



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

“DISEÑO DE UNA CÁMARA DE SECADO DE MADERA
PARA FÁBRICA DE MUEBLES HIDALGO”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO

WILLIAM OSWALDO HIDALGO BRONCANO

RIOBAMBA – ECUADOR

2013

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento a Dios por guiar mis pasos, por llevarme a alcanzar mis metas y objetivos, por todas las bendiciones brindadas, por haberme encaminado de tal manera que me permitió culminar este sueño.

A la Escuela de Ingeniería Química, a la Facultad de Ciencias de la ESOCH en donde se me abrieron las puertas para poder alcanzar una meta más en mi camino, a mis docentes y en especial a mi director de tesis el Ing. José Usiña y al Ing. Hannibal Brito, quienes con dedicación y apoyo aportaron a la culminación de este presente trabajo investigativo.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Rosita y Rubén por ser un ejemplo de vida, a mi hermana Marcelita Hidalgo y a mis hermanos, a quienes toda la vida les estaré infinitamente agradecido para enfrentarme incondicional a los retos de la vida. A todos mis amigos y familiares que siempre estuvieron junto a mí formando un lazo mutuo lleno de respeto y sobre todo de confianza.

ESCUELA SUPERIOR POLIÉCNICA DE CHIMBORAZO.

FACULTAD DE CIENCIAS.

ESCUELA DE ING. QUIMICA.

El tribunal de tesis certifica que: el trabajo de investigación:

“DISEÑO DE UNA CÁMARA DE SECADO DE MADERA PARA FÁBRICA DE MUEBLES HIDALGO”, de responsabilidad del Sr. Egresado William Oswaldo Hidalgo Broncano ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

HOJA DE FIRMAS

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Silvio Alvarez
DECANO FAC. CIENCIAS		
Ing. Mario Villacrés
DIRECTOR DE ING. QUÍMICA		
Ing. José Ugsiña
DIRECTOR DE TESIS		
Ing. Hannibal Brito
MIEMBRO DEL TRIBUNAL		
Tec. Carlos Rodríguez
DIRECTOR CENTRO DE DOCUMENTACIÓN		

ÍNDICE DE ABREVIATURAS.

Ho =	contenido de humedad inicial (%)
Hf =	contenido de humedad final (%)
PS =	peso seco de la madera (Kg)
PH =	peso húmedo de la madera (Kg)
y _o =	peso específico de la madera anhidra (kg)
H =	humedad anhidra de la madera (%)
P =	presión atmosférica (kpa)
Pv =	presión parcial del vapor (Kpa)
Pa =	presión parcial del aire seco (Kpa)
Φ =	humedad relativa (%)
Pg =	presión de saturación del vapor (Kpa)
K =	conductividad térmica (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)
Q =	calor (kcal/h)
Y =	área libre (m)
V =	velocidad del aire (m ³)
S =	espesor de los separadores (m)
L =	longitud de la madera (m)
A =	altura de la pila (m)
X =	área libre lateral de la pila (m)
P =	presión del aire en Riobamba (Kpa)
T =	temperatura (C)

$m_h =$ masa de madera húmeda (gr)

$\rho_h =$ densidad de la madera húmeda ($\frac{kg}{m^3}$)

$CH_{verde} =$ contenido de la humedad en el estado verde (%)

$C_p =$ calor específico (Kcal)

$h_1 =$ entalpia inicial de aire húmedo (kcal/kg)

$h_2 =$ entalpia final de aire húmedo (kcal/kg)

$P =$ presión atmosférica (Pa)

ASME = America Society of Mechanical Engineers

$C_m =$ centímetros (cm)

$C_p =$ capacidad calorífica (kca)

$C =$ grados celsius (C)

$H =$ horas (h)

$h_i =$ entalpia específica del aire (kcal/kg)

$We =$ velocidad de secado constante (h)

$Wd =$ velocidad de secado decreciente (h)

$\Phi =$ tiempo (h)

$\phi_a =$ tiempo anticrítico (h)

$\phi_p =$ tiempo poscrítico (h)

TABLA DE CONTENIDOS	
PORTADA	
AGRADECIMIENTO	
DEDICATORIA	
HOJA DE FIRMAS	
HOJA DE RESPONSABILIDAD	
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	
TABLA DE CONTENIDOS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
RESUMEN.....	i
SUMMARY.....	ii
INTRODUCCIÓN.....	iii
ANTECEDENTES.....	v
JUSTIFICACIÓN.....	vii
OBJETIVOS.....	viii
GENERAL.....	viii
ESPECÍFICOS.....	viii
CAPITULO I.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. “LA MADERA.....	1
1.1.1.COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	1
1.1.2.COMPONENTES QUÍMICOS.....	1

1.1.3. “ESTRUCTURA ANATÓMICA DE LA MADERA.....	2
	Pp:
1.1.4. “CORTES DE LA MADERA.	4
1.1.5. “PROPIEDADES DE LA MADERA.....	5
1.1.6. CLASIFICACIÓN.....	6
1.1.7. OBTENCIÓN DE LA MADERA.	7
1.1.8. “AGENTES QUE AFECTAN A LA MADERA.	8
1.1.8.1. LA HUMEDAD.....	8
1.1.8.2. EL OXÍGENO.	9
1.1.8.3. LA TEMPERATURA.....	10
1.1.8.4. LAS BACTERIAS.....	10
1.1.8.5. EL MOHO Y EL HONGO DE LA MANCHA.....	11
1.1.8.6. LOS DAÑOS MECÁNICOS.....	11
1.1.8.7. LA DEGRADACIÓN POR LUZ ULTRAVIOLETA.....	12
1.1.8.8. LA DEGRADACIÓN QUÍMICA.	12
1.1.8.9. “FACTORES CLIMÁTICOS.....	13
1.1.9. “HUMEDAD EN LA MADERA, TIPOS DE AGUA Y SU MOVIMIENTO EN LA MADERA.....	14
1.1.9.1. AGUA LIBRE.	15
1.1.9.2. AGUA HIGROSCÓPICA.	16
1.1.9.3. AGUA DE CONSTITUCIÓN.....	16
1.1.9.4. MOVIMIENTO CAPILAR EN LA MADERA.	16
1.1.9.5. MOVIMIENTO DE DIFUSIÓN EN LA MADERA.	17
1.1.10. CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA MADERA PARA DIFERENTES USOS.....	17
1.1.11. “AISLANTE TERMICO DE POLIURETANO.....	18

1.1.12. “LA MADERA COMO COMBUSTIBLE.	20
-------------------------------------------	----

Pp:

1.1.13.LA BIOMASA COMO COMBUSTIBLE RENOVABLE PARA LA CALEFACCIÓN	20
------------------------------------------------------------------------	----

1.1.14.“CALDERAS GENERADORES DE VAPOR CON ALIMENTACION DE BIOMASA.....	21
------------------------------------------------------------------------	----

1.2. SECADO.	24
-------------------	----

1.2.1. “FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE SECADO.....	25
---------------------------------------------------------------	----

1.2.1.1. TEMPERATURA DEL AIRE.....	25
------------------------------------	----

1.2.1.2. HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE.....	25
-----------------------------------------	----

1.2.1.3.VELOCIDAD DEL AIRE.....	25
---------------------------------	----

1.2.2. CINETICA DEL SECADO.....	26
---------------------------------	----

1.2.2.1. CURVAS DE CINÉTICA DE SECADO.....	26
--------------------------------------------	----

1.2.2.2 CURVAS DE RÉGIMEN DE SECADO.	28
-------------------------------------------	----

1.2.3. CLASIFICACIÓN DE LA OPERACIÓN DE SECADO.....	29
-----------------------------------------------------	----

1.2.4. “TRATAMIENTO DE LA MADERA.....	30
---------------------------------------	----

1.2.4.1. SECADO DE LA MADERA.	31
------------------------------------	----

1.2.4.2. SECADO NATURAL.	31
-------------------------------	----

1.2.4.2.1 SECADO ARTIFICIAL.....	31
----------------------------------	----

1.2.4.2.2. SECADO EN HORNO.....	32
---------------------------------	----

1.2.4.2.3. SISTEMA DE CONVECCIÓN.....	33
---------------------------------------	----

1.2.4.2.4. SECADEROS DE ENERGÍA SOLAR.....	35
--------------------------------------------	----

1.2.4.2.5. SECADEROS AL VACÍO.....	36
------------------------------------	----

1.2.5. “ETAPAS DEL SECADO DE LA MADERA.....	37
---------------------------------------------	----

1.2.5.1. PRECALENTAMIENTO.....	37
--------------------------------	----

1.2.5.2. CALENTAMIENTO.	38
	Pp:
1.2.5.3. SECADO.	38
1.2.5.4. SECADO ANTES DEL PUNTO DE SATURACIÓN DE LAS FIBRAS.	38
1.2.5.5. SECADO DESPUÉS DEL PUNTO DE SATURACIÓN DE LAS FIBRAS.	39
1.2.5.6. ENFRIAMIENTO.	39
1.2.6. APILADO Y CARGADO DEL HORNO.	39
1.2.7. EFECTOS DEL SECADO.	42
1.2.8. ALMACENAMIENTO DE LA MADERA SECA.	44
1.2.9. “VENTAJAS DE SECADO ARTIFICIAL.	45
1.2.10. COMPONENTES PRINCIPALES DE LA CAMARA.	46
1.2.10.1. INSTRUMENTACION.	47
1.2.10.2. SELECCIÓN DE LOS ACCESORIOS DE LA LINEA DE VAPOR.	49
1.2.10.3. INYECCION DEL TIPO DE COMBUSTIBLE RECOMENDADO.	49
1.2.10.4. MATERIALES AUXILIARES.	50
1.3. DISEÑO.	51
1.3.1 PRUEBAS DE ENSAYO DE SECADO.	51
1.3.2 ECUACIONES PARA EL DISEÑO DE LA CÁMARA DE SECADO.	51
1.3.2.3. VELOCIDAD PERÍODO CONTANTE.	52
1.3.3.4. VELOCIDAD TOTAL EN LA OPERACIÓN DE SECADO.	53
1.3.2.5. CÁLCULO DEL TIEMPO DE SECADO EN EL PERÍODO CONSTANTE.	53
1.3.2.6. PERÍODO ANTICRÍTICO.	54
1.3.2.7. POSCRÍTICO.	54
1.3.2.8. LONGITUD DE LA CÁMARA.	55
1.3.2.9. ANCHO DE LA CÁMARA.	56

1.3.2.10. ALTURA DE LA CÁMARA.....	57
1.3.2.11. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN EN LAS PAREDES KE DE LA CÁMARA DE ALUMINIO.....	57
1.3.2.13. COEFICIENTE DE TRANSMISION EN EL SUELO.	59
1.3.2.14. CÁLCULO DE KS CORRESPONDIENTE.....	59
1.3.2.16. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR Q^* EN LA CÁMARA.....	60
1.3.2.21. CÁLCULO DE LAS ENTALPIAS DE LA MADERA.....	60
1.3.2.22. CÁLCULOS DE LAS ENTALPIAS DE AIRE.....	61
1.3.2.23. CÁLCULO DE LA HUMEDAD DE SALIDA DEL AIRE. Y_1	61
1.3.2.24. CÁLCULO DE CANTIDAD DE CALOR PERDIDO: Q	62
1.3.2.26. CÁLCULO DE LA HUMEDAD ABSOLUTA DEL SISTEMA Y ENTALPÍA.....	63
1.3.2.27. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR U_A	64
1.3.2.28. CÁLCULO DEL CALOR NECESARIO PARA CALENTAR EL SÓLIDO.	64
1.3.2.29. ENERGÍA REQUERIDA PARA LA FASE DE SECADO.....	64
1.3.2.30. MASA DE AGUA LIBRE EN LA MADERA (MAL).....	65
1.3.2.31. MASA DE CONSTITUCIÓN DE LA MADERA (HPSP).....	66
1.3.2.32. ENERGÍA TÉRMICA PARA EVAPORAR EL AGUA LIBRE DE LA MADERA.....	66
1.3.2.33. ENERGÍA TÉRMICA PARA EVAPORAR EL AGUA DE CONSTITUCIÓN DE LA MADERA.....	66
1.3.2.34. ENERGÍA PARA ELIMINAR EL AGUA DE LA MADERA.	67
1.3.2.35. CÁLCULO DEL CALOR NECESARIO PARA CALENTAR EL SISTEMA....	67
1.3.2.36. CÁLCULO DEL CALOR QUE DEBE SUMINISTRAR LOS SERPENTINES.	68
1.3.2.37. POTENCIA DE LA CALDERA.	68

Pp:

1.3.3. CÁLCULOS ADICIONALES.	69
1.3.3.1. EL SISTEMA DE VENTILACIÓN.	69
1.3.3.2. ELECCIÓN DEL COMBUSTIBLE.	71
2. PARTE EXPERIMENTAL.	72
2.1. MUESTREO.	72
2.1.2. PLAN DE MUESTREO.	72
2.2. METODOLOGIA.	73
2.3.1. MÉTODOS.	73
2.3.1.1. MÉTODO INDUCTIVO.	73
2.3.1.2. MÉTODO DEDUCTIVO.	74
2.3.1.4. TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN.	74
2.4. DATOS EXPERIMENTALES.	76
2.4.1. DATOS PROCESADOS PARA OBTENER LAS DIFERENTES VARIABLES. ...	76
2.4.2. MÉTODO DE INTEGRACIÓN GRÁFICA.	78
2.4.3. DATOS ADICIONALES.	79
2.5. DIAGNÓSTICO.	81
3. DISEÑO.	83
3.1. CÁLCULO DE LA CÁMARA DE SECADO.	83
3.1.2. LONGITUD DE LA CÁMARA.	83
3.1.3. ANCHO DE LA CÁMARA.	83
3.1.4. ALTURA DE LA CÁMARA.	83
3.1.5. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN EN LA CÁMARA DE ALUMINIO.	85

Pp:

3.1.5.1. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN EN LAS PAREDES KE DE LA CÁMARA DE ALUMINIO.....	85
3.1.5.2. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN EN EL TECHO.....	85
3.1.5.3. COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN EN EL SUELO.....	86
3.1.5.4. CÁLCULO DE KS CORRESPONDIENTE.....	86
3.1.5.5. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN DE CALOR DE LA PUERTA.....	87
3.1.5.6. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR Q^* EN LA CÁMARA.....	87
3.1.5.7. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN LAS PAREDES.....	87
3.1.5.8. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN LA PUERTA.....	88
3.1.5.9. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL TECHO.....	88
3.1.5.10. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL SUELO.....	88
3.1.5.11. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR TOTAL Q^*	89
3.1.5.12. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SECADO Y DEL TIEMPO DE SECADO PARA LOS DIFERENTES PERÍODOS.....	89
3.1.5.12.1. PERÍODO CONSTANTE O ANTICRÍTICO.....	89
3.1.5.12.2. PERÍODO DECRECIENTE O POSCRÍTICO.....	91
3.1.5.12.3. MÉTODO DE INTEGRACIÓN GRÁFICA.....	91
3.1.5.13. MÉTODO ANALÍTICO.....	94

Pp:

3.1.5.14. CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DE LA CÁMARA DE SECADO PARA MADERA.....	95
3.1.5.14.1. BALANCE DE MASA.....	95
3.1.5.14.2. BALANCE DE ENERGÍA.....	96
3.1.5.14.3. CÁLCULO DE LAS ENTALPIAS DE LA MADERA.....	96
3.1.5.14.4. CÁLCULOS DE LAS ENTALPIAS DE AIRE.....	97
3.1.5.14.5. CÁLCULO DE LA HUMEDAD DE SALIDA DEL AIRE. Y_1	98
3.1.5.14.6. CÁLCULO DE LA ENTALPIA DEL AIRE A LA SALIDA.....	99
3.1.5.14. CÁLCULO DE CANTIDAD DE CALOR PERDIDO: (Q.).....	99
3.1.5.15. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR UA.....	100
3.1.5.16. CÁLCULO DEL CALOR NECESARIO PARA CALENTAR EL SÓLIDO DESDE 18°C HASTA 85°C.....	100
3.1.5.18. ENERGÍA REQUERIDA PARA LA FASE DE SECADO.....	100
3.1.5.19. MASA DE AGUA LIBRE EN LA MADERA (MAL).....	101
3.1.5.20. MASA DE CONSTITUCIÓN DE LA MADERA (HPSP).....	101
3.1.5.21. ENERGÍA TÉRMICA PARA EVAPORAR EL AGUA LIBRE DE LA MADERA.....	102
3.1.5.22. ENERGÍA TÉRMICA PARA EVAPORAR EL AGUA DE CONSTITUCIÓN DE LA MADERA.....	102
3.1.5.23. POTENCIA PARA ELIMINAR EL AGUA DE LA MADERA.....	103
3.1.5.24. CÁLCULO DEL CALOR NECESARIO PARA CALENTAR EL SISTEMA..	104
3.1.5.25. CÁLCULO DEL CALOR QUE DEBE SUMINISTRAR LOS SERPENTINES.	104
3.1.5.26. POTENCIA DE LA CALDERA.....	104

Pp:

3.2. CÁLCULOS ADICIONALES.	105
3.2.1. EL SISTEMA DE VENTILACIÓN.	105
3.2.2. CONSUMO DE COMBUSTIBLE DIESEL.....	106
3.2.4. CONSUMO DE LEÑA.	106
3.3. RESULTADOS.	107
3.3.1 VARIABLES DEL PROCESO.	110
3.3.2 PÉRDIDAS EN LA CÁMARA.....	110
3.3.3. CONSUMO DE ENERGÍA.....	111
3.4. PROPUESTA.....	112
3.5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	115
3.6. ESTUDIOS DE COSTOS.	116
3.6.1. COSTOS DIRECTOS.....	116
3.6.2. ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA Y PANELES.	117
3.6.3. EQUIPOS Y ACCESORIOS.....	118
3.6.5. RESUMEN DE COSTOS DIRECTOS.	119
3.6.6. COSTOS INDIRECTOS.	119
3.6.7. INSUMOS.	120
3.7. RESUMEN DE COSTOS INDIRECTOS.....	120
3.8. COSTO TOTAL APROXIMADO DEL PROYECTO.	120
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	122
4.1. CONCLUSIONES.....	122
4.2. RECOMENDACIONES.....	124
5. BIBLIOGRAFÍA.	125

INDICE DE FIGURAS

Pp:

1.1.2-1. ESTRUCTURA DE LA MADERA.....	2
1.1.4-1. CORTES DE LA MADERA.....	4
1.1.8-1. CLASIFICACIÓN DE LOS AGENTES QUE AFECTAN A LA MADERA. ..	13
1.1.14.1-1. CALDERA DE LEÑA MODERNA DE LLAMA INVERTIDA.	22
1.1.14.2-2. CALDERA DE ASTILLAS DE MADERA.....	23
1.2.21-1. CURVA DE CINÉTICA DE SECADO.....	27
1.2.2.2-1. CURVA DE LA VELOCIDAD DE SECADO EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD.....	28
1.2.3-1. DIFERENTES TIPOS DE HUMEDADES.....	30
1.2.4.2.2-1. SISTEMA DE CONDENSACIÓN.....	32
1.2.4.2-3-1.. SISTEMA DE CONVECCIÓN.....	34
1.2.4.2.4.1. SECADOR CON ENERGÍA SOLAR.	35
1.2.4.2.5-1. SECADOR AL VACÍO.....	37
1.2.6.-1. PRENSAS UTILIZADAS PARA REDUCIR LOS DEFECTOS EN LOS PROCESOS DE SECADO.....	41
1.2.8-1. ACANALADURA.....	42
. 1.2.8.2 TORCEDURA.....	43
1.2.8-3. ENCORVADURA.....	43
1.2.8-4. ARQUEADURA.....	44

INDICE DE TABLAS

Pp:

1.1.10-1.USOS DE LA MADERA.....	18
1.1.12.1-1.CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DE LAS PLANCHAS DE POLIURETANO.....	19
1.1.12-2.CARACTERÍSTICAS DE CONDUCTANCIA Y RESISTENCIA DEL POLIURETANO.....	19
1.2.9-1.CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA.....	45
1.3.3.2-1PODER CALORÍFICO DE LOS COMBUSTIBLES.....	71
2.1.2-1.TOMA DE MUESTRAS.....	73
2.3.1.5-1.DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD.....	75
2.4.1-1.DATOS PROCESADOS PARA OBTENER LAS DIFERENTES VARIABLES.....	76
2.4.1-2.DATOS PROCESADOS PARA OBTENER LAS DIFERENTES VARIABLES Y LAS GRÁFICAS RESPECTIVAS.....	77
2.4.1-2.HUMEDAD X EN FUNCIÓN DE $1/W$	78
2.5.1-1.VALORES DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE ALGUNOS MATERIALES.....	79
2.5.1-2CONSTANTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEPENDIENDO LA POSICIÓN Y SENTIDO DE FLUJO DE CALOR.....	80
2.5.1-3PESO ESPECÍFICO DE LA MADERA.....	81
3.1.5.12.3-1.HUMEDAD X EN FUNCIÓN DE $1/W$	92
3.3-1.OBTENCIÓN DE LAS VARIABLES CORRESPONDIENTES PARA LAS GRÁFICAS.....	107
3.3.1-1VARIABLES DEL PROCESO.....	110
3.3.2-1PÉRDIDAS EN EL SISTEMA.....	110
3.3.3-1.COSTOS POR LOTE DE SECADO.....	111

3.4-1. DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA.....	112
3.6.2-1.ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA Y PANELES.....	116
3.6.3-1.EQUIPOS Y ACCESORIOS.....	117
3.6.5-1.RESUMEN DE COSTOS DIRECTOS.....	118
3.6.7-1.INSUMOS.....	119
3.7-1.RESUMEN DE COSTOS INDIRECTOS.....	119
3.8-1.COSTO APROXIMADO DEL PROYECTO.....	120

INDICE DE GRAFICOS

Pp:

1.3.2.25-1. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LAS ZONAS O FACES DE SECADO.....	62
1.3.2.25-1. FACES DE SECADO DE LA MADERA.....	63
3.1.12.3-1. CURVA DE HUMEDAD X EN FUNCIÓN DE 1/W.....	92
3.3.-1. CURVAS TÍPICA DE VELOCIDAD DE SECADO PARA CONDICIONES DE SECADO CONSTANTE: (A) GRÁFICA DE LOS DATOS COMO HUMEDAD LIBRE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO, (B) CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO EN FUNCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD LIBRE.....	108
3.3-2. CURVA DE HUMEDAD X EN FUNCIÓN DE 1/W.....	109

INDICE DE ANEXOS

Pp:

ANEXO I VISTA DE LA CAMARA DE SECADO.....	130
ANEXO II VISTA LATERAL DE LA CAMARA DE SECADO	131
ANEXO III ESTRUCTURA METALICA DE LA CAMARA	132
ANEXO IV CIRCUITO HIDRÁULICO DE CALEFACCÓN DE LA CAMARA DE SECADO.....	133
ANEXO V SERPENTÍN O RADIADOR DE CALOR.....	134
ANEXO VI ACCESORIOS DEL CIRCUITO HIDRAULICO.....	135
ANEXO VII SISTEMAS DE LA CÁMARA DE SECADO.....	136
ANEXO VIII SISTEMA COMPLETO DE LA CAMARA DE SECADO.....	137
ANEXO IX FOTOGRAFÍA DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO.....	138
ANEXO X DIAGRAMA PSICOÉTRICO DE LA CIUDAD DE AMBATO.....	139
ANEXO XI PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA Y VAPOR DE AGUA.....	140
ANEXO XII PROBLEMAS IDENTIFICADOS EN LA FABRICA DE MUEBLES HIDALGO.....	141
ANEXO XIII DAÑOS CAUSADOS EN LOS MUEBLES POR LA HUMEDAD.....	146
ANEXO XIV PERDIDAS DE CALOR EN TUBERIAS POR CADA METRO DE LONGUITUD.....	146
ANEXO XV COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA PARA HORMIGONES.....	146

“Yo, William Oswaldo Hidalgo Broncano, soy el responsable de las ideas y propuestas expuestas en el presente trabajo de investigación y el patrimonio intelectual de la Memoria de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

RESUMEN.

El diseño de la cámara de secado de madera, se llevó acabo en la fábrica de muebles “HIDALGO”, en la ciudad de Riobamba en la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Se aplicó el método experimental utilizando pequeños tablones de madera de eucalipto (eucalyptus) provenientes de la fábrica de muebles, realizando 8 tomas de muestras para sus respectivas pruebas en el secador de bandejas del laboratorio, utilizando además el método inductivo en donde se determinó que las cuatro primeras pruebas se secaron en mayor tiempo mientras que las otras cuatro se secaron en menor cantidad de tiempo, por ello se deduce que la temperatura a 85°C es la óptima para la realización del secado del eucalipto, que contenía una humedad inicial de 86,7%, logrando reducirla hasta un 13,6% de humedad final, en un tiempo de 288 horas.

De esta manera se concluye que con este método de secado artificial se evitará la presencia de hongos, larvas, deformaciones físicas, cambio de color, menor peso, mejor acabado, oxidación en accesorios metálicos (clavos, tornillos), llegando así a obtener madera de óptima calidad.

Se recomienda el uso de este método ya que con el mismo que logrará ahorrar tiempo y dinero, además se logrará obtener artículos de excelente calidad.

SUMMARY

The design of the wood drying chamber, was carried out in the furniture factory "HIDALGO", in the city of Riobamba in the Faculty of Science of the Polytechnic School of Chimborazo.

Experimental method was applied using small planks eucalyptus (eucalyptus) scientific name from the furniture factory, performing 8 samples for their respective tests in the ashtrays dryer of the laboratory, the inductive method was used where it was determined that the first fourth test were died in a longer time, while the four were drier faster, the mean temperature of 85 C is optimun for drying the eucalyptus, containing an initial wet of 86.7%, reducing it to 13.6% reduce final moisture, in a time of 288 hours.

Thus, it is concluded with this method of artificial drying, it will avoid the presence of fungi, larvae, physical determinations, color change, less weight, better finish, oxidation metal devices (nails, screws, etc), obtaining high-quality wood.

It is recommended to use this method in order save time and money, besides, it will get of excellent quality.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo, comprender la importancia del secado de la madera así como las ventajas y desventajas que se obtiene en el secado artificial de la misma, el hombre ha utilizado la madera como material de construcción desde hace mucho tiempo, existen construcciones y muebles en madera que han durado centenares de años mostrando esta su alta durabilidad al ser utilizada en forma correcta y con la adopción de medidas de protección adecuadas, las múltiples ventajas ofrecidas por la madera le hacen única entre todos los materiales que se conocen; basta con mencionar su facilidad de trabajo con herramientas sencillas, su alta resistencia a los esfuerzos mecánicos, su propiedad de aislante térmico y acústico, además que es un material que si bien no puede ser fabricado por el hombre, se renueva constantemente en la naturaleza.

En el país con el pasar de los años se ha ido aumentando la demanda de productos producidos a base madera con excelentes acabados, por esta razón todos los procesos que se involucran en esta actividad son de suma importancia a la hora de entregar un mueble con una buena apariencia y de excelente calidad.

Es por ese motivo uno de los objetivos de las industrias madereras, así como las carpinterías y mueblerías es entregar un artículo con la mayor garantía posible y con un excelente acabado para satisfacer las necesidades del cliente, por esa razón se requiere de un secado artificial, ya que por medio de este método se reducirá el tiempo, y deformaciones en la madera, debido a esta necesidad en el mercado se realiza este proyecto de ingeniería para reducir el contenido de humedad desde un porcentaje

inicial hasta uno final, según el requerimiento necesario para el terminado de cada uno de los productos existentes en el mercado.

ANTECEDENTES.

En el campo de la industria maderera ha existido un gran avance tecnológico desde los años 70, con el desarrollo industrial, donde se ha fortalecido el secado artificial por medio de hornos, siendo este método el más práctico y rápido de secado logrando que este proceso se desarrolle en el menos tiempo posible a diferencia del secado tradicional, convencional o más comúnmente conocido como natural.

Las industrias forestales del Ecuador no han sido encuadradas dentro de un marco referencial adecuado que englobe tanto la producción como las interrelaciones entre extracción, fabricación y consumo; por otro lado tampoco ha sido considerada la integración vertical u horizontal, su nivel tecnológico y el empleo que depende de esta rama de la economía.

La visión general del sector forestal de Ecuador es impresionante, tanto por el número de empresas que participan, como por el número de empleos que esas actividades forestales proporcionan, que están alrededor de 90,000 puestos de trabajo.

En la actualidad las industrias madereras tales Pelicano, COLINEAL, MADEFISEL, DC SOLUCIONES, CONSTRUMADERA, REMR S.A. RICATEAK ,MUEBLERIA ACUARIO CÍA. LTDA., MODER MUEBLE, MUEBLES PALITO, CREDI MUEBLE entre otras, han buscado la manera más satisfactoria para mejorar sus productos tanto con técnicas de secado, lacado y acabados en sí que corresponde a esta rama del arte maderero, además que contribuyen con un importante desarrollo socioeconómico del país.

