

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**INGENIERIA INDUSTRIAL**



**“DISEÑO DE UN SECADERO DE MADERA ASERRADA  
ORIENTADO A LAS PEQUEÑAS Y MEDIANAS  
EMPRESAS DE EL ALTO”**

Proyecto de grado presentado para obtener el Grado de Licenciatura

**Por: René Orlando Mamani Mamani**

**Tutor: Ing. Gabriela Torrico Pérez**

**La Paz – Bolivia**

**Septiembre, 2015**

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**INGENIERIA INDUSTRIAL**

Proyecto de grado:

**“DISEÑO DE UN SECADERO DE MADERA ASERRADA  
ORIENTADO A LAS PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS DE  
LA CIUDAD DE EL ALTO”**

Presentado por: Univ. René Orlando Mamani Mamani

Para optar el grado académico de Ingeniero Industrial

Nota numeral:.....

Nota literal:.....

Ha sido aprobado con distinción.

Director de la carrera de Ingeniería Industrial: MSc.Ing. Oswaldo F. Terán Modregón

**Tutor:** Ing. Gabriela Torrico Pérez.....

**Tribunal:** Ing. Mario Zenteno Benitez.....

**Tribunal:** Ing. Freddy Gutiérrez Barea.....

**Tribunal:** Ing. Aldo Vargas Pacheco.....

**Tribunal:** Ing. Franklin Balta Montenegro.....

## ***DEDICATORIA***

*A mis amados padres Vicente y Emiliana Mamani, cuyo apoyo y empuje actuaron como un catalizador para culminar mi carrera, gracias por tanto amor y cariño soy un hijo muy afortunado.*

## ***AGRADECIMIENTOS***

*A la Facultad de Ingeniería, especialmente a la carrera de Ingeniería Industrial que aportaron enormemente en mi formación académica, a la Cámara Nacional de Comercio, donde entendí las necesidades y problemas a las que enfrenta los microempresarios.*

<b>ANTECEDENTES</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I</b> .....	2
<b>1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	2
1.1 Justificación Práctica .....	2
1.2 Planteamiento del Problema .....	3
1.2.1 Árbol de problemas .....	4
1.3 Análisis de Involucrados del Proyecto .....	5
1.4 Marco Lógico .....	7
1.4.1 Árbol de Objetivos .....	7
1.4.2 Matriz de Planificación del Proyecto .....	8
<b>CAPÍTULO II</b> .....	10
<b>2 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL</b> .....	10
2.1 Marco Conceptual .....	10
2.1.1 La Madera .....	10
2.1.2 Propiedades de la madera .....	10
2.1.3 Características de la madera .....	10
2.1.4 Composición .....	11
2.1.5 Estructura de la Madera .....	13
2.1.6 Clasificación de Maderas .....	15
2.1.7 La Madera y sus Propiedades .....	17
2.1.7.1 Conceptos Básicos .....	17
2.1.8 Usos de la madera .....	25
2.1.9 Micro y Pequeña Empresa (PYMES) .....	33
2.2 Marco Teórico .....	35
2.2.1 Cinética del Secado .....	35
2.2.1.1 Tiempo de Secado .....	40
2.2.1.2 Circulación de Aire .....	42
2.2.1.3 Dirección del Flujo de Aire respecto a la Superficie de Secado .....	42
2.2.2 Propiedades Termodinámicas del Aire Húmedo .....	45
2.2.3 Transmisión de Calor .....	47

2.2.3.1	Formas de Trasmisión de Calor .....	48
2.2.4	Métodos de Secado .....	52
2.2.4.1	Tipos de Secaderos .....	55
2.2.5	Selección del Tipo de Secadero .....	58
2.2.6	Factores Básicos del Secado de la Madera .....	61
2.2.7	Programas de Secado .....	65
2.2.8	Fases del Secado de Madera. ....	66
2.2.9	Defectos por Secado.....	74
2.2.10	Conceptos de Control y Evaluación para el Secado de Madera.....	75
<b>CAPÍTULO III</b>	.....	<b>77</b>
<b>3 OBJETIVOS</b>	.....	<b>77</b>
3.1	Objetivo General .....	77
3.2	Objetivos Específicos .....	77
<b>CAPÍTULO IV</b>	.....	<b>78</b>
<b>4 LOCALIZACIÓN</b>	.....	<b>78</b>
<b>CAPÍTULO V</b>	.....	<b>82</b>
<b>5 INGENIERÍA</b>	.....	<b>82</b>
5.1	Flujo del Proceso de Secado.....	83
5.2	Diseño de un Secadero de madera.....	84
5.2.1	Dimensionamiento de un Secadero de Madera.....	84
5.2.2	Determinación de las Condiciones al interior del Secadero.....	92
5.2.3	Edificación del Secadero.....	105
5.2.3.1	Cimientos y Sobrecimientos .....	106
5.2.3.2	Piso y Contrapiso .....	111
5.2.3.3	Muros .....	112
5.2.3.4	Columnas .....	114
5.2.3.5	Puerta .....	115
5.2.3.6	Techo .....	116
5.2.3.7	Instalaciones.....	126

5.2.4	Equipamiento del Secadero.....	126
5.2.4.1	Sistema de Ventilación .....	126
5.2.4.2	Sistema de Calefacción.....	132
5.2.4.2.1	Diseño del Intercambiador de Calor .....	138
5.2.4.2.2	Selección del Caldero .....	150
5.2.4.2.3	Selección de Accesorios para la Línea de Vapor.....	151
5.2.4.3	Equipos y Accesorios para la Humidificación.....	153
5.2.4.4	Selección del Instrumental.....	155
5.2.4.5	Diseño del Recolector de Resinas.....	160
5.2.4.6	Seguridad .....	160
<b>CAPÍTULO VI</b> .....		163
<b>6</b>	<b>ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO</b> .....	163
6.1	Determinación de las Inversiones.....	163
6.2	Determinación de Costos de Operación y Mantenimiento.....	166
<b>CAPÍTULO VII</b> .....		171
<b>7</b>	<b>EVALUACIÓN DEL PROYECTO</b> .....	171
7.1	Sostenibilidad del Proyecto .....	171
7.2	Evaluación de Rentabilidad.....	175
7.3	Análisis de Sensibilidad .....	176
<b>CAPÍTULO VIII</b> .....		177
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	177
8.1	Conclusiones .....	177
8.2	Recomendaciones.....	179
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....		180
<b>ANEXOS</b> .....		182
ANEXO 1 .....		183
ANEXO 2 .....		184
ANEXO 3 .....		185
ANEXO 4 .....		186

ANEXO 5 .....	188
ANEXO 6 .....	189
ANEXO 7 .....	193
ANEXO 8 .....	194
ANEXO 9 .....	194
ANEXO 10 .....	195
ANEXO 11 .....	196
ANEXO 12 .....	197
ANEXO 13 .....	198
ANEXO 14 .....	202
ANEXO 15 .....	203
ANEXO 16 .....	204
ANEXO 17 .....	205
ANEXO 18 .....	206
ANEXO 19 .....	207
ANEXO 20 .....	208
ANEXO 21 .....	209
ANEXO 22 .....	210
ANEXO 23 .....	211



## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 - 1: Análisis de involucrados.....	6
Tabla 2 - 1: Densidad de maderas con y sin resinas.....	19
Tabla 2 - 2: Dureza de maderas.....	19
Tabla 2 - 3: Humedad de la madera en estado verde.....	22
Tabla 2 - 4: Punto de saturación de fibras identificado en algunas especies.....	23
Tabla 2 - 5: Medidas estándar de muebles.....	32
Tabla 2 - 6: Ponderación referente a la selección del método de secado.....	60
Tabla 2 - 7: Relación entre las variables que influyen en la humedad del aire.....	62
Tabla 2 - 8: Relación entre variables que influyen en la circulación del aire.....	63
Tabla 2 - 9: Espesor de los separadores.....	63
Tabla 2 - 10: Humedad relativa y de equilibrio en las principales ciudades de Bolivia.....	64
Tabla 2 - 11: Rangos de X* al que debe usarse la madera, según artículo a fabricar.....	65
Tabla 2 - 12: Tabla para igualar maderas latifoliadas.....	72
Tabla 2 - 13: Tabla para acondicionar maderas latifoliadas.....	73
Tabla 4 - 1: Tabla de ponderación para la selección del factor de localización.....	79
Tabla 4 - 2: Tabla comparativa de las zonas que contienen barracas.....	81
Tabla 5 - 1: La capacidad del secadero está en función de las siguientes variables.....	85
Tabla 5 - 2: Dimensiones aproximadas de la madera.....	86
Tabla 5 - 3: Tabla de cálculos para determinar las dimensiones de la carga.....	88
Tabla 5 - 4: Tabla de cálculos para determinar las dimensiones del secadero.....	90
Tabla 5 - 5: Programa de secado Moderado.....	94
Tabla 5 - 6: Tabla de cálculo.....	98
Tabla 5 - 7: Datos secado antes PSF.....	99
Tabla 5 - 8: Tabla de resumen de resultados 1.....	104
Tabla 5 - 9: Tabla de resumen de resultados 2.....	105
Tabla 5 - 10: Tabla de resumen de resultados 3.....	105

Tabla 5 - 11: Tabla de resumen de resultados 4.....	105
Tabla 5 - 12: Tabla de resumen de resultados 5.....	105
Tabla 5 - 13: Dosificación de materiales.....	112
Tabla 5 - 14: Resumen de cálculos.....	115
Tabla 5 - 15: Cálculo de requerimiento de vigas diagonales.....	122
Tabla 5 - 16: Medidas y usos de las vigas.....	122
Tabla 5 - 17: Cálculo de los requerimientos de vigas para correas.....	123
Tabla 5 - 18: Cálculo de los requerimientos de vigas inferiores.....	124
Tabla 5 - 19: Total madera requerido.....	124
Tabla 5 - 20: Dimensiones de la armadura.....	125
Tabla 5 - 21: Relación ventilador caudal.....	129
Tabla 5 - 22: Correlación de Grimson para transferencia de calor para bancos de tubos de 10 hileras o más.....	139
Tabla 5 - 23: Cálculo de la temperatura en función de las filas.....	144
Tabla 5 - 24: Tabla resumen de resultados.....	148
Tabla 5 - 25: Capacidad y dimensiones del caldero.....	151
Tabla 6 - 1: Inversión en terreno.....	163
Tabla 6 - 2: Inversión en construcción del secadero.....	164
Tabla 6 - 3: Inversión sistema de calefacción y de humidificación.....	165
Tabla 6 - 4: Inversión sistema de ventilación.....	165
Tabla 6 - 5: Inversión en instrumentación.....	165
Tabla 6 - 6: Inversión total.....	166
Tabla 6 - 7: Sueldos y salarios.....	167
Tabla 6 - 8: Caja Nacional de Salud.....	167
Tabla 6 - 9: Cargas Sociales.....	168
Tabla 6 - 10: Costos de operación y mantenimiento.....	170
Tabla 7 - 1: Tabla de ingresos.....	171
Tabla 7 - 2: Costo de Equipos e instrumental.....	171
Tabla 7 - 3: Tabla de depreciación.....	172

Tabla 7 - 4: Tabla de amortización.....	173
Tabla 7 - 5: Flujo de fondos.....	174

### **INDICE DE CUADROS**

Cuadro 1 - 1: Matriz de marco lógico.....	8
Cuadro 2 - 1: Relación comparativa entre dureza y densidad.....	19
Cuadro 2 - 2: Denominación de la madera según su humedad.....	22
Cuadro 2 - 3: Ventajas y desventajas de los hornos de secado.....	59
Cuadro 5 - 1: Dimensiones aconsejables, dependiendo de la resistencia del suelo.....	108
Cuadro 5 - 2: Armaduras de madera.....	119
Cuadro 5 - 3: Guía para la Presión Estática.....	130
Cuadro 5 - 4: Lista de accesorios línea de vapor.....	153
Cuadro 5 - 5: Lista de accesorios sistema de humidificación.....	155
Cuadro 5 - 6: Especificaciones sistema de humidificación.....	157
Cuadro 5 - 7: Elección del agente extintor respecto a la clase de fuego.....	161

### **INDICE DE DIAGRAMAS**

Diagrama 1 - 1: Árbol de problemas.....	4
Diagrama 1 - 2: Árbol de problemas de Madera Húmeda.....	5
Diagrama 1 - 3: Árbol de objetivos.....	7
Diagrama 2 - 1: Composición de la madera.....	11
Diagrama 5 - 1: Diagrama de flujo del proceso de secado.....	83
Diagrama 5 - 2: Diagrama flujo de línea de vapor y condensado.....	152
Diagrama 5 - 3: Diagrama de sistema de inyección de vapor.....	154

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 - 1: Análisis de Involucrados.....	6
Figura 2 - 1: Corte transversal de un tronco.....	14
Figura 2 - 2: Ampliación del anillo de crecimiento.....	15
Figura 2 - 3: Dimensión de las células en coníferas y latifoliadas.....	15
Figura 2 - 4: Estructura anatómica de una conífera.....	16
Figura 2 - 5: Estructura anatómica de una latifoliada.....	17
Figura 2 - 6: Cortes en la madera.....	20
Figura 2 - 7: Madera verde y madera seca.....	21
Figura 2 - 8: Muebles para uso interior.....	27
Figura 2 - 9: Puertas de interior.....	27
Figura 2 - 10: Muebles para uso exterior color madera.....	28
Figura 2 - 11: Muebles para uso exterior pintados.....	28
Figura 2 - 12: Pisos de madera.....	29
Figura 2 - 13: Parquet.....	29
Figura 2 - 14: Entablonado.....	30
Figura 2 - 15: Construcción de casa de madera.....	31
Figura 2 - 16: Juguetes de madera.....	32
Figura 2 - 17: Piezas decorativas.....	32
Figura 2 - 18: Flujo paralelo.....	44
Figura 2 - 19: Flujo perpendicular.....	44
Figura 2 - 20: Flujo de Calor a través de una pared.....	49
Figura 2 - 21: Flujo de Calor a través de una pared compuesta.....	50
Figura 2 - 22: Secado al aire.....	53
Figura 2 - 23: Secado en cobertizo.....	53
Figura 2 - 24: Esquema de una cámara de secado solar.....	56
Figura 2 - 25: Esquema de una cámara de secado convencional.....	57
Figura 2 - 26: Esquema de una cámara de secado de vacío.....	57
Figura 2 - 27: Esquema de una cámara de secado por deshumidificación.....	58

Figura 2 - 28: Deformación de la madera llamado arqueadura.....	74
Figura 2 - 29: Deformación de la madera llamado acanaladura.....	74
Figura 2 - 30: Deformación de la madera llamado encorvadura.....	75
Figura 2 - 31: Deformación de la madera llamado torcedura.....	75
Figura 5 - 1: Transporte de madera.....	85
Figura 5 - 2: Carga de madera.....	86
Figura 5 - 3: Carga de madera con separadores.....	87
Figura 5 - 4: Vista frontal de la carga de madera con separadores.....	89
Figura 5 - 5: Vista lateral de la carga de madera con separadores.....	89
Figura 5 - 6: Vista isométrica de las opciones de secadero según las filas.....	91
Figura 5 - 7: Vista isométrica del secadero y la carga de madera.....	92
Figura 5 - 8: Proceso de secado y sus condiciones.....	93
Figura 5 - 9: Dimensiones de la sección del cimiento corrido.....	109
Figura 5 - 10: Dimensiones de la sección del piso y contrapiso.....	111
Figura 5 - 11: Sección del muro y revoque.....	113
Figura 5 - 12: Columna de hormigón armado.....	114
Figura 5 - 13: Vista frontal de la puerta.....	115
Figura 5 - 14: Puertas de aluminio.....	116
Figura 5 - 15: Vista isométrica de la estructura del techo.....	117
Figura 5 - 16: Armadura, montaje maestro.....	120
Figura 5 - 17: Fuerzas que actúan sobre la armadura.....	121
Figura 5 - 18: Estructura de madera con la Armadura Montaje maestro.....	121
Figura 5 - 19: Vista lateral de la carga de madera.....	128
Figura 5 - 20: Diferencia de presión manométrica ( $P_e$ ).....	129
Figura 5 - 21: Dimensiones del ventilador.....	131
Figura 5 - 22: Ventila.....	132
Figura 5 - 23: Nomenclatura que se utiliza para ordenar los tubos.....	139
Figura 5 - 24: flujo del vapor a través del tubo.....	139
Figura 5 - 25: Vista superior del banco de tubos.....	149

Figura 5 - 26: Caldero modelo 3PR.....	150
Figura 5 - 27: Dimensiones del caldero modelo 3PR.....	151
Figura 5 - 28: Termohigrómetro TP8829.....	155
Figura 5 - 29: Transmisor de humedad relativa y temperatura.....	157
Figura 5 - 30: Medidor de la velocidad del aire.....	158
Figura 5 - 31: Higrómetro digital para madera SCHM102.....	159
Figura 5 - 32: Clasificación de uso de extinguidores.....	161
Figura 5 - 33: Clasificación de uso de extinguidores.....	162

### **INDICE DE GRÁFICOS**

Gráfico 2 - 1: Evolución de la madera durante el secado.....	21
Gráfico 2 - 2: Humedad vs. Tiempo.....	36
Gráfico 2 - 3: Tasa de secado vs. Tiempo.....	37
Gráfico 2 - 4: Tasa de secado vs. Humedad libre.....	37
Gráfico 2 - 5: Fases del secado de madera.....	67
Gráfico 5 - 1: Fases del secado en la carta psicrométrica.....	95
Gráfico 5 - 2: Ejemplo de secado de una fase en la carta psicrométrica .....	95
Gráfico 5 - 3: Fases del secado.....	98
Gráfico 5 - 4: Transferencia de calor del vapor al aire.....	146

## RESUMEN

Es indudable el valor comercial de la madera, entonces para agregarle valor las PYMES deben tener los recursos humanos y tecnológicos que permita obtener productos de que cumplan con las exigencias del cliente. Los problemas con los que se enfrenta las PYME son varios, sin embargo el de mayor conflicto es el SECADO. Por lo tanto este proyecto tiene por objeto el de proveer de tecnología a las PYMES en la manufactura de muebles, mediante el diseño de un secadero de madera.

El secadero de madera que las PYMES necesitan, debe cumplir las siguientes condiciones, una capacidad de 10.000 pies y la madera debe alcanzar una humedad del 10%.

En el mercado existen varios tipos de secaderos, sin embargo luego de ver las ventajas de cada uno optamos por el secadero de tipo convencional como se verá en el proyecto.

Tomando en cuenta los parámetros que debe cumplir el secadero, se ha hecho los estudios para el diseño de; la edificación, el intercambiador de calor, la elección del caldero y los ventiladores sus características y capacidades respectivas. Además del instrumental necesario para el control de las condiciones al interior del secadero.

El proyecto está en capacidad de responder consumos mensuales de madera inferiores a 24 m<sup>3</sup> y utiliza especies de alto valor comercial, con ciclos cercanos a los 30 días.

Una vez hecho los cálculos de diseño determinamos las inversiones, los costos de operación y mantenimiento en las que se debe incurrir para hacer posible el proyecto.

Finalmente veremos la sostenibilidad del proyecto mediante el flujo de fondos y la determinación de los indicadores de evaluación VAN y TIR que determinaron la rentabilidad del proyecto.

## SUMMARY

It is undoubted the market value of the wood, then to add you value the PYMES must have the human and technological resources that permits obtain products that fulfill one's obligations to the exigencies of the client. The problems with those who is faced the PYME are several, however those of bigger conflict is the DRYING. Therefore this project thinks object those of deciding of technology to the PYMES in the manufacture of furnitures, by the design of a wood dryer.

The dryer of wood that the PYMES needs must fulfill the following conditions, a capacitance of 10.000 feet and the wood must reach a humidity of 10%.

In the market they exist several types of dryer, however after seeing the advantages of everyone chooses for the dryer of conventional type as will be seen in the project.

By taking into account the parameters that must fulfill the dryer, has made the studies for the design of; the edification, the heat exchanger, the election of the pot and the ventilators your characteristic and respective capacitances. Besides the necessary instrumental for the control of the conditions to the inside of the dryer.

The project is in capacity of answering monthly wood lower than 24 m<sup>3</sup> consumptions and uses species of commercial high value with, close cycles to the 25 days.

Once done the calculations of design we determine the inversions, the operation costs and maintenance into which one has to fall to make possible the project.

Finally we will see the sustainability of the project by means of the background flux and the determination of the indicators of VAN and TIR evaluation they decided the income-yield capacity of the project.

## ANTECEDENTES

Uno de los sectores estratégicos para el desarrollo económico de Bolivia es la industria forestal maderera, debido a sus grandes y diversas potencialidades. La importancia de la industria de la madera radica en la riqueza de los 53 millones de hectáreas de bosques, representando más del 48% del territorio nacional, de los cuales 29 millones pueden ser permanentemente aprovechados con un promedio potencial de 16 m<sup>3</sup>/Ha. Como dato ilustrativo, en la actualidad solo 7,23 millones de Ha están siendo aprovechadas con un rendimiento de 3 a 4 m<sup>3</sup>/Ha.

Bolivia cuenta con más de 176 especies maderables identificadas, de las cuales tan solo unas cuantas han sido tradicionalmente explotadas. A partir del volumen ofertable promedio, 11 de estas especies representan el 75% del volumen y cinco de éstas especies más del 55%: Ochoó (*Hura Crepitans*), Cuta del bajo Paraguá (*Apuleia Leiocarpa*), Cambará (*Erisma Uncinatum*), Cuchi (*Autronium Urundeuva*) y Mara Macho (*Cedrelinga Catenaeformis*).

La participación del sector forestal en la economía ha sido sostenida durante los últimos 8 años, reflejando en promedio un 3% del PIB. Actualmente, el sector genera más de 10 mil empleos industriales, 15 mil empleos en las actividades forestales y similar cantidad en el transporte. Existen 1.425 empresas, distribuidas entre grandes (1,3%), medianas (4,3%), pequeñas (14%) y micro empresas (80%).

## **CAPÍTULO I**

### **1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Justificación Práctica**

Es indiscutible el papel, ampliamente reconocido, que las pequeñas y medianas empresas desempeñan en las economías en desarrollo y en transición. Su gran aporte en la generación de empleos, la reducción de la pobreza y el desarrollo las convierte en verdaderos motores de crecimiento. La participación de las PYME en el conjunto de exportaciones es también considerable. Habida cuenta de las recientes tendencias hacia la mundialización y la competencia cada vez mayor y, ante los nuevos retos y oportunidades, las PYME están en busca de la ayuda idónea que les permita superar los obstáculos que entorpecen el desempeño de sus exportaciones.

Las pequeñas y medianas empresas (PYMES) como un elemento clave de la vida económica, no sólo por su número y variedad son también por su participación en todos los aspectos de la economía, su contribución al desarrollo regional, la función complementaria que desempeñan en apoyo del sector de las grandes empresas, y su papel como terreno de ensayo de innovaciones y adaptaciones.

También se puede decir, que las pequeñas y medianas empresas desempeñan un papel predominante en las economías de la mayoría de los países en desarrollo por razones socioeconómicas válidas relacionadas con la creación de empleo, la distribución de ingresos, la dispersión de industrias, etc., muchos gobiernos y organismos e instituciones especializados en el desarrollo de las PYME se han venido ocupando desde hace tiempo de ofrecer ayuda para la creación de las PYME y para promover su crecimiento y desarrollo.

La industria del mueble tiene carácter básicamente artesanal y el destino de los productos es el mercado interno. La mayoría de las empresas del sector muebles de madera son PYMES que fabrican una amplia gama de modelos y diseños variados y su competitividad comercial es baja.

Las dificultades en cuanto a una mejora de la productividad de las empresas más frecuentemente mencionadas por los empresarios fueron relacionadas a la escases de materia prima y cuestiones de mercado. Consideran que los consumidores prefieren muebles a medida y que esto dificulta una producción en serie y obliga a la diversificación de la producción. Se puede observar como consecuencia la existencia de muchas empresas con las mismas características, en vez de especializaciones distintas de las empresas.

Otra parte importante es compuesta por empresas que fabrican otros productos de segunda transformación industrial, como contra-chapados, puertas y ventanas y, sobre todo, pisos parquet.

Por ultimo quiero mencionar un tema que podría significar que una micro empresa sea considerada una que brinda productos de calidad, el SECADO, ya que la madera cortada (recién aserrada) contiene mucha agua. Si el agua no se remueve, la madera no puede usarse para producir un producto elaborado de alta calidad. La madera secada se vende a un precio más alto y es mucho más fácil de trabajar. Cuando la madera está seca, se mecaniza, se encola y se termina bien. También secándola en horno se mejora su firmeza, se endurece la fibra, se preserva el color, se reduce el peso y se controla el encogimiento. La madera que no está seca bajo las condiciones controladas es propensa a torcerse, a mancharse, y degradarse, lo cual disminuye su precio de venta y de trabajo.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

Entre los problemas con los que se tropieza habitualmente figuran; madera con baja calidad, la escasez de capital, el limitado y desigual acceso a los mercados institucionales de crédito, el acceso irregular a los insumos nacionales e importaciones unido a un costo más elevado, la utilización insuficiente de la capacidad de producción, servicios de infraestructura inadecuados, conocimientos técnicos y administrativos insuficientes, etc.

### 1.2.1 Árbol de problemas

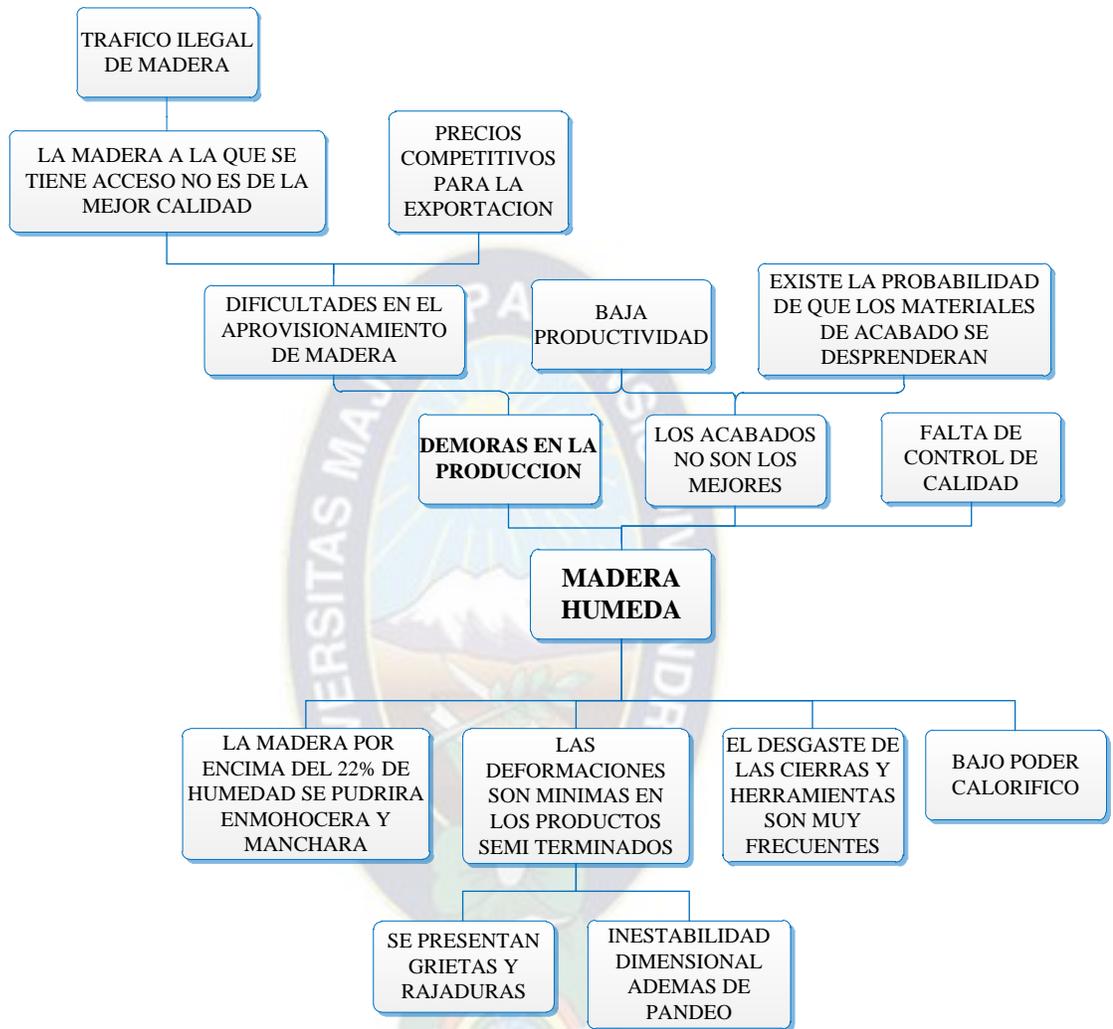
Diagrama 1 - 1: Árbol de problemas



Fuente: Elaboración propia

La amplitud del árbol de problemas es muy grande, por lo que nos enfocaremos en la rama de la MADERA HUMEDA; que representa el mayor importancia desde el punto de vista de la calidad del producto. Ahora los problemas con los que nos enfrentamos son la falta de conocimientos técnicos en el manejo de madera que causan inconvenientes como las deformaciones, las demoras en la producción, los malos acabados, la humedad a la que se debe mantener, y otros.

**Diagrama 1 - 2: Árbol de problemas de Madera Húmeda**

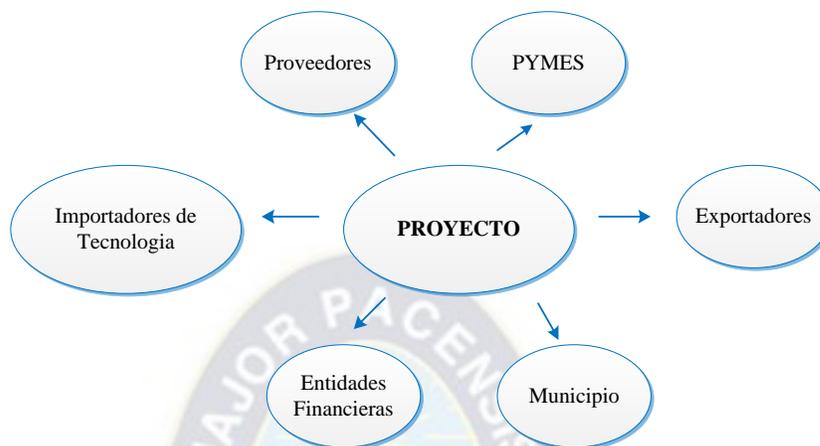


Fuente: Elaboración propia.

### 1.3 Análisis de Involucrados del Proyecto

A continuación veamos a los involucrados directos e indirectos del proyecto.

**Figura 1 - 1: Análisis de Involucrados**



Fuente: Elaboración propia.

Mediante entrevistas, encuestas y actividades de grupo focal, se pudo recoger información sobre la posición de cada uno de los involucrados frente al problema y evaluar su peso e intensidad. Se utilizó una escala de 1 a 10, donde el 1 indica el menor grado de importancia del involucrado para el proyecto y el menor grado de involucramiento del mismo; por su parte el 10, indica el mayor grado de importancia del involucrado para el proyecto y el mayor grado de involucramiento. Se calificó con valor negativo, aquellos involucrados que mostraron oposición a solucionar el problema con valor positivo a aquellos que mostraron apoyo.

**Tabla 1 - 1: Análisis de involucrados**

Involucrados	Peso	Calificación	Ponderación
PYMES	0,9	10	<b>9,0</b>
Proveedores	0,4	2	0,8
Exportadores de Madera	1,0	8	8,0
Importadores de Tecnología	0,8	-6	-4,8
Entidades Financieras	0,8	4	3,2
Municipio	0,6	6	3,6

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados de la anterior tabla vemos que los más afectados son las PYMES (9,0) los exportadores de madera (8,0) y los importadores de tecnología (-4,8), a estos últimos de forma negativa.

## 1.4 Marco Lógico

### 1.4.1 Árbol de Objetivos

Diagrama 1 - 3: Árbol de objetivos



Fuente: Elaboración propia.

## 1.4.2 Matriz de Planificación del Proyecto

Cuadro 1 - 1: Matriz de marco lógico

	LOGICA DE LA INTERVENCION	INDICADORES OBJETIVAMENTE VERIFICABLES	FUENTES DE VERIFICACION	SUPUESTOS/HIPOTESIS/FACTORES EXTERNOS
O. GENERAL	Diseñar e implementar un secadero de madera aserrada orientado a la pequeña y mediana empresa en la ciudad de EL ALTO.		Mediante el documento de proyecto de grado	
O. ESPECIFICO	Reducir el tiempo de producción.	Se reduce el tiempo de producción entre el 10 al 20% el primer trimestre.	Toma de muestras en el área de control de calidad.	
RESULTADOS	<p>1. Mejora el aprovisionamiento de madera.</p> <p>2. Buenos acabados.</p>	<p>1. El aprovisionamiento de madera está dentro de los parámetros de solicitud del área de producción.</p> <p>2. Los productos terminados no tienen fallas por encima del 2%.</p>	<p>1. Registro del área de producción e inventarios.</p> <p>2. Registro de almacenes e inventarios.</p>	<p>No hay fallas de la maquinaria y equipo.</p> <p>La materia prima está disponible para la producción.</p>

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 1 - 1: Matriz de marco lógico continuación**

ACTIVIDADES	LOGICA DE LA INTERVENCION	INDICADORES OBJETIVAMENTE VERIFICABLES	FUENTES DE VERIFICACION	SUPUESTOS/HIPOTESIS/FACTORES EXTERNOS
	<p>1.1 Realizar un estudio de cantidad y la frecuencia de entrega de los proveedores.</p> <p>1.2 Evaluar el estudio, y en base a este seleccionar a los proveedores con los que se trabajaran.</p> <p>1.3 Mejorar el sistema de almacenamiento de la madera.</p> <p>2.1 Capacitar constantemente al personal del área de acabado.</p> <p>2.2 Recopilar información de nuevos materiales, barnices, tintes y otros materiales de acabado.</p> <p>2.3 Realizar tareas de revisión más exigentes de los productos semiterminados antes de pasar al área de acabado.</p>		Estado de Resultados	<p>El trabajo de PYMES se hace más documentado.</p> <p>No hay problemas con el aprovisionamiento de madera.</p> <p>Se incrementa la demanda de muebles de madera en el mercado nacional.</p>

Fuente: Elaboración propia.

## **CAPÍTULO II**

### **2 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

#### **2.1 Marco Conceptual**

##### **2.1.1 La Madera**

Es el conjunto de tejidos orgánicos que forman la masa de los troncos de los árboles, desprovistos de corteza y hojas.

Es un material biológico, ya que está compuesto principalmente por moléculas de celulosa y lignina. Siendo madera elaborada. Por ello, a diferencia de otros materiales inorgánicos (ladrillo, acero y hormigón, entre otros), la madera debe tener una serie de consideraciones de orden técnico que garanticen su durabilidad en el tiempo.<sup>1</sup>

##### **2.1.2 Propiedades de la madera**

Las propiedades de las maderas dependen de muchos factores tales como: tipo y edad del árbol, condiciones de crecimiento como el terreno y el clima, etc. Como en todo material, varias son las propiedades a tener en cuenta a la hora de emplearlo, y que dependerán del fin queramos darles.

##### **2.1.3 Características de la madera**

Al igual que para otros materiales, la estructura de la madera determina en gran medida las propiedades y características de ésta. En el caso de las maderas, la estructura viene dada por los elementos anatómicos que la forman: células, vasos leñosos, fibras, canales de resina, etc. Así, la composición celular, el grosor, la simetría, etc., de estos elementos determinan las características de la madera, y junto a las otras propiedades físicas y mecánicas, sus posibles usos.

Las principales características, que además nos permite identificar a los distintos tipos de maderas, son: la textura, el grano y el diseño, además del color, sabor y olor.

Se denomina textura al tamaño de los elementos anatómicos de la madera. Hablaremos entonces de textura gruesa, mediana y fina. La textura gruesa será cuando

---

<sup>1</sup> Manual la construcción de viviendas en madera “Unidad 1”, 16 de mayo de 2014 pag. 13

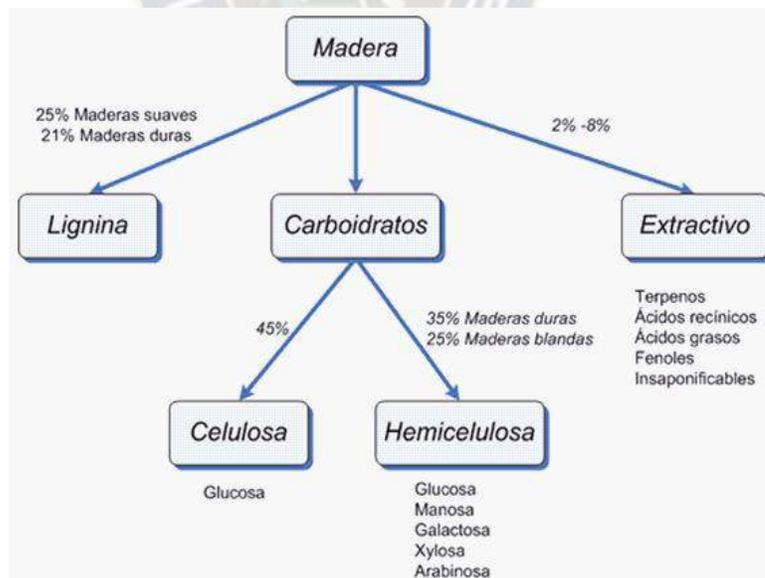
los elementos de la madera son muy grandes y se ven fácilmente, mientras que en la textura fina, estos elementos casi no se diferencian, dando una apariencia homogénea, y por último, la textura mediana será una situación intermedia entre las dos anteriores.

### 2.1.4 Composición

En composición media se constituye de un 50% de carbono (C), un 42% de oxígeno (O), un 6% de hidrógeno (H) y el 2% restante de nitrógeno (N) y otros elementos.

Los componentes principales de la madera son la *celulosa*, un polisacárido que constituye alrededor del 50%, la *lignina* (aproximadamente un 25%), que es un polímero resultante de la unión de varios ácidos y alcoholes *fenilpropílicos* y que proporciona dureza y protección, y la *hemicelulosa* (alrededor de un 25%) cuya función es actuar como unión de las fibras. Existen otros componentes minoritarios como *resinas*, *ceras*, *grasas* y otras sustancias (aproximadamente del 2 - 8%).<sup>2</sup>

Diagrama 2 - 1: Composición de la madera



Fuente: [www.monografias.com/trabajos48/maderas](http://www.monografias.com/trabajos48/maderas)

<sup>2</sup> [www.wikipedia.com/defimadera](http://www.wikipedia.com/defimadera)

- Hidratos de carbono de la pared celular: Los hidratos de carbono son los componentes más importantes de la pared celular y en muchos casos forman el 65-75% del peso de la madera. La hidrólisis de la fracción total de hidratos de carbono da principalmente azúcares sencillos, sobre todo *glucosa*. En las maderas blandas, la *manosa* y la *xilosa* siguen en cantidad. La mayor parte de las maderas blandas tienen cantidades más pequeñas de galactosa y arabinosa. Los hidrolizados de maderas duras, además de contener 55-75% de *glucosa*, son relativamente ricos en *xilosa* (20-40%), con cantidades más pequeñas de *manosa*, *arabinosa* y *galactosa*.

- Celulosa: El principal carbohidrato de la madera es la celulosa, que en muchos aspectos es análoga químicamente a la celulosa del algodón purificada.

Está constituida principalmente por restos de glucosa unidos por medio de enlaces 1,4-beta-glucósidos. La porción resistente de la celulosa de la madera muestra una velocidad de hidrólisis en ácido diluido casi doble a la de la celulosa del algodón. Estudios de difracción de rayos X han mostrado que el cristal es más grande en la celulosa de algodón que en la de la madera. Hasta el momento no se ha podido preparar ninguna celulosa a partir de madera que no contenga *mananas* y *xilanas*. No se sabe si estos hidratos de carbono no celulósicos se encuentran atrapados en la estructura de la celulosa sólida o si son parte integrante de las cadenas de la celulosa de la madera.

- Hemicelulosa: Los hidratos de carbono de la pared celular de la madera son la celulosa verdadera y la *hemicelulosa*. Esta se ha definido como la porción de celulosa que se hidroliza fácilmente. Es una sustancia amorfa y está compuesta por *manosa*, galactosa, arabinosa, xilosa, ácidos urónicos y en algunos casos, *ramnosa*. La distinción entre celulosa "verdadera" y *hemicelulosa* es principalmente de interés científico. No existe ningún método que permita la separación neta de ambas.

- Holocelulosa: La fracción total hidrocarbonada de la madera ha sido denominada *Holocelulosa*. Por cloración y extracción en *monoetanolamina* en solución alcohólica caliente, alternadas, se obtienen preparados de la fracción total de hidratos de carbono de la madera, que se aproximan al rendimiento ideal.

Los análisis de la celulosa que se realizan para fines técnicos, expresan la composición en celulosas alfa, beta y gama. La distinción se basa en la solubilidad en los álcalis. En términos generales la alfa-celulosa es insoluble en hidróxido de sodio al 17,5%; la beta-celulosa es la porción soluble que se precipita al acidular y la gama - celulosa es la porción soluble que no precipita al acidular.

- Lignina: Podríamos decir que la lignina actúa como impermeabilizante de las cadenas de celulosa (muy hidrófilas) y como aglomerante de las estructuras fibrilares de las células.

- Materia extraña: Los componentes minerales de la madera varía mucho entre especies, entre individuos y entre diversas partes del mismo árbol. Los principales cationes son calcio, potasio y magnesio. Los aniones más comunes son carbonatos, fosfatos, silicatos y sulfatos.

Las materias extrañas orgánicas en la madera son numerosas y son difíciles de clasificar, no obstante ello se puede decir que existen los siguientes productos en casi todas las especies estudiadas: hidrocarburos alifáticos y aromáticos, terpenos, ácidos alifáticos y aromáticos y sus sales respectivas, alcoholes, fenoles, aldehídos, cetonas, quinonas, ésteres y éteres, aceites fijos, aceites volátiles, ácidos de resinas y esteroides, taninos, materias colorantes, polisacáridos solubles en agua, *ciclitoles*, proteínas y alcaloides.

### **2.1.5 Estructura de la Madera**

La madera, como parte fundamental del tronco de los árboles tiene funciones de sostén de ramas y transporte de alimentos. Esto le confiere al material, características como porosidad (presencia de espacios vacíos) y elevada resistencia mecánica en relación con su peso, lo que origina que sus propiedades se manifiesten en diferente magnitud según las direcciones de corte.

Al hacer un corte transversal de un árbol y analizar desde el exterior hacia el interior una sección de éste, se pueden apreciar zonas claramente diferenciadas, las cuales cumplen funciones específicas:

**Figura 2 - 1: Corte transversal de un tronco.**



Fuente: [www.lsuagcenter.com](http://www.lsuagcenter.com) (Anatomía y física de la madera).

Analizando un tronco desde el exterior hasta el centro se encuentran distintas estructuras con distinta función y características.

- Corteza externa: Es la capa más externa del árbol. Está formada por células muertas del mismo árbol. Esta capa sirve de protección contra los agentes atmosféricos.

- Cámbium: Es la capa que sigue a la corteza y da origen a otras dos capas: la capa interior o capa de xilema, que forma la madera, y una capa exterior o capa de floema, que forma parte de la corteza.

- Albura: Es la madera de más reciente formación y por ella viajan la mayoría de los compuestos de la savia. Las células transportan la savia, que es una sustancia azucarada con la que algunos insectos se pueden alimentar. Es una capa más blanca porque por ahí viaja más savia que por el resto del tronco.

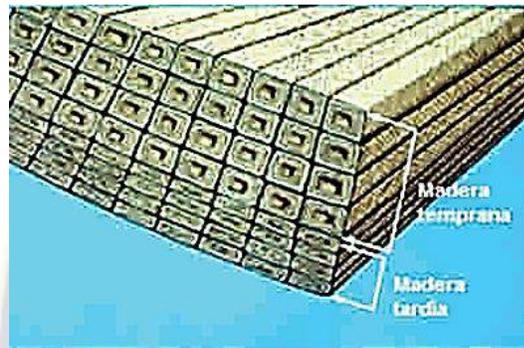
- Duramen (o corazón): Es la madera dura y consistente. Está formada por células fisiológicamente inactivas y se encuentra en el centro del árbol. Es más oscura que la albura y la savia ya no fluye por ella.

- Médula vegetal: Es la zona central del tronco, que posee escasa resistencia, por lo que, generalmente no se utiliza.

Las especies madereras, como se detallará más adelante, se clasifican en dos grandes grupos: *coníferas* y *latifoliadas*.

En las coníferas se pueden apreciar dos bandas concéntricas, diferenciadas en los anillos de crecimiento.

**Figura 2 - 2: Ampliación del anillo de crecimiento.**



Fuente: [www.lsuagcenter.com](http://www.lsuagcenter.com) (Anatomía y física de la madera).

Las células en *coníferas* pueden medir de 3 a 5 mm de largo, dependiendo de la especie. En el caso de *latifoliadas*, el largo puede llegar a 1 mm.

**Figura 2 - 3: Dimensión de las células en coníferas y latifoliadas.**



Fuente: [www.lsuagcenter.com](http://www.lsuagcenter.com) (Anatomía y física de la madera).

### 2.1.6 Clasificación de Maderas

La madera es producto de un proceso metabólico en un organismo vivo (árbol), que crece en la naturaleza en condiciones climáticas, geográficas y de suelos muy diversos.

Esta diversidad afecta el crecimiento y las características de la madera en relación con su estructura celular. Al analizar una probeta en microscopio se observa la madera igual a cualquier ser vivo, conformada por células generalmente alargadas y dispuestas en la dirección del eje del árbol, pudiendo cumplir esencialmente 2 funciones: sostén del propio árbol y conductora de savia.

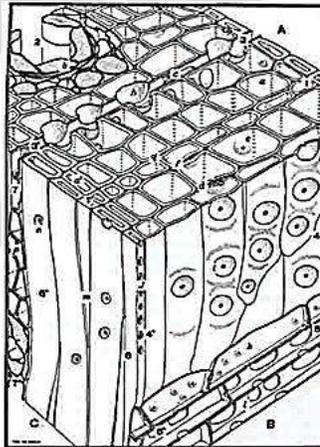
Por esto, a nivel de estructura celular se pueden clasificar las especies arbóreas en dos grandes grupos de árboles:

- Coníferas
- Latifoliadas

- Coníferas: La madera de coníferas está constituida esencialmente por células de características homogéneas, del grupo traqueidas, las cuales realizan la doble función de sostén del árbol y conducción de la savia.

Las especies pertenecientes a este grupo presentan un tronco recto, cónico hasta su ápice (extremo superior) y revestido de ramas.

**Figura 2 - 4: Estructura anatómica de una conífera.**

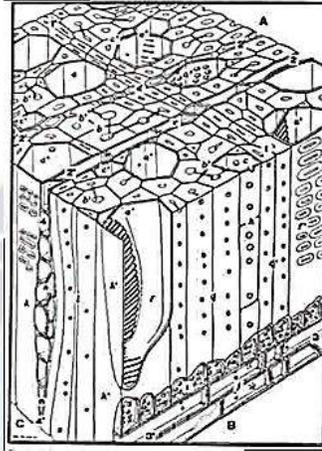


Fuente: [www.lsuagcenter.com](http://www.lsuagcenter.com) (Anatomía y física de la madera).

- Latifoliadas: La madera de *latifoliadas* proviene del grupo de angiospermas, los que están constituidos esencialmente por vasos, los cuales realizan la función conductora de la savia y por fibras que son el sostén del árbol.

Las especies *latifoliadas* presentan en general, una copa bien ramificada y un tronco que varía en dimensiones y forma.

**Figura 2-5: Estructura anatómica de una latifoliada.**



Fuente: [www.lsuagcenter.com](http://www.lsuagcenter.com) (Anatomía y física de la madera).

En el **ANEXO 1** se muestran en detalle las maderas *latifoliadas* bolivianas de uso frecuente.

## **2.1.7 La Madera y sus Propiedades**

La madera elaborada a través de un proceso de aserrío se denomina pieza de madera y posee propiedades definidas.

### **2.1.7.1 Conceptos Básicos**

Independientemente de la especie, la madera puede ser considerada como un material biológico, anisotrópico e higroscópico. Es un material biológico, ya que está compuesto principalmente por moléculas de celulosa y lignina. Siendo madera elaborada, puede ser biodegradada por el ataque de hongos e insectos taladradores, como son las termitas.<sup>3</sup>

Por ello, a diferencia de otros materiales inorgánicos (ladrillo, acero y hormigón, entre otros), la madera debe tener una serie de consideraciones de orden técnico que garanticen su durabilidad en el tiempo.

