



**Facultad de
Ingeniería
en Tecnología de la Madera**

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLAS DE HIDALGO**

**FACULTAD DE INGENIERIA EN
TECNOLOGIA DE LA MADERA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA AUXILIAR DE CALENTAMIENTO
A BASE DE DESPERDICIOS PARA UNA ESTUFA DE SECADO”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

Ingeniero en Tecnología de la Madera

PRESENTA:

Jorge Contreras Lázaro

ASESOR:

M. C. Salvador Bocanegra Ojeda

MORELIA, MICHOACAN. OCTUBRE 2010.



Facultad de
Ingeniería
en Tecnología de la Madera

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Of. No. 513/2009

Morelia, Mich., a 27 de Mayo del 2009

Asunto: Aprobación de Tesis.

C. JORGE CONTRERAS LAZARO
PASANTE DE INGENIERO EN
TECNOLOGÍA DE LA MADERA.
P R E S E N T E .

En atención a su solicitud de aprobación de tema, me permito comunicarle que ha sido aceptado su Tema de **Tesis** intitulado: **"Diseño de un sistema auxiliar de calentamiento a base de desperdicios para una estufa de secado"**, propuesto para presentar Examen Recepcional de Ingeniero en Tecnología de la Madera, que se desarrollará bajo el siguiente **INDICE:**

- 1.- INTRODUCCION.
- 2.- ANTECEDENTES.
- 3.- OBJETIVOS.
- 4.- METODOLOGIA.
- 5.- RESULTADOS.
- 6.- ANALISIS DE RESULTADOS
- 7.- CONCLUSIONES.
- 8.- RECOMENDACIONES.
- 9.- BIBLIOGRAFIA.
- 10.- APENDICES.
- 11.- ANEXOS.

Para tal efecto fungirá como Director de Tesis, el M. en C. Salvador Bocanegra Ojeda.

ATENTAMENTE


DR. JOSE CRUZ DE LEON
Director



FACULTAD DE INGENIERIA
EN TECNOLOGIA DE LA MADERA

JCDL/ara

INDICE

	Pagina
1. INTRODUCCION	1
2. ANTECEDENTES	2
3. OBJETIVO	6
4. METODOLOGIA	7
4.1. De la medición y cuantificación de madera y combustible.	7
4.1.1. Selección y cuantificación de la madera dentro de la cámara de secado.	8
4.1.2. Cuantificación del diesel consumido.	9
4.2. DEL CONTROL DEL PROCESO DE SECADO.	9
4.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO.	10
4.4. BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA.	15
4.5. REQUERIMIENTOS DE CALOR PARA EL SECADO.	16
5. RESULTADOS.	17
5.1. CUANTIFICACION DE MADERA PARA LOS TRES SECADOS.	17
5.2. CUANTIFICACION DEL DIESEL CONSUMIDO.	19
5.3. REQUERIMIENTOS DE CALOR PARA EL SECADO.	20

A. Calor para calentar la cámara.	20
B. Transmisión de calor a través de las paredes de la cámara.	22
C. Calor para calentar la madera.	25
D. Calor para calentar el aire de la cámara de secado a la temperatura deseada.	25
E. Calor para calentar el aire de la cámara de secado a la humedad requerida.	26
F. Calor para calentar el aire fresco introducido a la cámara de secado.	28
G. Calor para evaporar el agua de la madera.	30
5.3.1. Determinación de la capacidad de calentamiento necesaria para el secado.	31
5.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO.	31
5.5. DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE LOS EXTRACTORES	39
6. ANALISIS DE RESULTADOS.	40
7. CONCLUSIONES.	42
8. RECOMENDACIONES.	43
9. BIBLIOGRAFIA.	44
10. APENDICES.	46
11. ANEXOS.	47

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a dios por haberme dado fuerza suficiente en los momentos mas difíciles, a mis padres; ya que sin su apoyo habría sido imposible llegar hasta aquí.

También quiero agradecer a todos los profesores de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, en especial al M.C. Salvador Bocanegra Ojeda quien me asesoro en la elaboración de esta tesis; pero sobre todo por su gran paciencia, confianza y comprensión.

Al desinteresado apoyo de amigos y compañeros de la facultad.

DEDICATORIA

A mis padres, por todo lo que me han dado en esta vida, por su comprensión y sabios consejos y sobre todo por estar a mi lado en todo momento; a mis hermanos, sin ellos nada sería igual.

A mis abuelos y a todos mis tíos por estar dispuestos a ayudarme siempre.

A todos mis amigos y a esa persona tan especial en mi vida simplemente por ser como es.

1.-INTRODUCCION

La materia orgánica y los desechos se pueden transformar en energía utilizable. Esta transformación se conoce como obtención de energía a través de la biomasa.

En el aprovechamiento de la biomasa como fuente energética se emplean principalmente árboles, plantas y desechos animales y vegetales.

El aprovechamiento de la biomasa tiene su origen en la energía solar, dado que las plantas, a través de la fotosíntesis, absorben una cantidad pequeña de energía (aproximadamente 1%) de la radiación visible del espectro solar.

El ejemplo más conocido de utilización de la biomasa es la madera: la fuente de energía más antigua que conoce la humanidad. La madera está compuesta de celulosa y lignina, así como de almidón, bálsamos, alcohol etílico, alcanfor, colorantes, taninos, perfumes y resinas. Para producir calor durante la combustión de la madera se requiere oxígeno y se libera bióxido de carbono. A pesar de que la madera es la fuente de energía más antigua, actualmente se sigue utilizando, sobre todo en las áreas rurales de países como el nuestro. (www.omega.ilce.edu.mx).

Actualmente en el estado de Michoacán existen gran cantidad de estufas de secado, de las cuales la gran mayoría son hechizas con varias deficiencias en su diseño y funcionamiento lo que provoca un bajo rendimiento y deficiente calidad en el secado de la madera.

En las estufas de secado de patente, se aprecia en la actualidad la necesidad de cambiar total o parcialmente el sistema de calentamiento. Ya que siendo el diesel el principal combustible para la producción de vapor en las calderas es necesario diseñar nuevas formas de calentamiento más económicas.

Al desarrollar, como en el presente caso, un sistema auxiliar de calentamiento podrían resolverse problemas de diseño y conservación de estufas de secado en lo que se refiere al sistema de calentamiento, siendo una buena opción el utilizar “desperdicios de madera” para disminuir los costos de secado al utilizar una forma más económicas de producción de energía.

2.- ANTECEDENTES

En los últimos años se han realizado trabajos acerca de sistemas de calentamiento no convencionales para la producción de calor en estufas de secado de la madera.

Tal es el caso del diseño de una estufa de secado a base de desperdicios de madera de una fábrica de muebles. La cual es hecha con materiales convencionales y su construcción no requiere de mano de obra altamente calificada, teniendo resultados satisfactorios (Bocanegra, 1991).

Según Bocanegra Ojeda (2000) los resultados obtenidos en la construcción de una estufa de secado a base de leña y con un intercambiador de calor, señala como notorias ventajas el bajo costo de la estufa en comparación con las estufas de patente. Al utilizar leña como forma de calentamiento en la cámara de combustión los costos disminuyen más aún y agregando un quemador de gas o diesel es posible regular de manera mas precisa la temperatura dentro de la cámara, teniendo problemas de bajo rendimiento únicamente en la etapa de calentamiento de la cámara y la madera.

La industria UNTIEL S.A dedicada a la producción de tableros aglomerados de madera y recubrimientos melamínicos, debido a que requiere gran cantidad de calor para su proceso productivo ha optado por instalar una caldera mixta de biomasa-combustóleo con la que obtuvo el ahorro de fuel-oil de hasta en un 94% del consumo anual esperado. Siendo esto logrado con la sustitución de fuel por los residuos de la producción de la fábrica como son: polvo de madera procedente del lijado superficial de tableros acabados, astillas rechazadas por las purgas de los sistemas de limpieza, virutas rechazadas, cortezas de troncos utilizados. (www.aven.es/pdf/fichas/23.pdf).

ERATIC S.A., una empresa dedicada a la elaboración de productos derivados de la madera (tablero aglomerado, tablero contrachapado, muebles, carpintería), ha desarrollado e implementado con gran éxito sistemas de aprovechamiento de desperdicios de sus fábricas.

Tal es el caso de la instalación combinada de la cámara de combustión y la caldera de aceite térmico, vapor de agua sobrecalentado, que acompañados de los accesorios propios de este tipo de instalaciones, tales como tablero eléctrico, ventiladores y extractores, depuradores multiciclónicos de humos, economizadores bombas válvulas y controles, permiten el aprovechamiento energético en los procesos industriales del 80% del calor producido por los desperdicios, lo que implica un excelente rendimiento y por lo tanto grandes

ahorros al evitar el consumo de otros combustibles, normalmente fósiles (gas natural, propano, gasóleo o combustóleo).