El proceso de secado y la producción de madera seca, con porcentajes de humedad adecuados para usos determinados, se han convertido en una necesidad para la industria y se vuelve una obligación para determinados procesos de re manufactura.

La madera obtenida de árboles recientemente apeados contiene en su estructura un alto porcentaje de humedad. Una gran parte del agua debe ser eliminada antes de transformar la madera en un material útil para la elaboración de productos que puedan cumplir con los estándares de calidad requeridos por el mercado. Toda la problemática relacionada con la estabilidad dimensional (hinchamiento y contracción) de la madera puede ser disminuida mediante la aplicación de tecnologías apropiadas de secado.

En la actualidad en la provincia de Chimborazo específicamente en el cantón de Riobamba no ha existido una técnica adecuada de secado para madera ya que la mayoría de depósitos solo lo hacen de la manera tradicional pero esta de una u otra forma no garantiza del todo que se tenga controles en el contenido de humedad interna de la madera teniendo como consecuencia deformaciones en la misma y un pésimo acabado, es por esa razón que empresas de este cantón como CREDI MUEBLE, MUEBLES HIDALGO, LA PROVID, han buscado de una u otra forma solucionar este mal que se convierte en pérdidas de tiempo y de dinero para dichas empresas.

JUSTIFICACIÓN.

La presente tesis se realiza con la finalidad de dar solución a los distintos problemas que se dan al elaborar muebles con madera húmeda o verde, las mismas que producen una mala elaboración, lo cual, hará que estos productos no obtengan una garantía debido a la existencia de pésimos acabados, mayor peso, presencia de insectos, hongos, ya que pueden sufrir cualquier tipo de alteraciones físicas tales como: fisuras, agrietamientos, torceduras, cambio de color o incluso llegar a un estado de putrefacción por la mala impregnación de los agentes de preservación de la madera, llegando a ser un mal para este tipo de empresarios ya que esto significa una pérdida de confianza de parte del consumidor, generando pérdidas económicas para la empresa, y lo que es peor pérdida de clientela inconforme con sus productos, por esta razón el diseño de un sistema de secado de dará solución a los inconvenientes ya mencionados y se logrará que la fábrica de muebles Hidalgo garantice sus artículos con una excelente calidad.

OBJETIVOS.

GENERAL

- Realizar el diseño de una cámara de secado de madera para la fábrica de muebles Hidalgo.

ESPECÍFICOS

- Efectuar la caracterización de la madera verde.
- Identificar las variables de proceso que influyen en el comportamiento de secado de la madera.
- Aplicar las teorías térmicas necesarias para el desarrollo de los cálculos de la cámara de secado.
- Seleccionar los equipos y componentes necesarios para la Implementación de la cámara de secado.
- Diseñar la cámara de secado de madera.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO.

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.

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.

1.1.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA.

La madera está compuesta por: Carbono 50%, Hidrógeno 6%, Oxígeno 43%, Nitrógeno 1%, Cenizas 0,5%.

1.1.2. COMPONENTES QUÍMICOS.

Los componentes principales son: Celulosa (50 %): Es un hidrato de carbono parecido al almidón. Se pudre con la humedad; Lignina (25 %): Es un derivado del fenil-

propano. Le da dureza y protección; Hemicelulosa (25 %): su misión es unir las fibras. Y otros componentes como: Resinas, Grasas, Sustancias incombustibles.”¹



FIG. 2.1.2-1. ESTRUCTURA DE LA MADERA

1.1.3. “ESTRUCTURA ANATÓMICA DE LA MADERA.

La madera es un material biológico de origen vegetal, cuando forma parte del tronco de los árboles sirve para transportar el agua y las sustancias nutritivas del suelo hacia las hojas, da soporte a las ramas que forman la copa y fila las sustancias de reserva almacenado los productos transformados en las hojas.

Todas estas funciones determinan la naturaleza de la madera, caracterizada por su porosidad y elevada resistencia en relación con su peso, propiedades estas que la hacen totalmente diferente a otros materiales de construcción.

Si se realiza un corte transversal en el tronco de un árbol, se observara que desde el exterior al interior está formado por las siguientes partes: corteza, cambium, albura, duramen y en el centro un corazón blanco llamado médula.

¹ CONCEPTOS DE LA MADERA. <http://html5.scribd.com/doc/54524427/ANATOMIA-DE-LA-MADERA>. 2011-7-15

- La corteza: Es la cubierta protectora del árbol y puede variar de delgada a gruesa pero es siempre impermeable. La parte interior o parte joven de la corteza se conoce con el nombre de floema y es la porción de tejidos encargada del transporte de agua y alimentos elaborados en las hojas. Cuando las células del floema pierden actividad, los tejidos mueren y pasan a formar parte de la corteza exterior.
- El cambium: Es una capa microscópica constituida por células vivas y de paredes muy delgadas, que se interpone entre la corteza y la madera. A través del proceso de división celular, el cambium produce en mayor porción madera hacia la parte interna del árbol y en menor proporción corteza hacia la parte externa, aumentando así el diámetro del tronco.
- La albura: Es un conjunto de células vivas y el DURAMEN un conjunto de células muertas o inactivas, que conforman un tejido complejo denominado XILEMA, del griego “xilos”, que significa madera.
- El duramen: Llamado también corazón, es la zona que rodea a la médula, particularmente es de color más oscuro y está constituido por células muertas lignificadas, también conocido como tejido xilema (xilos en griego significa madera).
- La médula: Es la parte central del fuste, está constituido por células débiles o muertas, a veces de resistencia corchosa, en los primeros años del árbol es la reserva de sustancia alimenticia, cuando éste es talado es tejido muerto. Está constituida por células débiles o muertas, a veces de consistencia corchosa.”²

² MANUAL DEL GUPO ANDINO PARA LA PRESERVACIÓN DE LA MADERA., Cali – Colombia., Carbajal CA, 1988. Pp. 157-158.

1.1.4. "CORTES DE LA MADERA.

Las diferentes definiciones como "corte o aserradura radial", "aserradura tangencial" "slab cut", "flat sawn", se refieren a los diferentes modos de cortar las tablas de un árbol de acuerdo con el uso y la apariencia a la que será destinada la madera.

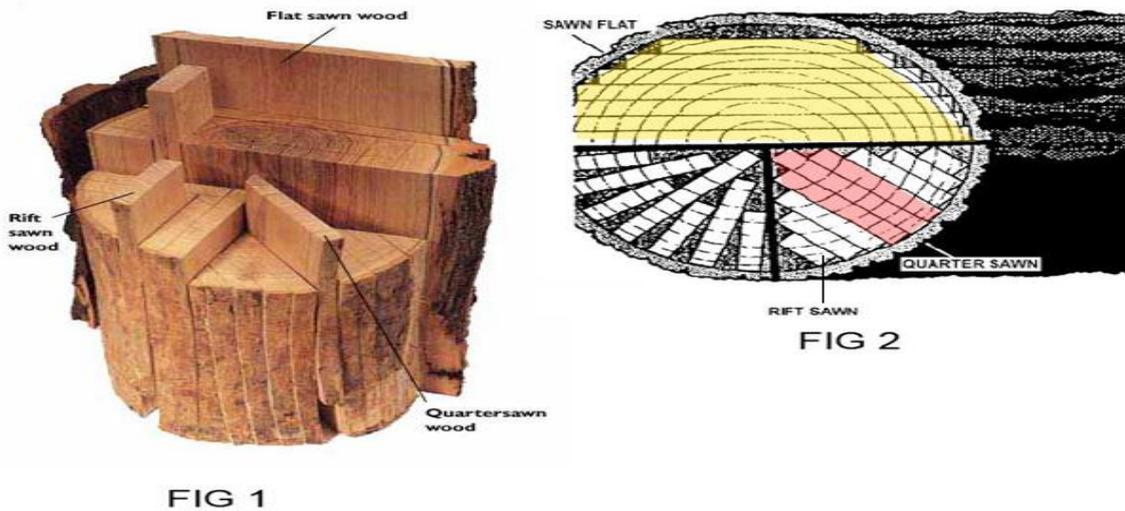


Fig. 1.1.4-1. Cortes de la madera.

En la foto superior podemos ver los tipos de corte más comunes en los árboles. "corte tangencial", rift sawn (el más usado) y aserradura a cuartos "quarter sawn" o corte radial.

En la segunda foto a la derecha, tenemos marcado en amarillo los cortes del tangenciales, uno sobre el otro. Observa cómo hay suficiente madera para un lote de tablas en "slab" incluso de un cierto grosor. Es posible obtener una pieza de cuerpo de las tablas más anchas y cuerpos en 2/3 piezas de las más delgadas. En rosa hemos marcado los cortes a cuartos o radiales. Como puedes ver, el árbol solo permite 3 cortes

a cuartos de los cuales sólo uno de ellos es un verdadero corte a cuartos: el del medio del árbol. Los otros ya empiezan a ser "rift sawn".

Hemos aprendido que de la sección del árbol como el anterior, es posible obtener solo 14 tablas tangenciales y drift, y 4 "verdaderas" tablas a radiales (una por cada cuarto del árbol). Por eso el corte radial es normalmente más escaso y caro.”³

1.1.5. “PROPIEDADES DE LA MADERA.

Según el tipo de madera, edad del árbol, zona climática, las propiedades varían de unos a otros, pero de manera general, las maderas presentan las siguientes características:

- **Baja densidad:** Suelen ser menos densas que el agua (de ahí que floten).

Conductividad térmica y eléctrica baja: La madera es un excelente aislante térmico (casas de madera en países fríos, por ejemplo). Las maderas ricas en agua son mejores conductores que las secas.
- **Resistencia mecánica:** A la tracción, compresión, flexión, cortadura, desgaste. Es muy resistente al esfuerzo de tracción (estirarse) y bastante resistente a la compresión (aunque la mitad de resistente que a la tracción).
- **Hendibilidad:** Es la facilidad con que se abren las fibras de la madera en sentido longitudinal. Hienden peor las maderas duras, las secas, las resinosas y con nudos. La madera hendible es poco apta para el clavado y para realizar encajes. Si el secado es brusco la madera tiende a abrirse.
- **Retractabilidad o contracción:** Pérdida de volumen al perder parte del agua

- **Humedad:** Cantidad de agua que tiene la madera en su estructura. Está relacionada con su peso y afecta a otras propiedades físicas y mecánicas. Elemento que se debe reducir para obtener una madera útil, desde un punto de vista tecnológico.
- **Dureza:** Es la resistencia que ofrece al corte. Aumenta con la densidad.
- **Flexibilidad:** Característica de las maderas jóvenes, verdes y blandas, que admiten ser dobladas sin romperse.
- **Características estéticas:** Color, vetado, olor.

1.1.6. CLASIFICACIÓN.

Las maderas pueden clasificarse de muy diversas formas, según el criterio que se considere. Así, podemos clasificarlas atendiendo a su:

- ✓ Dureza
- ✓ Humedad

Según su dureza (es la más usual):

Maderas blandas: Cuyos árboles tienen hoja perenne, son resinosos. Ej. Pino, ciprés, abeto, cedro. Son maderas ligeras, de crecimiento rápido (se observan bien los anillos), de color claro, nudos pequeños, fáciles de trabajar y de bajo coste.

Se emplean para trabajos en los que no se necesita gran solidez: embalajes, cajas, tablas, mueble funcional sencillo, pasta de papel.

Maderas duras: Cuyos árboles tienen hoja caduca. Ej. Roble, castaño, nogal, olmo, caoba. Madera compacta, poca resina y escasos nudos, amplia gama de colores, de

mayor densidad, de crecimiento lento (anillos anuales muy juntos, casi no se diferencian), más difíciles de trabajar, y en general de mayor calidad y precio.

Se emplean en trabajos de ebanistería, muebles más compactos, instrumentos musicales, interiores de barco, andamios de obra.

Según el grado de humedad:

- Maderas verdes: Alto grado de humedad (30 -35%). Maderas recién cortadas que no deben usarse para trabajos, pues al secarse por la contracción se encogen y agrietan.
- Maderas desecadas: Se reduce el grado de humedad hasta el 10 – 12% por procesos naturales, apilándolas de manera adecuada y permitiendo que el aire circule entre las tablas para ir reduciendo el exceso de agua
- Maderas secas: Se reduce la humedad hasta el 3% empleando procesos artificiales. Las maderas se secan de forma más rápida por métodos artificiales, en grandes hornos, consiguiendo la dureza y resistencia deseadas.

1.1.7. OBTENCIÓN DE LA MADERA.

El proceso de obtención de la madera se compone de las siguientes etapas:

- Tala: Es la primera operación para la obtención de la madera, y la calidad de ésta dependerá del aspecto y constitución del árbol y de la época de la tala, consiste en el corte del árbol por su base.
- Transporte: Para sacar la madera del bosque a la vía accesible más cercana se utiliza maquinaria especializada capaz de alcanzar cualquier zona del monte.

- Descortezado: Es decir se le quita la corteza que envuelve el tronco.
- Tronzado: Consiste en cortar los troncos en piezas más pequeñas.
- Troceado y despiece (aserrado): Conjunto de operaciones que se realizan para dividir el tronco en planos paralelos a un eje. El objetivo es conseguir piezas de unas dimensiones determinadas para su uso en taller.
- Cepillado: Tiene como objetivo principal eliminar cualquier irregularidad y mejorar el aspecto final.”³

1.1.8. “AGENTES QUE AFECTAN A LA MADERA.

La madera está expuesta al ataque de agentes naturales y biológicos en todo su proceso de crecimiento, desarrollo, industrialización y sitio de uso que tenga; estas acciones pueden acortar la durabilidad natural de la madera.

1.1.8.1. LA HUMEDAD.

Aunque muchos usuarios de la madera hablan de la pudrición seca, el término es engañoso puesto que la madera debe contener agua para que ocurran los ataques biológicos. El contenido de agua en la madera es un factor determinante e importante de los tipos de organismos presentes que degradan la madera.

³PROPIEDADES DE LA MADERA.<http://htmliesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/.../materiales.Madera> 2011- 7- 21.

Generalmente, la madera bajo el punto de saturación de la fibra no se daña, aunque algunos hongos e insectos especializados pueden atacar la madera en los niveles de humedad mucho más bajos.

La humedad en la madera responde a varios propósitos en el proceso de la pudrición. Hongos e insectos requieren de muchos procesos metabólicos. Los hongos, también proporcionan un medio de difusión para que las enzimas degraden la estructura de la madera. Cuando el agua entra en la madera, la microestructura se hincha hasta alcanzar el punto de saturación de la fibra (sobre un 30% del contenido de humedad en la madera). En este punto, el agua libre en las cavidades de las células de la madera, el hongo puede comenzar a degradarla. La hinchazón asociada con el agua se cree que hace a la celulosa más accesible a las enzimas de los hongos, aumentando la velocidad de pudrición de la madera.

1.1.8.2. EL OXÍGENO.

Con la excepción de las bacterias anaeróbicas, todos los organismos requieren del oxígeno para su respiración. Mientras se priven de oxígeno puede parecerse una estrategia lógica para el control de la decadencia de la madera, puesto que la mayoría de los hongos pueden sobrevivir en niveles muy bajos de oxígeno. Una excepción está en sumergir totalmente la madera en agua. En ambientes marinos, se puede envolver en plástico o en concreto de modo que los perforadores marinos no puedan intercambiar los nutrientes ni él con el agua de mar circundante. En muchos casos, la madera no tratada decaerá en agua dulce, pero permanece la implicación submarina donde está ausente el oxígeno.

1.1.8.3. LA TEMPERATURA.

La mayoría de los organismos prospera en un rango óptimo de temperatura de 21 °C a 30 °C; sin embargo, son capaces de sobrevivir sobre una considerable gama de temperatura. En temperaturas bajo 0 °C, el metabolismo de la mayoría de los organismos se retarda. Mientras que la temperatura suba por encima de cero grados, ellos comienzan nuevamente a atacar la madera, pero la actividad se retarda rápidamente mientras que la temperatura se acerca a 32 °C.

En temperaturas sobre 32 °C, el crecimiento de la mayoría de los organismos declina, aunque un cierto de especies continúe extremadamente tolerante a prosperar hasta 40 °C. La mayoría de los organismos mueren a la exposición prolongada sobre este nivel, y generalmente se acepta que en 75 minutos de exposición a la temperatura de 65,6 °C todos los hongos que están establecidos en la madera decaen.

1.1.8.4. LAS BACTERIAS.

Las bacterias son pequeños organismos unicelulares que están entre los más comunes de la tierra. Se ha demostrado recientemente que son importantes en la infección de la madera no tratada expuesta en ambientes muy húmedos, causando aumento de la permeabilidad y ablandamiento en la superficie de la madera. La desintegración bacteriana es normalmente un proceso extremadamente lento, pero puede llegar a ser serio en situaciones donde la madera no tratada está sumergida por largos períodos. Muchas bacterias son también capaces de degradar los preservantes pudiendo modificar la madera tratada de una manera tal que ésta llegue a ser más susceptible químicamente

a organismos que menos toleran. Aunque la pérdida significativa de la resistencia puede desarrollarse en los restos de la madera no tratada saturada por períodos muy largos, el decaimiento bacteriano no parece ser un peligro significativo en la madera tratada a presión usada típicamente para la construcción.

1.1.8.5. EL MOHO Y EL HONGO DE LA MANCHA.

El moho y el hongo de la mancha azul (blue stain) colonizan muy rápido la madera una vez que ésta se corta y continua su crecimiento mientras el contenido de humedad sigue siendo óptimo (sobre aproximadamente 25 por ciento para las maderas blandas. El efecto primario de estos hongos es manchar o descolorar la madera. El moho infecta la superficie de madera, causando los defectos que se pueden quitar generalmente con cepillo o cepillando, solamente las preocupaciones serias es del hongo de la mancha azul porque éstos penetran profundamente y descoloran la madera.

1.1.8.6. LOS DAÑOS MECÁNICOS.

Los daños mecánicos son probablemente el agente físico más significativo del deterioro del puente de madera. Es causado por un número de factores y, considerablemente varios en sus efectos sobre la estructura. Los daños mecánicos más comunes es la abrasión del vehículo, que produce superficies gastadas o estropeadas y reduce la sección de la madera. Los ejemplos obvios de este daño ocurren en el área de la cubierta del puente donde la abrasión produce la degradación de la superficie.

1.1.8.7. LA DEGRADACIÓN POR LUZ ULTRAVIOLETA.

Es el deterioro más visible en la madera, resulta de la acción ultravioleta del sol que químicamente degrada la lignina cerca de la superficie de la madera. La degradación ultravioleta típicamente hace a las maderas ligeras oscurecer y acelerar a las maderas oscuras, pero estos daños penetran solamente a una distancia corta debajo de la superficie.

1.1.8.8. LA DEGRADACIÓN QUÍMICA.

En casos aislados, la presencia de fuertes ácidos o bases pueden causar daño substancial a la madera. Las bases fuertes atacan la Hemicelulosa y la lignina, saliendo de la madera un color blanco descolorado. Los fuertes ácidos atacan la celulosa y la Hemicelulosa, causando pérdidas de peso y de resistencia. La madera dañada por el ácido es de color oscuro y su aspecto es similar a la de la madera dañada por el fuego. Los fuertes productos químicos no entrarán en contacto normalmente con un puente de madera a menos que ocurran derrames accidentales.⁴

⁴ AGENTES DE DETERIORO DE LA MADERA. [http://www.es.wikipedia.org/wiki/corte de la madera](http://www.es.wikipedia.org/wiki/corte_de_la_madera) 2012 -7 -19.

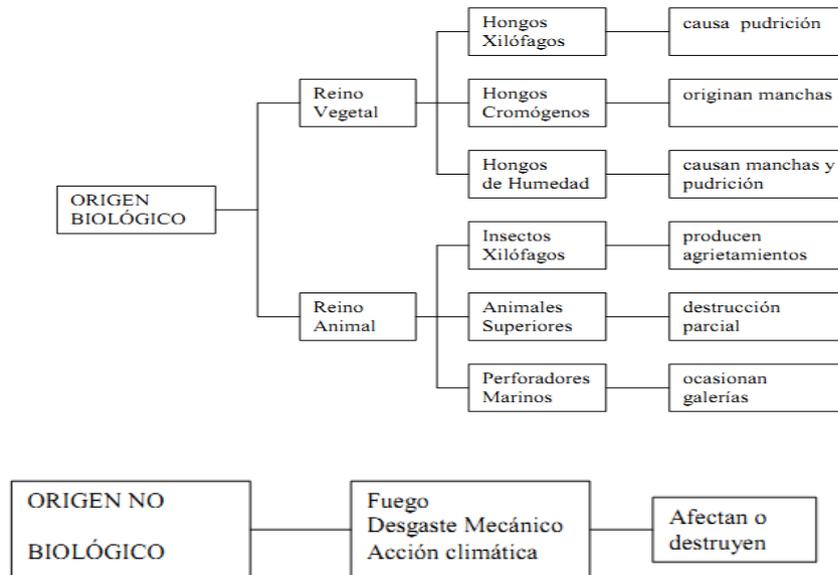


Fig. 1.1.8-1. Clasificación de los agentes que afectan a la madera.

1.1.8.9. “FACTORES CLIMÁTICOS.

La madera sufre deterioro cuando se encuentra expuesta a la intemperie, provocada por la acción combinada de agentes climáticos afectando a su comportamiento y estética. Así los cambios y/o fluctuaciones constantes de temperatura y humedad causan contracción especialmente cuando las piezas provienen de cortes en sentido oblicuo (según orientación en el fuste), también puede perder resistencia cuando aumenta el contenido de humedad. La presión que ejerce, el viento arrastra partículas de polvo y arena que golpean la madera contribuyendo a su desgaste. Los efectos químicos y abrasivos como la corrosión, son provocados por elementos acarreados por vientos que

son depositados en la superficie de la madera, ante el oxígeno del aire y la presencia de los rayos solares, afectan considerablemente la integridad de este material.”⁵

1.1.9. “HUMEDAD EN LA MADERA, TIPOS DE AGUA Y SU MOVIMIENTO EN LA MADERA.

En un árbol recién cortado, su madera contiene una importante cantidad de agua, variando el contenido según la época del año, la región de procedencia y la especie forestal de que se trate. Las maderas livianas por ser más porosas, contienen una mayor cantidad de agua que las pesadas. De igual manera, la albura, por estar conformada por células cuya función principal es la conducción de agua, presenta un mayor contenido de humedad que el duramen. Esto indica que el porcentaje de agua contenido en los espacios huecos y en las paredes celulares de la madera es muy variable en el árbol vivo.

El contenido de agua o contenido de humedad puede definirse como la masa de agua contenida en una pieza de madera expresada como porcentaje de la masa de la pieza en estado anhidro. El contenido de humedad de la madera se calcula con la expresión siguiente:

$$CH = \frac{\textit{masa agua}}{\textit{masa anhidra}}$$

⁵PROTECCIÓN DE LA MADERA. http://www.es.wikipedia.org/wiki/_ 2011-7-21

Ecu: 1.1.26.6-1. Humedad en la madera.

Dónde: masa de agua = masa inicial madera - masa madera anhidra es decir,

$$CH = \frac{P_G - P_O}{P_O} \times 100\%$$

Ecu: 1.1.26.6-2. Porcentaje de humedad.

CH= contenido de humedad que tiene como unidad porcentaje.

PG = masa inicial de la madera que tiene como unidad gramos.

P0 = masa de la madera en estado anhidro que tiene como unidad gramos.

De acuerdo a la relación 2, es decir al contenido de humedad expresado en base seca, valores de contenido de humedad por sobre un 100, lo cual significa que la masa de agua que la madera contiene es superior a la masa de la pieza en estado anhidro.

1.1.9.1. AGUA LIBRE.

Es el agua que se encuentra ocupando las cavidades celulares o lumen de los elementos vasculares, resultando una condición de “verde” para la madera. La cantidad de agua libre que contiene una madera está limitada por su volumen poroso.

Al iniciar el secado, el agua libre va saliendo fácilmente por la evaporación, ya que es mantenida en la madera a través de fuerzas capilares muy débiles, hasta el momento en que no se contiene más agua de este tipo. En este punto la madera estará en lo que se

denomina “punto de saturación de las fibras” (PSF), correspondiendo entre un 30% y un 28% de contenido de humedad.

1.1.9.2. AGUA HIGROSCÓPICA.

Es el agua que se encuentra en las paredes celulares llamada también agua retenida, el agua retenida se mueve por difusión a través de las paredes celulares en consecuencia de las fuerzas originadas por la gradiente de humedad, cuando este tipo de agua es removida de las paredes la madera comienza a sufrir cambios dimensionales.

1.1.9.3. AGUA DE CONSTITUCIÓN.

Es el agua que forma parte de la materia celular de la madera y que no puede ser eliminada utilizando las técnicas normales de secado. Su separación implicaría la destrucción parcial de la madera.

1.1.9.4. MOVIMIENTO CAPILAR EN LA MADERA.

Este movimiento se produce sobre el PSF debido a las fuerzas capilares cuando la humedad se mueve desde el interior hasta la superficie.

El movimiento capilar es favorecido por el aumento de la temperatura, por la existencia de burbujas de aire en el interior de las células.

1.1.9.5. MOVIMIENTO DE DIFUSIÓN EN LA MADERA.

El proceso de difusión es la transferencia de moléculas de agua de una zona de alta presión de vapor a otra de menor presión de vapor generando un movimiento espontáneo que ocurre a través de las gradientes de presión.

1.1.10. CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA MADERA PARA DIFERENTES USOS.

Todo pedazo de madera exuda o absorbe la humedad del aire hasta que la cantidad de humedad en la madera se equilibra con la humedad del aire. Si la madera se pudiera conservar en condiciones constantes, llegarían a ser iguales sus valores a los que se muestran en la Tabla 1.1.10-1. Sin embargo, la madera en servicio está expuesta a cambios diarios y de temporada, tanto en la temperatura como en la humedad relativa.”⁶

⁶ APPEL. J., Manual secado de madera. 2da. Ed. D.F. - México., 1986. Pp. 1-68.

**Tabla 1.1.10-1.
Usos de la Madera.**

USOS DE LA MADERA	% DE HUMEDAD REQUERIDA.
• Muebles y parquet en países fríos con calefacción alta.	8 – 10
• Muebles situados con calefacción normal.	10 – 12
• Muebles situados en ambientes que se calientan pocas veces.	13 – 14
• Puertas y ventanas al exterior.	14 – 15
• Equipos agrícolas, tonelerías, embalajes, cajas.	16 – 17
• Madera en la que se quiere quitar la pudrición.	18 - 20
• Construcciones expuestas a corrientes de aire fresco y húmedo.	21 – 24
• Maderas preparadas para tratamientos antisépticos.	24 – 28

FUENTE: USOS DE LA MADERA, http://www.uso de lamadera.com/Archives_Davinci?article.

1.1.11. “AISLANTE TERMICO DE POLIURETANO.

El Poliuretano incluye los productos de PUR y PIR y es uno de los materiales aislantes más eficaces de los comúnmente disponibles en la actualidad. Es ligero, fácil de manipular y de instalar, y su baja conductividad térmica permite alcanzar el mismo nivel de eficiencia energética de otros materiales aislantes con un espesor mucho menor. También es muy versátil y puede utilizarse en casi cualquier aplicación.

Ayuda a mantener nuestros edificios confortables y los alimentos refrigerados, por lo general está oculto, pero se puede encontrar por todas partes, desde estadios deportivos

hasta hospitales, almacenes frigoríficos o viviendas, y es una de las armas más importantes que tenemos para luchar contra el cambio climático.”⁷

TABLA 1.1.12.1-1.
CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DE LAS PLANCHAS DE POLIURETANO.

CARACTERÍSTICAS.	VENTAJAS.
Baja conductividad térmica.	<ul style="list-style-type: none"> Ahorran espacios y recursos por ejemplo, en edificios de estructura de madera ya que no se necesita aumentar las vigas y pilares.
Estabilidad dimensional.	<ul style="list-style-type: none"> Sin riesgo de hundimiento ni descuelgue.
Tránsitabilidad.	<ul style="list-style-type: none"> Resisten el tránsito peatonal en cubiertas planas.
Estructuras de celdas cerradas.	<ul style="list-style-type: none"> No se ven afectadas por el movimiento del aire o la humedad. Durabilidad, la mayoría de las instalaciones mantienen las prestaciones térmicas durante más de 50 años. Eliminan el riesgo de penetración de agua.
Sin riesgo y sin fibras.	<ul style="list-style-type: none"> No necesitan equipos de protección individual. No son irritantes.