<sup>3</sup> Manual la construcción de viviendas en madera “Unidad 1”, 16 de julio de 2014 pag. 18

- Densidad de la madera: La Densidad de la madera es la relación entre el Peso y el Volumen de una muestra de madera medido en un mismo estado de humedad relativa. En la madera, por ser higroscópica, la masa y el volumen varían con el contenido de humedad; por lo que resulta importante expresar la condición bajo la cual se obtiene la densidad. Esta es una de las características físicas más importantes, ya que está directamente relacionada con las propiedades mecánicas y durabilidad de la madera.

$$\rho = \frac{m}{V} \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \quad (2.1)$$

Dónde:

$m$  = masa de la madera

$V$  = volumen de la madera

Determinación de la densidad, establece las siguientes densidades de la madera, determinadas a partir del contenido de humedad de la pieza:

- **Densidad básica** La densidad básica es la relación entre el peso anhidro y el volumen saturado (PSF 30%).
- **Densidad anhidra ( $\rho_0\%$ )** Cociente entre la masa y el volumen (al 0% completamente seca).
- **Densidad normal o Peso específico (Pe)** Es la relación entre el peso de la madera, a un determinado contenido de humedad, y el peso del volumen de agua desplazado por el volumen de la madera
- **Densidad verde** Cociente entre la masa y el volumen de una madera recién cortada.

**Tabla 2 - 1: Densidad de maderas con y sin resinas**

Categorías	Densidad para Maderas sin Resinas [g/cm <sup>3</sup> ]	Densidad para Maderas Resinosas [g/cm <sup>3</sup> ]
Muy liviana	< 0.50	< 0.40
Livianas	0,51 – 0,64	0,40 – 0,49
Medianamente pesadas	0,65 – 0,79	0,50 – 0,59
Pesadas	-	0,60 – 0,70
Muy pesadas	0,80 – 1,00	> 0,71

Fuente: Memento du Forestier (Ministere de la cooperation de Francia 1978)

- Dureza: La dureza es una característica físico mecánica de la madera de gran importancia y se mide por la reacción inversa de la madera al aplicarle un esfuerzo de penetración de 100 Kg a un cilindro de acero de 3 cm. de diámetro por 10 cm. de alto.

**Tabla 2 - 2: Dureza de maderas**

Categorías	Dureza [Kg/cm <sup>2</sup> ]
Muy suaves	0,20 – 1,5
Suaves	1,51 – 3,0
Medianamente duras	3,01 – 6,0
Duras	6,01 – 9,0
Muy duras	9,01 – 20,0

Fuente: Memento du Forestier (Ministere de la cooperation de Francia 1978)

Relación entre Dureza y Densidad por lo general las maderas muy duras corresponden a maderas muy densas.

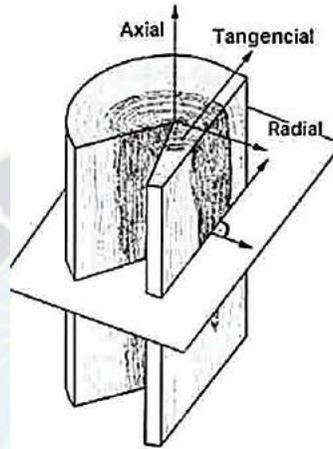
**Cuadro 2 - 1: Relación comparativa entre dureza y densidad**

Categorías		Ejemplos
Muy liviana	Muy suaves	Balsa, Coco, Gabun, Ochoo, Mapajo
Livianas	Suaves	Yesquero negro, copaibo
Medianamente pesadas	Medianamente duras	Palo Maria, Maní
Pesadas	Duras	Almendrillo, Mazaranduba
Muy pesadas	Muy duras	Cuchi, Quebracho rojo

Fuente: Memento du Forestier (Ministere de la cooperation de Francia 1978)

- Cortes de la Madera: Los cortes en un tronco pueden ser de tres tipos (ver Figura 2-6).

**Figura 2 - 6: Cortes en la madera**

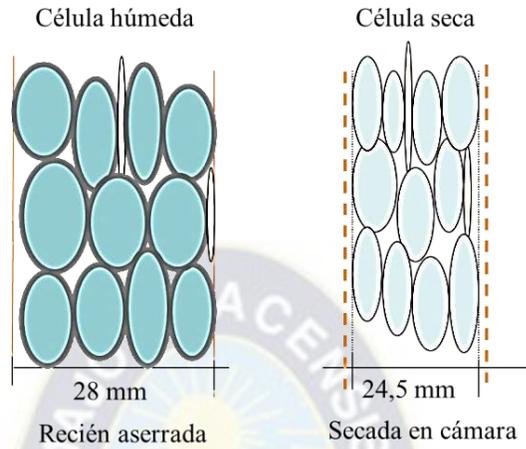


Fuente: [www.lsuagcenter.com](http://www.lsuagcenter.com) (Anatomía y física de la madera).

- **Corte transversal** o sea de dirección perpendicular al eje del tronco, se produce, por ejemplo, al voltear un árbol o seccionar un tronco.
- **Corte tangencial** cuando se realiza tangencialmente a los anillos de crecimiento del árbol. Es el corte en el que mejor se aprecia el vetado o figura de la madera.
- **Corte radial** cuando tiene dirección paralela a los radios. Es el corte más estable de la madera ante cambios de humedad del material.

- Contracción y expansión de la madera: El secado de la madera por debajo del punto de saturación de la fibra, provoca pérdida de agua en las paredes celulares, lo que a su vez produce contracción de la madera. Cuando esto ocurre se dice que la madera “trabaja”.

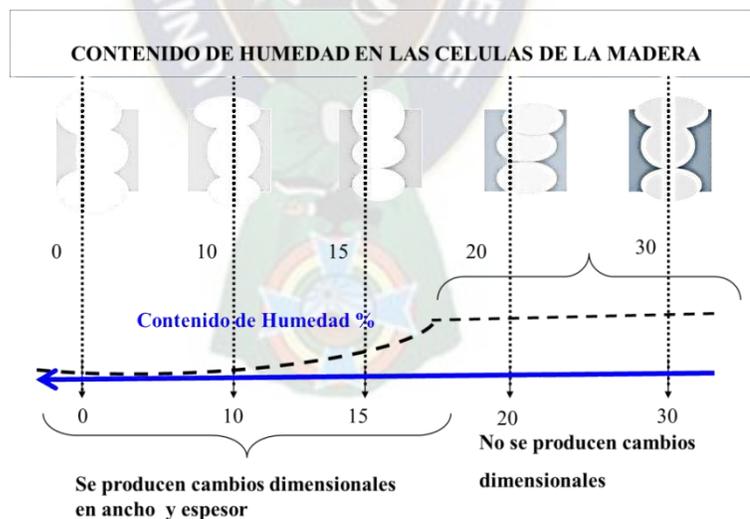
**Figura 2 - 7: Madera verde y madera seca.**



[www.monografias.com/trabajos48/maderas](http://www.monografias.com/trabajos48/maderas)

Las dimensiones de la madera comienzan a disminuir en los tres ejes anteriormente descritos: tangencial, radial y longitudinal. Sin embargo, en este proceso la contracción tangencial es mayor a la que se produce en un árbol.

**Gráfico 2 - 1: Evolución de la madera durante el secado**



[www.monografias.com/trabajos48/maderas](http://www.monografias.com/trabajos48/maderas)

En el **ANEXO 2** tenemos la contracción volumétrica de algunas especies.

- Contenido de humedad: El contenido de humedad de un producto puede expresarse sobre la base del peso húmedo, es decir la masa de agua por unidad de masa de producto húmedo. Otra manera de expresar el contenido de humedad es en base al peso seco, es decir la masa de agua por unidad de masa de componentes sólidos desecados.

El agua de impregnación es la que se encuentra adherida a las paredes celulares. Una vez iniciada la eliminación de esta forma de humedad a partir del PSF, se inician las modificaciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera.

En función a su contenido de humedad, la madera recibe varias denominaciones.

**Cuadro 2 - 2: Denominación de la madera según su humedad**

Denominación del estado de la madera	Nivel de humedad [%]	Lugar de ubicación
Madera verde	80 - 200	Bajo cubierta en el bosque
Madera húmeda	25 - 80	Cortada, en patio a la intemperie
Madera poco seca	20 - 25	Aire libre
Madera seca al aire	15 - 20	Bajo techo
Madera muy seca	8-15	Interiores
Madera anhidra	0	En laboratorio

Fuente: Memento du Forestier (Ministere de la cooperation de Francia 1978)

La humedad de algunas maderas nacionales cortadas, es el siguiente:

**Tabla 2 - 3: Humedad de la madera en estado verde**

Madera	Humedad [%]
Cedro	120
Quebracho blanco	65
Tajibo	55
Kaqui	170
Plumero	155
Serebó	130
Roble	110
Ajunao	70
Soto	50
Mapajo	140

Fuente: "Guía para el Secado de la Madera en Hornos" Chemonics International USAID/Bolivia Agosto, 1998

Las especies porosas y de menor peso relativo contienen mayor volumen de agua libre, respecto a las especies pesadas.

- Humedad libre ( $F = X - X^*$ ): Es el agua que se encuentra en las cavidades celulares en estado líquido y libre. Sólo la humedad libre puede ser evaporada, y lógicamente depende de la concentración del gas (A través de la humedad de equilibrio). Se expresa como kg. de agua entre kg. de sólido seco.

- Punto de saturación de fibras (PSF): Esta agua es la que se encuentra atrapada en las membranas higroscópicas que recubren la célula es decir en pequeñas partículas.

El momento en que el *agua libre* ha sido extraído de la madera por acción del proceso de secado y solo queda el agua adherida a las membranas celulares o *agua de saturación* se denomina *Punto de saturación de fibras* (PSF), este punto está dado cuando la medición de la humedad de la madera dentro de la cámara o fuera de ella registra entre 21a 35%.

**Tabla 2 - 4: Punto de saturación de fibras identificado en algunas especies**

Especies	Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	PSF [%]
Almendrillo	890	21
Guayabochi	820	24
Tajibo	955	23
Paquio	960	22
Mara	650	25
Gabun	440	34
Marfil	955	23

Fuente: "Guía para el Secado de la Madera en Hornos" Chemonics International USAID/Bolivia Agosto, 1998

- Humedad ligada: Es el valor de la humedad de equilibrio  $X^*$  del sólido en contacto con aire saturado.

- Humedad no ligada: Es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad ligada; o bien la humedad libre del sólido en contacto con aire saturado.

- Contenido de humedad en base húmeda (CH): Representa la humedad en un material como un porcentaje del peso del sólido húmedo.

El nivel de humedad de la madera se calcula como un porcentaje del peso del agua que contiene, respecto al peso del material seco:

$$CH = \frac{m_{mh} - m_{0\%}}{m_{0\%}} * 100 \left[ \frac{kg_{agua}}{kg_{sólido\ seco+agua}} \right] \quad (2.2)$$

Dónde:

$m_{mh}$ : peso de madera húmeda o peso inicial.

$m_{0\%}$ : peso de la madera anhidra

- Contenido de humedad en base seca (X): Se expresa como *kg de agua* entre *kg de sólido seco*.

- Humedad crítica (Xc): Es el contenido de humedad promedio cuando la tasa de secado constante termina y comienza la tasa de secado decreciente.

- Humedad de equilibrio (X\*): La humedad contenida en un sólido húmedo o en una solución ejerce una presión de vapor dependiente de la naturaleza de la humedad, de la naturaleza del sólido y de la temperatura. Si el sólido húmedo se expone a una corriente de gas con una presión parcial de vapor  $p$ , el sólido perderá humedad por evaporación, o la ganará a expensas del gas hasta que la presión de vapor de la humedad del sólido iguale a la presión parcial de dicha corriente gaseosa. El sólido y el gas se encuentran, entonces en equilibrio, y la humedad del sólido se denomina humedad de equilibrio. No es posible predecir el contenido de humedad de equilibrio de diversos materiales, por lo que se hace necesario determinarlo por vías experimentales. De la misma manera, en muchos casos resulta indispensable obtener algunas mediciones experimentales de las velocidades de secado. Para un mismo sólido la humedad de equilibrio disminuye con la temperatura. La humedad de equilibrio de un sólido es independiente de la naturaleza del gas seco, siempre que este sea inerte respecto del sólido, tanto seco como cuando va acompañado del vapor condensable. Lógicamente, la humedad de equilibrio sí depende de la naturaleza del vapor que los humedece.

- Material higroscópico: Es aquel tipo de material que puede contener humedad ligada.

- Material no higroscópico: Es aquel tipo de material que puede contener humedad no ligada.

- Período de secado constante: Es el período de secado durante el cual la remoción de agua por unidad de área de secado es constante.

- Período de secado decreciente: Es el período de secado en el cual la tasa de secado instantánea decrece continuamente.

- Flujo capilar: Es el flujo de líquido a través de los intersticios por encima de la superficie del sólido, causado por la atracción molecular líquido-sólido.

#### **2.1.8 Usos de la madera**

La madera es un material óptimo para la construcción de muebles, puertas, ventanas, pisos, entre otros. No sólo por sus infinitas posibilidades de color, textura y diseño, sino también porque le dará un ambiente natural al hogar u oficina.

Dentro de sus principales características podemos destacar las siguientes:

- La madera es increíblemente fuerte y duradera, especialmente cuando se le ofrece un mantenimiento adecuado.
- La madera es muy versátil. Se puede doblar, cortar, lijar, unir en piezas, puede reforzarse con clavos o tornillos.
- A la madera es posible darle el acabado deseado, ya que puede ser pintada, teñida, pulida y lacada, entre otros procesos.
- Otro argumento válido para que construya o utilice madera en el interior de su hogar, es que está ayudando al medio ambiente, debido a que la madera retiene el dióxido de carbono. El caso contrario ocurre con los demás materiales de construcción, ya que durante su proceso de acabado se requiere

mucha energía para darles el terminado final.

- La madera puede ser utilizada de distintas maneras dentro de su hogar. Una de las opciones más usadas son los parquets tanto para pisos como para paredes. Usted tendrá un amplio abanico de opciones en cuanto a colores, texturas y tipo de veta. También existen diferentes alternativas de acabados, ya sean barnices que le ofrecen posibilidades de brillo, tinte y protección.
- La madera es una alternativa óptima para la fabricación de escaleras. Al escoger maderas finas y duras, garantizará que sus escaleras sean realmente resistentes y le den el toque especial a su hogar.
- Las ventanas, puertas, techos, vigas y elementos decorativos en madera, son otra excelente opción para utilizar dentro de su casa u oficina.
- La madera es el material ideal para la fabricación de todo tipo de muebles en los diferentes espacios del hogar, ya sea en la cocina, sala, comedor, habitaciones, baños, etc.

A continuación les daremos un listado de los diferentes tipos de madera que ofrecen óptimas condiciones para su uso.

- **Mara:** se utiliza en general para la fabricación de todo tipo de muebles, tallados, artesanías, pisos, escaleras, marcos para puertas, puertas y contrachapado.
- **Roble:** muebles en general, parquets para pisos y paredes, escaleras.
- **Cedro:** muebles en general, marcos para puertas, puertas, paneles para paredes y techos, escaleras, artesanías, pisos.
- **Huasicucho:** marcos para puertas, puertas, paneles de pared y techo, escaleras y pisos.
- **Gabún:** muebles en general, escaleras y puertas.

- **Tajibo:** marcos para puertas, puertas y ventanas y pisos.
- **Laurel:** muebles en general, puertas y ventanas y artesanías.

- Maderas para uso interior: Las características de las maderas para uso interior, hacen de ellas uno de los materiales preferidos en todo el mundo por su durabilidad, resistencia y ventajas desde el punto de vista decorativo.

**Figura 2 - 8: Muebles para uso interior**



Fuente: Biblioteca Atrium de la Madera.

**Figura 2 - 9: Puertas de interior**



Fuente: Biblioteca Atrium de la Madera.

- Maderas para uso exterior: El uso de la madera para exteriores es óptimo, siempre en cuando el acabado se haga con materiales de protección a la lluvia el sol y las termitas. A continuación tenemos las siguientes figuras:

**Figura 2 - 10: Muebles para uso exterior color madera**



Fuente: Biblioteca Atrium de la Madera.

**Figura 2 - 11: Muebles para uso exterior pintados**



Fuente: Biblioteca Atrium de la Madera.

- Pisos de Madera: Los pisos de madera aportan calidez al ambiente y ofrecen alta resistencia al paso del tiempo. Utilizando el tratamiento adecuado se pueden colocar en cualquier habitación de la casa, aunque van mejor en lugares que no estén expuestos a la humedad, el agua o la luz solar. La mayor dificultad en la elección de pisos de

madera, es reconocer y elegir la madera apropiada.

**Figura 2 - 12: Pisos de madera**



Fuente: [www.maderaindustrial.com](http://www.maderaindustrial.com) (pisos y puertas).

**Colocación.** Existen tres tipos básicos de colocación de madera para pisos:

- **Parquet**

Tablas pequeñas y cortas (hay varios tamaños) que se colocan encastradas formando diferentes diseños (por ejemplo, tejido de cesta o espina de pez). Pueden estar clavadas o pegadas con adhesivos especiales.

**Figura 2 - 13: Parquet**



Fuente: [www.maderaindustrial.com](http://www.maderaindustrial.com) (pisos y puertas).

- **Entablonado**

Tablas largas que se disponen de forma paralela. Las hay en distintos largos y anchos. Generalmente se utilizan con un ancho de 8 a 9 **cm.** y hasta 1 **m** de largo,

aunque también se consiguen tablas en otras medidas. Pueden estar clavadas, entarugadas o pegadas a la carpeta con adhesivos especiales.

**Figura 2 - 14: Entablonado**



Fuente: [www.maderaindustrial.com](http://www.maderaindustrial.com) (pisos y puertas).

- **Entarugado**

Tablas largas dispuestas como en el entablonado, pero clavadas al suelo con tornillos, rematados con tapitas de madera a la vista. Estas tapitas generalmente son de un tono más oscuro que el piso.

Cualquiera sea el tipo de colocación que elijamos, hay que tener en cuenta dejar en todo el perímetro de la habitación una junta de dilatación bastante amplia para evitar que la madera toque la pared y entre en contacto con la humedad. Para una buena terminación, se utiliza siempre un zócalo de madera cubriendo también las juntas y las imperfecciones. El zócalo suele ser de la misma madera y tono del piso, aunque también puede quedar muy bien pintado del mismo color que la pared.

- La madera como material de construcción: Una vez secada la madera se convierte en un material importante en la construcción ya sea como partes de una vivienda, como ventanas, puertas, escaleras, pisos, muebles empotrados o siendo utilizado como material constructivo como vigas, paredes falsos techos etc. Esto permite en el corto tiempo mejorar la calidad de vida de las personas que las utilizan a un costo menor que el hormigón y ladrillo.

La madera es aprovechado en la edificación por su gran resistencia y abundancia su uso es clave en la construcción (puntales, contenedores, andamios, escaleras y otros).

- La Madera es resistente al tiempo y a la meteorología.
- La Madera se puede utilizar tanto en interior como en exterior.
- El mantenimiento de la Madera no es especialmente costoso.
- La Madera no es un material frágil, ni fácilmente atacable por insectos o plagas
- La Madera es muy moldeable y adaptable para el arquitecto.
- La Madera no es un material especialmente caro.
- La Madera es más estética, es un elemento orgánico y su contacto es cercano y agradable.
- La Madera, si se toman mínimas precauciones, no tiene por qué ser representar peligro de incendio En definitiva, en el Sector de la Construcción, la madera es un material de futuro: moderno, natural, renovable, fácil de manipular y agradable.

**Figura 2 - 15: Construcción de casa de madera**



Fuente: [www.maderaindustrial.com](http://www.maderaindustrial.com) (pisos y puertas).

A continuación veamos algunas medidas estándar de algunos muebles tipo.

**Tabla 2 - 5: Medidas estándar de muebles**

Artículo	Largo [cm]	Alto [cm]	Ancho [cm]
Puertas	-	205	60 - 100
Ventanas	-	100	-
Sillas	-	100	44
Mesas	160	80	100-200
Escritorio	120	80	70

Fuente: Cámara Nacional de Comercio (medidas estándar)

- Maderas para artesanías: las artesanías son un importante rubro en las exportaciones a Europa y los Estados Unidos es por eso que no se debe menospreciar su aporte.

**Figura 2 - 16: Juguetes de madera**



Fuente: [www.artemad.com](http://www.artemad.com) (artesanías de madera).

**Figura 2 - 17: Piezas decorativas**



Fuente: [www.artemad.com](http://www.artemad.com) (artesanías de madera).

### 2.1.9 Micro y Pequeña Empresa (PYMES)

La tipificación de las PYMES, debe considerarse fundamental, dado que establece ciertos límites en relación con los rendimientos a escala, la capacidad de comercialización, la división sectorial, el tamaño de los mercados, el nivel de capacitación de la mano de obra, la lógica de funcionamiento y organización; y finalmente, pero no por ello menos importante su participación en el crecimiento económico del país en el que se desarrolle. Tradicionalmente se define a la pequeña y mediana empresa (PYMES), en función de la cantidad de recurso humano, al capital financiero o físico que posee y al valor de las ventas y de los activos en el período de un año. Desde esta perspectiva se han especificado, según la Organización Internacional del trabajo (OIT) principalmente sus definiciones:

- Por número de empleados: consideran que una Microempresa es una unidad productiva que posea cuatro trabajadores o menos. Sin embargo, podemos llegar a la conclusión de que no existe un criterio uniforme, en lo que se refiere al número de trabajadores empleados, para clasificar a una unidad productiva como microempresa. Sin embargo, esta definición, establecida solamente por la cantidad de recurso humano ocupado, incorpora y agrupa en una sola categoría a todas las pequeñas unidades productivas. De este modo, excluye una importante variedad de procesos, interrelaciones, realidades sociales de los gestores de estas unidades, y desconoce u omite la existencia de funciones de producción muy distintas en los diferentes sectores económicos (comercio, industria y servicios) a las que se dedican estas pequeñas unidades.

- Según el valor de los activos y ventas anuales: según esta definición, una unidad productiva será considerada microempresa si tiene ventas anuales por un monto igual o menor a los US\$150.000,00 anuales.

La clasificación de las PYMES, basada en el número de empleados y complementada con el valor de las ventas y los activos, debe considerarse como importante dado que establece ciertos límites en relación con los rendimientos a escala y

la capacidad de comercialización. Sin embargo, estas definiciones dejan de lado en forma explícita un grupo de elementos no menos importantes como: la división sectorial, el tamaño de los mercados, el nivel de capacitación de la mano de obra y la lógica de funcionamiento y organización.

El término microempresa, de acuerdo a Jorge Arroyo<sup>1</sup> se refiere genéricamente a las unidades económicas productivas de baja capitalización, que operan bajo riesgo propio en el mercado; por lo general, nacen de la necesidad de sobrevivencia de sus propietarios. La baja capitalización inicial de las PYMES tiende a reproducir, en la mayoría de ellas, un círculo vicioso: baja productividad de la mano de obra, bajos ingresos, escasa capacidad de reinversión productiva, la cual sin la intervención consistente en políticas estatales, no podrá insertarse adecuadamente en la economía de los países.

A partir de esta definición se establecen diferencias sustantivas entre la Micro y la Pequeña, Mediana o Grande:

- **El nivel de capitalización**, que en las microempresas suele ser extremadamente bajo y que limita, si no niega, su adecuado funcionamiento y su inserción en los mercados.
- **El origen** ya que nacen por la falta de empleo y por la necesidad de sobrevivencia, es decir no la búsqueda de lucro, posible a partir de la acumulación.
- **El autoempleo**, ya que no se contrata mano de obra adicional o asalariada.

La clasificación de las microempresas con base en estos parámetros cuantitativos se constituye en un elemento necesario pero no suficiente para conceptualizar de forma adecuada estas unidades productivas. Sin embargo, la definición exacta de una microempresa depende de la legislación de cada país.

De cualquier forma, la microempresa es el principal modelo que eligen los emprendedores y las emprendedoras al momento de organizarse e intentar alcanzar sus

objetivos, y que presenta como principal ventaja la flexibilidad con la que actúan, tanto a nivel del personal, como a otros niveles (disponibilidad geográfica, adaptabilidad del producto al mercado, transformación rápida, toma rápida de decisiones, etc.), ventajas que deben aprovechar para poder hacerse con un espacio en el mercado, muchas veces muy competitivo y maduro. Algunas otras ventajas de las microempresas son:

- Al igual que la pequeña y mediana empresa es una fuente generadora de empleos.
- Se transforman con gran facilidad por no poseer una estructura rígida.
- Son flexibles, adaptando sus productos a los cambios del Mercado.

## 2.2 Marco Teórico

Conviene establecer la diferencia entre dos conceptos similares que suelen confundirse: *Desecación*, que consiste en la eliminación de agua de un material hasta que su contenido esté en equilibrio con el aire que lo rodea, y *deshidratación*, que consiste en la eliminación prácticamente total del agua que pueda contener. La diferencia entre estos conceptos es, básicamente cuantitativa.

### 2.2.1 Cinética del Secado

Se define la velocidad de secado por la pérdida de humedad del sólido húmedo en la unidad de tiempo, y más exactamente por el cociente diferencial ( $-dX/d\theta$ ) operando en condiciones constantes de secado, es decir con aire cuyas condiciones (temperatura, presión, humedad y velocidad) permanecen constantes con el tiempo. Analíticamente, la velocidad de secado se refiere a la unidad de área de superficie de secado, de acuerdo con la ecuación:<sup>4</sup>

$$W = \frac{S}{A} \left( - \frac{dX}{d\theta} \right) \quad (2.3)$$

---

<sup>4</sup> JOAQUIN OCON GARCIA / GABRIEL TOJO BARREIRO 1967. "Problemas de Ingeniería Química" Tomo 2. Colección ciencia técnica – Aguilar pag 243.

Siendo:

$S$ : Peso de sólido seco.

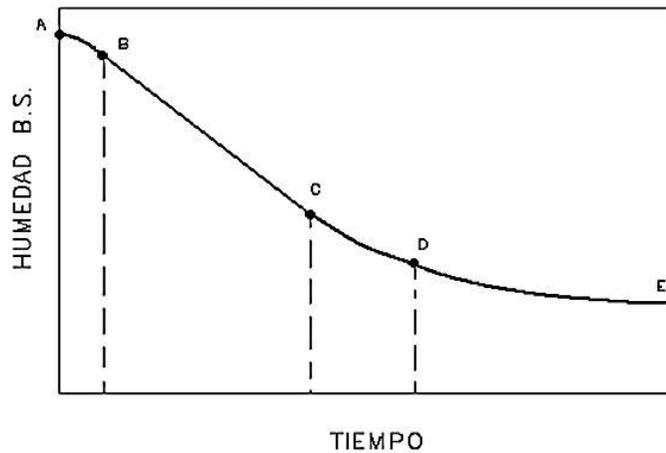
$A$ : Área de superficie expuesta.

$W$ : Velocidad de secado.

Al desecar un sólido húmedo con aire caliente, el aire aporta el calor sensible y el calor latente de la evaporación de la humedad y también actúa como gas portador para eliminar el vapor de agua que se forma en la vecindad de la superficie de evaporación.

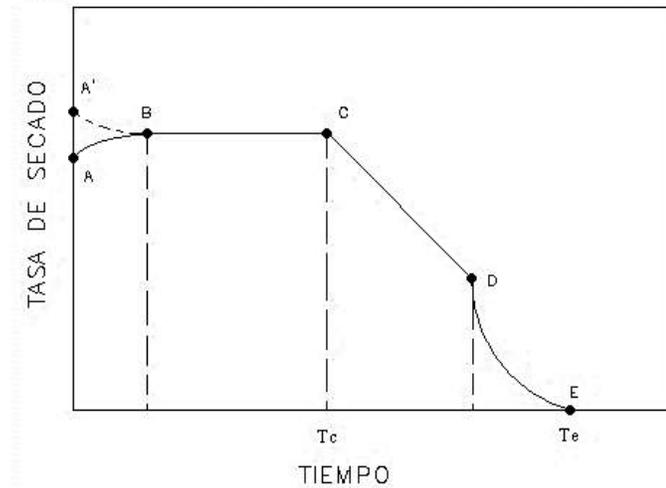
En los gráficos 2-2, 2-3 y 2-4, se muestran las curvas típicas, para condiciones de secado constantes.

**Gráfico 2 - 2: Humedad vs. Tiempo**



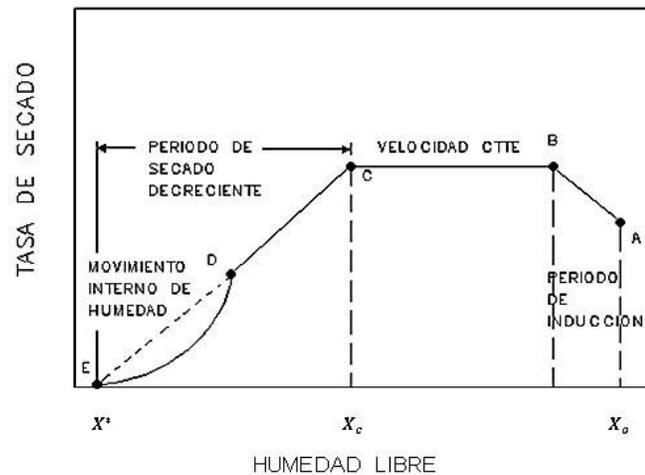
Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 2 - 3: Tasa de secado vs. Tiempo**



Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 2 - 4: Tasa de secado vs. Humedad libre**



Fuente: Elaboración propia.

Si se empieza con un tiempo cero, el contenido inicial de humedad libre corresponde al punto **A**. Al principio, el sólido suele estar a una temperatura inferior a la que tendrá al final y la velocidad de evaporación irá en aumento. Al llegar al punto **B**, la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio. Este período inicial de ajuste o “estabilización” con estado inestable suele ser bastante corto y generalmente se ignora en el análisis de los tiempos de secado. La curva de la figura es recta entre los puntos **B** y **C**, por lo que la pendiente y la velocidad son constantes durante este período. A esta

zona se le conoce como región de velocidad de secado constante. En el punto *C* de la gráfica, la velocidad de secado comienza a disminuir durante el período de velocidad decreciente, hasta llegar al punto *D*. Finalmente, en el punto *D*, la velocidad de secado disminuye con más rapidez aún, hasta que llega al punto E, donde ya no es apreciable.

Durante el período de secado constante, la superficie del sólido está muy mojada y sobre ella existe una película de agua. Esta capa de agua, llamada humedad no ligada, está siempre sin combinar y actúa como si el sólido no estuviera presente. Si el sólido es poroso, la mayor parte del agua que se evapora durante el período de velocidad constante proviene del interior del sólido. Este período continuará mientras el agua siga llegando a la superficie con la misma rapidez con la que se evapora. Durante esta fase, la velocidad de secado depende de la velocidad de transferencia de calor a la superficie de desecación. La velocidad de transferencia de masa se equilibra con la velocidad de transferencia de calor, de forma que la temperatura en la superficie de secado se mantiene constante, tal como ocurre con la temperatura de la camisa de un termómetro de bulbo húmedo. En tanto la tasa de evaporación superficial controle el proceso (período velocidad de secado constante), la tasa de secado constante  $W_c$ , se puede calcular mediante un balance de calor (2.4).

Aplicando un balance de calor:

$$\text{Calor latente de evaporación} = \text{Calor transferido por convección}$$

$$-\left(\frac{dX}{d\theta}\right)_c \Delta H_{fg} = h_c (t - t_w) \quad (2.4)$$

Siendo:

$\Delta H_{fg}$ : Calor latente de vaporización del agua.

$h_c$ : Coeficiente de transmisión de calor por convección.

$t$ : Temperatura del bulbo seco.

$t_w$ : es la temperatura del bulbo húmedo.

$W_c = -\left(\frac{dX}{d\theta}\right)_c$  y despejando en (2.4) tenemos:

$$W_c = \frac{h_c (t - t_w)}{\Delta H_{fg}} \quad (2.5)$$

El punto **C** de la gráfica corresponde a la situación en la cual no hay suficiente agua en la superficie para mantener una película continua. La superficie ya no está totalmente mojada, y la porción mojada comienza a disminuir durante este período y como la velocidad de secado es función del área total, esta velocidad decrecerá, aunque la velocidad de secado por unidad de área permanezca constante. El contenido de humedad en el punto **C** se conoce como *humedad crítica*  $X_c$ , y el período que continúa a partir de ese punto se conoce como *período de velocidad decreciente*. La naturaleza del movimiento de humedad desde el interior del sólido hacia la superficie influencia el comportamiento del sólido en el período de secado decreciente. Existen varios mecanismos que rigen el control de migración de humedad en el período decreciente de humedad. Los más importantes son *difusión*, *capilaridad* y *gradiente de presión* causado por el encogimiento del sólido.

*En el primer período de velocidad decreciente*, que se conoce como *período de secado de superficie no saturada*, la velocidad de secado decrece linealmente con respecto al contenido de humedad. Este período puede estar o no presente en el proceso, o puede representar todo el período de velocidad decreciente dependiendo del tipo de material. *El segundo período de velocidad decreciente*, que se conoce como *período de difusión*, empieza en el punto **D**. El plano de evaporación comienza a desplazarse con lentitud por debajo de la superficie. El calor para la evaporación se transfiere a través del sólido hasta la zona de vaporización. El agua vaporizada atraviesa el sólido para llegar hasta la corriente de aire hasta que se alcanza la *humedad de equilibrio*  $X^*$ . Es posible que la cantidad de humedad que se elimina durante el período de velocidad decreciente sea pequeña, no obstante, el tiempo requerido puede ser largo.

El fenómeno de capilaridad es el responsable del movimiento del líquido en el lecho durante el proceso de secado. La velocidad de secado en el *período poscrítico*, en

el caso de un control por capilaridad viene dada por la ecuación (2.6):

Gráficamente a partir del Gráfico 2 - 4 es posible determinar la velocidad de secado descendiente, asumiendo que la velocidad de secado en ese periodo varía linealmente con la humedad.

$$W = W_c - \left( \frac{X_c - X}{X_c - X_f} \right) (W_c - W_f) \quad (2.6)$$

Sin olvidar que,  $X_f \leq X \leq X_c$

Las variables que influyen en la velocidad de secado son:

- Naturaleza del material: Resulta evidente que se obtendrán curvas distintas dependiendo de las características del material a secar.

- Temperatura del aire: Cuanto mayor sea la temperatura del aire de secado (manteniendo constante el resto de las variables), mayor será la velocidad de secado, y las curvas presentarán mayor pendiente.

- Velocidad másica del aire: Con este parámetro se pueden presentar dos tipos de comportamiento. En el primero la velocidad de secado es directamente proporcional a la velocidad del aire. En el segundo caso, la velocidad de secado es prácticamente independiente de la velocidad del aire, lo que indica que en este caso la etapa controlante es la transferencia de materia a través del sólido, que lógicamente no se ve afectada por la velocidad del aire.

- Humedad absoluta del aire: Al aumentar la humedad absoluta del aire disminuye lógicamente, la velocidad de secado, al hacerlo la fuerza impulsora en la fase gas.

### 2.2.1.1 Tiempo de Secado

Si se desea determinar el tiempo de secado de un sólido en las mismas condiciones en las que se determinó la Gráfico 2-3, sólo se requiere leer la diferencia de tiempo entre el contenido inicial y final de humedad.

Si se dispone de los datos de humedad inicial  $X_i$ , humedad crítica  $X_c$ , humedad final  $X_f$  y  $W_c$ , el tiempo de secado total se puede calcular teóricamente a partir de la ecuación (2.7):<sup>5</sup>

$$\theta_T = \theta_c + \theta_p \quad (2.7)$$

Siendo:

$\theta_t$ : Tiempo total

$\theta_c$ : Tiempo en el periodo antecrítico (constante)

$\theta_p$ : Tiempo en el periodo poscrítico (decreciente)

El tiempo de secado en el periodo de secado constante  $\theta_c$ , se calcula integrando  $W_c$  con respecto al tiempo:

$$\theta_c = -\frac{S}{A} \int_{X_i}^{X_c} \frac{dX}{W_c} \quad (2.8)$$

De donde:

$$\theta_c = \frac{S}{A} \frac{X_i - X_c}{W_c} \quad (2.9)$$

El tiempo total, incluyendo el período de secado decreciente  $\theta_p$ , se calcula reemplazando la ecuación (2.6) en la ecuación (2.3) e integrando tenemos:

$$\int_{\theta_c}^{\theta_t} d\theta = \frac{S}{A} \int_{X_c}^X \frac{(X^* - X_c)}{W_c (X - X^*)} dX \quad (2.10)$$

Reordenando y resolviendo, nos queda que:

$$\theta_T - \theta_c = \frac{S}{A} \frac{X_c - X^*}{W_c} \ln \left( \frac{X_c - X^*}{X - X^*} \right) \quad (2.11)$$

Despejando  $\theta_p$  de la ecuación (2.7) y reemplazando en la ecuación queda:

---

<sup>5</sup> JOAQUIN OCON GARCIA / GABRIEL TOJO BARREIRO 1967. "Problemas de Ingeniería Química" Tomo 2. Colección ciencia técnica – Aguilar pag 251.

$$\theta_p = \frac{S}{A} \frac{X_c - X^*}{W_c} \ln \left( \frac{X_c - X^*}{X - X^*} \right) \quad (2.12)$$

Sustituyendo (2.12) en (2.7):

$$\theta_T = \frac{S}{A} \left[ \frac{X_i - X_c}{W_c} + \frac{X_c - X^*}{W_c} \ln \left( \frac{X_c - X^*}{X - X^*} \right) \right] \quad (2.13)$$

### 2.2.1.2 Circulación de Aire

El aire circula dentro del secador con el fin de entregar calor a los productos, así como eliminar la humedad evaporada del mismo. Esta circulación se logra por diversos métodos, donde los más importantes son:

- Circulación forzada: El aire es movido por un ventilador que consume energía mecánica o eléctrica.

- Circulación por convección natural: El aire es movido por las diferencias de temperatura entre las distintas partes del equipo, que promueven la convección térmica del aire. No se necesita energía externa. El uso de chimeneas constituye un caso particular de convección natural.

La circulación forzada facilita el diseño en el caso de los equipos de mayor tamaño. Este tipo de circulación también facilita el control del proceso de secado. La circulación forzada permite mayor libertad en la colocación de los diversos elementos que integran el equipo.

Usando este tipo de circulación se pueden obtener *velocidades de circulación de aire entre (0,5 a 10) m/s* y no hay problemas de circulación de aire para equipos de tamaño mayor.

La principal desventaja de la circulación forzada es el hecho de que se debe disponer de una fuente de energía, en la mayoría de los casos.

### 2.2.1.3 Dirección del Flujo de Aire respecto a la Superficie de Secado

- Flujo paralelo: En este sistema la dirección del aire de secado fluye paralelo a la superficie de secado. El contacto del aire ocurre, primordialmente en la interfase

entre el aire de secado y la superficie del sólido a secar con, posiblemente, cierta penetración del aire en el material cerca de la superficie. La cama de material se encuentra usualmente estática. Para materiales sólidos dispuestos en planchas sobre bandejas o cintas y flujo paralelo, el coeficiente de transferencia de calor  $h_c$  por convección en Sistema Internacional y Valores de  $G$  comprendidos entre 2.500 y 30.000  $Kg/h m^2$  °C, se puede calcular con la ecuación (2.14):

$$h_c = 0,0175 G^{0,78} \left[ \frac{Kcal}{h m^2 °C} \right] \quad (2.14)$$

Para flujo de aire paralelo a una superficie lisa de longitud  $L$ , el valor medio de  $h_c$  viene dado por:

$$Nu_m = \frac{h_c L}{k} = 0,664 Re^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}} \quad (2.15) \quad Re = \frac{v \rho L}{\mu} < 100.000 \quad (2.16)$$

y

$$Nu_m = \frac{h_c L}{k} = 0,057 Re^{0,78} Pr^{0,78} \quad (2.17) \quad Re > 500.000 \quad (2.18)$$

Siendo:

$h_c$ : Coeficiente de transmisión de calor por convección.

$L$ : Longitud de la superficie de secado.

$k$ : Conductividad térmica del aire.

$G$ : Flujo másico.

$Re$ : Número de Reynolds.

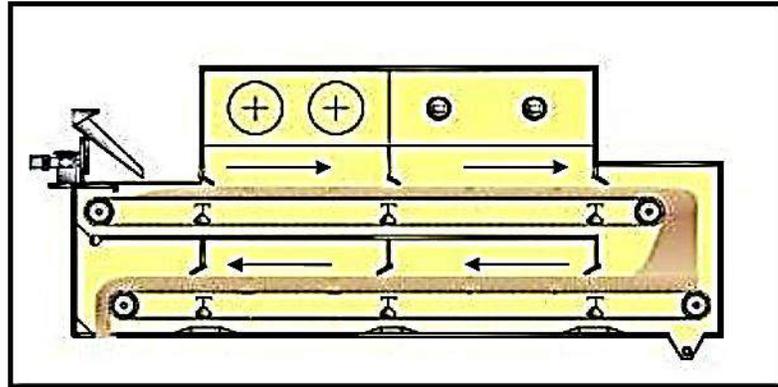
$$Pr = \frac{v}{a}$$

$v$ : Velocidad del aire.

$\rho$ : Densidad del material.

$\mu$ : Viscosidad del aire.

Figura 2 - 18: Flujo paralelo

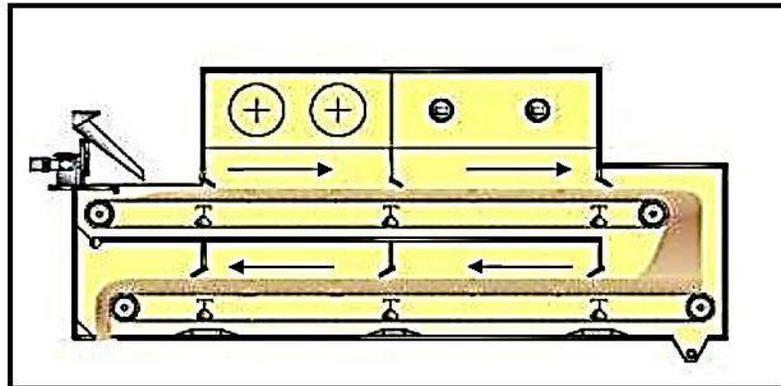


Fuente: www.wenger.com

- Flujo Perpendicular: La dirección del aire de secado es normal a la superficie de secado. La penetración del aire dentro de la superficie del material es mayor que en el flujo paralelo. Usualmente en este caso, la cama de material se encuentra también en estado estático. Para materiales sólidos dispuestos en planchas sobre bandejas o cintas y flujo perpendicular, el coeficiente de transferencia de calor por convección  $h_c$  en Sistema Internacional, se puede calcular con la ecuación (2.19):

$$h_c = G^{0.37} \left[ \frac{Kcal}{h m^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \right] \quad (2.19)$$

Figura 2 - 19: Flujo perpendicular



Fuente: www.wenger.com

### 2.2.2 Propiedades Termodinámicas del Aire Húmedo

- Psicrometría: La psicrometría se define como “aquella rama de la física relacionada con la medición o determinación de las condiciones del aire atmosférico, particularmente respecto de la mezcla de aire seco y vapor de agua”, o bien “aquella parte de la ciencia que está en cierta forma íntimamente ligada a las propiedades termodinámicas del aire húmedo”.

- Temperatura del Bulbo Seco ( $t$ ): La temperatura de bulbo seco, es la verdadera temperatura del aire húmedo y con frecuencia se le denomina sólo temperatura del aire. Es la temperatura del aire que marca un termómetro común.

- Temperatura del Bulbo Húmedo ( $t_w$ ): La temperatura termodinámica de bulbo húmedo, es la temperatura de equilibrio que se alcanza cuando la mezcla de aire seco y vapor de agua pasa por un proceso de enfriamiento adiabático hasta llegar a la saturación. Una definición simple de este concepto es la siguiente: “Es la temperatura indicada por un termómetro que tiene su bulbo humedecido e inmerso en una corriente de aire”. Esta temperatura puede ser determinada de la carta psicrométrica para aire húmedo, para el período de secado constante.

- Presión de vapor ( $P_v$ ): La presión de vapor, es la presión parcial que ejercen las moléculas de vapor de agua presentes en el aire húmedo. Cuando el aire está totalmente saturado de vapor de agua, su presión de vapor se denomina presión de vapor saturado ( $P_v^*$ ).

- Humedad Relativa ( $\phi$ ): La humedad relativa del aire, se define como la relación entre la presión de vapor de agua en un momento dado ( $P_v$ ) y la presión de vapor de agua cuando el aire está saturado de humedad ( $P_v^*$ ), a la misma temperatura. Aire absolutamente seco, sin vapor de agua en su interior, contiene una humedad relativa de 0%, mientras que el aire saturado de agua tiene una humedad relativa de 100%. **La cantidad de vapor de agua que el aire puede absorber depende, en gran medida, de su temperatura. A medida que el aire se calienta, su humedad relativa decae y, por tanto, puede absorber más humedad. Al calentarse el aire alrededor**

**del producto, éste se deshidrata más rápidamente.**

$$\varphi = \frac{Y}{Y^*} = \frac{P_v}{P_v^*} \left( \frac{P - P^*}{P - P_v} \right) \quad (2.20)$$

-Humedad absoluta: Es la relación entre el peso de vapor y el peso de gas contenido en una masa gaseosa

$$Y = \frac{M_v}{M_g} Y_m = \frac{M_v}{M_g} \frac{P_v}{P - P_v} \left[ \frac{kg_{vapor}}{Kg_{aire seco}} \right] \quad (2.21)$$

Siendo  $M_v$  y  $M_g$  las masas moleculares del vapor y el gas y  $Y_m$  la humedad molar.

$P$  la presión atmosférica y  $P_v$  la presión de vapor a la temperatura dada.

Para el caso de aire - vapor de agua

$$Y = \frac{18}{29} \frac{P_v}{P - P_v} = 0,62 \frac{P_v}{P - P_v} \left[ \frac{kg_{vapor}}{Kg_{aire seco}} \right] \quad (2.22)$$

-Volumen específico: El volumen específico del aire húmedo, se define como el volumen que ocupa la mezcla de aire seco y vapor de agua por unidad de masa de aire seco. La masa específica del aire húmedo no es igual al recíproco de su volumen específico. La masa específica del aire húmedo es la relación entre la masa total de la mezcla y el volumen que ella ocupa.

$$V = \left( \frac{1}{M_g} + \frac{Y}{M_v} \right) \frac{RT}{P} \left[ \frac{m^3}{kg_{aire seco}} \right] \quad (2.23)$$

$R$  la constante universal de los gases,  $P$  la presión atmosférica y  $T$  la temperatura de operación en  $^{\circ}K$ .

-Calor específico del gas húmedo: Es el calor que hay que suministrar a 1 kg de gas y al vapor que contiene para elevar  $1^{\circ}C$  su temperatura, manteniendo constante la presión.

$$c = c_{p(g)} + c_{p(v)} Y \left[ \frac{Kcal}{kg_{aire seco}^{\circ}C} \right] \quad (2.24)$$

Dónde:  $c_{p(g)}$  el calor específico del gas (aire) y  $c_{p(v)}$  el calor específico del vapor.

Para el caso de aire - vapor de agua

$$c = 0,24 + 0,46Y \quad (2.25)$$

-Entalpía específica: La entalpía de aire seco y vapor de agua, es la energía del aire húmedo por unidad de masa de aire seco, por encima de una temperatura de referencia.

$$i = c(t - t_w) + \lambda_w Y \left[ \frac{Kcal}{kg \text{ aire seco}} \right] \quad (2.26)$$

$t$  y  $t_w$  la temperaturas en  $^{\circ}C$  y  $\lambda_{t_w}$  el calor latente de vaporización.

Para el caso de aire – agua, tomando como entalpía de referencia la del agua líquida a  $0^{\circ}C$ ,

$$i = (0,24 + 0,46 Y) t + 597,2 Y \quad (2.27)$$

-Carta Psicrométrica: Las propiedades termodinámicas de la mezcla de aire seco y vapor de agua que constituyen el aire atmosférico, se pueden presentar adecuadamente en forma de gráfico, con el nombre de carta psicrométrica, el cual se construye según una presión atmosférica determinada., aunque suele haber curvas de corrección para otras presiones.

En el **ANEXO 3**, tenemos la carta psicrométrica a  $495 \text{ mmHg}$ , la presión atmosférica de La Paz.

### 2.2.3 Transmisión de Calor

Se ha descrito a la transferencia de calor como el estudio de las velocidades a las cuales el calor se intercambia entre fuentes de calor y receptores, tratados usualmente de manera independiente. Los procesos de transferencia de calor se relacionan con las razones de intercambio térmico, tales como las que ocurren en los equipos de

transferencia de calor, tanto en la ingeniería mecánica como en los procesos químicos.

Un problema típico de procesos de transferencia de calor involucra las cantidades de calor que deben transferirse, las razones a las cuales pueden transferirse debido a la naturaleza de los cuerpos, la diferencia de potencial, la extensión y arreglo de las superficies que separan la fuente y el receptor, y la cantidad de energía mecánica (física) que debe disiparse para facilitar la transferencia de calor. Puesto que la transferencia de calor considera un intercambio en un sistema, la pérdida de calor por un cuerpo deberá ser igual al calor absorbido por otro dentro de los confines del mismo sistema.