Como prueba tangible del potencial energético de los desperdicios, la empresa adjunta la siguiente tabla. (www.ERATIC,SA.)

TABLA 1. POTENCIA CALORÍFICA, COMPOSICIÓN DE LOS DESPERDICIOS MÁS HABITUALES EN LA INDUSTRIA:

Combustible	Potencia Calorífica Mínima kcal/kg.	Materias Volátiles	Agua %	Ceniza %
Corteza verde	2.000	60	28	1,5
Corteza resinosa	4.000	70	25	1,5
Corteza eucaliptus	2.000	45	50	2
Madera blanda verde	2.500	50	37	1,5
Madera blanda oreada	3.700	80	15	1,5
Madera dura	4.500	85	8	1
Viruta verde	2.500	45	35	1
Viruta seca	3.500	80	14	1
Polvo de madera	4.000	80	10	1
Polvo aglomerado	4.200	70	6	12
Serrín húmedo	3.000	50	35	1,5
Serrín seco	3.500	80	10	1
Orujillo aceituna	3.500	60	23	6
Bagazo caña	2.000	45	50	2-3
Cáscara de algodón	3.300	79	9	---
Cáscara cacao	2.700-3.900	65	8-9	7-23
Polvo de paja	3.400	60	8	2
Cáscara de arroz	2.900	56-58	9	18-20
Polvo de tabaco	3.000	45	5	40
Cáscara de coco	3.200-4.400	70	11-24	1-4
Papel y cartón	3.500	70	6	6

Perry (1992), menciona que un aspecto realmente importante en la combustión, es la cantidad justa de oxígeno o aire que se necesita para quemar carbón, hidrógeno neto y azufre en un combustible, para obtener dióxido de carbono, vapor de agua y dióxido de azufre.

Las industrias que utilizan energía intensamente, dependen de equipo de calentamiento y/o combustión directa para secar, calentar, calcinar, fundir y para el proceso químico en general. Algunas de estas industrias utilizaron carbón y gas manufacturado y cambiaron a gas natural o petróleo cuando estos combustibles llegaron a ser más baratos que el carbón.

Existe ahora una tendencia firme a retornar al empleo de carbón y gases derivados del carbón; este movimiento tiende también a adaptar los procesos que utilizan otros combustibles para que lleguen a utilizar carbón.

Según el artículo publicado en www.pue.uia.mx en la práctica se requiere una cantidad mayor de aire que la teórica para lograr la combustión completa, dado el corto tiempo en que en un hogar están juntos el combustible y el comburente, es imposible que se combinen por completo aunque se haga llegar al hogar el aire mínimo necesario para la combustión antes calculado, ya que este no se puede poner en contacto con todo el combustible que pasa al mismo tiempo por el hogar; por lo que será necesario emplear una cantidad real de aire mayor a la calculada.

Severns (1991), indica que el oxígeno necesario para la combustión es captado siempre del aire, acompañándole gran cantidad de nitrógeno y otros gases como argón, hidrógeno y anhídrido carbónico. Si este aire está en defecto, pueden producirse pérdidas importantes en forma de óxido de carbono, hidrógeno libre e hidrocarburos destilados. En un hogar el fin que se persigue consiste en emplear el mínimo de exceso de aire compatible con la combustión completa. La cantidad necesaria para el funcionamiento del hogar depende principalmente de tres factores: 1) el tiempo disponible antes de que los gases ascendentes alcancen a la zona fría del altar y se enfríen por debajo del punto de ignición, 2) la temperatura a la cual se encuentra la mezcla y 3) del grado de mezclado entre el combustible y el aire.

Según Kollman (1960), las temperaturas de combustión de la leña son más bajas que las de la hulla o el coque; pero es muy importante y ventajoso desde el punto de vista de la técnica de combustión, el calor que pueden transmitir por radiación las llamas producidas en la combustión de la madera.

Las pérdidas por calor sensible son tanto mayores cuanto más elevada sea la temperatura de los humos y cuanto mayor sea el exceso de aire, es decir cuanto menor sea la proporción de anhídrido carbónico en los humos.

Otras pérdidas en la combustión son debidas, a los residuos en el hogar; en el caso de la madera son insignificantes a consecuencia de la escasa producción de cenizas; las perdidas por breas, humos, hollín, partículas de coque desprendidas, son difíciles de apreciar.

3.- OBJETIVO

Diseñar un sistema de calentamiento de bajo costo, que utilice como combustible desperdicios o deshechos de madera y que pueda acoplarse como sistema único o auxiliar de calentamiento en una estufa de secado para madera.

4.- METODOLOGÍA

4.1. DE LA MEDICION Y CUANTIFICACION DE LA MADERA Y COMBUSTIBLE

Se realizaron tres secados de madera de pino de $\frac{3}{4}$ " de espesor, con anchos de 4", 6", 8", 10", y 12" y una longitud uniforme de 8'-3".

La madera se apiló fuera de la cámara de secado por un periodo de siete días en los cuales la madera se pre seco obteniendo contenidos de humedad mas uniformes en la mayoría de las tablas. Ya que éstas al tomar lecturas con el higrómetro de contacto, presentaban diferencias de contenido de humedad de hasta 40 puntos porcentuales.

El sitio donde se pre seco la madera fue un sitio abierto el cual cuenta con un buen drenaje y las corrientes de aire pudieron circular libremente a través de las pilas. Además se realizó la limpieza de maleza en el terreno esto para prevenir posibles obstrucciones en el paso de aire.

La anchura de las pilas fue entre 5 y 6 pies con longitudes de 8'-3" altura no mayor de 8' y altura entre el suelo y la primer capa de 1'.

Los techos de las pilas fueron de tablas de madera de oyamel las cuales tuvieron una inclinación de 30 °.

Se midió la cantidad de diesel quemado en la caldera requerido para el proceso de secado.



Figura 1. Pila de madera en forma rectangular con techos de lámina.

4.1.1. Selección y Cuantificación de la Madera Dentro de la Cámara de Secado

La selección de la madera para su posterior apilamiento dentro de la cámara de secado fue uno de los primeros pasos a seguir, y consiste en separar y apilar en su parte inferior de las pilas la madera de mayores dimensiones en este caso la de 12" siguiendo en capas posteriores las de 10", 8", 6", 4" sucesivamente, esto con la finalidad de que la madera de mayores dimensiones en ancho tenga una carga sobre sí, evitando al máximo las posibles deformaciones.

La utilización de listones o separadores en las pilas de madera nos garantiza una buena circulación del aire a través de las pilas. Los separadores pueden ser de madera y sus espesores varían en el rango de $\frac{3}{4}$ " y 1" .

Para este caso los separadores utilizados fueron de $\frac{3}{4}$ " y se colocaron horizontalmente cada 2'- $\frac{3}{4}$ "; la altura de las pilas en el interior de la cámara es de 8', el ancho fue de 6' y la longitud de 8'-3".

La selección de madera fue realizada manualmente, y a su vez fue contada y registrada para obtener la cubicación total.

La cubicación fue realizada con la siguiente formula:

$$V_{pt} = \frac{G \times A \times L}{12} \quad (1)$$

V_{pt} = Volumen en pie tabla

G = Grosor en pulgadas

A = Ancho en pulgadas

L = Largo en pies

4.1.2. Cuantificación del Diesel Consumido

Para calcular el volumen de un cilindro horizontal parcialmente lleno es necesario determinar el ángulo en grados, ver Figura 2 (Perry, 1992). Por lo cual se realizó el plano del tanque de almacenamiento de diesel y extraer de la manera más exacta posible el valor de los ángulos correspondientes al valor de las flechas que nos interesan, para posteriormente calcular así el volumen con la siguiente formula.

$$V = L R \left(\frac{\alpha}{57.30} - \text{sen} \alpha \text{ cos} \alpha \right) \quad (2)$$

V = Volumen

L = Longitud

R = Radio

α = Ángulo

4.2. DEL CONTROL DEL PROCESO DE SECADO

Durante los tres secados se elaboraron tablas de control continuo en las cuales se registro la evolución del proceso y teniendo como datos principales el contenido de humedad, depresión psicrométrica, temperatura seca y húmeda, temperatura de los gases de combustión, pesos actuales de las probetas de madera durante el proceso de secado. Anexo 1.