FUENTE: VENTAJAS DEL POLIURETANO. [Http//www.wikipedia.org/wiki/aislante térmico, poliuretano.](http://www.wikipedia.org/wiki/aislante_térmico_poliuretano)

TABLA 1.1.12-2.
CARACTERÍSTICAS DE CONDUCTANCIA Y RESISTENCIA DEL POLIURETANO.

ESPESOR mm	C (Kcal./hm ² °C)	R 1/C
35	0,54	1,85185185
50	0,39	2,56410256
65	0,3	3,33333333

FUENTE: CONDUCTIVIDAD DEL POLIURETANO. [http://www.wikipedia.org/wiki/aislante térmico, poliuretano.](http://www.wikipedia.org/wiki/aislante_térmico_poliuretano)

⁷ AISLANTE TÉRMICO. <http://wikipedia.org/wiki/> 2012-4-2

1.1.12. “LA MADERA COMO COMBUSTIBLE.

Somos muchos los que estamos de acuerdo en que la madera es uno de los mejores combustibles; no en vano es el más natural, el que los seres humanos hemos utilizado tradicionalmente. En los últimos años ha sido desbancada por los combustibles fósiles: petróleo, gasoil, gas natural, butano, propano. Sin embargo, hemos de ser conscientes de que éstos son fuentes de energía no renovable, con lo cual más tarde o más temprano (dependiendo de los diferentes estudios) se agotarán.

La madera es así mismo un combustible ecológico: por ejemplo, cuando se quema libera CO₂ a la atmósfera, pero es el mismo CO₂ que absorbió de ella durante su crecimiento. Además, a la par que se talan los árboles viejos pueden plantarse árboles nuevos, con lo cual vemos que la madera es un combustible sostenible. En la vuelta al uso de la madera son pioneros los países escandinavos, que muestran un especial cuidado de sus bosques.

La biomasa vegetal es la materia constituida por las plantas. La energía que contiene es energía solar almacenada durante el crecimiento por la fotosíntesis, por esta razón la biomasa constituye un recurso energético renovable y respetuoso con el medio ambiente.

1.1.13. LA BIOMASA COMO COMBUSTIBLE RENOVABLE PARA LA CALEFACCIÓN

Quedando gas o gasóleo para la calefacción, se transfiere y se acumula en la atmósfera carbono extraído del subsuelo profundo, alimentando así el efecto invernadero por lo

contrario la combustión de la biomasa no contribuye de ninguna manera al efecto invernadero.

No obstante, las tecnologías para la utilización de combustible vegetales en sistemas de calefacción domestica e industrial han experimentado un gran desarrollo en los últimos años alcanzando niveles de eficiencia”⁸

1.1.14. “CALDERAS GENERADORES DE VAPOR CON ALIMENTACION DE BIOMASA.

Las calderas pueden dividirse en:

- Según el combustible: para combustible sólido y combustibles fluidos.
- Según el modo de combustión: para combustibles fluidos con quemador a soplete.
- Funcionamiento de calderas con combustibles fluidos.

El combustible se prepara y quema en un quemador, en el que se mezcla el combustible con la cantidad precisa de aire y se impulsa dentro del hogar mediante un ventilador, cuando el combustible es líquido es necesario pulverizarlo para conseguir la mezcla, además hay calderas específicas para gases combustibles que tienen quemador atmosférico.

- Caldera de combustible sólido.

⁸ **BIOCOMBUSTIBLES A PARTIR DE LA MADERA.** http://www.ecplogiaverde.com_2012-4-2

En las de combustibles sólidos, el hogar consta de dos compartimientos superpuestos, en el brasero superior se coloca el combustible sobre una parrilla. En el inferior, cenicero recibe las cenizas del combustible.

- Principio de funcionamiento de caldera de llama invertida.

Tienen esta denominación por la posición de la cámara de combustión, situada debajo del hueco en el que se carga la leña.

Son calderas equipadas con un rotor para la circulación forzada del aire comburente. El rotor se encuentra en el lado anterior de la caldera y empuja el aire en el interior haciendo fluir a través del combustible hasta la salida de humos. En otros calderos se encuentra en el lado posterior en el lugar de salida de los humos, y aspira los gases de combustión creando una depresión de la caldera que permite la atracción del aire comburente desde el exterior.



Fig. 1.1.14.1-1. Caldera de leña moderna de llama invertida.

- Principios de funcionamiento de caldera de astillas.

Debido a que la carga del combustible en la caldera se realiza de forma automática, es necesario que el lado del cuarto de la caldera haya un local (silo) para el almacenamiento del combustible. Para facilitar las operaciones de descarga de las astillas en el lugar del almacenamiento es conveniente que el silo de alimentación, de las astillas se saca automáticamente, y se envían, a través de un alimentador dosificador, a la caldera, donde se realizan su combustión completa de aire, primaria y secundaria.

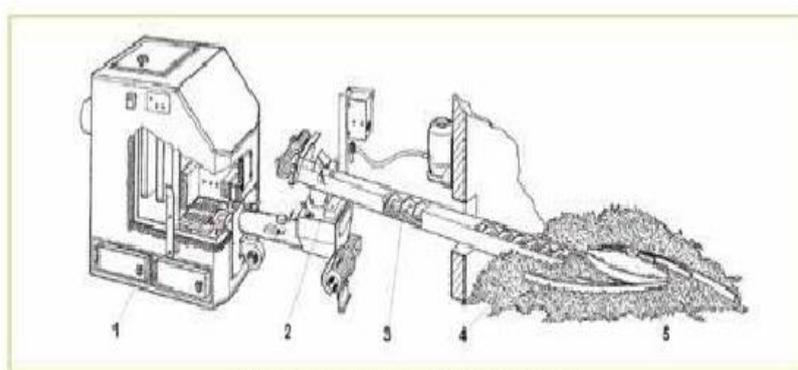


Figura 3. Esquema de una central térmica de chipeado

Fig. 1.1.14.2-2. Caldera de astillas de madera.

La combustión se realizara en calderas con rejilla, esta puede ser: fija, para quemar materiales finos y con un bajo contenido de humedad.

- Principio de funcionamiento calderas pellets.

Las calderas de pellets, como las de astillas, requieren un contenedor para el almacenaje del combustible situado cerca de la caldera. Desde el mismo un alimentador de tornillo sin fin lo lleva a la caldera, donde se realiza la combustión. Los quemadores de pellets

para su uso en la caldera de gasóleo se ponen en la parte anterior de la caldera, se alimentan desde arriba y queman el pellet.”⁹

1.2. SECADO.

El exceso de humedad contenida por los materiales puede eliminarse por métodos mecánicos (sedimentación, filtración, centrifugación). Sin embargo, la eliminación más completa de la humedad se obtiene por evaporación y eliminación de los vapores formados, es decir, mediante el secado térmico, ya sea empleando una corriente gaseosa o sin la ayuda del gas para extraer el vapor (Knoule, 1968).

Debido a la gran variedad de materiales que se secan en equipos comerciales y a los muchos tipos de equipos que se utilizan, no existe una sola teoría de secado que comprenda todos los materiales y tipos de secadores. Las variaciones posibles en forma y tamaño de los materiales, de los equilibrios de humedad, de los mecanismos del flujo.

Modelos de temperatura en secadores: a) secador discontinuo; b) secador adiabático continuo en contracorriente. De humedad a través del sólido, así como en el método de transferencia de calor que se requiere para la vaporización, impiden que exista un tratamiento unificado. Los fundamentos generales que se utilizan en forma semi cuantitativa se consideran confiables. Los usuarios rara vez diseñan los secadores, más bien se adquieren a compañías especializadas en la ingeniería y fabricación de este tipo de equipos.

⁹CALDERAS BIOCOMBUSTIBLE. <http://www.ecologiaverde.com/> 2012-4-22

1.2.1. “FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE SECADO.

1.2.1.1. TEMPERATURA DEL AIRE.

En la práctica del secado, la elección de la temperatura se lleva a cabo tomando en consideración la especie que se vaya a someter al proceso. Existen diversos niveles de temperatura que se mantienen durante el proceso técnico de secado. Durante el proceso de secado, se origina un gradiente de temperatura con respecto al espesor del material, mismo que tiende a disminuir conforme se reduce el contenido de humedad.

1.2.1.2. HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE.

La humedad del aire se define como la razón de la presión de vapor de agua presente en ese momento, con respecto a la presión de saturación de vapor de agua a la misma temperatura. Generalmente, se expresa en porcentaje (%), a medida que se incrementa la temperatura del aire aumenta su capacidad de absorción de humedad y viceversa.

1.2.1.3. VELOCIDAD DEL AIRE.

La velocidad del aire dentro del secador tiene como funciones principales, en primer lugar transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el material facilitando su evaporación, y en segundo lugar, transportar la humedad saliente del material. La capa límite que existe entre el material a secar y el aire juega un papel importante en el secado. La forma de la corriente del aire es importante para la velocidad, una corriente turbulenta es mucho más eficaz que una laminar, pues la primera afecta en mayor forma la capa límite y el aire. Durante las primeras etapas del

secado, la velocidad del aire desempeña un papel muy importante, sobre todo cuando el material contiene un alto contenido de humedad.

A mayor velocidad, mayor será la tasa de evaporación disminuye y el tiempo de secado aumenta. Por tal razón, para asegurar un secado rápido y uniforme es indispensable una circulación del aire a regular.

1.2.2. 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:

$$w = \frac{s}{A} = \left(- \frac{dx}{d\theta} \right) \quad \text{Ecu: 1.2.2-1. Cinética de secado.}$$

Siendo:

S = peso de sólido seco

A = área de superficie expuesta

W = velocidad de secado.

1.2.2.1. CURVAS DE CINÉTICA DE SECADO.

A partir de las curvas de cinética de secado (x vs t , dx/dt vs x), que deben ser obtenidas a nivel de laboratorio, puede tenerse una idea del tiempo de secado, del consumo de energía, del mecanismo de migración de humedad, de las condiciones predominantes en la transferencia de calor y masa y de la influencia que tienen en la velocidad de secado las variables del proceso tales como: temperatura, humedad de entrada, velocidad del aire, etc. Con los datos obtenidos durante la prueba de secado o sea de la variación de la humedad con el tiempo, puede hacerse un gráfico de contenido de humedad en función del tiempo (Treybal, 1965).

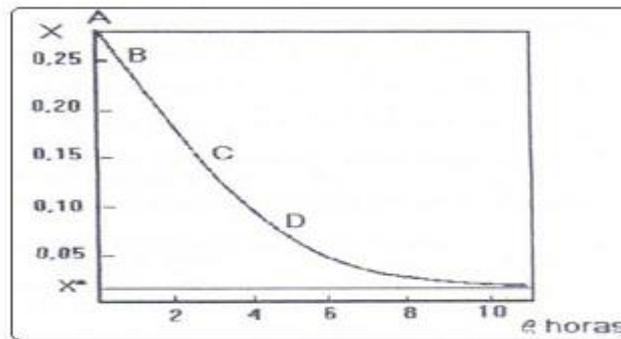


Fig. 1.2.21-1. Curva de cinética de secado.

Fase C; periodo de velocidad constante, Durante el mismo la superficie del solido se mantiene saturada de agua líquida debido a que el movimiento del agua desde el interior del solido hasta la superficie ocurre a la misma velocidad que la de la evaporación en la superficie.

Fase D; periodo de velocidad decreciente, la superficie del solido comienza a desecarse porque el agua aún se halla en su interior encuentra dificultades para llegar a la superficie del sólido. La temperatura del solido comienza hasta aproximarse a la temperatura aire de secado cuando el producto se ha desecado totalmente. Esto es lo que

determina que la temperatura del aire deba moderarse para evitar que la temperatura del producto supere la temperatura crítica.

1.2.2.2 CURVAS DE RÉGIMEN DE SECADO.

Se puede obtener abundante información si se convierten los datos a regímenes de secado, y se lleva a un gráfico en función del contenido de humedad. Generalmente se pueden apreciar dos partes notorias de la curva de régimen de secado: un período de régimen constante y uno de caída de régimen, aunque teóricamente existen o se pueden apreciar tres etapas del proceso o períodos de secado.

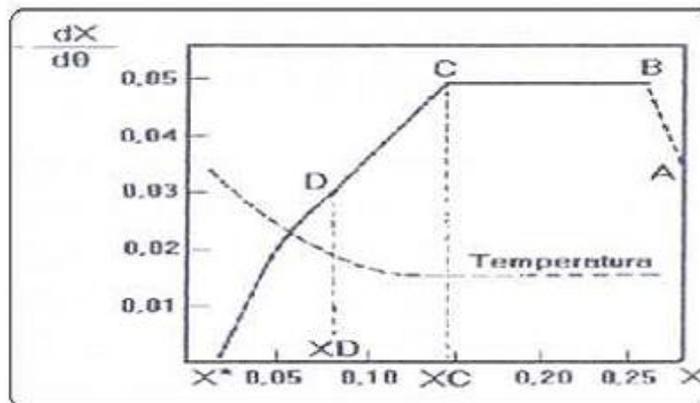


Fig. 1.2.2.2-1. Curva de la velocidad de secado en función de la humedad.

Etapa A-B: Es una etapa de calentamiento inicial del sólido normalmente de poca duración en la cual la evaporación no es significativa por su intensidad ni por su cantidad. En esta etapa el sólido se calienta desde la temperatura ambiente hasta que se alcance el equilibrio entre el enfriamiento por evaporación y la absorción de calor de los gases. Este equilibrio se alcanza a la temperatura de bulbo húmedo del gas.

Etapa B-C: Es el llamado primer período de secado o período de velocidad de secado constante; donde se evapora la humedad libre o no ligada del material y predominan las condiciones externas. La velocidad de secado se mantiene constante si el gas tiene un estado estacionario y en general depende solo de las propiedades y velocidad del mismo. Durante este período la temperatura del sólido se mantiene igual a la de bulbo húmedo del gas, ya que se mantiene el equilibrio alcanzado al final de la etapa de calentamiento.

Etapa C-E: Es el segundo período de secado o período de velocidad de secado decreciente; donde se evapora la humedad ligada del material y predominan las condiciones internas o las características internas y externas simultáneamente. Durante el período, la temperatura del material sobrepasa la de bulbo húmedo debido a que el descenso de la velocidad de secado rompe el equilibrio térmico que mantiene estable la temperatura y una parte considerable del calor se emplea en un calentamiento del sólido.

1.2.3. CLASIFICACIÓN DE LA OPERACIÓN DE SECADO.

De modo general se pueden clasificar las operaciones de secado en continuas y discontinuas. En las operaciones continuas pasan continuamente a través del equipo tanto la sustancia a secar como el gas.

La operación discontinua en la práctica se refiere generalmente a un proceso semicontinuo, en el que se expone una cierta cantidad de sustancia a secar a una corriente de gas que fluye continuamente en la que se evapora la humedad.

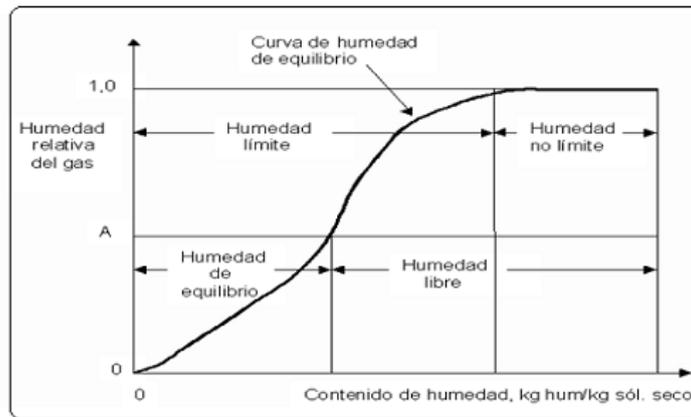


Fig. 1.2.3-1. Diferentes tipos de Humedades.

Los equipos utilizados para secar se pueden clasificar también de acuerdo a cualquiera de estas categorías:

Métodos de operación: Continuos o Discontinuos. Métodos de propiciar el calor necesario para la evaporación de la humedad: En secaderos directos e indirectos.

Naturaleza de la sustancia a secar: Puede ser la sustancia un sólido rígido como la madera, un material flexible como el papel o la tela, un sólido granular tal como la masa de cristales, una pasta espesa o delgada o una solución.”¹⁰

1.2.4. “TRATAMIENTO DE LA MADERA.

La madera es un material utilizado en múltiples aplicaciones en la industria del mueble, decoración, construcción, etc. La madera requiere un recubrimiento que sea a la vez protector y decorativo. Protector, por cuanto que es un material con tendencia a

¹⁰ GEANKOPLIS J., Proceso de Transporte y Operaciones Unitarias, 1ª. ed. México: Continental, 1982. Pp 471- 483

dilataciones y contracciones, absorbe agua y suciedad, se pudre con facilidad por el ataque de microorganismos y manipulación y uso le afectan rápidamente. Decorativo para aumentar la belleza de la madera, aprovechando las posibilidades del color natural, veteado brillo, etc., y acentuándolos para cada tipo, ya que por sí el producto puede parecer pálido y carente de vida.

1.2.4.1. SECADO DE LA MADERA.

Este es el proceso más importante para que la madera sea de calidad y esté en buen estado aunque si fallan los anteriores también fallara este.

1.2.4.2. SECADO NATURAL.

Se colocan los maderos en pilas separadas del suelo y con huecos para que corra el aire entre ellos y protegidos del agua y el sol para que así se vayan secando. Lo que le pasa a este sistema es que tarda mucho tiempo y eso no es rentable al del aserradero que quiere que eso vaya deprisa.

1.2.4.2.1 SECADO ARTIFICIAL.

Las formas más empleadas de secado artificial son: condensación, convección, solar, radio frecuencia, y al vacío. Cada sistema tiene sus ventajas y desventajas, y se debe individualmente para cada empresa al sistema más aconsejable.

1.2.4.2.2. SECADO EN HORNO.

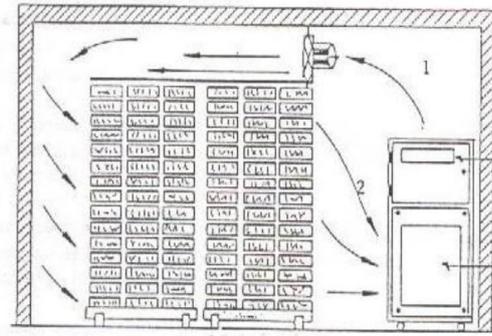


Fig. 1.2.4.2.2-1. Sistema de condensación.

La diferencia principal entre el secado en horno y secado al aire libre estriba en que el calor se proporciona, en un horno, para acelerar el secado para hacer posible el secado de la madera utilizando valores bajos de humedad. El calor eleva la (temperatura a un grado mayor del que prevalece en el exterior. Si esta diferencia en temperatura es grande, hay entonces una humedad relativa extremadamente baja, a menos que se supla al aire que hay dentro del horno una humedad adicional. El secado al horno también se diferencia del pre secado, en que el secado al horno es un procedimiento controlado en que se proporciona humedad al aire que tiene el horno, para mantener humedades específicas relativas, siguiendo una norma determinada y definida de antemano, Así mismo, se usan temperaturas relativamente altas y a veces grados de humedad relativa altos al final del proceso de secado, para darlo por terminado. Un horno secador requiere una estructura más costosa para que resista la acción de las temperaturas altas, las humedades relativas altas, los ácidos volátiles, y otros materiales derivados de la madera, así como para reducir la pérdida de calor.

El secado en horno es el mejor método de secado cuando el uso que va a dar el maderero a su madera exige un contenido más bajo de humedad que el que usualmente se puede lograr con el secado al aire libre. El bajo contenido de humedad es a veces necesario cuando la madera se va a usar en la construcción de casas y de otros edificios que tienen que calentarse una parte del año. Si los edificios no se van a calentar se puede usar madera aserrada muy bien seca al aire. Se puede usar también en la fabricación de muebles y otros artículos.

1.2.4.2.3. SISTEMA DE CONVECCIÓN.

La forma más aconsejable hoy en día para la mayoría de las empresas es la del secado artificial según el sistema de convección. En este caso se intercambia el aire saturado de agua con aire fresco. Para eso, todos los secadores de este tipo tienen orificios con tapas, para la salida del aire húmedo o la entrada de aire seco.

Estos secadores trabajan con temperaturas más elevadas normalmente de 60 a 90 °C. Generalmente tienen instalado intercambiadores de calor alimentados por: agua caliente, aceite térmico, vapor, gases de combustión. Para la generación de energía calorífica, todavía en muchos secadores se utiliza quemadores a diesel, siendo más económica la utilización de los desperdicios propios de madera, en caso de contar con ellos.

El secadero por convección consta de las siguientes partes o elementos:

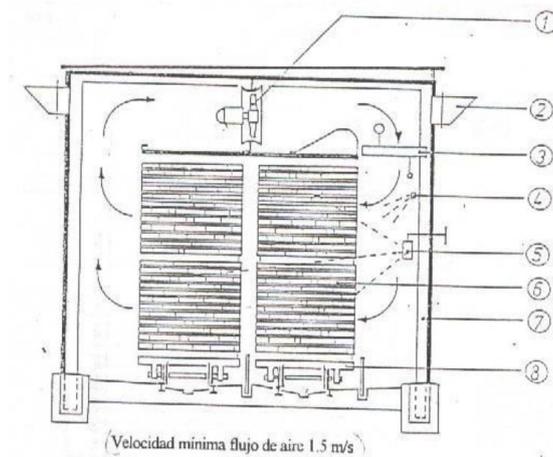


Fig. 1.2.4.2-3-1.. Sistema de convección.

- Ventilador.
- Ventilables regulables para intercambio de aire.
- Intercambiador de calor.
- Sistema de humectación.
- Sistema de mando y control.
- Madera a secarse.
- Cámara de secado.
- Coches de alimentación.

Trabajan con temperatura media-alta y son las más usadas en el mundo, pues existe una gran variedad dentro del grupo, dependiendo de su configuración, aunque todas funcionan bajo un mismo principio.

Cuentan con una caldera de madera o carbón, que calienta el agua de 90 °C a 150 °C, para luego hacer pasar el líquido por unos intercambiadores de calor o radiadores (serpentines) instalados en el interior del horno, en donde también se instalan

ventiladores de gran capacidad que generan una fuerte corriente de aire caliente, gracias al paso de éste por los radiadores.

Además, están provistos de unas boquillas de aspersion de vapor usadas para humectar o aumentar la humedad relativa de la cámara, y unas chimeneas o ventilas ubicadas en ambos extremos del horno que pueden ser abiertas o cerradas para controlar, tanto la humedad como la temperatura y que además sacan el aire “mojado” e introducen aire renovado. En algunas cámaras la humectación se logra con vapor de agua que cumple doble función: calentar y humedecer el ambiente.

1.2.4.2.4. SECADEROS DE ENERGÍA SOLAR.

El uso de la energía solar para el secado de la madera, constituye una alternativa ecológica para la generación de la energía térmica requerida. El costo de estos tipos de secaderos, en caso de aplicar los mismos parámetros técnicos supera los al de los antes mencionados tipos, debido al alto costo de la paneles solares.

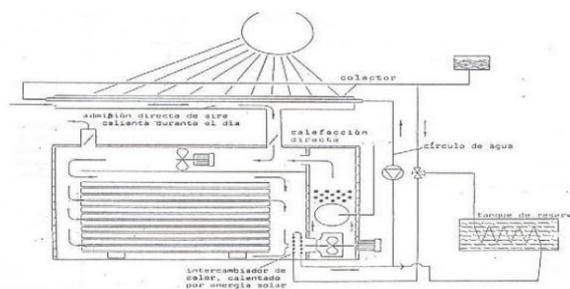


Fig. 1.2.4.2.4.1. Secador con energía solar.

Funcionan aprovechando la energía calorífica del sol y la luz para ganar temperatura. En este grupo el mercado ofrece diversos tipos con varios grados de tecnificación (sensores de temperatura y humedad) y tamaños. La principal ventaja de estos sistemas es el

menor consumo energético y el respeto por el medio ambiente. Sus desventajas: el proceso de secado se desarrolla más lentamente que usando cámaras convencionales o deshumidificadoras. Estas funcionan también controlando la temperatura y la humedad y empleando ventiladores para forzar las corrientes de aire tal como sucede con las cámaras convencionales.

1.2.4.2.5. SECADEROS AL VACÍO.

El secado al vacío es una alternativa para el uso de carpinterías pequeñas de bajo consumo madera sólida. El costo de adquisición de estos equipos es muy superior a las demás alternativas antes mencionadas. Generalmente son secaderos tubulares de acero, con cierre hermético, que permiten la generación de un vacío en su interior. En el secador al vacío se aprovecha dos características físicas para mejorar el transporte del agua en la madera hacia la superficie y su evaporación y son:

- Al bajar la presión atmosférica se reduce la temperatura de ebullición del agua.
- Al bajar la presión se reduce la resistencia del agua al pasar por la madera. Esto acelera notablemente el proceso de secado del agua en la madera. El proceso de secado se realiza de 4 a 5 veces más rápido que en los secadores tradicionales.
- Otra ventaja de este sistema es la mejor calidad del secado de maderas difíciles de secar, en comparación con otros sistemas de secado.



Fig. 1.2.4.2.5-1. Secador al vacío.

Parten de un principio de funcionamiento distinto a las anteriormente citadas, y que se resume en dos pasos aplicados consecutivamente hasta alcanzar la humedad deseada: primero, se aplica temperatura a la madera “inyectándola” a presión, para abrir el poro, luego se aplica el vacío succionando la humedad.

Estas cámaras que, generalmente se utilizan en cargas de madera relativamente pequeñas (no sobrepasan el metro cúbico aunque también las hay de mayor tamaño) y tienen un alto costo en el mercado. Su mayor ventaja es la reducción de tiempo en el proceso comparado con otros sistemas y que además garantizan la calidad de la madera, sin sufrir alteraciones.”¹¹

1.2.5. “ETAPAS DEL SECADO DE LA MADERA.

1.2.5.1. Precalentamiento.

En esta etapa, la temperatura en la cámara debe subir lentamente al nivel deseado, este incremento de la temperatura debe ser uniforme y lento, evitando en lo posible la

¹¹ PAD-REFORT., Manual de diseño para madera del Grupo Andina 3ra. Ed. Santiago de Chile – Chile., Alcalá 1992. Pp. 31- 78.

entrega de humedad a la madera, el clima de precalentamiento depende de la especie de la madera, de la humedad inicial y del medio de pulverización.

1.2.5.2. Calentamiento.

Una vez alcanzada la temperatura deseada de aire es el comienzo de esta fase, teniendo como objetivo el calentamiento a fondo y uniforme de la sección de la madera. Para la fase de calentamiento hay que tomar en cuenta como mínimo una hora por cada 10 mm de espesor para coníferas y latifoliadas fáciles, y dos horas y media para latifoliadas difíciles por cada 10 mm de espesor para el calentamiento.

1.2.5.3. SECADO.

Se inicia una vez terminada la fase de calentamiento, el objetivo de esta fase es secar lo más rápido posible por medio del aumento de la temperatura y de la reducción de la humedad del aire en forma gradual conforme con lo establecido en el programa (Klitzke, 2005).

Esta etapa de secado se puede subdividir en dos fases:

1.2.5.4. SECADO ANTES DEL PUNTO DE SATURACIÓN DE LAS FIBRAS.

En esta fase es donde se produce la extracción del agua libre de la madera, teniendo mucho cuidado con la humedad relativa del aire y de no utilizar temperaturas muy elevadas.

1.2.5.5. SECADO DESPUÉS DEL PUNTO DE SATURACIÓN DE LAS FIBRAS.

Una vez alcanzado el PSF, la madera es más rígida a la entrega del agua retenida y produce que la etapa de secado disminuya su velocidad, para que esto no suceda es que se aumenta el cociente de secado y las temperaturas mientras que la humedad relativa del aire se disminuye.

1.2.5.6. 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.

1.2.6. APILADO Y CARGADO DEL HORNO.

La construcción de la pila del horno es de importancia primordial. Aún si todos los demás factores son perfectos, su falla representará, con seguridad, la degradación del material en forma de combaduras, revirado o torceduras, rajaduras en extremos y desigual contenido de humedad en las piezas. La pila debe estar bien alineada vertical y horizontalmente. El tamaño de la carga dependerá de la capacidad y tipo de horno a ser empleado. Hay muchas precauciones que deben ser rígidamente observadas para asegurar la máxima tasa de secado con el mínimo daño del material que se indican a continuación.

- B1. Separadores. Los separadores deben ser de un espesor uniforme, entre 12 mm (½") y 25 mm (1"), los más delgados se usan cuando se quiere disminuir la tasa de secado de la madera. Se prefieren anchos entre 25 mm (1") y 37 mm (1½").

Los separadores deben estar exactamente alineados en dirección vertical y espaciados hasta 60 cm (2'), uno del otro en la misma fila.

