



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil Mecánica

“PROYECTO CAMARA DE SECADO PARA MADERA ELABORADA”

Trabajo para optar al título de:
Ingeniero Mecánico.

Profesor Patrocinante:
Sr. Marcelo Paredes Cifuentes.
Ingeniero Civil Mecánico.

SEBASTIAN ANDRES DOERNER HITSCHFELD
VALDIVIA - CHILE
(2009)

El profesor patrocinante y profesores informantes de Trabajo de Titulación comunican al director de Escuela de Mecánica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería que el Trabajo de Titulación del señor:

SEBASTIAN ANDRES DOERNER HITSCHFELD

Ha sido aprobado en el examen de defensa rendido el día....., como requisito para optar al Título de Ingeniero Mecánico. Y, para así conste para todos los efectos firman:

PROFESOR PATROCINANTE

Sr. Marcelo Paredes C.
Ingeniero Civil Mecánico

PROFESORES INFORMANTES

Sr. Rogelio Moreno M.
M. Sc. Ingeniería Mecánica

Sr. Misael Fuentes P.
Ingeniero Civil Mecánico

DIRECTOR DE ESCUELA
Sr. Milton Lemarie O.

ÍNDICE

Contenido	Página.
Resumen	1
Summary	2
Capitulo I Introducción	3
1.1 Definición del problema	5
1.2 Objetivos del proyecto	5
Capitulo II Método de secado en cámara.	
2.1 Descripción	6
2.2 Encastillado o pila de madera	8
2.3 Características generales de la cámara de secado	9
2.4 Etapas del secado de madera	10
2.5 Consumo energético	12
2.6 Fuentes energéticas	12
2.7 Ventajas y limitaciones del método de secado en cámara	14
2.8 Descripción de equipos e instrumentos	15
2.8.1 Ventiladores	15
2.8.2 Deflectores	16
2.8.3 Sistema de calefacción	17
2.8.4 Humidificadores o inyectores de vapor	18
2.8.5 Ventilas o chimeneas	18
2.8.6 Medidor de temperatura	19
2.8.7 Medidor de humedad relativa	20

Capitulo III Diseño de cámara de secado.

3.1	Datos técnicos de diseño de la cámara de secado	21
3.2	Descripción y especificaciones técnicas de obras civiles	24
3.2.1	Excavaciones	24
3.2.2	Fundaciones	24
3.2.3	Radier	25
3.2.4	Estructura metálica	25
3.2.5	Paredes	26
3.2.6	Cielo	27
3.2.7	Puertas	27
3.2.8	Calculo de esfuerzos de la estructura	28
3.3	Calculo del requerimiento térmico de la cámara de secado	31
3.3.1	Calculo térmico fase de calentamiento inicial	32
3.3.2	Calculo térmico fase de operación	43

Capitulo IV Selección de equipos y componentes de la cámara de secado

4.1	Selección de ventiladores	49
4.2	Selección del serpentín	53
4.3	Línea de vapor	56
4.3.1	Calculo del consumo de vapor	56
4.3.2	Selección de cañerías de vapor	57
4.3.3	Selección de cañerías de condensado	59
4.3.4	Selección de accesorios para línea de vapor	61
4.4	Selección de ventilas	64
4.5	Selección de motor eléctrico para ventila	65
4.6	Selección del sistema de humidificación	67
4.7	Selección de deflectores	69
4.8	Selección de instrumentación	70

4.8.1	Sistema de medición y control de temperatura y humedad relativa	71
4.8.2	Transmisor de humedad relativa TUT-A32	72
4.8.3	Transmisor de temperatura TT-C31	73
4.8.4	Selección de anemómetros	75

Capitulo V Costos del proyecto.

5.1	Cuadros de costos	76
-----	-------------------	----

Conclusiones	79
Bibliografía	80
Anexos	82

RESUMEN.

El presente trabajo tiene como objetivo proyectar una cámara de secado para madera elaborada, la cual debe cumplir con ciertos aspectos de diseño, como son la capacidad de secado y el tiempo requerido para ello.

Se requieren secar 1000 pulgadas de madera de pino radiata o insigne, la cual presenta un contenido de humedad inicial de aproximadamente un 80%, para luego alcanzar un contenido de humedad final de 10%, en un periodo de una semana como máximo.

La metodología de trabajo comienza con una revisión bibliográfica respecto a la madera y aspectos de diseño de cámaras de secado. Posterior a ello se definen los parámetros con los que se proyectará la cámara de secado para madera elaborada.

Otro aspecto fundamental para proyectar la cámara de secado para madera, es el cálculo térmico, ya que con ello se determina la capacidad de ésta, y así posteriormente la selección de los equipos y componentes necesarios para su implementación.

Por último se determinaran los costos involucrados directamente en el proyecto, siendo estos especificados en cada ítem de este trabajo.

SUMMARY.

This essay has the goal to design a drying chamber of elaborated wood, which has to fulfill certain aspects, such as drying capacity and the time required to dry the wood.

The drying chamber has to dry 1000 inches of pine wood with an initial humidity of 80% and low it to a minimum of 10% of humidity in a period of one week.

The methodology begins with a complete bibliographical review of the characteristics of the wood and aspects of design of drying chambers. After the literature revision, the main parameters of this project are defined.

Other important aspect of the construction of the drying chamber is the thermic calculation, which defines the capacity of the drying chamber, and allows choosing the equipments and necessary components for its implementation.

Finally, the costs involved in this project are calculated and specified in every item of this work.

Capítulo I

INTRODUCCIÓN.

La actividad maderera en el país es de gran importancia. Es por eso, que los procesos que están involucrados en esta actividad son primordiales a la hora de entregar un producto con una buena calidad, y es aquí donde entra el proceso de secado de la madera.

Obtener un producto de buena calidad es uno de los desafíos de las empresas madereras en nuestro país, ya que la madera presenta defectos si esta no es tratada adecuadamente. Por otra parte la demanda de este producto requiere de un secado en forma artificial, debido a que mediante este proceso se logra reducir el tiempo en que se logran las condiciones óptimas de la madera, obteniendo la humedad requerida y evitando defectos como grietas, colapso, deformaciones, entre otras.

El proceso de secado, consiste en que el aire que está en el interior de la cámara, es calentado y obligado a circular por medio de ventiladores, para que así este pase a través de la pila de madera absorbiendo la humedad de ésta. El aire una vez que se encuentre saturado de agua, debe ser extraído de la cámara, para introducir aire fresco con menor humedad, y continuar con el proceso.

Debido a la necesidad de este proceso en el mercado, nace la iniciativa de realizar un trabajo de titulación en la cual se debe realizar un proyecto de ingeniería, en donde se requiere secar una cantidad de madera desde un contenido de humedad inicial hasta uno final, previamente establecidos en un determinado periodo. Además se deben controlar las variables involucradas en este proceso.

Para la realización de este proyecto, es necesario hacer un estudio previo del material que se secará, o sea la madera. Por otro lado es necesario definir los parámetros del proyecto, para luego poder realizar un cálculo de los requerimientos que debiese tener, y así poder seleccionar equipos, que permitan su funcionamiento.

1.1 Definición del problema.

Se necesitan secar 1000 Pulg. de madera de pino radiata para la creación de una pequeña empresa maderera de la comuna de valdivia, a partir de un contenido de humedad inicial hasta uno final, que estará previamente establecido, utilizando un determinado control para obtener una mejor calidad en la madera a secar.

1.2 Objetivos del proyecto.

1.2.1 Objetivos Generales

Confeccionar un proyecto de ingeniería de una cámara de secado para madera de pino radiata, con una capacidad de 1000 pulg., seleccionando los equipos y componentes necesarios para su funcionamiento.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Aplicar las teorías térmicas necesarias para el desarrollo de los cálculos de la cámara de secado.
- Seleccionar los equipos y componentes necesarios para la implementación de la cámara de secado.
- Calcular los costos para la construcción de la cámara de secado.

Capítulo II

MÉTODO DE SECADO EN CÁMARA.

2.1 Descripción.

Debido a los diferentes usos que presenta la madera, es necesario que esta se encuentre a un contenido de humedad muy por debajo del cual fue obtenida.

Uno de los métodos mas usados para alcanzar un contenido de humedad por debajo de un 15%, es el secado en cámara o en horno.

La madera se expone a condiciones de temperatura y humedad relativa que pueden ser controladas. Se realiza en una cámara o compartimiento cerrado, con un sistema de calefacción que permite elevar la temperatura y dispositivos de regulación, para la variación de la humedad relativa. El aire es forzado por medio de ventiladores, en donde debe circular por las pilas de madera. Las condiciones que se aplican para cada etapa del secado están definidas por el programa, el que se establece según las características de la madera, calidad de secado, disponibilidad de recursos, etc.

La cámara en la que se realiza el secado, debe ser hermética, de materiales con buen aislamiento, resistentes a la corrosión y las altas temperaturas.

Las temperaturas que se utilizan van desde los 40°C hasta más de 100°C, y las velocidades del aire van desde 1 a 7m/s, lo que depende del tipo de secado en cámara que se este realizando. (Red Madera, 2006)

Básicamente el secado en cámara consiste en hacer pasar aire forzado por el sistema de ventilación, por los sistemas de calefacción y de humidificación según los requerimientos, para hacerlo pasar por las pilas de madera. A medida que el aire circula entre la madera de las pilas, este absorberá la humedad de la madera, aumentando la humedad relativa y disminuyendo la temperatura del aire, ya que ha cedido calor a la madera. Cuando el aire termina este recorrido, se encuentra mas frío y húmedo que al principio y es forzado por los ventiladores a salir por las ventilas y al mismo tiempo se obtiene aire del exterior para seguir con el secado. (Red Madera, 2006)

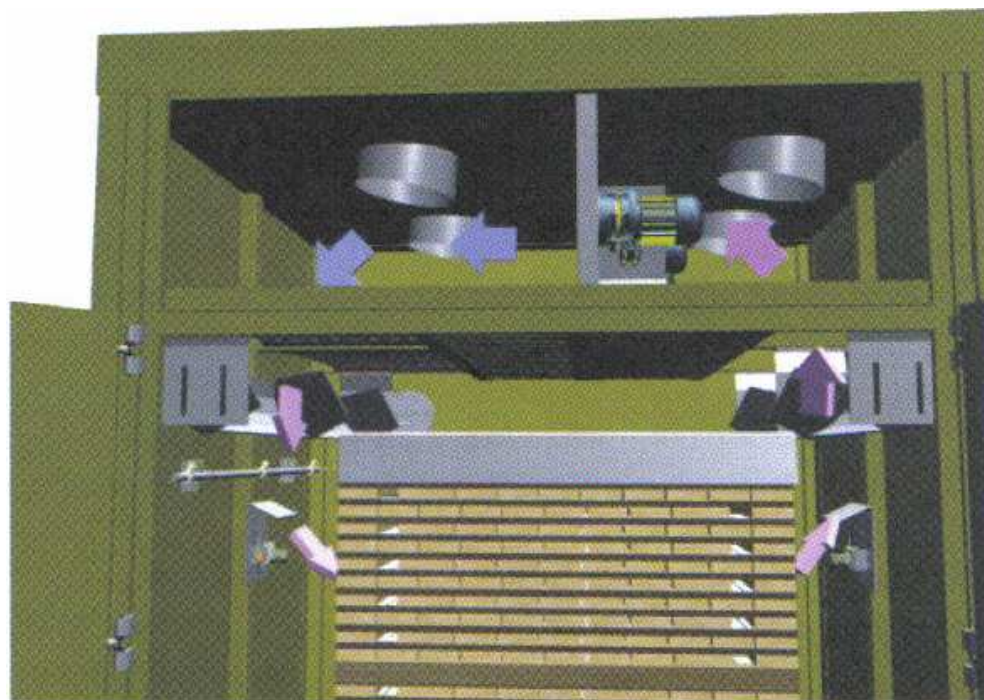


FIGURA N° 2.1. *Ilustración de cámara de secado convencional.* (Red Madera, 2006)

Para establecer las condiciones de secado adecuadas para cada caso, se usan programas de secado, los que indican las condiciones de temperatura y humedad relativa que se requieren según las características de la madera.

2.2 Encastillado o pila de madera.

Para el secado en cámara o en horno, la madera se dispone en una pila formada por capas horizontales de madera. Estas capas de madera se deben separar de otras con listones separadores, los que deben estar secos, y los extremos de estos deben formar una línea perfectamente vertical hacia abajo. Su dimensión está determinada por el espesor de las piezas de madera a secar como se muestra en el CUADRO N°1.

CUADRO N° 1. *Espesor de los separadores. (Red Madera, 2006)*

Espesor Tablas (mm)	Espesor de los Separadores (mm)	Distancia entre Separadores (mm)
Menos de 20	20	300-400
20-25	25	400-500
40-50	30	500-600
50-65	35	700-800
65-80	40	900
Mas de 80	45	1000

Los extremos de la pila deben estar lo más alineados posibles, evitando que queden piezas de madera sobresalientes, ya que al no estar sostenidas probablemente se deformaran.

En la pila de madera se pueden disponer aparatos de tensión especiales o poner pesos, que ejercen una presión de 250 a 1000 kg./m², ayudando a estabilizar la pila y reducir las deformaciones que se pueden producir durante el secado.

La ubicación de la pila de madera será perpendicular a la dirección del flujo de aire, siempre forzando a pasar el aire por la pila de madera. (Red Madera, 2006)

2.3 Características generales de la cámara de secado.

La cámara de secado es el lugar físico en donde se realiza el proceso de secado. Son cámaras herméticas, hechas de materiales que entregan una buena aislación térmica, para tener el mínimo de pérdidas calóricas, además deben ser resistentes a la corrosión, ya que la madera libera ácidos durante su secado.

La cámara debe tener una estructura resistente, estando formada por paneles laterales, los que son de la altura de la cámara. Las caras laterales de estos paneles se fabrican de chapas galvanizadas o de chapas de aluminio como se muestra en la figura 2.2.

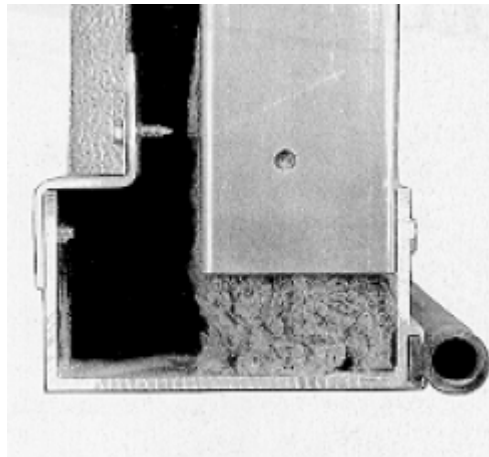


FIGURA Nº 2.2. *Panel lateral de cámara de secado. (William T. Simpson, 1991)*

La composición de los paneles dependerá de si se trata de una cámara de baja, media o alta temperatura, ya que la resistencia que deben presentar es distinta para cada caso, variando la capa de aislante de entre 60 a 120mm.

Las cámaras de secado se pueden ubicar bajo galpones o al aire libre, en este caso deben soportar cargas producidas por vientos, lluvia o nieve.

El piso de las cámaras es de hormigón y debe ser capaz de resistir el peso de las pilas de madera, además, es recomendable incorporar un aislante de entre 60 a 120mm de espesor para evitar pérdidas de calor. (Red Madera, 2006)

Para el tamaño de las cámaras de secado se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Calidad requerida
- Velocidad del proceso
- Costo
- Flexibilidad
- Forma

2.4 Etapas del secado de madera.

En el proceso de secado de madera se observan distintas etapas, las que se mencionan a continuación:

- a) Elevación inicial de la temperatura:** esta etapa es la primera en el proceso de secado. Aquí se eleva progresivamente la temperatura hasta alcanzar la indicada para la primera etapa establecida en el programa de secado. El cálculo del requerimiento calórico para esta etapa debe considerar la energía necesaria para elevar la temperatura de los elementos que se encuentran en el interior de la cámara, como ventiladores, paneles, rieles, etc.
- b) Precalentamiento de la madera:** esta etapa comienza cuando la cámara ya se encuentra a la temperatura de operación. La madera eleva su temperatura y prácticamente no experimenta pérdidas de humedad.

- c) **Etapla de secado:** en esta etapa la madera ya ha elevado su temperatura y comienza a reducir su contenido de humedad. Las condiciones dentro de la cámara se van modificando a medida que transcurre el secado, de acuerdo a lo establecido en el programa de secado.
- d) **Igualado:** se realiza una vez culminado el secado, cuando el contenido de humedad de las piezas de madera no es homogéneo y se desea homogenizarlo.
- e) **Acondicionado:** se realiza una vez culminado el secado, cuando las piezas de madera sufren elevados gradientes de humedad, con el objetivo de reducirlos.
- f) **Reacondicionado:** solo se aplica en maderas latifoliadas que han sufrido colapso. Este tratamiento permite recuperar las pérdidas dimensionales provocadas por éste.
- g) **Enfriamiento:** esta etapa es necesaria para que la madera no sufra un choque térmico al salir de la cámara de secado a una temperatura elevada.

Dependiendo de las condiciones en las que se realice el secado, y de la calidad final requerida, se pueden omitir algunas etapas antes descritas.(Red Madera, 2006)

2.5 Consumo energético.

Para poder evaporar agua de la madera es necesario aportarle energía, la que se entrega en forma de calor. La cantidad de energía que se le entregará a la madera para evaporar el agua contenida, dependerá del espesor de las piezas, del tipo de secado, de las características de la cámara de secado, del programa de secado, etc.

El consumo de energía que se tiene durante el secado no se reparte en forma homogénea durante todo el proceso, sino que se reparte de acuerdo a la curva de secado, para cada especie en particular.

Para el cálculo del consumo de energía de una cámara de secado se debe considerar la energía requerida para cada etapa, es decir, para la etapa de elevación inicial de la temperatura, para elevar la temperatura del aire dentro de la cámara y la de los elementos que se encuentran en su interior. En la etapa de calentamiento de la madera se requiere energía para elevar la temperatura de la carga de madera, en la etapa de secado se requiere energía para evaporar el agua de la madera.

Por otra parte se deben considerar las pérdidas de calor que se tienen por las ventilas, paredes, puertas, piso y techo de la cámara de secado. (Red Madera, 2006)

2.6 Fuentes energéticas.

Para lograr la calefacción de la cámara de secado se requiere de una fuente que entregue la energía calórica necesaria. Las cámaras de secado que operen a baja, media o alta temperatura, las fuentes de energía son las que se mencionan a continuación:

- **Vapor a baja presión (presión < 15 psi):** se usa principalmente en hornos de baja temperatura. El diseño de estos intercambiadores de calor es simple, al igual que su operación. Los costos de instalación son relativamente bajos. La temperatura que se puede alcanzar no supera los 85°C.
- **Vapor a media y alta presión (presión < 150 psi):** se considera el sistema más apropiado para el secado de la madera. Las líneas de vapor y las válvulas deben ser más pequeñas que las usadas en sistemas a baja presión y la temperatura de operación se logra en menos tiempo que en el de baja presión. La temperatura que se puede alcanzar llega a los 115°C.
- **Agua caliente a baja presión (presión < 50 psi):** se usa principalmente en cámaras que trabajan a temperaturas tradicionales. Su diseño requiere de tuberías de mayor diámetro que las usadas con vapor a baja presión, necesitando de bombas para la circulación del agua y una mayor superficie de calefacción, por lo que los costos de instalación son mayores. El máximo de temperatura que se puede alcanzar es de 85°C.
- **Calentamiento directo con desperdicios de madera:** el calentamiento de la cámara se hace en forma directa con los gases y humos provenientes de la combustión de carbón o madera. El control de la temperatura y de la humedad relativa que se puede hacer en este sistema es escaso, el hollín que resulta de la combustión ensucia la madera, además no permite la salida de la humedad de la madera, provocando defectos y mala calidad del secado.
- **Calefacción eléctrica:** usar energía eléctrica para calentar la cámara de secado, resulta costosa, debido a que este sistema requiere de instalaciones eléctricas, armarios y transformadores que tienen elevado

valor económico, además del costo de la energía para la calefacción del proceso.

- **Calentamiento a base de aceite térmico:** es usado en el secado a baja y alta temperatura. El sistema de flujo es similar al que se utiliza con agua caliente en un circuito cerrado. El aceite es calentado con residuos de madera. Es un sistema no contaminante y puede ser controlado automáticamente. Se puede alcanzar temperaturas de 180°C. (Red Madera, 2006)

2.7 Ventajas y limitaciones del método de secado en cámara.

La mayor ventaja que se presenta, es que se tiene un completo control de las variables de secado, con lo que se consigue la disminución de los defectos, el control de los tiempos de secado, un bajo y homogéneo contenido de humedad final.