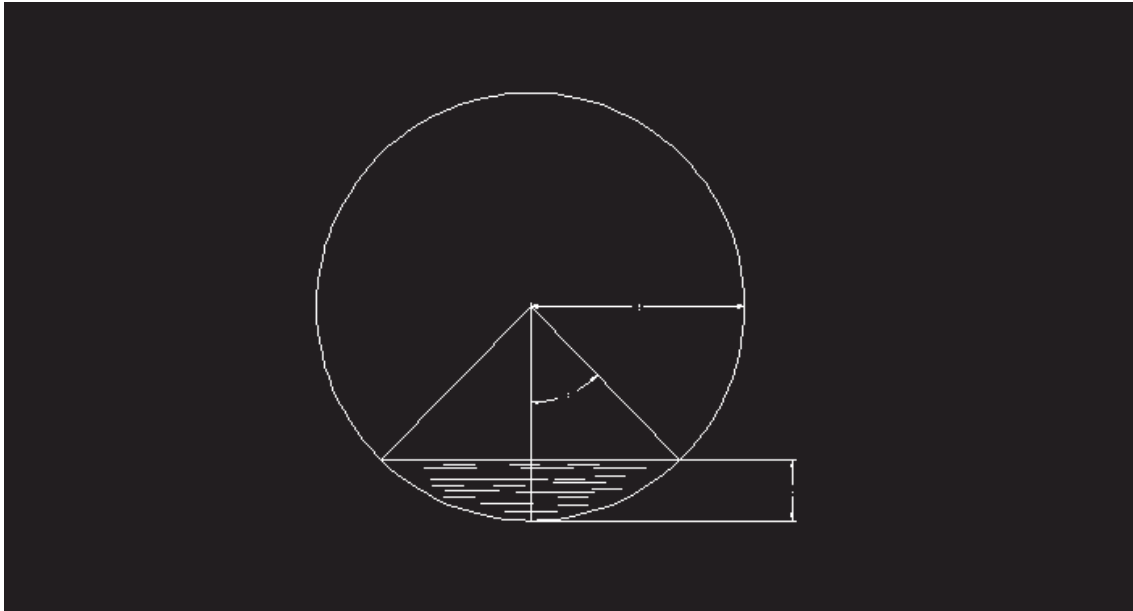


Figura 2. Esquema para cálculo de volumen del contenedor de diesel.

4.3. DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO

Las dimensiones de la cámara de combustión se ajustarán a las necesidades de la cámara de secado de la estufa de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la madera. Figura 3.

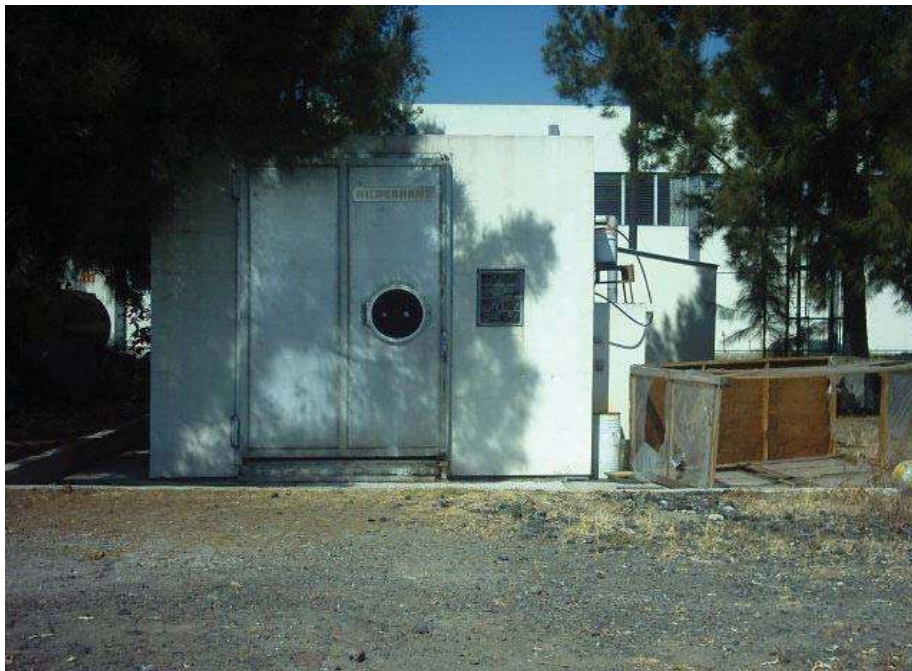


Figura 3. Estufa de secado de FITECMA.

En las Figuras 4, 5, 6 y 7 podemos observar las dimensiones generales y diferentes vistas de la cámara de secado de la facultad de ingeniería en tecnología de la madera.

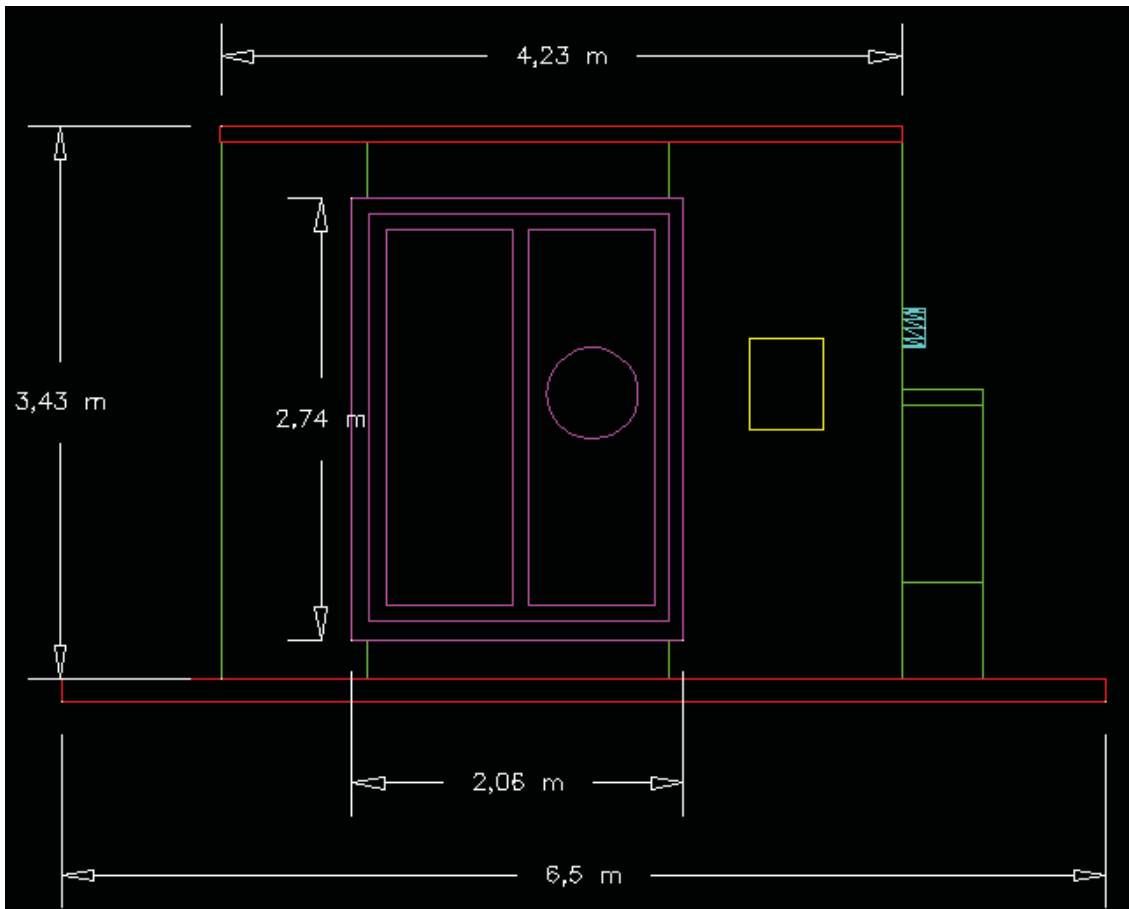


Figura 4. Vista frontal de la cámara de secado

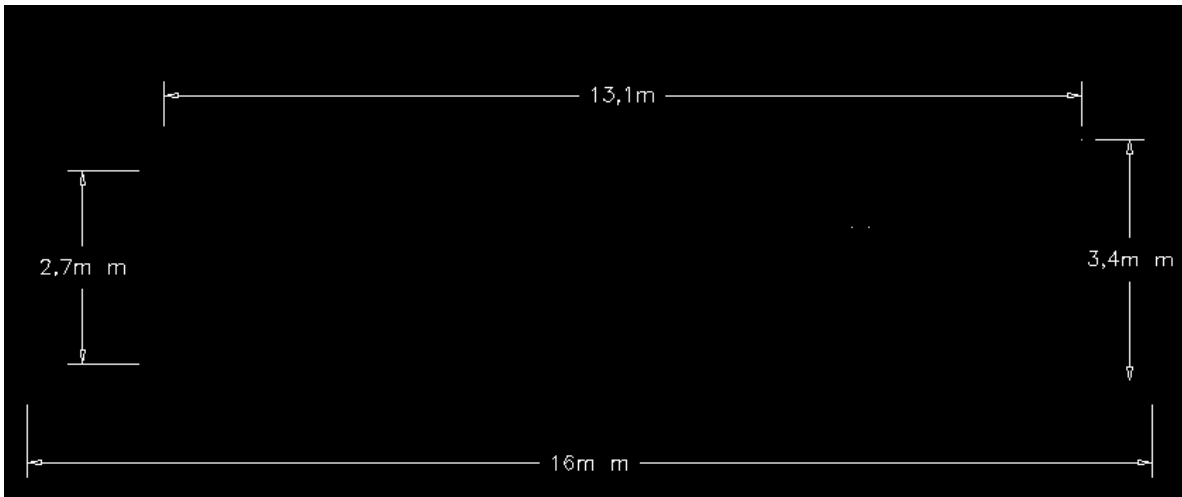


Figura 5. Vista lateral derecha de la cámara de secado.