Cuando dos objetos que están a temperaturas diferentes se ponen en contacto térmico, el calor fluye desde el objeto de temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja. El flujo neto se produce siempre en el sentido de la temperatura decreciente. Los mecanismos por los que fluye calor son tres: *conducción*, *convección* y *radiación*.

### 2.2.3.1 Formas de Trasmisión de Calor

Puesto que la transferencia de calor considera un intercambio en un sistema, la pérdida de calor por un cuerpo deberá ser igual al calor absorbido por otro dentro de los confines del mismo sistema.

Cuando dos objetos que están a temperaturas diferentes se ponen en contacto térmico, el calor fluye desde el objeto de temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja. El flujo neto se produce siempre en el sentido de la temperatura decreciente. Los mecanismos por los que fluye calor son tres: *conducción*, *convección* y *radiación*.

- Conducción: Los fundamentos de la conducción de calor se establecieron hace más de un siglo y se atribuyen generalmente a **Fourier**.

$$q = k \frac{A}{L} \Delta t \quad (2.28)$$

Dónde:

$q$ : Calor transferido.

$k$ : Conductividad térmica.

$A$ : Área de transferencia.

$L$ : Separación entre la diferencia de temperatura.

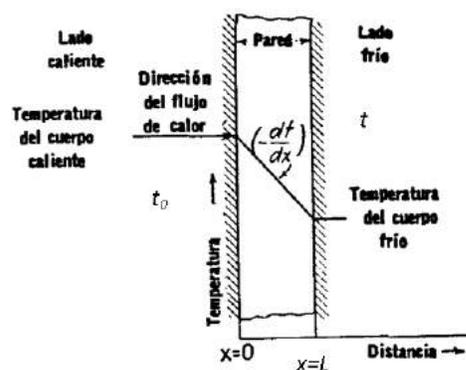
$\Delta t$ : Diferencia de temperatura.

### ➤ Flujo de Calor a través de una Pared:

Si existe un gradiente de temperatura en una sustancia el calor puede fluir sin que tenga lugar un movimiento observable de la materia. En los sólidos metálicos la conducción de calor resulta del movimiento de los electrones no ligados y existe una estrecha relación entre la conductividad térmica y eléctrica. En sólidos que son malos conductores de la electricidad, y en la mayor parte de los líquidos, la conducción de calor se debe al transporte de la cantidad de movimiento de las partículas individuales a lo largo del gradiente de temperatura. En gases la conducción se produce por el movimiento al azar de las moléculas, de forma que el calor “*difunde*” desde las zonas más calientes a las más frías.

El ejemplo más común de conducción es el flujo de calor en sólidos opacos, tales como la pared de ladrillo de un horno o la pared metálica de un tubo.

Figura 2 - 20: Flujo de Calor a través de una pared



Fuente: Transferencia de calor (J. P. Holman 10ma edición)

De la ecuación (2.4) se obtuvo la ecuación general cuando el flujo de calor y las temperaturas de entrada y salida, fueron constantes.

$$q = k A \left( -\frac{dt}{dx} \right) \quad (2.29)$$

$$q \int_0^L dx = -k A \int_{t_0}^t dt \quad (2.30)$$

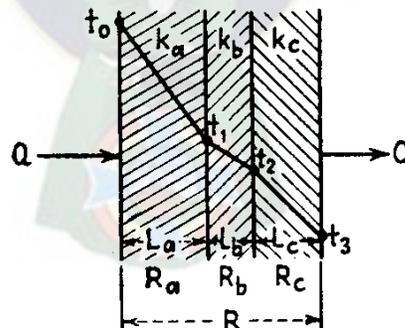
Integrando y reordenando tenemos:

$$q = k \frac{A}{L} (t_0 - t) \quad (2.31)$$

➤ **Flujo de Calor a través de una Pared Compuesta:**

La ecuación de flujo de calor a través de una pared es de interés cuando la pared consiste de varios materiales colocados juntos en serie, tales como en la construcción de un horno o cámara de combustión. Refiriéndonos a la Figura 2 - 11, se colocan tres diferentes materiales refractarios en serie, indicados con las letras *a*, *b*, *c*. Para la pared total.

**Figura 2 - 21: Flujo de Calor a través de una pared compuesta**



Fuente: Transferencia de calor (J. P. Holman 10ma edición)

El flujo de calor a través del material *a* debe vencer la resistencia  $R_a$ , pero al pasar a través del material *a* el calor también pasa a través de los materiales *b* y *c* en serie. El calor que entra por la cara izquierda debe ser igual a calor que sale por la cara derecha, puesto que nos encontramos en estado estacionario. Si  $R_a$ ,  $R_b$  y  $R_c$  son diferentes, como resultado de diferente conductividad y grosor, la razón de la diferencia

de temperatura a través de cada capa a su resistencia, deberá ser la misma que la razón de la diferencia total de temperatura a la resistencia total, o

$$q = \frac{\Delta t}{R} = \frac{\Delta t_a}{R_a} = \frac{\Delta t_b}{R_b} = \frac{\Delta t_c}{R_c} \quad (2.32)$$

Para un sistema compuesto con temperaturas reales

$$q = \frac{\Delta t}{R} = \frac{t_0 - t_1}{R_a} = \frac{t_1 - t_2}{R_b} = \frac{t_2 - t_3}{R_c} \quad (2.33)$$

Reacomodado y sustituyendo tenemos:

$$q = \frac{\Delta t}{R} = \frac{t_0 - t_3}{\frac{L_a}{k_a A} + \frac{L_b}{k_b A} + \frac{L_c}{k_c A}} \quad (2.34)$$

En el **ANEXO 4** tenemos los coeficientes de conductividades térmicas de los materiales de construcción y aislantes más utilizados.

- Convección: Cuando una superficie se pone en contacto con un fluido a distinta temperatura se produce, en los primeros instantes, una transmisión de calor por conducción, pero una vez que el fluido en contacto con la superficie modifica su temperatura sufre una diferencia de densidad respecto al resto del fluido, que hace que sea desplazado por éste al actuar las fuerzas gravitatorias, lo que incrementa la transferencia del calor en una magnitud muy superior al de la mera conducción. Este fenómeno se denomina *convección libre o natural*, que es la que se suele considerar en ambientes interiores, ya que se estima que el aire permanece prácticamente en reposo.

Otro caso es aquel en que el aire se mueve fundamentalmente debido a fuerzas exteriores, tales como el viento, en cuyo caso el proceso de transferencia de calor se incrementa notablemente y se denomina *convección forzada*, que es el que habitualmente se considera en superficies en contacto con el ambiente exterior.

Existe un tercer caso, intermedio entre los anteriores, en que las fuerzas actuantes, debidas a la variación de la densidad y las acciones exteriores (viento), son de magnitud parecida, produciéndose una superposición de los efectos de la convección

libre y la forzada, y que se denomina *convección mixta*. Es el caso más general porque en la práctica siempre hay variación de densidad y además el aire no está en reposo absoluto.

➤ **Coefficiente superficial de transmisión del calor**

Se define el *coeficiente superficial de transmisión del calor*  $h$ , también llamado *coeficiente de película o conductancia superficial*, como el parámetro que relaciona el flujo de calor  $q$  entre una superficie y el ambiente como función lineal de la diferencia de temperatura superficie-aire, tal como es utilizado en la **ley de enfriamiento de Newton**:

$$q = h A \Delta t \quad (2.35)$$

Dónde:

$q$ : Calor transferido.

$h$ : Coeficiente de convección térmica.

$A$ : Área de transferencia.

$\Delta t$ : Diferencia de temperatura.

#### 2.2.4 Métodos de Secado

- Secado al aire: es el secado que se efectúa usando el viento natural y el sol. La madera es apilada de manera que permita a los vientos predominantes soplar por la pila y secarla. Este método es estrictamente dependiente del clima, que puede secar demasiado rápido y causar daños, o secarlo demasiado despacio, que es caro. Para una madera que debe ser usada en muebles o algún otro producto que requiere un contenido de humedad del 6 a 8 %, el aire por sí mismo no puede hacer el trabajo completo. A menudo es usado como un primer el paso, colocando la madera en un horno para finalizar el secado. El secado al aire produce verdaderos problemas siendo a menudo el modo más caro de secar, una vez que se considera el capital expuesto, el trabajo, el gasto de tierra, y sobre todo las pérdidas por degradación.

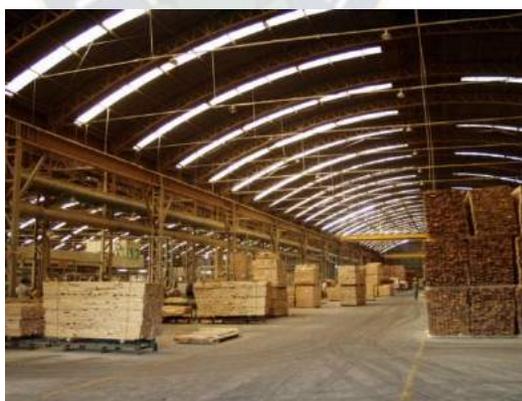
**Figura 2 - 22: Secado al aire**



Fuente: Área de Innovación y Tecnología - Cis-Madera

- Secado en cobertizo: La lluvia y el sol directo pueden dañar severamente la madera mientras se seca al aire. En lugar de secar al aire, muchas veces se opta por depositar la madera bajo techo para evitar los factores climáticos directos. Esto mejora la calidad del secado pero amplía el tiempo del proceso. Esto también requiere una inversión en cobertizos y todavía no permite controlar factores como la humedad, el flujo de aire y las temperaturas.

**Figura 2 - 23: Secado en cobertizo**



Fuente: Área de Innovación y Tecnología - Cis-Madera

- Secado por aire forzado: Tal como el cobertizo descrito antes, excepto que se utilizan ventiladores para forzar el aire por entre la pila de madera, sin depender del viento natural. Esto es más rápido que el secado natural al aire libre o bajo cobertizo, pero el costo de mantener funcionando los ventiladores es bastante alto. También, la inversión de capital es bastante alta en proporción a la suma de secado que puede ser

lograda.

- Pre – secado: Es usado para quitar la mayor parte del agua libre de la madera antes de que sea colocada en un horno para el secado final. En un pre - secador, la madera es apilada en un edificio donde el calor y la humedad son controlados. La temperatura por lo general es mantenida alrededor de 35 ° C. La madera se seca al contenido de humedad del 20 a 30 % y luego colocada en un horno para la sequedad final. Aunque el costo de un pre secador es aproximadamente el mismo que construir un horno cuando se comparan gastos sobre la base de su producción anual, ellos requieren un manejo extra de la madera, y en realidad tienen un costo operacional mayor que los hornos de secado. Ellos por lo general sólo son usados en combinación con hornos viejos o ineficaces que no pueden ser usados para secar madera verde.

- Hornos de secado: En un horno secador, la madera es instalada en una cámara donde el flujo de aire, la temperatura y la humedad son controladas para proveer un rápido secado, hasta donde pueda ser tolerado por la madera sin producirse defectos. Hay varios tipos de hornos, definidos por el modo en que la temperatura y la humedad son controladas. Los tres tipos más comunes son los convencionales, los deshumidificadores y los solares. El secado en una cámara cerrada permite un control preciso sobre las variables críticas (flujo de aire, temperatura y humedad).

Una cámara de secado es un recinto cerrado donde se introduce la madera para ser secada. En este recinto se muestrea y controla la ventilación, la temperatura, la humedad relativa y la humedad de la madera. En el secado en cámaras, se puede extraer tanto el agua libre como el agua de saturación. A continuación se explican brevemente estos procesos.

La extracción del agua libre se da en forma de evaporación rápida. Cuando la madera ya no tiene agua libre en su constitución, se dice que está en el punto de saturación de fibras (PSF). En esta parte del proceso si las condiciones son extremas, la madera puede sufrir el colapso de sus células.

La extracción del agua de saturación es un proceso más lento, continúa hasta llegar al equilibrio higroscópico con la humedad relativa del medio. En esta parte del proceso la madera puede sufrir daños como grietas y endurecimiento.

Para extraer el agua de la madera se conduce el secado dependiendo de la humedad de esta. Existen dos intervalos claramente diferenciados: secado por encima del punto de saturación de fibras (*PSF*) y secado por debajo del punto de saturación de fibras.

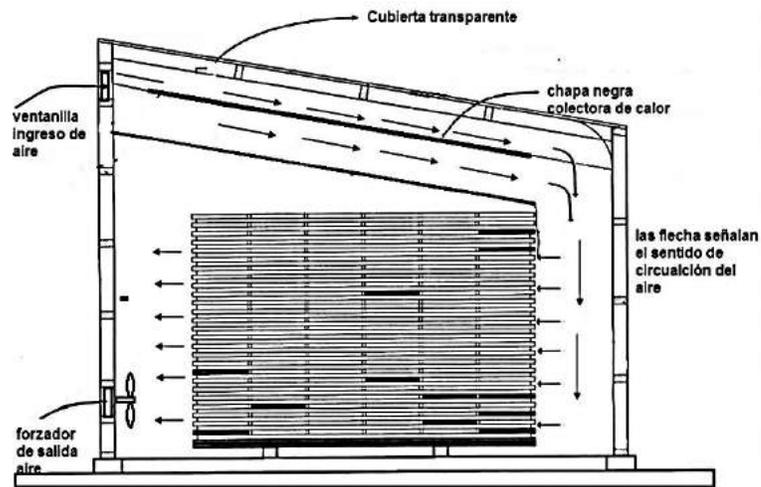
El proceso de secado consta de la *fase previa, secado y finalización*.

#### **2.2.4.1 Tipos de Secaderos**

- Horno solar: Hay varios tipos de hornos solares, pero todos generalmente se basan en algún tipo de colector solar para proporcionar la energía que evapora el agua de la madera. A diferencia de la calefacción solar para una oficina o casa, en su aplicación al secado de madera no es posible reducir los requerimientos de calor al punto donde la calefacción solar puede ser competitiva.

Cuando se ha conseguido remover una cierta cantidad de agua desde una determinada cantidad de madera, se requiere una cierta cantidad de calor que no puede ser alterada, cosa difícil de conseguir en tanto el calor en un horno solar ello depende del clima de día y de noche y es por tanto impredecible. En este tipo de hornos es imprescindible el uso de los ventiladores alimentados por medio de la red de energía eléctrica, que representan un alto costo como ya se mencionó en puntos anteriores.

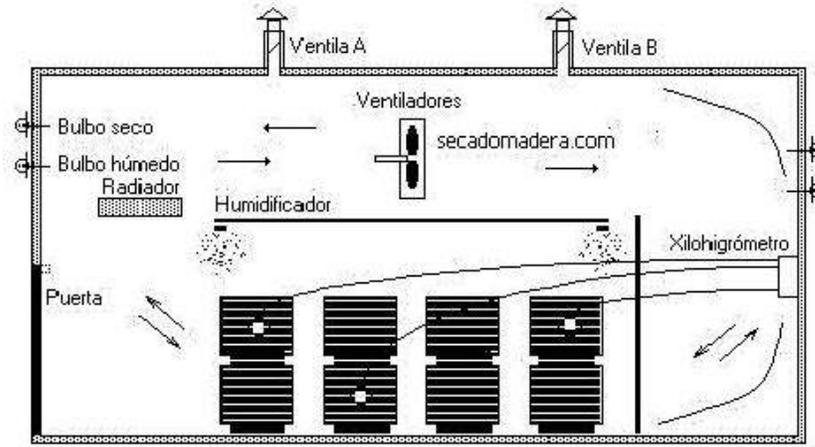
Figura 2 - 24: Esquema de una cámara de secado solar



Fuente: Área de Innovación y Tecnología - Cis-Madera

- Horno convencional: Un horno convencional usa el calor proporcionado por un quemador o una caldera y un intercambiador de vapor o agua caliente, para calentar la cámara del horno y quitar el agua de la madera, la que es convertida en vapor y extraída del horno con el aire caliente. De acuerdo a dicho concepto, este proceso requiere de una gran pérdida de calor para secar, pues tanto el vapor como el aire caliente contienen energía transferida que se lanzan al ambiente exterior del horno.

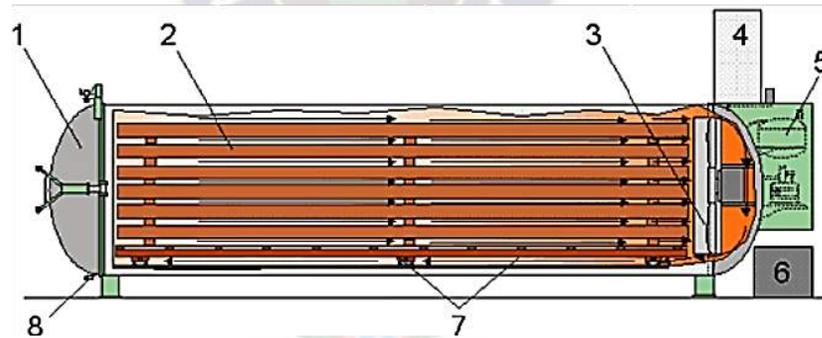
**Figura 2 - 25: Esquema de una cámara de secado convencional**



Fuente: Área de Innovación y Tecnología - Cis-Madera

- Horno de vacío: Cuando se pone madera en un horno de vacío, el agua se vaporiza y escapa rápidamente fuera de la madera. Los hornos de vacío se aprovechan de este hecho para lograr tiempos de secado que son normalmente sólo una fracción del tiempo requerido por los hornos convencionales y los hornos deshumidificadores.

**Figura 2 - 26: Esquema de una cámara de secado de vacío**



- |                       |                        |
|-----------------------|------------------------|
| 1. Puerta             | 5. Generador de vapor  |
| 2. Pila de madera     | 6. Bomba de vacío      |
| 3. Electro ventilador | 7. Carro               |
| 4. Cuadro eléctrico   | 8. Válvula de descarga |

Fuente: Área de Innovación y Tecnología - Cis-Madera

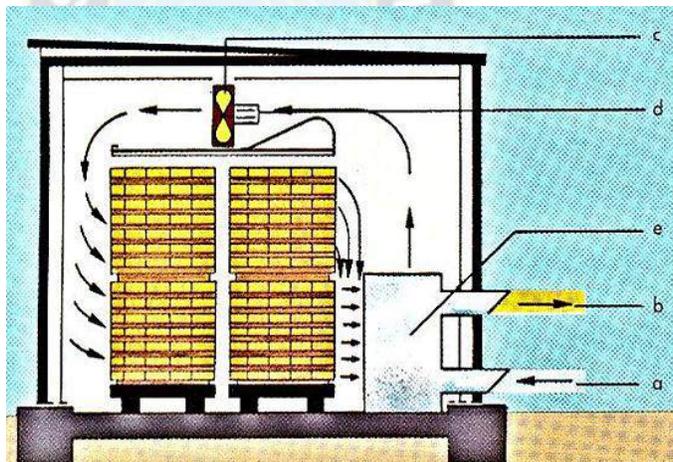
- Horno por deshumidificación: El uso de los deshumidificadores es relativamente nuevo. Fueron usados y desarrollados en Europa Básicamente un deshumidificador consiste en un recinto cerrado, lo más hermético posible, en donde se coloca la madera

en pilas horizontales. Una corriente de aire seco con una humedad relativa entre 15-40% y calentado a temperaturas no superiores a 60°C, es forzado por medio de ventiladores a pasar a través de la pila.

Este aire extrae la humedad de la madera. Luego el aire húmedo pasa por un sistema de refrigeración en donde es enfriado por debajo de la temperatura del punto de rocío; parte de la humedad es condensada y drenada fuera del horno. El aire una vez ha perdido agua es recirculado hacia la madera repitiéndose el ciclo.

La humedad relativa alcanzada en un deshumidificador es generalmente más baja que la que se puede obtener en un horno convencional a la misma temperatura.

**Figura 2 - 27: Esquema de una cámara de secado por deshumidificación**



- a. Ingreso de aire fresco
- b. Salida de aire húmedo
- c. Ventilador axial
- d. Motor
- e. Deshumidificador

Fuente: Área de Innovación y Tecnología - Cis-Madera.

### 2.2.5 Selección del Tipo de Secadero

Existen varios tipos de cámaras de secado. Las más comunes son: De alta temperatura (más de 80 °C), de condensación (bajas temperaturas hasta 50 °C deshumidificación) y cámaras convencionales de temperatura media (hasta 80 °C), que se ajustan a los diversos materiales y las diferentes condiciones a que han de someterse. La selección puede efectuarse con arreglo a varios criterios, basados en estos

aspectos fundamentales:

- Tipo de maderas tratadas.
- Tiempo de secado.
- Calidad requerida.
- Factores económicos.

El Cuadro 2-2 presenta un cuadro ilustrativo referente a la selección del método de secado de acuerdo al producto a secar. Posterior a la selección, se hace el análisis correspondiente para calcular los valores de temperatura, velocidad, presión y humedad a los cuales operará la máquina.

**Cuadro 2 - 3: Ventajas y desventajas de los hornos de secado**

Tipo de Secadero	Ventajas	Desventajas
<b>Horno solar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son equipos de muy bajo costo.</li> <li>- Aprovechan la energía solar.</li> <li>- Son ecológicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La capacidad de trabajo que manejan son muy pequeñas.</li> <li>- La calidad del secado no es muy buena.</li> <li>- El tiempo de secado va de 30 a 60 días.</li> </ul>
<b>Horno convencional</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pueden proveer una muy buena calidad de madera seca si se utiliza una buena curva o programa de secado.</li> <li>- El tiempo de secado toma aproximadamente 2 ½ veces menos que un horno por deshumidificación.</li> <li>- Los costos de mantenimiento son más bajos comparados con los hornos al vacío y por deshumidificación.</li> <li>- Fácil utilización.</li> <li>- Mantenimiento reducido de la instalación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las inversiones son grandes.</li> <li>- Los costos de operación y mantenimiento son altos.</li> <li>- Los costos del horno convencional al botar aire húmedo y caliente perdiendo energía usada para vaporizar el agua.</li> <li>- Problemas de seguridad y riesgo de incendios y explosiones.</li> <li>- Diferencia de la velocidad del aire entre los lados de las pilas de madera.</li> </ul>
<b>Horno de vacío</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los tiempos de secado son normalmente sólo una fracción del tiempo requerido por los hornos convencionales y los hornos deshumidificadores.</li> <li>- La disminución del punto de ebullición del agua incrementa la tasa de evaporación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Este tipo de hornos son costosos debido a la tecnología que manejan el mantenimiento que hay que hacerle.</li> <li>- Las cámaras son pequeñas, así que los hornos no pueden secar cantidades</li> </ul>

	<p>de la superficie.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitados gradientes de humedad entre el interior y la superficie.</li> <li>- La eliminación del riesgo de fisuras, hundimiento o alteración del color.</li> <li>- El secado por vacío puede justificarse a menudo al secar las maderas más duras y más gruesas.</li> </ul>	<p>grandes en cualquier momento.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Los costos de manejo son muy altos debido a las cargas más pequeñas.</li> </ul>
<b>Horno por deshumidificación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un horno deshumidificador es mucho más eficiente en gasto de energía, así que reduce el costo operacional, comparado con un horno convencional.</li> <li>- Se pueden secar especies diferentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Este tipo de hornos son muy caros debido a los equipos que requieren mantenimiento constante.</li> <li>- Además el secado toma más tiempo debido a las temperaturas de operación que no pasan de los 50 °C.</li> <li>- Maderas de grandes espesores, requieren de un mayor tiempo de secado.</li> <li>- El sistema no permite acondicionamiento final.</li> <li>- Rendimientos y costos de secado menores que el secado convencional.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó una escala de 1 a 10, donde el 1 indica el menor grado de conveniencia del secadero para el proyecto por su parte el 10, indica el mayor grado de conveniencia del secadero para el proyecto.

**Tabla 2 - 6: Ponderación referente a la selección del método de secado**

Variables de análisis		Horno solar	Horno convencional	Horno de vacío	Horno por deshumidificación
<b>Forma de Secado</b>	<b>Fuerte (secado fácil)</b>	0*	9	10	4
	<b>Moderado (secado lento)</b>	0*	9	10	6
	<b>Suave (secado difícil)</b>	0*	8	10	10
<b>Tiempo de secado</b>		2	8	10	7
<b>Calidad requerida</b>		5	8	10	10
<b>Factores económicos</b>		8	9	1	9
<b>Tamaño del horno de secado</b>		3	9	2	4
<b>TOTAL</b>		<b>18</b>	<b>60</b>	<b>53</b>	<b>50</b>

\* No se puede controlar las temperaturas de operación debido a que el calor usado depende del clima.

Como resultado de la ponderación realizada en la tabla anterior se determinó realizar el diseño de un secadero de madera del tipo convencional (60), que resultó ser la mejor opción de las cuatro opciones planteadas, veamos en detalle porque es la mejor opción:

- Este tipo de secadero cumple con la demanda de trabajo que exige el secado fuerte, moderado o suave madera. Es cierto que la mejor opción en este apartado es el horno de vacío.
- Respecto al tiempo de secado, el convencional es uno de los mejores ya que no demora más de 20 días.
- La calidad será buena, si el secado no tiene pérdidas de más del 4% está claro que este parámetro solo se puede ver en la práctica pero los expertos recomiendan a este tipo de secadero por su eficiencia.
- En lo económico debe ser uno de los más económicos después del secadero solar y el secadero al vacío es realmente cotoso.
- Este debe ser el punto a favor de este tipo de secaderos ya que es el más usado cuando se trata de manejar grandes volúmenes de madera.

#### **2.2.6 Factores Básicos del Secado de la Madera**

Todas las ventajas del proceso de secado se obtendrán si conocemos los factores básicos en que se sustenta y estos son:

- El calor.
- La humedad del aire.
- La velocidad del aire.

- Factor calor: Es la fuente de la que las moléculas de agua en la madera adquieren la energía cinética necesaria para su evaporación, la cual depende de la cantidad de energía suministrada.

Los elementos a los que debemos suministrar calor son:

- El edificio y el equipo.
- Calentar el aire hasta las temperaturas programadas.

- Factor humedad del aire: El aire es una mezcla principalmente de oxígeno y nitrógeno con pequeñas cantidades de otros gases y vapor de agua llamado humedad del aire.

Para este factor es importante conocer conceptos como *humedad del aire*, *humedad relativa*, *presión de vapor*, *presión de vapor saturado* conceptos ya postulados en el punto 2.1.5.

La relación entre la humedad relativa, la humedad de la madera y la temperatura se ve de la siguiente manera:

**Tabla 2 - 7: Relación entre las variables que influyen en la humedad del aire**

Humedad relativa $\phi$	Humedad de la madera	Temperatura $^{\circ}\text{C}$
↑	↑	↓
↓	↓	↑

Fuente: Elaboración propia.

Estas relaciones se cumplen cuando los procesos se llevan a cabo en un sistema cerrado.

- Factor circulación del aire: En todo proceso de secado la circulación del aire a través de la carga de madera es muy importante. Su movimiento dentro de la cámara es determinante en el proceso de secado artificial, conduce el calor a través de las pilas transmitiendo energía a la madera que a su vez evapora el agua de su interior al exterior facilitando así su traslado fuera de la cámara.

Acerca de la velocidad existe una constante en función a las temperaturas máximas de secado. *Para temperaturas por encima de los 100 °C se recomienda velocidades hasta 5 m/s; por debajo de los 100 °C hasta 3,5 m/s.*

La relación entre la humedad inicial de la madera, la velocidad del aire, el espesor, temperatura inicial del bulbo seco, gradiente de humedad y la velocidad de evaporación del agua se ve de la siguiente manera:

**Tabla 2 - 8: Relación entre variables que influyen en la circulación del aire**

Velocidad del aire	Humedad inicial de la madera	Espesor	Temperatura inicial bs	Gradiente de humedad	Velocidad de evaporación del agua
↑	↑				
↓	↓				
↓		↑			
↓			↓		
↑				↑	
↑					↑

Fuente: Elaboración propia.

- Los Separadores: 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 la Tabla 2 - 9.

**Tabla 2 - 9: Espesor de los separadores**

Espesor de la tabla [mm]	Espesor del separador [mm]	Distancia entre separadores [mm]
Hasta 22	18	300
23 - 28	20	300
29 - 45	25	400
46 - 60	30	600
61 - 70	38	700
70 - 80	55	800

Fuente: Revista "Cis-Madera" Área de Innovación y Tecnología

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  $kg/m^2$ , 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).

- Humedad de uso: En general la madera se debe secar a un contenido de humedad que este + - el 2% de la humedad de uso. Es importante conocer la humedad de uso a donde se destina el producto o la humedad relativa del lugar.

**Tabla 2 - 10: Humedad relativa y de equilibrio en las principales ciudades Bolivia**

Ciudad	Temperatura ambiente [°C]	Humedad relativa $\phi$ [%]	Humedad de Equilibrio $X^*$ [%]
	MAX - MIN		
La Paz	25 - 5	58	11,8
Cochabamba	27 - 15	68	12,5
Potosí	19 - 5	51	7,2
Santa Cruz	30 - 22	70	13,0
Tarija	25 - 13	61	8,0

Fuente: Servicio Nacional de meteorología e hidrología SENAMHI

Como se indicó en un principio, la madera tiende a estabilizarse o mantenerse en un determinado contenido de humedad, llamado contenido de humedad en equilibrio  $X^*$  cuando está en servicio. La humedad en equilibrio  $X^*$  estará en relación con el nivel de humedad relativa y temperatura del aire, pero sobre todo, lo que se debe considerar es que cuando se alcanza el  $X^*$  la madera se mantiene estable también dimensionalmente, evitándose todos los problemas antes indicados. Todo ello se refleja en la calidad del mueble, calidad que se manifiesta desde el proceso de corte, cepillado, pulido y, sobre todo, del comportamiento del artículo o mueble cuando ya está en uso.

**Tabla 2 - 11: Rangos de  $X^*$  al que debe usarse la madera, según artículo a fabricar**

Artículo	Humedad de Equilibrio $X^*$ [%]
Muebles de interior	6 - 10
Muebles para exteriores, pero no expuestos a la lluvia	10 - 14
Muebles para exteriores expuestos a la lluvia	12 - 17
Puertas y ventanas para exteriores	12 - 14
Puertas y ventanas para interiores	8 - 10
Pisos de madera	8 - 10
Cocinas integrales	8 - 10
Vigas	18 - 20

Fuente: Manual práctico para operaciones de cámaras de secado de madera; Leonardo Filomeno Lima. Perú 2007

### 2.2.7 Programas de Secado

Los programas de secado consisten en una tabla de temperaturas y depresiones psicrométricas que sirven de guía al operador para secar una madera dada, con rapidez razonable y con el menor deterioro posible.

En vista de los múltiples factores que intervienen en el secado de la madera y la variedad existente de diseños de hornos en funcionamiento, ningún programa se considera como ideal. En el **ANEXO 5** y **6**, se presentan programas que resultaron de muchos años de investigación por parte del Secado y Preservación de 105 maderas del Grupo Andino.

Los programas constituyen guías conservadoras para el secado; el operador de un horno puede emplearlas hasta adquirir la práctica que le permita estructurar sus propios programas.

Los programas mencionados se aplican a hornos de tipo compartimiento, con circulación forzada de aire a velocidades entre 1 y 3  $m/s$  y temperaturas entre (38 y 90) °C. Están elaborados en base al control del contenido de humedad de muestras representativas, colocadas en cada carga de madera y en donde se observa el desarrollo de los esfuerzos en magnitud y tipo.

Existen también programas en base a tiempo que se establecen después de muchos experimentos realizados con la misma especie.

### **2.2.8 Fases del Secado de Madera.**

En este punto veremos el proceso de secado compuesta por la fase previa y el secado como tal; la fase previa consta de la ventilación y el calentamiento. La segunda consta de 4 etapas que describen el comportamiento de la madera dentro de la cámara al iniciar y finalizar su proceso de secado.

#### **- Fase previa**

- i) Ventilación
- ii) Calentamiento inicial
- iii) Calentamiento al corazón

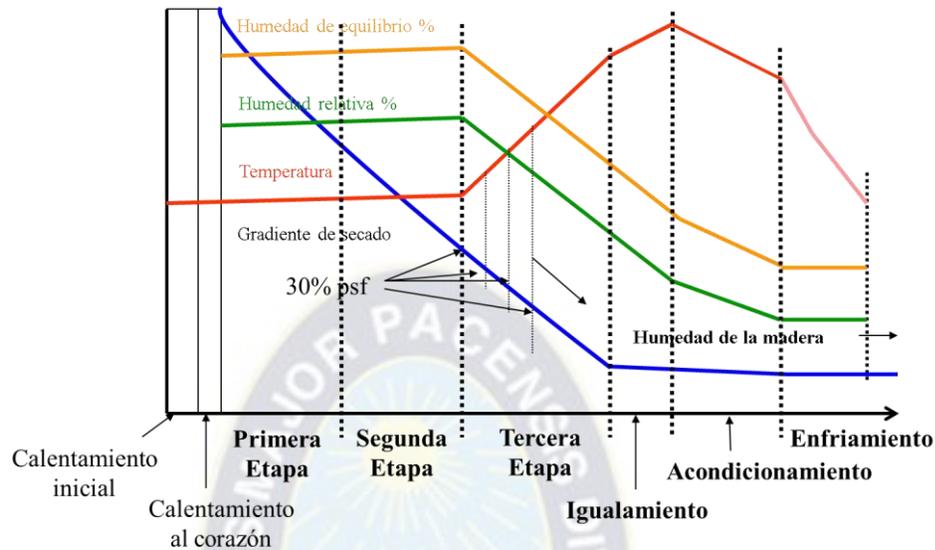
#### **- Secado**

- iv) Primera etapa
- v) Segunda etapa secado antes del PSF
- vi) Tercera etapa secado después del PSF
- vii) Igualamiento
- viii) Acondicionamiento

#### **- Finalización**

- ix) Enfriamiento

**Gráfico 2 - 5: Fases del secado de madera**



Fuente: Elaboración propia

## - Fase previa

### i) Ventilación

Antes de elevar la temperatura de inicio: se debe encender los ventiladores primero sin cerrar las puertas (30 min.)

Esta acción estabilizará tensiones superficiales de las tablas, homogenizará la humedad de inicio y apartará insectos, pequeños roedores etc., evitará daños causados por implosión cuando la madera esté fría o congelada.

En el caso de Cámaras instaladas en zonas tropicales esta operación de ventilación solo se hace para maderas que provienen de los patios de pre secado.

Lo anterior se hace con el objetivo de; facilitar la humectación de la madera en la superficie tratando de disminuir al máximo la gradiente de humedad existente entre las tablas, esto ayuda a que las tablas más secas sufran menos tensiones y rajaduras en las dos primeras etapas del secado. También se puede hacer esta acción aplicando el rocío en el interior de la cámara (climas secos).

**ii) Calentamiento inicial**

Después de ventilada la madera se debe iniciar la etapa de calentamiento cerrando las ventilas totalmente (entrada - salida) y de acuerdo al espesor de las tablas y densidad de la madera, elevar la temperatura desde ambiente hasta la que indique el programa de secado.

**iii) Calentamiento al corazón**

Elevar la temperatura 10°C por encima de lo indicado en el programa de secado con los ventiladores apagados y una vez la humedad relativa sea del 100% terminar esta etapa abriendo ventilas hasta que la temperatura baje a la de inicio; es decir 10°C menos, luego iniciar el programa por tiempos o por humedad.

*El tiempo de calentamiento inicial y al corazón toma aproximadamente 2 días.*

**- Secado**

**iv) Primera etapa**

Llamada también de rajaduras en la superficie, porque durante esta etapa se forman nuevas rajaduras en la superficie de la madera.

Muchos programas severos inician con temperaturas superiores a los 45°C, por eso se debe tener en cuenta un periodo de ventilación y siempre que la madera provenga de patios de pre secado con el fin de homogenizar la humedad superficial y evitar colapsos en el caso de tablas expuestas al punto de congelación y/o rajaduras severas en tablas que han recibido sol y aire por un solo sector del patio donde estaban instaladas las pilas, también se debe hacer el calentamiento.

Durante esta etapa las células de la superficie secan rápidamente hasta llegar al punto de saturación de las fibras (*PSF*), lo cual significa que ya iniciaron el proceso de encogimiento, sin embargo las células que están por debajo de la superficie están todavía por encima del *PSF* y por lo tanto resisten la fuerza del encogimiento que proviene de las células superficiales.

A la capa superficial de células secas se le llama cáscara y al interior corazón, mientras la cáscara continua encogiéndose ejerce una fuerza compresiva contra el corazón, por lo tanto, el corazón ejerce una tensión contra la cáscara durante el proceso.

Solo durante la Primera etapa se pueden crear rajaduras superficiales por las grandes fuerzas de tensión del corazón contra la cáscara, este hecho es importante para decidir que es la causa de las rajaduras superficiales durante el proceso

Para prevenir las rajaduras en la Primera etapa es necesario:

- Minimizar el desarrollo de tensiones controlando humedad relativa y velocidad y también maximizar la fuerza de la madera manteniéndola fresca superficialmente (uso de nebulizadores con agua fría o caliente y vaporizadores).
- Entonces a manera de determinar si las condiciones son satisfactorias la variable clave que hay que cuidar es la cantidad diaria de perdida de humedad (x) de las muestras.
- Cada pieza de madera tiene una velocidad límite de secado (velocidad de secado), depende de la especie, del grosor, tipo de corte, conociendo la velocidad de secado se puede controlar la aparición de rajaduras o aparición de manchas en las tablas.
- Exceder el límite de seguridad incrementa el riesgo de rajaduras, operar muy por debajo extiende el tiempo de secado e incrementa el riesgo de manchas, para conocer el límite de operación en el secado.
- Es importante registrar la perdida diaria de humedad y no el promedio de varios días (Hoja de Ruta).
- El tiempo más crítico de secado es durante la pérdida del primer 1/3 de humedad y el segundo tiempo crítico es al final cuando se determina la humedad final de la madera.

v) *Segunda etapa Secado antes del PSF*

Al inicio de esta etapa la madera continua descendiendo la humedad, (aproximadamente 50%), la tensión en el exterior está descendiendo y en el interior se está desarrollando con mayor fuerza al ceder las células el agua libre.

El manejo y cuidado del secado de la madera en esta Segunda etapa es importante porque en ella se determina si habrá rajaduras internas o subsecuentes daños.

La tensión interna generalmente no es grande como en los niveles de tensión de la Primera etapa, sin embargo es importante mantener baja la temperatura de la madera para maximizar su fuerza y prevenir que se desarrollen las pequeñas rajaduras superficiales en rajaduras internas o en panal.

En esta etapa se puede bajar la humedad relativa, siempre y cuando no existan riesgos de formación de nuevas rajaduras y las que se desarrollaron en la primera etapa no estén profundizándose más.

Al continuar secándose el interior el proceso de encogimiento cerrara las rajaduras superficiales y llegaran a ser invisibles en superficies ásperas, esto se llama inversión de tensión , pero se debe tener cuidado que estas rajaduras no estén creciendo hacia adentro a lo largo y ancho de la madera sin que se note en el exterior.

Por lo tanto, si se ven rajaduras en la madera después de ser cepillada o cortada es porque estaban invisibles en la cara áspera, se debe asumir que el error de secado se cometió en la Segunda etapa. La forma de corregir esto es una vez que se note la inversión de tensión, es esencial que la madera recobre cierta humedad superficial (nebulización y/o vaporización) ya que si no se hace, la tensión interna se incrementará y empeorarán las rajaduras.

Se debe tener presente que todos los defectos internos son el resultado de rajaduras superficiales o de los extremos que han penetrado, y no de la creación espontánea de fallas internas. Se recomienda que si no se puede controlar las rajaduras en la Primera etapa (lo que tal vez ocurra con maderas duras como el *Dipteryx odorata*)

se debe tratar la madera con delicadeza en la Segunda etapa, para prevenir su profundización y extensión.

Si las rajaduras en la Primera etapa fueron sometidas a humedad y secados alternativos entonces no cerrarán al suceder una inversión de tensión y de hecho que estarán abiertas al final del proceso.

**vi) Tercera etapa Secado después del PSF**

Al finalizar la segunda etapa la madera debe haber alcanzado el punto de saturación de fibras PSF de humedad y se iniciara el descenso hacia la humedad final  $X_f$ .

En esta etapa no se puede iniciar una nueva degradación (con excepción de condiciones de secados muy severos o si se vuelve añadir agua a la madera).

Es posible aumentar la temperatura hasta  $80^{\circ}\text{C}$  para algunas especies y la humedad equilibrio, se puede disminuir a niveles muy bajos hasta 4%, sin embargo para especies como el *Dipteryx odorata* la temperatura máxima no debe exceder los  $65^{\circ}\text{C}$  y la humedad equilibrio no debe ser menor a 6%. (a 4200 msnm.)

En esta Etapa las rajaduras pequeñas se pueden convertir en panal debido a los errores cometidos en la primera y segunda etapa.

**vii) Igualamiento**

Es un proceso final de secado que usa un nivel bajo de humedad relativa y empieza cuando la muestra más seca alcanza 2 al 3% de humedad debajo del promedio deseado  $X_f$ .

Para el igualamiento se debe tener en cuenta que al subir la temperatura esta debe estar en relación con una humedad de equilibrio; es decir que la humedad de equilibrio  $X^*$  debe ser 2 a 3% inferior a la humedad final  $X_f$ . Por ejemplo en el caso de Gabun si deseo una humedad final  $X_f$  de 8% para igualar bajo a 5 al 6% la humedad de equilibrio  $X^*$ .

A continuación se presenta la tabla de *igualamiento* para maderas latifoliadas.

**Tabla 2 - 12: Tabla para igualar maderas latifoliadas**

Contenido final de humedad [%]	Temperatura bulbo húmedo [°C] y humedad relativa [%]							
	54°C	60°C	66°C	71°C	77°C	82°C	88°C	93°C
6-(5)	27,78	33,33	38,33	43,33	48,88	54,44	60,00	65,55
7-(6)	32,72	37,72	42,22	47,77	52,77	58,33	63,88	69,44
8-(7)	35,1	40,66	46,11	51,66	57,22	62,77	68,88	75,00
9-(8)	38,33	43,88	49,44	55,00	60,55	66,66	72,77	78,88

Fuente: Manual práctico para operaciones de cámaras de secado de madera; Leonardo Filomeno Lima. Perú 2007

### **viii) Acondicionamiento**

El objetivo principal del acondicionado es librar o quitar tensiones interiores de la madera que se originan en menor o mayor grado durante el proceso de secado, **si no se somete la carga al proceso de acondicionado los resultados pueden ser muy dañinos para el producto que se va a elaborar con la madera seca.**

Por eso se debe elaborar las Probetas de tensión y analizarlas y registrar en un formulario los resultados.

El acondicionado empieza cuando se ha terminado el igualamiento, la clave del acondicionamiento es controlar la temperatura baja con incremento rápido de humedad relativa.

El acondicionamiento requiere de madera igualada de otra manera el intentar aliviar las tensiones de las tablas puede producir manchas en la superficie de la madera, para ello se inyecta vapor a baja presión para saturar la cámara y aumentar la presión interna sobre la madera, sino se cuenta con vapor se inyecta un rocío de agua caliente a alta presión; entonces primero se eleva la humedad relativa y luego de 4 horas después de iniciado el acondicionamiento recién se podrá aumentar la temperatura al grado que estuvo durante las 12 horas anteriores al inicio del igualado.

Generalmente los rangos de calor que se usan para el acondicionado son calculados a bulbo seco (5 – 6)°C más bajo que para el Igualamiento Ejemplo: Si para el igualamiento he subido a 75°C la temperatura para el acondicionamiento será de (69 –

70)°C, la humedad proporcionada por el rocío de vapor impulsara el bulbo seco hasta este nivel inicialmente 5 a 6 °C acondicionamiento continuara hasta que se obtenga un nivel satisfactorio de presión interna. La evaluación de la presión interna solo se hace después que la madera se ha enfriado.

Es por eso que para determinar el punto final del acondicionamiento se requiere experiencia.

Para acondicionar se debe establecer una humedad relativa que este entre 5 a 10°C de diferencia psicométrica.

A continuación se presenta la tabla de *acondicionamiento* para maderas latifoliadas.

**Tabla 2 - 13: Tabla para acondicionar maderas latifoliadas**

Contenido final de humedad [%]	Temperatura bulbo húmedo [°C] y humedad relativa [%]							
	49°	55°	60°	66°	71°	77°	82°	88°
6-(5)	40,55	46,11	52,22	57,77	63,88	69,44	75,55	81,11
7-(6)	41,66	47,21	53,33	58,88	65	70,55	76,66	82,22
8-(7)	42,78	48,33	54,44	60,00	66,11	71,66	77,77	83,33
9-(8)	43,89	49,44	56,55	61,11	66,66	72,77	78,33	84,44

Fuente: Manual práctico para operaciones de cámaras de secado de madera; Leonardo Filomeno Lima. Perú 2007

### - Finalización

#### ix) *Enfriamiento.*

Es la última etapa del proceso, se debe evitar la abertura de la cámara con altas temperaturas para que así no se produzca un choque térmico en la carga, lo cual podría generar grietas superficiales, se debe mantener la humedad de equilibrio utilizada en la etapa de acondicionamiento y bajar la temperatura gradualmente.

*El tiempo de igualamiento, acondicionamiento y enfriamiento es aproximadamente 2 días.*

### 2.2.9 Defectos por Secado

Los defectos por secado se producen cuando se realiza un proceso que genera tensiones internas a nivel de estructura de la madera, siendo los más frecuentes:

- Arqueadura: La arqueadura o combado es el alabeo de las caras en dirección de las fibras de la madera. La flecha que se forma por una de sus caras indica el grado de deformación.

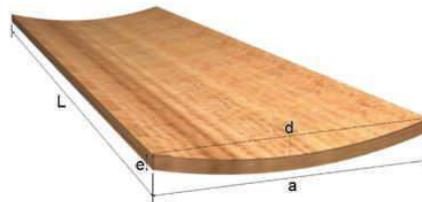
**Figura 2 - 28: Deformación de la madera llamado arqueadura**



Fuente: [www.lsuagcenter.com](http://www.lsuagcenter.com) (Anatomía y física de la madera).

- Acanaladura: La acanaladura o abarquillado es un alabeo en dirección transversal a las fibras.

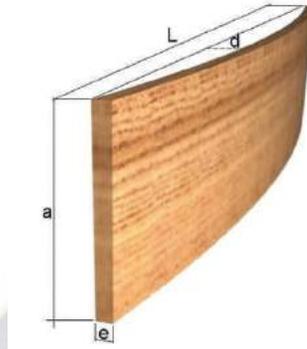
**Figura 2 - 29: Deformación de la madera llamado acanaladura**



Fuente: [www.lsuagcenter.com](http://www.lsuagcenter.com) (Anatomía y física de la madera).

- Encorvadura: La encorvadura o curvatura lateral corresponde al alabeo de los cantos en el sentido de las fibras.

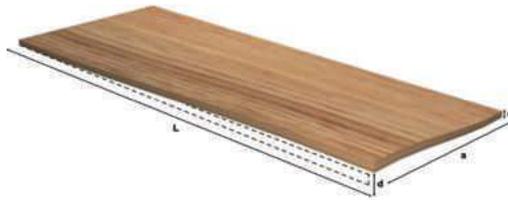
**Figura 2 - 30: Deformación de la madera llamado encorvadura**



Fuente: [www.lsuagcenter.com](http://www.lsuagcenter.com) (Anatomía y física de la madera).

- Torcedura: La torcedura o revirado es el alabeo helicoidal en dirección longitudinal y transversal de las fibras.

**Figura 2 - 31: Deformación de la madera llamado torcedura**



Fuente: [www.lsuagcenter.com](http://www.lsuagcenter.com) (Anatomía y física de la madera).

### **2.2.10 Conceptos de Control y Evaluación para el Secado de Madera**

Ahora veamos algunos conceptos muy importantes para el secado de madera, los cuales son el *gradiente de humedad* y el *gradiente de secado*.

- Gradiente de humedad: Es la diferencia entre el contenido de humedad de la madera en el centro y el contenido de humedad en la superficie.

Si se toma una sección transversal de una tabla de madera recién aserrada se podrá ver que la humedad dentro de la madera está distribuida uniformemente, esta distribución se modifica con el tiempo ya sea por secado natural o artificial.

Al ser aserrada la madera se someterá rápidamente a las condiciones climáticas del medio y al buscar el equilibrio higroscópico eliminara el agua de sus capas externas

creando de esta manera en su interior un gradiente de humedad, este gradiente genera el movimiento interno del agua hacia la superficie en forma de vapor originando el proceso de secado de la madera en un tiempo determinado.

Mientras mayor sea la diferencia del contenido de humedad del interior (centro de la tabla) con el exterior más rápido se seca la madera.

- Gradiente de secado: Relación entre el contenido de humedad de la madera en un momento dado y el contenido de humedad de equilibrio.