Como los tiempos de secado se reducen, se consigue secar más madera en menor tiempo.

Ya que el secado se realiza en una cámara cerrada, no influyen las condiciones climáticas en gran medida, solo en el caso de que la temperatura exterior sea considerablemente baja, necesitando mayor cantidad de energía.

La inversión inicial y los costos se ven aumentados, pero estos se ven compensados teniendo un buen programa de secado, aprovechando los tiempos y mejorando la calidad final de la madera. El método de secado en cámara resulta mas económico que con otros métodos. (Red Madera, 2006)

2.8 Descripción de equipos e instrumentos.

2.8.1 Ventiladores.

El aire y la velocidad con que éste circula a través de la madera, es de gran importancia en el proceso de secado. El aire es el encargado de recoger la humedad de la superficie de las piezas y a su vez, entregarles calor. Mientras mayor sea la velocidad del aire, mayor será la rapidez con que se absorberá humedad de la superficie de la madera.

Con el uso de ventiladores, se obliga al aire a pasar a través de la pila de madera. Además se puede regular la velocidad del aire, y determinar la dirección y sentido del flujo de este dentro de la cámara de secado.

Por otra parte, una excesiva ventilación aumenta los requerimientos de calefacción y humidificación dentro de la cámara de secado.

Existen ventiladores que permiten cambiar el sentido del flujo de aire, con el objetivo de lograr la uniformidad del contenido de humedad de las piezas de madera.

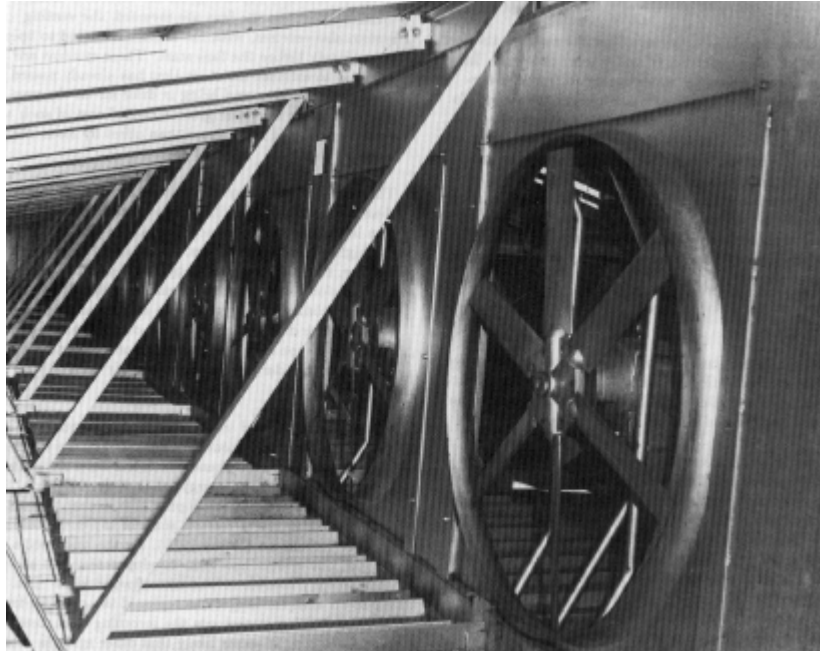


FIGURA N° 2.3. *Ventiladores axiales sobre cielo falso de cámara de secado.*
(William T. Simpson, 1991)

2.8.2 Deflectores.

Los deflectores son láminas de metal, que permiten dirigir el flujo de aire impulsado por los ventiladores hacia el sistema de calefacción y humidificación, y hacia la pila de madera, tratando de que no pase por lugares donde no hay madera.

Las dimensiones de los deflectores dependen del tamaño de la cámara y del tamaño de la pila de madera.

Utilizando deflectores se logra optimizar el aprovechamiento del aire y su capacidad de secado.

2.8.3 Sistemas de calefacción.

La calefacción es uno de los factores más importantes para el secado en cámara. Su función es entregar la energía necesaria a la madera para que el agua sea evaporada.

El sistema de calefacción es un conjunto de implementos que hacen posible la transferencia de calor en la cámara. Este sistema comienza en la fuente generadora, que por lo general es una caldera que produce vapor. Además, están los elementos que conducen el calor desde la caldera hasta la cámara, que son los ductos o cañerías.

El calentamiento de la cámara se hace mediante intercambiadores de calor o radiadores que transmiten el calor al aire. Generalmente los radiadores tienen aletas en forma de láminas o espirales llamados serpentines como lo muestra la figura 2.4.

Principalmente la fuente energética proviene de vapor, que se puede encontrar a bajo, media o alta presión.

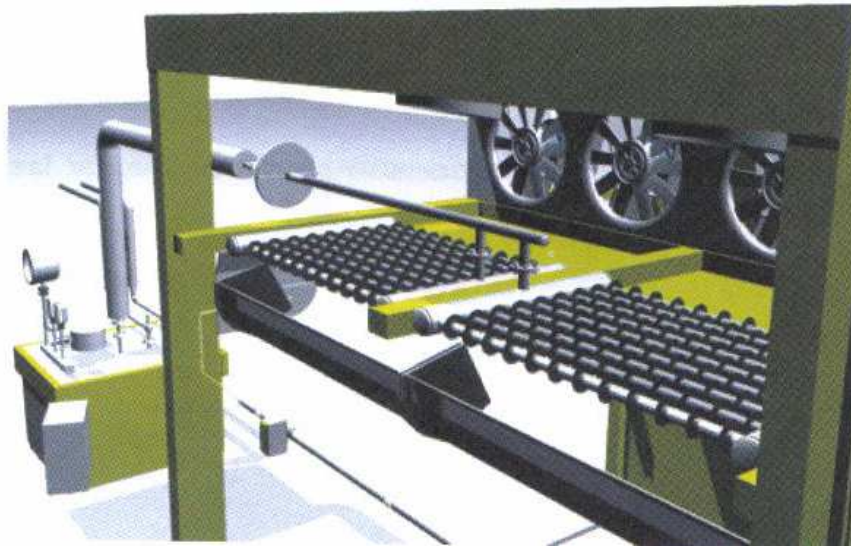


FIGURA N° 2.4. Sistema de calefacción mediante serpentines. (Red Madera, 2006)

2.8.4 Humidificadores o inyectores de vapor

El sistema de humidificación puede inyectar vapor o agua fría atomizada. Para ambos casos el funcionamiento es muy similar. Cuando la humedad relativa dentro de la cámara es mas baja que la deseada, se debe adicionar humedad. Esto generalmente se hace con vapor o con agua fría atomizada, los que se obtienen de la misma fuente que el vapor o el agua que circula por las tuberías de calefacción. El vapor se debe mezclar con el aire antes que se ponga en contacto con la madera. (Red Madera, 2006)

2.8.5 Ventililas o chimeneas.

Las ventililas o chimeneas se ubican en el techo de la cámara de secado. Su función es permitir el intercambio de aire entre el interior y el exterior. La apertura y cierre se hace a través del sistema de control y su estado puede depender de las condiciones de humedad relativa y temperatura existentes dentro de la cámara de secado tal como lo muestra la figura 2.5.

Cuando el aire dentro de la cámara esta demasiado húmedo o la temperatura del bulbo seco es muy alta, las ventililas se abren. Al suceder esto, por una ventila, el aire húmedo es empujado por los ventiladores hacia el exterior, y por la otra, el aire exterior es obligado a entrar. Esto último por el lado del ventilador. (Red Madera, 2006)

Deben haber a lo menos dos corridas de ventililas a lo largo de la cámara de secado, dependiendo de la posición de los ventiladores. Cuando las ventililas son usadas para controlar el exceso de humedad en el aire, grandes cantidades de calor se pierden de la cámara de secado. (Red Madera, 2006)

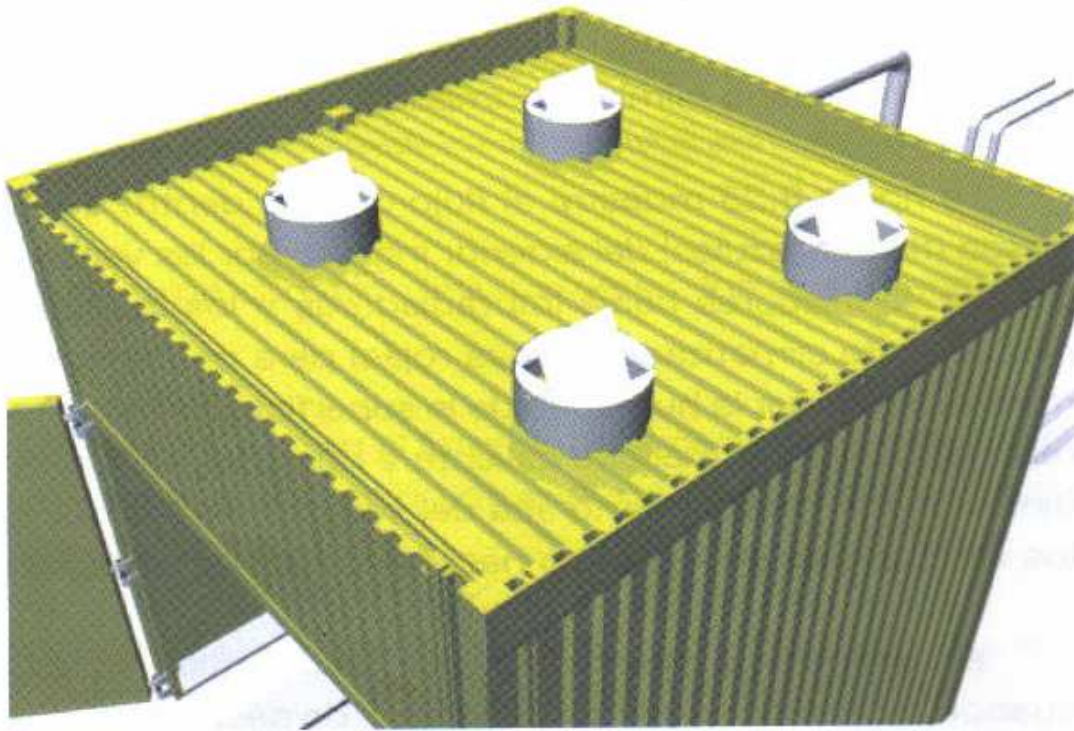


FIGURA N° 2.5. *Sistema de ventilas.* (Red Madera, 2006)

2.8.6 Medición de temperatura.

El control de la temperatura se puede hacer de varias formas, dependiendo del tipo de cámara, de los recursos, etc. Los medios para medir la temperatura que mas se conocen son las termorresistencias, termistores, sistemas de radiación, etc., pero el sistema más usado son las termocuplas. (Red Madera, 2006)

El control de la temperatura tiene como fin obtener los datos de la temperatura ambiental existente en el interior de la cámara de secado. Una vez conocidos estos valores, se debe tomar la decisión de modificar o mantener las condiciones del interior de la cámara.

2.8.7 Medición de la humedad relativa.

La humedad relativa del aire que se encuentra en el interior de la cámara de secado puede ser controlada con diferentes instrumentos, cuya elección depende del tipo de cámara, recursos disponibles, nivel de precisión, etc. De los instrumentos que existen para medir la humedad relativa, los más comunes son los psicrómetros, las placas de celulosa, las PT100, etc. (Red Madera, 2006)

Una vez obtenidos los valores de la humedad relativa de la cámara, se debe tomar la decisión de modificar o mantener las condiciones en el interior de la cámara.

Capítulo III

DISEÑO DE CÁMARA DE SECADO.

En este capítulo se definirán las características técnicas del proyecto para la cámara de secado de madera. Estas características están dadas por las necesidades que se requieren, siendo los factores fundamentales para calcular y seleccionar.

Para comenzar con este capítulo, se establecerán los parámetros necesarios para el diseño, siguiendo con las características técnicas de cada parte de la cámara de secado, definiendo las dimensiones, materiales, y otros aspectos. Además se desarrolla el cálculo térmico, que se considera en el proyecto, ya que con ello se establece la capacidad de secado de madera para la cámara.

3.1 Datos técnicos de diseño de la cámara de secado.

A continuación se presentan los datos para el diseño de la cámara de secado, siendo estos asumidos para el proyecto, según las necesidades requeridas. Por lo tanto se tienen los siguientes con los que se comenzaran a los cálculos de diseño.

Datos de la madera:

- Especie de madera: Pino radiata.
- Volumen de madera: 1000 Pulg.
- Largo madera: 3,2 m
- Espesor: 25,4 mm (1")
- Contenido de humedad inicial: 80%

- Contenido humedad final: 10%

Los datos de diseño para la cámara de secado son seleccionados de acuerdo a las necesidades requeridas para el proyecto.

Datos de la cámara de secado:

- Volumen para secado: $1000'' = 2,065 \text{ m}^3$
- Volumen interior: $27,3 \text{ m}^3$
- Dimensiones interiores: Ancho; 2,5 m
Alto; 2,6 m
Largo; 4,2 m
- T° máxima de operación: 80°C
- T° ambiente : 10°C
- Medio de Calentamiento: Vapor saturado a $3,5 \text{ kg/cm}^2$, según (INFOR, 1994).

Obtención de datos las dimensiones de la cámara de secado:

Para el cálculo se determino utilizar una pila de madera con piezas de 1'' de espesor y 3'' de ancho. Con este espesor, se debe utilizar separadores de 25mm tal como lo indica el CUADRO N°1.

Ahora bien para cumplir con la carga de madera a secar (1000''), se establece que la pila de madera contara con 24 piezas (1'') de alto y 14 piezas (3'') en su ancho, además se debe utilizar separadores entre cada pieza de madera (24) y a lo largo de la pila de madera.

Por lo tanto las dimensiones de la pila de madera son determinadas a continuación, para así posteriormente establecer las dimensiones interiores de la cámara de secado.

Dimensiones de la pila de madera:

Alto: (24 piezas x 1") + (24 separadores x 25mm)

Ancho: (14 piezas x 3")

Largo: 3,2 m

Por lo tanto se obtiene que:

Alto = 1209,6mm.

Ancho= 1066,8mm.

Largo= 3200mm.

Dimensiones interiores de la cámara de secado:

Ya que no existe un estándar para las dimensiones de una cámara de secado, estas se determinaron en base a las dimensiones de la pila de madera y a los componentes en su interior.

Por lo tanto se considero que para su ancho en el interior (2500mm) se debían agregar 716,6mm a cada lado de la pila, para permitir a los operarios conformar la pila de madera, además permitir el espacio para la instrumentación y un factor importante que es el espacio necesario para que el flujo de aire pueda ingresar a la pila de madera de la mejor forma.

En el largo se considero 4200mm para que así se pudiesen secar piezas de madera de mayor longitudes (<4200mm).

Para determinar el alto de la cámara de secado, se considero que la pila de madera no esta sobre la superficie de esta, sino sobre apoyos. Además en algunos casos sobre la pila de madera se deben incorporar pesos o sistemas que generen compresión sobre las piezas para evitar defectos. Ahora bien se

consideraron aproximadamente 790mm entre apoyos y pesos, para así tener 2000mm hasta el cielo falso de la cámara y 600mm de este para la instalación del sistema de ventilación y calefacción, obteniendo un total de 2600mm.

3.2 Descripción y especificaciones técnicas de obras civiles.

A continuación se presentaran las descripciones y especificaciones técnicas de las obras civiles de la cámara de secado, identificando cada aspecto constructivo del proyecto, por otra parte se deja en claro que las especificaciones corresponden a recomendaciones, ya que no pertenecen al autor del trabajo.

3.2.1 Excavaciones.

Estas serán realizadas para dar cabida a las fundaciones, y serán ejecutadas según lo especifica los planos del proyecto, además serán de las siguientes dimensiones, 40(cm) de ancho y 45(cm) de profundidad, quedando el suelo perfectamente nivelado.

3.2.2 Fundaciones.

De acuerdo a lo que establece (INFOR, 1994), para la ejecución de los cimientos se utilizara un hormigon tipo H-5 con una dosificación de $170(\text{kg}_{\text{cem}}/\text{m}^3)$ teniendo una altura de 5(cm), además utilizando un 20% de bolón desplazador. Para la ejecución de los sobrecimientos se utilizara un hormigón del tipo H-10 que posee una dosificación de $212(\text{kg}_{\text{cem}}/\text{m}^3)$, que poseerá una altura de 40(cm) y un ancho de 20(cm), además constara con cadenas Acma 15x30x4,5 - Ø 9,2.

Se utilizarán moldajes de madera para poder fabricar los cimientos y sobrecimientos

Las especificaciones de los cimientos y sobrecimientos serán de acuerdo a los planos del proyecto.

3.2.3 Radier.

El radier deberá ser fundado sobre un relleno de estabilizado con un espesor de 30(cm), el cual deberá ser compactado para poder soportar el radier. Sobre esto debe incorporar una película de polietileno de 0,15(mm) como barrera de vapor para posteriormente poder incorporar el hormigón con un espesor de 10(cm), el cual deberá tener malla Acma tipo C-139 como refuerzo. La dosificación del hormigón será de H-10 con $212(\text{kg}_{\text{cem}}/\text{m}^3)$, siguiendo lo establecido por (INFOR, 1994).

3.2.4 Estructura metálica.

Para la ejecución de la estructura metálica de la cámara de secado, se utilizarán perfiles de acero galvanizado liviano METALCON, los cuales presentan características propicias para este tipo de estructuras.

Para iniciar esta etapa de las obras, se inicia instalando las soleras inferior, que son perfiles MUROGAL Canal extra de 1,0mm de espesor para poder montar los Montantes o Pie derecho de las paredes. Las Soleras se instalan en el radier y son fijadas por medio de pernos de anclaje de 5/8"x6" instalados en el concreto, abarcando todo el perímetro de la cámara de secado, a excepción de la parte frontal de la estructura debido a la instalación de las puertas.

Una vez que se tienen instaladas las soleras, se procede con los montantes o pie derecho. Estos son los perfiles que elevan la estructura para formar los muros perimetrales, sosteniendo el cielo falso y el cielo. Están ejecutados con perfiles Murogal Montante extra 0,85mm, son montados cada 60(cm) a lo largo de la cámara de secado y cada 50(cm) en la parte posterior.

Cuando estén instalados todos los montantes, se procede a montar las soleras superior, y otro perfil solera sobre esta solera para poder instalar el cielo de la cámara de secado.

Todas las fijaciones de los perfiles son por medio de tornillos autotaladrantes de 10x3/4. (METALCON, 1999)

Los detalles y especificaciones se presentan en los planos del proyecto.

3.2.5 Paredes.

En la ejecución de las paredes se contemplan con la instalación de planchas de aluminio de 2(mm) de espesor en el interior, las que serán fijadas a los perfiles Murogal Montante extra 0,85mm por medio de tornillos autotaladrantes de 10x3/4. Una vez que estén dispuestas las planchas de aluminio perimetralmente en el interior, se procederá a la instalación de la aislación térmica, que contempla lana de vidrio de alta densidad, para evitar en gran parte las pérdidas de calor. Ya instalado el material aislante se procede al montaje de la parte externa de las paredes mediante planchas de aluminio de 1(mm) de espesor, fijadas mediante tornillos autotaladrantes de 10x3/4. Las paredes se contemplan de un espesor de 103(mm), debido a que el aislante es de 100(mm) y las planchas de aluminio son de 2(mm) y 1(mm) respectivamente.

Para lograr la completa hermeticidad en la cámara de secado, para evitar la pérdida de calor, humedad relativa, temperatura, se utilizara material sellante en todas las uniones de la cámara de secado, utilizando silicona de alta temperatura.

Los detalles y especificaciones se presentan en los planos del proyecto.

3.2.6 Cielo.

Los paneles del cielo estarán conformados por planchas de aluminio de 2(mm) de espesor en el interior y de 1(mm) en el exterior, lana de vidrio de 100(mm) de espesor como material aislante entre las planchas de aluminio, conformando así los paneles del cielo. Estos son fijados por medio de tornillos autotaladrantes de 10x3/4 para poder sostener las planchas de aluminio a los perfiles de la estructura. Según lo especifican los planos del proyecto, se deben dejar los espacios necesarios para la instalación del cielo falso, que es donde se instalara el sistema de ventilación y calefacción (serpientes) de la cámara de secado.

El cielo contará con una inclinación 2%, para así poder escurrir las aguas o el condensado que se produzca por efecto del proceso de secado de la madera.