Estas precauciones son necesarias para evitar el combado y revirado de las piezas (que ocurren si los separadores no están correctamente colocados a lo largo de la carga), o los bloqueos al paso del aire entre las filas de la carga cuando los separadores tienen espesor irregular.

La primera y la última fila de separadores deben estar lo más cerca posible de los extremos de las tablas para evitar el voladizo, que ocasiona el agrietamiento y rajado de los extremos.

- B2. Sobresalido de Extremos. Los extremos de las piezas deben quedar alineados porque los que sobresalgan, al no estar soportados, se curvarán bajo su propio peso y se deformarán. Esto afecta a la tabla en particular y al resto de la pila, pudiendo causar distorsión en toda la carga. Por otro lado, con el sobresalido de los extremos, el secado de esas piezas es más rápido con respecto al resto de la pila y puede presentarse un severo agrietamiento de los extremos.
- B3. Clasificación por Largos. El problema antes mencionado se puede evitar clasificando los largos de la madera a secar antes de armar la pila. Las tablas largas

pueden ser usadas para las hileras exteriores de la carga y dos cortas, que juntas sumen el largo de la carga, una tras otra para llenar el resto de las filas.

- B4. Soportes y Contrapesos de la Pila. Cuando la madera es muy susceptible al alabeo, como es el caso del palo maría y otras especies nacionales, se pueden colocar contrapesos encima de la capa superior de la pila, consistentes en prensas de resortes, piezas de durmientes en desuso o moldes de hormigón que apliquen una presión entre 250 y 1000 kg/m², dependiendo de la especie de madera, el espesor del material y el grado de reducción de la deformación deseada. Estos contrapesos ayudan a estabilizar la carga, especialmente de las hileras superiores de madera, que es donde se presentan las torceduras.

Finalmente después del apilado se colocan prensas en la parte superior de las pilas, las cuales están elaboradas con estructuras metálicas y resortes las cuales ayudan a estabilizar la carga, especialmente donde se presentan las torceduras.



Fig. 1.2.6.-1. Prensas utilizadas para reducir los defectos en los procesos de secado.

1.2.7. EFECTOS DEL SECADO.

- Alabeos: Los alabeos son deformaciones que suelen experimentar una pieza de madera por la curvatura de sus ejes longitudinales, transversales o ambos. Los cuales los más frecuentes son:
 - ✓ Acanaladura.
 - ✓ Torcedura.
 - ✓ Encorvadura
 - ✓ Arqueadura.
- Acanaladura: Es cuando los bordes longitudinales o las aristas no se encuentran en el mismo nivel que la zona central, se reconoce cuando al colocar la pieza de madera sobre una superficie plana apoyara la parte central de la cara quedando levantado los bordes, presentando un aspecto cóncavo. Generalmente se produce en madera floreada, en el re aserrado de madera endurecida superficialmente, y cuando hay piezas de distinto espesor en una misma hilera o cámara



Fig. 1.2.8-1. Acanaladura.

- Torcedura: Es el alabeo simultáneo en las direcciones transversal y longitudinal, se presenta cuando las esquinas de una pieza no se encuentran en el mismo plano.

Susceptibles en maderas con fibra espiralada, diagonal o entrelazada, madera con médula, piezas mal aserradas y cuando hay ausencia de sobre pesos en la carga.



Fig. 1.2.8.2 Torcedura.

- Encorvadura: Es la curvatura a lo largo del canto de la pieza, se reconoce cuando al colocar la pieza de canto sobre una superficie plana, se observa una luz o separación entre el canto de la pieza de la madera y la superficie de apoyo. La causa de esta deformación se presenta en madera cuarteada, en madera juvenil y de reacción, excesiva contracción longitudinal y diferente contracción entre espesores cercanos a la médula y corteza.

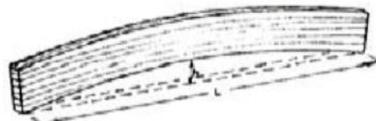


Fig. 1.2.8-3. Encorvadura.

- Arqueadura: Es el alabeo o curvatura de las caras en la dirección longitudinal. Se reconoce al colocar la pieza sobre una superficie plana, se observa una luz o separación entre la cara de la pieza y la superficie de apoyo. Son susceptibles a este defecto aquellas piezas de madera floreada, madera juvenil, contracción longitudinal, y grano desviado.

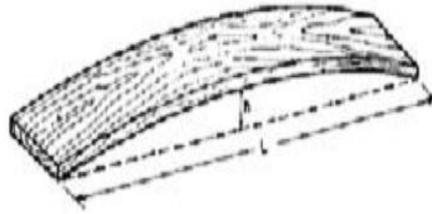


Fig. 1.2.8-4. Arqueadura

- **Rajaduras:** Son separaciones longitudinales de las fibras que atraviesa de una cara a la otra en la pieza, ocurren en el extremo de una tabla, debido a una rápida pérdida de agua que origina esfuerzos de tensión, las rajaduras a la vez pueden ser originadas en el bosque al momento de voltear el árbol

1.2.8. ALMACENAMIENTO DE LA MADERA SECA.

Después del secado en hornos, la madera frecuentemente se almacena en pilas sin separadores hasta el momento de uso. Si el estacionamiento es por un lapso menor a 30 días en cuarto cerrado, se espera que haya poco cambio en el nivel de humedad de la carga.

Puede modificarse el nivel, si el almacenamiento es por varios meses y en lugares que no tengan las condiciones para mantener constante la humedad de equilibrio de la madera. En sitios muy secos la madera tenderá a disminuir su contenido de humedad y en lugares de mayor humedad relativa, no se podrá impedir el aumento del nivel de agua en las piezas.

La madera de exportación, tanto aserrada (tablas, tablones) como semielaborada (puertas sin barniz, chapa y láminas), se embarca para exportación cubierta de polietileno, para

evitar la acción de ambientes muy húmedos o muy secos, que pudieran afectar al material.”¹²

TABLA 1.2.9-1.
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA.

ESPÑECIE	HUMEDAD INICIAL.(Ho) % Estado verde de la madera.	HUMEDAD FINAL. (Hf) %
Laurel	84,8	12
Eucalipto	111,6	12
Guayacán	60,9	12
Chanul	68,3	12

FUENTE: Manual de diseño para maderas del grupo andino. PADT-REFORT., 1992.

1.2.9. “VENTAJAS DE SECADO ARTIFICIAL.

- Reduce torceduras, alabeo y mermas.
- Previene azulados, destruye insectos y larvas.
- Se logran grados de humedad que no se obtienen secando al aire
- Ahorra costos por tiempo de secado y reduce inmovilizados
- Facilita la elaboración y acabados
- Posibilidad de atender trabajos no programados a corto plazo
- Reduce torceduras, alabeo y mermas
- Previene azulados, destruye insectos y larvas.
- Se logran grados de humedad que no se obtienen secando al aire.
- Ahorra costos por tiempo de secado y reduce inmovilizados.
- Facilita la elaboración y acabados.

¹² APPEL. J., Manual secado de madera. 2da. Ed. D.F. - México., 1986. Pp. 1-68.

- Posibilidad de atender trabajos no programados a corto plazo.”¹³

1.2.10. COMPONENTES PRINCIPALES DE LA CAMARA.

Tenemos como componentes principales de la cámara de secado los siguientes:

- **SERPENTÍN:** Se denomina serpentín o serpentina a un tubo de forma frecuentemente espiral, utilizado comúnmente para enfriar vapores provenientes de la destilación en una caldera y así condensarlos en forma líquida. Suele ser de vidrio, cobre u otro material que conduzca el calor fácilmente. Se determinó que la cámara de secado para madera, debía contar con 3 serpentines, instalados en el cielo falso de esta. Además con ésta cantidad, se obtiene que la totalidad del flujo de aire pase a través de los serpentines y sea calentado a la temperatura requerida, y por otra parte se debió al espacio disponible entre los perfiles que sostienen el cielo falso.
- **VENTILADORES AXIALES:** Este tipo de ventiladores se utilizan en donde se requieren grandes caudales a baja presión, el consumo de energía eléctrica es menor, que los de tipo radia, este tipo de ventiladores pueden tener una circulación en reverso del aire invirtiendo el sentido de giro. A partir de un breve análisis se elige el de tipo axial, para el diseño de nuestra cámara de secado.

¹³ORTÍZ, M., Manual de preservación de la madera SECAP., Riobamba – Ecuador., Freire., 1982 Pp. 4-62.

- **VENTILAS:** Para el proyecto se consideran ventilas para la extracción e ingreso del aire en el proceso de secado de la madera. La cámara de secado contará con 4 ventilas de similares características, siendo éstas, dimensiones será en el cielo de la cámara de secado.
- **MOTOR ELÉCTRICO PARA LAS VENTILAS:** Para poder comandar la apertura de las ventilas, es necesario utilizar un motor eléctrico. El tipo de motor ideal para este caso son los llamados “paso a paso”, ya que pueden realizar giros de 90°, lo que resulta ideal para el sistema de apertura y cierre de las ventilas, y además girar en ambos sentidos.
- **TRAMPA DE VAPOR:** Una trampa de vapor es un equipo auxiliar en líneas o equipos de calentamiento con vapor, y su función consiste en evacuar los condensados que se van produciendo, sin permitir el paso de vapor. Según el principio físico que se use para seleccionar el paso de condensados.

1.2.10.1. INSTRUMENTACION.

- **Anemómetro:** Este instrumento es el que se utilizara para poder obtener la lectura de la velocidad del aire a través de la pila de madera.
- **Controlador programable.**
- **Sistema de medición y controlador de temperatura:** controlan la temperatura, humedad relativa. Este dispositivo es ideal para obtener una lectura y control de las variables en el proceso de secado. A este elemento se incorporan los transmisores, de temperatura y humedad relativa, conformando así el sistema de control de estas variables,

regulando la temperatura del aire mediante la apertura o cierre de la válvula para el ingreso de vapor a los serpentines, y por otra parte regulando la inyección de vapor o la apertura de las ventilas.

- Transmisor humedad relativa: Este dispositivo es el encargado de tomar las lecturas de humedad relativa, para transfórmala en una señal eléctrica de voltaje. Es usado en lugares cerrados, ideales para su uso en cámaras de secado. Los modelos TUT-A de transmisores están compuestos de una caja termoplástica, que almacena una tarjeta electrónica con los terminales para sus conexiones eléctricas. Estos transmisores deben estar instalados a una altura media de la cámara en la pared por donde el aire ingresara a la pila de madera.
- Controlador de temperatura: El controlador de temperatura es un dispositivo que se encarga de regular y mantener constante una temperatura de entrada, fijada como consigna, actuando sobre una resistencia. Su funcionamiento se basa en el principio de realimentación, un elemento esencial de todos los mecanismos de control que permite al diseñador dotar de una máquina de capacidad de autocorrección.
- Control PID: Estos controladores han mostrado ser robustos y extremadamente beneficiosos en el control de muchas aplicaciones de importancia en la industria. PID significa: Proporcional Integral Derivativo. Hoy en día, a pesar de la abundancia de sofisticadas herramientas y métodos avanzados de control, el controlador PID es aun el más ampliamente utilizado en la industria moderna, controlando más del 95% de los procesos industriales.

- PCL. Controlador Lógico Programado: Los PLC sirven para realizar automatismos; son dispositivos electrónicos que reproducen programas informáticos, que permiten controlar procesos. Estos equipos pueden contar tanto con salidas como entradas del tipo Analógico y/o Digital. Su costo tiende a ser moderado para sus grandes aplicaciones y suplantando completamente a la lógica cableada. Dejando de esta manera solo elementos de potencia.

1.2.10.2. SELECCIÓN DE LOS ACCESORIOS DE LA LINEA DE VAPOR.

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

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

1.2.10.3. INYECCION DEL TIPO DE COMBUSTIBLE RECOMENDADO.

Para la inyección del combustible, que en nuestro caso es viruta y aserrín utilizamos un tornillo sin fin que transporta el combustible desde un tanque de depósito hasta el hogar del caldero donde se quema, también tenemos una entrada adicional que inyecta diesel en forma de aspersion al aserrín que entra al quemador del caldero, prácticamente es una

mezcla húmeda de aserrín, viruta, y diesel, o en caso de que la empresa lo desee puede utilizar pellets de viruta.

Para controlar la temperatura del agua dentro del caldero utilizamos un termómetro, al cual se le puede seleccionar la temperatura de en nuestro caso seleccionaremos una temperatura de 90°C, cuando se alcanza esta temperatura se desconecta el blower y se interrumpe la entrada de viruta como se puede observar en el (ANEXO 6).

1.2.10.4. MATERIALES AUXILIARES.

Existe más de un material que se puede emplear alternativamente en el equipo de secado y que podría servir para una aplicación específica.

Aluminio blanco.- el material que se utilice en la construcción deberá ser resistente a la corrosión, a la humedad y temperatura con que se esté operando. Siendo el aluminio el material ideal para la construcción de la cámara de secado.

Aislante Térmico.- como es una cámara de gran longitud, el material para la concentración de calor en el mismo se tomara la opción de colocar poliuretano en el interior de la cámara de secado para sí facilitar el desenvolvimiento de la operación de secado evitando perdidas de calor al medio ambiente.

1.3. DISEÑO.

1.3.1 PRUEBAS DE ENSAYO DE SECADO.

Las pruebas de ensayo se realizaron con la finalidad de obtener los datos necesarios para luego proceder hacer uso de las diferentes ecuaciones matemáticas podamos diseñar la cámara, además las gráficas de las curvas de secado que se obtuvieron en las pruebas nos permitieron saber el porcentaje de humedad crítica existente en la madera, y la humedad de equilibrio así como la velocidad de secado y el tiempo necesario para la operación de secado.

Se establecieron las variables físicas que intervinieron en las pruebas como fueron; Peso del material, Humedad total contenida en la madera, Humedad inicial y final, Tiempo de secado, temperatura crítica de la materia prima.

De igual forma los datos que se recopilaron fueron realizados de la manera más precisa posible para así evitar fallas fueron en las medidas del peso de la madera, por medio de la cual se determinó el porcentaje de humedad con que se inició el secado a una temperatura constante en un secador de bandejas de aire caliente (ANEXO 10).

1.3.2 ECUACIONES PARA EL DISEÑO DE LA CÁMARA DE SECADO.

El método utilizado para el procedimiento de los datos experimentales se basa en una ecuación cinética que permite describir todo el proceso de secado, donde todos los parámetros de la ecuación se pueden determinar fácilmente a partir de las curvas y las

condiciones límites de secado. El contenido de humedad puede expresarse en base seca o base húmeda, para los cálculos de secado resulta más conveniente referir la humedad a base seca debido a que esta permanece constante durante el proceso de secado.

1.3.2.1. Humedad (en base seca)

Mediante esta fórmula podemos determinar el porcentaje de humedad, contenida en el sólido expuesto al secado.

$$X = \frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{ss}} \quad \text{Ec: 1.3.2.1-1.}$$

Dónde:

X = Humedad

PSH = Peso del solido Húmedo

Pss = Peso del solido seco.

Este tipo de ecuación es utilizada más frecuentemente para determinar el porcentaje de humedad en productos sólidos en industria productoras de: alimentos, balanceados, cementeras, madereras, cerámicas, curtiembres.

1.3.2.3. Velocidad Período Contante.

Esta fase de secado de la madera se da por la interface aire/ humedad que es la eliminación del agua por difusión. Este periodo va desde la humedad inicial hasta la humedad Crítica X_c .

$$W = W_1 + W_2 \quad \text{Ec: 1.3.2.3-1.}$$

Dónde:

W1= Velocidad para el período constante

W2 = Velocidad para el período decreciente.

Esta ecuación es aplicada para determinar el tiempo de secado de un cuerpo húmedo.

1.3.3.4. Velocidad total en la operación de secado.

Es la sumatoria de las velocidades tanto del periodo constante como la del periodo
decreciente.

$$W_c = \frac{S}{A} \left[\frac{\Delta X}{\Delta \theta} \right] \quad \text{Ec: 1.3.2.4-1.}$$

Dónde:

WC = Velocidad de secado constante

A = Superficie expuesta al secado

S = Sólido seco

ΔX = Variación de la humedad en base seca

$\Delta \theta$ = Variación del tiempo de secado.

1.3.2.5. CÁLCULO DEL TIEMPO DE SECADO EN EL PERÍODO CONSTANTE.

Es el tiempo necesario que tarda un cuerpo húmedo para que descienda su humedad inicial, hasta llegar a un porcentaje de humedad requerida, y se da por integración a partir de la Ec:

$$\sigma = \frac{S}{A} \int_{x_f}^{x_i} \frac{dx}{w} \quad \text{Ec: 1.3.2.5-1.}$$

1.3.2.6. Período anticrítico.

Como durante este período $w = \text{constante}$, la integración de la Ec: 1.3.2.5-1- desde la humedad inicial hasta la humedad crítica nos lleva.

$$\sigma_a = \frac{S}{A} \left(\frac{X_i - X_c}{w_c} \right) \quad \text{Ec: 1.3.2.6-1.}$$

Dónde:

σ_a = Tiempo anticrítico

w_c = Velocidad de secado constante

A = Superficie expuesta al secado

S = Sólido seco

X_i = Humedad inicial

X_c = Humedad crítica.

1.3.2.7. POSCRÍTICO.

Este se lo realiza por:

A.- El método gráfico si no se conoce la relación analítica $W = f(x)$, la integración de la ecuación 1.3.2-5 ha de hacerse gráficamente representando X frente a $1/W$ este valor será el real limitada por la curva, el eje de las abscisas y las ordenadas extremas X_c y X_f .

B.- El Método Analítico si la velocidad de secado varía linealmente con la humedad, desde la humedad crítica hasta la final, la integración de la Ec.: 1.3.2-5 conduce a:

$$\sigma_p = \frac{S(x_c - x_p)}{A(w_c - w_f)} \ln \frac{w_c}{w_f} = \frac{S(x_c - x_1)}{A w_{102}} \quad \text{Ec: 1.3.2.7-1.}$$

$$\sigma_p = \frac{S(x_c - x_s)}{A w_c} \ln \frac{(x_c - x_f)}{x_c - x_s} \quad \text{Ec: 1.3.2.7-2.}$$

Dónde:

Tiempo anticrítico

W_c =Velocidad de secado constante

W_x =Velocidad final

A =Superficie expuesta al secado

S =Sólido seco

X_f =Humedad final

X_c =Humedad crítica

X =Humedad en equilibrio.

1.3.2.8. LONGITUD DE LA CÁMARA.

La longitud de la cámara está determinada por la longitud de los tablones, los cuales tienen una dimensión de 2,5m. Por lo cual la longitud de la cámara la podemos deducir de la siguiente ecuación.

Pero hay que tener en cuenta que hay que dejar espacios para que puedan circular tranquilamente el operario. Que vamos a tomar en consideración de 1m.

$$C = (2 \times A) + (3 \times B) \quad \text{Ec: 1.3.2.8-1.}$$

Dónde:

A = La longitud del tablón.

B = Espacios para la circulación del personal operativo en el momento de apilar la madera dentro de la cámara de secado.

C = Longitud de la cámara.

Esta fórmula es aplicada en los cálculos de áreas para construcciones de cualquier forma y tamaño.

1.3.2.9. ANCHO DE LA CÁMARA.

Para ello primero determinamos el ancho que va a ir en cada paquete, y de igual forma sin dejar de lado el espacio necesario para que circule el aire entre las filas y el operario.

$$n = (2 \times y) + (2 \times z) + x \quad \text{Ec: 1.3.2.9-1.}$$

Dónde:

Y= filas de los tablonos de la madera.

Z= espacio por donde operan los trabajadores al momento de apilar la madera

X= espacio central.

1.3.2.10. ALTURA DE LA CÁMARA.

Para esto determinamos la altura de cada paquete es decir el número de tablonos que van en cada fila, tomando en cuenta los separadores entre cada tablón. Cabe recalcar que cada fila llevará un total de 250 tablonos, y el espesor del separador que es de 2,5cm. Y el espesor de cada tablón es de la misma medida es decir que da un total de 5cm, en total seria 7,5.

A cada paquete de madera lo dividimos en dos sub paquetes de 18 filas cada uno, para lograr una mejor distribución del aire caliente en el interior de los mismos.

Por lo cual la altura aproximada de cada paquete de madera es. Tomando como un valor referencial, un metro veinte centímetros de altura para la ubicación de los ventiladores y demás equipos podemos tener una altura recomendada para la cámara de 4m.

$$Nf = \frac{Nt}{(Ntab \times f)} \quad \text{Ec: 1.3.2.10-1.}$$

Dónde:

Nf = Número de filas.

Ntab = Número de tablonos.

1.3.2.11. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN EN LAS PAREDES KE DE LA CÁMARA DE ALUMINIO.

Se debe obtener los coeficientes de transmisión K de las siguientes partes de la cámara:

- Transmisión en las paredes Ke.
- Transmisión en la puerta Kp.
- Transmisión en el techo Kq.
- Transmisión del suelo Ks.

Para cada uno de los casos, se realizará un cálculo detallado para que los coeficientes sean lo más exactos posible.

$$\frac{1}{k_e} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{2 \cdot e}{y} + R_1 \quad \text{Ec: 1.3.211-1.}$$

Dónde:

E_1 = Espesor de las láminas de aluminio (2mm).

R_f = Conductividad térmica de la fibra de vidrio (1,32m2.h. °C/Kcal)

$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} =$ Coeficiente de convección interna y externa (0,2)

λ_1 = Coeficiente de conductividad Térmica.

Esta ecuación es aplicada para determinar los diferentes coeficientes de transmisión de calor que contienen cada uno de los elementos, así como los materiales de construcción para viviendas, laboratorios, edificios, plantas industriales, equipos de refrigeración o de calefacción.

1.3.2.13. COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN EN EL SUELO.

Para la construcción del piso, se debe tener en cuenta, los esfuerzos a los que va a ser sometido, como son el peso de la madera húmeda, y la transportación con un montacargas que es lo que generalmente se utiliza.

Para el cálculo del coeficiente de transmisión en el piso utilizaremos la siguiente expresión:

$$\frac{1}{k_e} = \frac{1}{h_1} + \frac{e_1}{\lambda} \quad \text{Ec.: 1.3.2.13-1.}$$

Puesto que se considera nula la resistencia superficial exterior $1/h_e$ y $1/h_i$ se toma del anexo (ANEXO XVII), siendo igual a $0,73\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$

Cálculo del nuevo K_s .

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{h_1} + \frac{e_1}{\lambda} \quad \text{Ec.:1.3.2.13-2.}$$

1.3.2.14. CÁLCULO DE K_s CORRESPONDIENTE.

Para este cálculo se toma en cuenta las pérdidas en el suelo por esa razón se utiliza un piso de doble capa de concreto y en el medio utilizaremos una capa de poliuretano para compensar las pérdidas (ANEXO XVII).

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{h_1} + \frac{1}{\lambda_1} + R_p + \frac{e_3}{\lambda_3} \quad \text{Ec: 1.3.2.14-1.}$$

Dónde:

es = Espesor del concreto.

Rp = Es la resistencia térmica del poliuretano.

1.3.2.16. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR Q* EN LA CÁMARA.

Para lo cual procedemos a calcular las velocidades de transferencia de calor de las paredes, techo, puerta, y suelo de la cámara y para ello utilizaremos la siguiente formula:

$$Q^* = \sum K_i \times A_i \times (T_{\text{inte}} - T_{\text{externa}}) \quad \text{Ec: 1.3.2.16-1.}$$

1.3.2.21. CÁLCULO DE LAS ENTALPÍAS DE LA MADERA.

Es una variación de energía de calor absorbido por el sólido y se lo determina tanto a la entrada como a la salida de la cámara de secado.

ENTRADA:

$$Hs_1(\text{sólido entrada}) = (Cps + x_1)Ts_1 \quad \text{Ec: 1.3.2.21-1.}$$

SALIDA:

$$Hs_2(\text{sólido salida}) = (Cps + x_2)Ts_2 \quad \text{Ec: 1.3.2.21-2.}$$

Esta fórmula es aplicada en el diseño de: hornos, cuartos calientes, en sistemas de refrigeración.

1.3.2.22. CÁLCULOS DE LAS ENTALPIAS DE AIRE.

Se lo calcula tanto a la entrada como a la salida de aire, por la fórmula siguiente que solo es considerada para el aire.

El cálculo de la cantidad necesaria de aire por su humedad de sólido se efectúa por aplicación de un balance simultaneo de materia con $q = 0$ considerando que no existen perdidas de color.

ENTRADA.

$$H_{A_2} (\text{aire entrada}) = (0,24 + 0,46Y_2)T_2 + 577,2 Y_2 \quad \text{Ec: 1.3.2.22-1.}$$

SALIDA.

$$H_{A_1} (\text{aire salida}) = [(0,24 + 0,46Y_1)]t_1 + 597,2Y_1 \quad \text{Ec: .1.3.2.22-2.}$$

1.3.2.23. Cálculo de la humedad de salida del aire. y_1

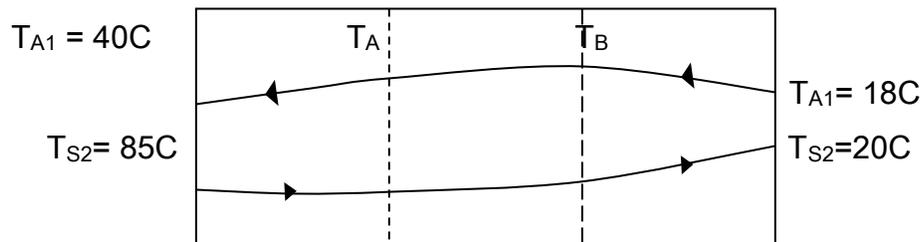
$$Y_1 G = 650249,96 + (0,015)G \quad \text{Ec:1.3.2.23-1.}$$

1.3.2.24. CÁLCULO DE CANTIDAD DE CALOR PERDIDO: Q

Para este tipo de cálculo consideraremos que las pérdidas de calor hacia el exterior de la cámara en un 10% de la entalpia total del aire.

$$H_{g_1}G_s + H_{A_2}g = H_{s_2}G_s + H_{A_1}G_{70,10Q} \quad \text{Ec:1.3.2.24-1.}$$

1.3.2.25. DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS O FACES DE SECADO.



Gráf. 1.3.2.25-1. Representación esquemática de las zonas o faces de secado.

Las fases a considerar en el secado de la madera son:

Fase de calentamiento

Fase de Secado:

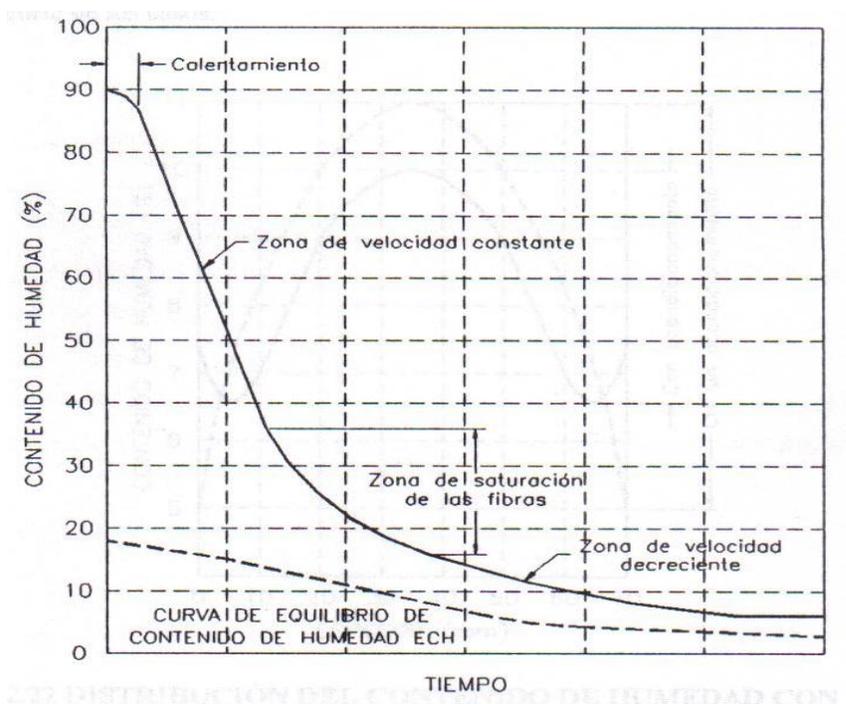
En la primera fase: Humedad inicial

En la segunda fase: PSF

Fase de acondicionamiento

Fase de enfriamiento.

Para esto se recomienda utilizar un PCL como indica en la teoría, para que nos garantice que las fases de secado sean las correctas a las temperaturas adecuadas para que las células de las no sufran daños (Anexo11).



Gráf. 1.3.2.25-1. Faces de secado de la madera.