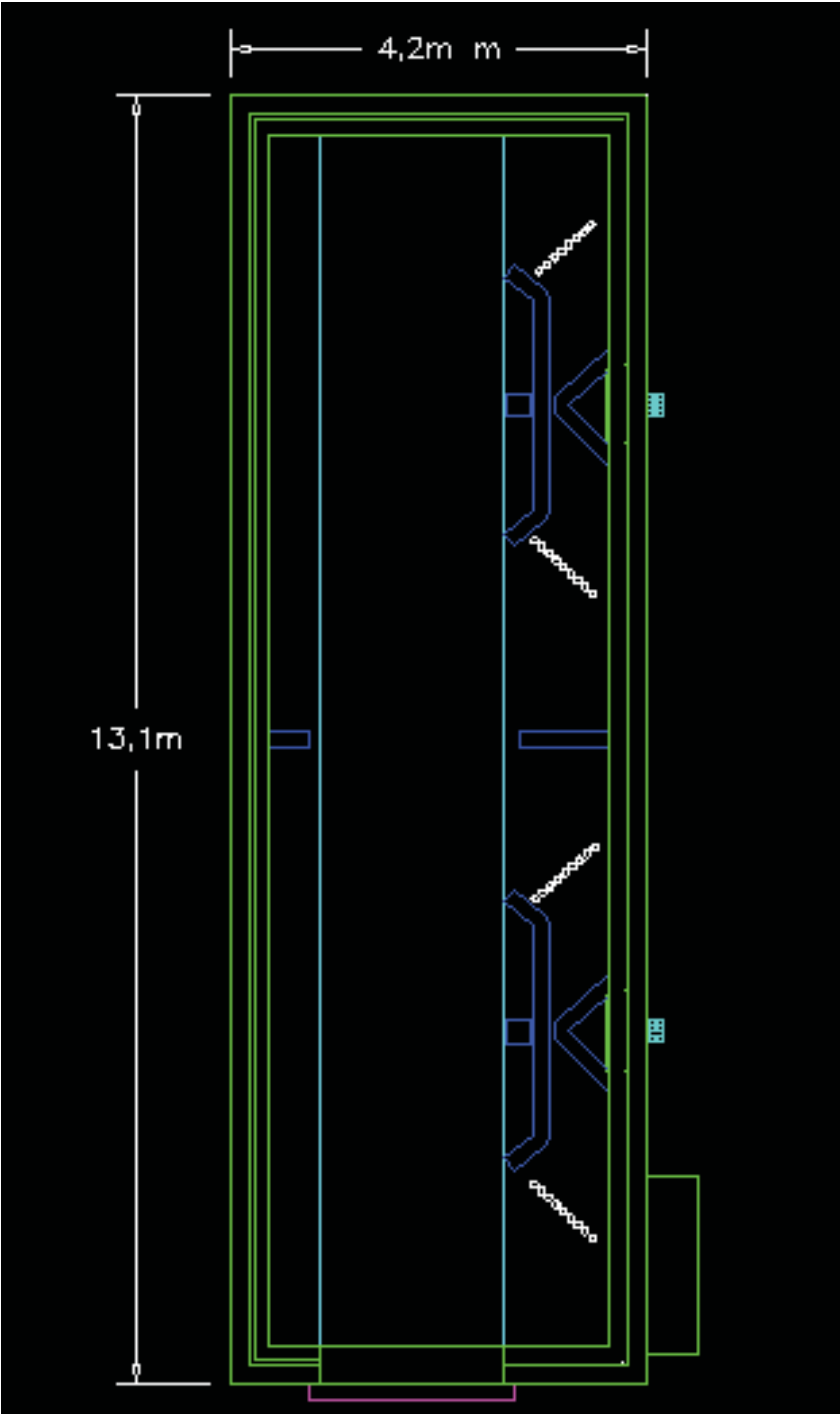


Figura 6. Sección horizontal de la cámara de secado.

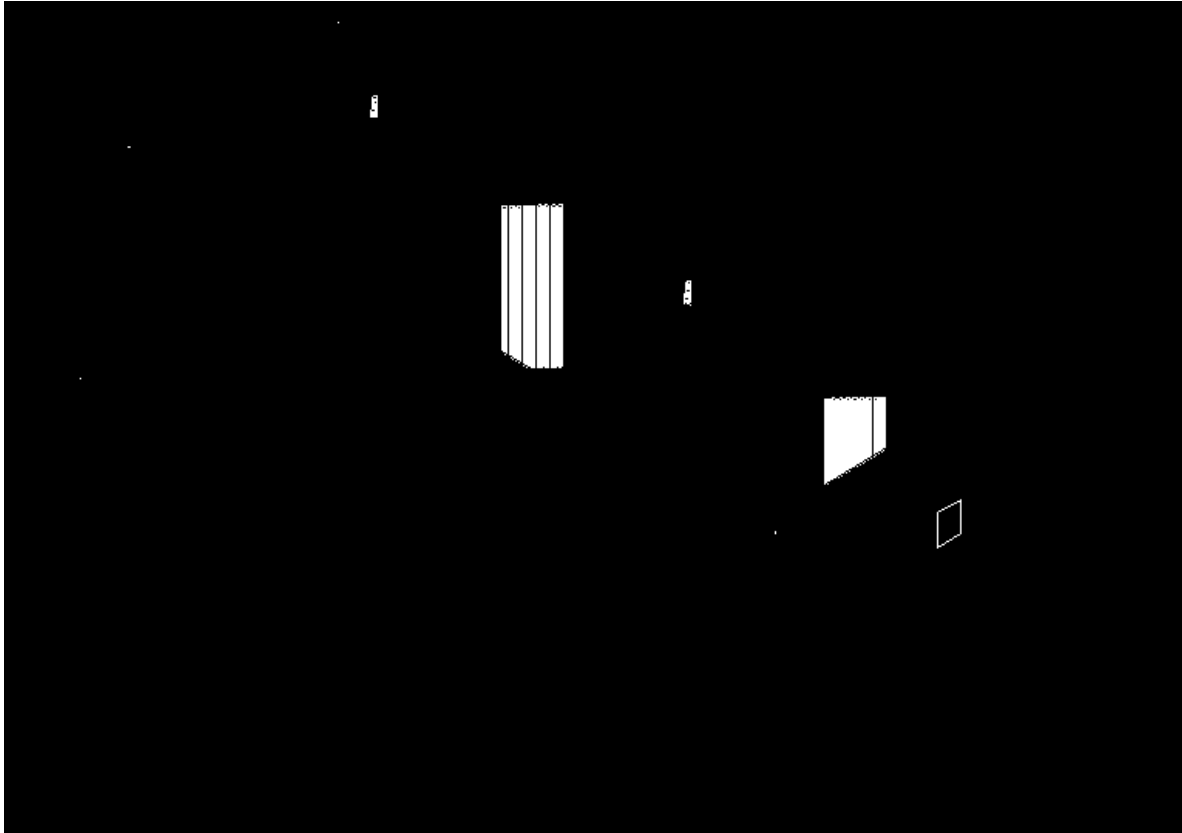


Figura 7. Vista isométrica del interior de la cámara de secado.

Respecto al sistema auxiliar de calentamiento se diseñará de una capacidad suficiente que proporcione la energía para calentar la cámara de secado, madera, aire en el interior de la estufa, y calor para evaporar el agua de la madera.