3.2.7 Puertas.

La ejecución de las puertas es uno de los aspectos de mayor cuidado en el montaje de la cámara de secado, ya que es donde se pierde un porcentaje del calor que entrega el sistema de calefacción a la cámara de secado.

Esta construida por medio de dos puertas tipo Alas, con perfiles Metalcon galvanizados, a los que se les montara los paneles de aislación conformados por planchas de aluminio en el interior de 2(mm) y exterior de 1(mm) de espesor, y lana mineral de 100(mm) de espesor las que abarcaran el ancho de la cámara de secado, estando en la parte frontal de esta.

Ya que el factor de estanqueidad en las puertas es un problema, se propuso incorporar juntas de silicona para mantener la hermeticidad en la cámara de secado, y así, disminuir las perdidas de calor. Estarán fijadas en el interior de las puertas, y en todo su perímetro exterior.

Para el montaje de las puertas se utilizaran bisagras de pasador simple 4"x4", las que son fijadas por medio de tornillo auto perforante de 10x3/4.

El sistema de cerrado de las puertas es por medio de un cerrojo tipo portón 50 zinc 8", permitiendo que ambas alas se mantengan cerradas, tal como lo indican los planos del proyecto.

3.2.8 Cálculo de esfuerzos de la estructura.

Para efectos del cálculo de esfuerzos de la estructura de la cámara de secado, se necesita que esta sea capaz de soportar las cargas, principalmente las originadas por el viento sobre las pared de la estructura y de los elementos instalados en el cielo falso, como son ventiladores y serpentines.

Para poder determinar las cargas que se producen por el viento, se establece que la fuerza sobre las paredes de la cámara de secado es la fuerza de arrastre, y para ello utilizamos la expresión (5.1), (James W. Daily, 1975).

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A \quad (3.1)$$

Donde:

F_D : Fuerza de arrastre. [N]

C_D : Coeficiente de arrastre.

ρ : Densidad del fluido. [kg/m³]

V : Velocidad del fluido. [m/s]

A : Área de la pared. [m²]

Datos:

$C_D = 1,1$ Ver Anexo 1

$\rho = 1,125 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$ Ver Anexo 2

$V = 27 \left(\frac{m}{s} \right)$

$A = 12,7 (m^2)$

Ahora reemplazando los datos anteriores en la expresión (3.1), tenemos que:

$$F_D = 5730 (N)$$

Y por lo tanto, transformando esta fuerza de arrastre a una presión, que es ejercida sobre las paredes de la cámara de secado, tenemos que la presión resultante equivale a $0,005 \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$.

Además debemos estimar el peso de los ventiladores y serpentines que estar instalados en el cielo falso de la cámara de secado, y para ello se tendrá que:

Peso aprox. Ventilador: $10(kg)$ C/U

Peso aprox. Serpentin: $50(kg)$ C/U

Peso estructura: El software realiza sus cálculos incluyendo el peso propio.

Por lo tanto ahora que se dispone de todos los datos necesarios para determinar los esfuerzos en los materiales de la estructura de la cámara de secado, es donde se utiliza el software AWIN para analizar las cargas y poder comprobar si los materiales utilizados y las fuerzas generadas son compatibles para el desarrollo de este proyecto.

El análisis de los esfuerzos esta desarrollado en el Anexo 3, donde se pueden apreciar la introducción de datos y gráficos de los esfuerzos.

Resultado:

Tensión máxima de trabajo: $84,68 \text{ kg/cm}^2$

Tensión de fluencia del material: 2500 kg/cm^2

Relación de esfuerzos: 0,07

Por lo tanto el análisis estructural de la cámara de secado, obtuvo como resultado que, está sometida a esfuerzos muy bajos, por lo que no presenta riesgos en la estructura. Lo que significa que los materiales no presentan ningún riesgo en sus propiedades de resistencia mecánica.

3.3 Cálculo de requerimientos térmicos de la cámara de secado

Para determinar la energía térmica necesaria para el proceso de secado de la madera, es necesario identificar y calcular los requerimientos térmicos. Para determinarlos se deben separar en dos etapas, ya que una etapa corresponde al período de calentamiento inicial de la cámara de secado, y la otra al período de operación. Para ello se calcularán los siguientes requerimientos:

a) Fase de calentamiento inicial de la cámara de secado

- Calor necesario para elevar la temperatura de la carga desde temperatura ambiente hasta temperatura de operación. (q_1)
- Calor necesario para elevar la temperatura de la estructura desde temperatura ambiente hasta temperatura de operación. (q_2)
- Calor necesario para elevar la temperatura del aire en el interior de la cámara desde temperatura ambiente hasta temperatura de operación. (q_3)
- Calor necesario para evaporar el agua de la madera. (q_4)
- Calor necesario para compensar pérdidas a través de las paredes. (q_5)
- Calor necesario para compensar pérdidas a través de ventilas. (q_6)

b) Fase de operación de la cámara de secado

- Calor necesario para evaporar el agua de la madera. (q_4')
- Calor necesario para compensar pérdidas a través de las paredes. (q_5')
- Calor necesario para compensar pérdidas a través de ventilas. (q_6')

En la fase inicial de calentamiento de la cámara de secado, se requiere elevar la temperatura en el interior de la cámara, para poder alcanzar la temperatura ideal de operación, iniciando el proceso de secado.

Algunos de los requerimientos térmicos de la fase de calentamiento como la de operación son igual, pero la diferencia radica en el tiempo y a su vez en la energía utilizada.

El calor para evaporar el agua de la madera, debe ser calculado en las dos fases, debido a que en la fase de calentamiento, esta pierde una cantidad de humedad en ese lapso de tiempo, siendo un pequeño porcentaje comparado con la fase de operación.

3.3.1 Cálculo térmico fase de calentamiento inicial

Calor necesario para elevar la temperatura de la carga desde temperatura ambiente hasta temperatura de operación. (q_1)

Es el calor que necesita para elevar la temperatura de la madera, desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de operación. Para que la madera pierda humedad, primero esta debe ser calentada perdiendo el agua libre que posee la madera, y luego perderá el agua ligada. Para el cálculo se establece que: (William T. Simpson, 1991)

$$q_1 = V_m \cdot \rho_m \cdot H_i \cdot C_{mh} \cdot \Delta t \text{ (kcal)} \quad (3.2)$$

Donde:

V_m : Volumen de madera a secar.

ρ_m : Densidad de la madera.

H_i : Humedad inicial de la madera.

Δt : Diferencia de temperatura, desde la ambiental hasta la de operación.

C_{mh} : Calor específico de la madera húmeda.

Datos:

$$V_m = 2,065(m^3)$$

$$\rho_m = 410\left(\frac{kg}{m^3}\right) \quad \text{Ver Anexo 5}$$

$$H_i = 80\%$$

$$\Delta t = 70(^{\circ}C)$$

$$C_{mh} = \frac{H + C_{mo}}{1 + H} + A \quad (3.3)$$

Donde:

C_{mo} = Calor específico de la madera seca

A = Valor para la madera, al 10% de humedad, oscila entre 0,02 a 29°C y 0,04 a 60°C, para una madera con 30% de humedad, oscila entre 0,04 a 29°C, y 0,09 a 60°C. (Koch, 1972)

$$C_{mo} = 0,2651 + 0,001004t \quad (3.4)$$

Por lo tanto para calcular el calor específico de la madera seca, debemos reemplazar la temperatura de secado de la madera, $t = 80(^{\circ}C)$ en la ecuación (3.4). Luego, obtenido este valor, se adiciona el valor de $A = 0,09$ en la ecuación

(3.3), y se tiene que el calor específico de la madera húmeda es de

$$C_{mh} = 0,7263 \left(\frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} \right).$$

Ahora reemplazando los datos anteriores en la ecuación (3.2) se tiene que el calor que se requiere para elevar la temperatura de la carga es la siguiente:

$$q_1 = 77.480(kcal)$$

Calor necesario para elevar la temperatura de la estructura desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de operación. (q_2)

Corresponde a la energía calórico que se necesitara para poder elevar la temperatura de todos los elementos de la cámara de secado, ya sean paredes, techo, piso, etc. Desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de operación. Para ello debemos conocer el calor específico, la densidad, el volumen, o tan solo la masa del material. Además como se sabe el rango de temperaturas, el cálculo queda expresado de la siguiente manera: (William T. Simpson, 1991)

$$q_2 = \left[(V_{Al} \cdot \rho_{Al} \cdot C_{Al}) + (V_{L.V} \cdot \rho_{L.V} \cdot C_{L.V}) + (V_H \cdot \rho_H \cdot C_H) + (P_{Ac} \cdot C_{Ac}) \right] \cdot \Delta t \quad (3.5)$$

Donde:

V_{Al} :Volumen de aluminio de los paneles, para 1(mm) interior y 2(mm) exterior de espesor.

ρ_{Al} :Densidad del aluminio.

C_{Al} : Calor específico del aluminio.

$V_{L.V}$: Volumen de lana de vidrio (aislante).

$\rho_{L.V}$: Densidad lana de vidrio.

$C_{L.V}$: Calor específico lana de vidrio.

V_H : Volumen de hormigón en el radier.

ρ_H : Densidad del hormigón.

C_H : Calor específico del hormigón.

P_{Ac} : Peso del acero de la estructura.

C_{Ac} : Calor específico del acero.

Datos:

$$V_{Al} = 0,2867(m^3)$$

$$\rho_{Al} = 2.710\left(\frac{kg}{m^3}\right) \quad \text{Ver Anexo 6}$$

$$C_{Al} = 0,214\left(\frac{kcal}{kg \cdot m^3}\right) \quad \text{Ver Anexo 6}$$

$$V_{L.V} = 4,776(m^3)$$

$$\rho_{L.V} = 120\left(\frac{kg}{m^3}\right) \quad \text{Ver Anexo 7}$$

$$C_{L.V} = 0,1578\left(\frac{kcal}{kg \cdot m^3}\right) \quad \text{Ver Anexo 7}$$

$$V_H = 1,05(m^3)$$

$$\rho_H = 2.200\left(\frac{kg}{m^3}\right) \quad \text{Ver Anexo 8}$$

$$C_H = 0,21\left(\frac{kcal}{kg \cdot m^3}\right) \quad \text{Ver Anexo 8}$$

$$P_{Ac} = 192(kg)$$

$$C_{Ac} = 0,111 \left(\frac{kcal}{kg \cdot m^3} \right) \quad \text{Ver Anexo 6}$$

$$\Delta t = 70(^{\circ}C)$$

Por lo tanto reemplazando los datos en la ecuación (3.5) tenemos el calor necesario para elevar la temperatura de la estructura desde la temperatura ambiente hasta la de operación $\Delta t = 70(^{\circ}C)$.

$$q_2 = 53.418(kcal)$$

Calor necesario para elevar la temperatura del aire en el interior de la cámara desde temperatura ambiente hasta temperatura de operación. (q_3)

Al igual que en el cálculo anterior, se debe elevar la temperatura de otro elemento, que es el aire que se encuentra en el interior de la cámara de secado, y para ello disponemos de los datos de volumen, densidad, calor específico y la variación de temperatura. Por lo tanto el cálculo se expresa de la siguiente manera: (William T. Simpson, 1991)

$$q_3 = V_{aire} \cdot \rho_{aire} \cdot C_{aire} \cdot \Delta t \quad (3.6)$$

Donde:

V_{aire} :Volumen de aire interior de la cámara de secado.

ρ_{aire} :Densidad del aire.

C_{aire} :Calor específico del aire.

Para determinar el volumen de aire de la cámara de secado, se debe restar el volumen interior de la cámara de secado (V_{camara}) con el volumen de madera (V_m), por lo tanto tenemos los siguientes datos:

Datos:

$$V_{aire} = 25,235(m^3) \quad \text{Ver Anexo 2}$$

$$\rho_{aire} = 1,2048\left(\frac{kg}{m^3}\right) \quad \text{Ver Anexo 2}$$

$$C_{aire} = 0,24\left(\frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C}\right) \quad \text{Ver Anexo 2}$$

$$\Delta t = 70(^{\circ}C)$$

Por lo tanto reemplazando los datos anteriores en la ecuación (3.6), obtenemos el valor del calor necesario para elevar la temperatura desde la ambiental hasta la de operación (80°C).

$$q_3 = 510,6(kcal)$$

Calor necesario para evaporar el agua de la madera. (q_4)

Es el calor que se necesita para poder evaporar el agua de la madera desde un contenido de humedad inicial hasta el que se desee. Por lo tanto la madera será secada desde una humedad de 80% hasta una humedad final de 10%, además en esta etapa depende del periodo de calentamiento inicial de la cámara de secado, siendo una cantidad muy pequeña de agua evaporada. Por lo tanto se tiene que: (William T. Simpson, 1991)

$$q_4 = \left[T_a \cdot V_m \cdot \rho_m \cdot \frac{(H_i - H_f)}{T_b} \right] \cdot C.L.V \quad (3.7)$$

Donde:

T_a :Tiempo inicial de calentamiento de la cámara de secado.

T_b : Tiempo de operación de la cámara de secado.

$C.L.V$: Calor latente de evaporización de la madera.

H_i :Humedad inicial de la madera.

H_f :Humedad final de la madera.

Datos:

$$T_a = 5(h) \quad \text{Ver Anexo 9}$$

$$T_b = 98,5(h) \quad \text{Ver Anexo 9}$$

$$C.L.V = 550 \left(\frac{kcal}{kg} \right) \quad \text{Ver Anexo 10}$$

$$H_i = 80\%$$

$$H_f = 10\%$$

Por lo tanto reemplazando los datos en la ecuación (3.7), se tiene que:

$$q_4 = 16.546(kcal)$$

Calor necesario para compensar pérdidas a través de la estructura.

Es un factor bastante importante en cuanto a la energía que se debe entregar en el proceso de secado. Gran parte del calor entregado se pierde a través de las paredes, suelo y techo. Es por eso que las paredes y techo deben incorporar en su interior un material aislante para evitar una mayor pérdida de calor.

Por lo tanto la ecuación que determina el calor perdido es la siguiente:
(William T. Simpson, 1991)

$$q_s = U \cdot A \cdot \Delta t \cdot T_a \quad (3.8)$$

Para poder determinar el calor que debe ser entregado debido a las pérdidas, debe ser igual al que se pierde por las paredes y cielo (paneles), y por el piso. Es por eso que se determinarán dos coeficientes globales de calor, uno debido a paredes y cielo (paneles), y el otro al piso de hormigón.

Donde:

U_1 : Coeficiente global de transferencia de calor de los paneles.

U_2 : Coeficiente global de transferencia de calor del piso.

h_e : Coeficiente convección exterior.

h_i : Coeficiente convección interior.

A_1 : Área de transferencia de calor de los paneles.

A_2 : Área de transferencia de calor del suelo.

λ_{Al} : Coeficiente conductividad térmica del aluminio.

$\lambda_{L.V}$: Coeficiente conductividad térmica de lana de vidrio.

λ_H : Coeficiente conductividad térmica del hormigón.

e_1 : Espesor exterior de aluminio de los paneles de la cámara de secado.

e_2 : Espesor aislante de los paneles de la cámara de secado.

e_3 : Espesor interior de aluminio de los paneles de la cámara de secado.

e_4 : Espesor del radier de hormigón del piso.

Por lo tanto se tiene que:

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{e_1}{\lambda_{Al}} + \frac{e_2}{\lambda_{L.V}} + \frac{e_3}{\lambda_{Al}} + \frac{1}{h_i}} \quad (3.9)$$

$$U_2 = \frac{1}{\frac{e_4}{\lambda_H} + \frac{1}{h_i}} \quad (3.10)$$

Datos:

$$h_e = 7,329 \left(\frac{kcal}{m^2 \cdot ^\circ C \cdot h} \right) \quad \text{Ver Anexo 10}$$

$$h_i = 2,9316 \left(\frac{kcal}{m^2 \cdot ^\circ C \cdot h} \right) \quad \text{Ver Anexo 10}$$

$$A_1 = 47,78 (m^2)$$

$$A_2 = 10,5 (m^2)$$

$$\lambda_{Al} = 196,94 \left(\frac{kcal}{m \cdot ^\circ C \cdot h} \right) \quad \text{Ver Anexo 6}$$

$$\lambda_{L.V} = 0,03956 \left(\frac{kcal}{m \cdot ^\circ C \cdot h} \right) \quad \text{Ver Anexo 7}$$

$$\lambda_H = 1,101 \left(\frac{kcal}{m \cdot ^\circ C \cdot h} \right) \quad \text{Ver Anexo 8}$$

$$e_1 = 0,001 (m)$$

$$e_2 = 0,1 (m)$$

$$e_3 = 0,002 (m)$$

$$e_4 = 0,1 (m)$$

Reemplazando los datos pertinentes en las ecuaciones (3.9) y (3.10), se puede determinar los coeficientes globales de transferencia de calor para los paneles de las paredes y cielo, y el del piso de la cámara de secado.

Por lo tanto tenemos que:

$$U_1 = 1,369 \left(\frac{kcal}{m^2 \cdot ^\circ C \cdot h} \right)$$

$$U_2 = 2,315 \left(\frac{kcal}{m^2 \cdot ^\circ C \cdot h} \right)$$

Ahora reemplazando en la ecuación (3.11).

$$q_5 = \left[(U_1 \cdot A_1) + (U_2 \cdot A_2) \right] \cdot \Delta t \cdot T_a \quad (3.11)$$

$$q_5 = 31.401 (kcal)$$

Calor necesario para compensar las renovaciones de aire

En esta etapa de calentamiento inicial, no se deben abrir las ventilas de la cámara de secado, debido a que lo que se busca, es llegar a la temperatura ideal para comenzar el proceso de secado de la madera. Para ello en esta etapa el calor perdido es nulo.

$$q_6 = 0$$

Total calculo térmico fase de calentamiento

Ahora que se tiene cada uno de los factores que implican la fase de calentamiento de la cámara de secado, es posible determinar el consumo en la fase de calentamiento inicial.

$$q_a = \sum q_{1 \rightarrow 6} \quad (3.12)$$

$$q_a = 179.355,6 (kcal)$$

Se adiciona un factor de seguridad de 15%, debido a posibles pérdidas del sistema. Para ello se tiene que dividir el calor de la fase de calentamiento inicial (q_a) con el periodo de calentamiento (T_a), y adicionar el 15%, obteniendo:

$$q_a = \frac{\sum q_{1 \rightarrow 6}}{T_a} \cdot 1,15 \quad (3.13)$$

$$q_a = 41.251 \left(\frac{kcal}{h} \right)$$

3.3.2 Cálculo térmico fase de operación.

Calor necesario para evaporar el agua de la madera.

En esta etapa el proceso de evaporación del agua de la madera es un factor muy importante para el secado de la madera, ya que de ello depende de que la madera obtenga un contenido de humedad indicado. Por lo tanto debemos hacer que el agua libre y el agua ligada que se encuentra en la madera sean evaporadas. Es esta última, el agua ligada, la que presenta mayor dificultad en el proceso de secado de la madera, ya que se deben aumentar las temperaturas de secado, debido a la unión que presenta con las paredes celulares de la madera. Por lo tanto se debe adicionar una cantidad de calor en esta etapa. Para esta etapa tenemos que: (William T. Simpson, 1991)

$$q_4 = V_m \cdot \rho_m \cdot (H_i - H_f) \cdot C.L.V + \left[5 \left(\frac{kcal}{kg} \right) \cdot V_m \cdot \rho_m \right] \quad (3.14)$$

Donde:

V_m : Volumen de madera.

ρ_m : Densidad de la madera.

H_i : Humedad inicial de la madera.

H_f : Humedad final de la madera.

$C.L.V$: Calor latente de evaporización de la madera.

Datos:

$$V_m = 2,065 (m^3)$$

$$\rho_m = 410 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad \text{Ver Anexo 5}$$

$$H_i = 80\%$$

$$H_f = 10\%$$

$$C.L.V = 550 \left(\frac{kcal}{kg} \right) \quad \text{Ver Anexo 10}$$

Por lo tanto reemplazando los datos anteriores en la ecuación (3.14) se tiene que:

$$q_4' = 330.194 (kcal)$$

Calor necesario para compensar pérdidas a través de las paredes.

Es el factor que demanda mayor entrega de calor, y por lo tanto hay que satisfacer esa demanda de calor para que el proceso de secado sea correcto. Por lo tanto se tiene que la ecuación es la siguiente:

$$q_5' = U \cdot A \cdot \Delta t \cdot T_b \quad (3.15)$$

Al igual que en la fase de calentamiento, el único factor que se debe cambiar es el tiempo de operación, el que en esta fase es mayor.

