamentos teóricos del secado de la madera (1992). Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España.
3. Ananías R., A.; Vergara F., P. Un modelo de secado natural de eucalipto (Eucaliptus globulus L.). Ciencia e Investigación forestal (1991). Instituto Forestal, Santiago, Chile.
4. Bluhm S., E; Rosende B., R; Kauman J., G. Determinación de la humedad de equilibrio de la madera en todas las zonas climáticas de Chile. Documento técnico N°21 (1965). INFOR. Santiago, Chile.
5. Bluhm S., E.; Kauman J., W.G.; Melo S., R.; Neira M., C. Recuperación del colapso en madera de eucalipto (Eucaliptus globulus). (1965). INFOR; Universidad de Concepción. Actas de la reunión sobre investigación en productos forestales. Informe técnico N° 21. Santiago, Chile.
6. Bluhm S., E; Rosende B., R. Ensayo de secado en coigue y ulmo en tablas de largo comercial. (1966). Informe técnico N°26. INFOR. Santiago, Chile.
7. Courtland B., N; Samuel B., J. La industria maderera. (1965). Editorial Limusa-Wiley, S.A. Mexico.
8. Cubillos C., G.; Retamal P., G.; Gutierrez D., M. Secado por deshumidificación de especies madereras de interés comercial. Parte I. Pino insigne. Coigue. Tapa. Lengua. (1987). Informe técnico N° 100. Infor. División Industrias; Corfo. Santiago, Chile.
9. Cuevas I., E. Determinación de la contracción y colapso en el secado de la madera de Eucaliptus viminalis. (1965). INFOR; Universidad de Concepción. Actas de la reunión sobre investigación en productos forestales. Informe técnico N°21. Santiago, Chile.

10. Cuevas I., E. Incidencia de los fenómenos de contracción y colapso en especies de interés comercial en Chile. (1969). Depto. Tecnología de la Escuela de Ingeniería Forestal. Facultad de Agronomía. Universidad de Chile. Chile.
11. Ellwood; Ecklund. The effect of organics liquids on Collapse and Shrinkage of wood. (1963). Forest products journal. July 1963.
12. Esau, K. Anatomía vegetal. (1976).
13. Fernández G., A.; Torricelli D., E. La madera su explotación, secamiento, propiedades y utilización. 1942. Santiago, Chile.
14. FAO. El eucalipto en la repoblación forestal. (1982). Colección FAO: Montes N° 11.
15. Fontaine R, E. Evaluación social de proyectos. (1983). Ediciones Universidad Católica. Instituto de Economía. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.
16. Gutiérrez D., S. Estudio técnico económico del secado de madera en Chile. (1972). Memoria para optar al título de Ingeniería Civil Industrial Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Santiago, Chile.
17. Gutiérrez, M. Apuntes de secado de madera. (1990).
18. INFOR. Medición del contenido de humedad. (1967). Nota técnica N° 9. Instituto Forestal. Santiago, Chile.
19. INFOR. La industria del aserrío 1990 (censo). (1991). Boletín estadístico N°23. Infor. Corfo. Santiago, Chile.
20. INFOR. Estadísticas forestales 1992. Boletín estadístico N°30. (1993). Infor-Corfo. Santiago, Chile.
21. INFOR. Precios de productos forestales (actualizados al primer semestre de 1994). Boletín estadístico N° 37. (1994). Infor. Filial Corfo. Santiago, Chile.
22. INFOR. Boletín de precios forestales. Año 9. N°49. (1995). Infor-Corfo. Santiago, Chile.
23. JUNAC. Manual del Grupo Andino para el secado de maderas. (1989). Junta del Acuerdo de Cartagena. Proyecto subregional de promoción industrial de la madera para construcción. Lima, Perú.

24. Kauman J., W.G.; Mittak K., G. Problemas de secado del coigue. (1965). Infor; Universidad de Concepción. Actas sobre investigaciones en productos forestales. Informe técnico N° 21. Santiago, Chile.
25. Lamb M., F.; Wengert M.E. Matching a drying system to a mill's requirements. (1988). World Wood 29 (5).
26. Mackay; Oliveira. Kiln operator's handbook for Western Canada.(1989). Vancouver, Canada.
27. Moya, C. Apuntes de Conversión mecánica. (1992).
28. OEEC. Modern techniques for drying and conditioning of timber. (1957). Project N° 241. European Productivity Agency of the Organization for European Economic Co-Operation 2, Rue André-Pascal, París.
29. Pérez G., V.A. Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas. (1983). Documento de trabajo N°47. CONAF, FAO. Santiago, Chile.
30. Pérez G., V.A. Manual de construcciones en madera. (1991). Manual N°10. Vol. 1. Infor. División Industrias. Santiago, Chile.
31. PNUD. Secado de madera de eucalipto. (1991). Proyecto PNUD CHI/87/018. Concepción, Chile.
32. Quintanar. Modelo de evaluación financiera de secador solar. (1992). Modelos Forestales. Taller internacional 21-22 Marzo 1991. Infor, Corfo. Santiago, Chile.
33. Sapag Ch., N; Sapag Ch., R. Fundamentos de Preparación Y Evaluación de proyectos. (1983). Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas. Departamento de Administración. Universidad de Chile.
34. Simpsons. Dry kiln operator's manual. (1991). Research Forest Products Technologist. United State Department of Agricultura. Forest Service. Forest Products Laboratory. Madison, Wisconsin, U.S.A.