1.3.2.26. CÁLCULO DE LA HUMEDAD ABSOLUTA DEL SISTEMA Y ENTALPÍA.

Para determinar la humedad absoluta del sistema para, la entalpía, bulbo húmedo, punto de rocío, se procedió a calcular por medio de la carta psicrométrica una temperatura de bulbo húmedo de 85C,

1.3.2.27. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR UA.

El coeficiente de transmisión de calor desde la fuente de calor hacia el sólido, involucra al flujo del fluido y la longitud de la unidad de transmisión.

$$U_a = G \times C_{PAH} \quad \text{Ec:1.3.2.27-1.}$$

Esta ecuación a menudo es utilizada para determinar pérdidas de calor en equipos y sistemas de calefacción.

1.3.2.28. CÁLCULO DEL CALOR NECESARIO PARA CALENTAR EL SÓLIDO.

Está representado por el calor sensible del proceso. Y es aquel que recibe la materia prima para elevar su temperatura sin afectar su estructura molecular y por lo tanto su estado.

Para nuestro sistema se necesita calentar el sólido desde 18C hasta 85 C, que es la temperatura de operación sin que afecte su estructura molecular.

$$q = G_s \times C_{pS} \times \Delta T \quad \text{Ec: 1.3.2.28-1.}$$

Esta ecuación es aplicada en sistemas y procesos de secado para la eliminación de humedad relativa de diferentes tipos de materias primas.

1.3.2.29. ENERGÍA REQUERIDA PARA LA FASE DE SECADO.

Obtenemos la energía requerida para secar las 23m³ de madera del 86,7% hasta 13,87%.

La madera que se utiliza para este cálculo Eucalipto con un peso específico 0,78 a/cm³ el volumen de madera dado equivale a 1000 tablones con las siguientes medidas:

Dimensiones del tablón.

a = 2,5 cm

b = 15 cm.

C = 250cm.

Volumen del tablón:

V = a x b x c

V = 9375 cm³

Volumen húmedo de la madera (Mh)

$$rh = \frac{Pc(1+Hi)}{1+(Pc \times Ktc)}$$

Ec: 1.3.2.29-1.

Dónde:

Pc = Peso específico de la madera

Hi= Humedad inicial de la madera

Kk = constante (punto de saturación de la tibia)

1.3.2.30. MASA DE AGUA LIBRE EN LA MADERA (MAL)

Estado de humedad de la madera, en el cual las paredes celulares se encuentran saturadas de agua y el volumen celular. Oscila entre 28 y el 40% según las especies, aunque a efectos prácticos se puede tomar el 30%

$$M_{al} = \frac{M_h \times (H_i - H_{pspl})}{100 - H} \quad \text{Ec:1.3.2.30-1.}$$

1.3.2.31. MASA DE CONSTITUCIÓN DE LA MADERA (HPSP)

La masa de constitución en la madera es el agua que empieza a perder por un vapor de constitución (hsps)

$$M_{ac} = \frac{M_h \times (H_{psp} - H_f)}{100 + H} \quad \text{Ec:1.3.2.30-1.}$$

1.3.2.32. ENERGÍA TÉRMICA PARA EVAPORAR EL AGUA LIBRE DE LA MADERA.

Este tipo de agua libre es aquella que llena las cavidades celulares de la madera, en donde teóricamente puede moverse de una célula a otra y por ende a la superficie de la madera para poderse evaporar.

$$Q_1 = M_{ac} \times ktc \quad \text{Ec: 1.3.2.32-1.}$$

1.3.2.33. Energía térmica para evaporar el agua de constitución de la madera.

Es la eliminación de la masa de agua libre de la madera por el la constante de la madera

$$Q_2 = M_{aL} \times ktc \quad \text{Ec:1.3.2.33-1.}$$

1.3.2.34. ENERGÍA PARA ELIMINAR EL AGUA DE LA MADERA.

Es la energía que se necesita para la fase de secado para que alcance la humedad deseada.

Se debe tener en cuenta que esta es la energía que se necesita por fase de secado, entendiéndose por fase de secado el tiempo requerido para que la madera alcance la humedad deseada para el trabajo, que es de 13% de humedad esto se logra aproximadamente en un tiempo de 12 días dentro de la cámara.

Consideramos una fase de secado de 12 días tenemos:

$$Q_{\text{agua}} = Q_1 + Q_2 \quad \text{Ec: 1.3.2.34-1.}$$

$$Q^* = 24 \text{ horas} \times 12 \text{ días.}$$

1.3.2.35. CÁLCULO DEL CALOR NECESARIO PARA CALENTAR EL SISTEMA.

Consideraremos las pérdidas totales del sistema + el vapor de saturación, + calor necesario para calentar el sistema, y el calor que se requiere para eliminar la humedad de la madera.

$$Q_{\text{T sistema}} = Q_{(\text{vapor saturado})} + Q_{(\text{sistema})} + Q_{(\text{necesario para calentar la camara})} \quad \text{Ec:}$$

1.3.2.35-1.

1.3.2.36. CÁLCULO DEL CALOR QUE DEBE SUMINISTRAR LOS SERPENTINES.

El calor o energía que suministren los serpentines es el calor necesario para eliminar el agua de la madera y para calentar la cámara de secado.

$$Q_{serpentin} = G(H_{2(aire\ entrada)} - H_{(aire\ atmosferico)}) \quad \text{Ec: 1.3.2.36-1.}$$

1.3.2.37. POTENCIA DE LA CALDERA.

Para determinar la potencia de la caldera necesitamos el requerimiento de calor en la unidad de tiempo Q^* , el requerimiento de calor para secar la madera, con ese valor debemos determinar la potencia de la caldera.

La potencia calorífica de la caldera puede estimarse por medio de la siguiente ecuación.

$$Q_{caldera} = (Q_1 + Q_2) \times a \quad \text{Ec: 1.3.2.37-1.}$$

DE DONDE:

Q_1 = Potencia instalada en radiadores en Kcal/h.

Q_2 = Potencia calorífica de pérdidas en las tuberías también en Kcal/h estas pérdidas se pueden obtener de la tabla.

a = Factor de corrección.

La tubería de distribución de agua caliente tiene una longitud aproximada de

30 mts, con un diámetro de 2 pulgadas.

Con este diámetro de tubería obtenemos una pérdida de calor de 9 Kcal/h con una pérdida total de 270 Kcal/h. (ANEXO XVI).

Con esta potencia ya se puede elegir el caldero para la secadora de madera, en el siguiente gráfico se muestra las potencias de los calderos que se tienen comercialmente.

1.3.3. CÁLCULOS ADICIONALES.

1.3.3.1. EL SISTEMA DE VENTILACIÓN.

- Circulación del aire en la cámara.

La circulación del aire en la cámara, es un factor muy importante a tener en cuenta para un correcto y eficiente proceso de secado, el aire se encarga de transportar la humedad que sale de la madera, una circulación incorrecta del mismo aumentaría el tiempo de secado, para esto es necesario dimensionar correctamente los ventiladores y elegir una adecuada distribución de los mismos.

La velocidad del flujo de aire incide directamente en el tiempo de secado, velocidades relativamente altas disminuyen los tiempos de secado se recomienda velocidades entre 2 y 3m/s en este valor influye el tipo de madera a secarse y su espesor. Durante la fase inicial de secado se tiende a elevar la velocidad del aire ya que en esta etapa la madera tiene la

mayor cantidad de humedad, por lo cual se recomienda utilizar reguladores de velocidad que nos ayuden a utilizar eficientemente la energía eléctrica.

Para una mejor circulación del aire, en la parte lateral de la cámara se construye un modelo que ayuda a conducir el aire y a disminuir pérdidas como lo mostraremos en el (ANEXO1).

Dimensionamiento de los ventiladores.

Para seleccionar los ventiladores es necesario dimensionarlos debidamente para obtener la velocidad del aire requerido en la cámara el cual normalmente oscila entre 2 y 3m/s.

El valor más importante para seleccionar un ventilador es su caudal para esto se debe tener en cuenta el área de barrido en la cámara y el área libre que debe recorrer entendiéndose por área libre el espacio que existe entre los tablones.

La fórmula para calcular el caudal es.

$$Q_{\text{aire}} = A \times V \quad \text{Ec: 1.3.3.1-1.}$$

Dónde:

Q_{aire} = Caudal.

A = Área de circulación del aire.

V = Velocidad del aire.

La velocidad del aire recomendada es de 2 a 3m/s como se dijo anteriormente dependiendo del tipo de madera, para nuestro cálculo utilizaremos un valor promedio de 2,5m/s.

1.3.3.2. ELECCIÓN DEL COMBUSTIBLE.

Los combustibles que podemos utilizar para alimentar el caldero son:

- Diesel.
- Leña.

La elección del combustible apropiado incide directamente en los costos de secado, razón por la cual se tiene que hacer un estudio para la elección del mismo, los combustibles que se utilizan normalmente y su poder calorífico se muestran en la tabla siguiente.

TABLA. 1.3.3.2-1
PODER CALORÍFICO DE LOS COMBUSTIBLES.

Diesel	150722 Kj /gal
Bunker	40000 kj/kg.
Gas líquido	46000 kj/kg.
Leña	15000 kj/kg.

FUENTE: Corporación de Desarrollo para el sector Forestal y maderero del Ecuador. 2011 .

CAPITULO II

2. PARTE EXPERIMENTAL.

Se inició con el diagnóstico de los equipos existentes en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, (secador de bandejas) el cual permitió obtener datos reales del proceso de secado como son: velocidad de secado, tiempo de secado. Humedad final, etc. Parámetros que sirvieron de referencia para el diseño adecuado de (la cámara de sacado de madera).

2.1. MUESTREO.

2.1.2. PLAN DE MUESTREO.

El tipo de muestreo que se aplicó es simple para la recopilación de datos experimentales, que se obtuvieron del secador de bandejas, que tuvo una frecuencia de (2) veces por semana por un período de (1) mes. Esto implica que se obtuvieron (8) muestras experimentales al mes.

TABLA 2.1.2-1.

TOMA DE MUESTRAS.

MUESTRA	RECIPIENTE	TAMAÑO DE MUESTRA	FRECUENCIA DE MUETREO	PROCEDIMIENTO
Trozos de tablas de eucalipto (<i>Eucalyptus</i>) provenientes de la fabricación de muebles.	Las muestras serán trasladadas envueltas en papel aluminio totalmente seco y sellado.	Cada tablita tiene una medida de 9,7cm de ancho por 15cm de largo, y con un espesor de 2,54cm, el cual puede ser mayor pero no puede ser menor.	Se tomaran cuatro muestras semanales de la fábrica de muebles Hidalgo, por un lapso de dos meses, las mismas que deben ser rotuladas y almacenadas correctamente.	- Recolectar las muestras de la fábrica y recortarlas a las medidas especificadas. - Las muestras deben sellarse y posteriormente tomar los datos de fecha para analizar y comprobar con las demás.

FUENTE: Laboratorio de Operaciones Unitarias Espoch. 2012

2.2. METODOLOGIA.

2.3.1. MÉTODOS.

2.3.1.1. MÉTODO INDUCTIVO.

En este método se involucra aquellos procedimientos que van de lo simple a lo complejo, se caracterizan porque tienen una síntesis. Es decir partiendo de las propiedades físico-químicas de la madera como densidad, conductividad térmica, resistencia a la deformación,

humedad, peso etc. , así como las condiciones de funcionamiento de el secador de bandejas se logró una elección correcta del material (aluminio) así como los diferentes elementos y equipos que conformarán la cámara de secado. Para posteriormente determinar las variables que intervienen en el proceso de secado, así como a calcular los valores correspondientes para el diseño de la cámara.

2.3.1.2. MÉTODO DEDUCTIVO.

El desarrollo de este estudio se partió de fundamentos y principios de Cálculos Básicos, Operaciones Unitarias, Control de Procesos, lo cual fue de mucha ayuda para obtener los cálculos necesarios para la determinación de las variables del proceso. Con el fin de diseñar la cámara de secado de madera, y con la selección adecuada de los materiales, accesorios y equipos, que conformarán la cámara.

2.3.1.4. TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN.

Las técnicas son procedimientos, reglas, normas, y recursos de que se vale la ciencia que tienen como objetivo obtener resultados determinados. Estas técnicas son indispensables que por medio de las cuales integra y organiza la estructura de la investigación y están relacionadas directamente con la práctica, con formulaciones teóricas las cuales son propias del método.

Para realizar esta etapa del proceso del dimensionamiento se tomó como base fundamental la técnica del laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ing. Química, ESPOCH.

TABLA2.3.1.5-1.
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD.

FUNDAMENTO	MATERIALES Y EQUIPOS	TÉCNICA	CÁLCULO
Consiste en la determinación del porcentaje de humedad de un material sólido desde un porcentaje hasta llegar al porcentaje de humedad requerida. El material a secarse se coloca en un horno, estufa, cámara, etc. Que por acción del calor se procede a eliminar el agua retenida en las células del material a secar.	<ul style="list-style-type: none"> - Secador de bandejas. - Balanza. - Cronómetro. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pesar las muestras. - Colocar en la bandeja del secador con papel aluminio. - Encender el secador de bandejas. - Mantener la temperatura a 50C - Pesar la muestras cada 30 minutos. - Poner la muestra en el secador. - Pesar después de 60 minutos. - Poner en el secador de bandejas. - Pesar después de 90 minutos hasta que el peso se mantenga constante. 	<p>DETERMINACIÓN DE HUMEDAD EN LA MADERA.</p> $X = \frac{P_{SH} - P_{SS}}{P_{SS}}$

FUENTE: Laboratorio de Operaciones Unitarias Espoch. 2012

2.4. DATOS EXPERIMENTALES.

2.4.1. DATOS PROCESADOS PARA OBTENER LAS DIFERENTES VARIABLES.

TABLA 2.4.1-1.

DATOS PROCESADOS PARA OBTENER LAS DIFERENTES VARIABLES

N°	Θ (h)	%Humedad
1	0	86,7
2	1,06	69,4
3	2,07	65,7
4	3,04	57,9
5	4,10	48
6	5,02	39
7	6,08	27,2
8	7,06	18,8
9	8,02	16,5
10	9,03	15,3
11	10	14,7
12	11,15	13,7

FUENTE: HIDALGO W., 2012

TABLA 2.4.1-2.
DATOS PROCESADOS PARA OBTENER LAS DIFERENTES VARIABLES Y LAS GRÁFICAS RESPECTIVAS.

N°	Θ (h)	P (kg)	Humeda d total (kg)	X (kg/kg)	X media	$\Delta\theta$	W (kg/h.m2)	% Humedad perdida	% Humeda d
1	0	0,321	0,867	0,638					86,7
2	1,0 6	0,291	0,694	0,485	0,962	1,06	0,118	17,3	69,4
3	2,0 7	0,280	0,657	0,429	0,852	1,01	0,045	3,7	65,7
4	3,0 4	0,270	0,579	0,378	0,793	0,97	0,042	7,8	57,9
5	4,1 0	0,250	0,480	0,276	0,654	1,06	0,581	9,9	48
6	5,0 2	0,240	0,390	0,224	0,25	0,92	0,046	9	39
7	6,0 8	0,220	0,272	0,122	0,173	1,06	0,078	11,8	27,2
8	7,0 6	0,204	0,188	0,040	0,081	0,98	0,068	8,4	18,8
9	8,0 2	0,200	0,165	0,020	0,03	0,96	0,017	2,3	16,5
10	9,0 3	0,198	0,153	0,010	0,013	1,01	0,005	1,2	15,3
11	10	0,197	0,147	0,005	0,007	0,97	0,003	0,6	14,7
12	11, 15	0,196	0,138	0,000	0,003	1,15	0,004	0,9	13,8

FUENTE: HIDALGOW., 2012

2.4.2. MÉTODO DE INTEGRACIÓN GRÁFICA.

TABLA 2.4.1-2.
HUMEDAD X EN FUNCIÓN DE 1/W

X media	W (kg/h.m2)	1/W
0,25	0,083	30,4
0,173	0,078	40,5
0,081	0,068	60,15
0,03	0,017	80,5
0,013	0,005	200
0,007	0,003	333,3
0,003	0,004	358,6

FUENTE: HIDALGO W., 2012

Se grafica las variables de 1/W en función de x, y se determina el área bajo la curva.

2.4.3. DATOS ADICIONALES.

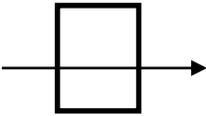
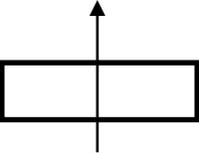
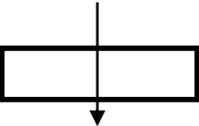
TABLA 2.5.1-1.

VALORES DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE ALGUNOS MATERIALES.

MATERIAL	Conductividad Térmica (W·m-1·K-1)
Acero	47 - 581
Acero inoxidable	14-16
Aire	0,024
Aluminio	209,31
Bronce	116-1861
Cobre	372,1-385,21
Fibra de vidrio	0,03-0,071
Hierro	80,2
Madera	0,131
Poliuretano	0,018-0,025

Fuente: Conductividad térmica de los Materiales, [Http://wikipedia.org/Coeficiente_de_conductividad_térmica](http://wikipedia.org/Coeficiente_de_conductividad_térmica)

TABLA 2.5.1-2
CONSTANTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEPENDIENDO LA POSICIÓN
Y SENTIDO DE FLUJO DE CALOR.

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor.	Situación del cerramiento			
	$\frac{1}{h_i}$	$\frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$	
cerramiento verticales o con pendiente sobre la horizontal $> 60^\circ$ y flujo horizontal		0,13 0,11	0,07 0,06	0,02 0,17
cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $< 60^\circ$ y flujo ascendente		0,11 0,09	0,06 0,05	0,17 0,14
cerramientos horizontales y flujo descendente		0,2 0,17	0,06 0,05	0,26 0,22

FUENTE: Enciclopedia de climatización MARTIN L.,2010.

TABLA 2.5.1-3
PESO ESPECÍFICO DE LA MADERA.

ESPECIE	PESO ESPECÍFICO ($\frac{g}{cm^3}$)
Laurel	0,45
Chanul	0,75
Guayacán	0,86
Eucalipto	0,72

FUENTE: Manual de diseño para maderas del grupo andino. PADT-REFORT., 2009.

2.5. DIAGNÓSTICO.

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, titulado Diseño de una Cámara de Secado de Madera Para la Fábrica de Muebles Hidalgo, inicio con la identificación de todos los defectos y problemas que se producen al trabajar con madera humedad tales como son deformaciones en los armazones, como rajaduras, agrietamientos, cambio de color, oxidación de los clavos por el agua contenido en la madera, aflojamiento de los clavos al secarse el armazón, decoloración del tinte del lacado, oxidación en las uniones donde llevan metales, pudrición, entre otras como se muestra en el (ANEXO 10) . Así también se estudió otras razones otros tipos de necesidad por la cual dicha empresa necesita de un sistema de secado artificial, ahorro de tiempo y dinero, espacio, muebles más livianos, maderas más suaves a los procesos de corte y de clavado, etc., en segundo lugar se

reconoció los equipos necesarios donde se llevó a cabo el proceso de secado, en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, donde se encuentra los secadores de bandejas, y secador de túnel, el cual ayudó a tener una idea lógica referente al diseño de la cámara, pero cabe indicar que este método solo fue a escala debido a las dimensiones del equipo, lo cual, es un limitante para garantizar datos reales para los diferentes cálculos de diseño y de secado, además teniendo en cuenta que el secador de bandejas se encuentra diseñado para uso exclusivo de alimentos y para tiempos relativamente cortos, que no garantiza una eficiencia en materiales de gran volumen y con contenido alto contenido de humedad, seguidamente se procedió a identificar cada una de las variables que intervienen, en esta operación unitaria, donde las más importantes son velocidad de secado(w), tiempo de secado(t), humedad relativa (H_o), humedad final (h_f), ancho, largo, alto, de la cámara, cantidad de calor necesario para el trabajo, esto en cuanto a las variables físicas.

Finalmente con los resultados obtenidos de cada uno de las variables se procedió al diseño de la cámara, la cual cumple con los objetivos planteados para cubrir con las necesidades requeridas para la fabricación de muebles.

CAPITULO III

3. DISEÑO.

3.1. CÁLCULO DE LA CÁMARA DE SECADO.

3.1.2. LONGITUD DE LA CÁMARA.

Según la Ec: 1.3.2.8-1. Para la obtención de la longitud correspondiente

$$C = (2 \times a) + (3 \times b)$$

$$C = (2 \times 2,5) + (3 \times 0,5)$$

$$C = 8,5\text{m}$$

3.1.3. ANCHO DE LA CÁMARA.

Para la cual se utilizó la Ec: 1.3.2.9-1. (ANEXO III)

$$n = (2 \times y) + (2 \times z) + x$$

$$n = (2 \times 2,5) + (2 \times 0,9) + 0,7$$

$$n = 7,5\text{m.}$$

3.1.4. ALTURA DE LA CÁMARA.

Para determinar la altura de la cámara se utilizó la Ec: 1.3.2.10-1.(ANEXO II)

$$Nf = \frac{Nt}{(Ntab \times f)}$$

$$Nf = \frac{250}{7}$$

$Nf = 36$. Tablones por fila

$$Hp = NF \times Ef$$

$$Hp = 36 \times 7,5$$

$$Hp = 2,70m.$$

$$Hp = 2,79m.$$

Entonces ya con los valores obtenidos determinamos el área total de la cámara.

$$A = b \times h$$

$$A = 26 \times 4$$

$$A = 104m^2$$

Pero hay que tener en cuenta que la superficie de la puerta es restada al área total de la cámara así que tenemos:

$$A = 104 - 9$$

$$A = 95 m^2$$

3.1.5. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN EN LA CÁMARA DE ALUMINIO.

3.1.5.1. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN EN LAS PAREDES KE DE LA CÁMARA DE ALUMINIO.

De la Ec.1.3.21.1-1.

$$\frac{1}{k_e} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{2 * e}{y} + R_1$$

$$\frac{1}{k_e} = 0,2 + \frac{2 * 0,02}{175} + 1,38$$

$$\frac{1}{k_e} = 1,58m^2 \cdot h.Kcal$$

$$K_e = 0,63Kcal. / (m^2.h.^{\circ}C)$$

3.1.5.2. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN EN EL TECHO.

De la Ec.1.3.2.12-1.

$$\frac{1}{k_q} = \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_e} + \frac{2 * e_1}{\lambda_1} + R_f$$

$$\frac{1}{k_q} = 0,17 + \frac{2 * 0,02}{175} + 1,38$$

$$\frac{1}{k_q} = 1,55m^2 \cdot h.Kcal$$

$$K_q = 0,64Kcal. / (m^2.h.^{\circ}C)$$

3.1.5.3. COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN EN EL SUELO.

De la Ec. 1.3.2.13-1. Teniendo en cuenta el aislante térmico (poliuretano).

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{h_1} + \frac{e_1}{\lambda}$$

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{h_1} + \frac{e_1}{\lambda}$$

$$\frac{1}{k_s} = 0,2 + \frac{0,15}{1}$$

$$\frac{1}{k_s} = 0,35 m^2 \cdot h. / ^\circ Kcal$$

$$K_s = 2,85 Kcal. / (m^2 \cdot h. ^\circ C)$$

Como se puede observar el valor de K_s es bastante elevado, razón por la cual, se recomienda construir un piso de doble capa de concreto, con una cámara central de poliuretano como se muestra en el (ANEXO 3) para evitar mayor pérdidas de calor posibles en la cámara.

3.1.5.4. CÁLCULO DE K_s CORRESPONDIENTE.

Se aplica con la Ec.1.3.2.14-1.

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{h_1} + \frac{1}{\lambda_1} + R_p + \frac{e_3}{\lambda_3}$$

$$\frac{1}{k_s} = 0,2 + \frac{0,1}{0,63} + 2,5 + \frac{0,1}{0,63}$$

$$K_s = 0,33 Kcal. / (m^2 \cdot h. ^\circ C)$$

3.1.5.5. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN DE CALOR DE LA PUERTA.

En el cálculo del coeficiente de transmisión para la puerta se determinó con la

Ec: 1.3.2.15-1.

$$\frac{1}{k_e} = 0,2 + \frac{2 \times 0,002}{175} + 2,56$$

$$K_e = 0,36 \text{ Kcal. / (m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C)}$$

3.1.5.6. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR Q* EN LA CÁMARA.

De la Ec.1.3.2.16-1.

$$Q^* = \sum K_i \times A_i \times (T_{\text{int}} - T_{\text{externa}}).$$

3.1.5.7. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN LAS PAREDES.

De la Ec: 1.3.2.17-1.

$$\text{Largo} = 8 \text{ m} \times 2,80 \text{ m} \times 2$$

$$\text{Largo} = 44,8 \text{ m}^2$$

$$\text{Ancho} = 7,5 \text{ m} \times 2,80 \times 2$$

$$\text{Ancho} = 42 \text{ m}^2$$

$$\text{Puerta} = 9 \text{ m}^2$$

Entonces nos queda:

$$Q^* = 0,63 \times 69,4 \times 70$$

$$Q^* = 3060,54 \text{ Kcal/h}$$

3.1.5.8. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN LA PUERTA.

De la Ec: 1.3.2.18-1.

$$Q^* = 0,36 \times 9 \times 70$$

$$Q^* = 226,8 \text{ Kcal/h}$$

3.1.5.9. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL TECHO.

A través de la Ec: 1.3.2.19-1. Se determinó la velocidad de transferencia para el techo.

$$Q^* = 0,64 \times 48,75 \times 70$$

$$Q^* = 2184 \text{ Kcal/h.}$$

3.1.5.10. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL SUELO.

De la Ec 1.3.2.20-1. Se pudo determinar la velocidad de transferencia para el suelo.

$$Q^* = 0,33 \times 48,75 \times 70$$

$$Q^* = 1126,13 \text{ Kcal/h.}$$

3.1.5.11. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR TOTAL Q*.

$$Q^*_{\text{total}} = 3060,54 \text{ Kcal/h} + 226,8 \text{ Kcal/h} + 2184 \text{ Kcal/h.} + 1126,13 \text{ Kcal/h.}$$

$$Q^* = 6597,47 \text{ Kcal/h.}$$

Entonces como nos podemos dar cuenta las pérdidas de calor en la cámara es de 6597,47 Kcal/h.

3.1.5.12. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SECADO Y DEL TIEMPO DE SECADO PARA LOS DIFERENTES PERÍODOS.

De acuerdo a la curva de velocidad de secado habrá un período de velocidad de secado constante.

3.1.5.12.1. PERÍODO CONSTANTE O ANTICRÍTICO.

De la Ec: 1.3.2.2-1.

$$W_c = \frac{S}{A} \left[-\frac{\Delta x}{\Delta \theta} \right].$$

Entonces:

$$A = 0,12 \text{ m}^2$$

$$S = 0,196$$

$$X_{inicial} = 0,654$$

$$X_{critica} = 0,250$$

$$T_1 = 4,10$$

$$T_2 = 5,02$$

Solución:

$$W_c = \frac{S}{A} \left[-\frac{\Delta x}{\Delta \theta} \right]$$

$$W_c = \frac{0,196}{0,12} \left[-\frac{0,654 - 0,250}{5,02 - 4,10} \right]$$

$$W_c = 0,716 \frac{\text{Kg}}{\text{h.m}^2}$$

b) Para calcular el tiempo de secado en condiciones constantes, se lo hace a partir de la Ec:

1.3.2.6-1. Que es la siguiente:

$$\theta_a = \frac{S}{A} \left(\frac{x_i - x_c}{W_c} \right)$$

DONDE:

$$A = 0,12 \text{ m}^2$$

$$S = 0,196$$

$$X_{inicial} = 0,654$$

$$X_{critica} = 0,250$$

$$W_c = 0,716 \frac{Kg}{h.m^2}$$

Solución:

$$\theta_a = \frac{S}{A} \left(\frac{x_1 - x_c}{W_c} \right)$$

$$\theta_a = \frac{0,196}{0,12} \left(\frac{0,650 - 0,250}{0,716} \right)$$

$$\theta_a = 0,911 \text{ h}$$

3.1.5.12.2. PERÍODO DECRECIENTE O POSCRÍTICO.

3.1.5.12.3. MÉTODO DE INTEGRACIÓN GRÁFICA

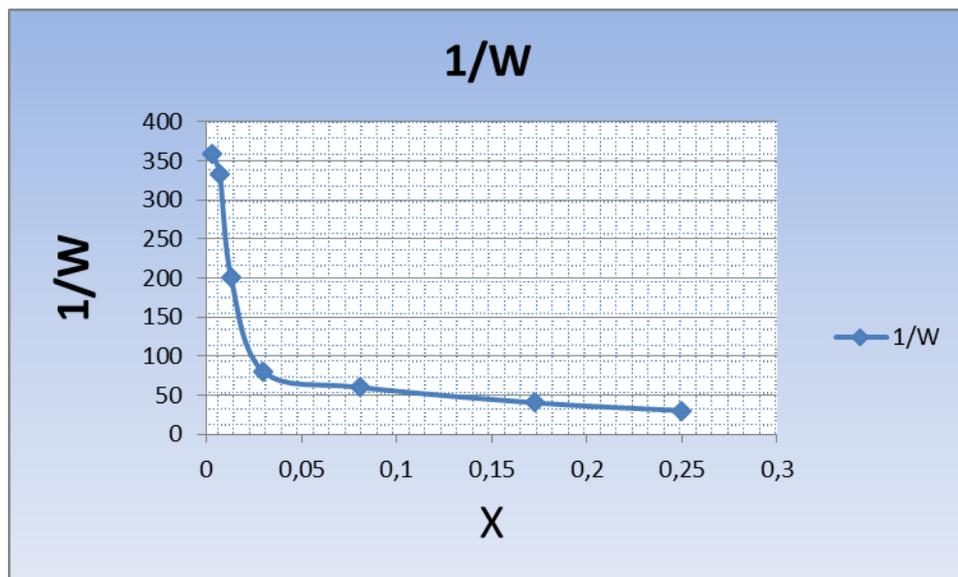
Para el período de velocidad decreciente desde $X_{critica} = 0,250$ hasta $X_{final} = 0,003$, aplicaremos el método de integración gráfica. A partir de la curva de velocidad de secado se prepara la siguiente tabla leyendo los valores de velocidad (W) para los diferentes valores de x.