Donde:

T_b : Tiempo de operación de secado de la madera.

$$q_5' = [(U_1 \cdot A_1) + (U_2 \cdot A_2)] \cdot \Delta t \cdot T_b \quad (3.16)$$

Por lo tanto obtenidos los valores de las ecuaciones (3.9) y (3.10),
 $U_1 = 1,369 \left(\frac{kcal}{m^2 \cdot ^\circ C \cdot h} \right)$, $U_2 = 2,315 \left(\frac{kcal}{m^2 \cdot ^\circ C \cdot h} \right)$ y reemplazando los datos en la ecuación (3.16).

Datos:

$$T_b = 98,5(h) \quad \text{Ver Anexo 9}$$

$$\Delta t = 70(^{\circ}C)$$

Además siendo conocidos A_1 y A_2 se tiene que:

$$q_5 = 618.619(kcal)$$

Calor necesario para compensar las renovaciones de aire.

Debido a que el aire en el interior de la cámara de secado absorbe la humedad que se evapora de la madera, éste se satura y pierde la capacidad de seguir con el proceso de extracción de humedad de la madera. Es por eso que este debe ser renovado para permitir la entrada de aire fresco, y continuar con el proceso de secado. Pero el problema que conlleva a renovar el aire, es la pérdida de aire caliente o calor por las ventilas en el cielo de la cámara de secado. Para ello se tiene la siguiente ecuación donde se determina la cantidad de calor que se pierde. (William T. Simpson, 1991)

$$q_6 = \left(\frac{d}{a-b} \right) \cdot C_{aire} \cdot \Delta t \quad (3.17)$$

Además

$$d = V_m \cdot \rho_m \cdot (H_i - H_f) \quad (3.18)$$

Donde:

d : Peso de agua a evaporar.

a : Peso de agua por peso de aire que sale de la cámara de secado.

b : Peso de agua por peso de aire que entra a la cámara de secado.

Datos:

$$V_m = 2,065 (m^3)$$

$$\rho_m = 410 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad \text{Ver Anexo 5}$$

$$H_i = 80\%$$

$$H_f = 10\%$$

Por lo tanto ahora reemplazando los siguientes datos en la ecuación (3.18) obtenemos el peso de agua a evaporar (d), luego reemplazando este valor en la ecuación (3.17), se tiene que:

Datos:

$$d = 592.655 (gr)$$

$$a = 82,45 \left(\frac{gr}{kg} \right) \quad \text{Ver Anexo 12}$$

$$b = 3,94 \left(\frac{gr}{kg} \right) \quad \text{Ver Anexo 12}$$

$$C_{aire} = 0,241 \left(\frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} \right) \quad \text{Ver Anexo 2}$$

$$\Delta t = 70(^{\circ}C)$$

Por lo tanto:

$$q_6 = 126.819(kcal)$$

Total cálculo térmico fase de operación

Ahora obtenidos, cada uno de los factores que implican en la fase de operación de la cámara de secado, se puede determinar el consumo en la fase de operación.

$$q_b = \sum q_{4 \rightarrow 6} \quad (3.19)$$

$$q_b = 1.075.632(kcal)$$

Se adicionara un factor de seguridad de 15%, debido a posibles pérdidas del sistema, además en esta etapa se debe utilizar vapor como sistema de humidificación para controlar la humedad relativa. Para el cálculo se tiene que dividir el calor de la fase de calentamiento inicial (q_b) con el periodo de calentamiento (T_b), y adicionar el 15%, obteniendo.

$$q_b = \frac{\sum q_{4 \rightarrow 6}}{T_b} \cdot 1,15 \quad (3.20)$$

$$q_b = 12.558 \left(\frac{kcal}{h} \right)$$

Total calculo térmico cámara de secado

Por lo tanto se obtiene que el cálculo total requerido para la cámara de secado de madera, sea la suma del calor querido en las dos fases anteriormente calculadas, entonces:

$$q_{Total} = q_a + q_b \quad (3.21)$$

Ahora remplazando se tiene que:

$$q_{Total} = 53.809 \left(\frac{kcal}{h} \right)$$

Capítulo IV

SELECCIÓN DE EQUIPOS Y COMPONENTES DE LA CÁMARA DE SECADO.

4.1 Ventiladores

Para la selección de los ventiladores debemos definir el caudal de aire necesario para el secado de la madera a una cierta velocidad del aire. Además de la presión total.

Para el secado de maderas como Pino Radiata, se estiman velocidades de aproximadamente 3 m/s en el interior de la pila de madera.

Para determinar el caudal necesario, es necesario calcular el área transversal por donde circulara el aire en la pila de madera y multiplicado por la velocidad de circulación del aire.

La configuración de la pila es:

Alto: 24 tablas de 1"

Ancho: 14 tablas de 3"

Separadores: 24 de 25mm

Se determinó que la sección transversal o área de la pila de madera (A_t) por donde circulara el aire es de $2(m^2)$ y multiplicando ésta por la velocidad del aire (v_{aire}) recomendada de $3\left(\frac{m}{s}\right)$, se tiene que:

$$Q_{aire} = A_t \cdot v_{aire} \quad (4.1)$$

$$Q_{aire} = 6 \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

Para compensar las perdidas debido a desviaciones del flujo de aire, se adiciona un 25% al caudal de aire, obteniendo el siguiente resultado.

$$Q_{aire} = 7,5 \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

Ahora se debe definir la cantidad de ventiladores que se utilizaran en la cámara de secado. La disposición de estos será a lo largo de la cámara de secado por medio de 4 electroventiladores axiales.

Por lo tanto el caudal necesario de cada ventilador es de

$$Q_{aire} = 1,875 \left(\frac{m^3}{s} \right) \text{ o } 6.750 \left(\frac{m^3}{h} \right).$$

La presión total estimada para la cámara de secado es de 15 mm.c.a., con lo que es posible seleccionar el ventilador adecuado para las condiciones requeridas.

Por lo tanto se tiene que:

$$Q_{aire} = 1,875 \left(\frac{m^3}{s} \right) \text{ o } 6.750 \left(\frac{m^3}{h} \right)$$

$$\Delta P = 15 \text{ (mm.c.a.)}$$

Ahora bien, el fabricante indica que para seleccionar el ventilador adecuado, se debe definir además la temperatura del aire y la elevación sobre el nivel del mar, por lo tanto estos valores corresponden a los siguientes:

Temperatura del aire: 80°C

Elevación: aprox. Nivel del mar.

Estos datos mencionados permiten determinar la presión total efectiva para esas condiciones, encontrando el factor de corrección para la presión total. Si bien la presión total eran 15 mm.c.a., esta debe ser dividida por el factor que se indica en el cuadro N°2.

CUADRO N°2. *Factor de corrección para presión total.*

TEMPERATURA DEL AIRE °C	ELEVACIÓN SOBRE EL NÍVEL DEL MAR (m)									
	Nivel del mar	300	450	600	750	900	1200	1500	1800	2100
	PRESIÓN BAROMÉTRICA mmHg									
	760	735	720	705	695	680	655	630	610	585
-40	1,234	1,191	1,170	1,150	1,128	1,105	1,066	1,028	0,987	0,956
-18	1,152	1,110	1,092	1,072	1,052	1,033	0,950	0,957	0,922	0,894
0	1,082	1,043	1,024	1,005	0,990	0,970	0,934	0,900	0,865	0,838
20	1,000	0,964	0,947	0,930	0,913	0,896	0,864	0,832	0,799	0,774
38	0,946	0,912	0,895	0,878	0,863	0,847	0,816	0,785	0,755	0,732
66	0,869	0,838	0,824	0,807	0,793	0,779	0,750	0,722	0,695	0,672
93	0,803	0,775	0,760	0,747	0,733	0,720	0,693	0,667	0,642	0,622
121	0,747	0,720	0,707	0,695	0,682	0,670	0,645	0,622	0,592	0,578
149	0,679	0,672	0,660	0,647	0,626	0,625	0,602	0,579	0,577	0,540
177	0,654	0,630	0,620	0,608	0,597	0,586	0,564	0,543	0,522	0,507
205	0,616	0,594	0,583	0,572	0,562	0,552	0,532	0,512	0,482	0,477

Por lo tanto el factor de corrección determinado es 0,836., con lo cual la presión total que definida en 20 mm.c.a., con lo que se debe seleccionar un ventilador axial para esa presión y el caudal determinado.

Ventilador Seleccionado

Marca: OTAM

Designación: AFR – B 355 Arr.4 Cl.I MH – H

Distribuidor: Klima Distribuidora y Comercial Térmica Ltda.

Se puede apreciar en la figura 4.1 un esquema de los ventiladores seleccionados para el proyecto.

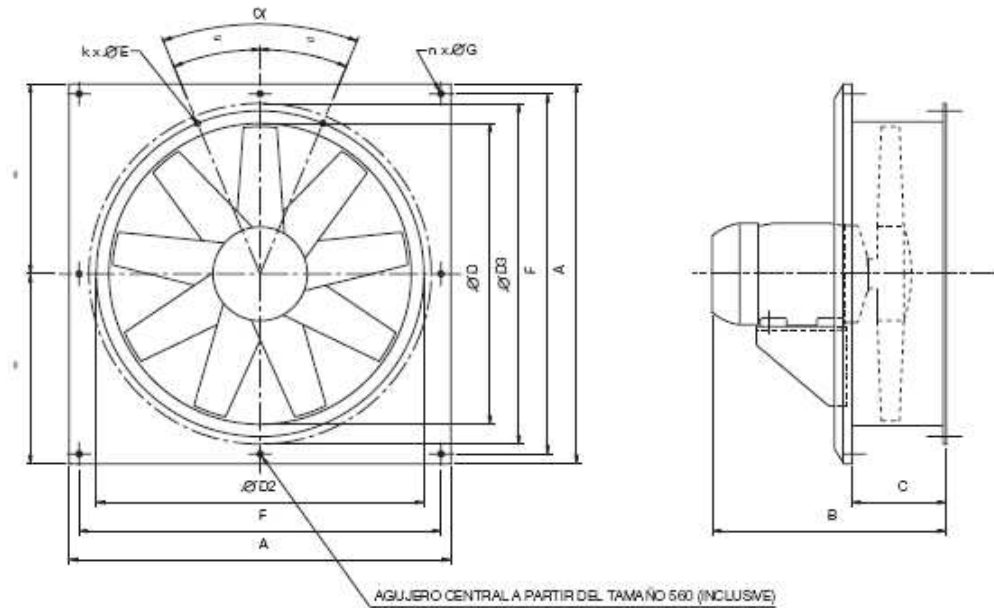


Figura N°.4.1. Ventilador axial AFR modelo 355. (OTAM)

Ficha Técnica

Modelo: 355.

Rotación: 3500 Rpm.

Motor: 2 Hp.

Corriente Nominal: 6,2 A, a 220V.

Nivel de Ruido: 77 db.

Caudal de Aire: 6746 m³/hr

Dimensiones:

A = 450mm

B = 287mm

C = 112mm

4.2 Selección del Serpentin.

Para poder seleccionar los serpentines, estos deben corresponder a ciertos aspectos de diseñados, como para las condiciones de temperatura, capacidad calorífica, presión de vapor, entre otros.

Los serpentines no se encuentran muy fácilmente en el mercado para las condiciones que se requieren. Es por eso que éstos deben ser diseñados para cada necesidad específica.

Para determinar el serpentín adecuado, se deja esta función a la empresa INTERCAL S.A., que será la que diseñara los serpentines de acuerdo a los parámetros especificados. Para ello se estimaron los parámetros con que deben cumplir los serpentines, para que puedan ser diseñados por la empresa INTERCAL S.A., como se ve en el CUADRO N°3.

CUADRO N°3. *Parámetros de diseño para serpentines.*

Presión Vapor:	3,5	kgV/h
Temperatura Vapor:	138	°C
Temperatura entrada Aire:	10	°C
Temperatura salida Aire:	80	°C
Capacidad Calorífica:	53.809	kcal/h
Caudal aire:	6.750	M ³ /h

Se determinó que la cámara de secado para madera, debía contar con 3 serpentines, instalados en el cielo falso de esta. Además con ésta cantidad, se obtiene que la totalidad del flujo de aire pase a través de los serpentines y sea calentado a la temperatura requerida, y por otra parte se debió al espacio disponible entre los perfiles que sostienen el cielo falso.

Las especificaciones técnicas de los serpentines cotizados a INTERCAL S.A son las que se muestran en el CUADRO N°4.

CUADRO N°4. *Especificaciones técnicas de serpentines a INTERCAL S.A.*

Serpentín Vapor/Aire 5/8"		
Marca:	INTERCAL S.A.	
Modelo:	CEV-40 (P3-960x750)	
Superficie:	40,0 m2	
Sep. Aletas:	3,0 mm	
Capacidad:	18.000 kcal/h	
Condiciones de trabajo:		
	Entrada	Salida
AIRE TEMP (°C)	10	80
VAPOR Psat (psi)	50	
DTml	101,7	
G vapor (kgV/h)	31	
Q Aire (m3/h)	2.250	
Dimensiones netas serpentines		
Largo Neto:	900 mm	
Alto:	720 mm	
Fondo:	90 mm	
Dimensiones totales serpentín:		
Largo entre curvas:	1.020 mm	
Alto:	750 mm	
Fondo:	155 mm	
Largo total aprox.:	1.070 mm	
Peso aprox.:	44 kg.	
Volumen Interior:	4,5 lts	
Conexiones:		
Vapor:	hilo HE	2 1/2"
Condensado:	hilo HE	2 1/2"

Los serpentines son de aluminio, lo que alarga su vida útil dentro de la cámara de secado, debido a las condiciones de humedad constante que se produce por el proceso.

En la Figura 4.2. Se muestra un esquema de los serpentines en el sentido del flujo de aire.

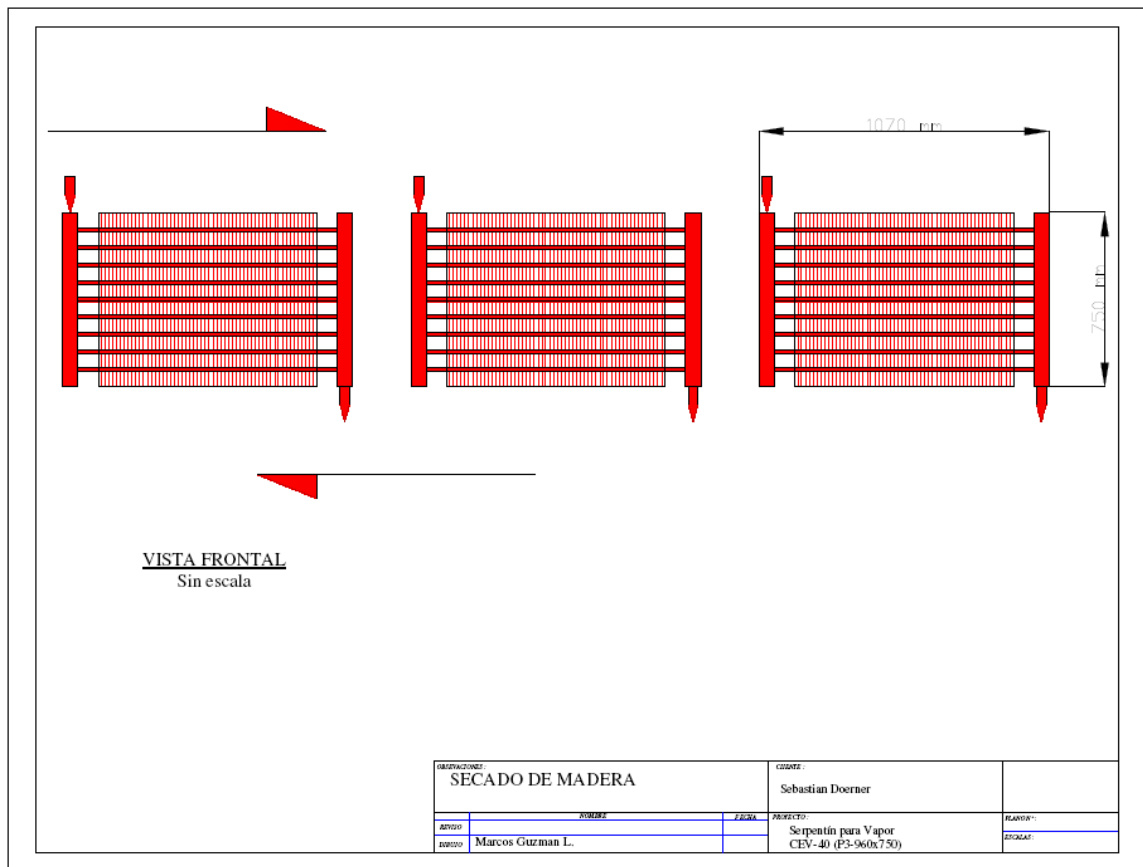


FIGURA N°.4.2. Esquema de serpentines. (INTERCAL S.A.)

4.3 Línea de Vapor.

La línea de vapor es el sistema de transporte de la energía que necesita el proceso de secado para poder calentar los serpentines e inyectar vapor. Para ello necesitamos elementos como cañerías, trampas de vapor, válvulas, etc.

El proyecto solo contempla las líneas de vapor, desde la entrada a la cámara de secado, para llegar a los serpentines y luego la salida por la línea de condensado. No incluye determinar una caldera para entregar el vapor necesario.

Para comenzar con la selección de las líneas vapor es necesario determinar la cantidad de vapor (kg./h) a utilizar.

4.3.1 Consumo de vapor.

El consumo de vapor esta dado por la demanda que se requiere para la operación de secado. Esta cantidad esta dada por el consumo de los tres serpentines, y además del sistema de humidificación.

INTERCAL S.A., en la información que entregó para el conjunto de serpentines especifica que, el consumo de vapor estimado es de 93 (kgV/hr).

Además se debe considerar que en el proceso de secado de madera debemos controlar la atmósfera, regulado la humedad relativa de la cámara y para ello debemos inyectar ciertas cantidades de vapor para lograr la humedad especificada. También se deben considerar posibles pérdidas, por lo que se estima que se debe adicionar un 15% al valor de consumo de vapor, obteniendo:

$$\dot{q}_{Total} \approx 107 \left(\frac{kg_{vapor}}{h} \right)$$

Propiedades del vapor saturado

$$\text{Presión vapor } (P_v) = 3,5 \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$$

$$\text{Temperatura vapor } (t_v) = 138(^{\circ}C) \quad \text{Ver Anexo 13}$$

$$\text{Entalpía vapor } (h) = 600,6 \left(\frac{kcal}{kg} \right) \quad \text{Ver Anexo 13}$$

4.3.2 Selección de Cañerías de vapor.

Para determinar el diámetro necesario de cañería, se utilizara el programa disponible por SPIRAX-SARCO, utilizando el cálculo basado en la velocidad del vapor.

Para determinar el diámetro de cañería se introducen los valores que se mencionan a continuación, como se aprecia en la figura 4.3.

Datos:

- Método: velocidad de vapor
- Velocidad del vapor: 22 m/s.
- Presión del vapor: 3.5 kg/cm²
- Flujo másico de vapor: 107 kg/h.
- Longitud equivalente de cañería: 50 m. (Estimados)
- Norma y clase de cañería: ANSI – Schedule 40.

Por lo tanto el resultado obtenido por el programa es el siguiente:

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	22	m/s
Upstream Pressure	3.5	at (kgf/cm ²) gauge
Mass Flow Rate	107	kg/h
Equivalent Pipe Length	50	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	26.8380	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	32	mm
Upstream Velocity	12.8767	m/s
Downstream Pressure	3.42786	at (kgf/cm ²) gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	25	mm
Upstream Velocity	22.3282	m/s
Downstream Pressure	3.20874	at (kgf/cm ²) gauge

FIGURA 4.3. *Cálculo de diámetro de cañería de vapor. (SPIRAX-SARCO)*

Ahora obtenidos los datos, se determinó que el diámetro de cañería más conveniente es el de 25mm o de 1", que se encuentra en el comercio.

Las cañerías seleccionadas son de la marca CINTAC que poseen una amplia gama. Por lo tanto la cañería seleccionada corresponde a la siguiente:

Cañería Norma ASTM A-53 Grado A / Schedule 40

Diámetro nominal: 1"

Diámetro exterior: 33,4 mm.

Espesor nominal: 3,38mm.

Peso teórico: 2,50kg/m.