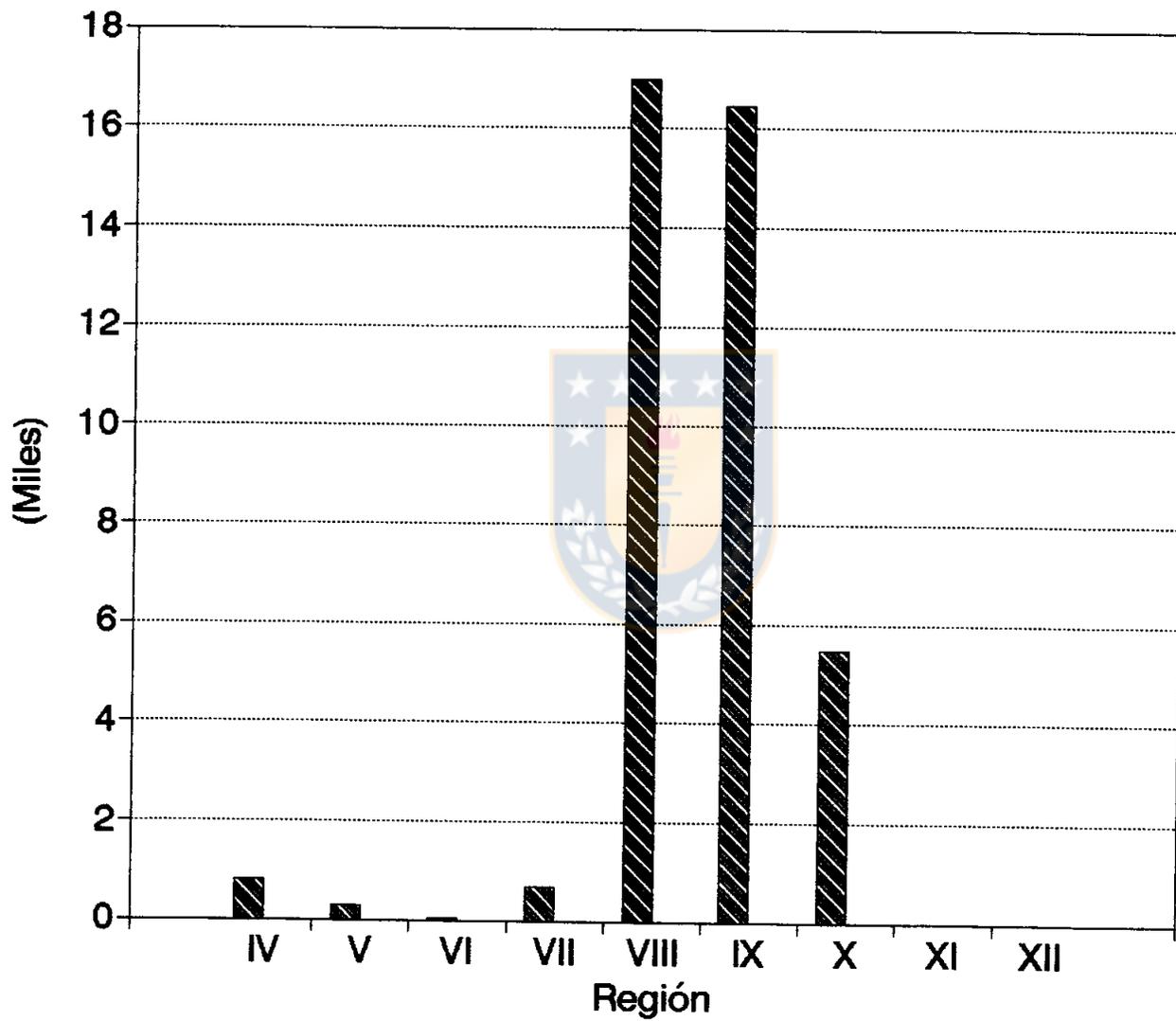


Figura N° 1a. Producción regional de madera aserrada de eucalipto

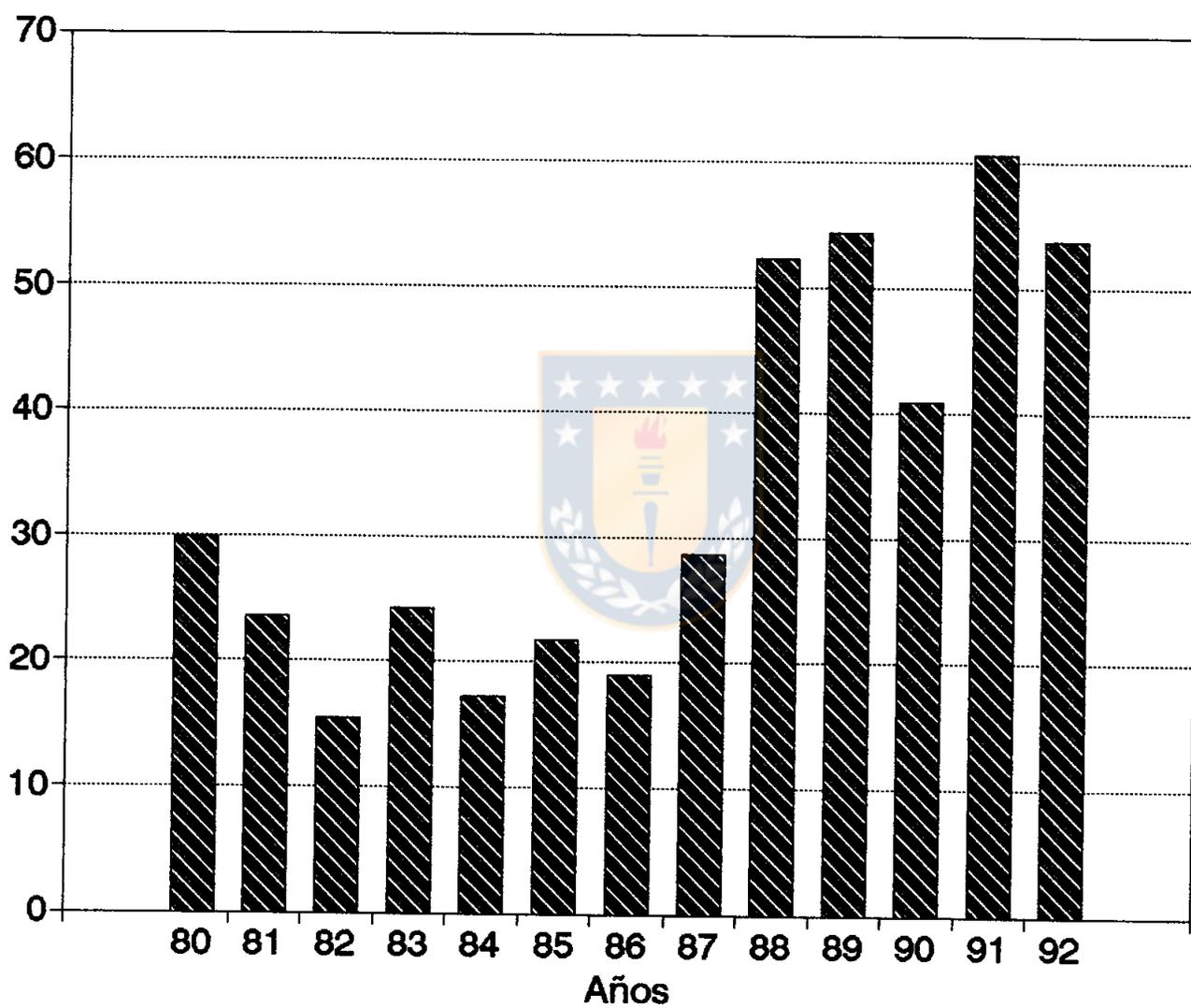


Figura N° 2a. Producción histórica de madera aserrada de eucalipto (INFOR, 1993)

ANEXOS



Anexo N°1: Eucaliptus globulus. Propiedades físicas

Propiedad	Valores					
Densidad (Kg/m ³)	ESTADO VERDE			ESTADO SECO (C.H.= 12%)		
	Aparente	Básica	Anhidra	Aparente	Básica	Anhidra
	1094	623	800	800	720	800
Durabilidad	Durabilidad: 2 Madera moderadamente durable de las cuales se espera una vida útil superior a 5 años e inferior a 15 años, cuando está en servicio, si tratamiento preservador, de una calidad comercial promedio, usada en contacto con el suelo, en condiciones climáticas normales existentes en Chile.					
Contracción	DESDE ESTADO VERDE A CONTENIDO DE HUMEDAD 0%					
	Tangencial		Radial		Volumétrica	
	11,7		6,5		18,2	
Permeabilidad	TRATABILIDAD (*)					
SAL O PRESERVANTE	DIFICIL DE TRATAR R<120 Kg/m ³		TRATABLE 120< R <240		FACIL DE TRATAR R>240 Kg/m ³	
	albura	duramen	albura	duram	albura	duramen
HIDROSOLU- BLE TIPO C.C.A.	X	X				