Para que exista un flujo continuo de agua desde el interior de la madera hasta la superficie debe existir una relación entre la humedad verdadera de la madera que se está secando por las condiciones climáticas al interior de la cámara de secado medidas en un momento dado.

$$G = \frac{CH}{X^*} \quad (2.36)$$

El gradiente recomendado por Horst Schrewe es:

- Maderas livianas (poco densas)  $1.5 \leq G \leq 1.8$
- Maderas pesadas (densas)  $2 \leq G \leq 3$

## **CAPÍTULO III**

Los objetivos son vitales en la solución del problema, por lo tanto en este capítulo plantearemos el objetivo general y los objetivos específicos.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General**

- Diseñar e implementar un secadero de madera aserrada para mejorar la elaboración de muebles de la pequeña y mediana empresa en la ciudad de EL ALTO.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Dimensionar la capacidad del secadero.
- Diseño y desarrollo del secadero.
- Estudiar la localización del equipo.
- Establecer el flujo del proceso.
- Determinar el nivel de inversiones y costos de operación y mantenimiento.
- Evaluar la rentabilidad y sostenibilidad del proyecto.

## **CAPÍTULO IV**

En este capítulo determinaremos la ubicación del proyecto, de acuerdo a las variables que veremos más adelante que permita básicamente minimizar costos.

### **4 LOCALIZACIÓN**

Este proyecto está orientado al diseño e implementación del secadero en la ciudad de El Alto, lo que queremos en este capítulo es determinar la ubicación del proyecto, la pregunta es ¿dónde la ubicamos?. Para responderla, resolvimos tomar en cuenta los siguientes criterios:

- Disponibilidad y costo de mano de obra
- Cercanía de las fuentes de abastecimiento
- Cercanía al mercado
- Costo y disponibilidad de terrenos
- Disponibilidad de agua, energía y otros suministros

Para hacer una evaluación de cuál de los factores tiene mayor importancia, hagamos una tabla comparativa lo cual nos ayudara a determinar la localización del proyecto

La siguiente tabla utiliza una escala de 1 a 10, donde el 1 indica el menor grado de conveniencia del factor para la localización para el proyecto por su parte el 10, indica el mayor grado de conveniencia del factor para la localización del proyecto.

**Tabla 4 – 1: Tabla de ponderación para la selección del factor de localización**

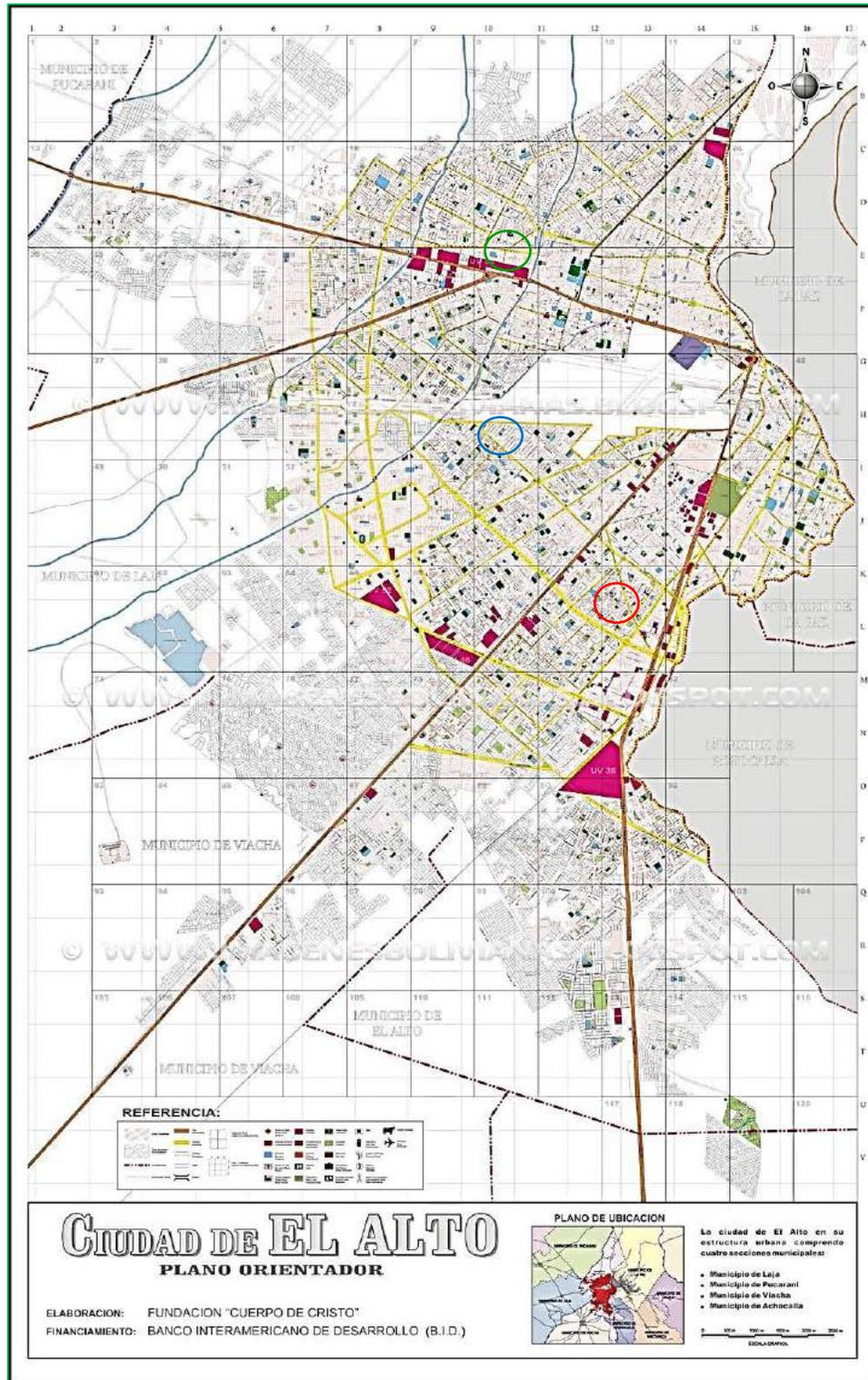
<b>Factor</b>	<b>Peso</b>	<b>Calificación</b>	<b>Ponderación</b>
Disponibilidad y costo de mano de obra	0,9	8	7,2
Cercanía a las fuentes de abastecimiento	0,9	9	<b>8,1</b>
Cercanía al mercado	0,6	8	4,8
Costo y disponibilidad de terrenos	0,7	8	5,6
Disponibilidad de agua, energía y otros suministros	0,8	9	7,2

Fuente: Elaboración propia.

Ahora que conocemos que el factor de mayor relevancia es la **cercanía a las fuentes de abastecimiento** con una ponderación de **8.1**, ubiquemos cuales son los centros de abastecimiento más poblados. Veamos el siguiente mapa el cual muestra la ubicación de los proveedores (barracas) de madera en la ciudad de EL ALTO. Esto facilitara a ubicar nuestro proyecto.



**Mapa 4-1: Mapa de la ciudad de EL ALTO.**



Fuente: Alcaldía de la ciudad de EL ALTO.

Con la ayuda del mapa, hemos ubicado los centros de abastecimiento más importantes en la ciudad de EL ALTO.

**Tabla 4 – 2: Tabla comparativa de las zonas que contienen barracas**

Zona	Barracas de madera [Unidad]
Rojo	90
Azul	143
Verde	<b>360</b>
Otros(dispersos)	1,900
TOTAL	<b>2,493</b>

Fuente: Elaboración propia.

La zona verde es la más concentrada con **360 barracas**; por lo tanto la **localización del secadero debe estar dentro de la zona verde**, esta zona alberga a los barrios de Alto Lima segunda sección, Villa ingenio.

## **CAPÍTULO V**

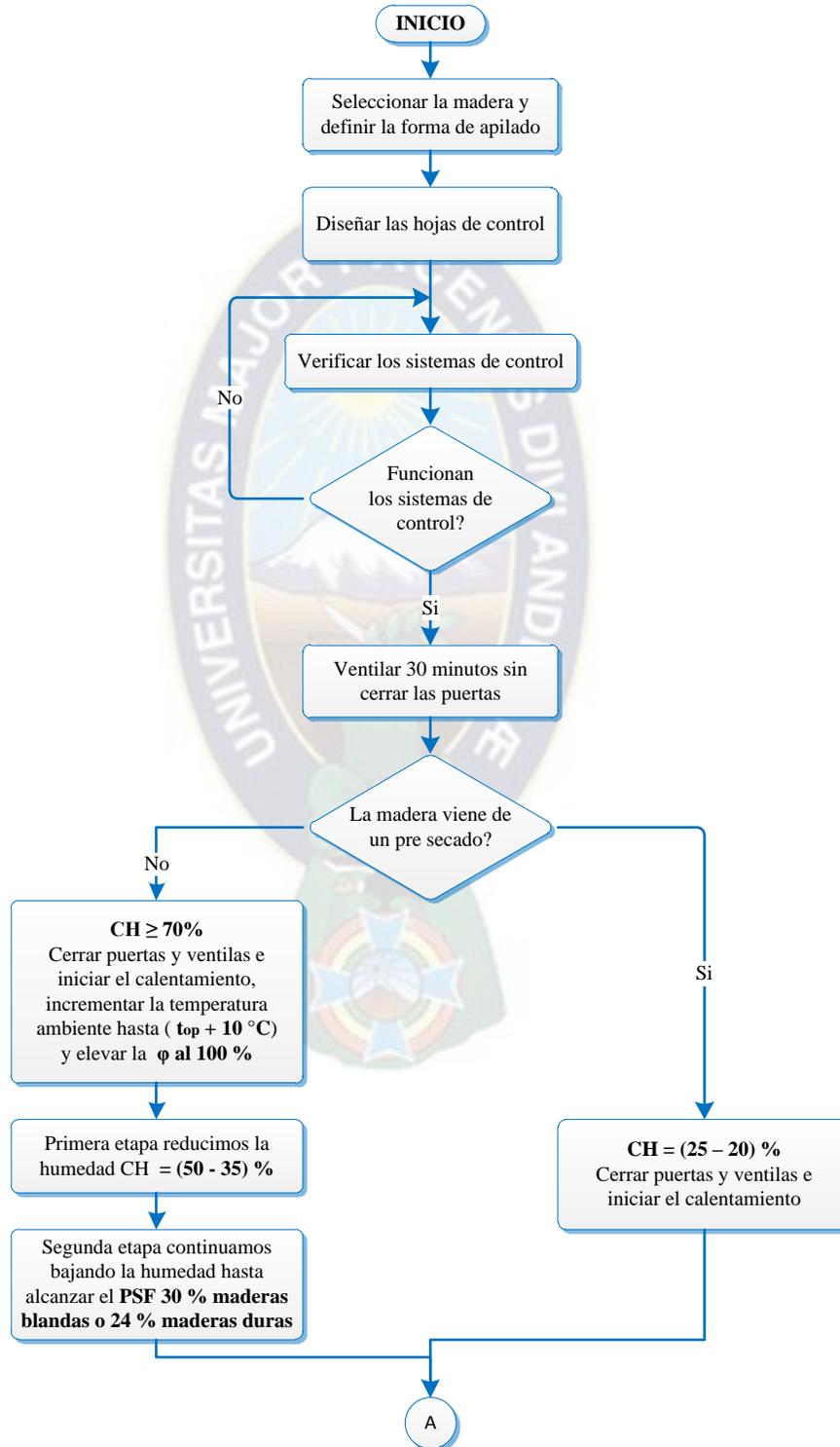
### **5 INGENIERÍA**

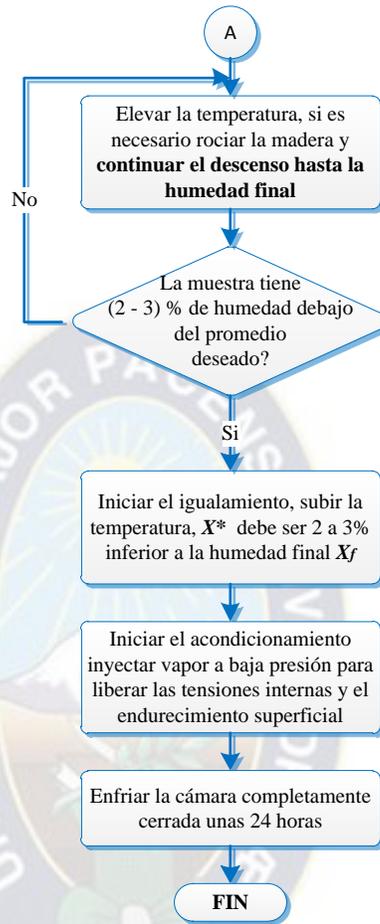
En este capítulo elaboraremos el diagrama de flujo del proceso desarrollaremos el *dimensionamiento, se determinaran las condiciones al interior, la edificación el diseño las características técnicas y la selección de los equipos y materiales* de la cámara de secado.



## 5.1 Flujo del Proceso de Secado

Diagrama 5 - 1: Diagrama de flujo del proceso de secado





Fuente: Elaboración propia.

## 5.2 Diseño de un Secadero de madera

### 5.2.1 Dimensionamiento de un Secadero de Madera

Las dimensiones están en función de la **capacidad** y la **longitud de la madera**; la capacidad lo vamos a determinar a partir del manejo económico que tienen las PYMES y la longitud de la madera a partir del uso; la madera más larga que se necesita es para puertas estas piezas tienen 2 plg de espesor y 7 pies de largo.

- Capacidad: En el punto 2.1.6 Micro y Pequeña Empresa (PYMES), se explica el manejo económico que tienen las (PYMES), con ventas anuales menores a 150.000 US\$ al año, para el proyecto tomaremos un valor promedio 75.000 US\$ al año al cambio actual 6.96 Bs/US\$ (522.000 Bs/año); de este monto aproximadamente el 30% corresponde al capital de trabajo monto que se destina a la materia prima y el tiempo de

secado esta entre (12 - 30) *días*, además el precio de madera en promedio es 15 *Bs/pie*. Otro factor a tomar en cuenta es el transporte; pues la capacidad usual de manejo de los camiones es de 10.000 *pies* como se ve en la siguiente figura.

**Figura 5 - 1: Transporte de madera**



Fuente: Cámara Nacional de comercio.

Veamos la siguiente tabla para explicarlo mejor.

**Tabla 5 - 1: La capacidad del secadero está en función de las siguientes variables**

Ventas $\left[\frac{Bs}{mes}\right]$	Monto destinado a materia prima $\left[\frac{Bs}{mes}\right]$	Demanda de madera $\left[\frac{pie}{mes}\right]$	Para 10 PYMES $\left[\frac{pie}{mes}\right]$	Capacidad del camión $[pies]$
43.500	13.050	870	8.700	10.000

Fuente: Elaboración propia.

En consecuencia de acuerdo a la tabla 5 - 1, para fines de diseño la capacidad del secadero será de **10.000 *pies*** de madera. En caso de que la demanda sea mayor es fácil multiplicar por 2, 3, 4 etc. para aumentar la capacidad del secadero.

- Cálculo del volumen neto: A partir de la capacidad es posible determinar el volumen neto de la carga en  $m^3$  a partir de 10.000 *pies* de madera.

$$V_{neto} = 10.000 [pies] \text{ Unidad de manejo común.}$$

$$V_{neto} = 10.000 [pies^2 - plg] \text{ Unidades en el sistema ingles.}$$

$$V_{neto} = 10.000 [pies^2 - plg] * \left[\frac{0,3048 m}{1 pie}\right]^2 * \frac{2,54 cm}{1 plg} * \frac{1 m}{100 cm}$$

$$V_{neto} = 23,6 [m^3]$$

- ¿En que medidas viene la madera?: La madera viene en dos denominaciones (la diferencia es el espesor); **madera aserrada** (cortado en aserradero) y **cuartones** (cortado por una motosierra). La madera aserrada viene en piezas que van desde 1 o 2 *plg* y los cuartones desde 3 hasta 6 *plg* de espesor  $e$ , el largo  $L$ , y el ancho  $B$  es variable.

La siguiente tabla nos muestra un resumen de lo expuesto.

**Tabla 5 - 2: Dimensiones aproximadas de la madera**

Denominación	Largo $L$ [pies]	Espesor $e$ [plg]	Ancho $B$ [plg]
Aserrada	2 - 14	1 - 2	4 - 20
Cuartones	2 - 10	3 - 6	4 - 20

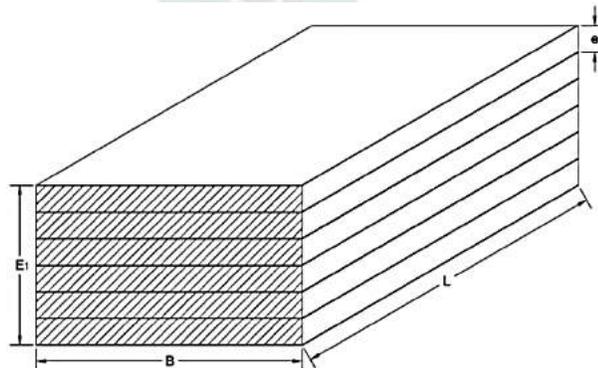
Fuente: Elaboración propia.

Este trabajo tiene por objeto el diseño de un secadero para **madera aserrada**.

Para trabajar en el diseño se debe tener bien en claro *el espesor y el largo de la madera*; que está en función de la Tabla 2 - 5: Medidas estándar de muebles y la Tabla 5 - 2: Dimensiones aproximadas de la madera.

- Dimensionamiento de la carga de madera: Una vez conocido el volumen neto, debemos dimensionar la carga de madera como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 5 - 2: Carga de madera**



Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

$B$ : es el ancho de la carga de madera [ $m$ ]

$L$ : Largo de la carga de madera [ $m$ ]

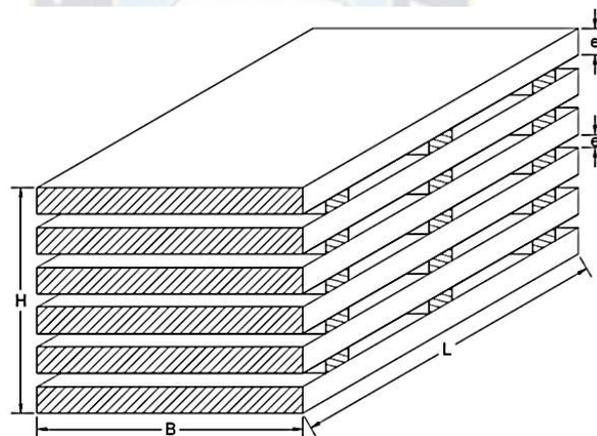
$e_1$ : Espesor de la madera igual a 2 [ $plg$ ] equivalente a 0,051 [ $m$ ]

$E_1$ : Altura de la carga de madera [ $m$ ]

$V_{neto}$ : Volumen neto de la carga de madera [ $m^3$ ]

Pero no hay que olvidar que la carga dentro del secadero necesita de separadores por lo tanto debemos dimensionar la carga de madera como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 5 - 3: Carga de madera con separadores**



Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

$B$ : es el ancho de la carga de madera [ $m$ ]

$L$ : Largo de la carga de madera [ $m$ ]

$e_1$ : Espesor de la madera [ $m$ ]

$e_2$ : Espesor del separador [ $m$ ]

$E_1$ : Altura de la carga de madera sin los separadores [ $m$ ]

$E_2$ : Sumatoria de los separadores entre las pilas de madera [m]

$H$ : Altura de la carga de madera tomando en cuenta los separadores [m]

$V$ : Volumen de la carga de madera tomando en cuenta los separadores [ $m^3$ ]

Para conocer las dimensiones de la carga de madera dentro del secadero hagamos las siguientes consideraciones:

$L = 14$  [pies] Equivalente a 4,30 [m] (de la tabla 5-2)

$e_1 = 2$  [plg] Equivalente a 0,051 [m] (de la tabla 2-5)

$e_2 = 30$  [mm] Equivalente a 0,03 [m] (de la tabla 2-9)

Datos:

$$e_1 = 0,051 \text{ [m]}$$

$$e_2 = 0,03 \text{ [m]}$$

$$V_{neto} = B * L * E_1 = 23,6 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$E_1 = N^\circ \text{ Filas} * e_1 = ?$$

$$E_2 = N^\circ \text{ Filas} * e_2 = ?$$

$$H = E_1 + E_2$$

$$B = \frac{V_{neto}}{L * E_1}$$

$$V = B * L * H$$

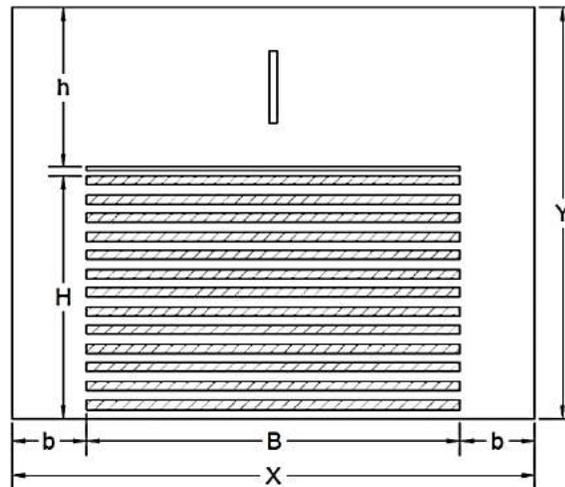
**Tabla 5 - 3: Tabla de cálculos para determinar las dimensiones de la carga**

N° Filas	$E_1$ [m]	$E_2$ [m]	H [m]	B [m]	L [m]	V [ $m^3$ ]
20	1,02	0,60	1,62	5,40	4,30	37,54
30	1,52	0,90	2,42	3,60	4,30	37,54
40	2,03	1,20	3,23	2,70	4,30	37,54
50	2,54	1,50	4,04	2,16	4,30	37,54
60	3,05	1,80	4,85	1,80	4,30	37,54
70	3,56	2,10	5,66	1,54	4,30	37,54

Los datos de la tabla nos ayudarán al dimensionamiento del secadero.

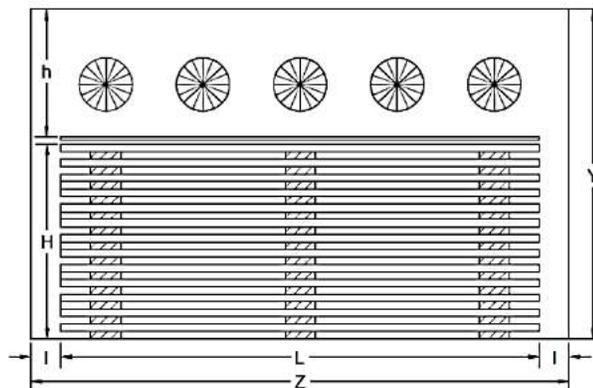
- *Dimensionamiento del secadero de madera*: Ahora determinaremos las dimensiones del secadero con la ayuda de las siguientes figuras y la tabla 5-3, del secadero propuesto.

**Figura 5 - 4: Vista frontal de la carga de madera con separadores**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5 - 5: Vista lateral de la carga de madera con separadores**



Fuente: Elaboración propia.

Haremos algunas consideraciones para el dimensionado del secadero, a partir de las figuras 5 - 4 y 5 - 5.

$b = 1,0 [m]$  Espacio para la circulación del aire.

$l = 0,5 [m]$  Espacio para la circulación de los operarios.

$h = 1,2 [m]$  Espacio del techo falso al techo donde ubicaremos los ventiladores.

En base a las consideraciones previas; a continuación describimos las ecuaciones que nos van a permitir determinar las dimensiones del secadero.

**Ancho de la cámara:**

$$X = B + 2b \quad (5.1)$$

**Largo de la cámara:**

$$Z = L + 2l \quad (5.2)$$

**Alto de la cámara:**

$$Y = H + h \quad (5.3)$$

A continuación tenemos las dimensiones posibles del secadero, con base a las consideraciones realizadas en la tabla 5 - 3 y las ecuaciones 5.1, 5.2 y 5.3.

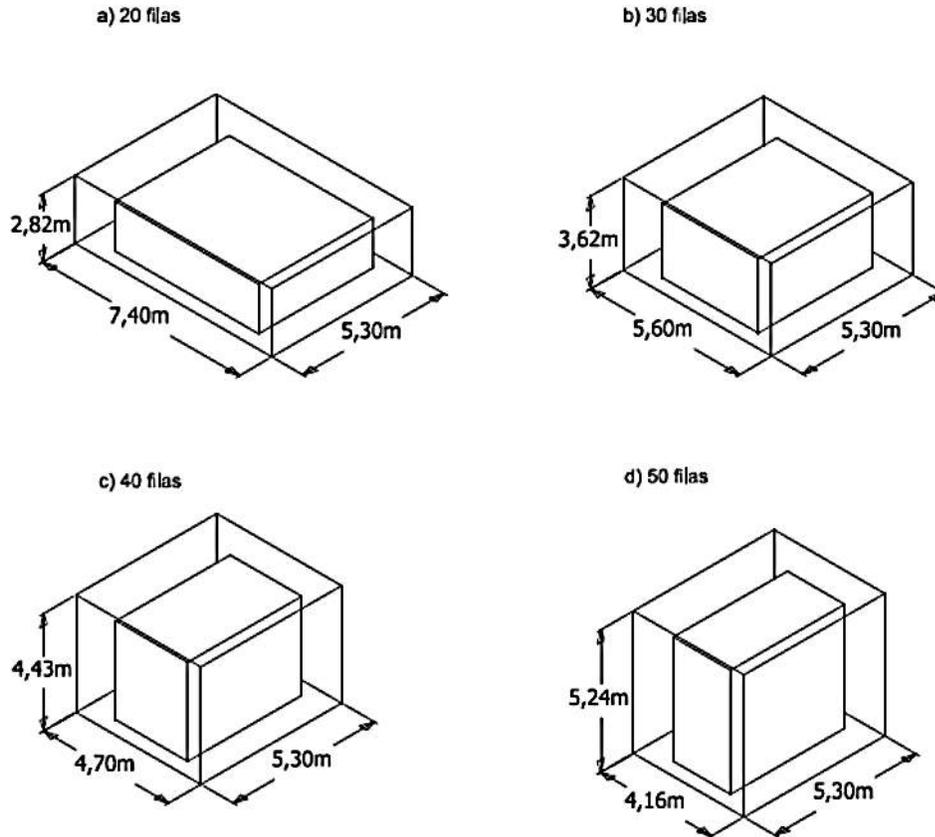
**Tabla 5 - 4: Tabla de cálculos para determinar las dimensiones del secadero**

N° Filas	B [m]	L [m]	H [m]	X [m]	Z [m]	Y [m]
20	5,40	4,30	1,62	7,40	5,30	2,82
<b>30</b>	<b>3,60</b>	<b>4,30</b>	<b>2,42</b>	<b>5,60</b>	<b>5,30</b>	<b>3,62</b>
40	2,70	4,30	3,23	4,70	5,30	4,43
50	2,16	4,30	4,04	4,16	5,30	5,24
60	1,80	4,30	4,85	3,80	5,30	6,05
70	1,54	4,30	5,66	3,54	5,30	6,86

Fuente: Elaboración propia.

En base a la tabla 5-4 vamos a graficar cada uno de los secaderos con la carga de madera, según sus dimensiones hasta que la altura **H** sea mayor al ancho **B**.

Figura 5 - 6: Vista isométrica de las opciones de secadero según las filas



Fuente: Elaboración propia.

### ¿Cuál de las opciones debemos elegir y porque?

Nos decidimos por la opción **b)** debido a que:

- Dado que altura de la carga **H** igual a 2,42 m es menor al ancho de la carga **B** igual a 3,22 m; esto ayuda a que la carga apilada sea más estable; ya que, *si la altura es mayor a el ancho se pierde estabilidad*. Por lo tanto las dimensiones del secadero será:

$$X = 5,60 \text{ m}$$

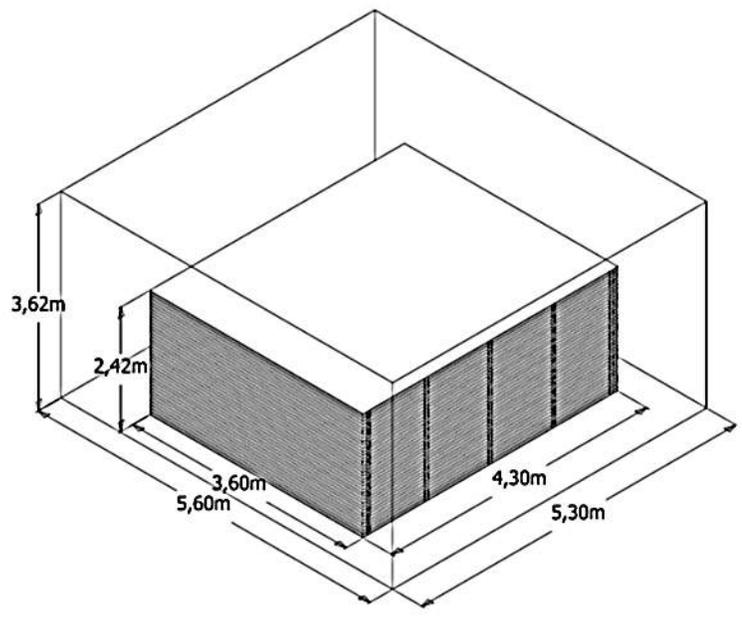
$$Z = 5,30 \text{ m}$$

$$Y = 3,62 \text{ m}$$

- Como la altura de la pila de la carga es  $2,42\text{ m}$ , solo es necesario un par de escaleras y 4 *operarios* para cargar y apilar la carga o en su defecto un montacargas con el operador y dos operarios para apilar la carga.
- El secadero se muestra más proporcionado entre todos.

A continuación tenemos un gráfico con las dimensiones definitivas del secadero de madera.

**Figura 5 - 7: Vista isométrica del secadero y la carga de madera**



Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.2 Determinación de las Condiciones al interior del Secadero

Previamente al trabajo de diseño necesitamos determinar las condiciones al interior del secadero, es por esto que haremos los cálculos necesarios.

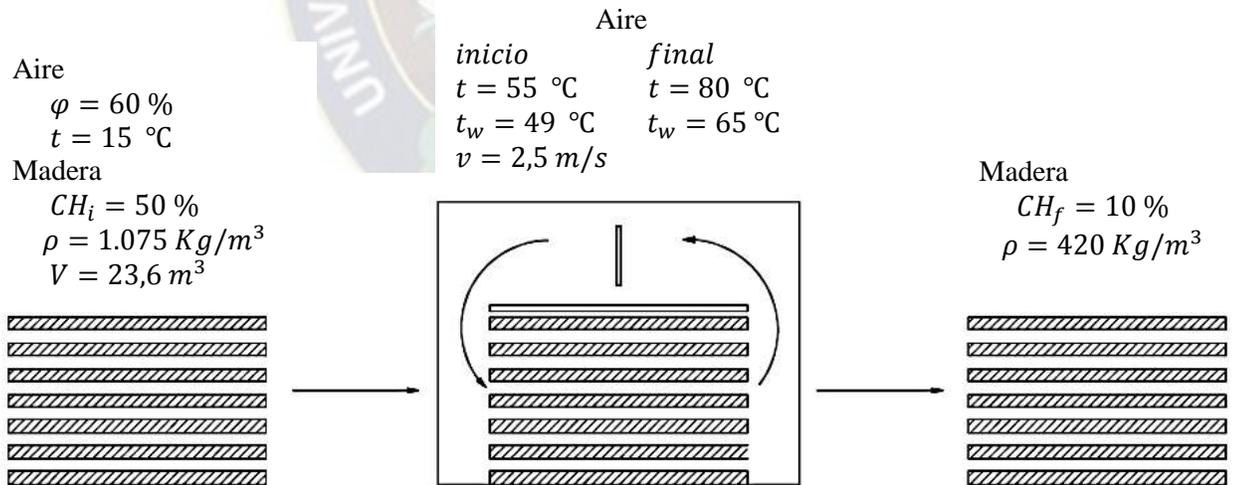
Una vez definido las dimensiones del secadero, lo siguiente es calcular las condiciones al interior del secadero.

Datos:

- Las condiciones ambientales en promedio, las tenemos en la Tabla 2 - 9: Humedad relativa y de equilibrio en las principales ciudades Bolivia.

- Las condiciones de la madera húmeda antes de montar la carga dentro del secadero, están en el Cuadro 2-2: Denominación de la madera según su humedad.
- Los datos para la determinación de las condiciones durante la operación dentro del secadero se las capturo del **ANEXO 5** Programa Moderado para maderas latifoliadas de secado lento o que son propensas a sufrir ciertas deformaciones o agrietaduras.
- Se estima una velocidad aproximada de  $2,5 \text{ m/s}$ ; lo vimos en el punto 2.2.3 Factores Básicos del Secado de la Madera *Factor circulación del aire*.
- El resultado del trabajo, la madera seca al **10%** viene de la Tabla 2 - 11: Humedad de Equilibrio  $X^*$  al que debe usarse la madera, según artículo a fabricar, y la densidad de las maderas latifoliadas al **10%** es  $420 \text{ Kg/m}^3$ .

**Figura 5 - 8: Proceso de secado y sus condiciones**



Fuente: Elaboración propia.

Los cálculos lo haremos en base al *Programa de secado Moderado* del **ANEXO 5** al cual le aumentaremos las variables de humedad de equilibrio ( $X^*$ ) y humedad absoluta ( $Y$ ) nos ayudara a realizar el gráfico  $t$  vs  $Y$  en la carta psicrométrica, además de las etapas de igualamiento y acondicionamiento que nos permitirá ver las fases del secado mucho más claramente.

La humedad de equilibrio  $X^*$ , lo obtendremos del **ANEXO 7**.

Para determinar la humedad absoluta  $Y$ , lo podemos hacer mediante la ecuación (2.22) o en la carta psicrométrica del **ANEXO 3**.

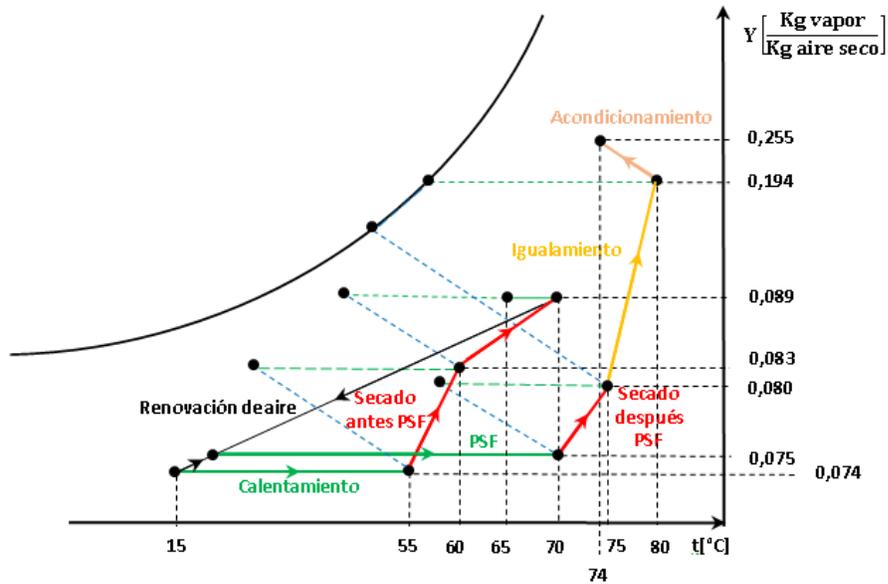
**Tabla 5 - 5: Programa de secado Moderado**

Contenido de Humedad de la madera [%]	Temperatura [°C]		Humedad relativa $\phi$ [%]	Humedad de Equilibrio $X^*$ [%]	Humedad Absoluta $Y$ $\left[ \frac{Kg_{vapor}}{Kg_{aire\ seco}} \right]$
	$t$	$t_w$			
60 - 40	55	49	70	11,7	0,073
40 - 30	60	51	60	9,2	0,083
30 - 25	65	52	50	6,4	0,089
25 - 20	70	54	40	6,1	0,089
20 - 15	70	50	35	5,0	0,074
15 - 10	75	53	33	4,5	0,080
<b>Igualamiento</b>	80	65	51	6,2	0,194
<b>Acondicionamiento</b>	74	69	80	12,2	0,255

Fuente: Elaboración propia.

En base a la anterior tabla, veamos de forma gráfica el proceso de secado en la carta psicrométrica.

Gráfico 5 - 1: Fases del secado en la carta psicrométrica



Fuente: Elaboración propia.

Para ver el proceso de secado real en detalle veamos el siguiente gráfico.

Gráfico 5 - 2: Ejemplo de secado de una fase en la carta psicrométrica



Fuente: Elaboración propia.

**Determinación de las humedades en base seca:**

$CH_i$  = Humedad inicial de la madera base húmeda.

$CH_f$  = Humedad final de la madera base húmeda.

**Datos:**

$$CH_i = 50 \left[ \frac{Kg_{agua}}{Kg_{madera\ húmeda}} \right]$$

$$CH_f = 10 \left[ \frac{Kg_{agua}}{Kg_{madera\ húmeda}} \right]$$

$$X_i = \frac{50}{50} = 1,000 \left[ \frac{Kg_{agua}}{kg_{madera\ seca}} \right]$$

$$X_f = \frac{10}{90} = 0,111 \left[ \frac{Kg_{agua}}{kg_{madera\ seca}} \right]$$

**Masa de madera húmeda:**

$$m_{mh} = \rho V = 1.075 * 23,6$$

$$m_{mh} = 25.370 [kg]$$

**Madera al 0% de humedad:**

$$S = (1 - CH_i) * m_{mh} = (1 - 0,5) * 25.370$$

$$S = 12.685 [kg]$$

**Cantidad de agua que acompaña a la madera al ingreso:**

$$m_{agua(inicio)} = CH_i * m_{mh} = 0,5 * 25.370$$

$$m_{agua(inicio)} = 12.685 [kg]$$

**Cantidad de agua que acompaña a la madera a la salida:**

$$m_{agua(final)} = X_f * S = 0,111 * 12.685$$

$$m_{agua(final)} = 1.409 [kg]$$

**Cantidad de agua evaporada:**

$$m_{agua(evaporada)} = m_{agua(inicio)} - m_{agua(final)} = 12.685 - 1.409$$

$$m_{agua(evaporada)} = 11.276 [kg]$$

**Cantidad de aire seco necesario para evaporar 11.276 [kg] de agua:**

$Y_1$ : Humedad absoluta al inicio

$Y_5$ : Humedad absoluta al final

Los valores de  $Y_1$  y  $Y_5$  se obtienen Tabla 5 - 4: Programa de secado

$$Y_1 = 0,074 \left[ \frac{Kg_{vapor}}{Kg_{aire\ seco}} \right]$$

$$Y_5 = 0,194 \left[ \frac{Kg_{vapor}}{Kg_{aire\ seco}} \right]$$

$$m_{aire\ seco} = m_{agua(evaporada)} \frac{1}{(Y_2 - Y_1)} = 11.276 \frac{1}{(0,194 - 0,074)}$$

$$m_{aire\ seco} = 94.756 [kg]$$

**Determinación del calor requerido  $q$  para llevar desde  $X_i$  hasta  $X_f$ :**

$$q = m_{aire\ seco} c \Delta t = m_{aire\ seco} (c_1 \Delta t_1 + c_2 \Delta t_2 + c_3 \Delta t_3 + c_4 \Delta t_4 + c_5 \Delta t_5)$$

$c_1 \Delta t_1$  = calor de calentamiento

$c_2 \Delta t_2$  = calor antes del PSF

$c_3 \Delta t_3$  = calor en el PSF

$c_4 \Delta t_4$  = calor después del PSF

$c_5 \Delta t_5$  = calor del igualamiento

**Cálculos previos**

**- Calor específico:**

$c_{p(g)}$  = Calor específico del aire

$c_{p(v)}$  = Calor específico del vapor

$$c = c_{p(g)} + c_{p(v)} Y \left[ \frac{Kcal}{Kg_{aire\ seco} \text{ } ^\circ C} \right]$$

$$c = 0,24 + 0,46 Y \left[ \frac{Kcal}{Kg_{aire\ seco} \text{ } ^\circ C} \right]$$

**Tabla 5 - 6: Tabla de cálculo**

N°	Etapa	$Y_i$	$c_i$	$\Delta t$	$c_i \Delta t_i$
1	Calentamiento	0,074	0,275	55-15	10,980
2	Secado antes PSF	0,089	0,281	70-55	4,215
3	PSF	0,075	0,274	70-18	14,240
4	Secado después PSF	0,080	0,277	75-70	1,384
5	Igualamiento	0,194	0,329	80-75	1,646

Fuente: Elaboración propia.

$$q = m_{aire\ seco} c \Delta t = m_{aire\ seco} (c_1 \Delta t_1 + c_2 \Delta t_2 + c_3 \Delta t_3 + c_4 \Delta t_4 + c_5 \Delta t_5)$$

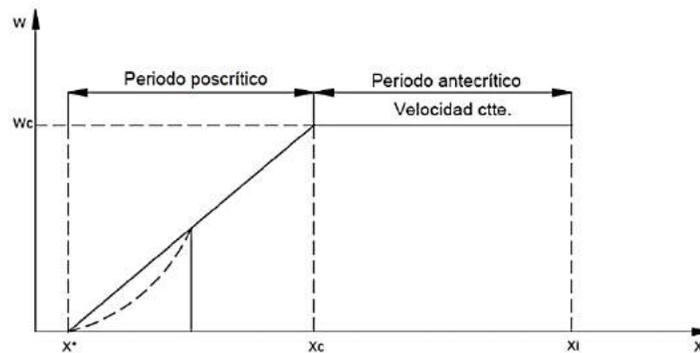
$$q = 94.756 (10,980 + 4,215 + 14,240 + 1,384 + 1,646)$$

$$q = 3,07 * 10^6 [Kcal]$$

### Cálculo de la velocidad de secado:

La velocidad de secado se divide en dos etapas, la primera es la *velocidad de secado constante, antecrítico* y la segunda es la *velocidad de secado decreciente o poscrítica*.

**Gráfico 5 - 3: Fases del secado.**



Fuente: Elaboración propia.

### - Cálculo de la velocidad de secado en el periodo *antecrítico*:

El cálculo se hará a partir de la ecuación (2.5):

$$W_c = \frac{h_c (t - t_w)}{\Delta H_{fg}} \quad (2.5)$$

Previamente debemos hacer el cálculo del coeficiente de transmisión de calor  $h_c$ :

Para la temperatura media de la capa límite podemos tomar la media aritmética entre la temperatura del aire y la de la interfase (temperatura húmeda del aire).

Tomaremos los datos de la tabla 5 - 4: Programa de secado.

**Tabla 5 - 7: Datos secado antes PSF**

	$t$ [°C]	$t_w$ [°C]
Secado antes PSF	55	49
	60	51
	65	52
<b>Promedio</b>	<b>60</b>	<b>51</b>

Fuente: Elaboración propia.

$$t_{aritmética} = \frac{t + t_w}{2} = \frac{60 + 51}{2}$$

$$t_{aritmética} = 55,5 \text{ °C}$$

Las condiciones del aire a la temperatura de 55,5 °C, se obtiene de la tabla del

**ANEXO 8:**

$$\rho = 1,1 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$\mu = 1,95 * 10^{-5} \left[ \frac{Kg}{m s} \right]$$

$$k = 0,023 \left[ \frac{kcal}{m h \text{ °C}} \right]$$

$$Pr = 0,691$$

y el desplazamiento del flujo a lo largo de  $B = 3,62 \text{ m}$ ; por lo tanto reemplazando en la ecuación (2.16) tenemos:

$$Re = \frac{v \rho L}{\mu} = \frac{v \rho B}{\mu} = \frac{2,5 * 1,1 * 3,60}{1,95 * 10^{-5}}$$

$$Re = 515.803$$

Como  $Re = 515.803 > 500.000$ , el cálculo de  $h_c$  se determinará de acuerdo a la ecuación (2.17):

$$\frac{h_c B}{k} = 0,057 Re^{0,78} Pr^{0,78} = \frac{h_c * 3,60}{0,023} = 0,057 * 515.803^{0,78} * 0,691^{0,78}$$

$$h_c = 7,80 \left[ \frac{kcal}{m^2 h ^\circ C} \right]$$

**Datos del agua, para determinar velocidad de secado constante:**

De la tabla del ANEXO 9, a  $t_w = 51 ^\circ C$  tenemos que:

$$\Delta H_{fg} = 567 \left[ \frac{Kcal}{Kg} \right]$$

$$t = 60 ^\circ C$$

$$t_w = 51 ^\circ C$$

Reemplazando los datos en la ecuación (2.5)

$$W_c = \frac{h_c (t - t_w)}{\Delta H_{fg}} \quad (2.5)$$

Reemplazando los datos en la ecuación (2.5) tenemos:

$$W_c = \frac{7,80}{567} (60 - 51)$$

$$W_c = 0,125 \left[ \frac{Kg}{m^2 h} \right]$$

**- Cálculo de la velocidad de secado en el periodo *poscrítico*:**

El cálculo lo haremos a partir de la ecuación (2.6)

$$W = W_c - \left( \frac{X_c - X}{X_c - X_f} \right) (W_c - W_f) \quad (2.6)$$

Antes de continuar debemos de calcular el *tiempo de secado poscrítico* por lo tanto lo determinaremos después de calcularlo.

### Cálculo del tiempo de secado:

#### - Cálculo del tiempo de secado en el periodo *antecrítico*:

El tiempo de secado en el periodo antecrítico se determinará a partir de la ecuación (2.9):

$$\theta_c = \frac{S}{A} \frac{X_i - X_c}{W_c} \quad (2.9)$$

Los datos para el cálculo son:

$$S = 12.685 \text{ [kg]}$$

$$\text{El área de secado es: } A = (B L) = (3,60 * 4,30)$$

$$A = 15,48 \text{ [m}^2\text{]}$$

Pero la madera está apilado en 30 filas entonces el área es  $A = 30 * 15,48$

$$A = 464,40 \text{ [m}^2\text{]}$$

La humedad de equilibrio se obtiene de la tabla 5 - 4: Programa de secado donde,  $X^* = 4,5 \%$  cuando  $CH_f = 10 \%$  entonces tenemos:

$$X^* = \frac{4,5}{95,5} = 0,047 \left[ \frac{\text{Kg}_{\text{agua}}}{\text{kg}_{\text{madera seca}}} \right]$$

y

$$X_i = 1,000 \left[ \frac{\text{Kg}_{\text{agua}}}{\text{kg}_{\text{madera seca}}} \right]$$

$$X_c = \frac{30}{70} = 0,428 \left[ \frac{\text{Kg}_{\text{agua}}}{\text{kg}_{\text{madera seca}}} \right]$$

$$X_f = 0,111 \left[ \frac{\text{Kg}_{\text{agua}}}{\text{kg}_{\text{madera seca}}} \right]$$

$$W_c = 0,125 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2 \text{ h}} \right]$$

Reemplazando los datos en la ecuación (2.9):

$$\theta_c = \frac{S}{A} \frac{X_i - X_c}{W_c} = \frac{12.685}{464,40} \left[ \frac{1 - 0,428}{0,125} \right]$$

$$\theta_c = 265 [h]$$

Si el secado se hace las 24 horas entonces  $\theta_c$  es:

$$\theta_c = 11 [dias]$$

**- Cálculo del tiempo de secado en el periodo poscrítico:**

El tiempo de secado en el periodo poscrítico se determinará a partir de la ecuación (2.9):

$$\theta_p = \frac{S}{A} \frac{X_c - X^*}{W_c} \ln \left( \frac{X_c - X^*}{X_f - X^*} \right) \quad (2.12)$$

Reemplazando los datos en la ecuación (2.12) tenemos:

$$\theta_p = \frac{12.685}{464,40} \frac{0,428 - 0,047}{0,125} \ln \left( \frac{0,428 - 0,047}{0,111 - 0,047} \right)$$

$$\theta_p = 249 [h]$$

Si el secado se hace las 24 horas entonces  $\theta_p$  es:

$$\theta_p = 10 [dias]$$

**- Cálculo del tiempo total:**

El tiempo total es:

$$\theta_T = \theta_c + \theta_p = 11 + 10$$

$$\theta_T = 21 [dias]$$

El  $\theta_T$  solo mide el tiempo de secado desde  $X_i$  hasta  $X_f$ , *sin tomar en cuenta el tiempo de calentamiento y de igualamiento.*

**- Cálculo de la velocidad de secado decreciente:**

El cálculo lo haremos a partir de la ecuación (2.6)

$$W = W_c - \left( \frac{X_c - X}{X_c - X_f} \right) (W_c - W_f) \quad (2.6)$$

Los datos para el cálculo son:

$$W_c = 0,125 \left[ \frac{Kg}{m^2 h} \right]$$

$$X_f = 0,111 \left[ \frac{Kg_{agua}}{kg_{madera\ seca}} \right]$$

El PSF de las especies latifoliadas tienen en promedio una humedad del 25 % por lo tanto:

$$X_c = \frac{30}{70} = 0,428 \left[ \frac{Kg_{agua}}{kg_{madera\ seca}} \right]$$

La velocidad final lo determinaremos a partir de la ecuación (2.3):

$$W = \frac{S}{A} \left( - \frac{dX}{d\theta} \right) \quad (2.3)$$

$$W_f = \frac{S}{A} \left( - \frac{dX}{d\theta} \right) = - \frac{S}{A} \left( \frac{\Delta X}{\Delta \theta} \right) = - \frac{S}{A} \left( \frac{X_f - X_c}{\theta_p} \right)$$

Reemplazando los datos en la ecuación (2.3) tenemos:

$$W_f = - \frac{12,685}{464,40} \left( \frac{0,111 - 0,428}{149} \right)$$

$$W_f = 0,060 \left[ \frac{Kg}{m^2 h} \right]$$

Para determinar la velocidad en cualquier punto del periodo poscrítico lo podríamos hacer a partir de la ecuación (2.6), reemplazando las variables encontradas hasta ahora.

$$W = W_c - \left( \frac{X_c - X}{X_c - X_f} \right) (W_c - W_f) \quad (2.6)$$

$$W = 0,125 - \left( \frac{0,428 - X}{0,428 - 0,111} \right) (0,125 - 0,060)$$

$$W = 0,125 - \left( \frac{0,428 - X}{0,317} \right) (0,065)$$

Sin olvidar que,  $X_c \leq X \leq X_f$

**- Cálculo de las resinas que se generan al interior del secadero:**

Los datos para el cálculo son:

$$S = 12.685 \text{ [kg]}$$

*Resinas* = 2 % de la madera seca

$$\text{Resinas} = 0,02 * 12.685$$

$$\text{Resinas} = 253,7 \text{ [kg]}$$

Pero hay que hacer la siguiente consideración; una parte de la resina será arrastrada por el aire y expulsado al exterior del secadero, por lo tanto lo más probable es que solo se recolecte a lo más el 20% de la resina que contiene la madera.

$$\text{Resinas} = 0,2 * 253,7$$

$$\text{Resinas} = 50,74 \text{ [kg]}$$

Todos los cálculos de operación del secadero para *Maderas de Secado Moderado*, los podemos ver en las siguientes tablas resumen.