Presión de Prueba: 49,20kg/cm²

4.3.3 Selección cañería de condensado.

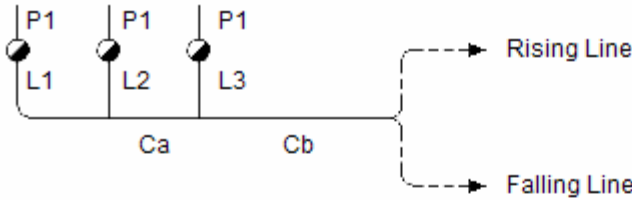
Para poder determinar la cañería de retorno del condensado, se utilizara el software que esta disponible por SPIRAX-SARCO, en el cual es posible determinar el diámetro de cañería necesario.

Para poder utilizar el software se debe considerar los siguientes datos:

- Material cañería: Acero
- Velocidad vapor Flash: 20 m/s
- Velocidad condensado: 1,4 m/s
- Presión condensado: 1 kg/cm²
- Presión entrada: 3,5 kg/cm² (por cada línea)
- Tasa vapor: 35,67 kg/h (por cada línea)

Las velocidades del vapor Flash y la velocidad de condensado son recomendadas entre 20 a 30 m/s y 1,4 a 3 m/s para el condensado, según (SPIRAX-SARCO).

Por lo tanto con estos datos, el software entrego los siguientes resultados, como se aprecian en la figura 4.4.



Pipe Material	Steel	
Flash Steam Velocity	20	m/s
Condensate Velocity	1.4	m/s
Condensate Pressure	1	at (kgf/cm ²) gauge
	<input type="radio"/> Rising Line <input checked="" type="radio"/> Falling Line	
Discharge Line (L1)		
Upstream Pressure (P1)	3.5	at (kgf/cm ²) gauge
Mass Flow Rate	35.67	kg/h
Discharge Line (L2)		
Upstream Pressure (P1)	3.5	at (kgf/cm ²) gauge
Mass Flow Rate	35.67	kg/h
Discharge Line (L3)		
Upstream Pressure (P1)	3.5	at (kgf/cm ²) gauge
Mass Flow Rate	35.67	kg/h
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Discharge Line Nominal Bore (L1)	10	mm
Discharge Line Nominal Bore (L2)	10	mm
Common Line Nominal Bore (Ca)	10	mm
Discharge Line Nominal Bore (L3)	10	mm
Common Line Nominal Bore (Cb)	15	mm
Total Mass Flow Rate	107.010	kg/h

FIGURA N°4.4. *Calculo de diámetro de cañería de condensado.* (SPIRAX-SARCO)

Por lo tanto los resultados arrojados por el software indican que los diámetros de cañería de retorno del condensado son de 10 mm para los tramos

L1, L2, L3, Ca, y de 15 mm para el tramo Cb que corresponde al retorno desde el último serpentín hasta la salida de la cámara de secado.

Las cañerías seleccionadas corresponden a la marca CINTAC, con las siguientes características:

Cañería Norma ASTM A-53 Grado A / Schedule 40

Diámetro nominal: 1/2"

Diámetro exterior: 21,30 mm.

Espesor nominal: 2,77mm.

Peso teórico: 1,27kg/m.

Presión de Prueba: 49,20kg/cm²

Solo se opto por utilizar cañerías de 1/2" para el retorno del condensado, debido a que en el comercio no se encuentran cañerías de la norma ASTM A-53 Grado A / Schedule 40 de 10mm o 1/4".

4.3.4 Selección de accesorios para la línea de vapor.

Para comenzar con el sistema de calefacción se deben seleccionar los componentes que lo conforman, siendo estos elementos esenciales para la seguridad y vida útil de la línea de vapor y condensado como además de los serpentines.

Para poder obtener la temperatura deseada en el interior de la cámara de secado, es necesario poder controlar la cantidad de vapor entrante a los serpentines, y para ello se utilizará un controlador, que será el encargado de enviar la señal eléctrica necesaria para poder regular la válvula de control regulando la temperatura a la programada.

Todos los componentes que conforman la línea de vapor y condensado se muestran a continuación como lo indica la figura 4.5, siendo este el diagrama de flujo de la instalación que se utilizará para la cámara de secado de madera.

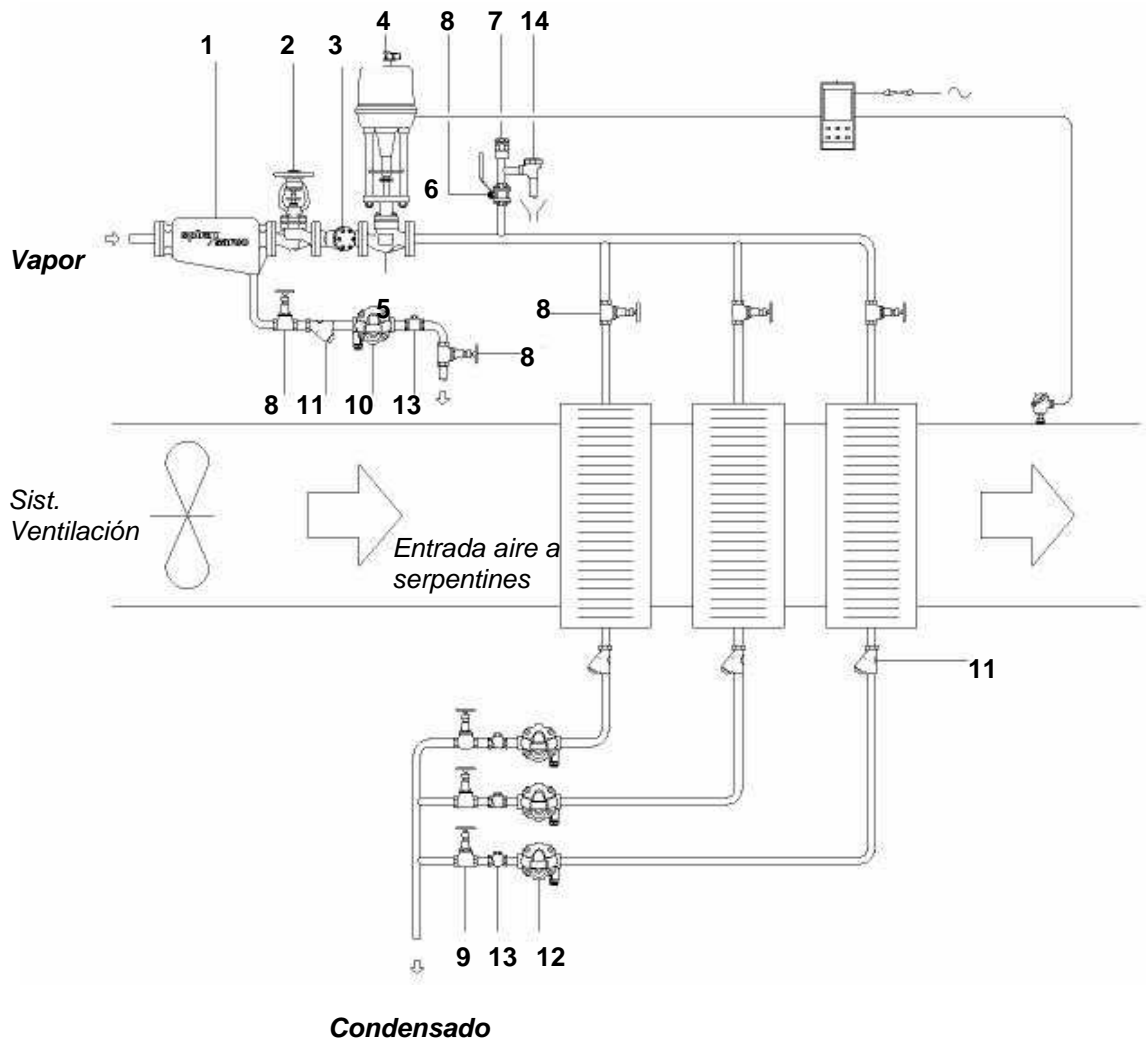


FIGURA N°4.5. Diagrama flujo de línea de vapor y condensado. (SPIRAX-SARCO).

Listado de accesorios seleccionados.

Ítem	Accesorio
1	Separador Agua-Vapor SP 1" (Vertical)
2	Válvula de Globo Mod. 5520S-UT 1 pulg. Clase 800
3	Filtros "Y" de Impurezas modelo AT 1"
4	Electroposicionador SIPART PS2 Simple acción, 4..20 SIEMENS
5	Cuerpo Válvula LEA 31 3/4" roscada
6	Actuador Neumático 9120 Resorte (0,4-1,2)
7	Válvula Rompedora de Vacío VB-14 1/2" Bronce
8	Válvula Esfera Cuerpo Acero Inox. M5 V4 FB 1/2"
9	Válvula Esfera Cuerpo Acero Inox. M5 V4 FB 3/4"
10	Trampa para Vapor Termodinámica TD -52 1/2"
11	Filtros "Y" de Impurezas modelo AT 1/2"
12	Trampa para Vapor Flotador FT-551 3/4"
13	Válvula Retención Bronce TE413B roscada 1/2" NIBCO
14	Venteo Termostático de Aire

4.4 Selección de Ventilass.

Para el proyecto se consideran ventilass para la extracción e ingreso del aire en el proceso de secado de la madera. La cámara de secado contará con 4 ventilass de similares características, siendo éstas, dimensiones, material, mecanismos, etc. La disposición de éstas, será en el cielo de la cámara de secado, estando ubicadas simétricamente, tal como se indica en la figura 4.6.

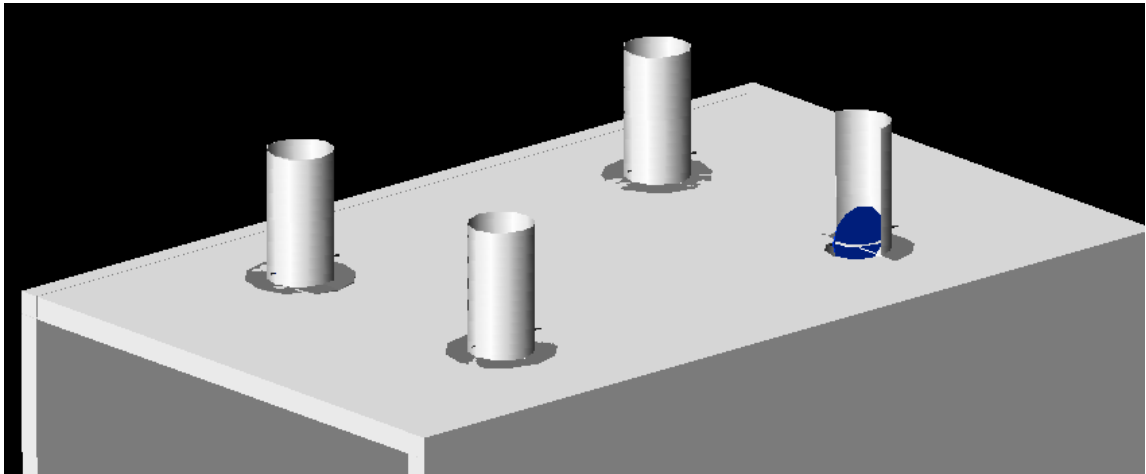


FIGURA N°4.6. *Disposición de ventilass en cámara de secado*

Para la construcción de las ventilass, se determinó usar acero inoxidable opaco de 2mm de espesor. El acero inoxidable opaco presenta buenas características, en cuanto a la resistencia contra la oxidación. Por otra parte, en estos trabajos de hojalatería no presenta mayor dificultad para su elaboración.

Se determinó que las dimensiones de las ventilass son de 700mm de longitud con un diámetro interior de 300mm. En su interior posee un disco el cual es operado para abrir o cerrar la ventila en el proceso de evacuación o ingreso de aire en el secado de la madera. El disco estará construido de aluminio, y fijado a un eje de 8mm de diámetro el cual será del mismo material, con el objetivo de accionarlo mediante un motor eléctrico de paso a paso en cada una de las ventilass.

Para regular que las ventilas se abran o cierren durante la operación, éstas, estarán comandadas por los motores eléctricos paso a paso, montados en el exterior de las ventilas, los que accionarán los discos para la apertura y cierre de la ventila.

El sistema de apertura y cierre de las ventilas será operado por medio del controlador, el cual enviará la señal para su apertura o cierre, dependiendo del porcentaje de humedad relativa que exista en el interior de la cámara de secado, obtenido de la señal del transmisor de humedad.

4.5 Selección de motor eléctrico de ventilas.

Para poder comandar la apertura de las ventilas, es necesario utilizar un motor eléctrico. El tipo de motor ideal para este caso son los llamados “paso a paso”, como se ve en la figura 4.7, ya que pueden realizar giros de 90°, lo que resulta ideal para el sistema de apertura y cierre de las ventilas, y además girar en ambos sentidos.

Las características del motor eléctrico paso a paso se muestran a continuación en el CUADRO N°5.

CUADRO N°5. *Características técnicas del motor paso a paso.*

Modelo	FL - 42STH47
Voltaje	12V
Corriente	400mA
Grado/Paso	0,9°
Exactitud del ángulo por paso	+/-5%
Fase	Unipolar
Resistencia fase	300hm
Exactitud de resistencia	+/-20%
Inductancia de fase	38
Torque de enganche	3,2kg-cm.
Temperatura ambiente	-20°C - +50°C

FIGURA 4.7. *Motor paso a paso FL - 42STH47 (CasaRoyal LTDA)*

4.6 Selección del sistema de humidificación

El sistema de humidificación de la cámara de secado, es el mecanismo que posee para poder controlar las condiciones de humedad dentro de la cámara de secado. En el secado de la madera, se debe controlar la humedad relativa del aire, debido a que se pueden producir defectos en la madera.

Según la recomendación mencionada por (William T. Simpson, 1991), la energía consumida para la humidificación es aproximadamente un 15%, del total. Esto quiere decir que se consumirían 15% del vapor necesario, tal como se indico en el cálculo de la energía total requerida para la cámara de secado.

Por lo tanto son necesarios 16,05 kgV/h, que corresponden al 15% de los 107 kgV/h requeridos según el cálculo total. Por lo tanto el inyector debe ser capaz de inyectar vapor a una presión de 3,5 kg/cm² a una tasa superior a 16 kgV/h.

Para el sistema de humidificación, se determinó utilizar vapor proveniente de la línea de vapor que alimenta los serpentines. Así se aprovecha el vapor, y no es necesario utilizar un sistema que utilice agua inyectada a presión, evitando gastos operacionales.

Se utilizará una línea proveniente de la línea principal de vapor, la cual se utilizará una cañería Norma ASTM A-53 Grado A / Schedule 40 de 1/2" para alimentar el sistema de humidificación.

El sistema es operado automáticamente por medio del controlador, el cual se programa de acuerdo a la etapa de secado, y una vez que el transmisor de humedad indique el porcentaje de humedad necesario para inyectar vapor, el controlador enviará la señal eléctrica para que se abra la válvula solenoide que permitirá el paso al inyector de vapor, humidificando el aire.

El inyector estará instalado en los paneles de la cámara de secado, a una altura de 1700mm desde el suelo, por debajo de los serpentines, lo que proporcionara una inyección de vapor hacia la pila de madera.

A continuación se mencionaran los componentes seleccionados para el sistema de humidificación en el diagrama de flujo como lo indica la figura 4.8.

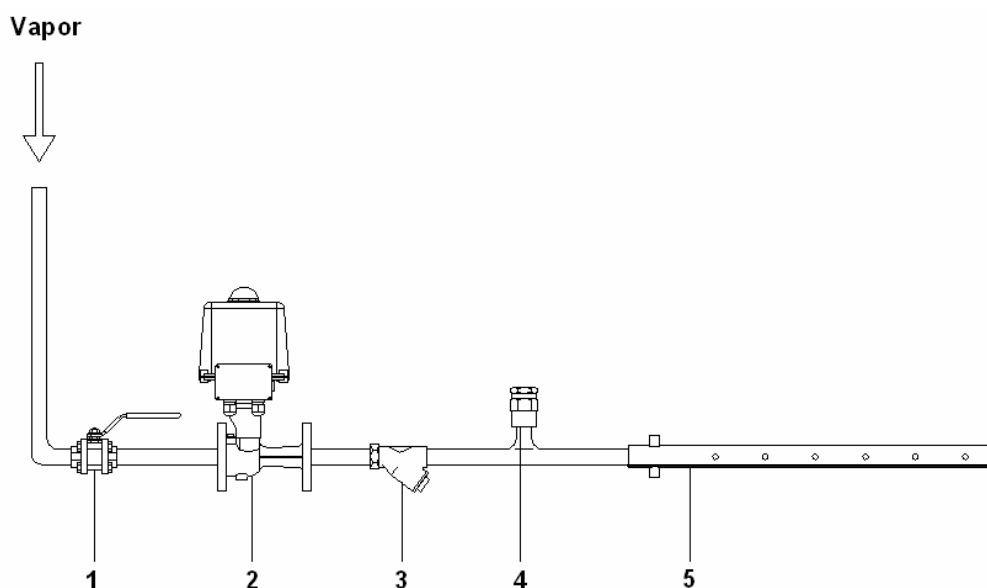


FIGURA 4.8. *Diagrama de sistema de inyección de vapor.*

Lista de accesorios seleccionados

Ítem	Accesorio
1	Válvula Esfera Cuerpo Acero Inox. M5 V4 FB ½"
2	Válvula solenoide pistón Bürkert 406-A ½"
3	Filtros "Y" de Impurezas modelo AT ½"
4	Válvula Rompedora de Vacío VB-14 ½" Bronce
5	Inyector Vapor Tipo LN15 Acero Inox.

4.7 Selección de Deflectores

Los deflectores son el mecanismo que mejoran la circulación del flujo de aire para ingresar a la pila de madera, proporcionando un caudal mas uniforme que sin estos.

Para el proyecto se determinó la fabricación de deflectores, que estarán instalados en las esquinas inferiores a lo largo de la cámara de secado. De esta manera se mejorara el rendimiento del flujo de aire para el ingreso a la pila de madera, tanto como para la salida de este.

La fabricación de los deflectores será de forma curva como se aprecia en la figura 4.9., ocupando un cuarto de circunferencia en su sección transversal. Para ello se utilizará como material, aluminio, el que presenta buenas características de resistencia ante los agentes corrosivos.

Estos serán fabricados por medio de cilindrado en maestranza, por lo que los deflectores tendrán las dimensiones especificadas, como se mencionan.

Las dimensiones de los deflectores son las siguientes:

Largo: 4,2 (m)

Alto: 0,3 (m)

Ancho: 0,3 (m)

Radio: 0,3 (m)

Espesor: 2 (mm)

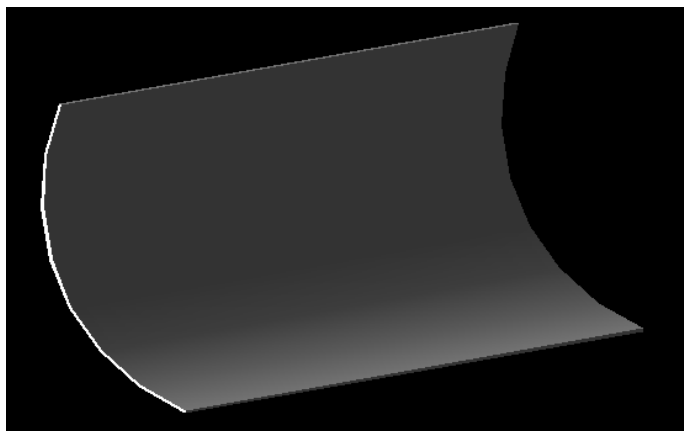


FIGURA 4.9. *Deflector cámara de secado.*

La instalación de los deflectores, será mediante tornillos autotaladrantes de 10x3/4, fijados a las paredes de la cámara, sólo en la parte superior de los deflectores.

4.8 Selección de instrumentación.

La cámara de secado de madera debe contar con instrumentos necesarios para registrar y medir los datos necesarios que involucra el proceso. Para ello debemos determinar los instrumentos necesarios y que además que se adecuen a las características y rangos pertinentes.

Los factores que debemos controlar son la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del aire en el interior de la cámara de secado.

Los instrumentos necesarios son los que se seleccionaran a continuación:

4.8.1 Sistema de medición y control de temperatura / humedad relativa.

Controlador Omnia W500H



FIGURA 4.10. Controlador Omnia W500H. (KLIMA LTDA)

El controlador seleccionado es el modelo Omnia W500T, el cual puede controlar la temperatura, humedad relativa. Este dispositivo es ideal para obtener una lectura y control de las variables en el proceso de secado.