A BASE DE PENTAFLORO- FENOL	X	X				
CREOSOTA	X	X				

(*) TRATABILIDAD: Facilidad con la cual un líquido atraviesa la madera en respuesta a una diferencia de presión.

ANEXO N° 2. DATOS CLIMATICOS DE RANCAGUA

PERIODO:
MAYO ABRIL
1990 1991

ESTACION AGROMETEOROLOGICA DE GRANEROS

MES	TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE (°C)			HRS DE SOL TOTAL	HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)			PRECIPITACION (mm)		
	MEDIA	MAX	MIN		06 HRS	14 HRS	20 HRS	TOTAL	MAX 24 HRS	MAX DIAS CONSECUTIVOS SIN PRECIPITACION
MAYO	8.2	17.3	5.6	148.5	95	52	82	7.6	7.1	17
JUNIO	7.7	16.2	2.5	136.3	91	55	80	3.5	2	9
JULIO	6.5	14	1.8	121.1	93	61	81	103.2	41.5	15
AGOSTO	9.5	17.2	4.2	145.1	95	59	82	73.9	50	14
SEPTIEM	10.5	18.8	5.7	146.9	94	64	82	71.9	19	10
OCTUB.	12.6	20	6.7	220	90	60	76	22.7	18	11
NOV	15.9	24.5	8.3	297.5	79	49	66	0.3	0.3	29
DIC.	18.6	27.1	10.5	308.2	78	46	59	-	-	31
ENERO	19.3	28.7	10.3	406	78	43	54	-	-	31
FEBRERO	19	29.3	10.6	406	84	42	59	-	-	28
MARZO	16.4	26.2	9.2	260.2	92	48	74	-	-	31
ABRIL	13.6	21.8	8.2	149	94	57	63	30.5	19.7	14
ANUAL	13.2	21.6	6.8	2836.8	88	53	73	313.2	50	31