**Tabla 5 - 8: Tabla de resumen de resultados 1**

	Humedad	
	Inicial	Final
Base húmeda [%]	50	10
Base seca $\left[ \frac{Kg_{agua}}{kg_{madera\ seca}} \right]$	1,000	0,111

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5 - 9: Tabla de resumen de resultados 2**

Masa madera		Masa de agua		
Madera húmeda [Kg]	Madera seca [Kg]	Agua al inicio [Kg]	Agua al final [Kg]	Agua evaporada [Kg]
25.370	12.685	12.685	1.409	11.276

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5 - 10: Tabla de resumen de resultados 3**

Calor Requerido [Kcal]	Velocidad de secado		Tiempo de Secado	
	Constante [Kg/m <sup>2</sup> h]	Decreciente [Kg/m <sup>2</sup> h]	Constante [dias]	Decreciente [dias]
3,07*10 <sup>6</sup>	0,125	*W	11	10

Fuente: Elaboración propia. \*  $W = 0,125 - \left(\frac{0,428-X}{0,317}\right)(0,065)$ , Sin olvidar que,  $X_c \leq X \leq X_f$

Haciendo analogía de los cálculos anteriores para Maderas de secado Moderado, tenemos los siguientes resultados para el secado de *Maderas de secado Suave*.

**Tabla 5 - 11: Tabla de resumen de resultados 4**

Calor Requerido [Kcal]	Velocidad de secado		Tiempo de Secado	
	Constante [Kg/m <sup>2</sup> h]	Decreciente [Kg/m <sup>2</sup> h]	Constante [dias]	Decreciente [dias]
2,54*10 <sup>6</sup>	0,142	*W	12	11

Fuente: Elaboración propia. \*  $W = 0,125 - \left(\frac{0,313-X}{0,482}\right)(0,076)$ , Sin olvidar que,  $X_c \leq X \leq X_f$

Lo mismo para el secado de *Maderas de secado Fuerte*.

**Tabla 5 - 12: Tabla de resumen de resultados 5**

Calor Requerido [Kcal]	Velocidad de secado		Tiempo de Secado	
	Constante [Kg/m <sup>2</sup> h]	Decreciente [Kg/m <sup>2</sup> h]	Constante [dias]	Decreciente [dias]
3,71*10 <sup>6</sup>	0,156	*W	9	9

Fuente: Elaboración propia. \*  $W = 0,125 - \left(\frac{0,362-X}{0,289}\right)(0,048)$ , Sin olvidar que,  $X_c \leq X \leq X_f$

### 5.2.3 Edificación del Secadero

La edificación del secadero de este proyecto consta de las siguientes partes:

- Cimientos
- Piso y contrapiso
- Muros
- Techos

- Instalaciones

### 5.2.3.1 Cimientos y Sobrecimientos

La cimentación generalmente bajo tierra, es la parte de la estructura de un edificio que sirve para soportar toda la construcción y repartir las cargas de su peso sobre un terreno, a fin de que no se hunda.

Los cimientos son las estructuras que reciben todo el peso de una construcción, por lo que deben descansar en terrenos firmes sólidos, que no se asienten ni compriman con el peso del edificio. Recuerde que un cimiento es tan fuerte y sólido como la tierra que tiene debajo.

- Suelos: En general, las capas superficiales de suelo, llamada *suelo vegetal*, son poco firmes y por tanto, inadecuadas para servir de sostén al cimiento. Pero la capas más profundas del suelo, más estables y resistentes, son adecuadas para soportar el basamento de la construcción. Para encontrar estas capas de suelo firme se hace la excavación para los cimientos.

- Excavación: La excavación se hace sobre las líneas de las cepas marcando el terreno, cuyo ancho ya deberá haber tomado en cuenta la dureza del terreno donde se va a construir.

Cuando la excavación es profunda o el terreno es muy suelto, las paredes del acepa se pueden derrumbar en parte. Para evitarlo se ponen *ademes*, que son como cimbras hechas de tablas y polines, que detienen la tierra de las paredes. Una vez realizado toda la excavación se nivela el fondo de la cepa golpeándolo con un pisón de mano.

- Tipos de cimientos: Para las casas habitación hay tres principales tipos cimientos: los cimientos perimetrales o cimientos corridos, de los que ya hemos tratado al hablar del trazado y de excavación; los cimientos a base de zapatas o columnas y los cimientos de losa corrida.

- **Los cimientos corridos:** O continuos van por debajo de los muros de carga, para recibir su peso. Son los más comúnmente usados. Pueden ser mampostería de piedra, mampostería de tabique, de mampostería de bloque hueco o de concreto reforzado.
- **El cimiento aislado:** O zapata , se usa principalmente para elementos aislados, como columnas, o para viviendas en terrenos de gran desnivel, o con basamento en las casas hechas de madera, que necesitan estar separadas del suelo para que la humedad no pudra el maderamen del apoyo y del piso.
- **Losa de cimentación:** Es una plancha de concreto reforzado con acero, que es a la vez cimiento y piso. Está indicada en suelos arcillosos por que se asienta uniformemente y en edificios de un piso, particularmente si son ligeros. Algunas veces se usa en combinación con zapatas.

La selección del tipo de cimientos depende de las condiciones específicas del terreno, de la naturaleza del edificio que se quiere hacer, del clima, del reglamento de la construcción local y de la habilidad del constructor.

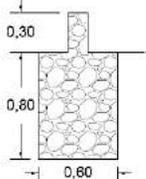
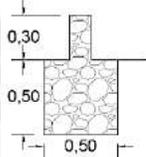
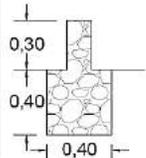
Cuando la edificación es de un piso, los cimientos pueden ser más ligeros. En un terreno poco blando, la base tiene como mínimo 80 *cm*; y sobre el suelo duro, desde 40 *cm*.

La altura de los cimientos también cambia y va de 40 *cm*, como mínimo, hasta 1 *m* o más, según la profundidad a la que se encuentre el terreno firme.

La corona, que es la parte superior del cimiento, generalmente de 25 a 30 *cm* de ancho, debe quedar siempre más alta que el suelo, sobresaliendo un mínimo de 30 *cm* por arriba del terreno.

Los *cimientos* y *sobrecimientos* serán de *hormigón ciclópeo* los materiales los veremos en detalle un poco más adelante.

**Cuadro 5 - 1: Dimensiones aconsejables, dependiendo de la resistencia del suelo**

Tipo de Suelo	Cimientos Míminos [m]
<b>Suelo Blando</b>	
<b>Suelo poco Duro</b>	
<b>Suelo Duro</b>	

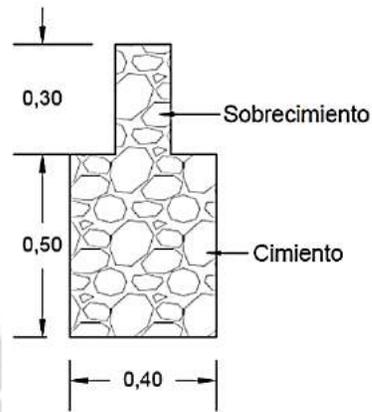
Fuente: Presupuesto de Construcción segundo semestre de 2014

En base a las consideraciones previas haremos el diseño de los cimientos para la edificación del secadero de madera tomando en cuenta lo siguiente:

- El suelo en los barrios de Alto Lima segunda sección, Villa ingenio son del tipo **duro**.
- El ancho de los cimientos también dependerá del peso de los muros.
- Los cimientos corridos se pueden hacer de piedra, de tabique, de bloque o de concreto armado.
- Los sobre cimientos en lo posible deben ser altos para proteger de las lluvias a la parte resistente.

La siguiente figura contiene todas las consideraciones hechas para el diseño del cimiento y sobrecimiento de hormigón ciclópeo.

**Figura 5 - 9: Dimensiones de la sección del cimiento corrido**



Fuente: Presupuesto de Construcción segundo semestre de 2014

- Cálculo de volúmenes del cimiento y sobrecimiento: Para calcular el costo por metro lineal del cimiento y sobrecimiento de hormigón ciclópeo se debe determinar el volumen. Además se necesita conocer el ancho del muro (ladrillo de 6 huecos 24x18x12 cm) que nos ayudara a determinar el volumen del sobrecimiento.

Datos:

**Cimiento de hormigón ciclópeo.**

*Ancho = 0,4 m*

*Alto = 0,5 m*

**Sobrecimiento de hormigón ciclópeo.**

*Ancho = 0,18 m*

*Alto = 0,3 m*

**Dimensiones del secadero.**

*B = 5,6 m*

*Z = 5,3 m*

### Calculo del perímetro del secadero:

El perímetro del secadero está formado por la puerta al frente (no necesita cimiento y sobrecimiento) y los muros de los costados y de atrás que si lo necesitan, por lo tanto el perímetro viene dado por:

$$Perimetro = B + 2 Z = 5,6 + 2 * 5,3$$

$$Perimetro = 16,2 m$$

### Cálculo del volumen de excavación:

$$V_{excavacion} = 0,4 * 0,5 * 16,2$$

$$V_{excavacion} = 3,24 m^3$$

### Cálculo del volumen de cimiento:

$$V_{cimiento} = V_{excavacion} = 3,24 m^3$$

### Cálculo del volumen de sobrecimiento:

$$V_{sobrecimiento} = 0,18 * 0,3 * 16,2$$

$$V_{sobrecimiento} = 0,875 m^3$$

- Dosificación de materiales: La dosificación es vital para determinar la resistencia de la construcción, de ahí que tenemos la siguiente tabla que nos ayudara a ese objetivo.

Tabla 5 - 13: Dosificación de materiales

	Pisos y Muros	Zapatas	Columnas Vigas y Losas	Columnas y Losas
Resistencia Kg/cm <sup>2</sup>	150	180	210	250
Grava común m <sup>3</sup>	6	5	5	4
Arena común m <sup>3</sup>	4	4	3	3
Cemento m <sup>3</sup>	1	1	1	1
Agua m <sup>3</sup>	2	2	2	2

Fuente: Presupuesto de Construcción segundo semestre de 2014

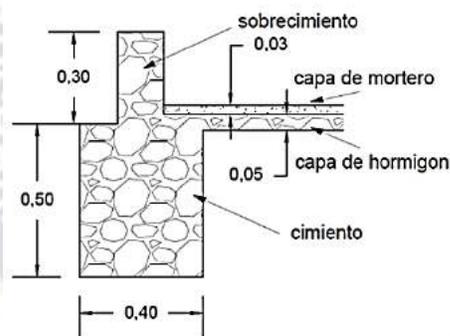
### 5.2.3.2 Piso y Contrapiso

- Pisos: Los pisos se extienden por toda el área de edificación conformando una superficie de apoyo. El piso puede consistir en una losa de hormigón en contacto con el suelo y estar enmarcado por una cimentación corrida, o puede formar parte de ella. Para pisos que van a ser fijados con mortero, se vaciará una primera capa de hormigón con un espesor de 5 *cm*.

- Contrapisos: La segunda capa será vaciada con mortero de 3 *cm* espesor.

Además no hay que olvidar la capa impermeable de polietileno de 0,25 *mm*. Ubicado entre la capa de hormigón y la de mortero.

Figura 5 - 10: Dimensiones de la sección del piso y contrapiso



Fuente: Presupuesto de Construcción segundo semestre de 2014

- Cálculo de volúmenes del piso y contrapiso:

Datos:

**Piso de hormigón ciclópeo.**

*Espesor = 0,05 m*

**Contrapiso de mortero de cemento.**

*Espesor = 0,03 m*

**Cálculo del área del piso y contrapiso:**

$$A = 5,6 * 5,3$$

$$A = 29,68 \text{ m}^2$$

**Cálculo del volumen del piso:**

$$V_{\text{piso}} = 0,05 * 29,68$$

$$V_{\text{piso}} = 1,48 \text{ m}^3$$

**Cálculo del volumen del contrapiso:**

$$V_{\text{contrapiso}} = 0,03 * 29,68$$

$$V_{\text{contrapiso}} = 0,89 \text{ m}^3$$

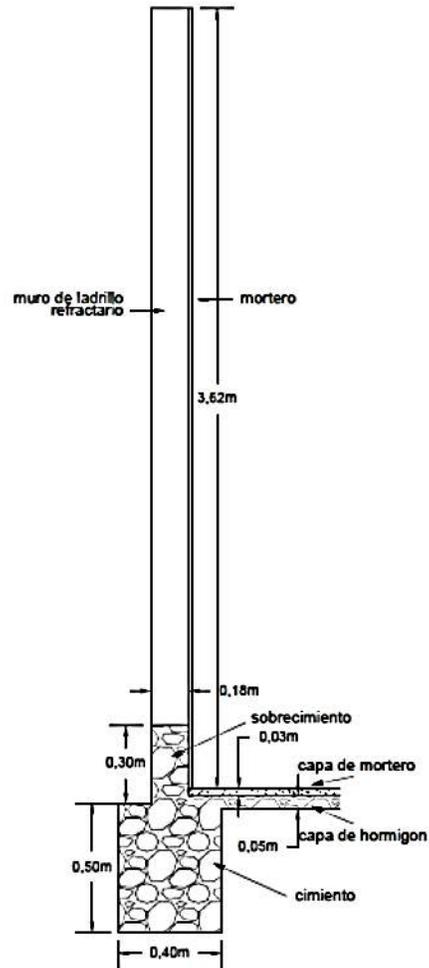
### 5.2.3.3 Muros

Los muros son elementos divisorios que forman los espacios de una edificación. Sin embargo algunas veces son utilizados para usos complementarios como el de soportar pesos de la edificación. Según la dirección del peso se puede hablar de muros de carga y de muros de contención.

- Muros de Carga: Son los que soportan peso en forma vertical. En construcciones de un piso los muros se utilizan para soportar la cubierta o techo.

- Muros de Contención: Son los que soportan pesos en forma horizontal o lateral. Cuando estos muros se construyen en mampostería, se utiliza ladrillo tolete recocido y un mortero de pega muy consistente. El espesor debe ser de por lo menos 25 cm, y varía según el caso.

Figura 5 - 11: Sección del muro y revoque



Fuente: Elaboración propia.

Datos:

**Ladrillo de 6 huecos 24x18x12 cm**

**Dimensiones del secadero**

$$B = 5,60 \text{ m}$$

$$Z = 5,30 \text{ m}$$

$$H = 3,62 \text{ m}$$

#### **Cálculo del área del perímetro:**

$$A = (2 * 5,30 + 5,60) * 3,62$$

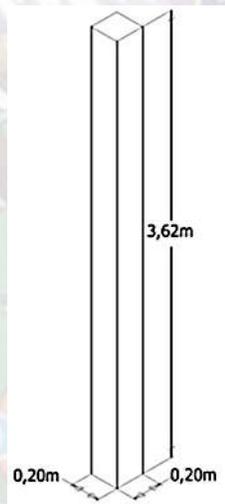
$$A = 58,64 \text{ m}^2$$

#### **5.2.3.4 Columnas**

Las columnas son parte de la edificación como elemento estructural y se distribuyen estratégicamente en la construcción, en lugar de muros de carga. En otros casos las columnas se utilizan como factores de diseño y estética. Los materiales de los que se construyen las columnas son de hormigón armado.

Tenemos un dibujo de la columna con las dimensiones aproximadas en la siguiente figura:

**Figura 5 - 12: Columna de hormigón armado**



Fuente: Elaboración propia.

Datos:

#### **Cálculo del volumen de la columna:**

$$V_{columna} = 0,2 * 0,2 * 3,62$$

$$V_{columna} = 0,14 \text{ m}^3$$

Como nuestro secadero tiene cuatro columnas entonces el volumen será:

$$V_{columna} = 0,56 \text{ m}^3$$

A continuación tenemos una tabla de los volúmenes calculados:

**Tabla 5 - 14: Resumen de cálculos**

Cimiento [m <sup>3</sup> ]	Sobrecimiento [m <sup>3</sup> ]	Piso [m <sup>3</sup> ]	Contrapiso [m <sup>3</sup> ]	Columnas [m <sup>3</sup> ]	Muros [m <sup>2</sup> ]
3,24	0,875	1,48	0,89	0,56	58,64

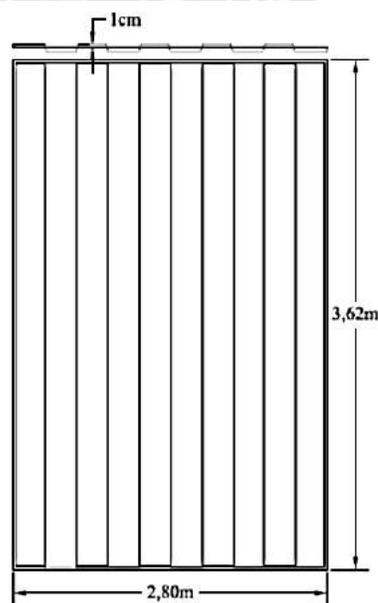
Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.3.5 Puerta

La puerta debe ser de un material inoxidable y anticorrosivo, además debemos buscar la manera de aislarlo.

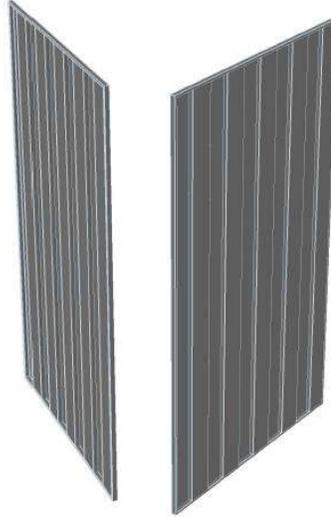
La puerta la colocaremos según el diseño en el lado  $X = 5,6 \text{ m}$ . La mejor opción sería dos puertas de planchas de aluminio de  $2 \text{ mm}$  de espesor, ahora para aislarlo lo que haremos es separar dos planchas de aluminio de  $1 \text{ cm}$  para que el aire entre las planchas sirva de aislante.

**Figura 5 - 13: Vista frontal de la puerta**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5 - 14: Puertas de aluminio**



Fuente: Elaboración propia.

### **5.2.3.6 Techo**

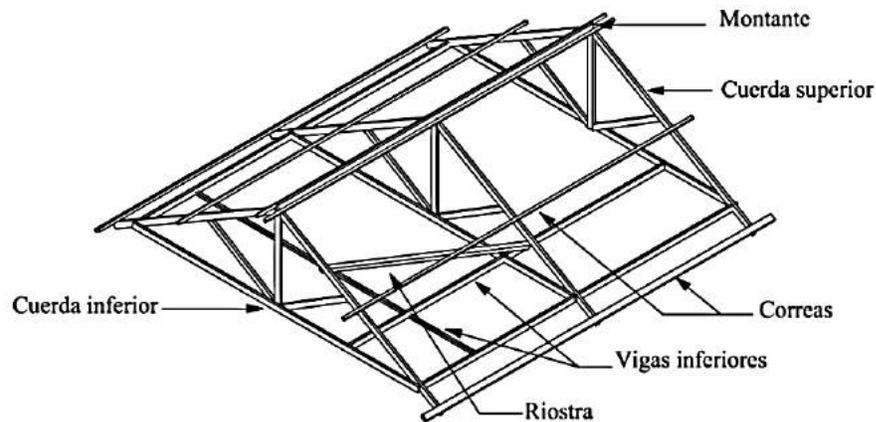
- Estructura del techo: Los techos a base de madera pueden y estar constituidos por diferentes sistemas estructurales. Sobre estos elementos se coloca la cubierta por el exterior y el cielo raso por el lado interior.

A continuación se suministran algunas definiciones utilizadas en este punto.

- **Armadura:** La forma exterior o contorno, que para una luz determinada; se tiene una pendiente mínima.
- **Luz:** Base de la armadura.
- **Espaciamiento:** distancia de separación entre armaduras.
- **Diagonales:** elementos de la armadura ubicados dentro de ella con un grado de inclinación.
- **Riostras:** elemento que sirve para darle rigidez a la estructura amarrando una armadura con otra, desde puntos opuestos formando una “equis”.
- **Correas:** elementos que se ubican sobre las armaduras.

- **Cargas:** son fuerzas que actúan sobre el sistema estructural y estas pueden ser permanentes como el peso propio de la estructura, y temporales como lo es el peso de ocupantes muebles y cargas externas.
- **Carga muerta:** la principal carga muerta es el peso propio de la estructura, sus valores se obtienen considerando el peso específico del material de la estructura y el volumen de la estructura, otro peso considerado es el de la cubierta.
- **Cargas vivas:** las cargas vivas se deben al uso y ocupación de la edificación, incluyendo cargas debidas a objetos móviles y particiones que se pueden cambiar de sitio.
- **Peso propio:** Es la suma de todos los pesos de los elementos que conforman la estructura.

**Figura 5 - 15: Vista isométrica de la estructura del techo**



Fuente: Elaboración propia.

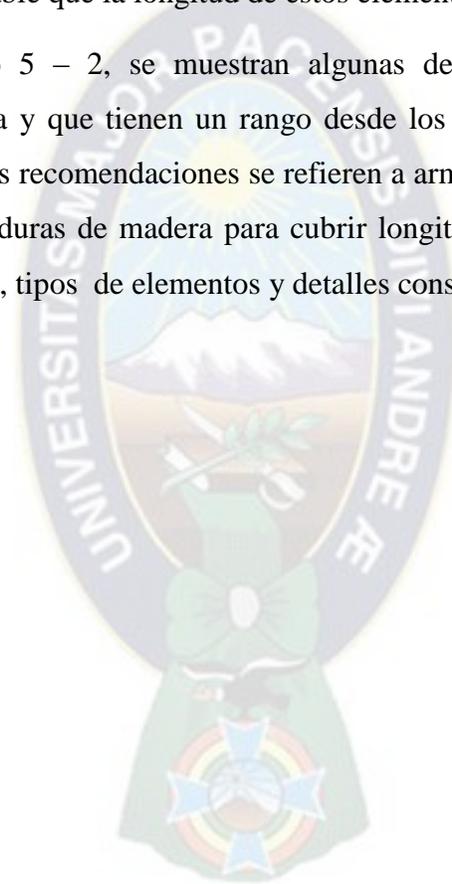
- Tipos de armaduras: En general hay dos aspectos a considerar en el dimensionamiento inicial de una armadura.

*Distribución interna* de las barras, que es función de máxima longitud recomendable y la necesidad de su triangulación para transmitir las cargas a los apoyos la ubicación de las correas que reciben la cobertura influye también en la ubicación de

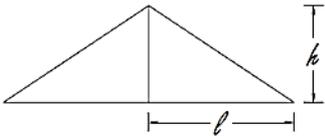
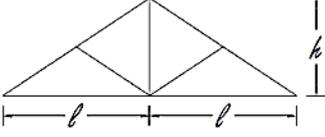
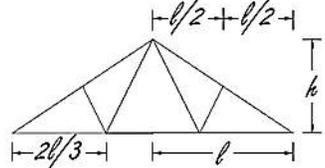
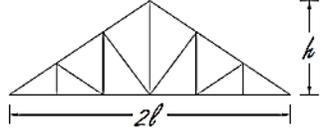
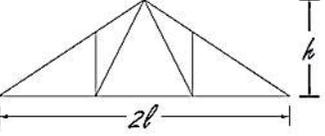
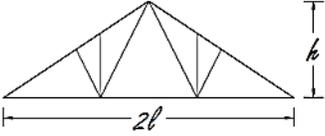
los nudos.

*La forma o contorno* exterior depende del tipo de cobertura, las condiciones arquitectónicas de la estructura y de la base a cubrir. Para evitar en lo posible esfuerzos por flexión de la cuerda superior es conveniente la ubicación de los nudos directamente debajo de las correas. Asimismo, para evitar el uso de secciones pesadas en esta misma cuerda, es recomendable que la longitud de estos elementos no exceda los 2,5 m.

En el cuadro 5 – 2, se muestran algunas de las formas más comunes en armaduras de madera y que tienen un rango desde los 4 hasta los 12 m de luz. Debe considerarse que estas recomendaciones se refieren a armaduras ligeras. Sin embargo, es posible diseñar armaduras de madera para cubrir longitudes mayores, haciendo uso de otras configuraciones, tipos de elementos y detalles constructivos.



**Cuadro 5 - 2: Armaduras de madera**

Forma	Longitud de Luz [m]	Pendiente $h/l$
	de 4 hasta 9	de $\frac{1}{3}$ hasta $\frac{2}{3}$
A o montaje maestro		
	de 4 hasta 9	de $\frac{1}{3}$ hasta $\frac{2}{3}$
Montaje maestro		
	de 4 hasta 9	de $\frac{1}{4}$ hasta $\frac{1}{2}$
W		
	de 6 hasta 12 o más	de $\frac{1}{4}$ hasta $\frac{5}{12}$
Howe		
	de 8 hasta 12 o más	de $\frac{1}{3}$ hasta $\frac{1}{2}$
Pratt		
	de 6 hasta 12	de $\frac{1}{3}$ hasta $\frac{1}{2}$
Abanico		

Fuente: Manual de Diseño para Maderas del grupo andino 1984.

- Selección del tipo de armadura: Para la selección del tipo de armadura que ha de usarse, es una cuestión de llenarse los requisitos de las condiciones de trabajo y de usar materiales y procedimientos en una forma económica, la elección del tipo de armadura depende de varios factores como son:

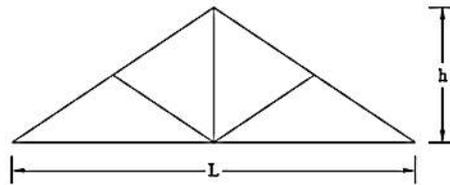
- Luz a salvar
- Espaciamiento
- Carga a soportar
- Tipo de cubierta desde el punto de vista arquitectónico
- Pendiente deseada en un techo
- Necesidades de aislamiento y ventilación

Tomando en cuenta la cuadro 5 - 2 y los factores previos, consideramos que la armadura que mejor se adapta a nuestras necesidades es la armadura tipo; **Montaje Maestro**. Una vez tengamos los resultados veremos qué tan acertado fue nuestra decisión.

- Cálculo de tracción, compresión y soporte:

### Montaje Maestro

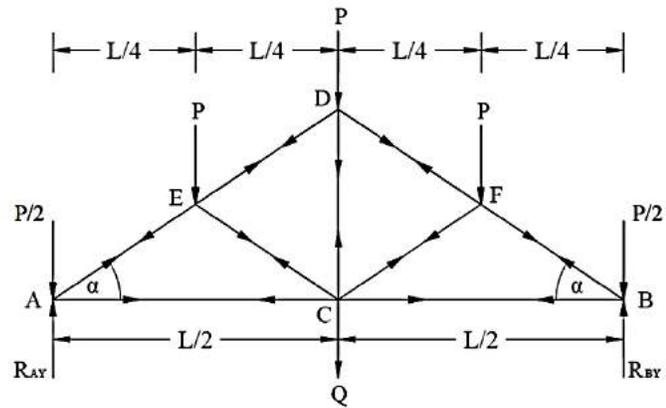
Figura 5 - 16: Armadura, montaje maestro



Fuente: Manual de Diseño para Maderas del grupo andino 1984.

Distribución de los pesos, cargas y soporte de la armadura.

**Figura 5 - 17: Fuerzas que actúan sobre la armadura**



Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$P$ : Peso propio [ $\text{Kg}/\text{m}^2$ ]

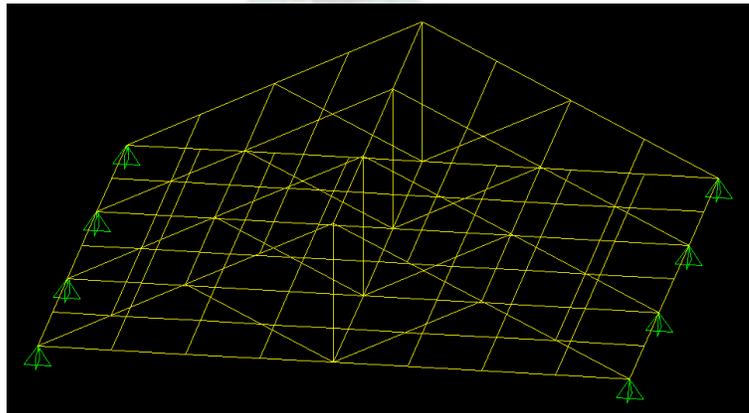
$R$ : Puntos de apoyo [ $\text{Kg}/\text{m}^2$ ]

$L$ : Luz [m]

$\alpha$ : Angulo de inclinación

**Cálculo del peso P:**

**Figura 5 - 18: Estructura de madera con la Armadura Montaje maestro**



Fuente: Elaboración propia.

Datos:

$$L = 5,6 \text{ [m]}$$

$$\text{tg } \alpha = 1/2$$

$$\rho_{(30\%)} = 1100 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$$

$$Z = 5,3 \text{ [m]}$$

$$X = 5,6 \text{ [m]}$$

$$P = \textit{armadura + correas superiores + vigas inferiores + cubierta} \\ + \textit{recargas}$$

**- Peso de la armadura:**

Hay que determinar las longitudes de la madera que se usara en la armadura.

**Tabla 5 - 15: Cálculo de requerimiento de vigas diagonales**

Piezas	Longitud [m]
AD	3,13
DB	3,13
AB	5,60
EC	1,56
CF	1,56
CD	1,40
<b>Total</b>	<b>16,38</b>

Fuente: Elaboración propia.

Para la construcción generalmente se usan vigas de:

**Tabla 5 - 16: Medidas y usos de las vigas**

Usos	Medidas [plg]
Correas	2 x 2
Riostras	2 x 3
Diagonales	2 x 4 ó 2 x 5
Montantes	2 x 6

Fuente: Elaboración propia.

La armadura requiere de vigas de acuerdo al uso de diagonales de 2x5 plg para nuestro proyecto.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{l * 2 * 5}$$

$$m = \rho l (2 * 5)$$

$$m = 1.100 (16,38) (0,05)(0,125)$$

$$m = 112,61 [Kg]$$

Área del techo

$$A = X * Z = 5,6 * 5,3$$

$$A = 29,68 [m^2]$$

- Espaciamiento aproximado de 1,5 m vamos a necesitar:

$$N^{\circ} \text{ armaduras} = \frac{Z}{1,5} = \frac{5,3}{1,5} = 3,53 \approx 4$$

$$N^{\circ} \text{ armaduras} = 4$$

$$\text{Espaciamiento real} = \frac{Z}{N^{\circ} \text{ armaduras} - 1} = \frac{5,3}{4 - 1}$$

$$\text{Espaciamiento} = 1,76 [m]$$

$$\text{Peso armadura} = \frac{m * N^{\circ} \text{ de armaduras}}{A} = \frac{112,61 * 4}{29,68}$$

$$\text{Peso armadura} = 15,18 \left[ \frac{Kg}{m^2} \right]$$

- Peso de las correas superiores de 2x2 plg:

Tabla 5 - 17: Cálculo de los requerimientos de vigas para correas

N° de piezas	Longitud de pieza [m]	Total [m]
6	5,3	31,8

Fuente: Elaboración propia.

$$m = 1.100 (31,8) (0,05 * 0,05)$$

$$m = 87,45 [Kg]$$

$$\text{Peso correas superiores} = \frac{m}{A} = \frac{87,45 \text{ kg}}{29,68 \text{ m}^2}$$

$$\text{Peso correas superiores} = 2,95 \left[ \frac{Kg}{\text{m}^2} \right]$$

**- Peso de las vigas inferiores:**

**Tabla 5 - 18: Cálculo de los requerimientos de vigas inferiores**

	N° de piezas	Longitud de pieza [m]	Total [m]
Vigas de 2x2	5	5,6	28
Vigas de 2x4	7	5,3	37,1

Fuente: Elaboración propia.

$$m = 1.100 (28)(0,05 * 0,05) + 1.100 (37,1)(0,05 * 0,1)$$

$$m = 97,4 [Kg]$$

$$\text{Peso vigas inferiores} = \frac{m}{A} = \frac{97,4 \text{ kg}}{29,68 \text{ m}^2}$$

$$\text{Peso vigas inferiores} = 3,28 \left[ \frac{Kg}{\text{m}^2} \right]$$

**Total madera requerido**

**Tabla 5 - 19: Total madera requerido**

	4 de Armadura 2x5 plg	Correas superiores 2x2 plg	Vigas inferiores		Total Madera Requerido [pies]
			2x2 plg	2x4 plg	
Longitud [m]	65,52	31,8	28	37,1	
Longitud [pie]	214,96	104,33	91,86	121,72	
Cantidad [pie <sup>2</sup> -plg]	179,13	34,78	30,62	81,15	325,68
Pérdidas del 5%					16,28
Total					<b>341,96</b>

Fuente: Elaboración propia.

**- Peso de la cubierta:**

Hay varios tipos de cubiertas y para fines de cálculo necesitamos el peso de una cubierta; en este caso vamos a usar calamina, dato que lo tenemos en el **ANEXO 12**, se tiene un peso aproximado de 6 [Kg/m<sup>2</sup>].

**- Peso por recargas:**

Se debe a cargas temporales como nevadas, vientos y otros, 10 [Kg/m<sup>2</sup>].

Por lo tanto el peso total será:

$$P = 15,18 + 2,95 + 3,28 + 6 + 10$$

$$P = 37,41 \left[ \frac{Kg}{m^2} \right]$$

**- Peso de las cargas Q:**

La carga **Q** depende del material del cielo raso los ventiladores y el intercambiador de calor, pero usando una media entre los diversos materiales le asignaremos un valor de 25 kg/m<sup>2</sup>.

**Tabla 5 - 20: Dimensiones de la armadura**

Pendiente	Luz [m]	Altura [m]	Espaciamiento [m]	Peso propio P [kg/m <sup>2</sup> ]	Peso de las cargas Q [kg/m <sup>2</sup> ]
1/2	5,6	1,4	1,77	37,41	25

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de esfuerzos y el cálculo de la resistencia de la estructura lo haremos con el programa SAP 2000 v14.0.0 advanced, con los datos de la tabla 5-17 y la figura 5-17.

En el **ANEXO 10** tenemos los resultados obtenidos por el software SAP 2000 en base a los cuales se concluye que los desplazamientos por flexión de la madera son por ejemplo; 0,0004 m o 0,4 mm por lo tanto la estructura es apropiada para soportar su *peso propio, los ventiladores, el intercambiador de calor, el cielo raso, la cubierta e inclemencias atmosféricas.*

- Cubierta: La cubierta exterior puede ser de distintos materiales. Entre los más usados están las tejas cerámicas, tejas asfálticas, planchas onduladas y/o de asbesto-cemento.

Recolección de información por tipos de cubierta existentes en el mercado, y sus condiciones de aplicación y restricciones.

Por las características del edificio del secadero existentes analizaremos sólo las cubiertas más típicas, excluyendo las tejas de arcilla y de mortero de cemento.

En el mercado nacional distinguimos los siguientes tipos de revestimientos de cubierta:

Planchas plegadas para ser instaladas sobre la estructura, como calamina metálica, plásticas o fibrocemento.

En el **ANEXO 13** tenemos las características, dimensiones, precios y otros detalles de cubiertas.

#### **5.2.3.7 Instalaciones**

Las instalaciones consta básicamente de; *acceso* (puerta), *instalación eléctrica* y la *protección del clima* (canaletas, tubos de descarga, etc.).

Todas las instalaciones los veremos en los planos de la edificación que veremos en detalle en los **ANEXOS 20,21 y 22**.

#### **5.2.4 Equipamiento del Secadero**

El funcionamiento del secadero depende de los equipos, que controlan los factores básicos como son el calor y humedad del aire (*sistema de calefacción*), la velocidad del aire (*sistema de ventilación*).

##### **5.2.4.1 Sistema de Ventilación**

Se estima una velocidad aproximada de 2,5 m/s; lo vimos en el punto 2.2.3 Factores Básicos del Secado de la Madera *Factor circulación del aire*.

El sistema de ventilación es conformado por:

- Ventilador.
- Ductos de ventilación.

- Selección del ventilador:

**Calculo del caudal del aire:**

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

$$Q = A_t v \quad (5.6)$$

Dónde:

$Q_{aire}$ : Caudal del aire [ $m^3/h$ ]

$A_t$ : Área transversal por donde circulara el aire en la carga de madera [ $m^2$ ]

$v_{aire}$ : Velocidad de circulación del aire [ $m/s$ ]

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

Datos:

$v = 2,5$  [ $m/s$ ]

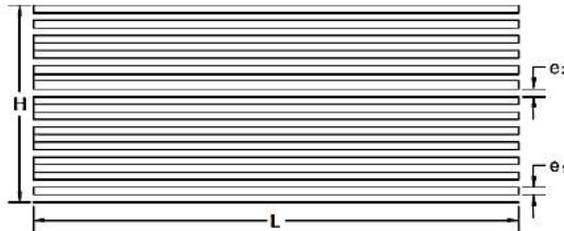
Nº de filas = 30

$e_1 = 0,051$  [ $m$ ] espesor de la madera

$e_2 = 0,03$  [ $m$ ] espesor de los separadores

$L = 4,30$  [ $m$ ]

**Figura 5 - 19: Vista lateral de la carga de madera**



Fuente: Elaboración propia.

$$A_t = L * e_2 * N^\circ \text{ de filas}$$

$$A_t = 4,30 * 0,03 * 30$$

$$A_t = 3,87 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$Q_{\text{aire}} = A_t v = 3,87 * 2,5$$

$$Q_{\text{aire}} = 9,67 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$Q_{\text{aire}} = 34.812 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

Para compensar las pérdidas debido a desviaciones del flujo de aire, se adiciona un 25% al caudal de aire.

$$Q_{\text{aire}} = 1,25 * 34.812 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

$$Q_{\text{aire}} = 43.515 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

Debemos determinar el número de ventiladores a partir del caudal determinado y la disponibilidad de estos en el mercado.

**Tabla 5 - 21: Relación ventilador caudal**

N° de ventiladores	Caudal Q [m <sup>3</sup> /h]
4	10.879
6	7.253
8	5.439

Fuente: Elaboración propia.

### Conceptos del Ventilador

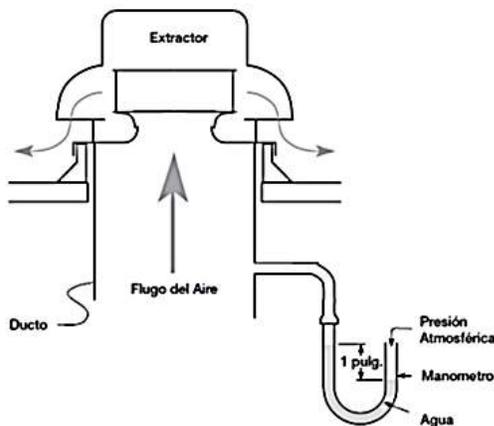
Un ventilador actúa como una bomba impulsora de aire. La velocidad a la cual un ventilador puede “bombear” aire depende de la presión que este tenga que superar. Para un volumen de aire, un sistema de distribución de aire produce una resistencia al flujo del aire ( $P_e$ ) esta resistencia es la suma de todas las pérdidas de presión estática a medida que el aire pasa a través del sistema. Dentro de los elementos que producen resistencia se incluyen el sistema del ducto, compuertas, rejillas, serpentines, etc.

*Si la Presión Estática aumenta, el caudal disminuye. Si la Presión Estática disminuye, el caudal aumentara.*

### Determinando la Presión Estática ( $P_e$ )

Las presiones generadas por los ventiladores en el sistema del ducto son de magnitudes pequeñas. Aun así, estimando correctamente la presión estática es un punto crítico para poder hacer una selección apropiada.

**Figura 5 - 20: Diferencia de presión manométrica ( $P_e$ )**



Fuente: madera-wikipedia la enciclopedia libre.

Una diferencia entre la presión del ducto y la atmósfera provocará que el nivel del agua en el manómetro tienda a colocarse en diferentes niveles. Esta diferencia es la presión estática medida en pulgadas de columna de agua. En el caso del extractor a la derecha, el aire es expulsado hacia arriba a través del ducto ya que el extractor introduce una región de baja presión por la cima o tope del ducto.

La cantidad de presión estática que un ventilador debe superar depende de la velocidad del aire dentro del ducto, el número de codos del ducto (y otros elementos resistentes) y la longitud del mismo. Para sistemas propiamente diseñados con suficiente aire de relleno, la tabla 5-17 que aparece debajo puede ser utilizada para estimar la presión estática:

**Cuadro 5 - 3: Guía para la Presión Estática**

Tipo de instalación	Pe (Presión Estática) [plg de agua]
Sin ducto:	0,05 a 0,20
Con ducto:	0,2 a 0,40 por cada 100 pies de ducto (asumiendo que la velocidad del aire dentro del ducto es de 1.000-1.800 pies/min)
Instalación:	0,08 por cada elemento instalado (codo, rejilla, compuerta, etc.)
Campana de Cocina:	0,625 a 1,50

Fuente: madera-wikipedia la enciclopedia libre.

De acuerdo a la aplicación, existen 3 elementos que necesitan ser determinados. Estos son:

1. El Modelo del Ventilador
2. El caudal
3. Presión Estática (Pe)

Ahora que sabemos cómo elegir el ventilador y después de haber revisado catálogos de empresas nacionales, se ha elegido **4 ventiladores**, del siguiente tipo.

### **Ventilador Seleccionado**

Marca: LEUCA Ventilador Axial Mural

Aplicaciones: Ventilación general de talleres, Ventilación de instalaciones

agropecuarias, procesos industriales, máquinas frigoríficas, intercambiadores de calor, secaderos, etc. Aptos para montaje en muros.

### Ficha técnica

**Caudales:** hasta 30 m<sup>3</sup>/s

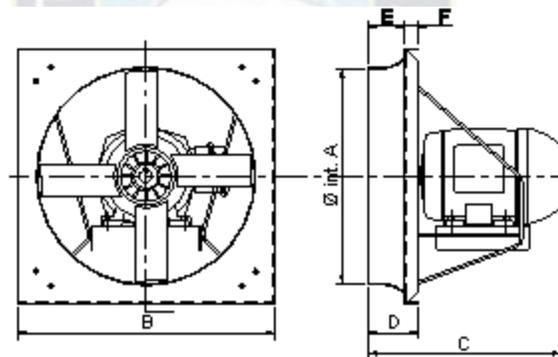
**Presiones (Pe):** hasta 3,94 plg

**Hélices:** PPG - PAG - AL - CH.

**Motor:** Tensión de alimentación trifásica o monofásica 2 hp, 50 Hz. Aislación clase F. Protección IP 55.

**Transmisión:** Directa.

Figura 5 - 21: Dimensiones del ventilador



Fuente: LEUCA( importadora de equipos de refrigeración).

A = 55,0 [cm]

B = 70,0 [cm]

C = 55,5 [cm]

D = 19,1[cm]

E = 16,6 [cm]

F = 12,5 [cm]

- Ductos de ventilación:

El sistema de ventilación permite controlar la humedad, intercambiando el aire húmedo de trabajo por aire fresco.

Los ductos de ventilación están contruidos en aluminio.

Son controladas con un servomotor con pre ajuste de mando proporcional que según las condiciones de la cámara modulan la apertura manteniendo un clima regular dentro de la misma.

**Figura 5 - 22: Ventila**



Fuente: SECAMAK( desarrolladores de tecnologia).

#### **5.2.4.2 Sistema de Calefacción**

El sistema de calefacción está compuesto de:

- El caldero.
- El intercambiador de calor.
- Línea de vapor.

Pero antes es necesario calcular el calor total para determinar cuánto vapor es necesario generar con el caldero (capacidad calorífica) y las características del intercambiador de calor (el diámetro, número de tubos la forma en que estarán acomodados).

En este apartado vamos a partir del calor requerido para secar la madera al interior del secadero dato obtenido en el punto 5.2.2; pero la edificación es una estructura que no es capaz de trabajar de forma adiabática (sistema ideal). Así que

debemos diseñar la edificación del secadero con materiales aislantes con el fin de evitar la pérdida de calor tanto como sea posible.

- Calor transferido al ambiente: Para minimizar la pérdida de calor, usaremos materiales de construcción comunes (arena, cemento, ladrillo, fierro, etc.), pero tomando en cuenta los materiales aislantes en función de la disponibilidad y precio en el mercado local.

### **Cálculo de la transmisión de calor a través del piso:**

Haremos el cálculo a partir de la ecuación (2.38).

$$q = -\frac{\Delta t}{R} = \frac{t - t_0}{\frac{L_a}{k_a A} + \frac{L_b}{k_b A} + \frac{L_c}{k_c A}} \quad (2.38)$$

Pero antes hay que hacer algunas correcciones, debido a que una parte del calor que se usa para calentar el interior se pierde a través del piso, muros y techo que transfiere el calor al ambiente.

La pregunta es ¿cuánto de calor *se pierde por cada grado de temperatura que se incrementa al secadero*? Una buena aproximación es utilizar la media aritmética de la temperatura y corregir la ecuación (2.38).

$$q = \frac{\frac{t + t_0}{2} - t_0}{\frac{L_a}{k_a A} + \frac{L_b}{k_b A} + \frac{L_c}{k_c A}} \quad (5.7)$$

En la Figura 5 – 10 tenemos el espesor y material del piso y contrapiso.