El intercambiador de calor será de un material que presente una resistencia adecuada a las condiciones de trabajo del mismo y que se pueda conseguir fácilmente en el comercio, procurando que tenga una aceptable eficiencia en la transferencia de calor.

La cámara de combustión será de ladrillo refractario en el interior y cubierto con ladrillo rojo convencional en el exterior.

El techo deberá ser en forma de bóveda utilizando también ladrillo refractario y ser cubierto con una loza de concreto.

Los combustibles que se podrán utilizar serán principalmente leña, aserrín, viruta y desperdicios de aserradero (desorille, costeras, puntas de la cabeceadora).

Un combustible alternativo que ha sido desaprovechado en gran medida son las hojas y ramas de los árboles; este material se recolecta diariamente en los jardines de CU y actualmente no tiene ningún uso y solamente se deposita en los contenedores de basura.

4.4. BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA.

El balance de materia y energía fue determinado en base a tres cargas de madera al 90% de contenido de humedad inicial (H. i), de madera de pino de 3/4''.

Por lo tanto tenemos que:

La densidad de la madera de pino a un C.H de 90% es de: 975 Kg/ m³. Y la densidad de la madera de pino a un C.H. de 8 % es de 601 Kg/m³. (datos obtenidos mediante pruebas en el laboratorio de secado de la facultad).

Si el volumen de la pila de madera dentro de la cámara fue de 17.591 m³, para determinar la pérdida de peso realizaremos el siguiente cálculo:

$$975 \text{ Kg/ m}^3 \times 17.591 \text{ m}^3 = 17151.225 \text{ Kg}$$

$$601 \text{ Kg/m}^3 \times 17.591 \text{ m}^3 = 10572.191 \text{ Kg}$$

Así que el volumen de agua que se extrajo de la madera fue la diferencia de los valores anteriores:

$$17151.225 \text{ Kg} - 10572.191 \text{ Kg} = 6579.034 \text{ Kg}$$

4.5. REQUERIMIENTOS DE CALOR PARA EL SECADO

Los requerimientos de calor necesarios para el secado fueron calculados tomando en cuenta las demandas de calor de los siguientes aspectos:

- Calor para calentar la cámara.
- Transmisión de calor a través de las paredes de la cámara.
- Calor para calentar la madera.
- Calor para calentar el aire de la cámara de secado a la temperatura deseada.
- Calor para calentar el aire de la cámara de secado a la humedad requerida.
- Calor para calentar el aire fresco introducido a la cámara durante el proceso de secado.
- Calor para evaporar el agua de la madera.

5.- RESULTADOS

Existen diferentes formas de apilar la madera aserrada para el secado al aire libre en nuestro caso utilizamos dos: en pila cuadrada y en triangulo. Ambas resultaron ser eficientes, teniendo siempre las precauciones necesarias de tal forma que la madera permanezca alineada y plana ya que a medida que se seca al aire libre la madera aserrada tiende a torcerse, desviarse en cantos y caras.

5.1. LA CUANTIFICACION DE LA MADERA PARA LOS TRES SECADOS ARROJO LOS SIGUIENTES RESULTADOS CALCULADOS EN EL PROGAMA EXCEL.

TABLA 2. MADERA DEL PRIMER SECADO DE PINO

ESPESOR(Pg)	ANCHO(Pg)	LARGO(Pies)	CANTIDAD	VOLUMEN (pt.)	
				UNITARIO	TOTAL
0.75	4	8.25	368	2.0625	759
0.75	6	8.25	352	3.09375	1089
0.75	8	8.25	306	4.125	1262.25
0.75	10	8.25	365	5.15625	1882.03125
0.75	12	8.25	398	6.1875	2462.625
TOTAL			1789		7454.90625

TABLA 3. MADERA DEL SEGUNDO SECADO DE PINO

ESPESOR(Pg)	ANCHO(Pg)	LARGO(Pies)	CANTIDAD	VOLUMEN (pt.)	
				PIE TABLA	VOLUMEN PT
0.75	4	8.25	382	2.0625	787.875
0.75	6	8.25	349	3.09375	1079.71875
0.75	8	8.25	313	4.125	1291.125
0.75	10	8.25	345	5.15625	1778.90625
0.75	12	8.25	405	6.1875	2505.9375
TOTAL			1794		7443.5625

TABLA 4. MADERA DEL TERCER SECADO DE PINO

ESPESOR(Pg)	ANCHO(Pg)	LARGO(Pies)	CANTIDAD	VOLUMEN (pt.)	
				PIE TABLA	VOLUMEN PT
0.75	4	8.25	363	2.0625	748.6875
0.75	6	8.25	365	3.09375	1129.21875
0.75	8	8.25	361	4.125	1489.125
0.75	10	8.25	345	5.15625	1778.90625
0.75	12	8.25	429	6.1875	2654.4375
TOTAL			1863		7800.375

5.2. CUANTIFICACION DEL DIESEL CONSUMIDO.

Una vez obtenidos los datos para la formula (2) se procedió a realizar una hoja de calculo para determinar los volúmenes de diesel consumidos por día y consecutivamente por secado.

Tabla 5. Volúmenes del contenedor del diesel.

longitud m	radio ²	ángulo	constante	sen	cos	Volumen(m ³)	flecha
3.645	0.5041	10	57.3	0.173	0.984	0.00787909	1
3.645	0.5041	14	57.3	0.241	0.97	0.01939992	2
3.645	0.5041	17	57.3	0.292	0.956	0.0322143	3
3.645	0.5041	19	57.3	0.325	0.945	0.04494965	4
3.645	0.5041	22	57.3	0.374	0.927	0.06843774	5
3.645	0.5041	24	57.3	0.406	0.913	0.08851001	6
3.645	0.5041	26	57.3	0.438	0.898	0.111103343	7
3.645	0.5041	27	57.3	0.453	0.891	0.12417668	8
3.645	0.5041	29	57.3	0.484	0.874	0.15267731	9
3.645	0.5041	31	57.3	0.515	0.857	0.1831146	10
3.645	0.5041	32	57.3	0.529	0.848	0.20188411	11
3.645	0.5041	34	57.3	0.559	0.829	0.23878921	12
3.645	0.5041	35	57.3	0.573	0.819	0.26005948	13
3.645	0.5041	37	57.3	0.601	0.798	0.30524778	14
3.645	0.5041	38	57.3	0.615	0.788	0.32808723	15
3.645	0.5041	39	57.3	0.629	0.777	0.35259691	16
3.645	0.5041	40	57.3	0.642	0.766	0.37908001	17
3.645	0.5041	42	57.3	0.669	0.743	0.43348493	18
3.645	0.5041	43	57.3	0.681	0.731	0.46418497	19
3.645	0.5041	44	57.3	0.694	0.719	0.49409307	20
3.645	0.5041	45	57.3	0.707	0.707	0.52457444	21
3.645	0.5041	46	57.3	0.719	0.694	0.55822725	22
3.645	0.5041	47	57.3	0.731	0.681	0.59245335	23
3.645	0.5041	48	57.3	0.743	0.669	0.6258875	24
3.645	0.5041	50	57.3	0.766	0.642	0.69975096	25
3.645	0.5041	51	57.3	0.777	0.629	0.73740204	26
3.645	0.5041	52	57.3	0.788	0.615	0.77702655	27
3.645	0.5041	53	57.3	0.798	0.601	0.81832129	28
3.645	0.5041	54	57.3	0.809	0.587	0.85905193	29
3.645	0.5041	55	57.3	0.819	0.573	0.90140137	30
3.645	0.5041	56	57.3	0.829	0.559	0.94426528	31
3.645	0.5041	57	57.3	0.838	0.544	0.99018487	32
3.645	0.5041	58	57.3	0.848	0.529	1.03562856	33
3.645	0.5041	59	57.3	0.857	0.515	1.08099324	34
3.645	0.5041	60	57.3	0.866	0.5	1.12841219	35
3.645	0.5041	60	57.3	0.866	0.5	1.12841219	36
3.645	0.5041	61	57.3	0.874	0.484	1.17882433	37
3.645	0.5041	62	57.3	0.882	0.469	1.22808623	38
3.645	0.5041	63	57.3	0.891	0.453	1.27859208	39

Al conocer los volúmenes de diesel a cada centímetro del contenedor y sabiendo cuales son los niveles gastados por día procedemos a desglosar los valores de la siguiente manera.

Vol. De diesel por día = Vol. Inicial – Vol. final

PRIMER SECADO.

Teniendo el resultado final de litros de diesel, multiplicamos este por el valor de poder calorífico del diesel el cual es de 9075.625 Kcal por litro.