DIRECCION PREDOMINANTE DEL VIENTO
ANUAL

SO 2 m/s => 08hrs
SO 4 m/s => 14hrs
SO 3 m/s => 20hrs

PERIODO:
MAYO ABRIL
1991 1992

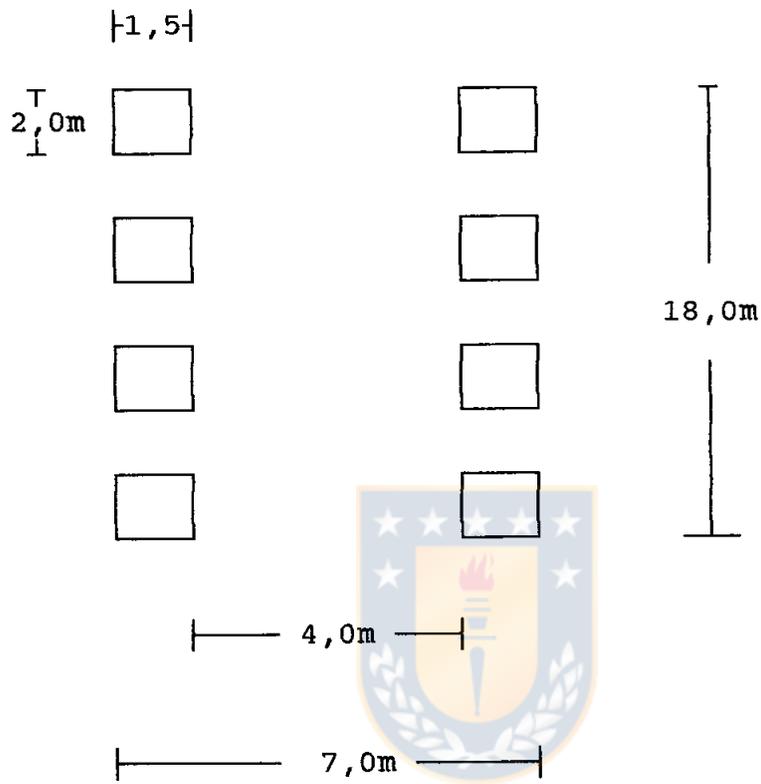
ESTACION AGROMETEOROLOGICA DE GRANEROS

MES	TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE (°C)			HRS DE SOL TOTAL	HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)			PRECIPITACION (mm)		
	MEDIA	MAX	MIN		06 HRS	14 HRS	20 HRS	TOTAL	MAX 24 HRS	MAX DIAS CONSECUTIVOS SIN PRECIPITACION
MAYO	11.5	19.2	7.3	95.4	91	63	87	101.5	48	10
JUNIO	8.8	16.4	5	102.4	94	64	89	223.1	73.3	12
JULIO	7.5	13.6	3.8	-	95	68	90	91.1	27.7	8
AGOSTO	7.5	14.7	2.7	-	96	63	86	21.5	11.7	23
SEPTIEM	11.4	18.4	6.4	-	94	60	79	92.8	40.7	13
OCTUB.	13.4	21.4	8.8	251.5	85	50	70	25.4	13.0	16
NOV	16.5	24.3	9.6	-	82	50	68	1.8	1.8	22
DIC.	17.5	24.6	10.8	250	79	55	66	31.8	14.8	13
ENERO	20.2	27.9	12.7	327	78	53	67	-	-	31
FEBRERO	18	26.7	10.7	270.8	84	50	69	0.4	0.4	19
MARZO	17.1	25.8	10.7	228.4	94	52	79	7.8	6.7	24
ABRIL	12.3	19.9	6.8	128.6	96	62	83	35.1	17.5	19
ANUAL	13.5	20.9	7.8	-	89	59	78	722.3	73.3	31