Datos:

$t_0 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ , temperatura ambiente

$t = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ , temperatura del bulbo seco, programa de secado

Piso:

$L_a = 3 \text{ cm} = 0,03 \text{ [m]}$

$$k_a = 1,2 \text{ [W/m } ^\circ\text{K]}$$

Contrapiso:

$$L_b = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ [m]}$$

$$k_b = 1,2 \text{ [W/m } ^\circ\text{K]}$$

Dimensiones del secadero.

$$X = 5,60 \text{ [m]}$$

$$Z = 5,30 \text{ [m]}$$

$$Y = 3,62 \text{ [m]}$$

Área del piso y contrapiso.

$$A = X Z = 5,60 * 5,30$$

$$A = 29,68 \text{ [m}^2\text{]}$$

Reemplazando los datos en la ecuación (5.7) tenemos:

$$q_1 = \frac{\frac{t + t_o}{2} - t_0}{\frac{L_a}{k_a A} + \frac{L_b}{k_b A}} = \frac{\frac{80 + 15}{2} - 15}{\frac{0,03}{1,2 * 29,68} + \frac{0,05}{1,2 * 29,68}} = \frac{32,5}{\frac{0,03}{1,2 * 29,68} + \frac{0,05}{1,2 * 29,68}}$$

$$q_1 = 15.582 \text{ [W]}$$

**Cálculo de la transmisión de calor a través de los muros:**

Datos:

Revoque interior (mortero de cemento):

$$L_a = 1,5 \text{ cm} = 0,015 \text{ [m]}$$

$$k_a = 1,2 \text{ [W/m } ^\circ\text{K]}$$

Aislante (lana de vidrio):

$$L_b = 2,5 \text{ cm} = 0,025 \text{ [m]}$$

$$k_b = 0,036 \text{ [W/m } ^\circ\text{K]}$$

Muro de ladrillo (ladrillo de 6 huecos 24 x 18 x 12 cm):

$$L_c = 12 \text{ cm} = 0,12 \text{ [m]}$$

$$k_c = 0,47 \text{ [W/m } ^\circ\text{K]}$$

Área de dos muros laterales y la posterior.

$$A = 2 Z Y + X Y = 2 * 5,30 * 3,62 + 5,60 * 3,62$$

$$A = 58,64 \text{ [m}^2\text{]}$$

Reemplazando los datos en la ecuación (5.7) tenemos:

$$q_2 = \frac{32,5}{\frac{L_a}{k_a A} + \frac{L_b}{k_b A} + \frac{L_c}{k_c A}} = \frac{32,5}{\frac{0,015}{1,2 * 58,64} + \frac{0,025}{0,036 * 58,64} + \frac{0,12}{0,47 * 58,64}}$$

$$q_2 = 1.980 \text{ [W]}$$

**Cálculo de la transmisión de calor a través de la puerta:**

Datos:

Aluminio:

$$L_a = 2 \text{ mm} = 0,002 \text{ [m]}$$

$$k_a = 200 \text{ [W/m } ^\circ\text{K]}$$

Aislante (aire):

$$L_b = 1 \text{ cm} = 0,01 \text{ [m]}$$

$$k_b = 0,023 \text{ [W/m } ^\circ\text{K]}$$

Área de la puerta.

$$A = X Y = 5,60 * 3,62$$

$$A = 20,27 \text{ [m}^2\text{]}$$

Reemplazando los datos en la ecuación (5.7) tenemos:

$$q_3 = \frac{32,5}{\frac{L_a}{k_a A} + \frac{L_b}{k_b A}} = \frac{32,5}{\frac{0,002}{200 * 20,27} + \frac{0,01}{0,023 * 20,27}}$$

$$q_3 = 1.515 [W]$$

### **Cálculo de la transmisión de calor a través del techo:**

Datos:

Cielo raso (plancha tecnopor de fibrocemento 244x122x1 cm):

$$L_a = 1 \text{ cm} = 0,01 \text{ [m]}$$

$$k_a = 0,204 \text{ [W/m } ^\circ\text{K]}$$

Aislante (lana de vidrio):

$$L_b = 2,5 \text{ cm} = 0,025 \text{ [m]}$$

$$k_b = 0,036 \text{ [W/m } ^\circ\text{K]}$$

Área del techo.

$$A = X L = 5,60 * 5,30$$

$$A = 29,68 \text{ [m}^2\text{]}$$

Reemplazando los datos en la ecuación (5.7) tenemos:

$$q_4 = \frac{32,5}{\frac{L_a}{k_a A} + \frac{L_b}{k_b A}} = \frac{32,5}{\frac{0,01}{0,204 * 29,68} + \frac{0,025}{0,036 * 29,68}}$$

$$q_4 = 1.397 [W]$$

### **Calor transferido al ambiente:**

La suma del calor que se transfiere al ambiente a través de los pisos, muros, puerta y el techo tiene el siguiente valor.

$$q_5 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4$$

$$q_5 = 15.582 + 1.980 + 1.515 + 1.397$$

$$q_5 = 20.474 [W]$$

- Calor necesario para el funcionamiento del secadero:

Calor = calor de operación + calor transferido al ambiente

Antes debemos de calcular el calor de operación que viene por la siguiente ecuación:

$$q_0 = \frac{q}{\theta} = \frac{q}{\theta_T + \theta_1}$$

Dónde:

$q = 3,07 * 10^6$  [kcal], calor para llevar desde  $X_i$  hasta  $X_f$ , de la tabla 5-9.

$\theta_T = 21$  [dias], el tiempo de secado desde  $X_i$  hasta  $X_f$ , de la tabla 5-9.

$\theta_1 = 4$  [dias], se estima el tiempo para el calentamiento (antes del proceso) y el igualamiento, acondicionamiento y enfriamiento (al terminar el proceso).

Por lo tanto tenemos:

$$q_0 = \frac{q}{\theta} = \frac{q}{\theta_T + \theta_1} = \frac{3,07 * 10^6 \text{ Kcal}}{(21 + 4) \text{ dias}}$$

$$q_0 = 10.640 [W]$$

Ahora podemos determinar el calor necesario para el funcionamiento del secadero.

$$q_{funcionamiento} = q_0 + q_5$$

$$q_{funcionamiento} = 10.640 + 20.474$$

$$q_{funcionamiento} = 31.114 [W]$$

- Calculo del calor total:

Finalmente, asumiendo pérdidas del (25%) al ambiente, calentamiento de los equipos la edificación y otras pérdidas tenemos el calor total para el funcionamiento del secadero.

$$q_T = 1,25 * q_{funcionamiento} = 1,25 * 31.114$$

$$q_T = 38.892 [W]$$

#### 5.2.4.2.1 Diseño del Intercambiador de Calor

Lo primero es determinar el *número de tubos* y la *temperatura del vapor de agua* con la que se debe alimentar al banco de tubos. Con estos datos podremos hacer una elección del caldero.

- Flujo a través de bancos de tubos: Debido a que muchos arreglos en cambiadores de calor involucran hileras múltiples de tubos, las características de transferencia de calor para bancos de tubos son de gran interés práctico. Grimson estudió las características de hileras de tubos alternadas y alineadas, y en base a una correlación de los resultados obtenidos por otros investigadores, pudo presentar los datos en la forma de la ecuación (5.9). En la tabla 5 – 17 se dan los valores de la constante *C* y el exponente *n*, en términos de los parámetros geométricos utilizados para describir el arreglo del conjunto de tubos. El número de Reynolds está basado en la velocidad máxima que ocurre en el banco de tubos; es decir, la velocidad a través del área mínima de flujo. Esta área dependerá del arreglo geométrico de tubos.<sup>6</sup>

En la figura 5-22 se da la nomenclatura que se utiliza con la tabla 5 - 17. Los datos de la Tabla 5 - 17 corresponden a bancos de tubos que tengan 10 o más hileras en la dirección del flujo.

$$v_{max} = v \left( \frac{S_n}{S_n - d_{externo}} \right) \quad (5.8)$$

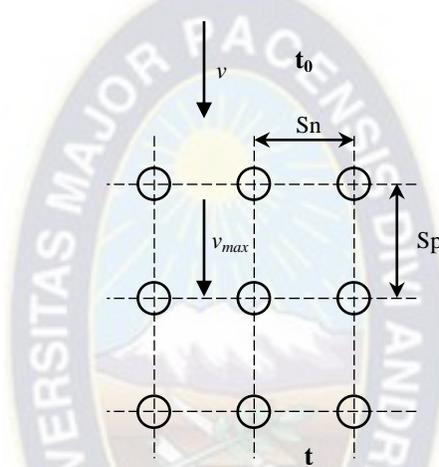
<sup>6</sup> J. P. HOLMAN, México 1999. "Transferencia de calor". Compañía editorial continental, S.A. de C.V. México. pag. 258

$$Re = \frac{v_{max} \rho d}{\mu} \quad (5.9)$$

$$\frac{h_c d}{k} = c Re^n Pr^{\frac{1}{3}} \quad (5.10)$$

$$q = h A (t_{exterior\ del\ tubo} - t_{aire}) \quad (5.11)$$

Figura 5 - 23: Nomenclatura que se utiliza para ordenar los tubos



Fuente: Elaboración propia.

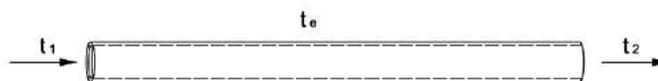
Tabla 5 - 22: Correlación de Grimson para transferencia de calor para bancos de tubos de 10 hileras o más

$S_n/d$	1,25		1,5		2,0		3,0	
	c	N	c	n	C	n	c	n
1,25	0,386	0,592	0,305	0,608	0,111	0,704	0,070	0,752
1,5	0,407	0,586	0,278	0,620	0,112	0,702	0,075	0,744
2,0	0,464	0,570	0,332	0,602	0,254	0,632	0,220	0,648
3,0	0,322	0,601	0,396	0,584	0,415	0,581	0,317	0,608

Fuente: Transferencia de calor (J. P. Holman 10ma edición).

### Cálculo de la temperatura de la temperatura de superficie de los tubos:

Figura 5 - 24: flujo del vapor a través del tubo



Fuente: Elaboración propia.

Datos:

$Q = 10.879 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$ , caudal del aire de un ventilador, de cuatro seleccionados.

$N^\circ = 4$ , ventiladores.

$v = 2,5 \left[ \frac{m}{s} \right]$ , velocidad del aire.

$t_0 = 15 [^\circ C]$ , temperatura ambiente.

$t = 80 [^\circ C]$ , temperatura máxima que alcanza el bulbo seco en el secadero.

$q_T = 38.892 [W]$ , calor total para el funcionamiento del secadero.

$Z = 5,30 [m]$ , longitud del secadero.

$L = 4,30 [m]$ , longitud de la carga al interior del secadero.

$b = 1 [m]$ , espacio para el flujo del aire y colocar los tubos.

*filas* =?

*columnas* =?

$t_1 \cong t_2$  =?

$t_e$  =? Temperatura de la superficie exterior de los tubos.

$v_{vapor}$  =?

**Especificaciones técnicas de los tubos de acero al carbono.**

*Longitud* = 6,4 [m] ANEXO 13.

$d_{externo} = 34 \text{ mm} = 0,034 [m]$ , diámetro nominal ANEXO 14.

$e = 2,9 \text{ mm} = 0,0029 [m]$ , espesor de la tubería ANEXO 14.

*Peso* = 2,2 [kg/m] ANEXO 14.

$k = 58 \left[ \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]$ , conductividad térmica del acero ANEXO 4.

### Calculo del número de filas y columnas para el banco de tubos de acero:

Lo primero es calcular  $S_n$  y  $S_p$ , en base a la tabla 5-17. En nuestro caso el caudal no es tan grande, razón por la cual vamos a utilizar *la relación mayor*  $S_n/d_e$ , mientras que para la relación  $S_p/d_e$  utilizaremos *el menor*, debido a que a menor separación la transferencia de calor será más efectiva.

$$\frac{S_n}{d_e} = 1,25$$

$$\frac{S_p}{d_e} = 3,0$$

Despejando  $S_n$  tenemos:

$$S_n = 0,102 [m]$$

Despejando  $S_p$  tenemos:

$$S_p = 0,043 [m]$$

Ahora podemos conocer las constantes  $c$  y  $n$  de la tabla 5-17.

$$c = 0,0703$$

$$n = 0,752$$

#### - Calculo de la velocidad máxima:

La velocidad máxima que alcanza el aire al pasar por el banco de tubos.

$$v_{max} = v \left( \frac{S_n}{S_n - d_{externo}} \right)$$

$$v_{max} = 2,5 \left( \frac{0,102}{0,102 - 0,034} \right)$$

$$v_{max} = 3,75 \frac{m}{s}$$

El caudal del aire a través del banco de tubos de la figura 5-21 viene dado por la siguiente ecuación:

$$Q = A_t v = \text{columnas}((S_n - d_e) l) v_{max} \quad (5.12)$$

Dónde:

$Q$ : Caudal del aire

$A_t$ : Área transversal por donde circula el aire

$S_p$ : Distancia entre centros de los tubos en la dirección del flujo.

$S_n$ : Distancia entre centros de los tubos por donde circula el aire.

$l$ : Longitud de cada intercambiador (banco de tubos).

$v_{max}$ : Velocidad que alcanza el aire al pasar por el banco de tubos.

$$A_t = \text{columnas}(S_n l)$$

$N^\circ$  de banco de tubos = 4, haremos el diseño para esta cantidad.

$$\text{columnas} = \frac{Q}{((S_n - d_e) l) v_{max}}$$

$$l = \frac{L}{N^\circ \text{ de banco de tubos}} = \frac{4,30}{4}$$

$$l = 1,075 \text{ m}$$

$$\text{columnas} = \frac{10.879 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3.600 \text{ s}}}{(0,102 - 0,034) \text{ m} * 1,075 \text{ m} * 3,75 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$\text{columnas} = 10,02 \cong 10$$

El coeficiente de transferencia de calor se calcula con la ecuación (5.10). Pero antes las propiedades del aire se evalúan a la temperatura de película, que en la entrada del banco de tubos es:

$$h_{ce} = \frac{c k Re_e^n Pr^{\frac{1}{3}}}{d_e} \quad (5.10)$$

Dónde:

$h_{ce}$ : Coeficiente de convección del aire.

$d_e$ : Diámetro exterior del tubo.

$k$ : Conductividad térmica del aire.

$Re_e$ : Numero de Reynolds exterior.

$c$  y  $n$ : Constantes que se obtienen de la tabla 5-18.

$$t_{aritmética} = \frac{t + t_o}{2} = \frac{80 + 15}{2}$$

$$t_{aritmética} = 47,5 \text{ °C}$$

Las condiciones del aire a la temperatura de 47,5 °C, se obtiene de la tabla del

#### ANEXO 8:

$$\rho = 1,093 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$\mu = 1,951 * 10^{-5} \left[ \frac{Kg}{m \cdot s} \right]$$

$$k = 0,027 \left[ \frac{W}{m \cdot \text{°C}} \right]$$

$$Pr = 0,695$$

$$Re_e = \frac{v_{max} \rho d_{ext}}{\mu} = \frac{3,75 * 1,093 * 0,034}{1,951 * 10^{-5}}$$

$$Re_e = 7.143$$

$$\frac{h_c d_e}{k} = c Re_e^n Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$h_{ce} = \frac{c k Re_e^n Pr^{\frac{1}{3}}}{d_e} = \frac{0,0703 * 0,027 * 7.143^{0,752} * 0,695^{\frac{1}{3}}}{0,034}$$

$$h_{ce} = 39,1 \left[ \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C} \right]$$

Área del banco de tubos.

$$A_e = (\text{filas} * \text{columnas}) \pi d_e l = (\text{filas} * 10) \pi * 0,034 * 1,25$$

$$A_e = 1,34 * \text{filas}$$

Una vez que conocido el área en función del número de columnas; calcularemos la temperatura con la ecuación (5.11).

Como una buena aproximación, podemos utilizar un promedio aritmético de la temperatura del aire como se ve en la siguiente ecuación:

$$q = h A \left( t_e - \frac{t_0 + t}{2} \right) \quad (5.13)$$

$$q = A_e h_{ce} \left[ t_e - \frac{t_0 + t}{2} \right]$$

No olvidemos que el cálculo es para un banco de tubos, entonces dividiremos el calor total entre cuatro.

$$\frac{38.462}{4} = (1,33 * \text{filas}) * 39,1 \left[ t_e - \frac{15 + 80}{2} \right]$$

$$t_e = \frac{185}{\text{filas}} + 47,5$$

**Tabla 5 - 23: Cálculo de la temperatura en función de las filas**

Columnas	Filas	Numero de tubos	A [m <sup>2</sup> ]	t <sub>e</sub> [°C]
10	1	10	1,34	232
10	2	20	2,68	140
<b>10</b>	<b>3</b>	<b>30</b>	<b>4,02</b>	<b>110</b>

Fuente: Elaboración propia.

De las tres posibilidades vamos a escoger la opción para 3 filas por lo siguiente:

Para que la transferencia de calor sea efectiva la teoría nos dice que debe haber una diferencia de temperatura de por lo menos 20 °C. Por lo tanto la temperatura externa

del tubo es:

$$t_e = 110 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

### Calculo del alto y fondo del banco de tubos:

Las dimensiones se lo pueden determinar en base a la figura 5-21 y viene dado por las siguientes ecuaciones:

$$\text{Alto} = \frac{d_e}{2} + (\text{filas} - 1) * S_p + \frac{d_e}{2} = \frac{0,034}{2} + (3 - 1) * 0,043 + \frac{0,034}{2}$$

$$\text{Alto} = 0,12 \text{ [m]}$$

$$\begin{aligned} \text{Fondo} &= \frac{d_e}{2} + (\text{columnas} - 1) * S_n + \frac{d_e}{2} \\ &= \frac{0,034}{2} + (10 - 1) * 0,102 + \frac{0,034}{2} \end{aligned}$$

$$\text{Fondo} = 0,952 \text{ [m]}$$

### Cálculo de la temperatura de vapor de agua en el banco de tubos:

$$U_e = \frac{1}{\frac{r_e}{r_i h_{c_i}} + \frac{r_e}{k_{tubo}} \ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right) + \frac{1}{h_{c_e}}} \quad (5.14)$$

Dónde:

$U_e$ : Coeficiente global de transmisión de calor referido a la sección exterior

$r_i$  y  $r_e$ : Radio interior y exterior del tubo.

$k_{tubo}$ : Conductividad térmica del acero.

$h_{c_i}$  y  $h_{c_e}$ : Coeficiente de convección del interior y exterior del tubo.

Ahora para resolver la ecuación se plantea la hipótesis de que:

$$U_e \cong h_{c_e}$$

Si:

$$\frac{0,017}{0,0155 h_{c_i}} = 0$$

Si se cumple entonces se puede decir que  $h_{c_i}$  tiene un valor muy grande y se acepta la hipótesis.

$$U_e = \frac{1}{0 + \frac{0,017}{58} \ln\left(\frac{0,017}{0,0155}\right) + \frac{1}{39,1}}$$

$$U_e = 39 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

$$U_e = 39 \cong h_{c_e} = 39,1 \text{ Hipótesis comprobada.}$$

Calculo de la LMDT.

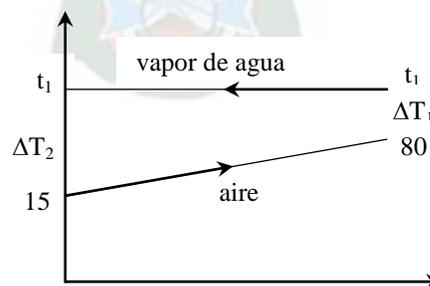
$$q = A_e U_e LMDT \quad (5.15)$$

*LMDT*: Media logarítmica de temperatura.

$$LMDT = \frac{q}{A_e U_e} = \frac{38.982/4}{4,02 * 39}$$

$$LMDT = 62 [^\circ C]$$

**Gráfico 5 - 4: Transferencia de calor del vapor al aire**



Fuente: Elaboración propia.

$$\Delta T_1 = t_1 - 80$$

$$\Delta T_2 = t_1 - 15$$

$$LMDT = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} = \frac{t_1 - 15 - (t_1 - 80)}{\ln\left(\frac{t_1 - 15}{t_1 - 80}\right)} = 62$$

Resolviendo la anterior ecuación se tiene:

$$t_1 = 115 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

### **Cálculo del consumo de vapor de agua por los 4 bancos de tubos:**

De la tabla del ANEXO 11, a la temperatura de  $t_1 = 115 \text{ }^\circ\text{C}$ , se tiene:

$$\Delta H_{vapor} = 2.699 \left[ \frac{kJ}{kg} \right], \text{ entalpia de vapor saturado.}$$

$$V_{especifico} = 1,0366 \left[ \frac{m^3}{kg} \right], \text{ volumen específico.}$$

$$P_{saturado} = 169,06 \text{ [kPa]}, \text{ presión de vapor.}$$

$$m_{vapor} = 38,462 \frac{kJ}{s} * \frac{1 kg}{2.699 kJ} * \frac{3.600 s}{1 h}$$

$$m_{vapor} = 51,30 \frac{kg}{h}$$

### **Cálculo de la velocidad del vapor de agua:**

$$Q = 38,892 \frac{kJ}{s} * \frac{1 kg}{2.699 kJ} * \frac{1,0366 m^3}{1 kg}$$

$$Q = 0,0148 \frac{m^3}{s}$$

$$Q = N^\circ \text{ de tubos} * A_{transversal \text{ interior del tubo}} * \text{velocidad de vapor}$$

$$Q = 30 \left( \frac{\pi}{4} d_i^2 \right) v$$

$$v = \frac{4 * 0,0148}{30 \pi 0,031^2}$$

$$v = 0,65 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

A continuación tenemos la tabla resumen de cálculos para un banco de tubos.

**Tabla 5 - 24: Tabla resumen de resultados**

N° de Filas	N° de Columnas	N° de tubos	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Flujo másico de vapor [kg/h]	Velocidad del vapor [m/s]	Temperatura del vapor [°C]	Temperatura de la superficie exterior de los tubos [°C]
3	10	30	4,02	51,30	0,65	115	110

Fuente: Elaboración propia.

**Datos de entrada para el diseño.**

$t_0 = 15$  [°C], temperatura ambiente.

$t = 80$  [°C], temperatura máxima que alcanza el bulbo seco en el secadero.

$q_T = 38.892$  [W], calor total para el funcionamiento del secadero.

$Q = 10.879$   $\left[\frac{m^3}{h}\right]$ , caudal del aire de un ventilador, de cuatro seleccionados.

$N^\circ = 4$ , ventiladores.

$v = 2,5$   $\left[\frac{m}{s}\right]$ , velocidad del aire.

$l = 1,25$  [m], largo máximo de uno de cuatro bancos de tubos.

**- Dimensiones y especificaciones técnicas de los tubos.**

*Longitud* = 6,4 [m].

$d_e = 34$  [mm], diametro nominal.

$e = 2,9$  [mm], espesor.

*Peso* = 2,2  $\left[\frac{kg}{m}\right]$ .

*Presión* = 700 [PSI] = 4,82 [MPa]

$k = 58$   $\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right]$ , conductividad térmica.



#### 5.2.4.2.2 Selección del Caldero

El caldero se selecciona para que produzca vapor con las siguientes condiciones:

A la temperatura de  $t_1 = 115 \text{ [}^\circ\text{C]}$ , la entalpia de vapor saturado es:

$$\Delta H_{vapor} = 2.699 \left[ \frac{kJ}{kg} \right].$$

$$q_T = 38,892 \frac{kJ}{s}$$

$$q_T = 33.440 \frac{kcal}{h}$$

**El caldero seleccionado es el siguiente:**

Figura 5 - 26: Caldero modelo 3PR



Fuente: FONTANET (industria de calderos de Argentina).

#### **Características técnicas.**

**Modelo:** Caldera 3 PR.

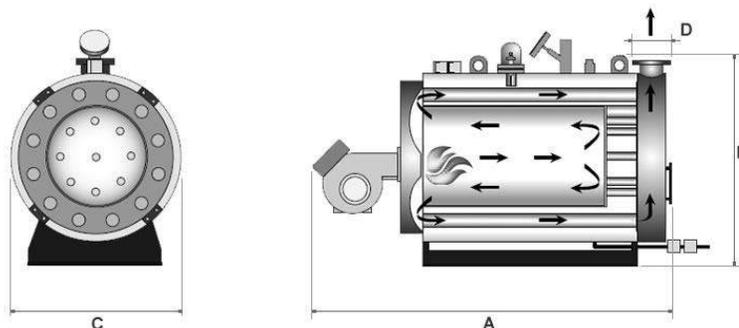
**Tipo:** Caldera de tres pasos con retorno de llama.

**Combustibles:** Líquidos y/o Gaseosos.

**Construcción:** Tipo paquete (equipos auxiliares incorporados).

**Materiales de construcción:** Según códigos europeos y americanos.

**Figura 5 - 27: Dimensiones del caldero modelo 3PR**



Fuente: FONTANET (industria de calderos de Argentina).

**Tabla 5 - 25: Capacidad y dimensiones del caldero**

MODELO 3 PR	Capacidad térmica [Kcal/h]	Capacidad térmica (BHP)	A	B	C	D Diámetro chimenea [m]
			Largo total [m]	Alto total [m]	Ancho total [m]	
40	40.000	4.7	1,40	1,00	0,75	0,15

Fuente: FONTANET (industria de calderos de Argentina).

### 5.2.4.2.3 Selección de Accesorios para la Línea de Vapor

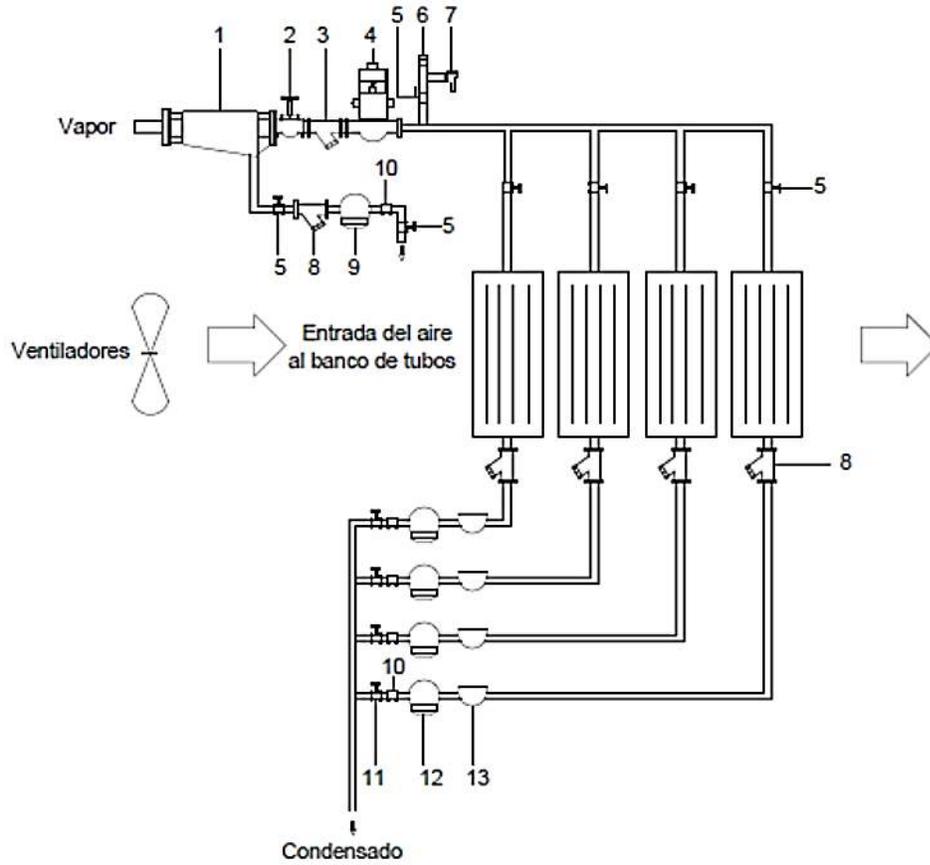
La línea de vapor es el medio por el cual es posible el transporte de vapor desde el caldero hasta el banco de tubos.

El sistema de calefacción se conforma del intercambiador de calor y accesorios que permiten el transporte del vapor y condensado.

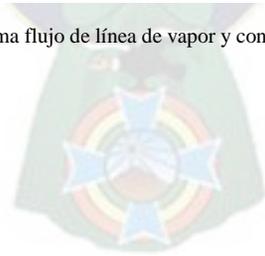
Para poder obtener la temperatura deseada en el interior de la cámara de secado, es necesario poder controlar la cantidad de vapor entrante al banco de tubos, y para ello se utilizará un controlador, que será el encargado de enviar la señal eléctrica necesaria para poder regular la válvula de control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

Todos los componentes que conforman la línea de vapor y condensado se muestran a continuación como lo muestra en la figura 5-27.

Diagrama 5 - 2: Diagrama flujo de línea de vapor y condensado.



Fuente: Diagrama flujo de línea de vapor y condensado. (SPIRAX/SARCO)



**Cuadro 5 - 4: Lista de accesorios línea de vapor**

Ítem	Accesorio
1	Separador Agua-Vapor 1plg (Vertical S1) SPIRAX/SARCO
2	Válvula Globo 1 pulg (Bronce) LEON
3	Filtros “Y” de Impurezas 1 plg SPIRAX/SARCO
4	Posicionador 25P SPIRAX/SARCO
5	Válvula Esfera Cuerpo Acero Inox. ½ plg GENE BRE
6	Válvula Rompedora de Vacío VB-14 ½ plg Bronce SPIRAX/SARCO
7	Venteo Termostático de Aire SPIRAX/SARCO
8	Filtros “Y” de Impurezas ½ plg SPIRAX/SARCO
9	Trampa para Vapor Termodinámica ½ plg SPIRAX/SARCO
10	Válvula Retención a pistón ½ plg (Bronce) LEON
11	Válvula Esfera Cuerpo Acero Inox. ¾ plg GENE BRE
12	Trampa para Vapor Flotador ¾ plg SPIRAX/SARCO
13	Condensador SPIRAX/SARCO

Fuente: SPIRAX/SARCO, GENE BRE y LEON.

### 5.2.4.3 Equipos y Accesorios para la 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.

Datos:

$$m_{vapor} = 51,30 \left[ \frac{kg}{h} \right], \text{ flujo de vapor.}$$

$$m = 0,15 * 51,30$$

Por lo tanto el vapor destinado a la humidificación es:

$$m = 7,7 \left[ \frac{kg}{h} \right], \text{ vapor necesario para la humidificación.}$$

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

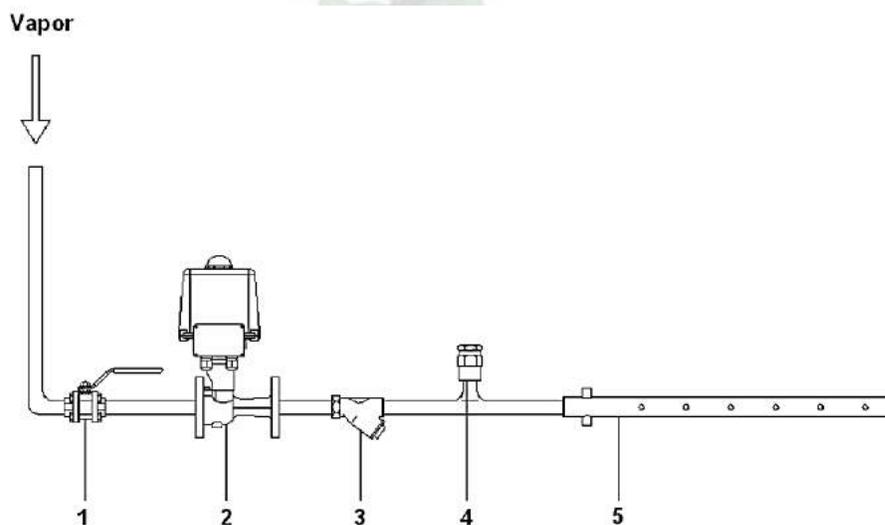
Se utilizará una línea proveniente de la línea principal de vapor, la cual se utilizará una cañería de  $\frac{1}{2}$  plg para alimentar el sistema de humidificación.

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 2,65 m desde el suelo, por debajo del banco de tubos, lo que proporcionara una inyección de vapor hacia la carga de madera.

A continuación se mencionaran los componentes seleccionados para el sistema de humidificación en el diagrama de flujo como lo indica la figura 5-27.

**Diagrama 5 - 3: Diagrama de sistema de inyección de vapor**



Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 5 - 5: Lista de accesorios sistema de humidificación**

Ítem	Accesorio
1	Válvula Esfera Cuerpo Acero Inoxidable ½ plg GENEBRE
2	Válvula solenoide pistón ½ plg JEFFERSON
3	Filtros “Y” de Impurezas ½ plg SPIRAX/SARCO
4	Válvula Rompedora de Vacío VB-14 ½ plg Bronce SPIRAX/SARCO
5	Inyector Vapor Acero Inoxidable SPIRAX/SARCO

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.2.4.4 Selección del Instrumental

Los instrumentos son los encargados de monitorear las condiciones al interior del secadero, para cumplir con este propósito están los siguientes:

- Medidor de temperatura y humedad del aire.
- Medidor de la velocidad del aire.
- Medidor de humedad de la madera.

- Selección del medidor de temperatura y humedad del aire:

TP8829 es un termohigrómetro diseñado para proporcionar el máximo rendimiento en entornos difíciles.

#### Registrador de temperatura y humedad TP8829

**Figura 5 - 28: Termohigrómetro TP8829**



Fuente: VELOMEN (Importadora de instrumentos industriales).

**Características:**

**Almacenamiento:** Almacena en su memoria interna hasta 16.000 registros.

**Software:** Provisto con interfase y software para la descarga y administración de datos en PC.

**Pantalla:** Con display indicador.

**Lectura:** 0,1%.

**Exactitud:**  $\pm 0,5\%$ .

**Alarma:** De temperatura máxima y mínima programable.

**Resistencia:** Protegido contra líquidos.

**Rangos de medición:**

- Temperatura: -40 a +85°C

- Humedad relativa: 0 a 100%.

**HI 8666 Transmisor de humedad relativa y temperatura.**

Este transmisor de estado sólido se enchufa en la pared, en el sitio de monitoreo continuo de la humedad relativa y la temperatura en ambientes críticos o controlados. El HI 8666 tiene una precisión de  $\pm 2\%$  HR y  $\pm 1\%$  °C. Cada 4-20mA señal analógica se pueden enviar a metros de panel, controladores o sistemas de adquisición de datos. Las señales podrán ser accionadas por separado con fuentes de voltaje externas.

Equipado con un filtro sinterizado desmontable, el sensor de HI 8666 está bien protegido para el largo plazo contra la entrada de polvo o ambientes sucios.

Sin la tapa sinterizada, el tiempo de respuesta del sensor es más rápido pero ya no está protegido contra el polvo o residuos. Con la tapa sinterizada instalada, la vida útil del sensor y el instrumento es prolongada necesitando menos mantenimiento. Esto es ideal para ciertas aplicaciones, tales como alimentos y aplicaciones industriales donde la fiabilidad en lugar de tiempo de respuesta es el objetivo principal.

**Figura 5 - 29: Transmisor de humedad relativa y temperatura**



Fuente: VELOMEN (Importadora de instrumentos industriales).

**Cuadro 5 - 6: Especificaciones sistema de humidificación**

Características	Especificaciones
Rango RH	0% (4 mA) a 100% (20 mA)
Rango Temperatura	-20°C(4mA)a 160°C(60mA)
Rendimiento RH	±2% (5% a 95% RH)
Rendimiento Temperatura	±1% f.s.
Tiempo de respuesta	6 segundos sin filtro sinterizado; 60 segundos con filtro sinterizado
Fuente de poder	10-30 Vdc
Señal de salida	4 a 20 mA
Condiciones Ambientales	0 a 160°C
Montaje recortado	73 x 42 mm
Dimensiones	79 x 49 x 150 mm
Peso	150 g

Fuente: VELOMEN (Importadora de instrumentos industriales).

- *Selección del medidor de velocidad del aire:*

### **Anemómetro 816A**

El Anemómetro 816A es el instrumento que nos ayudara en el control de la velocidad del aire a través de la carga de madera.

**Figura 5 - 30: Medidor de la velocidad del aire**



Fuente: VELOMEN (Importadora de instrumentos industriales).

### **Características Técnicas**

**Rango velocidad del viento:** 0.3 - 30 m/s

**Rango de temperatura:** -10°C a 45°C

**Precisión velocidad viento:**  $\pm 0.1$  dígitos

**Precisión temperatura:**  $\pm 2^\circ\text{C}$

**Resolución:** 0.1m/s y 0.2°C

**Retención de datos:** SI

**Apagado:** Manual o automático

**Unidades de medición:** m/s, pie/min, Nudos, Km/h, Mph

**Peso:** 74 g.

- Selección del medidor de humedad de la madera:

### **Higrómetro digital para madera SCHM102**

Permite medir el contenido de humedad en madera sin necesidad de punciones y sin dejar marcas. Alta precisión y confiabilidad, portátil y de muy fácil uso, mide simplemente apoyando el sensor de alta frecuencia sobre la madera.

**Figura 5 - 31: Higrómetro digital para madera SCHM102**



Fuente: VELOMEN (Importadora de instrumentos industriales).

**Características:**

Selector de 11 variedades diferentes de madera.

**Pantalla:** Display LCD

**Rango de medición:** 0~100%

**Lectura:** 0,1%.

**Exactitud:**  $\pm 0,5\%$ .

**Profundidad máxima de escaneo:** 50mm

**Temperatura de operación:** -5 a +60°C.

**Alimentación:** 1 Batería de 9 Volt.

**Dimensiones:** 166 x 60 x 27mm.

**Peso:** 200 gramos.

Provisto con estuche.

#### 5.2.4.5 Diseño del Recolector de Resinas

##### Calculo de las dimensiones del recolector:

Datos de cálculo:

$$\text{Resinas} = 50,74 \text{ [kg]}$$

Asumiendo una densidad de la resina:

$$\rho = 2 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{litro}} \right]$$

$$\text{Volumen}_{\text{resinas}} = 50,74 \text{ kg} * \frac{2 \text{ kg}}{1 \text{ litro}}$$

$$\text{Volumen}_{\text{resinas}} = 101,48 \text{ [litro]}$$

El recolector que utilizaremos será un barril e 200 litros, estará ubicado en la parte posterior del secadero.

#### 5.2.4.6 Seguridad

Debido a que la madera es un producto altamente inflamable, debemos tomar medidas de seguridad.

La manera más económica de hacerlo es tener extinguidores. A continuación veremos los tipos y elegiremos la mejor opción.

- Que es un extinguidor?: Un extinguidor es un aparato creado para combatir el fuego cuando este está recién comenzando a provocar un incendio. Este tipo de aparatos expelen una carga que contienen en su interior, con la que son capaces de sofocar un foco incendiario, es muy necesario tener en cuenta que sólo sirven cuando un incendio está comenzando, ya que cuando el fuego se ha descontrolado o ha crecido mucho, entonces un extinguidor no sirve y es necesario pedir ayuda urgente a los bomberos.

Las instrucciones, que deben ser fielmente seguidas, siempre se encuentran en el frente. Es siempre mejor perder algunos segundos en leerlas que luego lamentar una catástrofe mayor por no haberle dado al extintor un uso correcto.

**Cuadro 5 - 7: Elección del agente extintor respecto a la clase de fuego**

TIPO DE EXTINTOR	CLASES DE FUEGO			
	A	B	C	D
De agua pulverizada	XXX	X	NO	NO
De agua a chorro	XX	NO	NO	NO
De espuma	XX	XX	NO	NO
De polvo químico seco	XX	XXX	XX	NO
De polvo polivalente	XX	XX	XX	NO
De polvo especial	NO	NO	NO	X
De anhídrido carbónico	X	XX	NO	NO
De hidrocarburos halógenos	X	XX	XX	NO
Específico para fuego de metales	NO	NO	NO	X

Fuente: VELOMEN (Importadora de instrumentos industriales).

**Figura 5 - 32: Clasificación de uso de extinguidores**



Fuente: VELOMEN (Importadora de instrumentos industriales).

*Extinguidores para fuego clase "A"*: Con los que podemos apagar todo fuego de combustible común, enfriando el material por debajo de su temperatura de ignición y remojando las fibras para evitar la reignición. Use agua presurizada, espuma o extinguidores de químico seco de uso múltiple. NO UTILICE dióxido de Carbono o extinguidores comunes de químicos secos con los fuegos de clase "A".

*Extinguidores para fuego clase "B"*: Con los que podemos apagar todo fuego de líquidos inflamables, grasas o gases, removiendo el oxígeno, evitando que los vapores alcancen la fuente de ignición o impidiendo la reacción química en cadena. La espuma, el Dióxido de Carbono, el químico seco común y los extinguidores de uso múltiple de químico seco, se pueden utilizar para combatir fuegos clase "B".

*Extinguidores para fuego clase "C"*: Con los que podemos apagar todo fuego relacionado con equipos eléctricos energizados, utilizando un agente extinguidor que no conduzca la corriente eléctrica. El Dióxido de Carbono, el químico seco común, los extinguidores de fuego de químico seco de uso múltiple, pueden ser utilizados para combatir fuegos clase "C". NO UTILIZAR, los extinguidores de agua para combatir

fuegos en los equipos energizados.

*Extinguidores para fuegos clase "D"*: Con los que podemos apagar todo tipo de fuego con metales, como el Magnesio, el Titanio, el Potasio y el Sodio, con agentes extinguidores de polvo seco, especialmente diseñados para estos materiales. En la mayoría de los casos, estos absorben el calor del material enfriándolo por debajo de su temperatura de ignición.

Ahora que conocemos los tipos y usos de los extinguidores la que se acomoda mejor a nuestras necesidades es el de *polvo químico seco*.

**Figura 5 - 33: Clasificación de uso de extinguidores**



**Características:**

**Peso:** 5 kilos.

**Precio:** 400 Bs.

## CAPÍTULO VI

Determinaremos las inversiones que demandan el proyecto y los costos que implicaran la operación y el mantenimiento durante la vida útil del secadero.

### 6 ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO

#### 6.1 Determinación de las Inversiones

Es necesario hacer la cuantía de las inversiones necesarias antes de la puesta en marcha del proyecto, cuantificaciones que nos ayudaran a la proyección del flujo de caja.

El presupuesto de instalación para el secadero se presenta en las siguientes tablas:

**Tabla 6 - 1: Inversión en terreno**

Ítem	Unidad [m <sup>2</sup> ]	Precio Unitario [Bs/m <sup>2</sup> ]	Inversión Terreno [Bs]
Terreno	1.000	300	300.000

Fuente: Municipio de la ciudad de EL ALTO.

**Tabla 6 - 2: Inversión en construcción del secadero**

Materiales		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio Total [Bs]
Excavación		[m <sup>3</sup> ]	3,24	61,08	197,90
Cimiento H°C°		[m <sup>3</sup> ]	3,24	430,00	1.393,20
Sobrecimiento H°C°		[m <sup>3</sup> ]	0,88	634,94	555,57
Piso H°C°		[m <sup>3</sup> ]	1,48	430,00	636,40
Contrapiso	Polietileno 0,15 mm	[m <sup>2</sup> ]	29,68	5,00	148,40
	Mortero cemento	[m <sup>3</sup> ]	0,89	49,89	44,40
Columnas		[m <sup>3</sup> ]	0,56	3.265,26	1.828,55
Pared	Muro ladrillo	[m <sup>2</sup> ]	58,64	137,00	7.145,92
	Lana de vidrio	[m <sup>2</sup> ]	58,64	21,60	1.126,66
	Malla hexagonal	[m <sup>2</sup> ]	58,64	1,10	57,38
	Revoque impermeable	[m <sup>2</sup> ]	58,64	104,30	5.440,29
Puerta	Plancha aluminio	[m <sup>2</sup> ]	20,27	600,00	21.660,00
	Bisagras	[u]	6,00	8,00	48,00
	Picaporte ½ caña 30 cm	[u]	1,00	7,30	7,30
	Láminas de hule	[m]	12,04	2,00	24,08
Cielo raso fibrocemento 122x244x1 cm		[m <sup>2</sup> ]	29,68	100,00	2.968,00
Techo madera		[m <sup>2</sup> ]	29,68	218,72	6.491,61
Cubierta calamina N° 28		[m <sup>2</sup> ]	33,18	176,47	5.855,27
Canaletas		[m]	10,60	76,77	813,76
Desagues		[m]	6,44	30,00	193,20
				<b>TOTAL</b>	<b>56.636</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6 – 3: Inversión sistema de calefacción y de humidificación**

Accesorios y equipos	Cantidad	Precio unitario	Precio Total [Bs]
Cañería 1" ASTM A-53 (banco de tubos)	30	233,00	6.990
Caldero modelo 3PR (Fontanet) CORMAQ S.A.	1	30.000	30.000
Separador Agua-Vapor 1plg (Vertical S1) SPIRAX/SARCO	1	1.350	1.350
Válvula Globo 1 pulg (Bronce) LEON	1	410	410
Filtros "Y" de Impurezas 1 plg SPIRAX/SARCO	1	1.060	1.060
Posicionador 25P SPIRAX/SARCO	1	1.974	4.098
Válvula Rompedora Vacío VB-14 ½ plg Bronce SPIRAX/SARCO	1	760	760
Válvula Esfera Cuerpo Acero Inox. ½ plg GENEBRE	6	244	1.464
Válvula Esfera Cuerpo Acero Inox. ¾ plg GENEBRE	3	152	456
Trampa para Vapor Termodinámica ½ plg SPIRAX/SARCO	1	260	260
Filtros "Y" de Impurezas ½ plg SPIRAX/SARCO	5	560	2.800
Trampa para Vapor Flotador ¾ plg SPIRAX/SARCO	4	696	2.782
Válvula Retención a pistón ½ plg (Bronce) LEON	5	550	2.750
Venteo Termostático de Aire FT 550 AE SPIRAX/SARCO	1	280	280
Válvula solenoide pistón ½ plg JEFFERSON	1	1.350	1.350
Inyector de vapor de acero inoxidable	2	820	1.640
<b>TOTAL</b>			<b>58.450</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6 – 4: Inversión sistema de ventilación**

Equipos	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio Total [Bs]
Ventilador Axial Mural LEUCA	u	4	1600	6.400
Ductos de ventilación	u	4	300	1.200
<b>TOTAL</b>				<b>7.600</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6 – 5: Inversión en instrumentación**

Instrumentos	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio Total [Bs]
Registrador de temperatura y humedad TP8829	u	1	450	450
Transmisor humedad relativa y temperatura HI 8666	u	1	700	700
Anemómetro 816 <sup>a</sup>	u	1	1.200	1.200
Higrómetro digital para madera SCHM102	u	1	1.400	1.400
<b>TOTAL</b>				<b>3.750</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6 – 6: Inversión total**

Inversión	Monto [Bs]
Terreno	300.000
Construcción del secadero	56.636
Sistema de calefacción y de humidificación	58.450
Sistema de ventilación	7.600
Instrumentación	3.750
Extintores	1.600
Inversiones adicionales (instalación de gas, energía eléctrica, agua; muro perimetral, cuarto de control y otros)	70.000
Otros Gastos	5.000
<b>TOTAL</b>	<b>501.436</b>

Fuente: Elaboración propia.

## 6.2 Determinación de Costos de Operación y Mantenimiento

Todos los costos de que implican el trabajo del secadero desde el apilado de la carga de madera el control y el retiro de la madera del secadero, tomando en cuenta que el secadero debe funcionar las 24 horas los siete días de la semana. Además el tiempo de secado calculado es de 25 días, es decir el proceso de secado es de una vez/mes. Requiere de personal para el proyecto consideramos que cuatro serán suficientes para el control (permanentes), el salario para el personal permanente es de 2.000 Bs/mes. También necesitaremos personal para acomodar y descargar la madera en el secadero, cuatro personas nos ayudaran con esta labor (eventuales), dos veces/mes. El trabajo de los eventuales se hace en un día para carga y otro día para descarga de los cuatro trabajadores.. El salario para el personal eventual es de 150 Bs/día.

Datos:

*Proceso de secado = 1 vez/mes*

*trabajadores permanentes = 4*

*Sueldo = 2.000 Bs/mes*

*trabajadores eventuales = 4*

$Carga = 1 \text{ dia}$

$Descarga = 1 \text{ dia}$

$Sueldo = 150 \text{ Bs/dia}$

**Cálculo del costo de la mano de obra:**

La carga y descarga toma 2 días /mes por trabajador:

$$Sueldo = \frac{150 \text{ Bs}}{1 \text{ día}} * \frac{2 \text{ día}}{1 \text{ mes}}$$

$$Sueldo = 300 \left[ \frac{\text{Bs}}{\text{mes}} \right]$$

Los datos y cálculos están pensados para un año calendario.

**Tabla 6 - 7: Sueldos y salarios**

Ítem	Cantidad	Salario	Monto [Bs/año]
Permanentes	4	2.000 [Bs/mes]	96.000
Eventuales	4	300 [Bs/mes]	14.400
<b>TOTAL</b>			<b>110.400</b>

Fuente: Elaboración propia.

**- Cálculo de las cargas sociales de la mano de obra:**

El seguro de salud según LA LEY DEL TRABAJO Y REGLAMENTO (CONCORDADO) es:

**Tabla 6 - 8: Caja Nacional de Salud**

Régimen	Aporte Laboral		Aporte Patronal	Total Aportes
	I.V.M.	I.V.M.	R.P.	
Básico	1,5%	3,5%	0,5%	5,5%
Complementario	3,5%	.....	1,0%	4,5%
<b>TOTAL</b>	<b>5%</b>	<b>3,5%</b>	<b>1,5%</b>	<b>10%</b>

Fuente: Ley general del trabajo y reglamento (concordado).

La suma de todas las cargas sociales de los trabajadores permanentes por año está en la siguiente tabla:

**Tabla 6 - 9: Cargas Sociales**

Ítem	Porcentaje sobre [salario/mes]	Monto [Bs/año]
Caja Nacional de Salud	10%	9.600
Fondo de Vivienda	2%	1.920
Aguinaldo	8,33%	7.997
Vacaciones	8,33%	7.997
<b>TOTAL</b>		<b>27.514</b>

Fuente: Ministerio de trabajo.

**Cálculo del costo de energía:**

**- Cálculo del costo de gas:**

Datos:

$q_T = 38.892 [W]$ , calor total para el funcionamiento del secadero.

$\theta = 25 \text{ días}$ , tiempo total de secado por proceso.

$p = \left[ \frac{1,70 \text{ \$us}}{1 * 10^6 \text{ BTU}} \right]$ , precio del gas<sup>7</sup>

$$\text{Costo} = 38.892 \text{ W} * \frac{1,70 \text{ \$us}}{1 * 10^6 \text{ BTU}} * \frac{6,96 \text{ Bs}}{1 \text{ \$us}} * \frac{3,412 \text{ BTU}}{\text{W h}}$$

$$\text{Costo} = 1,57 \left[ \frac{\text{Bs}}{\text{h}} \right]$$

Ya que el proceso de secado toma 25 días el costo será:

$$\text{Costo} = \frac{25 \text{ días}}{1 \text{ proceso}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} * 1,57 \frac{\text{Bs}}{\text{h}}$$

$$\text{Costo} = 942 \frac{\text{Bs}}{\text{proceso}}$$

Finalmente como se hacen 12 procesos de secado al año el costo total será:

$$\text{Costo total} = 12 \text{ proceso} * 942 \frac{\text{Bs}}{\text{proceso}}$$

<sup>7</sup> Dato proporcionado por la ANH.

$$\text{Costo total} = 11.300 \text{ Bs}$$

**- Cálculo del costo de energía eléctrica:**

El consumo de energía eléctrica no debería ser muy grande por proceso de secado; el uso está dirigido a los ventiladores, instrumentos de medición, el tablero de control, el motor para abrir y cerrar los ductos de ventilación y la iluminación.