Por lo tanto:

$$(1061) (9075.625 \text{ Kcal}) = 9629238.125 \text{ Kcal.}$$

SEGUNDO SECADO.

$$(372.5) (9075.625 \text{ Kcal}) = 3380670.313 \text{ Kcal}$$

TERCER SECADO.

$$(574.4) (9075.625 \text{ Kcal}) = 52113039 \text{ Kcal.}$$

5.3. REQUERIMIENTOS DE CALOR PARA EL SECADO.

A.-Calor Para Calentar la Cámara.

Paso 1. Para determinar la masa de cada uno de los tipos de material con la cual esta construida la cámara de secado. Por lo que se realizaron los planos de la misma en Autocad, y en base a ello se determinó la masa con la siguiente formula.

$$m = D \times V \quad (3)$$

donde : m = Masa del elemento de construcción, (Kg).

D = Densidad o peso específico del material, (Kg).

V = Volumen del elemento de construcción, (m^3).

O bien con la siguiente formula:

$$m = P \times A \quad (4)$$

donde : P = Peso del material por unidad de superficie. (Kg./m²).

A = Área del elemento de construcción (m²)

TABLA 6. MASA DE LOS ELEMENTOS DE LA CAMARA DE SECADO.

ELEMENTO	DENSIDAD (Kg.m ³)	AREA M ²	P Kg/m ²	VOLUMEN m ³	MASA Kg
Paredes int.		98.168	112*		10994.816
Paredes ext.		108.891	112*		12195.792
Enlucido	2084*	265.969		5.319	11084.796
Techo	2400*	55.24		0.5524	1325.76
Piso	2350*	42.01		0.4201	897.235
Puerta(aluminio)	2700*	5.1512		5.512x10 ⁻³	14.882
Aislante	15*	5.1512		0.1551	2.3265
aire	1.204*	100.732		5.036	6.063

*Datos obtenidos de la referencia 7 y 16.

Paso 2. Determinación del calor necesario para calentar cada uno de los materiales de construcción. El cual fue determinado con la siguiente ecuación:

$$Q_n = m C_p (T_2 - T_1) \quad (5)$$

Donde: Q_n = Cantidad de calor para calentar al material "n" (Kcal/Kg).

C_p = Calor específico del material "n". Kcal/Kg °C)

T_2 = Temperatura final deseada = 87°C. (Apéndice 1)

T_1 = Temperatura inicial (exterior) = 20°C

TABLA No. 7 DETERMINACION DEL CALOR NECESARIO PARA CALENTAR CADA UNO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION.

MATERIAL "n"	MASA Kg	Cp Kcal/Kg°C	t ² -t ¹ °C	Qn Kcal
Paredes int.	10994.816	0.2*	87-20	147330.534
Paredes ext.	12195.792	0.2*	67	163423.612
Enlucido	11084.796	0.191**	67	141852.134
Techo	1325.76	0.156*	67	13856.843
Piso	897.235	0.156*	67	10318.580
Puerta(aluminio)	14.882	0.215*	67	213.510
Aislante	2.3265	0.200*	67	31.175
aire	6.063	0.240*	67	97.493

*Datos obtenidos de la referencia 12 y 17.

**Datos obtenidos de la referencia 2 y 7.

Paso 3. Determinación de calor total para calentar la cámara. El cual es calculado con la ecuación siguiente y corresponde a la suma de los requerimientos individuales de cada uno de los materiales de construcción.

$$QC = Q1 + Q2 + Q3 + \dots + QN \quad (6)$$

$$QC = 147330.534 + 163423.612 + 141852.134 + 13856.843 + 10318.580 + 213.510 + 31.175 + 97.493$$

$$QC = 477123.881 \text{ Kcal}$$

B. Transmisión de Calor a Través de las Paredes de la Cámara.

Estas fueron determinadas con la ecuación de flujo de calor a través de una pared compuesta. (Según la referencia 13)

$$Qm = - \frac{t_1 - t_2}{\frac{X}{KA} + \frac{X_2}{K_2A} + \frac{X_3}{K_3A} + \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2}} \quad (7)$$

Donde: Qm = Transferencia de calor a través del elemento de construcción "m", Kcal/h.

t_2 = Temperatura máxima de secado = 87°C (Apéndice 1)

t_1 = Temperatura al exterior de la cámara = 20°C

X = Espesor del material "n", m

K = Coeficiente de transferencia de calor del material "n", Kcal / h m °C

$h1$ = Coeficiente de transmisión de calor para superficies exteriores de paredes cuando la cámara esta al aire libre = 25 Kcal / h m² °C (Ref. 11)

$h2$ = Coeficiente de transmisión de calor para superficies internas de la cámara de secado = 12 Kcal / h m² °C (Ref. 11)

Para las paredes (Q_r):

X = 0.13 m de ladrillo.

K = 0.59 Kcal / h °C (Ref. 17)

A = 149.224 m² (ver tabla No. 6)

X_2 = 0.02 m del enlucido.

K_2 = 0.87 Kcal / h m °C (Ref. 11)

X_3 = 0.05 m de aire.

K_3 = 0.280 Kcal / h m °C (Ref. 7)

$$Q_r = - \frac{20 - 87}{\frac{0.13}{0.59(207.059)} + \frac{0.02}{0.87(265.969)} + \frac{0.05}{0.280(100.732)} + \frac{1}{25(207.059)} + \frac{1}{12(265.969)}}$$

Q_r = 19834.221 Kcal / h

Para el techo (Q_{rr}):

X = 0.1 m del concreto armado.

K = 1.2 Kcal / h m °C. (Ref.8)

$$A = 46.5372 \text{ m}^2$$

$$X_2 = 0.02 \text{ m del enlucido.}$$

$$K_2 = 0.87 \text{ Kcal / h m }^\circ\text{C. (Ref. 11)}$$

$$Q_{rr} = - \frac{20 - 87}{\frac{0.1}{1.2(46.537)} + \frac{0.02}{0.87(46.537)} + \frac{1}{25(46.537)} + \frac{1}{12(46.537)}}$$

$$Q_{rr} = 13580.897 \text{ Kcal / h.}$$

Para la puerta (Q_{rrr}):

$$X = 0.15 \text{ m del aislante.}$$

$$K = 0.0429 \text{ Kcal / (h m }^\circ\text{C) Para la fibra de vidrio. (Ref. 7)}$$

$$A = 5.644 \text{ m}^2 .$$

$$X_2 = 0.001 \text{ m de la lámina de aluminio.}$$

$$K_2 = 179.956 \text{ Kcal/ (h m }^\circ\text{C) Para la placa de aluminio.(Ref. 7)}$$

$$Q_{rrr} = - \frac{20 - 87}{\frac{0.15}{0.042(5.64)} + \frac{2(0.001)}{179.95(5.64)} + \frac{1}{25(5.64)} + \frac{1}{12(5.64)}}$$

$$Q_{rrr} = 101.933 \text{ Kcal/h}$$

Por lo tanto, el calor que se pierde por radiación atreves de las paredes de la cámara será:

$$Q_m = (Q_r + Q_{rr} + Q_{rrr})T$$

Donde T es el tiempo de secado de la madera en horas = 100 Hrs (dato obtenido de la bitácora de secado).

$$Qm = (19834.221 + 13580.897 + 101.933) T$$

$$Qm = (33517.051) 100 = 3351705.1 \text{ Kcal}$$

C . Calor Para Calentar la Madera.

Este fue calculado de acuerdo a la siguiente formula:

$$QM = m Cp (t_2 - t_1) \quad (8) \quad (\text{Ref. 7})$$

Donde: QM = Calor para calentar la Madera. (K cal / hr).

m = Masa de la madera húmeda = 17151.225 Kg.

Cp = Calor especifico medio de la madera al 10 y 90 % de humedad
= (0.389 + 0.646) / 2 = 0.517 Kcal/Kg °C (Ref. 13)

t_1 = Temperatura inicial de la madera a secar = 20 °C .

t_2 = Temperatura máxima de la secuela de secado = 87 °C

(Apéndice 1)

Por lo que $QM = 17151.225 \times 0.517 \times (87 - 20) = 594101.282 \text{ Kcal}$

D. Calor Para Calentar el Aire de la Cámara de Secado ala Temperatura Deseada.

Se calculó con la formula (8). Considerando lo siguiente:

Volumen libre de la cámara de secado (VL) = 154.968 m³

Volumen del aire en la cámara = VL – CAP = 154.968 – 17.591 = 137.357 m³

Temperatura media de secado = (76 + 87) / 2 = 81.5 °C (Apéndice 1)

Humedad relativa media de secado = (78 + 28) / 2 = 53 % (Apéndice 1)

Densidad del aire = 0.96 Kg / m³ (Ref. 7)

Masa del aire (m) = Densidad x Volumen de aire en la cámara
= 0.96 x 154.968 = 148.769 Kg

El calor específico del aire es: 0.2388 Kcal / Kg °C (Ref. 7)

Por lo tanto, la cantidad de calor necesaria para calentar el aire dentro de la cámara será:

QA = 148.769 x 0.2388 x 81.5 = 2895.372 Kcal.