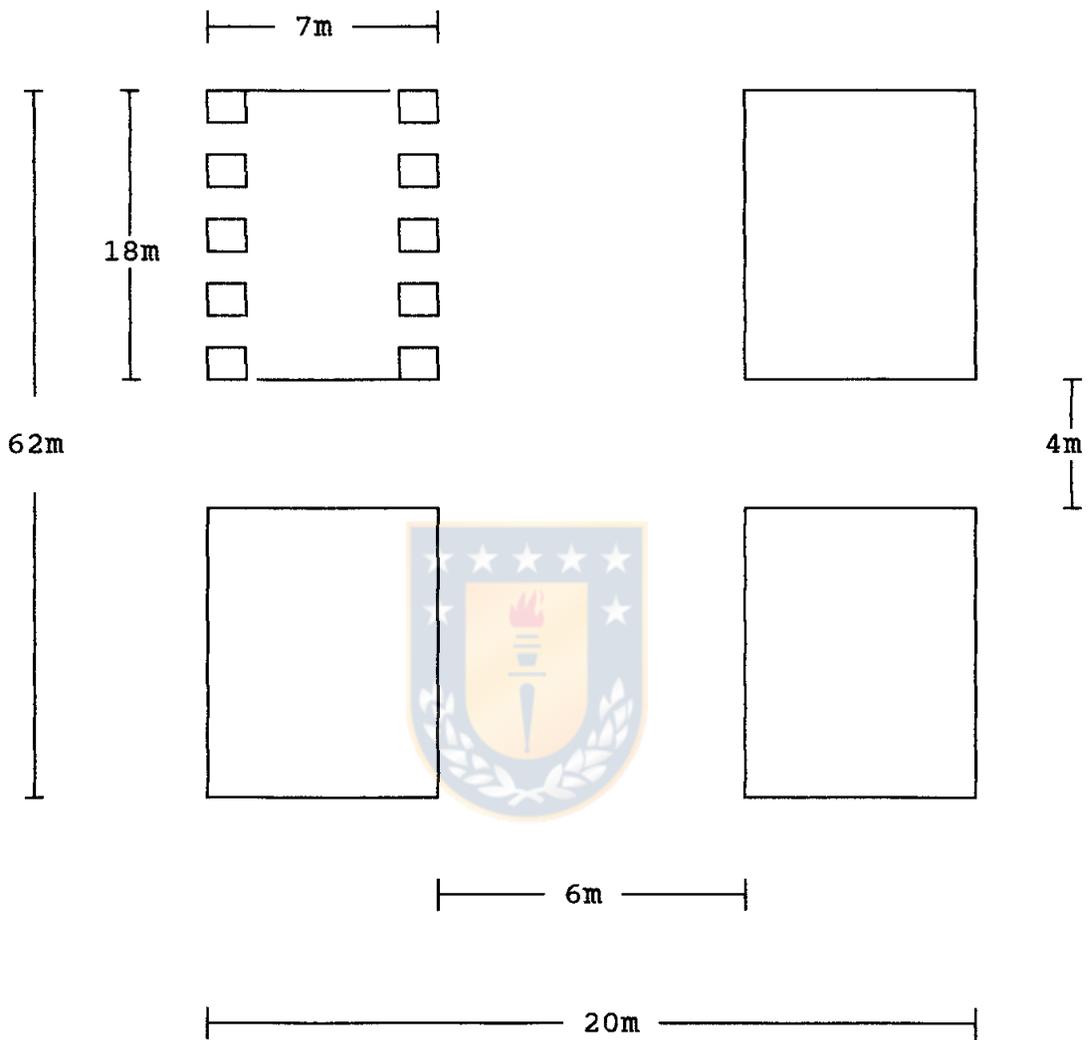
DIRECCION PREDOMINANTE DEL VIENTO
ANUAL

SO 2 m/s => 08 hrs
SO 4 m/s => 14 hrs
SO 2 m/s => 20 hrs

Anexo N°3: Distribución de castillos



Anexo N°4: Cancha de secado



Anexo N°5: Datos técnicos Secador Hildebrand

Dimensiones de la cámara

Profundidad	7,4 m
Anchura	6,6 m
Altura	5,2 m

Dimensiones interiores de la puerta

Anchura	6,0 m
Altura	4,2 m

Sistema de calefacción

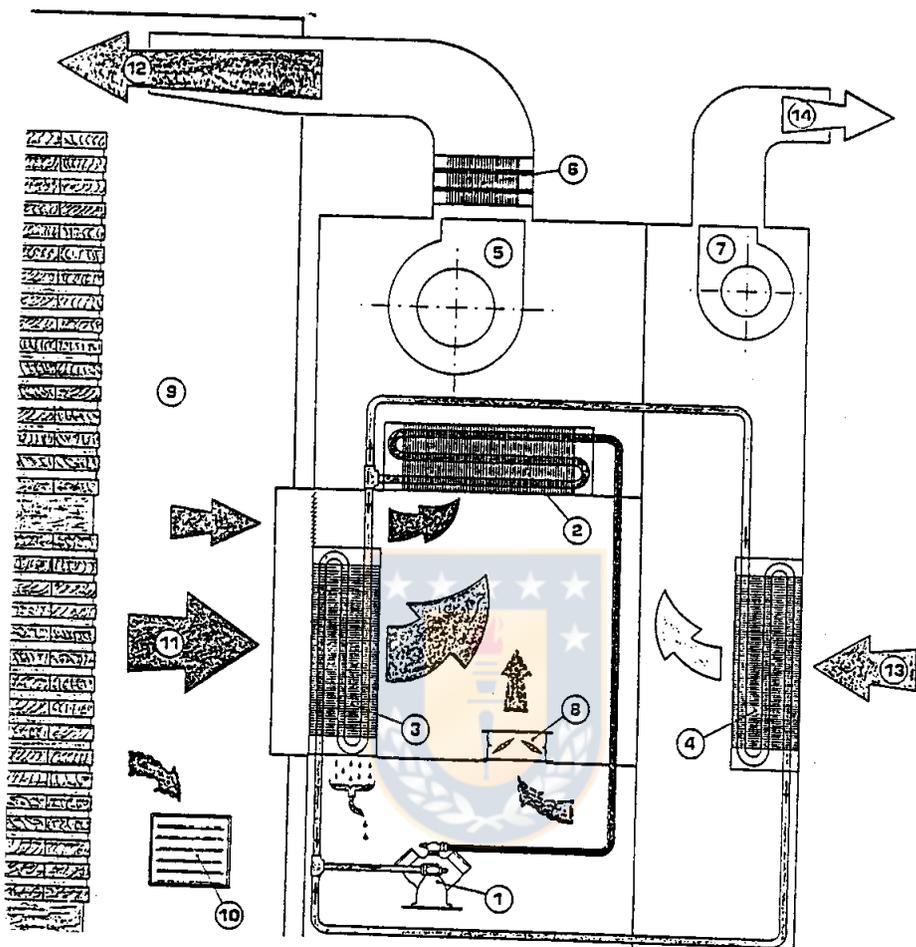
Capacidad instalada de calefacción:	115.200 Kcal/h (134 Kw)
Consumo medio	: 14.080 Kcal/h
Tubería	: en acero inoxidable
Temperatura de la cámara	: 90°C
Medio de calefacción	: Agua caliente, 110/90°C
Medio de humidificación	: agua fría, 3 bar



Sistema de ventilación

Ventiladores	:	4 unidades
Motores, clase de aislación	:	IP 55 clase H (Norma ISO)
Capacidad total del aire	:	130.254 m ³ /h
Velocidad nominal del aire	:	3,17 m/s
Valor eléctrico de conexión	:	4x3 Kw = 12 Kw
Voltaje de operación	:	380 V, 50 Hz, 3 fases

Anexo N°6: Esquema de una bomba de calor (INCOMAC, Italia)



- 1) Compresor
- 2) Condensador
- 3) Evaporador extracción de humedad
- 4) Evaporador bomba de calor
- 5) Ventilador principal
- 6) Calefacción auxiliar
- 7) Ventilador bomba de calor
- 8) Ventana aspiración aire exterior
- 9) Celda de secado
- 10) Ventana de expulsión aire húmedo
- 11) Aspiración desde la celda
- 12) Salida de la celda
- 13) Aspiración aire exterior
- 14) Expulsión aire frío

ANEXO N° 1 :Estudio de Costos e Inversiones

Alternativa 1.1: Presecado Natural

Inversión	Valor (US\$/m2)	Area (m2)	Total (US\$)
Terrano			
Cancha de secado	10	1240	12400

Madera	US\$/pm	pm/año	US\$/año
Adquisición	3.33		
Manejo madera	0.50		
Aserrió	2.07		
Inspección	0.07		
Transporte	0.23		
Total	6.20	18656	115667.2

Castillo	pm	Nº/año	pm/año	US\$/pm	US\$/año
Bases(8x8"x0,5m)	0.87	240.0	208.8		
Viga(8x8"x1,5m)	1.97	120.0	236.4		
Travesaño(4x4"x2m)	0.87	180.0	157.3		
Separador(1x1"x2m)	0.05	10620.0	579.9		
Total	3.77	11160.0	1182.4	6.2	7330.7

Encastillado (carga y descarga)	US\$/pm	pm/año	US\$/año
Mov. en cancha	0.107		
Apilado	0.160		
Total	0.267	18656	4973.3

Costos de interés involucrados	US\$/pm	pm/año	US\$/año
Interés sobre la inversión	0.066	18656	1231.30
Interés sobre capital circulante	0.310	18656	5783.36
Valor de pérdidas durante secado	0.620	18656	11566.72
Total	0.996		18581.38

Resumen de costos e inversiones

Inversión	Valor (US\$/m2)	Area (m2)	Total (US\$)
Terrano			
Cancha de secado	10	1240	12400

Costos de operación	US\$/pm	pm/año	US\$/año
Madera	6.200		115667.2
Castillo	0.360		7330.7
Encastillado	0.267		4973.3
Costos de interés	0.996		18581.38
TOTAL	7.823	18656	145941.7

Alternativa 1.2: Secado Convencional

Inversión	Valor (US\$)	US\$/pm
Equipo secador		
Hildebrand	87445	4.297

Costos de operación

Castillo	pm	Nº/año	pm/año	US\$/pm	US\$/año
Viga(6x6"x1,5m)	1.97	120.0	236.4		
Travesaño(4x4"x2m)	0.87	180.0	157.32		
Separador(1x1"x2m)	0.05	10620.0	579.9		
Total	2.90	10920.00	973.57	6.20	6036.15