**TABLA 3.1.5.12.3-1.
HUMEDAD X EN FUNCIÓN DE 1/W**

X media	W (kg/h.m2)	1/W
0,25	0,083	30,4
0,173	0,078	40,5
0,081	0,068	60,15
0,03	0,017	80,5
0,013	0,005	200
0,007	0,003	333,3
0,003	0,004	358,6

FUENTE: HIDALGO W., 2012.

Se gráfica las variables de 1/W en función de x, y se determina el área bajo la curva.



Graf. 3.1.12.3-1. Curva de Humedad x en función de 1/W

$$\hat{Área} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8 + A_9 + A_{10} + A_{11} + A_{12} + A_{13}$$

$$\begin{aligned} \hat{Área} = & (0,007 \times 333,3) + \left(0,005 \times \frac{133,3}{2}\right) + (0,005 \times 200) + \left(0,004 \times \frac{85}{2}\right) + \\ & \left(0,075 \times \frac{10}{2}\right) + (0,075 \times 30) + \left(0,1333 \times \frac{30}{2}\right) + (0,1333 \times 40) + (0,0296 \times 70) + \\ & (0,0296 \times 70) + \left(0,0128 \times \frac{15}{2}\right) + (0,004 \times 45) + (0,0128 \times 15) + \left(0,0128 \times \frac{30}{2}\right) \end{aligned}$$

$$\hat{Área} = 16,52 \text{ m.}$$

a) Sustituyendo en la Ec. 1.3.2.5-1.c: 1.3.2-3.

$$\theta_p = \frac{S}{A} \int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{w}$$

$$\theta_p = \frac{0,196}{0,12} \int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{w}$$

$$\theta_p = 1,63(16,52)$$

$$\theta_p = 26,93 \text{ h}$$

b) El tiempo total de secado es :

$$\theta_t = \theta_a + \theta_p$$

$$\theta_t = 0,911 + 26,93$$

$$\theta_t = 27,84 \text{ h}$$

c) Entonces sustituyendo los datos en la Ec.1 tenemos la velocidad decreciente:

$$W_d = 0,006 \frac{Kg}{h.m^2}$$

La velocidad total es:

$$W_T = W_c + W_d$$

$$W_T = 0,716 + 0,006$$

$$W_T = 0,776 \frac{Kg}{h.m^2}$$

3.1.5.13. MÉTODO ANALÍTICO.

Tomando en cuenta la línea de secado entre los puntos C y D de carácter rectilínea, se puede calcular el tiempo de secado entre los intervalos siguientes y a través de la

Ec: 1.3.2.5-1. (a):

$$x_c = 0,250 \text{ y } x_f = 0,173$$

$$\theta_p = \frac{s}{A} \left(\frac{x_c - x_f}{W_c - W_f} \right) \ln \frac{W_c}{W_f}$$

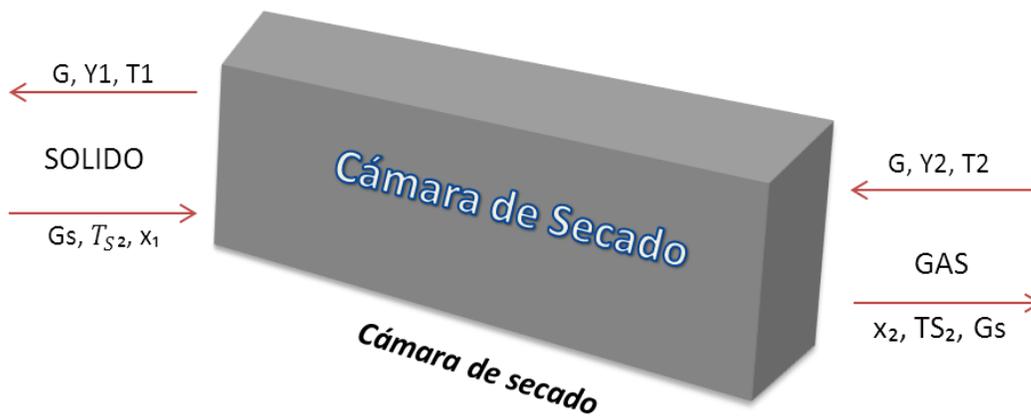
$$\theta_p = \frac{0,196}{0,12} \left(\frac{0,250 - 0,173}{0,716 - 0,006} \right) \ln \frac{0,716}{0,006}$$

$$\theta_p = 0,842 \text{ h}$$

El tiempo de secado entre D y E se determina gráficamente entre los límites de 0,173 y 0,003, y el resultado es el Área (0,476) = Tiempo (0,507)

3.1.5.14. CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DE LA CÁMARA DE SECADO PARA MADERA.

3.1.5.14.1. BALANCE DE MASA



G_s = Caudal del sólido a la Entrada	750,000 hg.
X_1 = Humedad del sólido a la entrada	86,7 %
X_2 = Humedad del sólido a la salida	13,87 %
Y_1 = Humedad del aire a la entrada	0,009 kg H ₂ O del aire seco
T_{s1} = Temperatura del sólido a la entrada	18°C
T_{s2} = Temperatura del sólido a la salida	73°C
T_1 = Temperatura del aire a la salida	70°C

Cps = Capacidad Calorífica de la madera 0,57 Kcal/Kg °C

C = Calor Específico del aire

G = Caudal del Gas

Y₁ = Humedad del aire a la salida.

$$x_1 G_s + Y_2 G = x_2 G_s + Y_1 G$$

$$0,867 \times 750000 + 0,015 = 0,139 \times 0,321 + y_1 G$$

$$650250 + 0,00015G = 0,0044 + y_1 G$$

$$650250 + 0,015G = 0,044 + y_1 G$$

$$y_1 G = 650249,96 + 0,0156$$

3.1.5.14.2. BALANCE DE ENERGÍA.

H₁ (entalpía de sólido) G_s + H₂ (entalpía del aire) G = H₂ (entalpía de sólido) G_s + H₁
(entalpia del aire) G + Qpç

3.1.5.14.3. CÁLCULO DE LAS ENTALPIAS DE LA MADERA.

Para este cálculo de las entalpias tanto a la entrada y salida se aplica la Ec: 1.3.2.21-1. Y

Ecu.1.3.2.21-2. .

Entrada:

$$H_{s_1}(\text{sólido entrada}) = (Cps + x_1)Ts_1$$

$$H_{s_1}(0,57 + 0,867) \times 18 \frac{\text{kcal}}{\text{kgC}} \cdot C$$

$$H_{S_1} = 25,87 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

Salida:

$$H_{S_2}(\text{sólido salida}) = (C_{ps} + x_2)Ts_2$$

$$H_{S_2}(0,57 + 0,138) \times 73 \frac{\text{kcal}}{\text{kgC}} \cdot C$$

$$H_{S_2} = 51,68 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

3.1.5.14.4. CÁLCULOS DE LAS ENTALPÍAS DE AIRE.

Para esto aplicamos la Ec.1.3.2.22-1. Y Ecu.1.3.2.22-2.

Entrada.

$$H_{A_2}(\text{aire entrada}) = (0,24 + 0,46Y_2)T_2 + 597,2Y_2$$

$$H_{A_2} = (0,24 + (0,46 \times 0,009) \times 115 + (597,2 \times 0,009))$$

$$H_{A_2} = 28,9 + 5,43$$

$$H_{A_2} = 37,8 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

Salida.

$$H_{A_1}(\text{aire salida}) = [(0,24 + 0,46Y_1)]t_1 + 597,2Y_1$$

$$H_{A_1} = (0,24 + 0,46Y_1)70 + 597,2 Y_1$$

$$H_{A_1} = 16,8 + 629,9 y_1$$

$$H_{A_1} = 33,16 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

H_1 (entalpia sólido entrada) G_s+H_2 (entalpia aire entrada) $G =H_2$ (entalpia sólido) G_s+H_1
(entalpia sólido) $G + q$ Kg/h.

$$(25,87)(750000) + (34,3)G = (51,68)(750000) + (16,8 + 629,4Y_1)G$$

$$8,30 + 34,36 = 16,58 + (16,8 + 629,4Y_1)G$$

$$34,3G = 8,28 + 16,8G + 629,4Y_1G$$

$$17,56 = 8,28 + 629,4Y_1G$$

$$17,5G = 8,28 + (629,4)(0,243 + (0,015)G)$$

$$17,5G = 8,28 + 152,94 + 9,44G$$

$$8,06G = 161,22$$

$$G = 20 \text{ Kg} \frac{\text{Aire seco}}{\text{h}}$$

Entonces:

$$H_{A1} = 16,8 + 629,4 Y_1$$

$$H_{A1} = 186,74$$

$$H_{A1} = 33,16 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

3.1.5.14.5. CÁLCULO DE LA HUMEDAD DE SALIDA DEL AIRE. Y_1

La humedad de salida del aire es determinada por la Ecu.1.3.2.23-1.

$$Y_1G = 650249,96 + (0,015)G$$

$$Y_1(53174258,66) = 650249,96 + (0,015)(531179258,66)$$

$$53174258,66Y_1 = 650249,96 + 797688,82$$

$$Y_1 = 0,026 \text{kg} \frac{H_2O}{\text{kg aire seco}}$$

3.1.5.14.6. CÁLCULO DE LA ENTALPÍA DEL AIRE A LA SALIDA.

$$H_1 = 16,8 + 69,94Y_1$$

$$H_1 = 16, +69,94(0,026)$$

$$H_1 = 18,61 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

3.1.5.14. CÁLCULO DE CANTIDAD DE CALOR PERDIDO: (Q.)

Se va estimar un 10% de la entalpia total de calor perdido al exterior Ec:1.3.2.24-1.

$$H_{s1}G_s + H_{A2}G = H_{s2}G_s + H_{A1}G \quad 70,10Q$$

$$0,10qp = 749,90 - 679,79$$

$$0,10Qp = 1843451072 - 218687150$$

$$0,10Qp = 70,11$$

$$Qp = 701,1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

3.1.5.15. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR

U_a.

El coeficiente de transferencia de calor desde la fuente de calor hacia el fluido en la Ec:

1.3.2.27-1.así tenemos;

$$U_a = G \times C_{PAH}$$

$$U_a = 20 \times 0,25 / 0,033$$

$$U_a = 151,5 \frac{Kcal}{hC}$$

3.1.5.16. CÁLCULO DEL CALOR NECESARIO PARA CALENTAR EL SÓLIDO DESDE 18°C HASTA 85°C.

Para obtener el calor sensible, se parte de la Ec: 1.3.2.28-1.reemplazando x tiene:

$$q = G_s \times C_{PS} \times \Delta T$$

$$q = 0,321 \times 0,57 \times (85 - 15)$$

$$q = 12,26 \frac{Kcal}{h.C}$$

3.1.5.18. ENERGÍA REQUERIDA PARA LA FASE DE SECADO.

La energía requerida se calcula por medio de la Ec.1.3.2.29-1.

$$rh = \frac{0,78(1 + 0,867)}{1 + (0,78 \times 0,28)}$$

$$rh = 1,19 \text{ g/cm}^3$$

$$Mh = Vh \times rh$$

$$Mh = 23 \text{ m}^3$$

$$rh = 1190 \text{ kg/m}^3$$

$$Mh = 20 \text{ m}^3 \times 1190 \text{ kg/m}^3$$

$$Mh = 23800 \text{ kg}$$

3.1.5.19. MASA DE AGUA LIBRE EN LA MADERA (Mal).

Punto de saturación de la fibra se considera en 30 Ec.1.3.2.30-1.

$$Mal = \frac{Mh \times (Hi - H_{pspl})}{100 - H}$$

$$Mal = \frac{23800 \times (86,7 - 30)}{100 - 86,7}$$

$$Mal = 7227,96 \text{ Kg.}$$

3.1.5.20. MASA DE CONSTITUCIÓN DE LA MADERA (H_{psp}).

La masa de constitución es el resultado que nos .1.3.2.30-1.

$$Mac = \frac{Mh \times (H_{psp} - H_f)}{100 + H}$$

$$Mac = \frac{23800 \times (30 - 13,8)}{100 \times 86,7}$$

$$Mac = 2065,13 \text{ Kg.}$$

3.1.5.21. ENERGÍA TÉRMICA PARA EVAPORAR EL AGUA LIBRE DE LA MADERA.

El agua libre de las cavidades celulares empieza a evaporar a la superficie de la madera.

Ec:1.3.2.32-1.

$$Q_1 = Mac \times ktc$$

$$Q_1 = 2065,133 \times 4400$$

$$Q_1 = 9086572 \text{ kg}$$

3.1.5.22. ENERGÍA TÉRMICA PARA EVAPORAR EL AGUA DE CONSTITUCIÓN DE LA MADERA.

Para determinar el cálculo para evaporar el agua de constitución lo hacemos por la Ec:

1.3.2-43.

$$Q_2 = MaL \times ktc$$

$$Q_2 = 7227,96 \times 380 \text{ kj}$$

$$Q_2 = 2746624,8 \text{ kj}$$

3.1.5.23. POTENCIA PARA ELIMINAR EL AGUA DE LA MADERA.

La obtenemos por medio de la Ec: 1.3.2.33-1.

$$Q_{\text{agua}} = Q_1 + Q_2$$

$$Q_{\text{agua}} = Q_1 + Q_2$$

$$Q_{\text{agua}} = 9086572 \text{ ks} + 2746624,8 \text{ Kj.}$$

$$Q_{\text{agua}} = 11833196,8 \text{ kj}$$

$$Q^* = 24 \times 12$$

$$Q^* = 288$$

$$Q^* = \frac{11833196,8 \text{ kj}}{288 \text{ h}}$$

$$Q^* = 126919,51 \frac{\text{Kj}}{\text{h}}$$

Transformamos Q^* a Kcal/h

$$1 \text{ Kcal/h} = 1,63 \text{ w} = 4,187 \text{ kj/h}$$

$$Q^* = 30312,76 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

DONDE:

Q^* = energía requerida para eliminar el agua de la madera por día.

3.1.5.24. CÁLCULO DEL CALOR NECESARIO PARA CALENTAR EL SISTEMA.

Para calcular el calor necesario para calentar el sistema lo haremos por medio de la Ec:

1.3.2.35-1.

$$Q_{\text{Tsistema}} = Q_{(\text{vapor saturado})} + Q_{(\text{sistema})} + Q_{(\text{necesario para calentar la camara})}$$

$$Q_{\text{Tsistema}} = 130,81 + 30312,76 + 6597,47$$

$$Q_{\text{Tsistema}} = 37041,04 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

3.1.5.25. CÁLCULO DEL CALOR QUE DEBE SUMINISTRAR LOS SERPENTINES.

Para poder determinar el calor que debe suministrar los serpentines se obtiene de la Ec:

1.3.2.36-1. Siguiente.

$$Q_{\text{serpentin}} = G(H_{2(\text{aire entrada})} - H_{(\text{aire atmosferico})}) + Q_{\text{Tsistema}}$$

$$Q_{\text{serpentin}} = 20(27,34 - 11,142) \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} + 37041,04$$

$$Q_{\text{serpentin}} = 37,365 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

3.1.5.26. POTENCIA DE LA CALDERA.

$$Q_2 = 270 \text{Kcal/h}$$

De donde la potencia del caldero es igual a:

$$Q_{\text{caldera}} = (37365 + 270) \times 1,2$$

$$Q_{caldera} = 45162 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

Para la transformación a hp de caldera se debe tener en cuenta la siguiente equivalencia.

$$8435,7 \text{ kcal/h} = 1 \text{ hp.}$$

De donde la potencia en hp que necesitamos es de:

$$Q_{caldera} = 6 \text{ hp.}$$

3.2. CÁLCULOS ADICIONALES.

3.2.1. EL SISTEMA DE VENTILACIÓN.

Circulación del aire en la cámara.

$$Q_{\text{aire}} = A \times V$$

$$Q = 85 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q = 85 \times 3600$$

$$Q = 306,000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

En la cámara se ubican cuatro ventiladores razón por la cual el resultado obtenido se divide para cuatro.

$$Q_{\text{cv}} = \frac{Q}{4}$$

$$Q_{\text{cv}} = \frac{306,000}{4}$$

$$Q_{\text{cv}} = 76,500 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

De los datos obtenidos en el cálculo anterior, llegamos a la conclusión que el caudal que se necesita dentro de la cámara es de 306,000 m³/h, por lo que se recomienda utilizar cuatro ventiladores de 76,500 m³/h, estos ventiladores deben ser Axiales por las características ya explicadas anteriormente y con una separación entre los ejes del ventilador de 2 m.

3.2.2. CONSUMO DE COMBUSTIBLE DIESEL.

El diesel genera = 150722 Kj /gal. = 35999,33Kcal/gal

$$\text{Gal/h} = 1,25 \text{ gal /h.}$$

3.2.4. CONSUMO DE LEÑA.

Los kg de leña necesarios para generar la energía térmica requerida es:

La biomasa (leña) genera un poder calorífico de 15000 kj/kg. = 3582.69Kcal/kg.

$$\text{Leña (kg)} = 12,60\text{kg/h}$$

Entonces tenemos que el consumo total de los dos combustibles por hora es de:

$$\text{Diesel} = 1,25 \text{ gal/h} \times 288\text{h} = 360 \text{ galones} \times 1,05 = 378 \text{ dólares}$$

$$\text{Leña} = 12,60\text{Kg/h.} \times 288\text{h} = 3628,8 \text{ Kg} \times 0 \text{ dólares} = 3628,8\text{Kg.}$$

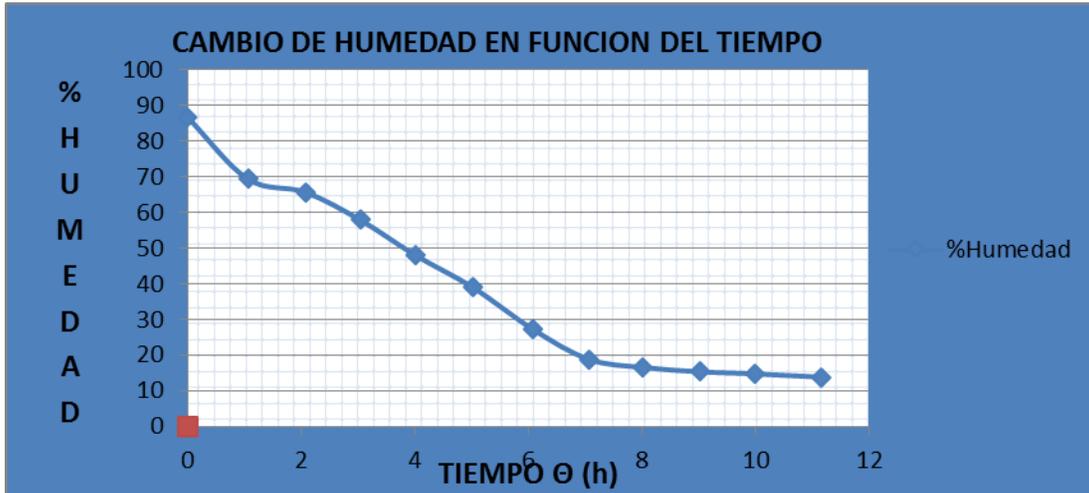
3.2. RESULTADOS.

**TABLA3.3-1.
OBTENCIÓN DE LAS VARIABLES CORRESPONDIENTES PARA LAS
GRÁFICAS.**

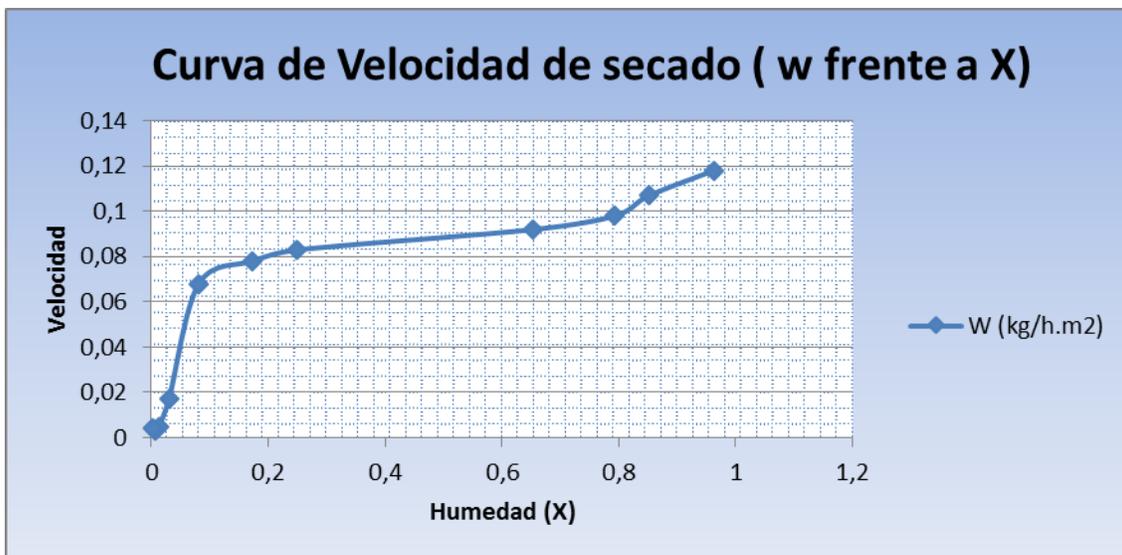
N°	Θ (h)	P (kg)	Humeda d total (kg)	X (kg/kg)	X media	$\Delta\theta$	W (kg/h.m2)	% Humedad perdida	%Humed ad
1	0	0,321	0,867	0,638					86,7
2	1,06	0,291	0,694	0,485	0,96 2	1,06	0,118	7,3	69,4
3	2,07	0,280	0,657	0,429	0,85 2	1,01	0,045	3,7	65,7
4	3,04	0,270	0,579	0,378	0,79 3	0,97	0,042	7,8	57,9
5	4,10	0,250	0,480	0,276	0,65 4	1,06	0,581	9,9	48
6	5,02	0,240	0,390	0,224	0,25	0,92	0,046	9	39
7	6,08	0,220	0,272	0,122	0,17 3	1,06	0,078	11,8	27,2
8	7,06	0,204	0,188	0,040	0,08 1	0,98	0,068	8,4	18,8
9	8,02	0,200	0,165	0,020	0,03	0,96	0,017	2,3	16,5
10	9,03	0,198	0,153	0,010	0,01 3	1,01	0,005	1,2	15,3
11	10	0,197	0,147	0,005	0,00 7	0,97	0,003	0,6	14,7
12	11,15	0,196	0,138	0,000	0,00 3	1,15	0,004	0,9	13,8

Fuente: HIDALGO W. 2012

(a)

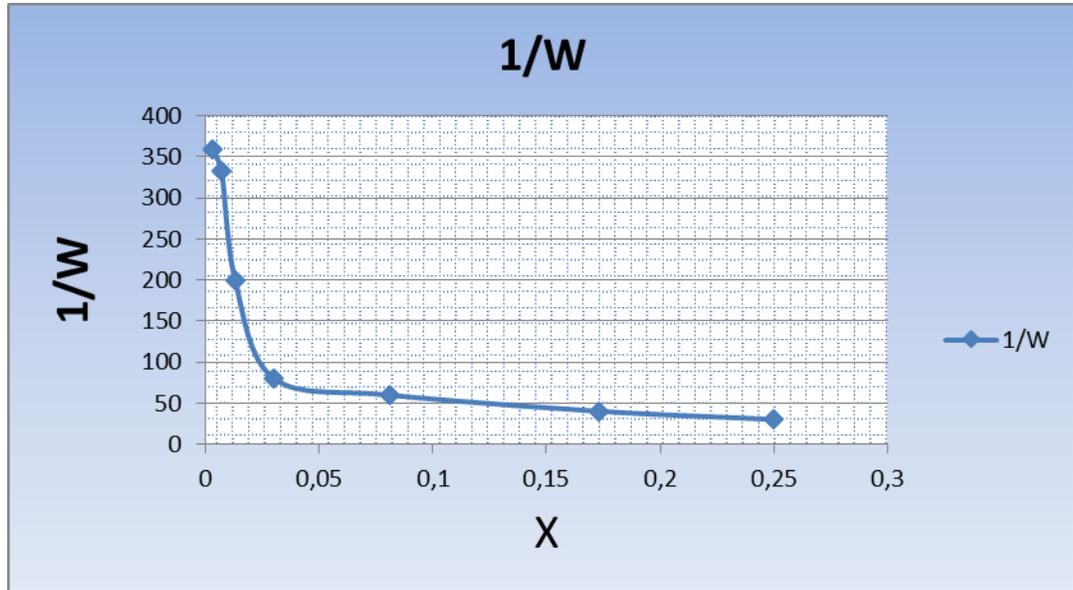


(b)



Gráfica 3.3.-1. Curvas típica de velocidad de secado para condiciones de secado constante:

(a) Gráfica de los datos como humedad libre en función del tiempo, (b) Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre.



Graf. 3.3-2. Curva de Humedad x en función de 1/W

Se grafica las variables de 1/W en función de x, y se determina el área bajo la curva.

Para el período de velocidad decreciente desde $X_{critica} = 0,250$ hasta $X_{final} = 0,003$, aplicamos el método de integración gráfica. A partir de la curva de velocidad de secado se prepara la siguiente tabla leyendo los valores de velocidad (W) para los diferentes valores de x.

3.3.1 VARIABLES DEL PROCESO.

**TABLA 3.3.1-1
VARIABLES DEL PROCESO.**

Variable	Descripción	Indicador	Índice
Temperatura	Cámara de Secado	85	C
Humedad	Humedad relativa de la madera	86,7%	%
Tiempo	Tiempo de secado	288	h

Fuente: HIDALGO W., 2012.

3.3.2 PÉRDIDAS EN LA CÁMARA.

**TABLA 3.3.2-1
PÉRDIDAS EN EL SISTEMA.**

Elementos de construcción	K Kcal/m ² *h*C	Área m ²	Δt (C)	Q* Kcal/ h
Paredes	0,63	69,3	70	3060,54
Puerta	0,63	9	70	226,8
Techo	0,64	48,75	70	2184
Piso	0,33	48,75	70	1126,13
Total				6597,47

Fuente: HIDALGOW.,2012

3.3.3. CONSUMO DE ENERGÍA.

La leña no tiene ningún costo ya que el taller genera la cantidad de leña necesaria para alimentar el caldero, el precio que debemos tener en cuenta, es la mano de obra para alimentar de leña el caldero.

**TABLA 3.3.3-1.
COSTOS POR LOTE DE SECADO.**

COMBUSTIBLE	CANTIDAD	PRECIO U.S.D	TOTAL
DIESEL	360 galones	1,05	378
LEÑA	3628,8 Kg/h	0	0

FUENTE: HIDALGO W. 2012

Como se ha demostrado que la mejor opción de energía es la leña se recomienda utilizar aserrín, o pellets de aserrín, el caldero debe de constar con sistema de inyección de aserrín como se muestra en el (ANEXO 5).