E. Calor Para Calentar el Aire de la Cámara de Secado a la Humedad Requerida.

Existen dos condiciones para la determinación del medio de secado, la inicial normal del ambiente y; la segunda a la cual se pretende llegar para poder secar la madera.

Para lo cual es necesario determinar en principio la cantidad real de vapor de agua por metro cúbico de aire seco del ambiente de la condición inicial, utilizando la ecuación siguiente:

$$HR = \frac{R}{M} \times 100 \quad (9) \quad (\text{Ref. 11})$$

Donde: *HR* = Humedad relativa del aire, (%).

R = Cantidad real de vapor de agua contenida en el aire gr / m³.

M = Máxima cantidad de vapor que puede retener el aire a la misma temperatura de *R* , g / m³

La condición inicial es:

HR = 65 % = Normal del ambiente.

t = 20°C = Temperatura ambiente.

R = ?

$$M = 17.3 \text{ gr / m}^3 \text{ . (Ref. 11)}$$

Despejando “ R “ de la ecuación anterior tenemos que:

$$R = M(H.R./100) \quad (10)$$

Por lo tanto:

$$R = 17.3 (65 / 100) = 11.25 \text{ gr / m}^3.$$

Posteriormente con la ecuación (9) se determinó las disminución de la humedad relativa en la segunda condición (a la cual se pretende secar la madera), manteniendo la misma cantidad inicial real de vapor R en el aire seco, pero ya a la temperatura de secado, donde:

$$HR. = ?$$

$$t = 76 \text{ }^\circ\text{C} = \text{Temperatura inicial de secado.}$$

$$R = 11.25 \text{ g / m}^3$$

$$M = 249.5 \text{ g / m}^3 \text{ (Ver grafica 1) Schamale.}$$

$$HR = \frac{11.25}{249.5} \times 100 = 4.5\%$$

Una vez realizado lo anterior, con la formula (10) se procedió a determinar la cantidad real de vapor (R') que se requiere en el ambiente para tener la humedad relativa necesaria para el secado, donde se obtuvieron los siguientes datos:

$$HR = 69\% \text{ Humedad Relativa para iniciar el secado.}$$

$$t = 76 \text{ }^\circ\text{C} \text{ Temperatura inicial de secado.}$$

$$R' = ?$$

$$M = 249.5 \text{ g / m}^3$$

$$R' = (249.5) (76 / 100) = 189.62 \text{ g / m}^3$$

Después de realizar lo anterior, con la diferencia de los resultados obtenidos en los dos párrafos anteriores, se calculó la cantidad de vapor (*CVA*) necesaria que se debe adicionar para ajustar la humedad relativa de la condición inicial de acuerdo a la secuela de secado.

$$CVA = (R' - R) \times \text{Volumen de aire en la cámara. (ver sección 5.3.D)}$$

$$CVA = (189.62 - 11.25) \times 137.357 = 24500.368 = 245 \text{ Kg}$$

Posteriormente se determinó el calor latente de evaporación del agua (H_1) de la madera a la temperatura media de secado (81.5°C), por la ecuación siguiente:

$$H_1 = 597.9 - 0.592 t \quad (15) \quad (\text{Ref. 4})$$

$$H_1 = 597.9 \text{ (Kcal / Kg)} - 0.592 (81.5^\circ\text{C}) = 549.652 \text{ Kcal / Kg }^\circ\text{C}$$

Para finalizar, con la siguiente ecuación, se determinó la cantidad de calor necesario para producir esa cantidad de vapor:

$$QH = (H_1)(CVA) \quad (11)$$

Donde QH = Cantidad de calor necesario para elevar el aire húmedo a la temperatura deseada. (Kcal)

H_1 = Calor latente de vaporización del agua.

$$Q_H = 549.652 \times 0.979 = 538.109 \text{ Kcal}$$

F. Calor Para Calentar el Aire Fresco Introducido a la Cámara de Secado.

Esta masa de aire es la que se requiere para desalojar el aire humidificado por la vaporización del agua de la madera.

El calor necesario que absorbe esta masa de aire esta en función de la temperatura exterior de la estufa y la temperatura de secado, por lo que se hace necesario primero determinar la capacidad de retención de humedad del aire (CR) introducido a la estufa. Esta es la diferencia que existe entre la cantidad real (R) de vapor contenido en el aire que entra a la cámara y la cantidad real (R_3) de vapor

de agua promedio contenido en el aire expulsado por las ventilas durante todo el proceso de secado, así tenemos que:

$$CR = R3 - R \quad (12)$$

Donde: $R = 11.25\text{gr/m}^3$

Para conocer $R3$ se utilizo la ecuación (10), teniendo los datos siguientes:

La temperatura promedio de la cámara durante el proceso de secado es de:

$$(76 + 87) / 2 = 81.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La humedad relativa promedio es de: $(69 + 28) / 2 = 48.5 \%$

Para una humedad relativa de 48.5 % según referencia (14) se obtiene que :

$$M = 304.2 \text{ g / m}^3$$

De tal manera que:

$$R3 = 304.2 (48.5 / 100) = 147.53 \text{ g / m}^3$$

Por lo tanto:

$$CR = 147.53 - 11.25 = 136.28 \text{ g / m}^3$$

Posteriormente, con la cantidad de agua que se necesita extraer de la madera (AEX) determinada en la sección 5.3. se calculó el volumen de aire (VA) necesario para desalojar el total de agua a extraer de la madera durante el proceso de secado:

$$VA = AEX \times CR \quad (13)$$

$$VA = (6579.034) (136.28) = 896636.80 \text{ m}^3$$

y la masa de aire será:

$$m = (\text{densidad del aire}) (\text{volumen de aire})$$

$$m = (0.92 \text{ Kg} / \text{m}^3 \times 896636.80 \text{ m}^3 = 824905.862 \text{ Kg}$$

finalmente se determinó la cantidad de calor (QIN) necesario para calentar ese volumen de aire:

$$QIN = m C_p (t_2 - t_1) \quad (14)$$

Donde:

C_p = calor específico del aire. Kcal / Kg °C)

t_1 = temperatura del aire introducido = 20°C

t_2 = temperatura promedio del secado = $(76 + 87) / 2 = 81.5$ °C

$$QIN = 824905.862 \times 0.237 \times (81.5 - 20) = 12023415.34 \text{ Kcal.}$$

G. Calor Para Evaporar el Agua de la Madera.

Para calcular la cantidad de calor necesario para evaporar el agua de la madera se utilizó la siguiente ecuación:

$$QS = m H_1 \quad (15)$$

Donde : $m = AEX$ = masa de agua a evaporar determinada en la sección 4.3

H_1 = calor latente de evaporación del agua determinado en la sección 5.3.B. = 549.652 Kcal / Kg.

$$QS = 6579.034 \times 549.652 = 3616179.196 \text{ Kcal.}$$

5.3.1 Determinación de la Capacidad de Calentamiento Necesaria Para el Secado.

La demanda de calor para el secado de la madera es la suma de las cantidades de calor parciales determinadas anteriormente:

$$Q_{Total} = QC + Qm + QM + QA + QH + QIN + QS \quad (16)$$

$$Q_{Total} = 477123.881 + 3351705.1 + 594101.282 + 2895.372 + 538.109 + 12023415.34 + 3616179.196 = 20065958.33 \text{ Kcal / carga}$$

$$20065958.33 \text{ Kcal / 100 hrs} = 200659.58 \text{ Kcal / h}$$

5.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO

De acuerdo con la demanda de calor necesaria para el secado, se diseñó el sistema de calentamiento en base a la ecuación general de transferencia de calor:

$$Q = AU (t_2 - t_1) \quad (17)$$

Donde : $Q = Q_{Total}$ = Cantidad de energía calorífica necesaria para el secado que debe ser producida por el intercambiador. (Kcal.)

A = Área de transferencia de calor. (m^2)

U = Coeficiente global de transferencia de calor.