A este elemento se incorporan los transmisores, de temperatura y humedad relativa, conformando así el sistema de control de estas variables, regulando la temperatura del aire mediante la apertura o cierre de la válvula para el ingreso de vapor a los serpentines, y por otra parte regulando la inyección de vapor o la apertura de las ventilas.

Características técnicas

- Modelo: W500H
- Entradas digitales: Nr. 2
- Entrada de sensor: Nr.2 PTC 1 K
- Entrada activa: Nr. 1 AI 0-10V dc
- Salida relee: Nr. 2 SPDT 8(3) A 250V ac
- Salida analoga: Nr.2 AO 0-10 V dc

- Interfase: 3 1/2 lectura digital
- Reloj RTC: No
- Comunicaciones con supervisión: No
- Comunicación LinkBus: Si
- Suministro corriente: 230V ac
- Dimensiones: 70x85x61 mm

4.8.2 Transmisor humedad relativa TUT-A32.



FIGURA 4.11. *Transmisor humedad relativa TUT-A32. (KLIMA LTDA)*

Este dispositivo es el encargado de tomar las lecturas de humedad relativa, para transfórmala en una señal eléctrica de voltaje. Es usado en lugares cerrados, ideales para su uso en cámaras de secado.

Los modelos TUT-A de transmisores están compuestos de una caja termoplástica, que almacena una tarjeta electrónica con los terminales para sus conexiones eléctricas.

Estos transmisores deben estar instalados a una altura media de la cámara en la pared por donde el aire ingresara a la pila de madera.

Características técnicas

- El suministro de corriente: 15 ...25 V - o 24 ~ +10.. -15% (50 ...60 Hz)
- Consumo de corriente: 1 VA
- Precisión: $\pm 3\%$ entre 10% y 90% R.H.
 $\pm 5\%$ de 0 a 10% y 90 a 100% R.H.
- Elemento sensitivo de humedad: capacitivo
- Señal Salida: 0 ...10 V – 4...20 mA
- Rango del funcionamiento:
Humedad: 0 a 100% R.H.
Temperatura trabajo: -10 a 85 °C
- Masa: 0,2 kg máximo

4.8.3 Transmisor temperatura TT-C31.



FIGURA 4.12. *Transmisor temperatura TT-C31. (KLIMA LTDA)*

Este dispositivo es el encargado de tomar las lecturas de temperatura, para transfórmala en una señal eléctrica de voltaje. Es usado en lugares cerrados, ideales para su uso en cámaras de secado

Los transmisores de temperatura están compuestos de una caja termoplástica, que almacena una tarjeta electrónica con los terminales para sus

conexiones eléctricas, además los transmisores del modelo (TT-C) están provistos con un acero inoxidable AISI 304.

Características técnicas

- El suministro de corriente: 14,5...35 V - o 24V ~ +10%
- Consumo: 1VA
- Señal salida: 0...10 V - (12 V - el máximo.)
- Temperatura trabajo: -10 a 85 °C
- Peso: 0,2 kg.

4.8.4 Selección de anemómetro.

Este instrumento es el que se utilizara para poder obtener la lectura de la velocidad del aire a través de la pila de madera.

Debido a que la mayoría de los equipos existentes en el mercado son de uso portátiles y para temperatura del aire que no superan los 60°C, se opto por seleccionar este tipo de equipos portátiles. Su uso se basara solo en la medida de la velocidad del aire para la entrada de la pila de madera, cuando no estén operando los serpentines, esto es por la seguridad de los operarios.



FIGURA 4.13. Anemómetro Extech. (VETO LTDA)

Características técnicas

Marca: Extech

Rango velocidad: 0,8 – 108 km/h

Resolución: 0,1 km/h

Rango temperatura: 0 – 50 °C

Precisión: +/- 3%

Capítulo V

COSTOS DEL PROYECTO.

A continuación se presentan los costos involucrados en el proyecto de la cámara de secado para madera elaborada, en la cual se indican los ítems correspondientes a cada área del proyecto.

5.1 Cuadros de costos.

CUADRO Nº 6. Costos Estructura

Ítem	Descripción	Unidad	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
1	Perfil Murogal Montante extra 0,85mm	m	\$ 2.160	130	\$ 280.800
2	Perfil Murogal Canal extra 1,0mm	m	\$ 2.380	12	\$ 28.560
3	Plancha Aluminio 1500x3000-1	c/u	\$ 46.600	12	\$ 559.200
4	Plancha Aluminio 1500x3000-2	c/u	\$ 85.680	10	\$ 856.800
5	Perno Anclaje 5/8"x6"	c/u	\$ 1.236	60	\$ 74.160
6	Tornillo Autotaladrantes 10x3/4	c/u	\$ 17	2.000	\$ 34.000
7	Cadena ACMA 15x30-4,5m diam 9,2	m	\$ 4.140	14	\$ 57.960
8	Malla ACMA tipo C-139	m ²	\$ 2.615	10	\$ 26.150
9	Lana de Vidrio 100mm	m ²	\$ 4.300	48	\$ 206.400
10	Polietileno 0,15mm	m ²	\$ 200	10	\$ 2.000
11	Hormigón H-5	m ³	\$ 48.406	0	\$ 13.554
12	Hormigón H-10	m ³	\$ 50.742	2	\$ 106.558
12	Cerrojo portón 50 zinc 8"	c/u	\$ 4.395	1	\$ 4.395
14	Bisagra nº88 4"X4" pasador simple	c/u	\$ 1.674	6	\$ 10.044
Total \$					\$ 2.260.581

CUADRO Nº 7. Costos Sistema Calefacción

Ítem	Descripción	Unidad	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
1	Serpentín Vapor/Aire 5/8" INTERCAL S.A.	c/u	\$ 506.700	3	\$ 1.520.100
2	Cañería 1" ASTM A-53 Sch40	m	\$ 2.797	6	\$ 16.782
3	Cañería 1/2" ASTM A-53 Sch40	m	\$ 1.035	6	\$ 6.210
4	Cañería 1/4" ASTM A-53 Sch40	m	\$ 685	6	\$ 4.110
5	Separador Agua-Vapor SP 1" (Vertical)	c/u	\$ 246.448	1	\$ 246.448
6	Válvula Globo Mod. 5520S-UT 1" Clase 800	c/u	\$ 38.904	1	\$ 38.904

7	Filtros "Y" de Impurezas modelo AT 1"	c/u	\$ 40.471	1	\$ 40.471
8	Electropos. SIPART PS2, 4..20 SIEMENS	c/u	\$ 649.485	1	\$ 649.485
9	Cuerpo Válvula LEA 31 3/4" roscada	c/u	\$ 325.417	1	\$ 325.417
10	Actuador Neumático 9120 Resorte (0,4-1,2)	c/u	\$ 423.855	1	\$ 423.855
11	Válvula Rompedora Vacío VB-14 1/2" Bronce	c/u	\$ 81.157	1	\$ 81.157
12	Vál. Esf. Cuerpo Acero Inox. M5 V4 FB 1/2"	c/u	\$ 27.060	6	\$ 162.360
13	Vál. Esf. Cuerpo Acero Inox. M5 V4 FB 3/4"	c/u	\$ 33.687	3	\$ 101.061
14	Trampa Vapor Termodinámica TD -52 1/2"	c/u	\$ 52.345	1	\$ 52.345
15	Filtros de Impurezas AT 1/2"	c/u	\$ 26.679	4	\$ 106.716
16	Trampa para Vapor Flotador FT-551 3/4"	c/u	\$ 154.608	3	\$ 463.824
17	Vál. Ret.Bronce TE413B roscada 1/2" NIBCO	c/u	\$ 8.947	4	\$ 35.788
Total					\$ 4.275.033

CUADRO Nº 8. Costos Sistema Ventilación

Ítem	Descripción	Unidad	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
1	Vent. OTAM AFR – B 355 Arr.4 Cl.I MH – H	c/u	\$ 496.320	4	\$ 1.985.280
2	Plancha Aluminio 1500x3000-1	m ²	\$ 85.680	1	\$ 85.680
Total					\$ 2.070.960

CUADRO Nº 9. Costos Instrumentación

Ítem	Descripción	Unidad	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
1	Controlador digital W500H Controlli	c/u	\$ 411.480	1	\$ 411.480
2	Transmisor Humedad TUT-A32 Controlli	c/u	\$ 317.520	1	\$ 317.520
3	Transmisor Temperatura TT-C31 Controlli	c/u	\$ 242.190	1	\$ 242.190
4	Termoanemometro flexible	c/u	\$ 155.892	1	\$ 155.892
Total					\$ 1.127.082

CUADRO Nº 10. Costos Ventilás

Ítem	Descripción	Unidad	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
1	Motor eléctrico por paso FL - 42STH47	c/u	\$ 15.042	4	\$ 60.168
2	Disco aluminio 2mm	m ²	\$ 18.900	0,3	\$ 5.330
3	Caño acero inox 2mm	c/u	\$ 27.500	4	\$ 110.000
Total					\$ 175.498

CUADRO Nº 11. Sistema Humidificación

Ítem	Descripción	Unidad	Valor	Cantidad	Valor Total
			Unitario		
1	Cañería 1/2" ASTM A-53 Sch40	m	\$ 1.035	6	\$ 6.210
2	Vál. Esfera Cuerpo Acero Inox. M5 V4 FB ½"	c/u	\$ 27.060	1	\$ 27.060
3	Válvula solenoide pistón Bürkert 406-A ½"	c/u	\$ 224.039	1	\$ 224.039
4	Filtros "Y" de Impurezas modelo AT ½"	c/u	\$ 26.679	1	\$ 26.679
5	Válvula Rompedora Vacío VB-14 ½" Bronce	c/u	\$ 81.157	1	\$ 81.157
6	inyector Vapor Tipo LN15 Acero Inox.	c/u	\$ 225.170	1	\$ 225.170
Total					\$ 590.315

CUADRO Nº 12. Costos Mano de Obra y Otros

Ítem	Descripción	Unidad	Valor	Cantidad	Valor Total
			Unitario		
1	Mano de Obra y montaje	c/u	\$ 850.000	1	\$ 850.000
2	Varios	c/u	\$ 250.000	1	\$ 250.000
Total					\$ 1.100.000

A continuación se presenta en el CUADRO Nº13 un resumen de los costos totales del proyecto de la cámara de secado para madera elaborada.

CUADRO Nº 13. Costos Totales

Ítem	Descripción	Unidad	Valor	Cantidad	Valor Total
			Unitario		
1	Costos estructura	c/u	\$ 2.260.581	1	\$ 2.260.581
2	Costos sistema calefacción	c/u	\$ 4.275.033	1	\$ 4.275.033
3	Costos sistema ventilación	c/u	\$ 2.070.960	1	\$ 2.070.960
4	Costos instrumentación	c/u	\$ 1.127.082	1	\$ 1.127.082
5	Costos ventilas	c/u	\$ 175.498	1	\$ 175.498
6	Costos sistema humidificación	c/u	\$ 590.315	1	\$ 590.315
7	Costos mano de obra y otros	c/u	\$ 700.000	1	\$ 700.000
Total					\$ 11.199.469+IVA

Conclusiones.

Se logro proyectar una cámara de secado para madera de pino radiata con una capacidad de 1000 pulg., en donde se controlaron variables como temperatura y humedad relativa del interior de la cámara de secado.

Se aplicaron los cálculos térmicos necesarios para determinar la capacidad calórica que se requiere en el secado de madera de pino radiata. La capacidad calorífica de la cámara de secado proyectada fue de 54.000 kcal/hr. lo que nos permite secar una cantidad de 1000 pulg. de madera.

Los equipos necesarios para el funcionamiento de la cámara de secado fueron seleccionados especialmente para poder soportar las condiciones de humedad y temperatura en el interior de esta.

Como medio de calefacción se seleccionó serpentines, utilizando vapor saturado a $3,5 \text{ kg/cm}^2$, alcanzo temperaturas de 80°C en el interior de la cámara de secado.

El costo total del proyecto asciende a la cantidad de \$11.199.469 + IVA, involucrando los costos de mano de obra, equipos de medición, materiales, etc.

En este trabajo se cumplieron todos los objetivos propuestos, con tal de proyectar una cámara de secado para madera elaborada de pino radiata.

Bibliografía.

H. Álvarez Noves, J.I. Fernandez-Golfin Seco. 1992. *“Fundamentos Teóricos del Secado de la Madera”*, Departamento de Industrias Forestales, C.I.T. – I.N.I.A Apartado 8111. 28080 Madrid.

INFOR. 1994. *“Diseño y montaje de un secador de madera de bajo costo”*, Instituto forestal, División industrias, CORFO, Santiago, Octubre, 1994.

James W. Daily. 1975. *“Dinámica de los fluidos, con aplicación en la ingeniería”*, Editorial Trillas, Mexico 1975.

Koch. P. 1972. *“Utilization of the southern pines”*, USDA Dep.. Agric. Forest Service Handbook nº 420 Vol II Processing. 1663 pp.

METALCON. 1999. *“Manual de construcción con acero galvanizado liviano”*

Red Madera. 2006. *“Secado de la madera”*, Documento técnico nº 3. Ministerio de educación. Programa ChileCalifica. Red manufacturera de la Madera de la región del Maule. Talca, enero 2006.

S. Viscarra. 1998. *“Guía para el Secado de la Madera en Hornos”*, Contrato USAID: 511-0621-C-00-3027, Chemonics Internacional, USAID/Bolivia, Agosto, 1998.

William T. Simpson. 1991. *“Dry kiln operator’s manual”*, United states departament of Agriculture, Forest service. Madison, Wisconsin, 1991.

Spirax-Sarco. Disponible en:

<http://www.spiraxsarco.com/us/resources/calculators.asp>

Consultado el 8 de Octubre de 2008.

ANEXOS

Anexo 1: Coeficiente de arrastre.

Anexo 2: Propiedades físicas del aire.

Anexo 3: Análisis de esfuerzos de la estructura.

Anexo 4: Vistas de cámara de secado de madera.

Anexo 5: Propiedades de la madera.

Anexo 6: Propiedades de Metales y aleaciones.

Anexo 7: Propiedades de materiales fibrosos.

Anexo 8: Propiedades de materiales inorgánicos.

Anexo 9: Programa de secado Pino Radiata (Insigne).

Anexo 10: Coeficiente de convección.

Anexo 11: Carta psicrometrica ASHRAE.

Anexo 12: Propiedades vapor saturado.

Anexo 13: Cotizaciones.



Planos

(En documento impreso. Biblioteca Miraflores, Universidad Austral de Chile)

Anexo 1. Coeficiente de arrastre. (James W. Daily, 1975).

TABLA 15-2

COEFICIENTES DE ARRASTRE

Objeto	c/d	L/d	$R = V_{od}/\nu$	c_D
Cilindro circular normal al flujo		1	10^5	0.63
		5	10^5	0.74
		20	10^5	0.90
		∞	10^5	1.20
		5	$> 5 \times 10^5$	0.35
		∞	$> 5 \times 10^5$	0.33
Cilindro elíptico normal al flujo	2	∞	4×10^4	0.60
	2	∞	10^5	0.46
	4	∞	2.5×10^4 hasta 10^5	0.32
	8	∞	2.5×10^4	0.29
	8	∞	2×10^5	0.20
Prisma cuadrado  normal al flujo 		∞	3.5×10^4	2.0
		∞	10^4 hasta 10^5	1.6
Disco circular normal al flujo		0	$> 10^3$	1.12
Cilindro circular paralelo al flujo		0	$> 10^3$	1.12
		1		0.91
		4		0.87
		7		0.99
Placa plana rectangular normal al flujo		1	$> 10^3$	1.10
		5		1.20
		20		1.50
		∞		2.00

L = Longitud.

d = Anchura máxima del objeto, medido normalmente a la dirección de flujo.
(eje menor del elipsoide)

c = Longitud del eje mayor del elipsoide.

Anexo 2. Propiedades físicas del aire.

Termofluidos 1973

PROPIEDADES DEL AIRE

Tc.4

Tabla 8. Propiedades para aire seco a 760 mm Hg (1,033 ata) (comp. normal)

t temperatura

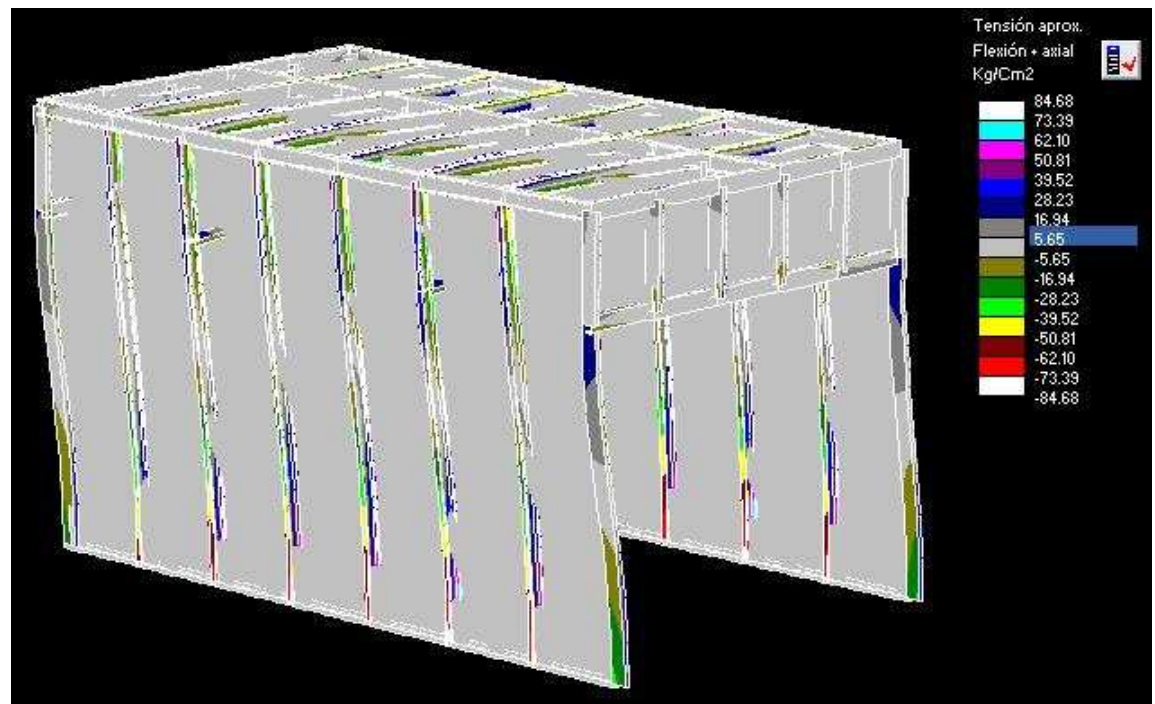
 ρ peso específico c_p calor específico a p. cte. λ coeficiente conduc. térm. η viscosidad dinámica ν viscosidad cinemática β coeficiente exp. cúbica α difusividad térmica Pr número de Prandtl

t °C	ρ kg/m ³	c_p kcal/kg·°C	λ kcal/m·h·°C	$\eta \cdot 10^4$ kg/m·s	$\nu \cdot 10^6$ m ² /s	$\beta \cdot 10^4$ 1/°C	α m ² /h	Pr
-150	2,793	0,245	0,0100	0,80	3,00	8,21	0,0146	0,76
-100	1,980	0,241	0,0139	1,202	5,95	5,82	0,0209	0,74
-50	1,534	0,240	0,0175	1,494	9,55	4,51	0,0475	0,725
0	1,2930	0,240	0,0209	1,754	13,30	3,67	0,0673	0,715
20	1,2045	0,240	0,0221	1,865	15,11	3,43	0,0763	0,713
40	1,1267	0,240	0,0233	1,980	16,97	3,20	0,086	0,711
60	1,0595	0,241	0,0245	2,047	19,90	3,00	0,096	0,709
80	0,9998	0,241	0,0257	2,134	20,94	2,83	0,1065	0,708
100	0,9450	0,241	0,0270	2,224	23,95	2,68	0,118	0,703
120	0,8900	0,242	0,0282	2,311	25,23	2,55	0,130	0,70
140	0,8535	0,242	0,0295	2,397	27,55	2,43	0,143	0,695
160	0,8150	0,243	0,0308	2,481	29,85	2,32	0,155	0,69
180	0,7765	0,244	0,0320	2,564	32,29	2,21	0,168	0,69
200	0,7457	0,245	0,0332	2,655	34,63	2,11	0,182	0,685
250	0,6745	0,247	0,0362	2,832	41,17	1,91	0,217	0,68
300	0,6157	0,250	0,0386	3,005	47,85	1,75	0,253	0,68
350	0,5662	0,252	0,0417	3,178	55,85	1,61	0,292	0,68
400	0,5242	0,255	0,0443	3,340	62,53	1,49	0,331	0,68
450	0,4875	0,258	0,0467	3,503	70,54		0,371	0,685
500	0,4554	0,261	0,0489	3,65	78,48		0,411	0,69
600	0,4041	0,265	0,0535	3,94	95,57		0,497	0,69
700	0,3625	0,271	0,0573	4,20	113,7		0,583	0,70
800	0,3287	0,276	0,0607	4,45	132,8		0,669	0,715
900	0,301	0,280	0,0637	4,68	152,5		0,756	0,725
1000	0,277	0,283	0,0662	4,89	173		0,846	0,735

Tabla 9. Coeficiente de conductividad térmica λ del aire en Kcal/mh·°C en función de presión y temperatura

Presión ata	Temperatura en °C					
	0	20	40	60	80	100
1	0,0209	0,0221	0,0233	0,0245	0,0257	0,0270
100	0,0256	0,0266	0,0275	0,0284	0,0294	0,0303
200	0,0314	0,0319	0,0324	0,0328	0,0334	0,0340
300	0,0380	0,0383	0,0388	0,0392	0,0398	0,0405
400	0,0442	0,0449	0,0456	0,0462	0,0468	0,0474
500	0,0505	0,0499	0,0491	0,0484	0,0477	0,0470

Anexo 3. Análisis de esfuerzos de la estructura.