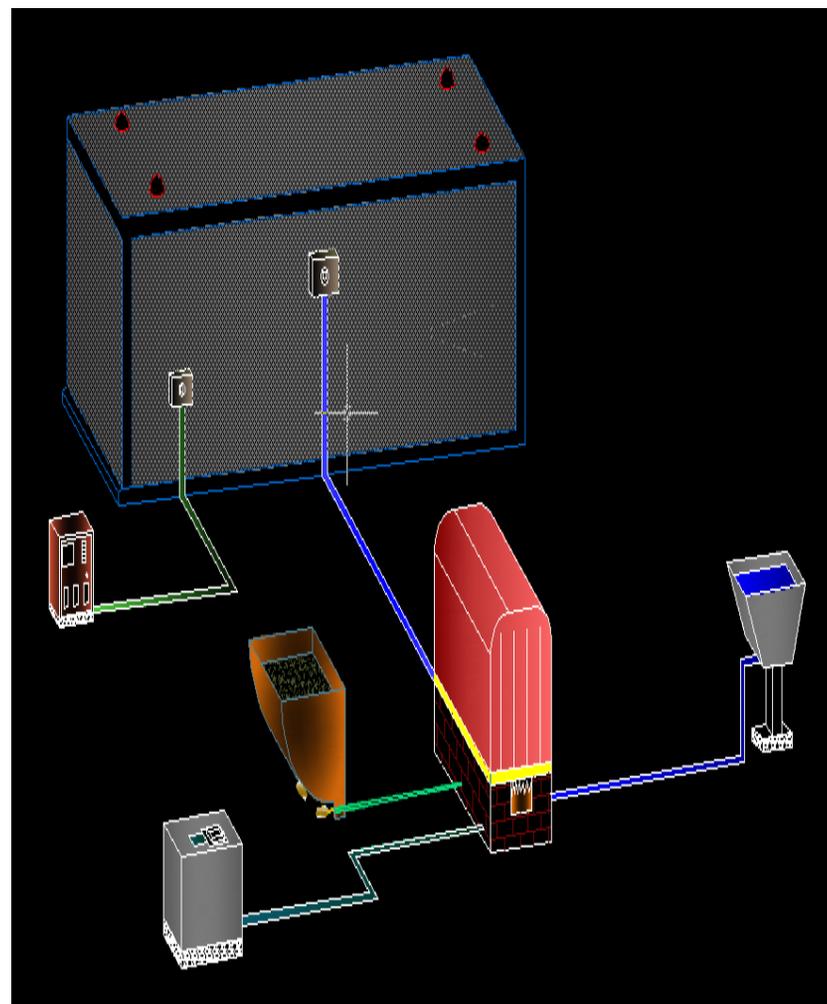
3.3. PROPUESTA.

**Tabla 3.4-1.
DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA.**

DESCRIPCIÓN.	VARIABLE.	INDICADOR.
Largo	8,5	M
Ancho	7,5	M
Alto	4	M
Aluminio	blanco	----
Bigas de aluminio	blanco	----

112

Termómetro	200	C	
Tornillo sin fin	2	M	
Motor de tornillo sin fin	1	Hp	
Motor de que permite caer el aserrín tornillo sin fin.	2	Hp	
Tanque de aserrín	1	M ²	
Blower	1	Hp	
Tanque de diesel	100	Gl	
Bomba de expulsión de diesel	1	Hp	
Caldera	6	Hp	
Diámetro nominal	0,5	pul.	



Diámetro exterior	21,3	mm
Espesor nominal	2,77	mm
Presión de prueba	49,24	Kg/h
Largo	45	m
Material	Acero inoxidable, bronce.	---

**SISTEMA DE CALEFACCIÓN. SERPENTINES O RADIADORES.
SISTEMA DE VENTILACIÓN.**

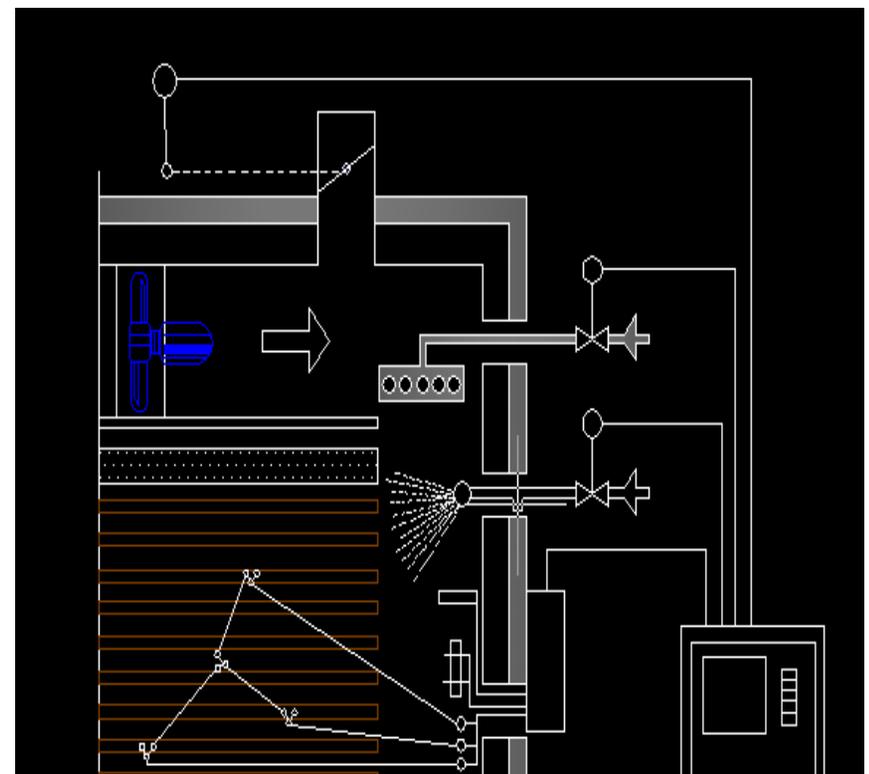
Cantidad.	4	---
Tipo	axial	---
Caudal	76,500	m3/h
Material	Aluminio	--

SISTEMA DE HUMECTACIÓN.

Atomizadores	bronce	---
Cantidad	2	---

113

113



LÍNEA DE VAPOR.

Diámetro nominal	0,5	pul.
Diámetro exterior	21,3	mm
Espesor nominal	2,77	mm
Presión de prueba	49,24	Kg/h
Largo	45	m
Material	Acero inoxidable, bronce.	---

FUENTE: HIDALGO W.2012

3.5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

En los análisis obtenidos en el laboratorio en el secador de bandejas se logró obtener una humedad final del 13,87%, pero en tablas de 9,7 cm de ancho y 15 de largo, y en un tiempo de 11,15 h. siendo esta una pequeña escala para después dimensionar la cámara de sacado a gran escala.

La temperatura que se obtuvo después de una serie de pruebas realizadas a diferentes temperaturas se determinó que la eficiente es de 85 C en el secador de bandejas que es de inducción de aire caliente seco, mientras que en el diseño es de aire húmedo, por lo que la temperatura de secado podría variar considerablemente, así como vario el tiempo de secado que es de 288 horas.

Con los cálculos pertinentes se diseñó la cámara de secado como la altura, ancho, largo, que se muestran en la Tabla 3.4-1. Determinando la capacidad máxima de carga que es de 23m³, pero cabe indicar que al momento de realizar los cálculos se lo realizaron para una capacidad de 25 m³, para obtener una mejor eficiencia en la cámara.

Para esta capacidad de madera se calculó la potencia del cardero que es de $45162 \frac{Kcal}{h}$ (Tabla 3.4-1.) o de 6Hp de potencia con quemador de viruta y diesel simultáneamente.

Los 3 serpentines o radiadores deben ser de 1200Kcal/h, calor necesario para la fase de secado es de $37041,04 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$ (Tabla 3.4-1.), de igual manera el calor necesario para eliminar el agua de la madera es de $30312,76 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$. (Tabla 3.4-1.) , Valor que proporcionara una humedad final de 13,87% .

Debemos tomar en cuenta que, para el desarrollo de este trabajo se tomó como dato fundamenta la capacidad calorífica del Eucalipto (*Eucalyptus sp*) el mismo que es de 0,57 kcal/m³ °C Peso específico: 0,78 g/cm³ ya que es una de las maderas más duras, y fue con la que se trabajó para la obtención de los datos correspondientes.

3.6. ESTUDIOS DE COSTOS.

3.6.1. COSTOS DIRECTOS.

Son aquellos que están involucrados en la transformación de los materiales y se los puede identificar directamente con el producto, principalmente son:

- Materiales directos.
- Mano de obra directa.

Al rubro de materiales directos se lo subdividió en:

- Elementos de la estructura y paneles.

➤ Cimentación y piso.

➤ Equipos y accesorios.

3.6.2. ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA Y PANELES.

**TABLA 3.6.2-1.
ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA Y PANELES.**

Item	Descripción	Uni.	Canti.	V. unitario	Sub. Total
1	Paneles modulares de aluminio (1,80 x 0,9)m	m ²	340	8,20	2,780
2	Paneles modulares de aluminio (techo)	m ²	32	8,20	262,4
3	Perfil de aluminio 4 x 3,2 (6,4)mm	m	38	7	266
4	Perfil de aluminio 4 x 3,20 (6,4)mm	m	120	5,50	660
5	Pernos 5/16 UNC	u	350	0,20	70
6	Pernos 7/16 – 14 UNC	u	65	0,40	26
7	Planchas de poliuretano	m ²	150	15	2,250
				TOTAL	6314,4

FUENTE: HIDALGO W.,2012.

3.6.3. EQUIPOS Y ACCESORIOS.

**TABLA 3.6.3-1.
EQUIPOS Y ACCESORIOS**

Item	Descripción	Uni.	Cant.	V.Uni.	Sub.Total
1	Caldero para biomasa y diesel de 5BHP	u	1	5000	5000
2	Temporizador digital, 100 – 240 VAC, rango 0.01 seg. a 9990 horas	u	1	220	220
3	Materiales (Hormigón armado con una resistencia de 200Kg/cm2)	m3	17	80,64	1370,88
4	Intercambiadores de calor de cobre y aletas de aluminio	u	4	317	1268
5	Pistón de simple efecto modelo G/2, presión 6 bares.	u	4	210	840
6	Válvula operacional de simple efecto de 2 ½”	u	1	680	680
7	Motores para alta temperatura 165 o C, 220 – 460 / 3 / 60 Hz. Con ventiladores de aluminio.	u	4	750	3000
8	Solenoides para vapor de ½, normalmente cerrada.	u	1	125	125
9	Solenoides operacionales de 3 vías de ¼	u	4	46	184
10	Trampas de vapor de balde invertido, ¾ NPT.	u	5	117	585
11	Controlador programable Watlow, serie F4.	u	1	320	320
12	Rtd Watlow – Gordon, diámetro 3/16”	u	2	88,75	177,5
				TOTAL	13770,38

FUENTE: HIDALGO W., 2012

3.6.5. RESUMEN DE COSTOS DIRECTOS.

**TABLA 3.6.5-1.
RESUMEN DE COSTOS DIRECTOS**

Item	Descripción	V. Total
1	Elementos de la estructura y paneles	1268
2	Equipos y accesorios	13770,38
3	Máquinas y herramientas	400
4	Materiales consumibles	600
5	Transporte	100
6	Mano de obra directa	1265
	TOTAL	17403,38

FUENTE: HIDALGO W., 2012

3.6.6. COSTOS INDIRECTOS.

No se encuentran entradas de índice.

Se los conoce de esta manera debido a que no se los puede identificar de manera directa con el producto. Se los conoce también como costos de fabricación, entre estos encontramos:

- Insumos.
- Otros.

Los costos de los insumos se considera un 1.5% del costo total de la obra.

3.6.7. INSUMOS.

**TABLA 3.6.7-1.
INSUMOS.**

Item	Descripción	Unidad	cantidad	V. total	
1	Energía eléctrica, agua, teléfono	%	1,5	250	375
				TOTAL	375

FUENTE: HIDALGO W., 2012

3.7. RESUMEN DE COSTOS INDIRECTOS.

**TABLA 3.7-1.
RESUMEN DE COSTOS INDIRECTOS**

Item	Descripción	V. total
1	Insumos	400
2	Otros	800
	TOTAL	1300

FUENTE: HIDALGO W.,

3.8. COSTO TOTAL APROXIMADO DEL PROYECTO.

Para obtener el costo total aproximado del proyecto se suman los valores obtenidos tanto en costos directos, como en costos indirectos, también se considera un valor correspondiente a imprevistos que es igual al 5% del costo total.

TABLA 3.8-1.
COSTO APROXIMADO DEL PROYECTO

Item	Descripción	V. total
1	Costos directo	17403,38
2	Costos indirectos	1300
3	Imprevistos	1100
	TOTAL	18,538,38

FUENTE: HIDALGO W., 2012

CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. CONCLUSIONES.

Luego de haber realizado y analizado los datos obtenidos se concluye lo siguiente:

- Después de haber realizado los cálculos pertinentes y de haber identificado las variables del proceso de secado se diseñó la cámara de sacado con las medidas y especificaciones ya anteriormente mencionadas.
- Se logró realizar los estudios sensoriales para analizar y caracterizar los diferentes tipos de maderas que poseen diferentes porcentajes de humedades.
- Después de hacer el estudio de las variables se concluye que la temperatura fue de 85 C, la velocidad de secado se determinó que fue de 288h, y que el porcentaje de humedad final fue de 13,87%.
- Al utilizar como fuente de energía el aserrín y la viruta, simultáneamente con el diesel, la empresa ahorrara dinero en el gasto del combustible y reducirá la contaminación al medio ambiente.
- La cámara está diseñada en aluminio para evitar los efectos de la corrosión y para alargar la vida útil de la misma, los serpentines o radiadores están dispuestos en bronce, y los accesorios y tuberías de la línea de vapor en acero inoxidable norma ASTM A-53 Grado A / Schedule 40. además que deberán llevar aislante térmico para evitar pérdidas de calor.

- El estudio de costos del diseño de la cámara de secado para la madera de la fábrica de muebles HIDALGO tiene un valor aproximado de 18,538,38 dólares, pero este valor puede variar dependiendo de la calidad de los materiales y de los componentes que se utilicen en su construcción.

4.2. RECOMENDACIONES.

- ❖ Se recomienda revisar la madera que esté libre de insectos, polillas, hongos etc. etc. Antes que entre al proceso de secado de la misma.
- ❖ Todos los tablones sean de las mismas medidas para evitar falla, y para conseguir la humedad deseada.
- ❖ Utilizar tablones en perfecto estado sin arqueaduras ni fisuras para evitar que estos daños empeoren durante el secado.
- ❖ Se debe utilizar separadores de madera para evitar más pedidas de calor en el sistema.
- ❖ Es necesario utilizar prensas en cada pila de madera para reducir los defectos, mal formaciones, o rupturas en los tablones durante el proceso de secado.
- ❖ Después del proceso de secado se recomienda almacenar la madera en pilas sin separadores hasta el momento de su uso y en un lugar donde se pueda mojar.
- ❖ Se recomienda que los equipos y accesorios que conforman en el estudio d cámara sean los mismos para evitar cualquier efecto secundario tanto en los cálculos como en la eficiencia de la cámara.
- ❖ Se recomienda utilizar aislante térmico en las cañerías externas e internas para evitar las pérdidas de calor existentes en el sistema de secado.

5. BIBLIOGRAFÍA.

1. APPEL. J., Manual secado de madera. 2da. Ed. D.F. - México., 1986. Pp. 1-68.
2. BRITO, H., texto Básico de Operaciones Unitarias. Riobamba- Ecuador., 2001.Pp. 17-35.
3. BROWN. George G,. Operaciones Básicas de la Ingeniería Química. Madrid – España., Marín S.A., 1965. Pp. 58-62, 73
4. CABE W. / SMITH J., Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. 6a. ed. D.F. - México., Mc Graw Hill , 1980. Pp. 85-92.
5. CHRISTIE, J, GEANKOPLIS., Proceso de Transporte y Operaciones Unitarias. 1a. ed. D.F. - México., Continental, 1982. Pp. 450-483.
6. FOUST, A., Principio de Operaciones Unitarias. 7a. ed. D.F. - México: CECSA., 1998. Pp. 80-135.
7. HIMMELBLAU, D., Balance de Materia y Energía D.F. - México: Prentice- Hall, Hispanoamérica., 1994. Pp. 65-84.
8. PAD-REFORT., Manual de diseño para madera del Grupo Andina 3ra. Ed. Santiago de Chile – Chile., Alcalá 1992. Pp. 31- 78.
9. HOLMAN, J., Transferencia de Calor. 2a. ed. D.F. – México. Mc Graw Hill, 1978. Pp. 60 -93.
10. JUNAC., Manual del Grupo Andino para el secado de maderas, Junta del Acuerdo De Cartagena. Lima- Perú., 1988. Pp.650 - 675.
11. KENNET, J., Termodinámica. 6a. ed. Barcelona – España., Mc. Graw Hill, 2001. Pp. 468-486

12. MANUAL DEL GUPO ANDINO PARA LA PRESERVACIÓN DE LA MADERA.,
Cali – Colombia., Carbajal CA, 1988. Pp. 157-158.
13. MCVALENTINO, A., Secado de madera en cámara basado en radiación de
ultrasonido de potencia Lima- Perú, Copyright., 1989.Pp. 25 – 40.
14. MORING, V., Termodinámica. 2a. ed. D.F. – México., Mc Gran Hill, 1973.
15. NONHEBEL, G., y MOSS, A.D.M. Secado de Sólidos en la Industria Química.
Barcelona- España., Reverté, 1979. Pp. 115 – 136.
16. NUTSCH. W., Tecnología de la madera y del mueble. Lima – Perú.,
Copyright., 1990. Pp. 73- 83.
17. ORTÍZ, M., Manual de preservación de la madera SECAP., Riobamba – Ecuador.,
Freire., 1982 Pp. 4-62.
18. PERRY, J., Manual del Ingeniero Químico. 3a. ed. D.F. – México., Mc Gran Hill.,
1974.Pp. 140 – 162.
19. SAAVEDRA, A., Secado de la madera de eucalipto blanco. 3ra. ed. D.F.- México.,
Limusa., 1991. Pp. 2-10.
20. SMITH, C., Control Automático de Procesos. 2a. ed. D.F. - México: Limusa.,
1995.Pp. 80 - 112.
21. ULRICH, G., Procesos de Ingeniería Química. D.F. – México., Mc Graw Hill.,
1995. Pp. 76 - 97.
22. VIAN A, OCON J., Elementos de Ingeniería Química. 2a. ed. Madrid – España.,
Aguilar., 2001.Pp.138 - 154

- 23.** CAMPOS, D, VITERI H., Diseño para secadores de madera. Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica., Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., Riobamba- Ecuador., Tesis., 2008. Pp. 23-94.
- 24.** HURTADO, G., Tecnología del secado de la madera para exportación en el Ecuador. Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica., Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., Riobamba - Ecuador. Tesis., 2000. Pp. 49-12.
- 25.** LEON, D., y GOMEZ, J., Diseño y Construcción de un Secador de Bandejas para Germen de Trigo. Facultad de Ciencias., Escuela de ingeniería Química., Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., Riobamba – Ecuador., Tesis., 2006.Pp. 80 – 100.

5.1. BIBLIOGRAFÍA DE INTERNET.

26. AISLANTE TÉRMICO.

<http://wikipedia.org/wiki/>

2012-4-2

27. AGENTES DE DETERIORO DE LA MADERA.

[http://www.es.wikipedia.org/wiki/corte de la madera](http://www.es.wikipedia.org/wiki/corte_de_la_madera)

2012-7-19

28. *BIOCOMBUSTIBLES A PARTIR DE LA MADERA.*

<http://www.ecplogiaverde.com/>

2012-4-2

29. CALDERAS *BIOCOMBUSTIBLE*

<http://www.ecologiaverde.com/>

2012-4-22

30. CONCEPTOS DE LA MADERA.

[http://html.scribd.com/doc/54524427/ANATOMIA-DE-LA-MADERA.](http://html.scribd.com/doc/54524427/ANATOMIA-DE-LA-MADERA)

2011-7-15

31. CORTES DE LA MADERA.

[http://htmlwww.frudua.com/corte radial vs corte tangencial.htm](http://htmlwww.frudua.com/corte_radial_vs_corte_tangencial.htm)

2011- 7-19

32. DEFINICIÓN DE SECADO

<http://www.virtual.unal.edu.com>

2011-8-14

33. MUEBLES DOMÉSTICOS.

[http://htmlblogspot.com/.../secado-al-horno-de-madera_meto.](http://htmlblogspot.com/.../secado-al-horno-de-madera_meto)

2012- 4 -15

34. PROPIEDADES DE LA MADERA.

<http://htmliesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/.../materiales.Madera>

2011- 7- 21.

35. PROTECCIÓN DE LA MADERA.

<http://www.es.wikipedia.org/wiki/>

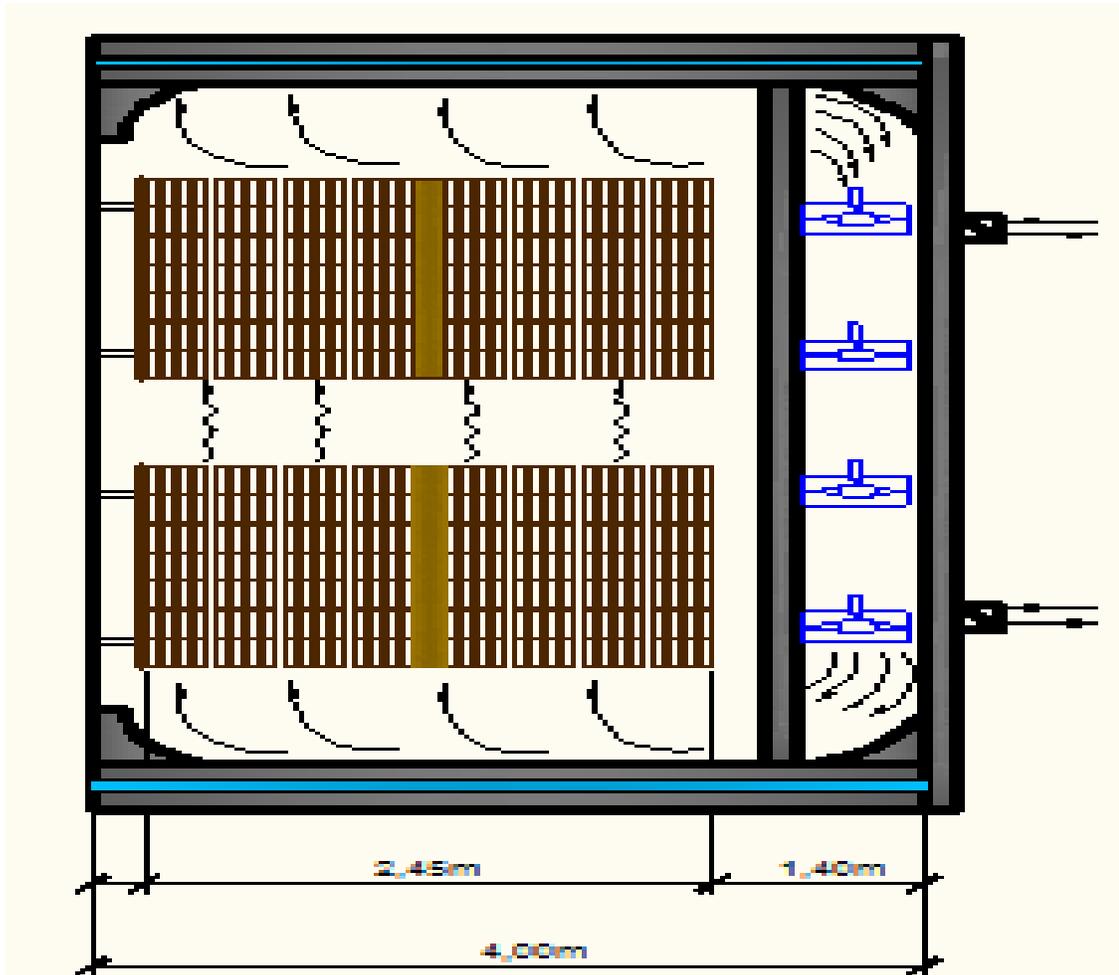
2011-7-21

36. SECADO.

<http://www.armfield.com>

2012-8-4

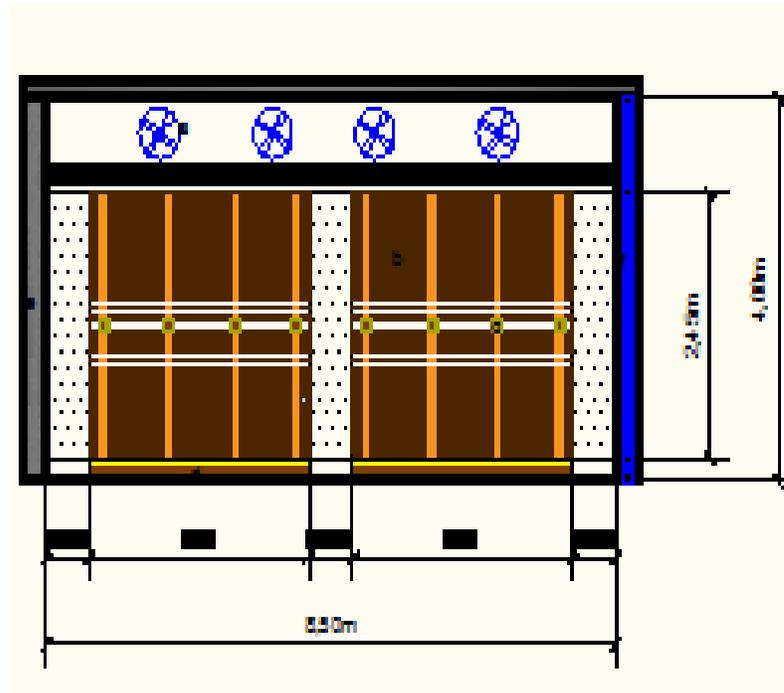
ANEXO I
VISTA DE LA CAMARA DE SECADO



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA William Oswaldo Hidalgo Broncano	CAMARA DE SECADO PARA MADERA		
	<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Certificado <input checked="" type="radio"/> Por aprobar <input type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Para información 		LAMINA	ESCALA	FECHA
			18 0	Normal	2012/12/12

○ Por calificar

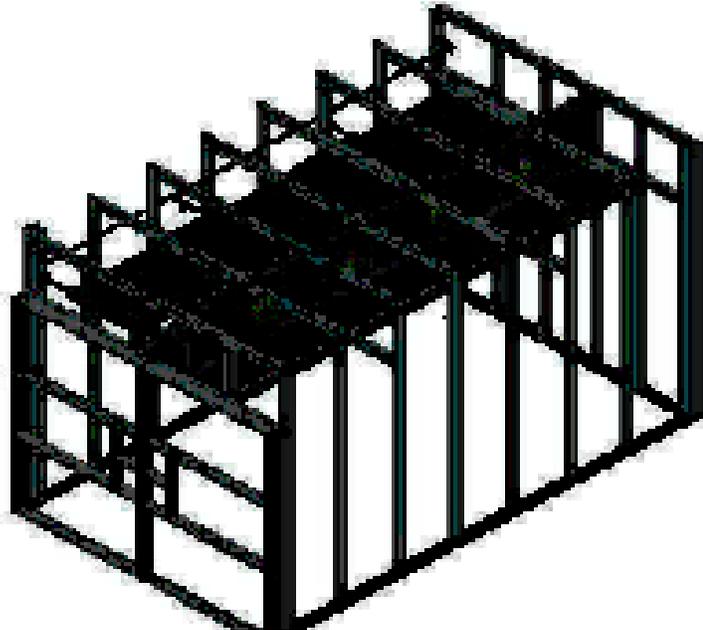
ANEXO II
VISTA LATERAL DE LA CAMARA DE SECADO



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA William Oswaldo Hidalgo	CAMARA DE SECADO PARA MADERA		
	<ul style="list-style-type: none"> ○ Certificado ● Por aprobar 		LAMINA	ESCALA	FECHA

	<ul style="list-style-type: none"> ○ Aprobado ○ Para información ○ Por calificar 	Broncano	18 0	Normal	2012/12/12
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------	------	--------	------------