Encastillado (carga y descarga)	US\$/pm	pm/año	US\$/año
Mov. en cancha	0.107		
Apilado	0.160		
Total	0.267	18656	4973.3

Movimiento secador	US\$/hr	hr/día	hr/año	US\$/año
Operador	8	9.6	2534.4	20275.2

Consumo	Kw/día	Kw/año	US\$/Kw	US\$/año	US\$/pm
Electricidad	115.2	38592	0.0771	2975.4432	0.16

Depreciación	Valor (US\$)	V.resid (US\$)	Vid.útil (años)	D.anual (US\$/año)
Equipo				
Hildebrand	87445	17489	20	3497.8

Costos de interés involucrados	US\$/pm	pm/año	US\$/año
Interés sobre inversión	0.460	18656	8581.76
Interés sobre capital circulante	0.065	18656	1216.37
Valor de pérdidas durante secado	0.782	18656	14594.59
Total	1.308		24392.72

Resumen de costos e inversiones

Inversiones	Valor (US\$)	US\$/pm
Equipo		
Hildebrand	87445	4.687232

Costos de operación	US\$/pm	US\$/año
Castillos	0.324	6036.1
Encastillado	0.267	4973.3
Operador secador	1.087	20275.2
Electricidad	0.159	2975.4
Depreciación	0.187	3497.8
Costos de interés	1.308	24392.72
Total	3.332	62150.6

Anexo N° 8: Estudio de costos Alternativa N°2

Inversión	Valor (US\$)	US\$/pm	Cantidad	Total (US\$)
Equipo secador				
Hildebrand	87445	4.687	2	174890

Costos de operación

Item de costo	US\$/pm	pm/año	US\$/año
Madera	6.2	18656	115667.2

Castillo	pm	Nº/año	pm/año	US\$/pm	US\$/año
Viga(6x8"x1,5m)	1.97	120.0	236.4		
Travesaño(4x4"x2m)	0.870	180.0	156.60		
Separador(1x1"x2m)	0.050	10620.0	531.00		
Total	2.890	10920.0	924.00	6.2	5728.80

Encastillado (carga y descarga)	US\$/pm	pm/año	US\$/año
Mov. en cancha	0.107		
Apilado	0.160		
Total	0.267	18656	4973.3

Movimiento secador	US\$/hr	hr/día	hr/año	US\$/año
Operador	8	9.6	2534.4	20275.2

Consumo	Kw/día	Kw/año	US\$/Kw	US\$/año	US\$/pm
Electricidad	115.2	38592	0.0771	2975.4432	0.16

Mantenición	US\$/pm	US\$/año
Equipo	0.2343616	4372.25

Depreciación	Valor (US\$)	V.resid (US\$)	Vida util (años)	D.anual (US\$/año)
Equipo				
Hildebrand	87445	17489	20	3497.8

Costos de interés involucrados	US\$/pm	pm/año	US\$/año
Interés sobre inversión	0.937	18656	17480.7
Interés sobre capital circulante	0.103	18656	1921.6
Valor de pérdidas durante secado	0.620	18656	11566.7
Total	1.660		30969.0

Resumen de costos e inversiones

Inversiones	Valor (US\$)	US\$/pm	Cantidad	Total US\$
Equipo				
Hildebrand	87445	4.687232	2	174890

Costos de operación	US\$/pm	US\$/año	Cantidad	Total (US\$/pm)	Total (US\$/año)
Adquisición (madera)	6.200	115667.2	1	6.200	115667.2
Castillos	0.307	5728.8	2	0.614	11457.6
Encastillado	0.267	4981.2	2	0.534	9962.3
Operador secador	1.087	20275.2	1	1.087	20275.2
Electricidad	0.159	2975.4	2	0.319	5950.9
Mantenimiento	0.234	4372.3	2	0.469	8744.5
Depreciación	0.187	3497.8	2	0.375	6995.6
Costos de interés	1.660	30969.0	1	1.660	30969.0
Total	10.102	188466.8		11.258	210022.3



Anexo N° 9: Estudio de costos Alternativa N°3

Inversión	Valor (US\$)	US\$/pm	Cantidad	Total (US\$)
Equipo secador				
Incomac	57922	3.10473842	2	115844

Costos de operación

Item de costo	US\$/pm	pm/año	US\$/año
Adquisición(madera)	6.2	18656	126182.4

Castillo	pm	Nº/año	pm/año	US\$/pm	US\$/año
Viga (6x8"x1,5m)	1.97	120	236.4		
Travesaño(4x4"x2m)	0.870	180.0	156.60		
Separador(1x1"x2m)	0.050	10620.0	531.00		
Total	2.890	10920.0	924.00	6.2	5728.80

Encastillado (carga y descarga)	US\$/pm	pm/año	US\$/año
Mov. en cancha	0.107		
Apilado	0.160		
Total	0.267	18656.0	4973.3

Movimiento secador	US\$/hr	hr/día	hr/año	US\$/año
Operador	8	9.6	2534.4	20275.2

Electricidad	Kw/día	Kw/año	US\$/Kw	US\$/año	US\$/pm
Potencia compresor	72	24120			
Ventilador principal	21.12	7075.2			
Vent. suplementario	28.8	9648			
Consumo medio	95.04	31838.4			
Total	216.96	72681.6	0.0771	5603.75136	0.3003726

Mantenición	US\$/pm	US\$/año
Equipo	0.1552369	2896.1

Depreciación	Valor (US\$)	V.resid (US\$)	Vid.util (años)	D.anual (US\$/año)
Equipo				
Incomac	57922	0	10	5792.2

Costos de interés involucrados	US\$/pm	pm/año	US\$/año
Interés sobre inversión	0.621	18656	11583.5
Interés sobre capital circulante	0.103	18656	1921.6
Valor de pérdidas durante secado	1.240	18656	23133.4
Total	1.964		36638.5

Resumen de costos e inversiones

Inversiones	Valor (US\$)	US\$/pm	Cantidad	Total (US\$)
Equipo				
Incomac	57922	3.1047384	2	115844