Impresión

Cerrar

D A T O S

Archivo : C:\Documents and Settings\Administrador\Escrito
 Proyecto :
 Unidades : Kg-Cm
 Fecha : 12/4/2008
 Hora : 10:16:16 PM

C O D E C H E C K

RELACIONES MAXIMAS DE ESFUERZO POR DESCRIPCION

REL.F = Relación de esfuerzos para flexión

REL.V = Relación de esfuerzos para corte

STAT.F = Estación a la cual ocurre Rel.f

STAT.V = Estación a la cual ocurre Rel.v

NOTA.- Las descripciones de elementos no metálicos no son impresas

Importante.- Se obtendrán los máximos solo entre los elementos seleccionados gráficamente.

RELACION MAXIMA PARA DESCRIPCION :

OCURRE EN VIGA : 93

OCURRE EN ESTADO : pp=Peso Propio

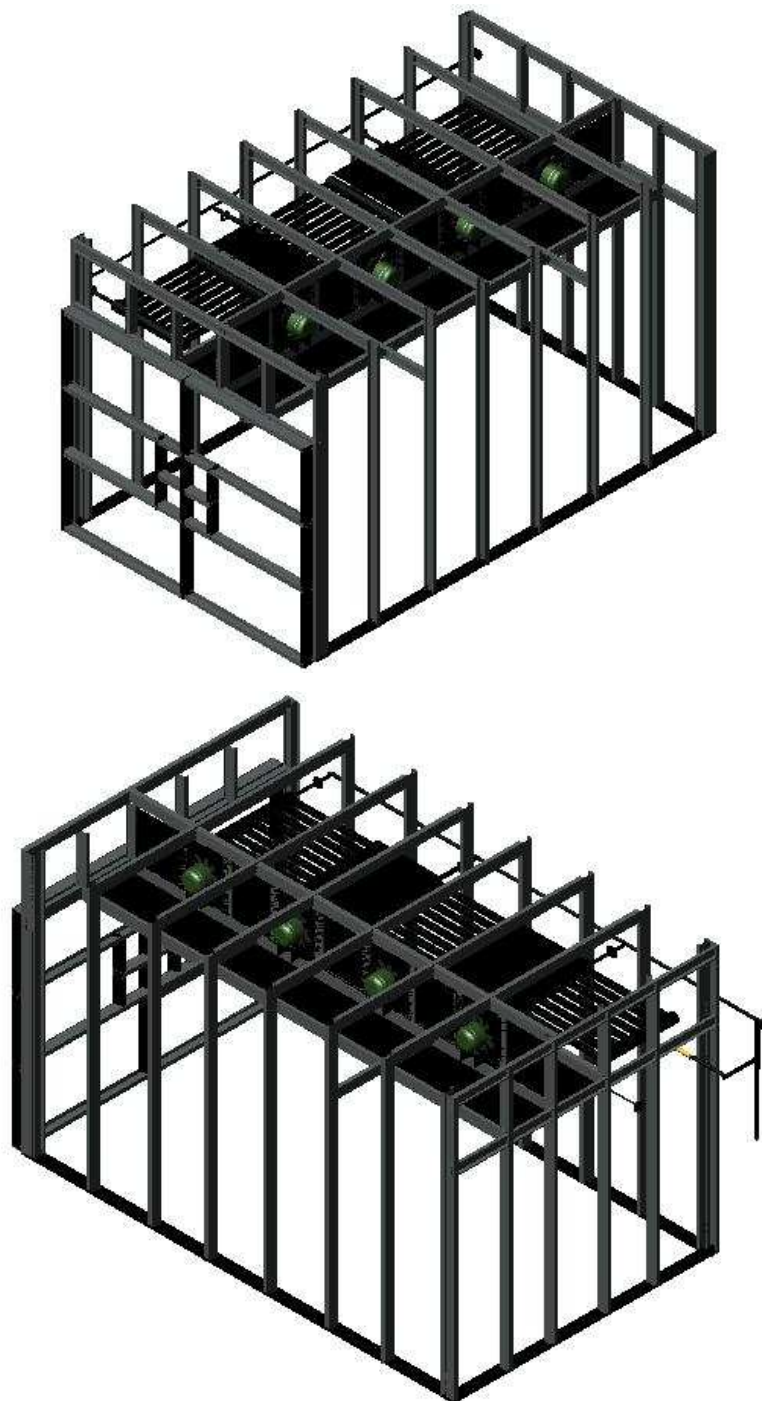
STATUS DE DISEÑO : BIEN

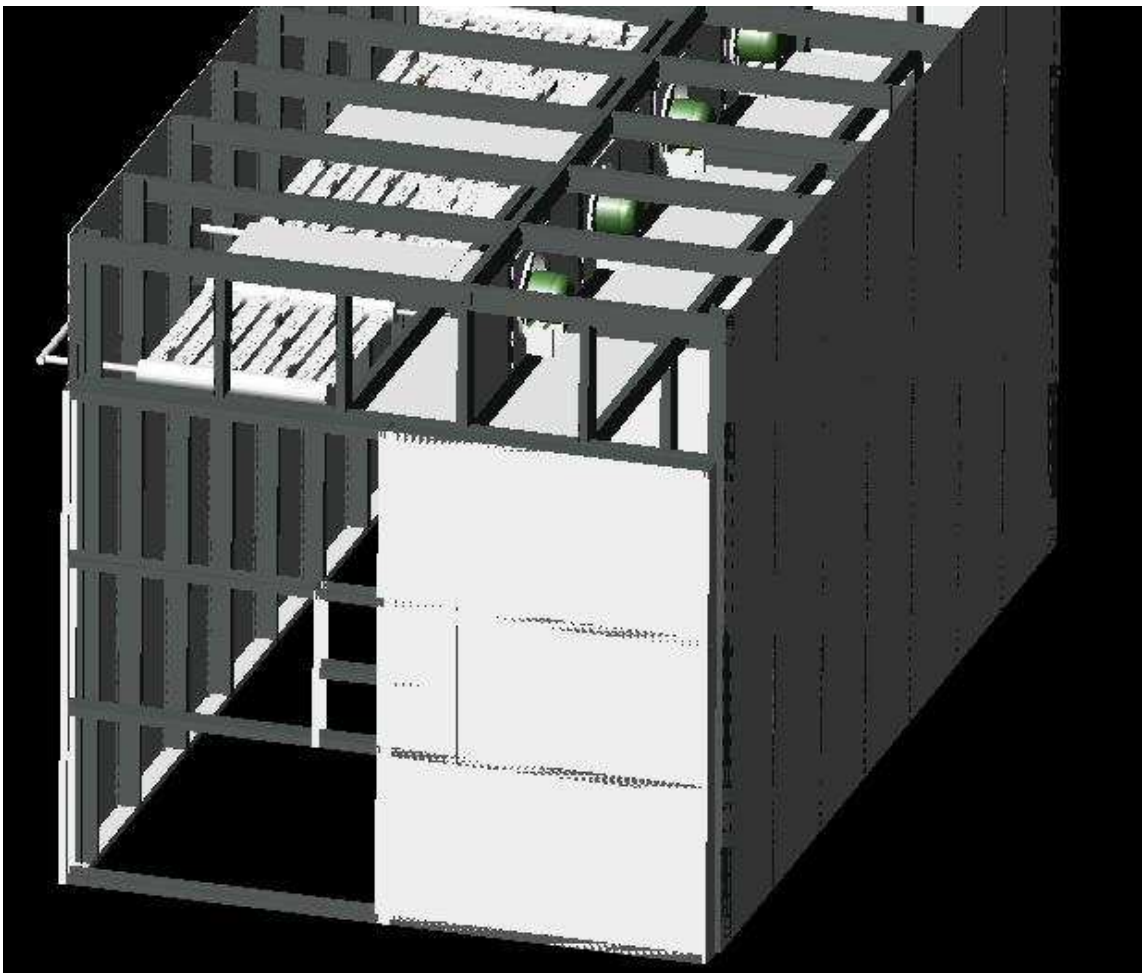
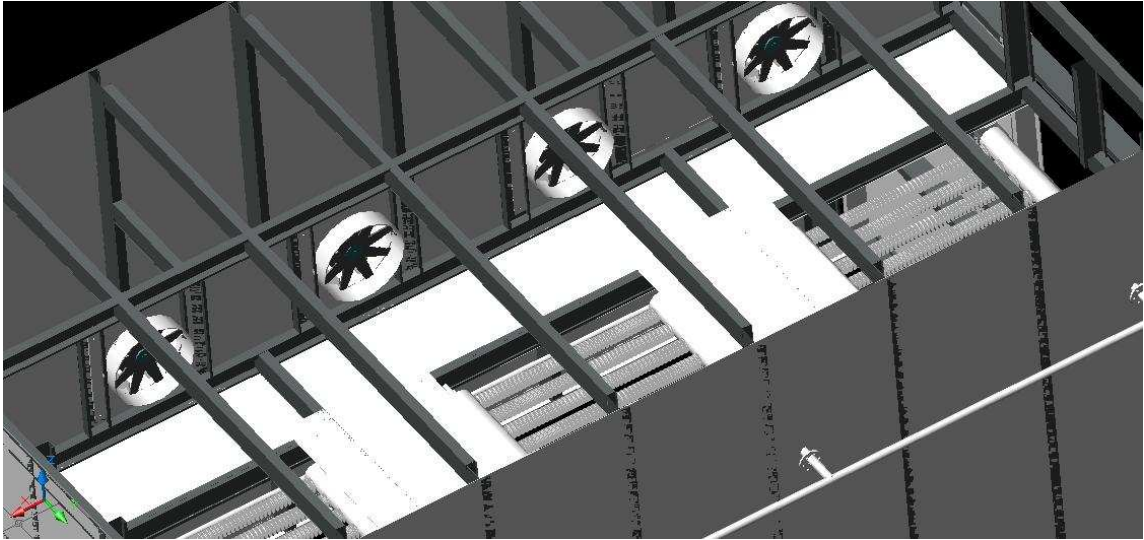
REL.F	STAT.F[Cm]	Axial[Kg]	M33[Kg*Cm]	M22[Kg*Cm]
0.07	200.00	-23.21	-3366.71	45.30

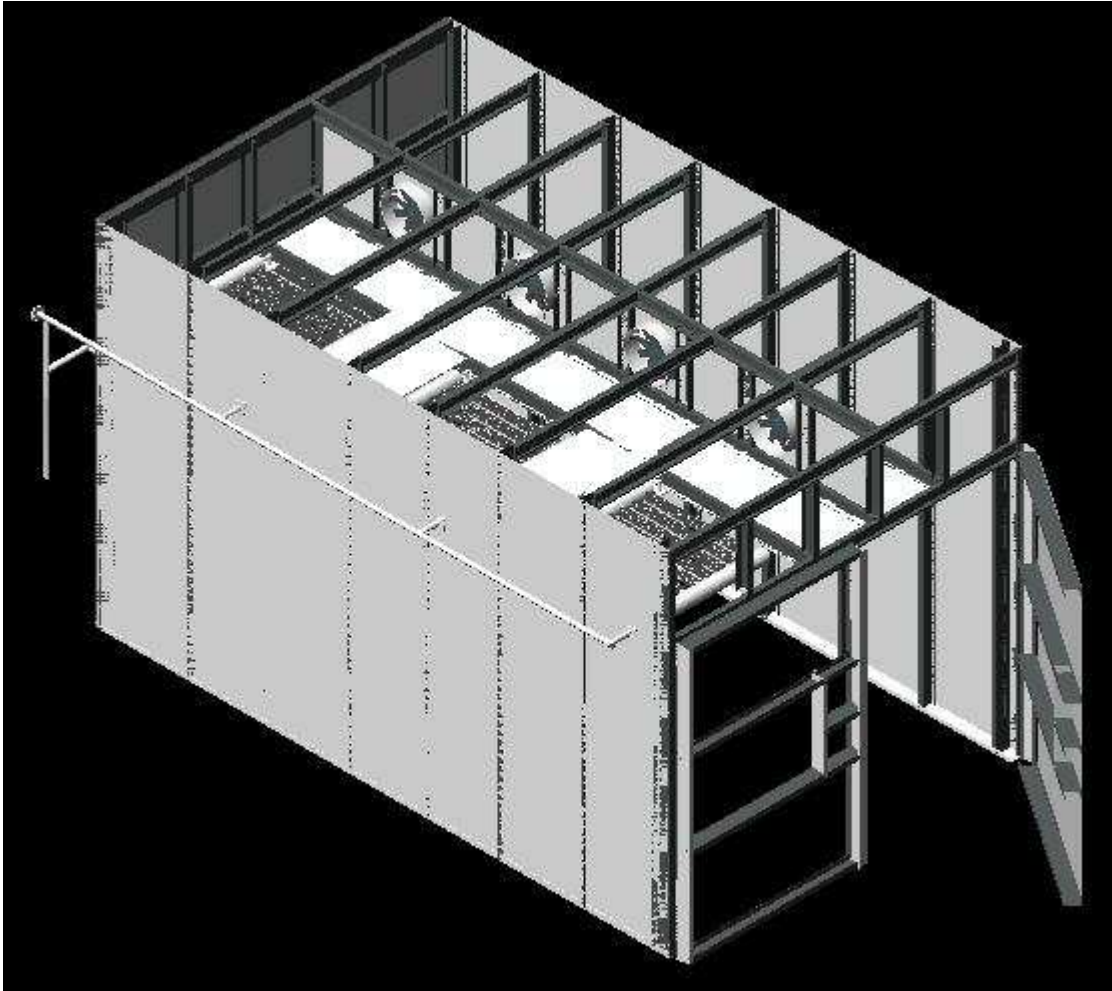
REL.V	STAT.V[Cm]	V2[Kg]	V3[Kg]	Tor[Kg*Cm]
0.00	200.00	24.73	0.44	-0.67

Anexo 4. Vistas de cámara de secado de madera.

Nota: Las imágenes no detallan todos los componentes de la cámara de secado para madera. Estas se aprecian en los planos del proyecto.







Anexo 5. Propiedades de la madera. (Álvarez, 1992)

(valores medios indicativos)

Especie	Peso específico anhidro	Peso específico
Haya	0,680	0,560
Roble	0,650	0,550
Olmo	0,650	0,560
Fresno	0,670	0,575
Castaño	0,590	0,520
Carpe	0,800	0,650
Abedul	0,610	0,520
Nogal	0,640	0,555
Cerezo	0,630	0,530
Chopo	0,400	0,345
Aliso	0,500	0,440
Arce	0,525	0,460
Tilo	0,490	0,420
Abeto	0,435	0,385
Picea	0,415	0,360
Pino pinaster	0,455	0,398
Pino silvestre	0,500	0,495
Pino radiata	0,470	0,410
Pino Douglas	0,445	0,400
Pino rigida	0,590	0,505
Alerce	0,620	0,540
Okume	0,420	0,375
Niangon	0,680	0,600
Sipo	0,650	0,580
Iroko	0,680	0,610
Doussié	0,700	0,645
Teca	0,630	0,575

Anexo 6. Propiedades de Metales y aleaciones.

PROPIEDADES TERMICAS

t	Temperatura °C.
ρ	Densidad Kg/m ³ .
C, Cp	Calor específico KJ/kg °C.
λ	Conductividad térmica W/m °C.
10 ⁶ a	Coefficiente de difusividad térmica m ² /seg
β	Coefficiente de expansión térmica 1/°C.
10 ⁶ η	Viscosidad dinámica N seg / m ²
10 ⁶ γ	Viscosidad cinemática m ² /seg
Pr	No de Prandtl

I.- SÓLIDOS.

1.- Metales y Aleaciones

	t	ρ	C	λ	10 ⁶ a
Aluminio	20	2.700	0,896	229	94,6
Duraluminio	20	2.700	0,912	165	67,0
Berilio	20	1.850	1,80	159	47,8
Plomo	0	11.340	0,128	35,1	24,2
84%Cu 1%Pb Bronce 6%Sn 9%Zn	20	8700-8900	0,377	61,7	18,6
Cadmio	0-100	8.650	0,230	92,2	46,4
Acero					
De Forja	0	7.850	0,465	59	16,2
Fundido 3% C	20	7000-7700	0,540	58	14,7
Bessemer	20	7.830		40	
Al Cr - Ni	20	7.900	0,477	14,5	3,85
Inoxidable (2 A)	20	8.000	0,477	15	3,93
Al Cromo (X8Cr17)	20	7.700	0,46	25,1	7,09
Al Cr-Al (X10CrAl 24)	20	7.600	0,50	16,7	4,41
Al Manganeseo	20		0.502	41	
Al Cobalto (35Co)	20	8.000		41	

Anexo 7. Propiedades de materiales fibrosos.

4.- Materiales Fibrosos.

λ es función de la densidad, de modo que los valores presentados son promedios.

	t	ρ	C	λ	$10^6 a$
Asbesto en planchas	20	2.000	0,79	0,7	0,443
Lana de asbesto	25	140		0,050	
Corteza de árbol	25	337		0,074	
Algodón	30	81	1,3	0,059	
Algodón quirúrgico	25	10		0,041	
Franela	25	160		0,055	
Lana de vidrio	25	120	0,66	0,046	0,58
Pelo humano	25	90		0,042	
Pelo de equino	25	172		0,052	
Pelo animal	25	176		0,037	
Viruta	25	150		0,058	
Seda artificial	25	300	1,36	0,042	0,10
Lino	25	265		0,066	
Lana mineral	25	200		0,05	
Algas	25	80		0,035	
Seda natural	25	100	1,4	0,049	0,35
Lana	25	100		0,036	

Anexo 8. Propiedades de materiales inorgánicos.

2.- Sólidos Inorgánicos.

	t	P	C	λ	$10^6 a$
Concreto	20	2.200	0,879	1,28	0,66
Concreto poroso	20	1.000		0,35-0,70	
Concretos Armados					
Brookhven (tipo) temp máx 194°C	100	4.300		2,76-3,64	
tpo MO, tmáx=300°C	50	5.600		5,02	
tpo Portland tmáx=260°C	100	2.300	0,75	1,73	
Carborundum (S_1C)	100	1.500	0,62	58,2	
Hielo	0	917	1,93	2,2	1,2
Nieve	0	200		0,15	0,41
Suelos:					
- Gravilla	20	2.040	1,84	0,52	0,14
- Ripio	20	1.850		0,37	
- Pantanoso	20	1.600		0,90	
- Arenoso	20	1.600		1,07	
- Arcilloso	20	1.450	0,88	1,28	1,0
Vidrios:					
Corriente-(ventanas)	20	2.480	0,70-0,93	1,16	0,59

Anexo 9. Programa de secado Pino Radiata (Insigne). (INFOR, 1994)

PROGRAMA DE SECADO PARA MADERA DE PINO INSIGNE

Humedad	T.B.S.	T.B.H.	Tiempo
Calentamiento	40	38	05
Verde	55	48	13.5
>= 80	55	48	08
>= 40	60	50	08
>= 30	65	54	08
>= 20	70	54	61

Humedad = Humedad promedio de la madera en (%)

T.B.S. = Temperatura del bulbo seco en °C

T.B.H. = Temperatura del bulbo húmedo en °C

Tiempo = Horas de aplicación de las condiciones de secado.