Datos:

$$N^{\circ} \text{ de ventiladores} = 4$$

$E = 2 \text{ hp}$ , energía que usa cada ventilador.

$$p = 0,60 \left[ \frac{\text{Bs}}{\text{kWh}} \right], \text{ precio de la energía eléctrica}^8$$

$$\text{Costo} = 4 \text{ ventiladores} * \frac{2 \text{ hp}}{1 \text{ ventilador}} * \frac{745,7 \text{ W}}{1 \text{ hp}} * \frac{0,60 \text{ Bs}}{1.000 \text{ W h}}$$

$$\text{Costo} = 3,56 \left[ \frac{\text{Bs}}{\text{h}} \right]$$

Ya que el proceso de secado toma 25 días el costo será:

$$\text{Costo} = \frac{25 \text{ dias}}{1 \text{ proceso}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ dia}} * 3,56 \frac{\text{Bs}}{\text{h}}$$

$$\text{Costo} = 2.136 \frac{\text{Bs}}{\text{proceso}}$$

Finalmente como se hacen 12 procesos de secado al año el costo total será:

$$\text{Costo total} = 12 \text{ proceso} * 2.136 \frac{\text{Bs}}{\text{proceso}}$$

$$\text{Costo total} = 25.632 \text{ Bs}$$

---

<sup>8</sup> Dato proporcionado por ENDE.

Ya que los demás ítems no son representativos; redondeando cifras tenemos que el consumo será de:

$$\text{Costo total} = 30.000 \text{ Bs}$$

El costo de agua no debería ser mayor a 20.000 Bs, y los gastos de reparación y mantenimiento aproximadamente de 7.000 Bs.

A continuación tenemos un resumen de todos los costos de operación y mantenimiento del secadero:

**Tabla 6 - 10: Costos de operación y mantenimiento**

Costos	Monto [Bs/año]
Sueldos y Salarios	110.400
Cargas sociales	27.514
Energía eléctrica	30.000
Gas	11.300
Agua	20.000
Reparación y mantenimiento	7.000
<b>TOTAL</b>	<b>194.914</b>

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO VII

En este capítulo se analizan tanto los ingresos como los beneficios que, sin constituir flujos de caja para el proyecto, son necesarios de considerar para la correcta medición de la rentabilidad.

### 7 EVALUACIÓN DEL PROYECTO

#### 7.1 Sostenibilidad del Proyecto

Es imperativo lograr un grado de eficiencia tal que permita enfrentar las exigencias del mercado. Esto significa obtener madera de calidad del proceso de secado, las pérdidas por pando, rajaduras u otros no debe superar el 3%. El precio en el mercado de madera aserrada húmeda es 15 *Bs/pie* y de la madera seca aserrada es de 20 *Bs/pie*. Se espera que la vida útil del secadero sea de 10 *años*.

Como referencia el CITE de EL ALTO maneja precios por el secado de madera de 3 a 4 *Bs/pie* según la cantidad. El proyecto está orientado a coadyuvar a las PYMES, entonces el precio de secado será 2 *Bs/pie*.

No debemos olvidar que la capacidad del secadero es de 10.000 *pies* y el tiempo aproximado de secado es 25 *días*. Por lo tanto la capacidad de secado es de 10.000 *pies/mes*.

Tabla 7 - 1: Tabla de ingresos

Cantidad	Precio unitario [Bs/pie]	Ingresos [Bs/mes]	Ingresos [Bs/año]
10.000	2	20.000	<b>240.000</b>

Fuente: Elaboración propia.

Además debemos considerar la depreciación; según el código de comercio se establece que los coeficientes son 2,5% para la construcción y 12,5% para equipos. Sin olvidar que estamos proyectando a 10 *años*.

Tabla 7 - 2: Costo de Equipos e instrumental

Equipos	Monto
Sistema de calefacción y de humidificación	68.450
Sistema de ventilación	7.600
Instrumentación	3.750
<b>TOTAL</b>	<b>79.800</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7 - 3: Tabla de depreciación**

Bienes	Valor [Bs]	Coefficiente [%]	Valor Depreciado [Bs/año]	Valor Residual [Bs]
Construcción	56.636	2,5	1.416	28.318
Equipos	79.800	12,5	9.975	0
<b>TOTAL</b>			<b>11.931</b>	<b>28.318</b>

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que la inversión es un tanto alto el proyecto tendrá que ser financiado en un 50% con préstamo y el restante 50% con aporte propio de las PYMES. El préstamo será contraído el primer año a una tasa de 6% anual del BDP (Banco Unión) y a un plazo de 5 años incluido uno de gracia. Las cuotas de amortización mas intereses son constantes y anuales.

Datos:

$$Inversion = 581.436 \text{ Bs}$$

$$Deuda = 50\%$$

$$i = 6\%, \text{ tasa del préstamo.}$$

$$n = 5 \text{ años, periodo del préstamo.}$$

**Cálculo de la cuota:**

$$Saldo = 0.5 * 581.436$$

$$Saldo = 290.718 \text{ Bs}$$

Reemplazando en la ecuación (7.1) tenemos:

$$Cuota = Saldo * \left[ \frac{(1+i)^n i}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (7.1)$$

$$Cuota = 290.718 * \left[ \frac{(1+0,06)^5 0,06}{(1+0,06)^5 - 1} \right]$$

$$Cuota = 59.519 \text{ Bs}$$

**Tabla 7 - 4: Tabla de amortización**

<b>Año</b>	<b>Saldo [Bs]</b>	<b>Interés [Bs]</b>	<b>Cuota [Bs]</b>	<b>Amortización [Bs]</b>
2016	250.718	-	-	-
2017	250.718	15.043	59.519	44.476
2018	206.242	12.375	59.519	47.144
2019	159.098	9.546	59.519	49.973
2020	109.124	6.547	59.519	52.972
2021	56.153	3.369	59.519	56.150

Fuente: Elaboración propia.

La proyección del flujo de caja constituye uno de los elementos más importantes del estudio del proyecto, ya que la evaluación del mismo se efectuará sobre los resultados que en ella se determinen.



### Cálculo del flujo de fondos:

**Tabla 7 - 5: Flujo de fondos**

Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
<b>Ingresos Netos</b>		240.000	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000
<b>Costos de op. y mantenimiento</b>		194.914	194.914	194.914	194.914	194.914	194.914	194.914	194.914	194.914	194.914
<b>Interés</b>		15.043	12.375	9.546	6.547	3.369					
<b>Utilidad Bruta</b>		90.043	92.711	95.540	98.539	101.717	105.086	105.086	105.086	105.086	105.086
<b>IUE (25%)</b>		22.511	23.178	23.885	24.635	25.429	26.272	26.272	26.272	26.272	26.272
<b>Utilidad Neta</b>		67.532	69.534	71.655	73.904	76.288	78.815	78.815	78.815	78.815	78.815
<b>- Inversión</b>	501.436										
<b>+ Depreciación</b>		11.391	11.391	11.391	11.391	11.391	11.391	11.391	11.391	11.391	11.391
<b>-Amortización del préstamo</b>		44.476	47.144	49.973	52.972	56.150					
<b>+Valor residual</b>											28.318
<b>+Terreno</b>											300.000
<b>FLUJO</b>	501.436	34.447	33.780	33.073	32.323	31.529	90.205	90.205	90.205	90.205	418.523

Fuente: Elaboración propia.

## 7.2 Evaluación de Rentabilidad

El determinar los indicadores económicos como el *VAN* y el *TIR* nos permitirán conocer, si el proyecto es factible. La evaluación lo haremos con una tasa de oportunidad o tasa pasiva del 6% anual que ofrece en bonos el Banco Central de Bolivia BCB.

Datos:

$i_{op} = 6\%$ , tasa de oportunidad.

$n = 10$  años, vida útil del proyecto.

**Cálculo del VAN:**

$$VAN = -I_o + \sum_{t=1}^{t=n} \frac{F_t}{(1+i)^n} \quad (7.2)$$

Donde:

$I_o$ : Inversión inicial.

$F_t$ : Flujo del periodo.

$t$ : Periodos de evaluación.

$i$ : Tasa de interés.

Remplazando los datos en la ecuación (7.2) tenemos:

$$VAN_{(6\%)} = 105.330 Bs$$

Dado que el  $VAN > 0$ , el proyecto es factible.

**Cálculo del TIR:**

$$0 = -I_o + \sum_{t=1}^{t=n} \frac{F_t}{(1+TIR)^n} \quad (7.3)$$

Realizando iteraciones múltiples de la anterior ecuación se tiene:

$$TIR = 8,82\%$$

Como el  $TIR > i_{op}$ , el proyecto es factible.

De acuerdo a los indicadores podemos decir que el proyecto es factible.

### 7.3 Análisis de Sensibilidad

El proyecto concluye con un VAN positivo, entonces es posible preguntarse hasta donde puede bajarse el precio o reducir la cantidad demandada.

#### **Determinación de precio mínimo manteniendo la cantidad constante:**

Del flujo de caja en Excel haciendo iteraciones se determinó el precio mínimo.

$$\text{precio} = 2,35 \text{ Bs/pie}$$

#### **Determinación de la cantidad mínima manteniendo el precio constante:**

$$\text{Cantidad} = 9.400 \text{ pies}$$

Como vemos no hay mucho margen sobre el cual manejarse.



## CAPÍTULO VIII

### 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 8.1 Conclusiones

- La capacidad del secadero ha sido determinada, a partir del volumen de carga que transportan los camiones y del capital de trabajo que manejan las PYMES de la ciudad de EL ALTO. En función de estos parámetros se calculó que la capacidad es de 10.000 *pies* de madera.
- Las relaciones geométricas del interior del secadero obtenidas del diseño se han determinado en función de la capacidad y la posición de los dispositivos; como el intercambiador de calor y el ventilador.

Las dimensiones definitivas son:

$$\text{Ancho} = 5,72 \text{ [m]}$$

$$\text{Alto} = 3,79 \text{ [m]}$$

$$\text{Largo} = 5,30 \text{ [m]}$$

- De acuerdo al marco teórico el diseño del secadero implica controlar tres factores:

*El calor* que debe ser generado es 38,892 *kJ/s* por un caldero de vapor el cual debe alcanzar la temperatura de 115 °C, vapor que debe circular por un intercambiador de calor (banco de tubos) con flujo másico de 51,30 *kg/h*. El intercambiador está conformado por tubos de las siguientes características:

$$\text{Largo} = 4,40 \text{ [m]}, \text{ Longitud total (4 bancos de tubos).}$$

$$\text{Alto} = 0,12 \text{ [m]}$$

$$\text{Fondo} = 0,95 \text{ [m]}$$

$$N^{\circ} \text{ de tubos} = 30$$

$$N^{\circ} \text{ de columnas} = 10$$

$N^{\circ}$  de filas = 3

Superficie =  $4,02 \text{ m}^2$

La velocidad del aire conduce el calor a  $2,5 \text{ m/s}$  a través de las pilas por cuatro ventiladores con un caudal individual de  $10.879 \text{ m}^3/\text{h}$ , transmitiendo energía a la madera que a su vez evapora el agua de su interior al exterior facilitando así su traslado fuera de la cámara por dos ductos y se introduce aire fresco por otros dos ductos.

La humedad del aire al interior del secadero se debe mantener según el programa de secado, para cumplir con el programa necesitamos de  $7,7 \text{ kg/h}$  de vapor que proviene del caldero.

- Para que el proyecto pueda funcionar; se determinó la localización tomando en cuenta el factor *cercanía a las fuentes de abastecimiento* que resultó el de mayor importancia con una ponderación de (8,1), lo que determina que nuestro proyecto deberá estar ubicado al interior de la zona que alberga a; los barrios de Alto Lima segunda sección y Villa ingenio.
- El proceso de secado se debe básicamente al programa de secado y dependerá si la madera que se va secar viene de un pre secado; ya que de esto depende un menor tiempo en el secadero y al final esto repercute en un menor coste, como está presentado en el diagrama 5 – 1.
- La inversión total del proyecto asciende a  $501.436 \text{ Bs}$ . Sin embargo el costo del secadero convencional es solo de  $131.436 \text{ Bs}$ .
- La operación y mantenimiento del secadero implica costos anuales de  $194.914 \text{ Bs}$  anuales.
- Para la evaluación de la rentabilidad y sostenibilidad del proyecto se tomó como referencia los bonos el Banco Central de Bolivia BCB a una tasa de oportunidad o tasa pasiva del 6% anual.

Los indicadores económicos calculados son:

$$VAN_{(6\%)} = 105.330 \text{ Bs}$$

Dado que el  $VAN > 0$ , el proyecto es factible.

$$TIR = 8,82\%$$

Como el  $TIR > i_{op}$ , el proyecto es factible.

De acuerdo a los indicadores podemos decir que el proyecto es factible.

## 8.2 Recomendaciones

Es necesario resaltar lo valioso y útil que resulta trabajar con madera ya que no se limita a los muebles, sino que en realidad está presente en nuestra cotidianidad que va desde un lápiz como el que aprendemos a escribir hasta las puertas y ventanas de nuestras viviendas, centros de estudio, las iglesias etc.

Este proyecto lo que hace es un pequeño aporte a la industria de la madera; pero significativo porque nace de la necesidad de mejorar la calidad de los trabajos de los carpinteros de la ciudad de EL ALTO. Nuestro país posee muy buena mano de obra lo que hace falta es tecnificarla.

No debemos olvidar que este trabajo ayudo a solucionar solo uno de los problemas que debe afrontar el pequeño empresario como lo vimos en el Diagrama 1-1, es por eso que está abierta la posibilidad realizar trabajos que resuelvan estos otros problemas.

Espero este proyecto no sea descartado como tantos otros y este a disposición de quienes lo necesiten.

## BIBLIOGRAFÍA

- JOAQUIN OCON GARCIA / GABRIEL TOJO BARREIRO 1967. “Problemas de Ingeniería Química” Tomo 2. Colección ciencia técnica – Aguilar.
- J. P. HOLMAN, México 1999. “Transferencia de calor”. Compañía editorial continental, S.A. de C.V. México.
- MANUAL DE DISEÑO PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO 1984. Junta del Acuerdo de Cartagena PADT - REPORT.
- FOREST PRODUCTS LABORATOR 1999. “Wood handbook—Wood as an engineering material”. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- FERNÁNDEZ-GOLFÍN, J.L.; ALVAREZ-NOVES H. 1998. “Manual de secado de madera”. Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho (AITIM).
- SIMPSON, WILLIAM T., ed. 1991. “Dry Kiln Operator’s Manual” Gen. Tech. Rep. FPLGTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Kritz Ernesto(1985), "DE LA ECONOMIA DE SUBSISTENCIA A LA LOGICA DE LA ACUMULACION". Documento de trabajo, OIT. Lima, Perú. 1985.
- Biblioteca Atrium de la Madera. La madera. Barcelona España. Ediciones Atrium S.A. Tomo I.
- BROW, Nelson C. y BETHEL James, 1990. La industria Maderera. México. Mx. Limusa. ilus , grafs.
- BURBIGE, John, 1979. “Planificación de la Producción”. Editorial: Deusto.Barcelona – España.

### Sitios web

- [http://www.cepal.org/publicaciones/xml/8/32298/Serie\\_94.pdf](http://www.cepal.org/publicaciones/xml/8/32298/Serie_94.pdf). Consultado. el 25 de junio de 2008.
- <http://www.wikipedia.com/madera>.
- <http://wikipedia.org/wiki/>
- [http://www.es.wikipedia.org/wiki/corte de la madera](http://www.es.wikipedia.org/wiki/corte_de_la_madera)
- <http://www.ecplogiaverde.com/>

- <http://www.ecologiaverde.com/>
- <http://html.scribd.com/doc/54524427/ANATOMIA-DE-LA-MADERA>.
- [http://htmlwww.frudua.com/corte\\_radial\\_vs\\_corte\\_tangencial.htm](http://htmlwww.frudua.com/corte_radial_vs_corte_tangencial.htm)
- <http://www.virtual.unal.edu.com>
- <http://htmlblogspot.com/.../secado-al-horno-de-madera> meto.
- <http://htmliesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/.../materiales.Mad era>
- <http://www.armfield.com>



# ANEXOS



## ANEXO 1

### Peso Específico Básico, Densidad y Programas de Secado para Maderas Bolivianas.

Nombre común	Nombre científico	Humedad 12%	Peb*	Dad** 1"	Programa*** 2"
1. Ajipa, Jorori	<i>Swartzia sp.</i>	0,64	---	(T2-C2)	(T2-C1)
2. Amargo	<i>Simarouba amara</i>	0,36	---	Fuerte	----
3. Amarillo	<i>Aspidosperma sp.</i>	0,61	0,73	(T6-D2)	(T3-D1)
4. Azucaró, Cedrillo	<i>Spondias mombim</i>	0,36	---	Fuerte	Fuerte
5. Balsa	<i>Ochroma pyramidale</i>	0,20	---	(T10-D4S)	(T8-D3S)
6. Borracho, Guitarrero	<i>Didymopanax morototoni</i>	0,40	---	Fuerte	----
7. Cambará	<i>Erisma uncinatum</i>	0,46	0,57	(T1-D2)	----
8. Cedro	<i>Cedrela spp.</i>	0,42	0,50	(T10-D4S)	(T8-D3S)
9. Copaibo	<i>Copaifera sp.</i>	0,60	0,70	MODERADO	----
10. Cuchi	<i>Astronium urundeuva</i>	1,00	1,22	(T1-B1)	----
11. Curupaú, Cebil	<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	0,85	1,02	(T8-B3)	(T5-B1)
12. Cuta beniana	<i>Astronium graveolens</i>	0,86	---	(T3-C2)	----
13. Cuta blanca, Perilla	<i>Ptyllostylon sp.</i>	0,79	0,95	(T2-B2)	----
14. Gabún, Sangre de toro	<i>Virola boliviensis</i>	0,39	0,48	(T3-C2)	(T3-C1)
15. Guapi	<i>Guarea sp.</i>	0,58	---	(T6-D2)	(T3-D1)
16. Guayabochi	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	0,75	0,91	(T2-C2)	(T2-C1)
17. Isigo	<i>Protium sp.</i>	0,54	---	(T3-C2)	(T3-C1)
18. Japunaqui	<i>Cordia sp.</i>	0,66	---	(T6-D2)	(T3-D1)
19. Jichituriqui, Gabetillo	<i>Aspidosperma pyriformis</i>	0,73	0,89	(T6-D2)	(T3-D1)
20. Laurel amarillo	<i>Nectandra sp.</i>	0,45	0,53	SUAVE	----
21. Mapajo	<i>Ceiba pentandra</i>	0,51	0,62	(T10-D5S)	(T8-D4S)
22. Mara	<i>Swietenia macrophylla</i>	0,43	0,54	(T6-D4)	(T3-D3)
23. Mara macho	<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	0,46	0,57	MODERADO	----
24. Momoqui	<i>Caesalpinia peltophoroides</i>	0,89	1,05	(T3-C2)	(T3-C1)
25. Mora	<i>Chlorophora tinctoria</i>	0,81	0,96	MODERADO	----
26. Morado del Beni	<i>Peltogyne porphyrocardia</i>	0,86	---	(T6-D2)	(T3-D1)
27. Morado Chiquitos	<i>Peltogyne sp.</i>	0,84	0,99	(T6-D2)	(T3-D1)
28. Mururé, Mascajo	<i>Clarisia racemosa</i>	0,61	0,70	SUAVE	----
29. Nogal	<i>Juglans australis</i> 0,50	0,59	---	(T6-D4)	(T3-D3)
30. Nuf u ojo colorado	<i>Pseudolmedia laevigata</i>	0,76	0,90	MODERADO	----
31. Ochoo, Solimán	<i>Hura crepitans</i> 0,44	0,52	---	(T6-D2)	(T3-D1)
32. Palo blanco, Verdolaga	<i>Calycophyllum multiflorum</i>	0,64	0,78	(T2-C2)	(T2-C1)
32. Palo maría	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0,55	0,66	(T2-D4)	(T2-D3)
33. Paquíó	<i>Hymenaea courbaril</i>	0,77	---	(T3-C2)	(T3-C1)
34. Picana negra	<i>Cordia spp.</i>	0,66	---	(T6-D2)	(T3-D1)
35. Quina quina	<i>Myroxylon peruiferum</i>	0,80	0,97	SUAVE	----
36. Quebracho colorado	<i>Cordia spp.</i>	0,66	---	(T6-D2)	(T3-D1)
37. Sirari	<i>Ormosia sp.</i>	0,82	0,99	MODERADO	----
38. Soto	<i>Schinopsis spp.</i>	1,07	1,27	(T1-B1)	----
39. Sujo	<i>Sterculia striata</i>	0,45	0,52	(T2-D4)	(T2-D3)
40. Tajibo, Lapacho	<i>Tabebuia spp.</i>	0,85	0,98	(T3-C1)	----
41. Tarara colorada	<i>Platymiscium sp.</i>	0,65	0,73	(T2-B2)	----
42. Tejejeque	<i>Centrolobium tomentosum</i>	0,58	0,70	(T6-D2)	(T3-D1)
43. Trompillo	<i>Guarea trichilioides</i>	0,58	---	(T6-D2)	(T3-D1)
44. Verdolago	<i>Terminalia amazonia</i>	0,66	0,80	(T3-C2)	(T3-C1)
45. Wewey	<i>Clarisia racemosa</i>	0,61	0,70	SUAVE	----
46. Yesquero	<i>Cariniana sp.</i>	0,56	0,68	(T3-D2)	(T3-D1)

\* Peso específico básico (peso seco al horno/volumen verde)

\*\* Valor en g/cm<sup>3</sup>, madera seca al 12 % de C.H.

\*\*\* Horarios sugeridos para piezas de 1" y 2" de espesor. Ver ANEXOS 5 y 6.

FUENTE: Los datos de peso específico básico y densidad fueron obtenidos de diferentes fuentes: "Maderas de Bolivia" (1992), informes no publicados de G. Cerrogrande (1982); Harriague, Villalpando y Quinteros de Burgos (¿); UMSA (1974) y algunos datos del autor.

## ANEXO 2

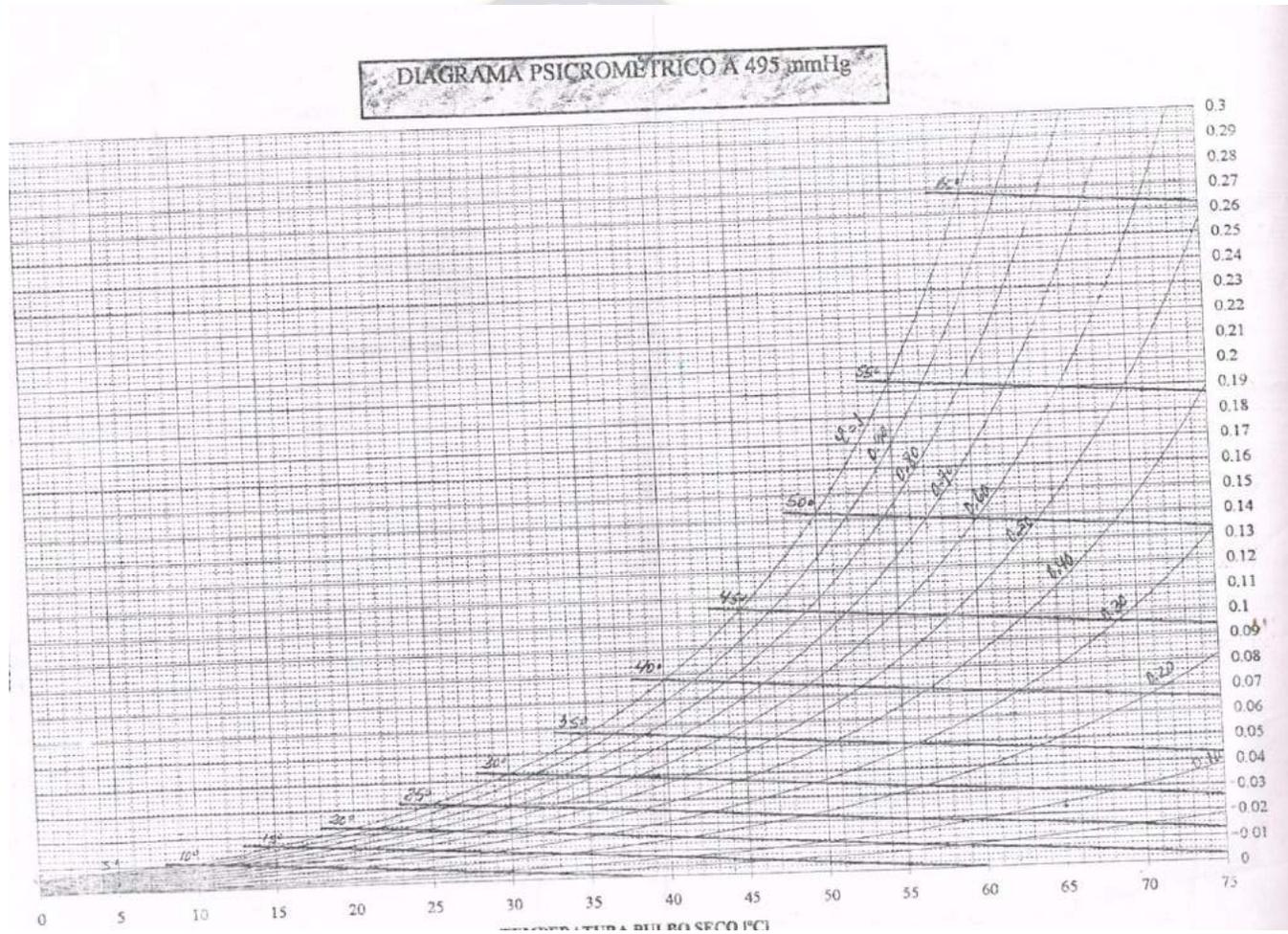
### Contracción Volumétrica de algunas Especies.

Especies	Contracción en [%]		
	Tangencial	Radial	Volumétrica
Almendrillo	8,4	5,4	13,5
Almendrillo Amarillo	10,5	6,5	15,9
Bitumbo	6,1	3,6	10,4
Cachichira	12,8	5,3	20,1
Cedro	8,6	5,4	14,7
Gabun	9,8	4,4	13,4
Guayabochi	9,0	4,8	13,8
Palo María	8,3	5,1	13,2
Paquio	7,4	4,2	11,2
Quecho	6,9	3,7	10,4
Quina	6,5	4,2	10,0
Roble	4,3	3,0	8,1
Tajibo	5,6	3,3	10,0

FUENTE: Manual "La Construcción de Viviendas en Madera" corporación chilena de la madera CORMA.

### ANEXO 3

### Diagrama Psicrométrico a 495 mmHg.



FUENTE: Biblioteca de la carrera de ingeniería química de la UMSA

## ANEXO 4

### Propiedades Térmicas de Materiales de Construcción y Aislantes.

Material	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Calor específico [J/(kg °K)]	Conductividad térmica [W/(m °K)]	Difusividad térmica [m <sup>2</sup> /s] (x10 <sup>-6</sup> )
Acero	7.850	460	47 - 58	13,01 - 16,06
Agua	1.000	4.186	0,58	0,14
Aire	1,20	1.000	0,03	21,67
Alpaca	8,72	398	29,10	8.384,80
Aluminio	2.700	909	209 - 232	85,16 - 94,53
Amianto	383 - 400	816	0,078 - 0,113	0,250 - 0,346
Arcilla refractaria	2.000	879	0,46	0,26
Arena húmeda	1.640	-	1,13	-
Arena seca	1.400	795	0,33 - 0,58	0,296 - 0,521
Asfalto	2.120	1.700	0,74 - 0,76	0,205 - 0,211
Baldosas cerámicas	1.750	-	0,81	-
Baquelita	1.270	900	0,23	0,20
Bitumen asfáltico	1.000	-	0,20	-
Bloques cerámicos	730	-	0,37	-
Bronce	8.000	360	116 - 186	40,28 - 64,58
Carbón (antracita)	1.370	1.260	0,24	0,14
Cartón	-	-	0,14 - 0,35	-
Cemento (duro)	-	-	1,05	-
Cinc	7.140	389	106 - 140	38,16 - 50,41
Cobre	8.900	389	372 - 385	107,45 - 111,20
Corcho (expandido)	120	-	0,04	-
Corcho (tableros)	120	1.880	0,04	0,19
Espuma de poliuretano	40	1.674	0,03	0,43
Espuma de vidrio	100	-	0,05	-
Estaño	7.400	251	64,00	34,46
Fibra de vidrio	220	795	0,04	0,20
Fibrocemento	1,1	-	0,20	-
Fundición	7.500	-	55,80	-
Glicerina	1.270	2.430	0,29	0,09
Goma dura	1.150	2.009	0,16	0,07
Goma esponjosa	224	-	0,06	-
Granito	2.750	837	3,00	1,30
Hierro	7.870	473	72,00	19,34
Hormigón	2.200	837	1,40	0,76
Hormigón de cascote	1.600 - 1.800	-	0,75 - 0,93	-
Láminas de fibra de madera	200	-	0,05	-
Ladrillo al cromo	3.000	840	2,32	0,92
Ladrillo común	1.800	840	0,80	0,53
Ladrillo de circonio	3.600	-	2,44	-
Ladrillo de magnesita	2.000	1.130	2,68	1,19
Ladrillo de mampostería	1.700	837	0,66	0,46
Ladrillo de sílice	1.900	-	1,07	-
Lana de vidrio	100 - 200	670,00	0,036 - 0,040	0,537 - 0,299

### Propiedades Térmicas de Materiales de Construcción y Aislantes. *Continuación*

Material	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Calor específico [J/(kg °K)]	Conductividad térmica [W/(m °K)]	Difusividad térmica [m <sup>2</sup> /s] (x10 <sup>-6</sup> )
Latón	8.550	394	81 - 116	24,04 - 34,43
Linóleo	535	-	0,081	-
Litio	530	360	301,2	1.578,61
Madera	840	1.381	0,13	0,112
Madera de abedul	650	1.884	0,142	0,116
Madera de alerce	650	1.298	0,116	0,137
Madera de arce	750	1.591	0,349	0,292
Madera de chopo	650	1.340	0,152	0,175
Madera de fresno	750	1.591	0,349	0,292
Madera de haya	800	1.340	0,143	0,133
Madera de haya blanca	700	1.340	0,143	0,152
Madera de pino	650	1.298	0,163	0,193
Madera de pino blanco	550	1.465	0,116	0,144
Madera de roble	850	2.386	0,209	0,103
Mármol	2.400	879	2,09	0,991
Mica	2.900	-	0,523	-
Mortero de cal y cemento	1.900	-	0,7	-
Mortero de cemento	2.100	-	1,4	-
Mortero de vermiculita	300 - 650	-	0,14 - 0,26	-
Mortero de yeso	1.000	-	0,76	-
Mortero para revoques	1.800 - 2.000	-	1,16	-
Níquel	8.800	460	52,3	12,92
Oro	19.330	130	308,2	122,65
Pizarra	2.650	758	0,42	0,209
Placas de yeso	600 - 1.200	-	0,29 - 0,58	-
Plata	10.500	234	418	170,13
Plexiglás	1.180	-	0,195	-
Plomo	11.340	130	35	23,74
Poliestireno	1.050	1.200	0,157	0,125
Porcelana	2.350	921	0,81	0,374
Serrín	215	-	0,071	-
Tierra de diatomeas	466	879	0,126	0,308
Tejas cerámicas	1.650	-	0,76	-
Vermiculita expandida	100	837	0,07	0,836
Vermiculita suelta	150	837	0,08	0,637
Vidrio	2.700	833	0,81	0,36
Yeso	1.800	837	0,81	0,538

FUENTE: : "Secado y Preservación de 105 maderas del Grupo Andino". Proyecto PADT-REFORT, Junta del Acuerdo de Cartagena, Lima, 1983.

## ANEXO 5

### Programas de Secado practicados por el Pacto Andino en Maderas Regionales

Contenido de humedad de la madera [%]	Temperatura [°C]		Humedad relativa [%]
	Temperatura bulbo seco	Temperatura bulbo húmedo	
Programa Fuerte (F) para maderas latifoliadas de secado fácil.			
Verde	60	56	80
60	65	58	70
50	70	60	60
40	75	61	50
30	80	62	40
20	80	60	35
Programa Moderado (M) para maderas latifoliadas de secado lento o que son propensas a sufrir ciertas deformaciones o agrietaduras.			
Verde	50	47	80
60	55	49	70
40	60	51	60
30	65	52	50
25	70	54	40
20	70	50	35
Programa Suave (S) para maderas latifoliadas de secado difícil.			
Verde	40	37	80
40	40	35	70
30	45	37	60
25	50	40	50
20	55	42	40
15	55	37	30

FUENTE: "Secado y Preservación de 105 maderas del Grupo Andino". Proyecto PADT-REFORT, Junta del Acuerdo de Cartagena, Lima, 1983.

## ANEXO 6

### Programas de Secado Artificial sugeridos por el Laboratorio de Productos Forestales de Madison, EE.UU. para algunas Maderas Tropicales.

El listado está referido a los programas para las diferentes maderas mencionadas en el texto. Esta información fue extraída de la publicación: "Dry kiln schedules for commercial woods - temperate and tropical" por R. Sidney Boone, Charles J. Kozlik, Paul J. Bois y Eugene M. Wengert, USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR 57. Los números de tabla son los que menciona la publicación original.

**Tabla 1 T1-B1 (modificado)**

Paso	CH Esperado	Temperatura [°C]		Humedad [%]		CH Esperado	Temperatura [°C]		Humedad [%]	
		Bulbo Seco	Bulbo Húmedo	Relativa	Equilibrio		Bulbo Seco	Bulbo Húmedo	Relativa	Equilibrio
1	> 35	37,5	36,0	90	19,5	> 50	37,5	35,5	86	17,6
2	35 - 30	37,5	35,5	86	17,6	50 - 40	37,5	35,0	83	16,4
3	30 - 25	40,5	37,0	81	15,4	40 - 35	37,5	33,5	74	13,4
4	25 - 20	40,5	35,0	69	12,0	35 - 30	37,5	32,0	68	11,9
5	20 - 15	46,0	32,0	38	6,4	30 - 25	40,5	32,0	56	9,4
6	15 - final	49,0	32,0	32	5,5	25 - 20	40,5	32,0	56	9,4
7						20 - 15	46,0	32,0	38	6,4
8						15 - final	49,0	32,0	32	5,5
9	Igualar y acondicionar según necesidad. Ver Tablas A1 y A2					Igualar y acondicionar según necesidad. Ver Tablas A1 y A2				

**Tabla 3 T1-D2 (modificado)**

**Tabla 4 T2-B2**

Paso	CH Esperado	Temperatura [°C]		Humedad [%]		CH Esperado	Temperatura [°C]		Humedad [%]	
		Bulbo Seco	Bulbo Húmedo	Relativa	Equilibrio		Bulbo Seco	Bulbo Húmedo	Relativa	Equilibrio
1	> 35	37,5	35,5	86	17,5	> 40	37,5	36,0	90	19,5
2	35 - 30	37,5	35,0	83	16,4	40 - 35	37,5	35,5	86	17,6
3	30 - 25	43,5	39,0	76	13,6	35 - 30	37,5	34,5	80	15,3
4	25 - 20	49,0	41,0	62	9,9	30 - 25	43,5	37,5	70	12
5	20 - 15	54,5	37,5	35	5,7	25 - 20	49,0	35,0	40	6,5
6	15 - final	65,5	37,5	18	3,2	20 - 15	54,5	32,0	22	4
7						15 - 11	65,5	40,5	23	3,8
8						11 - final	71,0	43,5	21	3,4
9	Igualar y acondicionar según necesidad. Ver Tablas A1 y A2					Igualar y acondicionar según necesidad. Ver Tablas A1 y A2				

**Tabla 5 T2-C1 (modificado)**

**Tabla 6 T2-C2 (modificado)**

Paso	CH Esperado	Temperatura [°C]		Humedad [%]		CH Esperado	Temperatura [°C]		Humedad [%]	
		Bulbo Seco	Bulbo Húmedo	Relativa	Equilibrio		Bulbo Seco	Bulbo Húmedo	Relativa	Equilibrio
1	> 40	37,5	36,0	90	19,5	> 50	37,5	35,0	83	16,4
2	40 - 35	37,5	35,5	86	17,6	50 - 40	37,5	34,0	77	14,3
3	35 - 30	40,5	37,0	81	15,4	40 - 30	37,5	32,0	68	11,9
4	30 - 25	40,5	35,0	69	12,0	30 - 25	43,5	32,0	46	7,6
5	25 - 20	46,0	32,0	38	6,4	25 - 20	49,0	32,0	32	5,5
6	20 - 15	49,0	32,0	32	5,5	20 - 15	54,5	32,0	22	4
7	15 - final	65,5	37,5	18	3,2	15 - final	65,5	37,5	18	3,2
8										
9	Igualar y acondicionar según necesidad. Ver Tablas A1 y A2					Igualar y acondicionar según necesidad. Ver Tablas A1 y A2				

**Tabla 7 T2-D3 (modificado)****Tabla 8 T2-D4 (modificado)**

Paso	CH Esperado	Temperatura [°C]		Humedad [%]		CH Esperado	Temperatura [°C]		Humedad [%]	
		Bulbo Seco	Bulbo Húmedo	Relativa	Equilibrio		Bulbo Seco	Bulbo Húmedo	Relativa	Equilibrio
1	> 50	37,5	36,0	90	19,5	> 40	43,5	41,5	90	19,1
2	50 - 40	37,5	35,5	86	17,6	40 - 35	43,5	41,0	87	17,6
3	40 - 30	40,5	37,0	81	15,4	35 - 30	43,5	40,0	81	15,2
4	30 - 25	40,5	35,0	69	12,0	30 - 25	49,0	43,5	72	12,1
5	25 - 20	46,0	32,0	38	6,4	25 - 20	54,5	40,5	43	6,7
6	20 - 15	49,0	32,0	32	5,5	20 - 15	60,0	32,0	15	2,9
7	15 - final	65,5	37,5	18	3,2	15 - final	71,0	43,5	21	3,4
8										
9	Igualar y acondicionar según necesidad. Ver Tablas A1 y A2					Igualar y acondicionar según necesidad. Ver Tablas A1 y A2				

**Tabla 15 T3-C1****Tabla 16 T3-C2**

Paso	CH Esperado	Temperatura [°C]		Humedad [%]		CH Esperado	Temperatura [°C]		Humedad [%]	
		Bulbo Seco	Bulbo Húmedo	Relativa	Equilibrio		Bulbo Seco	Bulbo Húmedo	Relativa	Equilibrio
1	> 40	43,5	41,0	87	17,6	> 50	43,5	41,5	90	19,1
2	40 - 35	43,5	40,5	84	16,3	50 - 40	43,5	41,0	87	17,6
3	35 - 30	43,5	39,0	76	13,6	40 - 35	43,5	40,0	81	15,2
4	30 - 25	49,0	41,0	62	9,9	35 - 30	43,5	37,5	70	12,0
5	25 - 20	54,5	37,5	35	5,7	30 - 25	49,0	35,0	40	6,5
6	20 - 15	60,0	32,0	15	2,9	25 - 20	54,5	32,0	22	4,0
7	15 - final	71,0	43,5	21	3,4	20 - 15	60,0	32,0	15	2,9
8						15 - final	71,0	43,5	21	3,4
9	Igualar y acondicionar según necesidad. Ver Tablas A1 y A2					Igualar y acondicionar según necesidad. Ver Tablas A1 y A2				

**Tabla 18 T3-D1 (modificado)**

**Tabla 19 T3-D2 (modificado)**

Paso	CH Esperado	Temperatura [°C]		Humedad [%]		CH Esperado	Temperatura [°C]		Humedad [%]	
		Bulbo Seco	Bulbo Húmedo	Relativa	Equilibrio		Bulbo Seco	Bulbo Húmedo	Relativa	Equilibrio
1	> 50	43,5	41,0	87	17,6	> 50	43,5	40,5	84	16,3
2	50 - 40	43,5	40,5	84	16,3	50 - 40	43,5	39,5	78	14,2
3	40 - 35	43,5	39,0	76	13,6	40 - 35	43,5	37,0	68	11,6
4	35 - 30	43,5	35,5	60	9,9	35 - 30	43,5	32,5	48	7,9
5	30 - 25	49,0	32,0	32	5,5	30 - 25	49,0	32,0	32	5,5
6	25 - 20	54,5	32,0	22	4,0	25 - 20	54,5	32,0	22	4,0
7	20 - 15	60,0	32,0	15	2,9	20 - 15	60,0	32,0	15	2,9
8	15 - final	71,0	43,5	21	3,4	15 - final	71,0	43,5	21	3,4
9	Igualar y acondicionar según necesidad. Ver Tablas A1 y A2					Igualar y acondicionar según necesidad. Ver Tablas A1 y A2				

**Tabla 20 T3-D3 (modificado)**

**Tabla 34 T5-B1**

Paso	CH Esperado	Temperatura [°C]		Humedad [%]		CH Esperado	Temperatura [°C]		Humedad [%]	
		Bulbo Seco	Bulbo Húmedo	Relativa	Equilibrio		Bulbo Seco	Bulbo Húmedo	Relativa	Equilibrio
1	> 50	43,5	41,0	90	17,6	> 50	49,0	46,5	88	17,6
2	50 - 40	43,5	40,5	87	16,3	50 - 40	49,0	46,0	85	16,3
3	40 - 35	43,5	39,0	81	13,6	40 - 35	49,0	44,5	77	13,5
4	35 - 30	43,5	35,5	70	9,9	35 - 30	49,0	41,0	62	9,9
5	30 - 25	49,0	32,0	40	5,5	30 - 25	54,5	35,5	35	5,7
6	25 - 20	54,5	32,0	22	4,0	25 - 20	60,0	32,0	15	2,9
7	20 - 15	60,0	32,0	15	2,9	20 - 15	65,5	37,5	18	3,2
8	15 - final	71,0	43,5	21	3,4	15 - final	82,0	54,5	26	3,5
9	Igualar y acondicionar según necesidad. Ver Tablas A1 y A2					Igualar y acondicionar según necesidad. Ver Tablas A1 y A2				

**Tabla 55 T6-D2**

**Tabla 56 T6-D4**

Paso	CH Esperado	Temperatura [°C]		Humedad [%]		CH Esperado	Temperatura [°C]		Humedad [%]	
		Bulbo Seco	Bulbo Húmedo	Relativa	Equilibrio		Bulbo Seco	Bulbo Húmedo	Relativa	Equilibrio
1	> 50	49,0	45,0	80	14,4	> 35	54,5	51,5	86	16,2
2	50 - 40	49,0	43,5	72	12,1	35 - 30	54,5	50,5	81	14,3
3	40 - 35	49,0	40,5	60	9,6	30 - 25	60,0	54,0	73	11,5
4	35 - 30	49,0	35,0	40	6,5	25 - 20	65,5	55,0	59	8,3
5	30 - 25	54,5	32,0	22	4,0	20 - 15	71,0	51,5	37	5,1
6	25 - 20	60,5	32,0	15	2,9	15 - final	82,0	54,5	26	3,5
7	20 - 15	60,0	37,5	18	3,2					
8	15 - final	82,0	54,5	26	3,5					
9	Igualar y acondicionar según necesidad. Ver Tablas A1 y A2					Igualar y acondicionar según necesidad. Ver Tablas A1 y A2				

**Tabla 70 T8-B3**

**Tabla 233 T8-D3S**

Paso	CH Esperado	Temperatura [°C]		Humedad [%]		CH Esperado	Temperatura [°C]		Humedad [%]	
		Bulbo Seco	Bulbo Húmedo	Relativa	Equilibrio		Bulbo Seco	Bulbo Húmedo	Relativa	Equilibrio
1	> 50	54,5	51,5	86	16,2	> 50	54,5	50,5	81	14,3
2	50 - 40	54,5	50,5	81	14,3	50 - 40	54,5	49,0	74	12,2
3	40 - 35	54,5	48,7	71	11,5	40 - 35	54,5	46,0	62	9,6
4	35 - 30	54,5	46,0	62	9,6	35 - 30	54,5	43,5	52	7,9
5	30 - 25	60,0	49,0	55	8,0	30 - 25	60,0	46,0	46	6,8
6	25 - 20	65,5	51,5	49	6,8	25 - 20	65,5	49,0	41	5,8
7	20 - 15	71,0	54,5	43	5,8	20 - 15	71,0	51,5	37	5,1
8	15 - final	82,0	54,5	26	3,5	15 - final	82,0	54,5	26	3,5
9	Igualar y acondicionar según necesidad. Ver Tablas A1 y A2					Igualar y acondicionar según necesidad. Ver Tablas A1 y A2				

**Tabla 234 T8-D4S**

**Tabla 245 T10-D4S**

Paso	CH Esperado	Temperatura [°C]		Humedad [%]		CH Esperado	Temperatura [°C]		Humedad [%]	
		B. Seco	B: Húmedo	Relativa	Equilibrio		B. Seco	B: Húmedo	Relativa	Equilibrio
1	> 50	60,0	56,0	82	14,2	> 50	60,0	56,0	82	14,3
2	50 - 40	60,0	54,5	75	12	50 - 40	60,0	54,5	75	12,2
3	40 - 35	60,0	51,5	64	9,6	40 - 35	60,0	51,5	64	9,6
4	35 - 30	60,0	49,0	55	8,0	35 - 30	60,0	49,0	55	7,9
5	30 - 25	65,5	51,5	49	6,8	30 - 25	65,5	51,5	49	6,8
6	25 - 20	71,0	54,5	43	5,8	25 - 20	71,0	54,5	43	5,8
7	20 - 15	76,5	57,0	39	5,1	20 - 15	76,5	57,0	39	5,1
8	15 - final	82,0	54,5	26	3,5	15 - final	82,0	54,5	26	3,5
9	Igualar y acondicionar según necesidad. Ver Tablas A1 y A2					Igualar y acondicionar según necesidad. Ver Tablas A1 y A2				

**Tabla 246 T10-D5S**

**Tabla A1 – Tratamientos de igualación sugeridos para latofiliadas y coníferas (Igualando al contenido de humedad prefijado, Menos 3%)**

Temp. del Bulbo Seco [°C]	Temperatura del Bulbo Húmedo [°C], según el CH final prefijado					Temp. del Bulbo Seco [°C]	Temperatura del Bulbo Húmedo [°C], según el CH final prefijado				
	6%	7%	8%	9%	10%		6%	7%	8%	9%	10%
54,5	29,5	32,5	35,5	38,5	41,0	60,0	52,0	53,0	54,5	55,5	56,0
60,0	33,0	37,5	40,5	43,0	46,0	65,5	57,5	59,0	60,0	61,0	61,5
65,5	37,5	39,5	46,0	49,5	51,5	71,0	63,5	65,0	66,0	66,5	67,5
71,0	43,5	47,0	51,5	55,0	57,5	76,5	69,0	70,5	72,0	72,5	73,0
76,5	48,0	52,5	56,5	60,5	63,5	82,0	75,5	76,5	77,0	78,5	79,0
82,0	54,5	58,0	62,5	66,5	69,0	87,5	81,0	82,0	83,0	84,0	85,0
87,5	60,0	64,0	69,0	72,0	75,5	93,0	86,5	87,5	89,0	90,0	90,5

**Tabla de A2 Tratamientos de acondicionamiento (liberación de esfuerzos) sugeridos para maderas latofiliadas y coníferas\***

\* Si no se pueden mantener los ajustes exactos, hacer lo posible para obtener una depresión del Bulbo Húmedo y contenido de humedad de equilibrio, compatibles.