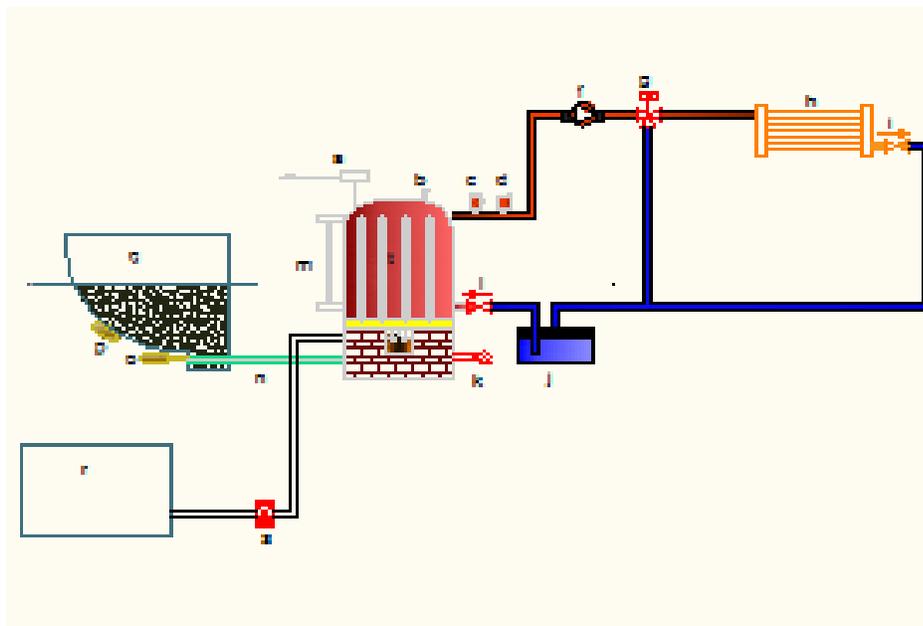
ANEXO III
ESTRUCTURA METALICA DE LA CAMARA



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA	CAMARA DE SECADO PARA MADERA
	<ul style="list-style-type: none"> ○ Certificado 		

<ul style="list-style-type: none"> • Por aprobar ○ Aprobado ○ Para información ○ Por calificar 	QUIMICA	LAMINA	ESCALA	FECHA
	William Oswaldo Hidalgo Broncano	18 0	Normal	2012/12/12

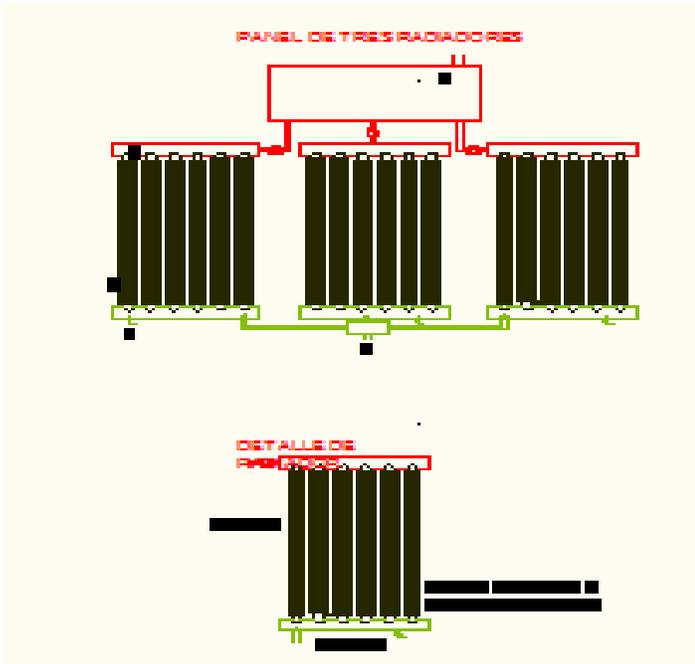
ANEXO IV
CIRCUITO HIDRÁULICO DE CALEFACCIÓN DE LA CAMARA DE SECADO



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA	CAMARA DE SECADO PARA MADERA
	○ Certificado		

<ul style="list-style-type: none"> • Por aprobar ○ Aprobado ○ Para información ○ Por calificar 	QUIMICA William Oswaldo Hidalgo Broncano	LAMINA	ESCALA	FECHA
		18 0	Normal	2012/12/12

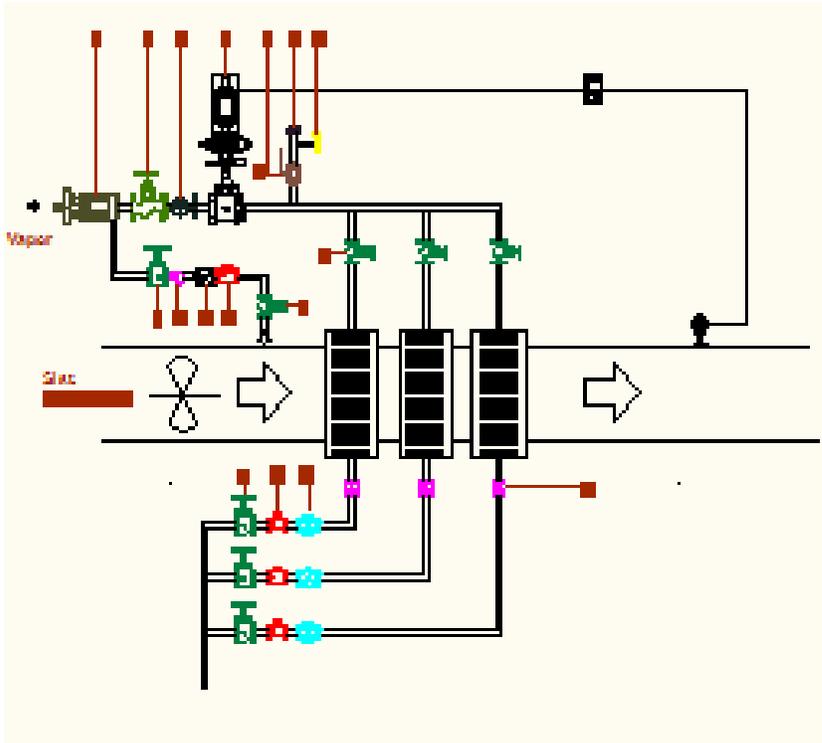
ANEXO V
SERPENTÍN O RADIADOR DE CALOR.



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	CAMARA DE SECADO PARA MADERA
-------	------------------------	--------------------------------------------	------------------------------

<ul style="list-style-type: none"> ○ Certificado • Por aprobar ○ Aprobado ○ Para información ○ Por calificar 	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA William Oswaldo Hidalgo Broncano	LAMINA	ESCALA	FECHA
		18 0	Normal	2012/12/12

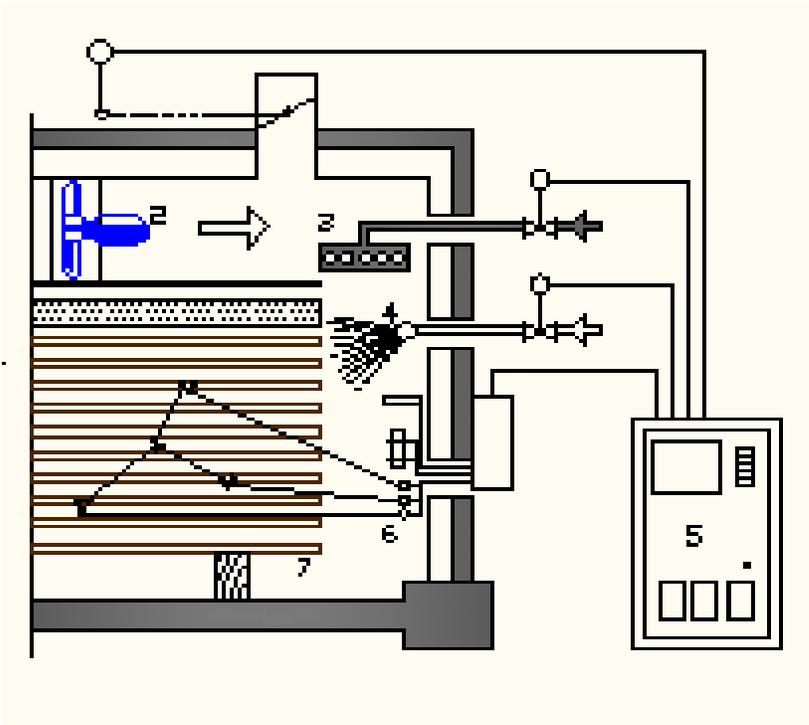
ANEXO VI
ACCESORIOS DEL CIRCUITO HIDRAULICO.



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA	CAMARA DE SECADO PARA MADERA
	<ul style="list-style-type: none"> ○ Certificado 		

<ul style="list-style-type: none"> • Por aprobar ○ Aprobado ○ Para información ○ Por calificar 	QUIMICA	LAMINA	ESCALA	FECHA
	William Oswaldo Hidalgo Broncano	18 0	Normal	2012/12/12

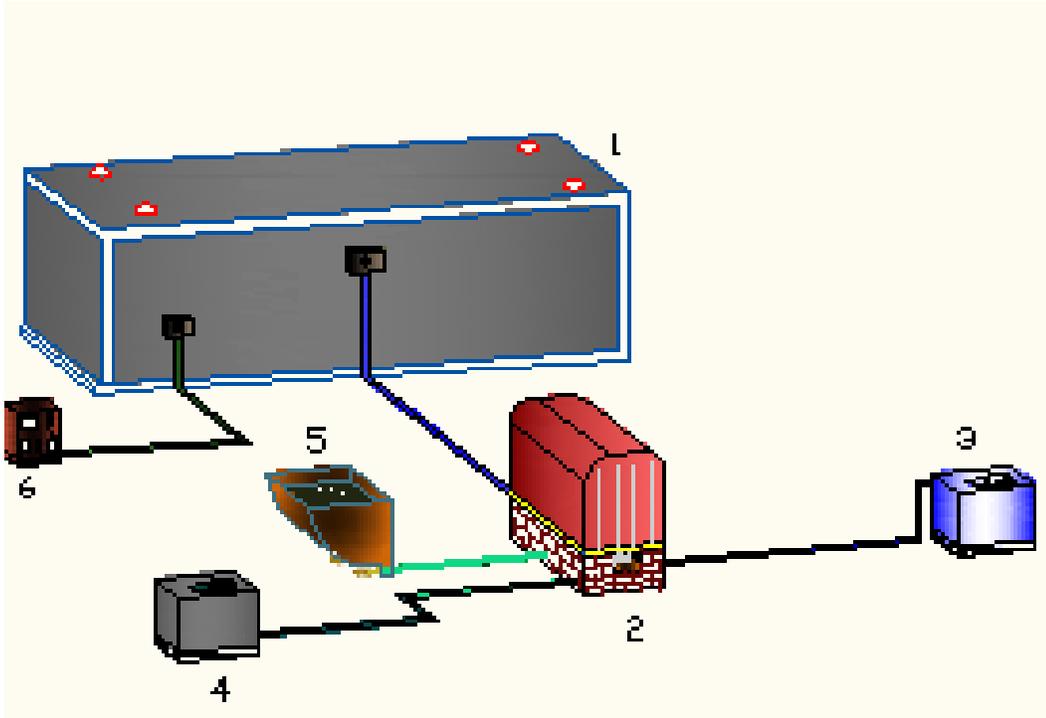
ANEXO VII
SISTEMAS DE LA CÁMARA DE SECADO.



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	CAMARA DE SECADO PARA MADERA
-------	------------------------	--------------------------------------------	------------------------------

<ul style="list-style-type: none"> ○ Certificado ● Por aprobar ○ Aprobado ○ Para información ○ Por calificar 	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA William Oswaldo Hidalgo Broncano			
		LAMINA	ESCALA	FECHA
		18 0	Normal	2012/12/12

ANEXO VIII
SISTEMA COMPLETO DE LA CAMARA DE SECADO.



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	CAMARA DE SECADO PARA MADERA
-------	------------------------	--------------------------------------------	------------------------------

<ul style="list-style-type: none"> ○ Certificado ● Por aprobar ○ Aprobado ○ Para información ○ Por calificar 	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA William Oswaldo Hidalgo Broncano			
		LAMINA	ESCALA	FECHA
		18 0	Normal	2012/12/12

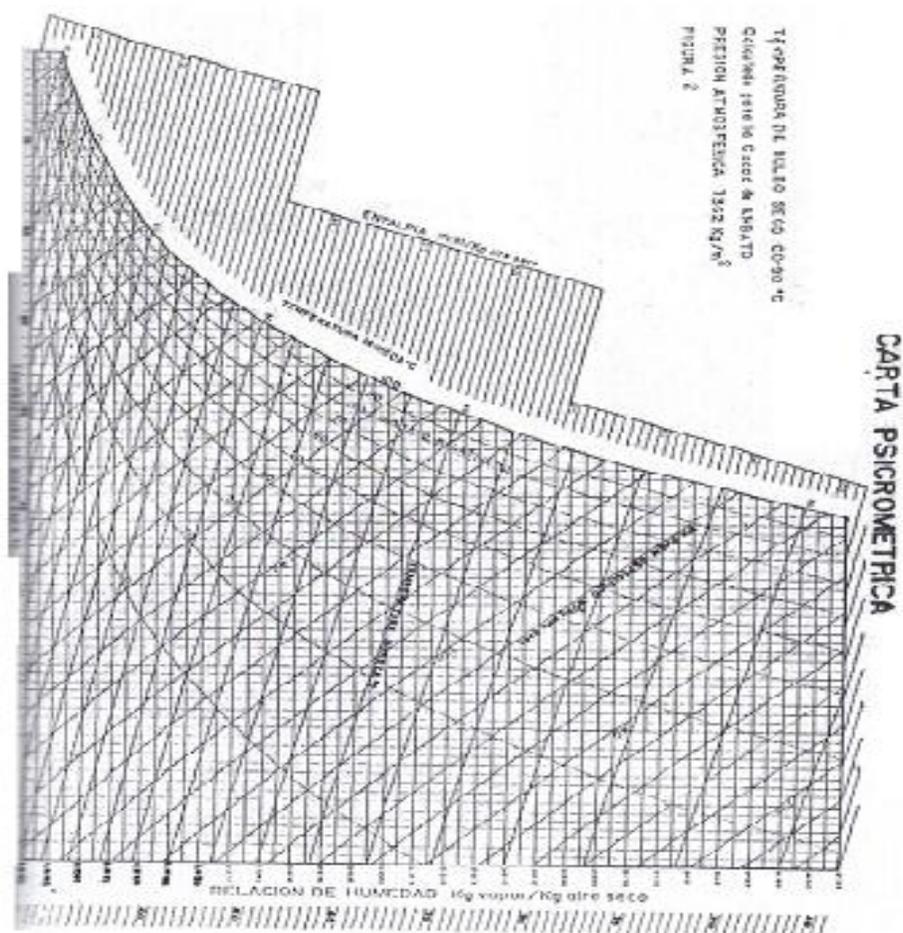
**ANEXO IX
FOTOGRAFÍA DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO.**



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	CAMARA DE SECADO PARA MADERA
-------	------------------------	--------------------------------------------	------------------------------

<ul style="list-style-type: none"> ○ Certificado ● Por aprobar ○ Aprobado ○ Para información ○ Por calificar 	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA William Oswaldo Hidalgo Broncano	LAMINA	ESCALA	FECHA
		18 0	Normal	2012/12/12

ANEXO X
DIAGRAMA PSICOÉTRICO DE LA CIUDAD DE AMBATO.



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	CAMARA DE SECADO PARA MADERA
-------	------------------------	--------------------------------------------	------------------------------

<ul style="list-style-type: none"> ○ Certificado ● Por aprobar ○ Aprobado ○ Para información ○ Por calificar 	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA William Oswaldo Hidalgo Broncano	LAMINA	ESCALA	FECHA
	18 0	Normal	2012/12/12	

ANEXO XI

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA Y VAPOR DE AGUA.

Propiedades físicas del aire, a 1 atm.

t, °C	ρ Kg/m ³	μ 10 ⁻⁴ Kg/m·seg.	C_p Kcal/Kg·°C	k Kcal/mh·°C	β 10 ⁻⁴ °C ⁻¹	λ 10 ⁻⁴ m ² /seg.	α 10 ⁻⁴ m ² /seg.	$Pr = \frac{\mu}{\alpha}$	$\frac{\rho \mu}{\alpha}$ 10 ⁴ m ⁻¹
0	1,293	1,709	0,238	0,0208	3,68	1,32	1,88	0,702	39,5
50	1,093	1,931	—	0,0240	3,10	1,78	2,37	0,695	21,4
100	0,946	2,175	0,237	0,0272	2,68	2,30	3,37	0,681	12,65
150	0,834	2,385	—	0,0304	2,36	2,86	4,28	0,668	8,02
200	0,746	2,582	0,236	0,0336	2,11	3,46	5,30	0,652	5,35
250	0,675	2,770	—	0,0368	1,97	4,10	6,40	0,640	3,74
300	0,616	2,946	0,235	0,0394	1,74	4,78	7,57	0,632	2,71

TABLA A. 2-5
Propiedades físicas del agua, a 1 atm.

t, °C	ρ Kg/m ³	μ 10 ⁻⁴ Kg/m·seg.	C_p Kcal/Kg·°C	k Kcal/mh·°C	β 10 ⁻⁴ °C ⁻¹	λ Kcal/Kg	ν 10 ⁻⁴ m ² /seg.	α 10 ⁻⁴ m ² /seg.	$Pr = \frac{\mu}{\alpha}$	$\frac{\rho \mu}{\alpha}$ 10 ⁴ m ⁻¹
0	999,8	1,794	1,005	0,491	—	596,4	1,794	1,35	12,2	40,4
10	999,7	1,310	1,002	0,504	0,88	590,9	1,310	1,40	9,4	53,5
20	998,2	1,009	0,9995	0,517	2,07	585,5	1,011	1,44	7,02	67,4
30	995,7	0,800	0,9986	0,530	3,04	580,0	0,803	1,48	5,43	82,4
40	992,2	0,654	0,9987	0,543	3,85	574,5	0,659	1,52	4,33	97,7
50	988,1	0,549	0,9982	0,555	4,60	568,9	0,556	1,56	3,58	113,0
60	983,2	0,470	1,000	0,567	5,21	563,2	0,478	1,60	2,98	128,1
70	977,8	0,407	1,001	0,580	5,88	557,3	0,410	1,63	2,53	143,2
80	971,8	0,357	1,003	0,592	6,41	551,3	0,367	1,69	2,18	158,2
90	965,3	0,317	1,005	0,604	7,00	545,3	0,328	1,73	1,90	172,6
100	958,4	0,284	1,008	0,616	7,48	539,0	0,296	1,77	1,67	186,9
110	951,0	0,256	1,011	0,628	7,9	532,6	0,269	1,81	1,48	201
120	943,4	0,232	1,014	0,640	8,4	525,9	0,246	1,86	1,32	215
130	935,2	0,212	1,017	0,652	8,0	519,0	0,227	1,90	1,19	227
140	926,4	0,196	1,020	0,664	9,7	511,9	0,212	1,95	1,08	236
150	917,3	0,184	1,024	0,678	10,4	504,5	0,201	2,00	1,00	245
160	907,5	0,174	1,027	0,688	11,0	496,9	0,192	2,05	0,935	250

TABLA A. 2-6
Propiedades físicas del vapor de agua a 1 atm.

t, °C	ρ Kg/m ³	μ 10 ⁻⁴ Kg/m·seg.	C_p Kcal/Kg·°C	k Kcal/mh·°C	ν 10 ⁻⁴ m ² /seg.	α 10 ⁻⁴ m ² /seg.	$Pr = \frac{\mu}{\alpha}$
100	0,580	1,28	0,51	0,0208	2,21	1,96	1,12
200	0,453	1,67	0,46	0,0281	3,68	3,76	0,978
300	0,373	2,02	0,43	0,0366	5,41	5,70	0,948
400	0,317	2,30	0,49	0,0473	7,24	8,49	0,876
500	0,275	2,68	0,52	0,0646	9,73	12,54	0,777

A presiones diferentes de 1 atm., las propiedades del vapor de agua pueden estimarse así:
 Densidad: A partir del volumen específico, por interpolación en las tablas del vapor de agua recu-
 tidado (véase tabla A.2-7).
 Calor específico: Por la ecuación aproximada $c_p = 1.8h(0.01)$, sobre las mismas tablas.
 Viscosidad absoluta: Asumida ligeramente con la presión, pero el aumento puede despreciarse, en
 primera aproximación. Vale lo dicho para la viscosidad.
 Conductividad: Vale lo dicho para la viscosidad.
 Las restantes propiedades son función de las anteriores. En todo caso se recurrirá a obras más com-
 pletadas (véase, p. ej., el apéndice de la obra *Interoptions in the transfer of mass and heat*, Eckert, Mc-
 Graw-Hill Book, Nueva York-Toronto-Londre, 1950).

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA William Oswaldo Hidalgo Broncano	CAMARA DE SECADO PARA MADERA		
	<ul style="list-style-type: none"> ○ Certificado ● Por aprobar ○ Aprobado ○ Para información ○ Por calificar 		LAMINA	ESCALA	FECHA
			18 0	Normal	2012/12/12

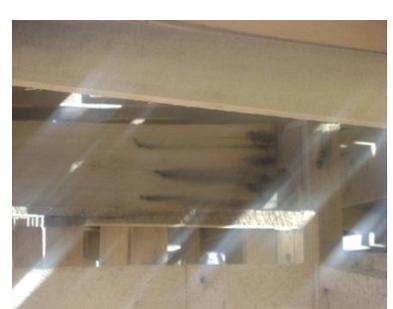
ANEXO XII

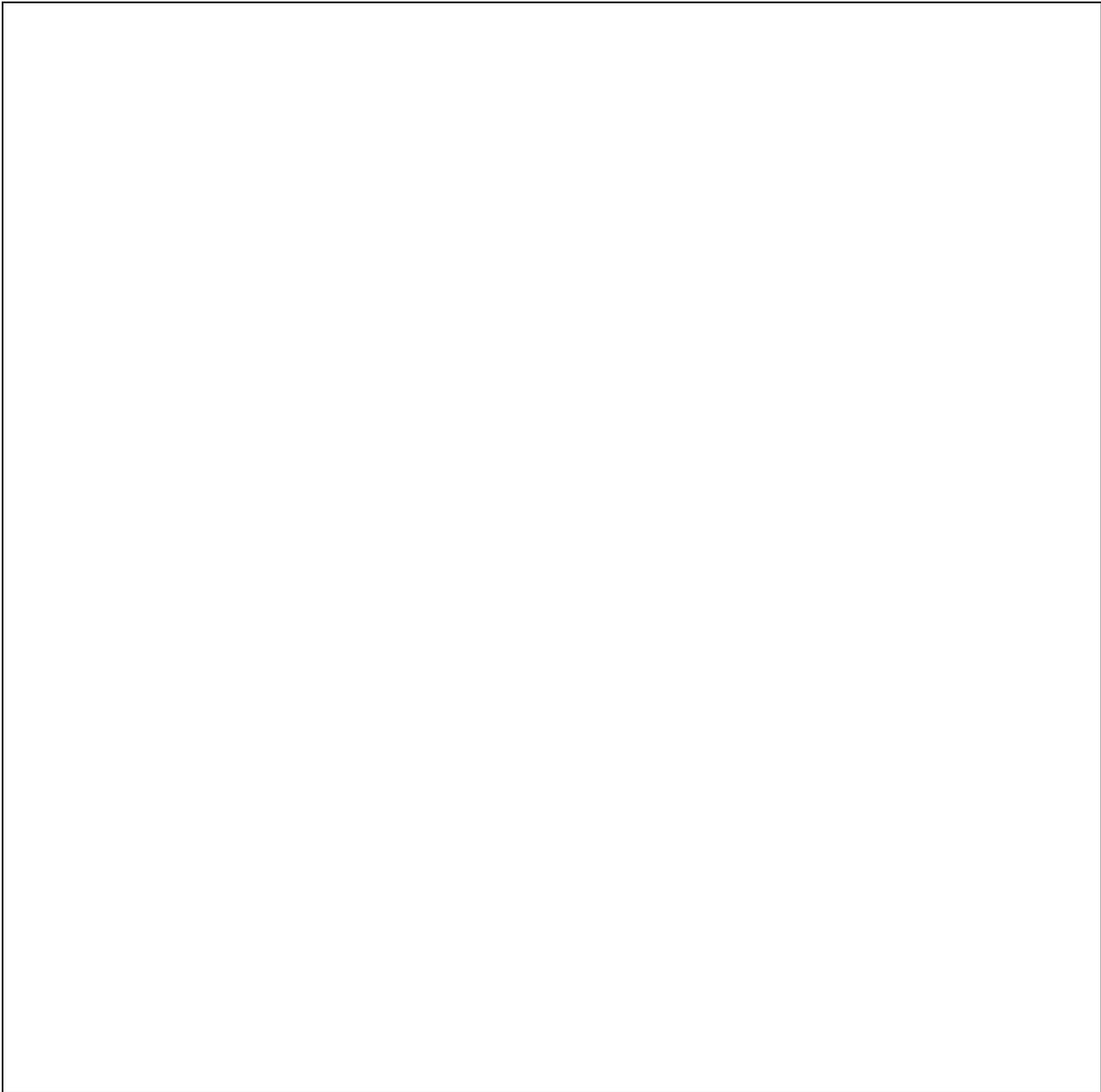
PROBLEMAS IDENTIFICADOS EN LA FABRICA DE MUEBLES HIDALGO.



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA William Oswaldo Hidalgo Broncano	CAMARA DE SECADO PARA MADERA		
	<ul style="list-style-type: none"> ○ Certificado ● Por aprobar ○ Aprobado ○ Para información ○ Por calificar 		LAMINA	ESCALA	FECHA
			18 0	Normal	2012/12/12

ANEXO XIII
DAÑOS CAUSADOS EN LOS MUEBLES POR LA HUMEDAD.





NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA William Oswaldo Hidalgo Broncano	CAMARA DE SECADO PARA MADERA		
	<ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> Certificado<input checked="" type="radio"/> Por aprobar<input type="radio"/> Aprobado<input type="radio"/> Para información<input type="radio"/> Por calificar		LAMINA	ESCALA	FECHA
			18 0	Normal	2012/12/12

ANEXO XIV
PERDIDAS DE CALOR EN TUBERIAS POR CADA METRO DE LONGUITUD.

Ø	Temperatura media - Temperatura ambiente °C																
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
3/8"	1	2	3	4	5	6	7	7	8	9	10	11	12	12	13	14	15
1/2"	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
3/4"	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1"	3	5	6	7	8	10	11	12	14	15	16	18	19	20	22	23	24
1 1/4"	4	5	7	9	10	12	13	15	16	18	20	21	23	24	26	27	29
1 1/2"	4	6	8	9	11	13	14	15	18	20	22	23	25	27	29	30	32
2"	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	28	30	32	34	36	38
2 1/2"	6	9	11	14	16	19	21	24	26	29	31	34	37	39	42	44	47
57 mm	6	7	10	12	14	16	18	21	23	25	27	29	31	34	36	38	40
64 mm	6	8	10	13	15	18	20	22	25	27	29	32	34	36	38	41	44
70 mm	6	9	11	14	16	19	21	24	26	29	31	34	37	39	42	44	47
82 mm	7	10	13	16	19	21	24	27	30	33	36	38	42	45	48	51	53
94 mm	8	11	14	18	21	24	27	31	34	37	41	44	47	50	54	57	60
106 mm	9	13	16	19	23	27	30	34	38	41	45	48	52	56	59	63	66
119 mm	10	14	17	21	25	29	33	37	41	46	49	53	57	61	65	69	72
121 mm	10	15	19	23	28	32	36	41	45	49	54	58	63	67	71	76	80
143 mm	11	16	21	25	30	35	39	44	49	53	58	63	67	72	77	81	86
166 mm	12	17	22	27	32	37	42	47	52	58	63	68	73	78	83	88	93

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA <input type="radio"/> Certificado <input checked="" type="radio"/> Por aprobar <input type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Para información <input type="radio"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA William Oswaldo Hidalgo Broncano	CAMARA DE SECADO PARA MADERA		
			LAMINA	ESCALA	FECHA
			18 0	Normal	2012/12/12

ANEXO XV
COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA PARA HORMIGONES.

Material	Densidad aparente kg/m ³	Conductividad térmica	
		kcal/(h.m.°C)	(W/m.°C)
Rocas y terrenos			
Rocas compactas	2500-300	3,00	3,5
Rocas porosas	1700-2500	2,00	2,33
Arena con humedad natural	1700	1,20	1,4
Pastas y morteros			
Revestimientos continuos			
Mortero de cal y bastardos	1600	0,75	0,87
Mortero de cemento	2000	1,2	0,4
Enlucido de yeso	800	0,26	0,3
Hormigones			
Hormigón armado normal			
Hormigón con áridos ligeros			
Hormigón en masa con grava normal:			
Con áridos ligeros	1600	0,63	0,73
con áridos ordinarios, sin vibrar	2000	1	1,16
con áridos ordinarios, vibrado	2400	1,4	1,63

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA William Oswaldo Hidalgo Broncano	CAMARA DE SECADO PARA MADERA		
	<ul style="list-style-type: none"> ○ Certificado ● Por aprobar ○ Aprobado ○ Para información ○ Por calificar 		LAMINA	ESCALA	FECHA
			18 0	Normal	2012/12/12