Costos de operación	US\$/pm	US\$/año	Cantidad	Total (US\$/pm)	Total (US\$/año)
Adquisición (madera)	6.200	115667.2	1	6.200	115667.2
Castillos	0.307	5728.80	2	0.614	11457.6
Encastillado	0.267	4973.3	2	0.533	9946.6
Operador secador	1.087	20275.2	1	1.087	20275.2
Electricidad	0.300	5603.8	2	0.601	11207.5
Mantenimiento	0.155	2896.1	2	0.310	5792.2
Depreciación	0.310	5792.2	2	0.621	11584.4
Costos de interés	1.964	36640.4	1	1.964	36640.4
Total	10.591	197577.0		11.930	222571.1

ANEXO N° 10 : Cuadro de Evaluación Económica

Alternativa 1 : Presecado Natural y Secado Convencional

Año	Ingreso	Inversión	Costos	FCN
0		99945		-99945.0
1	183168		113503.1	69664.9
2	335808		208089	127719.0
3	335808		208089	127719.0
4	335808		225578	110230.0
5	335808		208089	127719.0
6	335808		208089	127719.0
7	335808		208089	127719.0
8	335808		225578	110230.0
9	335808		208089	127719.0
10	353297		208089	145208.0

VAN(10%)	562541.1
TIR (%)	97.8
IVAN	5.6

Alternativa 2 : Secado Convencional (Hildebrand)

Año	Ingreso	Inversión	Costos	FCN
0		174890		-174890.0
1	335808		210029.2	125778.8
2	335808		210029.2	125778.8
3	335808		210029.2	125778.8
4	335808		245007.2	90800.8
5	335808		210029.2	125778.8
6	335808		210029.2	125778.8
7	335808		210029.2	125778.8
8	335808		245007.2	90800.8
9	335808		210029.2	125778.8
10	370786		210029.2	160756.8

VAN(10%)	619312.3
TIR (%)	69.7
IVAN	3.0

Cuadro de Evaluación Económica

Alternativa 3 : Secado por Deshumidificación INCOMAC

Año	Ingreso	Inversión	Costos	FCN
0		115844		-115844.0
1	335808		222566.1	113241.9
2	335808		222566.1	113241.9
3	335808		222566.1	113241.9
4	335808		245734.9	90073.1
5	335808		222566.1	113241.9
6	335808		222566.1	113241.9
7	335808		222566.1	113241.9
8	335808		245734.9	90073.1
9	335808		222566.1	113241.9
10	335808		222566.1	113241.9

VAN(10%)	503041.4
TIR (%)	96.3
IVAN	4.3

ANEXO N° 11 : Análisis de Sensibilidad

Análisis de Sensibilidad (Aumento de costos en 10%)

Alternativa 1 : Presecado Natural y Secado Convencional

Año	Ingreso	Inversión	Costos	FCN
0		99845		-99845.0
1	183168		124853.4	58314.6
2	335808		228897.93	106910.1
3	335808		228897.93	106910.1
4	335808		246386.93	89421.1
5	335808		228897.93	106910.1
6	335808		228897.93	106910.1
7	335808		228897.93	106910.1
8	335808		246386.93	89421.1
9	335808		228897.93	106910.1
10	353297		228897.93	124399.1

VAN(10%)	454120.2
TIR (%)	83.3
IVAN	4.5

Análisis de Sensibilidad (Aumento de costos en 10%)

Alternativa 2 : Secado Convencional (Hildebrand)

Año	Ingreso	Inversión	Costos	FCN
0		174890		-174890.0
1	335808		231032.17	104775.8
2	335808		231032.17	104775.8
3	335808		231032.17	104775.8
4	335808		266010.17	69797.8
5	335808		231032.17	104775.8
6	335808		231032.17	104775.8
7	335808		231032.17	104775.8
8	335808		266010.17	69797.8
9	335808		231032.17	104775.8
10	370786		231032.17	139753.8

VAN(10%)	401990.6
TIR (%)	57.2
IVAN	2.3

Análisis de Sensibilidad (Aumento de costos en 10%)

Alternativa 3: Secado por Deshumidificación INCOMAC

Año	Ingreso	Inversión	Costos	FCN
0		115844		-115844.0
1	335808		244822.69	90985.3
2	335808		244822.69	90985.3
3	335808		244822.69	90985.3
4	335808		267991.49	67816.5
5	335808		244822.69	90985.3
6	335808		244822.69	90985.3
7	335808		244822.69	90985.3
8	335808		267991.49	67816.5
9	335808		244822.69	90985.3
10	335808		244822.69	90985.3

VAN(10%)	378716.7
TIR (%)	76.5
IVAN	3.3



Disminución de las ventas (10%)

Alternativa 1: Presecado Natural y Secado Convencional

Año	Ingreso	Inversión	Costos	FCN
0		99845		-99845.0
1	164851.2		113503.1	51348.1
2	302227.2		208089.0	94138.2
3	302227.2		208089.0	94138.2
4	302227.2		225578.0	76649.2
5	302227.2		208089.0	94138.2
6	302227.2		208089.0	94138.2
7	302227.2		208089.0	94138.2
8	302227.2		225578.0	76649.2
9	302227.2		208089.0	94138.2
10	318716.2		208089.0	111627.2

VAN(10%)	387574.8
TIR (%)	74.2
IVAN	3.9

Alternativa 2 : Secado Convencional (Hildebrand)

Año	Ingreso	Inversión	Costos	FCN
0		174890		-174890.0
1	302227.2		210029.25	92198.0
2	302227.2		210029.25	92198.0
3	302227.2		210029.25	92198.0
4	302227.2		245007.25	67220.0
5	302227.2		210029.25	92198.0
6	302227.2		210029.25	92198.0
7	302227.2		210029.25	92198.0
8	302227.2		245007.25	67220.0
9	302227.2		210029.25	92198.0
10	337205.2		210029.25	127176.0

VAN(10%)	331731.0
TIR (%)	49.6
IVAN	1.9

Alternativa 3 : Secado por Deshumidificación INCOMAC

Año	Ingreso	Inversión	Costos	FCN
0		115844		-115844.0
1	302227.2		222566.08	79661.1
2	302227.2		222566.08	79661.1
3	302227.2		222566.08	79661.1
4	302227.2		245734.88	56492.3
5	302227.2		222566.08	79661.1
6	302227.2		222566.08	79661.1
7	302227.2		222566.08	79661.1
8	302227.2		245734.88	56492.3
9	302227.2		222566.08	79661.1
10	302227.2		222566.08	79661.1