Anexo 10. Calor latente de vaporización del agua libre en función de la temperatura. (Álvarez, 1992)

Temperatura (°C)	Clv (kcal/kg)
18	588,83
21	585,72
38	576,22
66	560,11
88	546,72
100	539,00

Anexo 11. Coeficiente de convección. (William T. Simpson, 1991)

Table 11-3—Calculated R value for aluminum panel

Panel ¹	h_i	k_i	P_i	$1/R_i$	R_i
Cold air side (1)	1.5	—	—		0.667
Aluminum layer (2)	—	100	0.0156 (3/16 in)	6,369	0.0002
Urethane foam ³ layer (3)	—	0.02	0.333 (4 in)	0.0606	16.50
Aluminum layer (4)	—	100	0.0156 (3/16 in)	6,369	0.0002
Hot air side (5)	0.6	—	—		0.16666
					⁴ R = 17.33

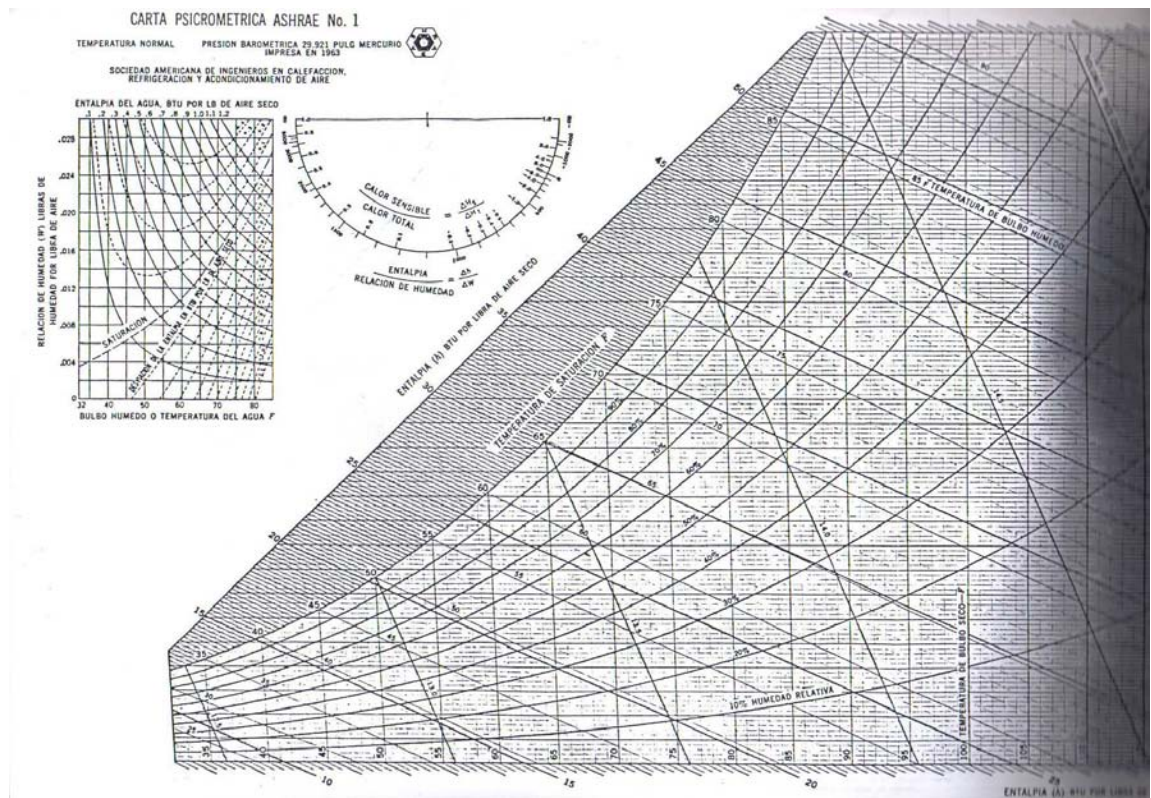
¹Numbers in parentheses correspond to notation in Figure 11-1.

²Gas film heat transfer coefficient, h_i (Btu² ft² h °F).

³The thermal conductivity k_i of urethane foams will vary with mode of manufacture.

⁴Reciprocal of R is $U = 1/R = 0.058$ (Btu/ft² h °F).

Anexo 12. Carta psicrometrica ASHRAE. (Tablas Termodinámicas)



Anexo 13. Propiedades vapor saturado. (Tablas termodinámicas)

Tabla A20. Vapor saturado: tabla de presión
Transformada de la tabla A20'.

Presión sat. Kg/cm ² p	Temp. sat. °C. t	Volumen específico			Entalpía			Entropía		
		Liq. sat. v _f	Evap. v _{fg}	Vapor sat. v _g	Liq. sat. h _f	Evap. h _{fg}	Vapor sat. h _g	Liq. sat. s _f	Evap. s _{fg}	Vapor sat. s _g
0.00623	0	0.001000	206.4	206.401	0	597.3	597.3	0	2.1863	2.1865
0.00879	0.828	0.001000	148.8	148.801	4.86	594.6	599.46	0.0176	2.1388	2.1564
0.00176	15.17	0.001001	77.16	77.161	15.21	588.6	603.81	0.0542	2.0414	2.0956
0.0352	26.43	0.001003	40.07	40.071	26.44	582.2	608.64	0.0924	1.9434	2.0358
0.0703	38.76	0.001008	20.84	20.841	38.73	575.3	614.03	0.1326	1.8443	1.9769
0.3515	72.36	0.001025	4.594	4.595	72.29	555.9	628.19	0.2347	1.6090	1.8437
0.7031	89.56	0.001036	2.400	2.401	89.54	545.6	635.14	0.2834	1.5042	1.7876
1.053	100.00	0.001044	1.674	1.675	100.04	539.1	639.14	0.3120	1.4446	1.7566
1.1	100.57	0.001044	1.642	1.643	100.62	538.7	639.32	0.3135	1.4413	1.7548
1.406	108.87	0.001051	1.255	1.256	108.98	533.3	642.28	0.3356	1.3959	1.7315
2.109	121.30	0.001061	0.8582	0.8593	121.57	525.1	646.67	0.3680	1.3312	1.6992
2.812	130.69	0.001071	0.6549	0.6560	131.12	518.7	649.82	0.3919	1.2844	1.6763
3.515	138.34	0.001078	0.5310	0.5321	138.94	513.3	652.24	0.4110	1.2473	1.6583
4.218	144.84	0.001085	0.4472	0.4483	145.61	508.6	654.21	0.4271	1.2166	1.6437
4.921	150.51	0.001091	0.3867	0.3878	151.45	504.4	655.85	0.4409	1.1905	1.6314
5.625	155.57	0.001097	0.3408	0.3419	156.68	500.6	657.28	0.4532	1.1677	1.6209
6.328	160.15	0.001103	0.3047	0.3058	161.43	497.1	658.53	0.4641	1.1472	1.6113
7.031	164.35	0.001108	0.2757	0.2768	165.79	493.8	659.59	0.4741	1.1287	1.6028
7.734	168.22	0.001113	0.2517	0.2528	169.83	490.7	660.53	0.4832	1.1118	1.5950
8.437	171.81	0.001117	0.2316	0.2327	173.59	487.8	661.39	0.4916	1.0963	1.5879
9.140	175.17	0.001121	0.2146	0.2157	177.12	485.1	662.22	0.4995	1.0820	1.5815
9.843	178.35	0.001126	0.1999	0.2010	180.46	482.5	662.96	0.5069	1.0686	1.5755
10.546	181.35	0.001129	0.1872	0.1883	183.63	479.9	663.53	0.5138	1.0560	1.5698
11.249	184.19	0.001133	0.1758	0.1769	186.64	477.6	664.24	0.5204	1.0442	1.5646
11.952	186.90	0.001137	0.1658	0.1669	189.50	475.1	664.60	0.5266	1.0327	1.5593
12.655	189.49	0.001141	0.1570	0.1581	192.26	472.8	665.06	0.5325	1.0220	1.5545
13.358	192.03	0.001144	0.1490	0.1501	194.90	470.7	665.60	0.5382	1.0119	1.5501

Anexo 14. Cotizaciones



www.intercal.cl

COTIZACIÓN N°	13933/MG	22-Sep-08
At. Señor (a) : Sebastian Doerner		
Empresa :		
Dirección :		
Ciudad :	Valdivia	Giro :
Tel. : 08-188 05 93 - Fax :		
sebastiandoerner@yahoo.es		

CANTIDAD	COD	DESCRIPCION	P. U.	PRECIO TOTAL									
3		<div>SEGADO DE MADERA</div> <div>Serpentín Vapor/Aire 5/8"</div> <div>Referencia cliente:</div> <div><div>Marca</div><div>INTERCAL S.A.</div></div> <div><div>Modelo</div><div>CEV-40 (P3-960x750)</div></div> <div><div>Superficie</div><div>40,0 m2</div></div> <div><div>Sep. aletas</div><div>3,0 mm</div></div> <div><div>Capacidad</div><div>18.000</div><div>kcal/hr</div></div> <div>Condiciones de trabajo :</div> <table><tr><td></td><td>Entrada</td><td>Salida</td></tr><tr><td>AIRE Temp (°C)</td><td>10</td><td>80</td></tr><tr><td>VAPOR Psat (psi)</td><td>50</td><td></td></tr></table> <div><div>DTml</div><div>101,7</div></div> <div><div>G vapor (kgV/h)</div><div>31,0</div></div> <div><div>Q Aire (m3/h)</div><div>2.250</div></div> <div>Dimensiones netas serpentín</div> <div><div>Largo Neto :</div><div>900 mm</div></div> <div><div>Alto :</div><div>720 mm</div></div> <div><div>Fondo :</div><div>90 mm</div></div> <div>Dimensiones totales serpentín:</div> <div><div>Largo entre curvas :</div><div>1.020 mm</div></div> <div><div>Alto :</div><div>750 mm</div></div> <div><div>Fondo :</div><div>155 mm</div></div> <div><div>Largo Total Aprox. :</div><div>1.070 mm</div></div> <div><div>Peso aprox.:</div><div>44 Kg.</div></div> <div>Volumen Interior :</div> <div>4,5 lts</div> <div>Conexiones:</div> <div><div>vapor : hilo HE</div><div>2 1/2 "</div></div> <div><div>condensado : hilo HE</div><div>2 1/2 "</div></div>		Entrada	Salida	AIRE Temp (°C)	10	80	VAPOR Psat (psi)	50		<div>563.000,00</div> <div>-10%</div> <div>506.700,00</div>	1.520.100,00
	Entrada	Salida											
AIRE Temp (°C)	10	80											
VAPOR Psat (psi)	50												
Condiciones de Pago			Valor Neto	1.520.100,00									
Plazo entrega			19 % I.V.A.	288.819,00									
Validez de la oferta			Total \$	1.808.919,00									
Vendedor													

[Aprobar Cotización](#) | [Imprimir Cotización](#) | [Cerrar Ventana](#)

Klima, Distribuidora y Comercial Térmica Ltda.
Hurtado Rodriguez 351 Santiago Chile
Tel: (56 2) 682 2050 Fax: (56 2) 682 3169
info@klima.cl



Cotización de Productos & Servicios K-5442

Estimado/a **Sebastian Doerner**, de **Sebastian Doerner**:

Título de la Cotización:
SUMINISTRO DE VENTILADORES
de fecha:
29.10.08

Características

De acuerdo con lo solicitado tenemos el agrado de someter a la consideración, la siguiente cotización:

* Ventilador Axial AFR-B 355 Arr 4

Descripción de los Productos & Servicios:

Producto / Servicio	Cantidad	Valor Unit.	Total
AFR-B 355 Arr 4 con Motor 0,16 HP - 4 Polos - 50 Hz	1	\$ 752	\$ 752
Ventiladores OTAM			

Condiciones

Precio: Valor neto en **DOLARES**, se debe agregar IVA.

Forma de Pago: 50% contra Orden de Compra y 50 % contra presentación de Factura.

Validez: (7) días a contar de la emisión del presente presupuesto.

Plazo de Entrega: 4 a 5 semanas a contar de la fecha de Orden de Compra

Exclusiones: Todo equipo y/o material no incluido en el presente presupuesto.

Saludos cordiales,

Aprobar Cotización | Imprimir Cotización | Cerrar Ventana

Klima, Distribuidora y Comercial Térmica Ltda.
Hurtado Rodriguez 351 Santiago Chile
Tel: (56 2) 682 2050 Fax: (56 2) 682 3169
info@klima.cl



Cotización de Productos & Servicios K-5448

Estimado/a **Sebastian Doerner**, de **Sebastian Doerner**:

Título de la Cotización:
SUMINISTRO DE REPUESTOS
de fecha:
30.10.08

Características

De acuerdo con lo solicitado tenemos el agrado de someter a la consideración, la siguiente cotización:

- * Controlador de Temperatura y Humedad
- * Transmisor de Humedad
- * Transmisor de Temperatura

Descripción de los Productos & Servicios:

Producto / Servicio	Cantidad	Valor Unit.	Total
TT-C31 - Para Inmersión Controladores y Sensores	1	\$ 299	\$ 299
TUT-A32 Controladores y Sensores	1	\$ 392	\$ 392
W500H - Control Digital Controladores y Sensores	1	\$ 508	\$ 508
Total Neto			\$ 1.199

Condiciones

Precio: Valor neto en **EUROS**, se debe agregar IVA.

Forma de Pago: 50% contra Orden de Compra y 50 % contra presentación de Factura.

Validez: (7) días a contar de la emisión del presente presupuesto.

Plazo de Entrega: 2 a 3 semanas a contar de la fecha de la Orden de Compra

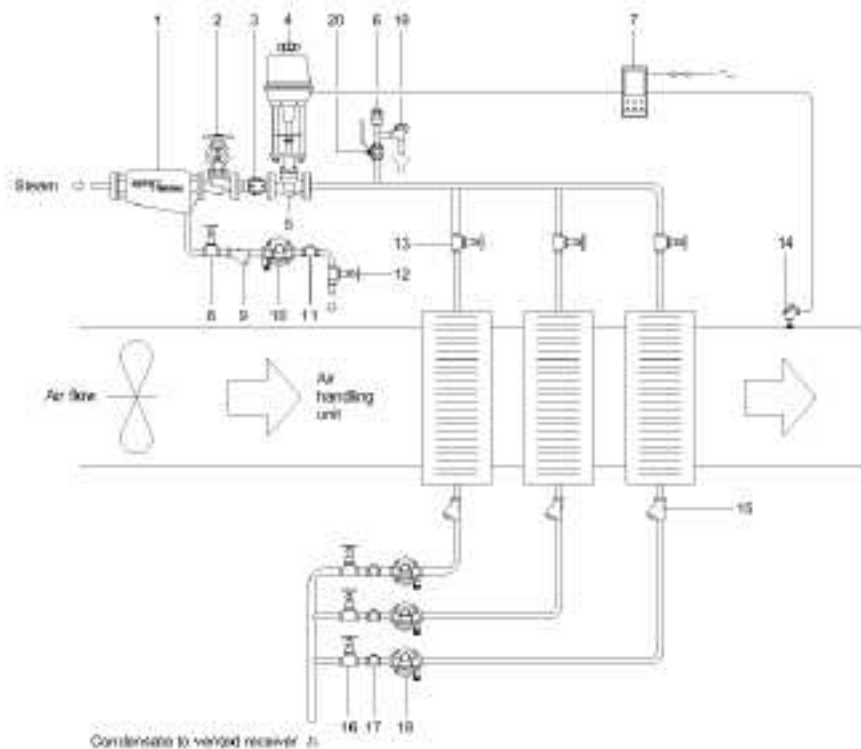


TERMODINAMICA

Control de Fluidos

De : TERMODINAMICA LTDA.	Ref. Int. : 041/12
Para :	Fecha : 12.11.08
At. : Sr. Sebastian Doerner H.	Total Pág. : 1
Fax :	Correo : sebastiandoerner@yahoo.es

Cotización Cuadro para Calentamiento de Aire



Nota:

Incluye los elementos mostrados exceptuando controlador y transmisor de temperatura PT-100.

Item	Descripción	Código	Unidad	Cant.	
1	Separador Agua-Vapor SP 1" (Vertical)	131003	\$ 246.448	1	\$ 246.448
2	Valvula de Globo Mod. 55203-UT 1 pulg. Clase 800	421003	\$ 38.904	1	\$ 38.904
3	Filtros "Y" de Impurezas modelo AT 1"	130004	\$ 40.471	1	\$ 40.471
4	Cuerpo Válvula LBA 3/4" rosada	138022	\$ 325.417	1	\$ 325.417
5	Actuador Neumático V120 Resorte (0,4-1,2)	139101	\$ 423.855	1	\$ 423.855
6	Electrooperacionador SIPART PS2 Simple accion, 4...20 SICHENS	801001	\$ 649.485	1	\$ 649.485
7	Valvula Compensadora de Vacío VB-14 1/2" Bronce	136001	\$ 81.157	1	\$ 81.157
8	Válvula Estera Cuerpo Acero Inox. M3 V4 FB 1/2" (x8)	136102	\$ 27.060	8	\$ 216.480
9	Válvula Estera Cuerpo Acero Inox. M3 V4 FB 1/2" (x3)	136103	\$ 33.687	3	\$ 101.061
10	Trampa para Vapor Termodinámica TD -52 1/2"	100002	\$ 52.345	1	\$ 52.345
11	Filtros de Impurezas AT 1/2" (x4)	130002	\$ 26.672	4	\$ 106.688
12	Trampa para Vapor Flotador PT-551 1/2"	101004	\$ 154.608	3	\$ 463.824
13	Valvula Retención Bronce TB4138 rosada 1/2" NIBCO (x4)	452001	\$ 8.947	4	\$ 35.788
14	Ventosa Termostática de Aire (LAPORTALUD)			1	\$ 0
					\$ 2.727.831

Valores : En pesos más IVA.
 Condiciones de Pago : A convenir
 Plazo de Entrega : Inmediata.

Validez de la Oferta: 15 días.

En espera que esta cotización sea de su utilidad, saluda atte. A Ustedes,

TERMODINAMICA LTDA.

Alberto Krahmer
 Ing. Proyectos.

Fono: (56 2) 270 97 00 • Fax: (56 2) 7387618- 7387653
 E-mail: akrahmer@termodinamica.cl

COTIZACION NRO: 92162MO/08

Santiago, 15/10/2008, 09:23:19

VETO Y CIA LTDA

RUT : 82.525.800-0
 Avda. San Eugenio 567
 C.P. 7780008 - Casilla 10209
 Nuñoa - Santiago - Chile
 Fono* (02)3554400-Fax (02)3554455
 ventas@veto.cl - www.veto.cl

CLIENTE : SEBASTIAN DOENER H. **RUT** : 15952746-8
FONO : (9)81889593 **FAX** : {}
MAIL : sebastiandoener@yahoo.es
ATENCION : SR. SEBASTIAN DOENER
REFERENCIA : SU CONSULTA EN WWW.VETO.CL **ALTERNATIVA(S)**

CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	PRECIO LISTA	DESCTO	PRECIO OFERTA	SUB TOTAL
1	A6041731 Transmisor de HUMEDAD / TEMPERATURA 0-100 %RH. 0- 85 C, salida 4-20mA.	1,0	248.170	15,0	210.945	210.945
2	W0338304 DESPACHO TERRESTRE A DOMICILIO REG. III-IV y VI-X	1,0	12.978	15,0	11.031	11.031

**** PRECIOS EN PESOS, NO INCLUYEN IVA ****

Forma de pago : Contado contra entrega
PRECIO OFERTA YA INCLUYE 15% DE DCTO
 Para otras formas de pago y sus descuentos contáctese con el vendedor
Validez Cotizac. : 7 días corridos
Plazo de entrega : INMEDIATA. (CANTIDAD SUJETA A VENTA PREVIA)
Lugar de Entrega : EN NUESTRO LOCAL O DESPACHO A DOMICILIO (CARGO ADICIONAL)
Despachos a Domicilio : Prepago vía CHILEXRESS (seguro incluido). No se responde por mercadería dañada por otro medio de transporte.
TIEMPO ESTIMADO RECEPCION(hrs.hábiles) : RM,III-IV:24hrs ; I,II,XI,XII,XV:48hrs.
Adjunto : CTA.CTE. PARA DEPOSITO
IMPORTANTE : PARA SU COMPRA DEBE PRESENTAR RUT ORIGINAL O FOTOCOPIA LEGALIZADA

Saluda atte. a Uds.

SR. MIGUEL OYARCE
 Directo (02)355 4411
 ventas@veto.cl - www.veto.cl