## ANEXO 7

### Humedad Relativa Ambiente y Contenido de Humedad de Equilibrio de la Madera para Diferentes Temperaturas del Bulbo Seco y Depresiones del Bulbo Húmedo.

t [°C]	Humedad [%]	Diferencia Psicrométrica en °C																					
		1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22	25	28
5	φ [%]	86	79	72	65	58	52	45	39	33	20	7											
	X* [%]	19	16	14	12	11	9,5	8,5	7,5	6,5	4,5	1,5											
15	φ [%]	90	85	80	75	71	66	61	57	53	44	36	27	20	13								
	X* [%]	20,5	18	16	14,5	13	12	11	10,5	10	8	7	6	4,5	3								
25	φ [%]	92	88	84	81	77	74	70	67	63	57	50	44	39	33	22	12						
	X* [%]	21,5	19,5	17,5	16	15	14	13	12	11,5	10	9	8	7,5	6,5	5	2,5						
35	φ [%]	94	90	87	84	81	78	75	72	69	64	59	54	49	44	36	28	20	13	7			
	X* [%]	22	19,5	18	16,5	15,5	14,5	13,5	13	12	11	10	9,5	8,5	8	6,5	6	4	3	1,5			
40	φ [%]	94	91	88	85	82	80	77	74	72	67	62	57	53	48	40	33	26	20	14	6		
	X* [%]	22	19,5	18	17	16	15	14	13	12,5	11,5	10,5	9,5	9	8	7	6	5	4	3	1,5		
45	φ [%]	94	91	88	85	83	80	78	75	73	69	64	60	56	52	44	37	30	25	19	14		
	X* [%]	22	19,5	18	17	15,5	15	14	13,5	12,5	11,5	10,5	10	9	8	7	6,5	5,5	4,5	4	3		
50	φ [%]	95	92	89	86	83	81	79	76	74	70	65	61	58	54	46	40	34	29	24	18	12	5
	X* [%]	22	19,5	18	16,5	15,5	15	14	13,5	12,5	11,5	10,5	10	9	8,5	7,5	6,5	5,5	5	4	3,5	2,5	1
55	φ [%]	95	92	90	87	84	82	80	78	76	72	67	63	60	56	50	43	37	32	27	22	16	10
	X* [%]	21,5	19,5	18	16,5	15,5	14,5	13,5	13	12,5	11,5	10,5	10	9	8,5	7,5	6,5	6	5	4,5	4	3	2
60	φ [%]	95	92	90	88	85	83	81	79	77	73	69	65	61	58	52	45	40	35	30	25	20	14
	X* [%]	21,5	19	17,5	16,5	15,5	14,5	13,5	13	12,5	11,5	10,5	10	9	8,5	7,5	7	6	5,5	4,5	4	3,5	2,5
65	φ [%]	95	93	91	88	86	84	82	80	78	74	70	66	63	60	53	47	42	37	32	28	22	17
	X* [%]	21	19,5	17	16	15	14	13,5	13	12,5	11,5	10,5	10	9	8,5	7,5	7	6	5,5	5	4	3,5	3
70	φ [%]	96	93	91	88	86	84	83	81	79	75	71	68	65	61	55	50	44	40	35	31	25	20
	X* [%]	20,5	18,5	17	15,5	15	14	13,5	13	12	11	10,5	9,5	9	8,5	7,5	7	6	5,5	5	4,5	3,5	3
75	φ [%]	96	93	91	89	87	85	83	82	80	76	72	69	66	63	57	51	46	41	38	33	28	22
	X* [%]	20	18	16,5	15,5	14,5	14	13	12,5	12	11	10	9,5	9	8,5	7,5	6,5	6	5,5	5	4,5	3,5	3
80	φ [%]	97	93	91	89	87	86	84	82	81	77	74	70	67	64	59	53	48	43	40	36	30	25
	X* [%]	19,5	17,5	16	15	14,5	13,5	13	12,5	12	11	10	9,5	8,5	8	7,5	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5
85	φ [%]	97	93	91	90	88	86	84	82	81	78	74	71	68	65	60	54	49	45	41	38	32	27
	X* [%]	19,5	17	16	15	14	13,5	12,5	12	11,5	10,5	10	9	8,5	8	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5

t = Temperatura del bulbo seco [°C]; φ = Humedad relativa [%], X\* = Contenido de humedad de equilibrio [%]

Fuente: Hoheisel y colaboradores (1989).

## ANEXO 8

### Propiedades Físicas del Aire, a 1 atm.

t [°C]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	$\mu \cdot 10^{-5}$ [Kg/m s]	Cp [Kcal/Kg°C]	k [Kcal/mh°C]	$\nu \cdot 10^{-5}$ [m <sup>2</sup> /s]	$a \cdot 10^{-5}$ [m <sup>2</sup> /s]	$Pr = \frac{\nu}{a}$
0	1,293	1,709	0,238	0,0208	1,32	1,88	0,702
50	1,093	1,951	-	0,0240	1,78	2,57	0,693
100	0,946	2,175	0,237	0,0272	2,30	3,37	0,682
150	0,834	2,385	-	0,0304	2,86	4,28	0,668
200	0,746	2,582	0,236	0,0336	3,46	5,30	0,653
250	0,675	2,770	-	0,0366	4,10	6,40	0,641
300	0,616	2,946	0,235	0,0394	4,78	7,57	0,631

FUENTE: Problemas de ingeniería Química de OCON/TOJO tomo II, pag. 382

## ANEXO 9

### Propiedades Físicas del Agua, a 1 atm.

t [°C]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	$\mu \cdot 10^{-5}$ [Kg/m s]	Cp [Kcal/Kg°C]	$\Delta H_{fg}$ [Kcal/Kg]
0	999,8	1,794	1,008	596,4
10	999,7	1,310	1,002	590,9
20	998,2	1,009	0,999	585,5
30	995,7	0,800	0,998	580,0
40	992,2	0,654	0,998	574,5
50	988,1	0,549	0,998	568,9
60	983,2	0,470	1,000	563,2
70	977,8	0,407	1,001	557,3
80	971,8	0,357	1,003	551,3
90	965,3	0,317	1,005	545,3
100	958,4	0,284	1,008	539,0
110	951,0	0,256	1,011	532,6
120	943,4	0,232	1,014	525,9
130	935,2	0,212	1,017	519,0
140	926,4	0,196	1,020	511,9
150	917,3	0,184	1,024	504,5
160	907,5	0,174	1,027	496,9

FUENTE: Problemas de ingeniería Química de OCON/TOJO tomo II, pag. 383

## ANEXO 10

**Resultados arrojados por el programa SAP 2000.**

**Reacciones de tracción y compresión generados en los puntos de apoyo.**

Joint Reactions							
Joint	OutputCase	CaseType	F <sub>AE</sub>	F <sub>AC</sub>	F <sub>CE</sub>	F <sub>CD</sub>	F <sub>ED</sub>
			[Kg <sub>f</sub> ]				
1	DEAD	LinStatic	-286,83	0	222,89	-286,83	222,89
2	DEAD	LinStatic	328,64	0	258,23	328,64	258,23
3	DEAD	LinStatic	-328,64	0	258,23	-328,64	258,23
4	DEAD	LinStatic	328,64	0	258,23	328,64	258,23
5	DEAD	LinStatic	-328,64	0	258,23	-328,64	258,23
6	DEAD	LinStatic	-286,83	0	222,89	-286,83	222,89

Fuente: Elaboración propia.

**Desplazamientos generados por las cargas a las que se somete la estructura de madera.**

Joint Displacements								
Joint	OutputCase	CaseType	U <sub>AB</sub>	U <sub>CD</sub>	U <sub>AD</sub>	U <sub>BD</sub>	U <sub>CE</sub>	U <sub>CF</sub>
			[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0,00004	0
2	DEAD	LinStatic	-4,67E-20	0	-0,000045	0	-1,97E-19	0
3	DEAD	LinStatic	-1,54E-20	0	-0,000024	0	1,01E-19	0
4	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	-0,00004	0
5	DEAD	LinStatic	0,000012	0	-0,000038	0	2,54E-06	0
6	DEAD	LinStatic	-0,000012	0	-0,000038	0	-2,54E-06	0
7	DEAD	LinStatic	0,00001	0	-0,000028	0	0,000025	0
8	DEAD	LinStatic	0,000012	0	-0,000032	0	0,000029	0
9	DEAD	LinStatic	0,000012	0	-0,000032	0	0,000029	0
10	DEAD	LinStatic	0,00001	0	-0,000028	0	0,000025	0
11	DEAD	LinStatic	7,30E-06	0	-0,000034	0	-0,000012	0
12	DEAD	LinStatic	8,35E-06	0	-0,000039	0	-0,000013	0
13	DEAD	LinStatic	8,35E-06	0	-0,000039	0	-0,000013	0
14	DEAD	LinStatic	7,30E-06	0	-0,000034	0	-0,000012	0
15	DEAD	LinStatic	-0,00001	0	-0,000028	0	-0,000025	0
16	DEAD	LinStatic	-0,000012	0	-0,000032	0	-0,000029	0
17	DEAD	LinStatic	-0,000012	0	-0,000032	0	-0,000029	0
18	DEAD	LinStatic	-0,00001	0	-0,000028	0	-0,000025	0
19	DEAD	LinStatic	-7,30E-06	0	-0,000034	0	0,000012	0
20	DEAD	LinStatic	-8,35E-06	0	-0,000039	0	0,000013	0
21	DEAD	LinStatic	-8,35E-06	0	-0,000039	0	0,000013	0
22	DEAD	LinStatic	-7,30E-06	0	-0,000034	0	0,000012	0
23	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0,000046	0
24	DEAD	LinStatic	-9,84E-20	0	-0,000054	0	-1,58E-19	0

Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 11

### Propiedades Físicas del Vapor de Agua.

Presión	Temperatura	Volumen específico		Entalpía del líquido	Entalpía del vapor sat.	Calor latente de vap.
		Líquido sat.	Vapor sat.			
[kPa]	[°C]	[Litro/kg]	[m <sup>3</sup> /kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]
0,9807	6,7	1,000	131,6	28,17	2.512,44	2.484,39
1,9613	17,2	1,001	68,25	72,21	2.532,11	2.459,69
2,9420	23,7	1,003	46,52	99,67	2.544,25	2.444,62
3,4323	26,4	1,003	40,22	110,47	2.548,86	2.438,35
3,9226	28,6	1,004	35,46	120,01	2.552,62	2.432,48
4,9033	32,6	1,005	28,72	136,34	2.559,74	2.423,28
7,3550	40,0	1,008	19,69	167,27	2.573,13	2.405,69
9,8066	45,5	1,010	14,95	190,25	2.582,76	2.392,72
14,7099	53,6	1,014	10,20	224,33	2.597,41	2.373,04
19,6132	59,7	1,017	7,789	249,69	2.608,30	2.358,39
24,5165	64,6	1,020	6,318	270,16	2.616,25	2.346,25
29,4198	68,7	1,022	5,324	287,41	2.623,78	2.336,21
39,2264	75,4	1,026	4,066	315,67	2.635,09	2.319,46
58,8396	85,4	1,033	2,782	357,78	2.651,83	2.293,93
78,4528	93,0	1,038	2,125	389,51	2.663,97	2.274,25
98,0660	99,1	1,043	1,725	415,21	2.674,02	2.258,77
147,0990	110,8	1,052	1,181	464,60	2.692,02	2.227,37
196,1320	119,6	1,060	0,9018	502,07	2.705,41	2.203,51
245,1650	126,8	1,067	0,7318	532,46	2.715,46	2.183,00
294,1980	132,9	1,073	0,6169	558,41	2.723,83	2.165,42
343,2310	138,2	1,078	0,5338	581,44	2.730,95	2.149,51
392,2640	142,9	1,083	0,4709	601,53	2.737,23	2.135,70
451,1036	147,2	1,087	0,4215	619,95	2.742,67	2.122,72
490,3300	151,1	1,092	0,3817	636,69	2.747,27	2.110,58
588,3960	158,1	1,100	0,3213	666,83	2.755,64	2.088,40
686,4620	164,2	1,107	0,2778	693,62	2.762,34	2.068,72
784,5280	169,6	1,114	0,2448	717,48	2.767,78	2.050,30
882,5940	174,5	1,120	0,2189	738,83	2.772,39	2.033,56
980,6600	179,0	1,126	0,1980	758,92	2.776,57	2.018,07
1.078,7260	183,2	1,132	0,1808	777,34	2.779,92	2.002,58
1.176,7920	187,1	1,137	0,1663	794,50	2.783,27	1.988,77
1.274,8580	190,7	1,143	0,1540	810,41	2.786,20	1.975,79
1.372,9240	194,1	1,148	0,1434	825,90	2.788,71	1.962,82
1.470,9900	197,4	1,153	0,1342	840,13	2.790,81	1.950,26
1.569,0560	200,4	1,157	0,1261	853,94	2.792,48	1.938,54
1.667,1220	203,3	1,162	0,1189	867,34	2.794,16	1.926,82
1.765,1880	206,1	1,166	0,1125	879,90	2.795,41	1.915,51
1.863,2540	208,8	1,171	0,1067	892,04	2.797,09	1.905,05

FUENTE: Problemas de ingeniería Química de OCON/TOJO tomo II, pag. 384

## ANEXO 12

### Peso propio de Coberturas

Descripción	Unidades [Kg/m <sup>2</sup> ]
Calamina de metal de 2 mm	6
Calamina de metal de 1,5 mm	8
Cubierta de vidrio 5 mm	25
Cubierta de vidrio 6 mm	30
Planchas de asbesto cemento 4 mm	9
Planchas de asbesto cemento 5 mm	13
Teja plana sobrepuesta y desplazada a media teja	100

FUENTE: Junta del Acuerdo de Cartagena PADT - REPORT., pag. 13-5



### ANEXO 13

**Precios Unitarios y Rendimientos de Materiales de Construcción utilizados en las obras civiles del proyecto.**

#### Excavación 0 - 1,5 m Terreno Duro

Descripción	Unidad	Rendimiento	P.U.	Total
<b>MANO DE OBRA:</b>				
Albañil	h	0,50	16,25	8,13
Ayudante	h	4,50	11,00	49,50
		Sub Total Mano de Obra (Bs):		57,63
<b>HERR. Y EQUIPO:</b>				
Otros	%	6,00	57,63	3,46
			<b>Costo</b>	<b>61,08</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### Cimiento de Hormigón Ciclópeo

Descripción	Unidad	Rendimiento	P.U.	Total
<b>MATERIALES.</b>				
Cemento Portland	Kg	120,00	1,11	133,20
Arena común	m <sup>3</sup>	0,20	120,75	24,15
Grava común	m <sup>3</sup>	0,30	120,75	36,23
Piedra para Cimiento	m <sup>3</sup>	0,80	115,00	92,00
		Sub Total Materiales (Bs):		285,58
<b>MANO DE OBRA:</b>				
Albañil	h	5,00	16,25	81,25
Ayudante	h	5,00	11,00	55,00
		Sub Total Mano de Obra (Bs):		136,25
<b>HERR. Y EQUIPO:</b>				
Otros	%	6,00	136,25	8,18
			<b>Costo</b>	<b>430,00</b>

Fuente: Elaboración propia.

### Sobrecimiento de Hormigón Ciclópeo

Descripción	Unidad	Rendimiento	P.U.	Total
<b>MATERIALES.</b>				
Cemento Portland	Kg	120,00	1,11	133,20
Arena común	m <sup>3</sup>	0,20	120,75	24,15
Grava común	m <sup>3</sup>	0,30	120,75	36,23
Piedra para Cimiento	m <sup>3</sup>	0,80	115,00	92,00
Imperm. Asfaltex de MONOPOL	Gl.	0,04	143,50	5,74
Madera de Construcción	pie	25,00	7,50	187,50
Alambre de Amarre	Kg	0,50	13,00	6,50
Sub Total Materiales (Bs):				485,32
<b>MANO DE OBRA:</b>				
Albañil	h	5,18	16,25	84,18
Ayudante	h	5,18	11,00	56,98
Sub Total Mano de Obra (Bs):				141,16
<b>HERR. Y EQUIPO:</b>				
Otros	%	6,00	141,16	8,47
<b>Costo</b>				<b>634,94</b>

Fuente: Elaboración propia.

### Muro de Ladrillo

Descripción	Unidad	Rendimiento	P.U.	Total
<b>MATERIALES.</b>				
Cemento Portland	Kg	120,00	1,11	133,20
Arena fina	m <sup>3</sup>	0,20	120,75	24,15
Ladrillo	Pza.	0,30	120,75	36,23
Sub Total Materiales (Bs):				193,58
<b>MANO DE OBRA:</b>				
Albañil	h	5,00	16,25	81,25
Ayudante	h	5,00	11,00	55,00
Sub Total Mano de Obra (Bs):				136,25
<b>HERR. Y EQUIPO:</b>				
Otros	%	6,00	136,25	8,18
<b>Costo</b>				<b>338,00</b>

Fuente: Elaboración propia.

### Columnas de Hormigón Armado

Descripción	Unidad	Rendimiento	P.U.	Total
<b>MATERIALES.</b>				
Cemento Portland	Kg	350,00	1,11	388,50
Arena común	m <sup>3</sup>	0,45	120,75	54,34
Grava común	m <sup>3</sup>	0,90	120,75	108,68
Fierro Corrugado	Kg	125,00	8,29	1036,25
Clavos	Kg	2,00	13,00	26,00
Madera de Construcción	pie	80,00	7,50	600,00
Alambre de Amarre	Kg	2,00	13,00	26,00
		Sub Total Materiales (Bs):		2239,76
<b>MANO DE OBRA:</b>				
Encofrador	h	22,00	16,25	357,50
Armador	h	12,00	16,25	195,00
Albañil	h	10,00	16,25	162,50
Ayudante	h	20,00	11,00	220,00
		Sub Total Mano de Obra (Bs):		935,00
<b>HERR. Y EQUIPO:</b>				
Mescladora	h	1,00	24,00	24,00
Vibradora	h	0,80	13,00	10,40
Otros	%	6,00	935,00	56,10
		Sub Total Herr. Y Equipo (Bs):		90,50
		<b>Costo</b>		<b>3265,26</b>

Fuente: Elaboración propia.

### Revoque interior impermeable

Descripción	Unidad	Rendimiento	P.U.	Total
<b>MATERIALES.</b>				
Cemento Portland	Kg	16,00	1,11	17,76
Arena fina	m <sup>3</sup>	0,05	136,50	6,83
Sika 1 Impermeabilizante	Kg	0,50	15,00	7,50
		Sub Total Materiales (Bs):		32,09
<b>MANO DE OBRA:</b>				
Albañil	h	2,50	16,25	40,63
Ayudante	h	2,50	11,00	27,50
		Sub Total Mano de Obra (Bs):		68,13
<b>HERR. Y EQUIPO:</b>				
Otros	%	6,00	68,13	4,09
		<b>Costo</b>		<b>104,30</b>

Fuente: Elaboración propia.

### Estructura de techo de madera

Descripción	Unidad	Rendimiento	P.U.	Total
<b>MATERIALES.</b>				
Madera de Construcción	pie <sup>2</sup>	12,00	7,50	90,00
Clavos	Kg	2,00	13,00	26,00
Tirafondos	Pza	5,00	2,10	10,50
Sub Total Materiales (Bs):				126,50
<b>MANO DE OBRA:</b>				
Armador	h	2,00	16,25	32,50
Albañil	h	2,00	16,25	32,50
Ayudante	h	2,00	11,00	22,00
Sub Total Mano de Obra (Bs):				87,00
<b>HERR. Y EQUIPO:</b>				
Otros	%	6,00	87,00	5,22
			<b>Costo</b>	<b>218,72</b>

Fuente: Elaboración propia.

### Calamina Galvanizada N° 28

Descripción	Unidad	Rendimiento	P.U.	Total
<b>MATERIALES.</b>				
Calamina Ondulada N° 28	m <sup>2</sup>	1,18	46,53	54,91
Madera de construcción	p <sup>2</sup>	5,80	7,50	43,50
Clavos para Calaminas	kg	0,20	16,00	3,20
Clavos	kg	0,20	13,00	2,60
Sub Total Materiales (Bs):				104,21
<b>MANO DE OBRA:</b>				
Albañil	h	2,30	16,25	37,38
Ayudante	h	2,80	11,00	30,80
Sub Total Mano de Obra (Bs):				68,18
<b>HERR. Y EQUIPO:</b>				
Otros	%	6,00	68,18	4,09
			<b>Costo</b>	<b>176,47</b>

Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 14

### Características técnicas de tubos Galvanizados Aceros Arequipa

#### Tubo ISO65



DESIGNACIONES Y PESOS NOMINALES en Kg/m									
Designación Nominal	Dimensión Exterior (mm)	Serie Liviana (L)		Serie Standard (S)		Serie Mediana (M)		Serie Pesada (H)	
		Espesor (mm)	Peso (kg/m)	Espesor (mm)	Peso (kg/m)	Espesor (mm)	Peso (kg/m)	Espesor (mm)	Peso (kg/m)
1/4"	13,5	-	-	2,0	0,570				
3/8"	17,2	-	-	2,0	0,742				
1/2"	21,3	2,0	0,947	2,3	1,080				
3/4"	26,9	2,0	1,228	2,3	1,390				
1"	33,7	2,6	1,980	2,9	2,200				
1 1/4"	42,4	2,6	2,540	2,9	2,820				
1 1/2"	48,3	2,65	2,983	2,9	3,240				
2"	60,3	2,9	4,080	3,2	4,490				
2 1/2"	73,0	3,0	5,179	3,2	5,730	3,6	6,420	4,5	7,930
3"	88,9	3,2	6,720	3,6	7,550	4,0	8,360	5,0	10,300
4"	114,3	3,6	9,750	4,0	10,800	4,5	12,200	5,4	14,500
5"	139,7					5,0	16,600	5,4	17,900
6"	165,1					5,0	19,800	5,4	21,300

■ Negro y Galvanizado

#### NORMAS TÉCNICAS:

Diámetros y espesores según la Norma ISO 65.

#### DESCRIPCIÓN:

Tubo fabricado con acero al carbono, utilizando el sistema de soldadura por resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW).

#### PRESENTACIÓN:

- Longitud : 6,40 m  
Otras longitudes a pedido.
- Acabado de extremos : Refrentado (plano), limpio de rebordes.  
Roscado (según norma ANSI B1.20.1)
- Recubrimiento : Negro  
Galvanizado (40 micras de zinc)  
Aceitado \*  
Desengrasado \*

\* Fabricación bajo pedido

#### USOS:

Conducción de agua, gas, vapor, petróleo, aire presurizado y fluidos no corrosivos.

#### TOLERANCIAS DIMENSIONALES:

Espesor mínimo :

- Serie S, Serie M y Serie H : -12,5 % del espesor nominal
- Serie L : -8 % del espesor nominal

#### PROPIEDADES MECÁNICAS:

- Resistencia a la Tracción = 320 - 520 Min. N/mm<sup>2</sup>
- Elongación mínima = 15%

#### PRUEBA HIDROSTÁTICA:

A 700 PSI

Fuente: Departamento de comercialización Aceros Arequipa.

## ANEXO 15



# spirax/sarco

TIS 3.015 AR  
11.07

## Válvula reguladora de presión Serie 25P

### Descripción

La serie 25P es una válvula reguladora de presión. La presión aguas abajo se realimenta a través de un tubo sensor conectado al piloto de presión que controla la apertura de la válvula principal para mantener la presión reducida en el valor deseado. La válvula principal cierra el paso herméticamente cuando no se necesita vapor.

### Tamaños y conexiones

½" a 2" Roscas NPT, BSP, BSPT  
½" a 4" Bridas ANSI125, ANSI250

### Condiciones límite

#### Condiciones de diseño del cuerpo

Presión máxima 17 barg  
Temperatura máxima 232°C

### Rangos de presión aguas abajo

Para las siguientes presiones aguas abajo se dispone de tres resortes de ajuste de presión de color:

**Amarillo** 0,2 a 2,1 barg  
**Azul** 1,4 a 7,0 barg  
**Rojo** 5,6 a 14,0 barg

### Cómo especificar

Ejemplo: 1 Válvula reguladora de presión serie 25P, ANSI125, fluido vapor, 1", resorte azul.

### Aplicaciones típicas

La 25P es una válvula reductora de presión fiable y precisa para reducir la presión del vapor a un valor más bajo y eficiente, y proteger equipos costosos de altas presiones.

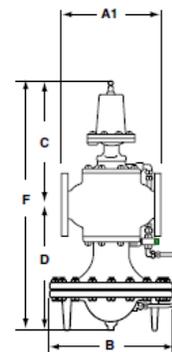
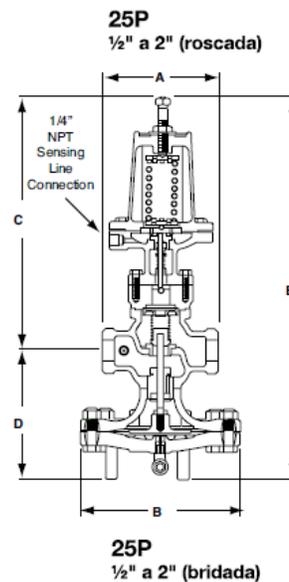
### Capacidades

Para selección y dimensionado ver hoja técnica:

TIS 3.030 AR para vapor saturado  
TIS 3.031 AR para aire comprimido  
TIS 3.032 AR para gas

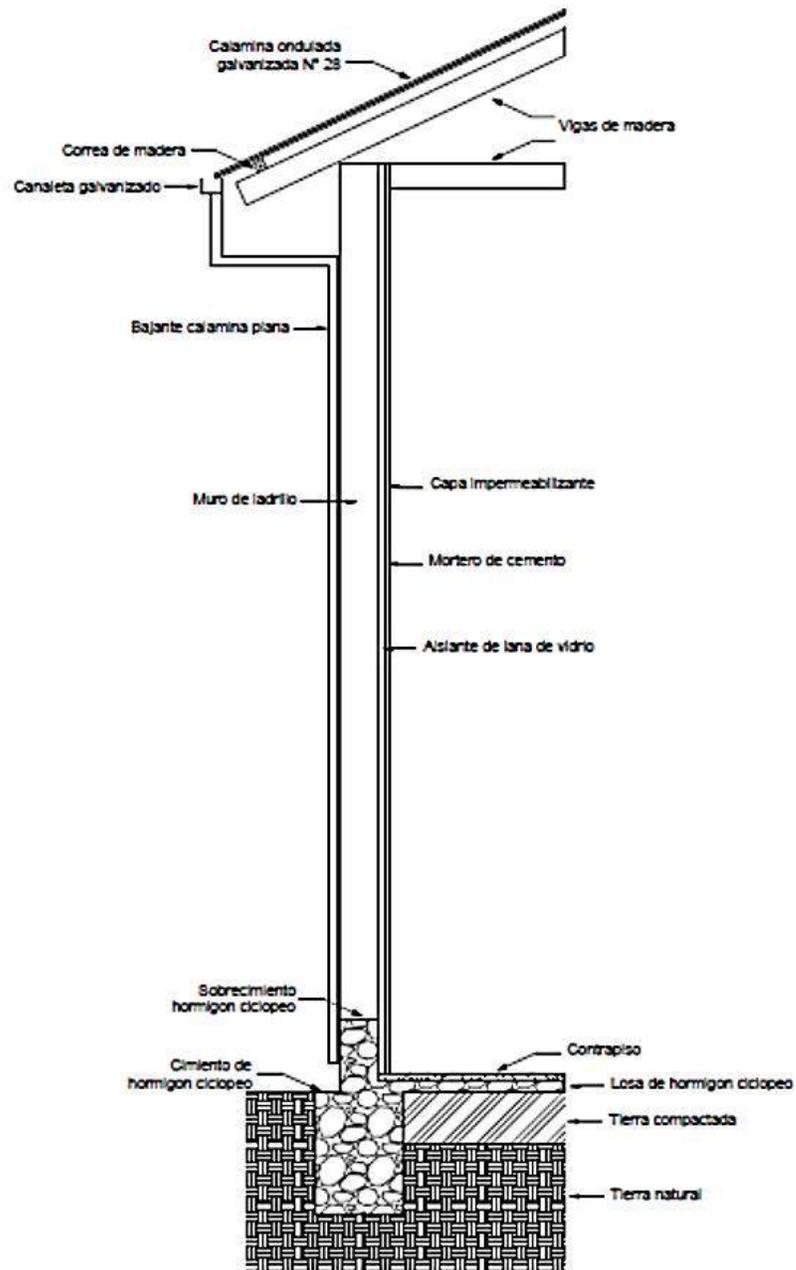
### Dimensiones / pesos (aproximados) en mm y kg

Tamaño	Roscada		Brida		C	D	E	Peso
	A	A1	B	B				
½"	140	161	193	309	157	466	14	
¾"	140	160	193	309	157	466	14	
1"	152	168	219	308	171	479	17	
1¼"	184	206	219	322	179	501	20	
1½"	184	218	219	322	179	501	20	
2"	216	242	269	338	208	546	31	
2½"	—	292	346	297	354	651	71	
3"	—	318	346	294	367	660	85	
4"	—	368	397	325	410	735	129	



## ANEXO 16

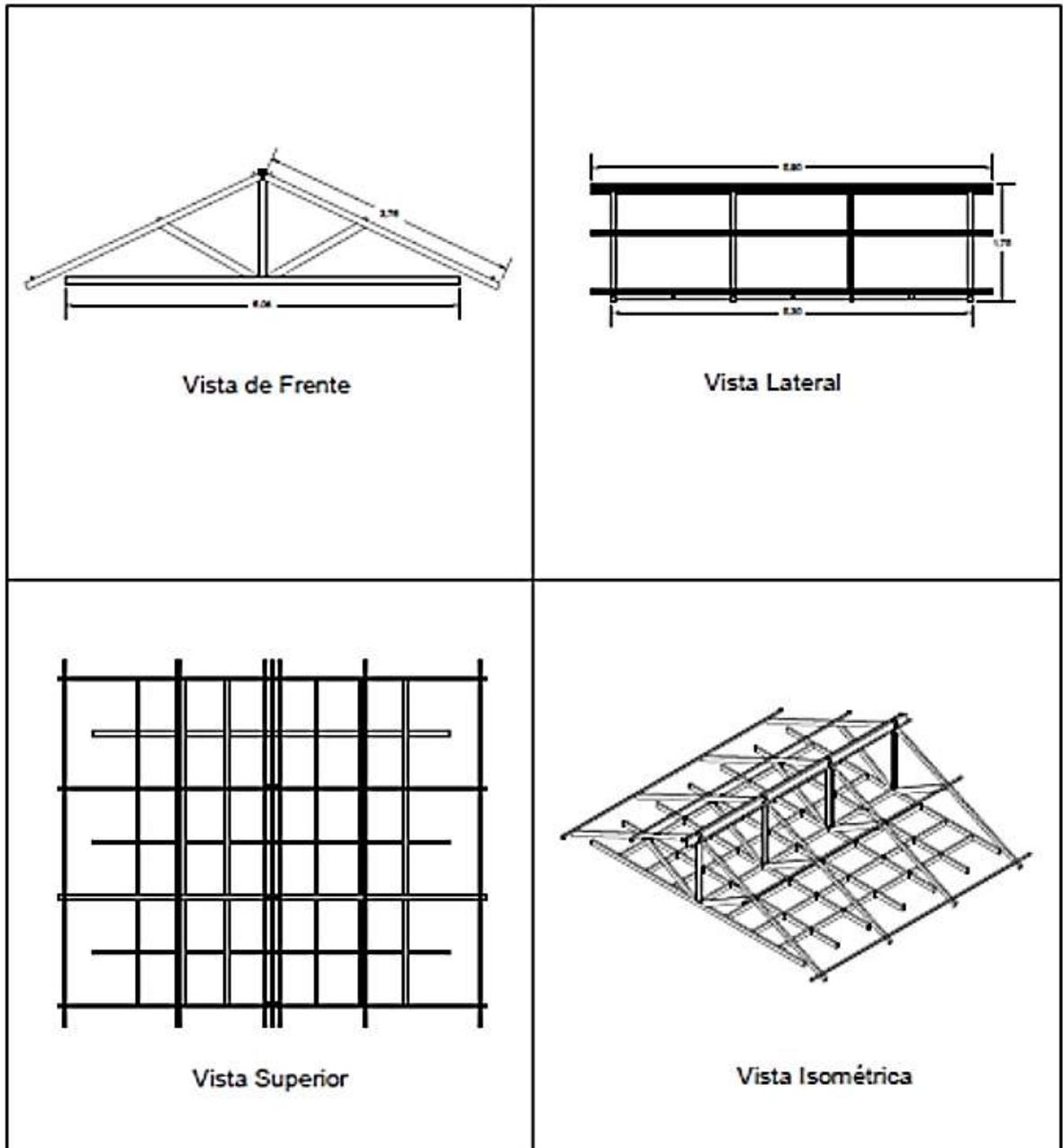
### Representación de los Materiales de Construcción.



Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 17

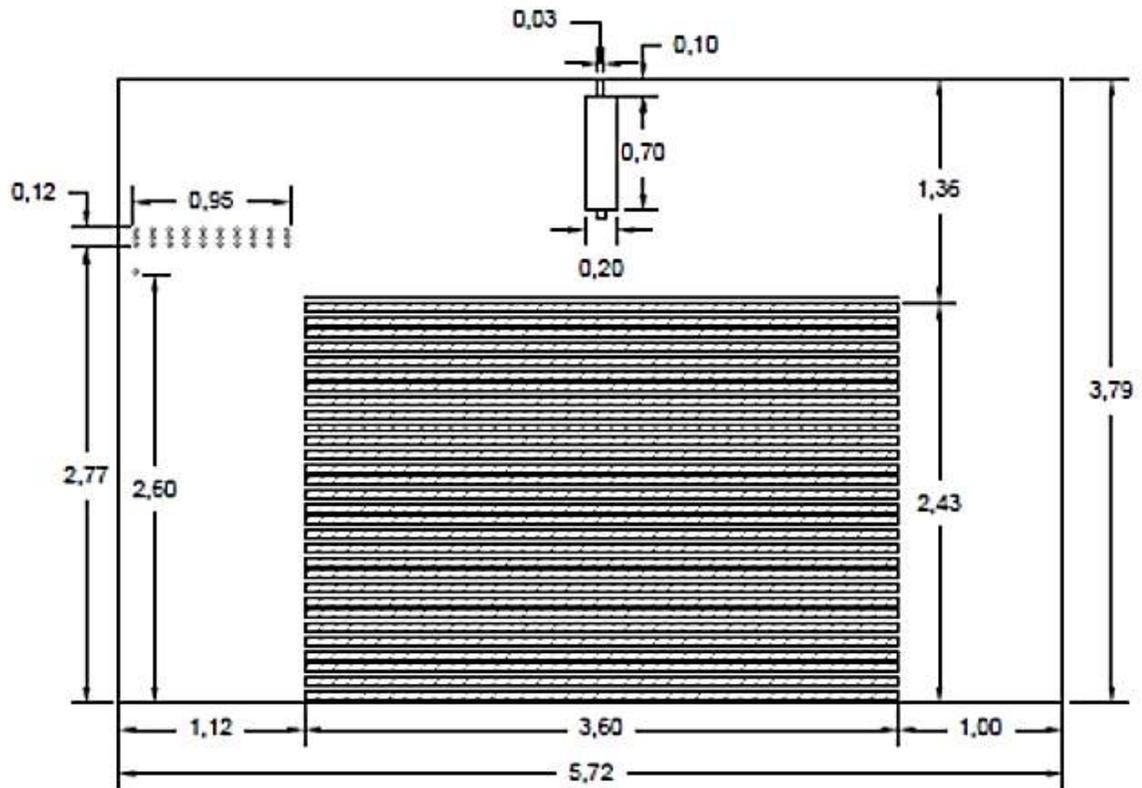
### Estructura del Techo de Madera.



Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 18

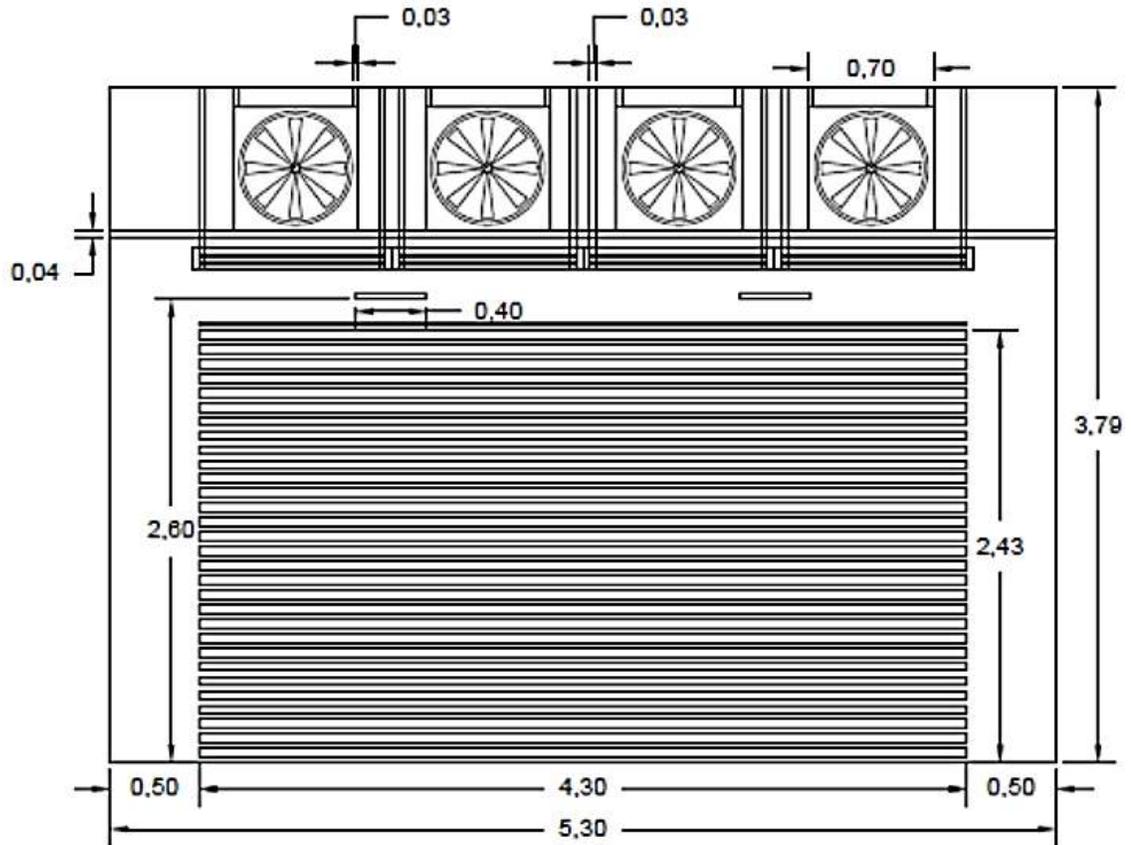
### Vista Frontal del Secadero. ESC. 1:10



Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 19

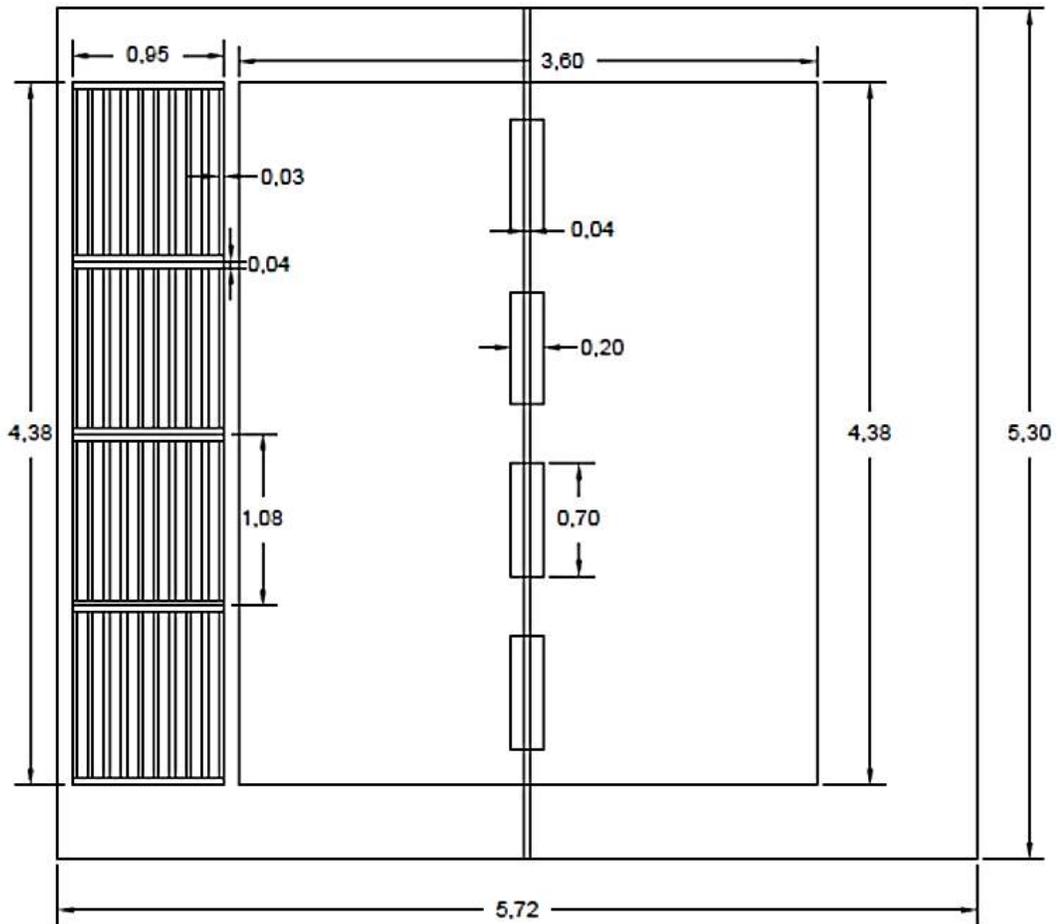
### Vista Lateral del Secadero. ESC. 1:10



Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 20

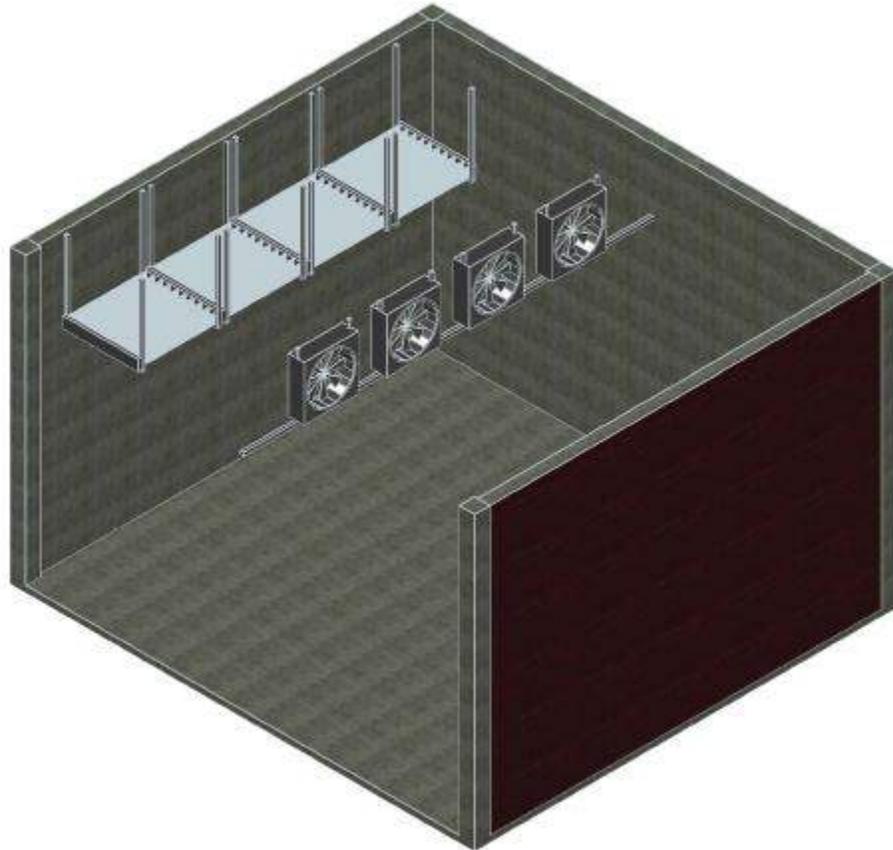
### Vista Lateral del Secadero. ESC. 1:10



Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 21

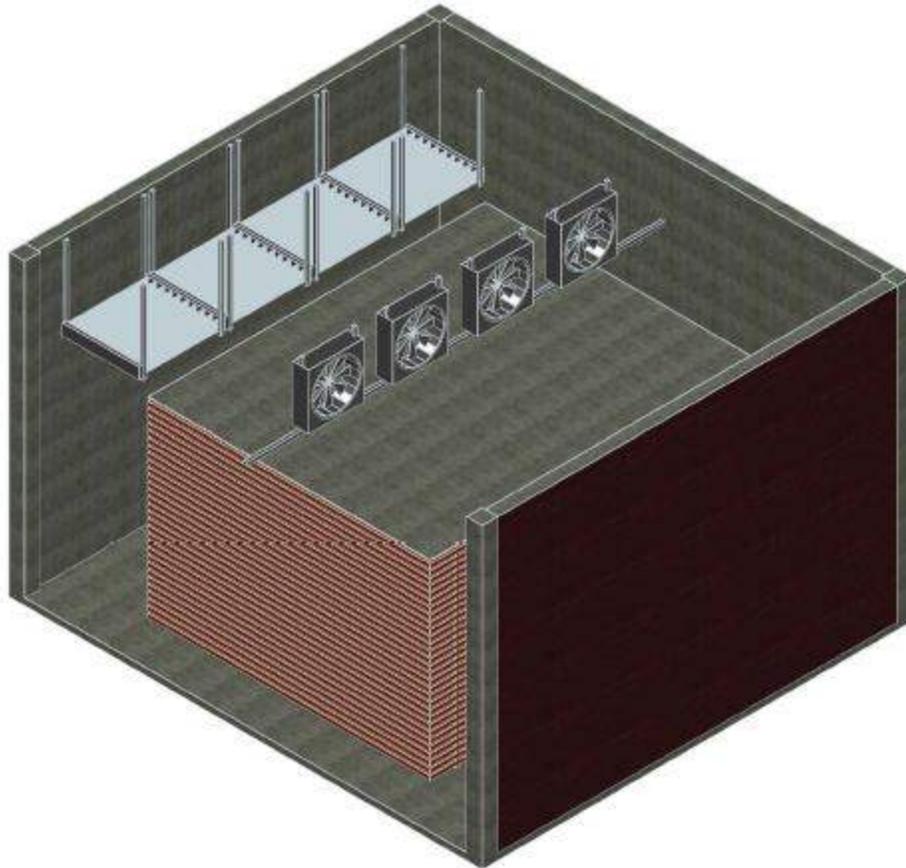
### Instalación del Intercambiador de Calor y los Ventiladores.



Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 22

### Colocación de la Carga de Madera.

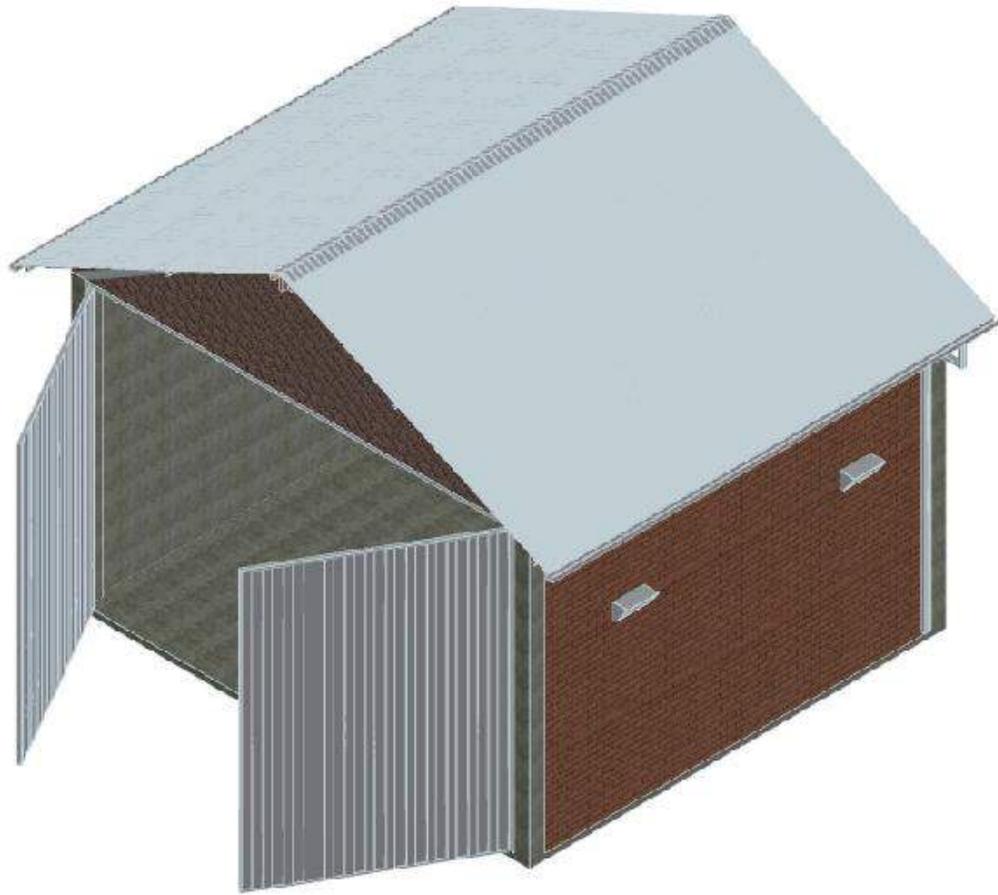


Fuente: Elaboración propia.



**ANEXO 23**

**Edificación del Secadero de Madera.**



Fuente: Elaboración propia.