VAN(10%)	315480.1
TIR (%)	66.4
IVAN	2.7

Disminución del precio de venta (15 US\$/pm)

Alternativa 1: Presecado Natural y Secado Convencional

Año	Ingreso	Inversión	Costos	FCN
0		99846		-99846.0
1	152640		113503.1	39136.9
2	279840		208089.02	71751.0
3	279840		208089.02	71751.0
4	279840		225578.02	54262.0
5	279840		208089.02	71751.0
6	279840		208089.02	71751.0
7	279840		208089.02	71751.0
8	279840		225578.02	54262.0
9	279840		208089.02	71751.0
10	297329		208089.02	89240.0

VAN(10%)	270930.3
TIR (%)	57.4
IVAN	2.7

Alternativa 2 : Secado Convencional (Hildebrand)

Año	Ingreso	Inversión	Costos	FCN
0		174890		-174890.0
1	279840		210029.25	69810.8
2	279840		210029.25	69810.8
3	279840		210029.25	69810.8
4	279840		245007.25	34832.8
5	279840		210029.25	69810.8
6	279840		210029.25	69810.8
7	279840		210029.25	69810.8
8	279840		245007.25	34832.8
9	279840		210029.25	69810.8
10	314818		210029.25	104789.8

VAN(10%)	206676.8
TIR (%)	35.6
IVAN	1.2

Alternativa 3 : Secado por Deshumidificación INCOMAC

Año	Ingreso	Inversión	Costos	FCN
0		115844		-115844.0
1	279840		222566.08	57273.9
2	279840		222566.08	57273.9
3	279840		222566.08	57273.9
4	279840		245734.88	34105.1
5	279840		222566.08	57273.9
6	279840		222566.08	57273.9
7	279840		222566.08	57273.9
8	279840		245734.88	34105.1
9	279840		222566.08	57273.9
10	279840		222566.08	57273.9

VAN(10%)	190405.8
TIR (%)	45.8
IVAN	1.6

Anexo N° 12: Comparación de alternativas de secado, para madera de eucalipto, de acuerdo a indicadores económicos y análisis de sensibilidad.

Sistema de secado	Indicador	Evaluación Económica (US\$)	Análisis de sensibilidad (miles US\$)		
			1	2	3
PRESECADO NATURAL Y SEC. CONVENCIONAL	VAN(10%)	562.541,1	270,93	454,120	387,574
	TIR (%)	97,8	90,0	83,30	74,20
	IVAN	5,6	2,7	4,50	3,90
CONVENCIONAL	VAN(10%)	519.312,4	206,68	401,990	331,731
	TIR (%)	69,7	35,60	57,20	49,60
	IVAN	3,0	1,2	2,3	1,9
DESHUMIDIFICACION	VAN(10%)	503.041,4	190,41	378,416	315,460
	TIR (%)	96,3	45,8	76,5	66,4
	IVAN	4,3	1,6	3,3	2,7

1 : Análisis de sensibilidad disminución del precio de mercado.

2 : Análisis de sensibilidad, aumento de los costos en 10%.

3 : Análisis de sensibilidad, disminución de las ventas en 10%.

ANEXO Nº 13

ANALISIS DE SENSIBILIDAD
ALTERNATIVA Nº1

		CRITERIO EVALUAC.	AUMENTO DE COSTOS			
			0%	10%	20%	30%
D I S M	0%	VAN	562541.1	454120.2	345699.3	237278.4
		TIR	97.8	83.3	68.2	52.3
		IVAN	5.6	4.5	3.5	2.4
D E	10%	VAN	387574.6	279153.7	170732.8	62311.9
		TIR	74.2	58.6	41.9	23.0
		IVAN	3.9	2.8	1.7	0.6
V E N T A S	20%	VAN	212608.1	104187.2	-4233.6	-112654.5
		TIR	48.5	30.7	9.0	-32.2
		IVAN	2.1	1.0	0.0	-1.1
S	30%	VAN	37641.7	-70779.2	-179200.1	-
		TIR	18.2	-10.5	-85.5	-
		IVAN	0.4	-0.7	-1.8	-

ANALISIS DE SENSIBILIDAD
ALTERNATIVA N°2

		CRITERIO EVALUAC.	AUMENTO DE COSTOS			
			0%	10%	20%	30%
D I S M	0%	VAN	519312.3	401990.6	284668.9	167347.2
		TIR	69.7	57.2	44.4	31.1
		IVAN	3.0	2.3	1.6	1.0
D E	10%	VAN	331731.0	214409.3	97087.6	-20234.1
		TIR	49.6	36.5	22.7	7.1
		IVAN	1.9	1.2	0.6	-0.1
V E N T A S	20%	VAN	144149.7	26827.9	-68545.3	-
		TIR	28.4	13.7	-0.2	-
		IVAN	0.8	0.2	-0.4	-
S	30%	VAN	-43431.7	-160753.4	-	-
		TIR	3.6	-19.1	-	-
		IVAN	-0.2	-0.9	-	-

ANALISIS DE SENSIBILIDAD
ALTERNATIVA N°3

		CRITERIO EVALUAC.	AUMENTO DE COSTOS			
			0%	10%	20%	30%
D I S M	0%	VAN	503041.4	378716.7	254391.9	130067.2
		TIR	96.3	76.5	56.5	35.5
		IVAN	4.3	3.3	2.2	1.1
D E	10%	VAN	315460.1	191135.3	66810.2	-5754.2
		TIR	66.4	46.0	23.9	-5.9
		IVAN	2.7	1.6	0.6	-0.5
V E N T A S	20%	VAN	127878.7	3554.0	-308352.1	-
		TIR	35.1	10.8	-100.0	-
		IVAN	1.1	0.0	-2.7	-
S	30%	VAN	-59702.6	-184027.4	-	-
		TIR	-6.7	-100.0	-	-
		IVAN	-0.5	-1.6	-	-