20 Kcal/h m^2 °C , (Ref. 4)

t_1 = Temperatura inicial de secado = 76 °C

t_2 = Temperatura máxima de secado = 87°C

T_m = Temperatura media de secado = 81.5 °C

$t =$ tiempo total de secado = 100 h

Temperatura del intercambiador de calor = 350 °C

Para determinar el área mínima de transferencia de calor se deberá de despejar “A” quedando de la siguiente manera:

$$A = \frac{Q}{U(t_2 - t_1)} \quad (18)$$

Sustituyendo:

$$A = \frac{20065958.33}{20(350 - 81.5)}$$

$$A = 3736.67 / 100 = 37.36 \text{ m}^2$$

Ya que ha sido determinada el área mínima, procedemos a calcular la longitud total del intercambiador de calor, de la siguiente manera: un metro de 6” de diámetro nos proporciona una superficie exterior de 0.478 m², dado lo anterior requeriremos:

$$L_{\text{tubo}} = 37.36 \text{ m}^2 / (0.478 \text{ (m}^2/\text{m)}) = 78.173 \text{ m}$$

Obteniendo el resultado anterior y para comodidad en el diseño del intercambiador de calor se decidió utilizar 24 tubos de 3m de longitud resultando 72m a utilizar de este tipo de tubo, además de que se le adiciona la superficie que representan los cabezales del mismo intercambiador de calor, los cuales suman 9.46 m de superficie, dando un total de 81.46 m.

Siendo 200659.58 Kcal/h la potencia requerida del sistema de calentamiento, tenemos que la combustión de 1 kg de madera verde provee al sistema de 2500Kcal por lo tanto:

$$200659.58 \text{ Kcal/h} / 2500 \text{ Kcal/kg} = 80.26 \text{ kg /h}$$

Tomando en cuenta lo anterior, se diseñó la cámara de combustión con un espacio para quemar entre 80 y 100 kg de madera verde por hora. En las Figuras 8 a 13 podemos observar las características, dimensiones y diferentes vistas de la cámara de combustión.

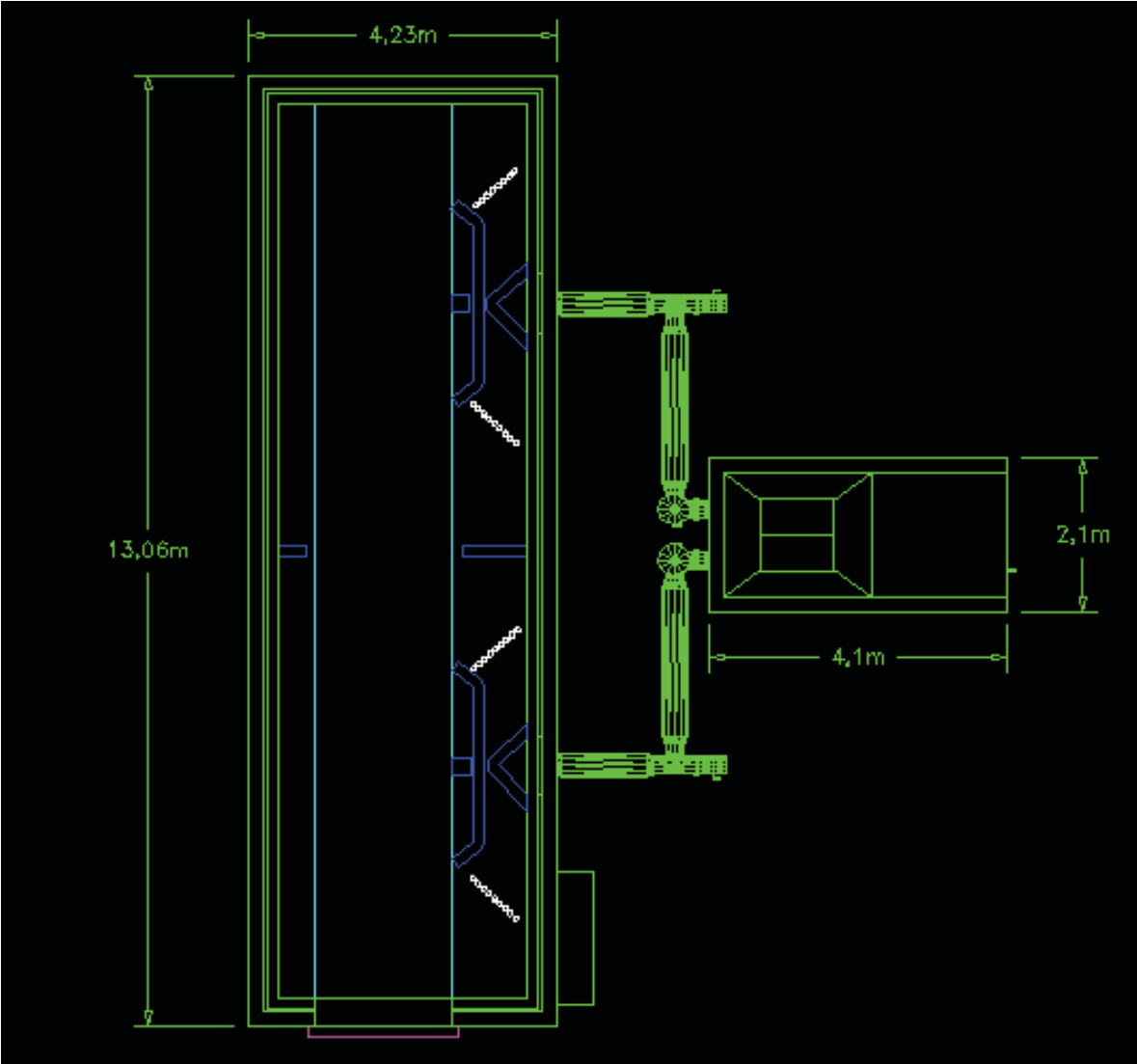


Figura 8. Vista superior de la cámara de secado y cámara de combustión.

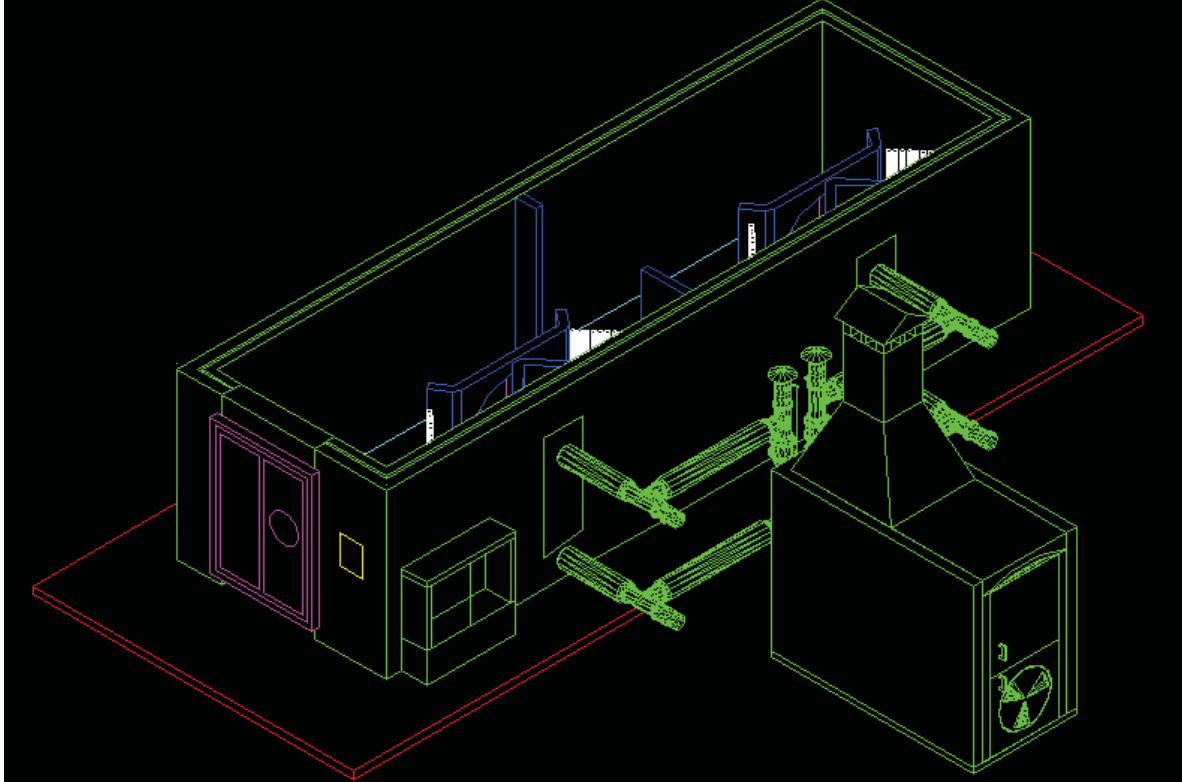


Figura 9. Vista isométrica de la cámara de secado y cámara de combustión.

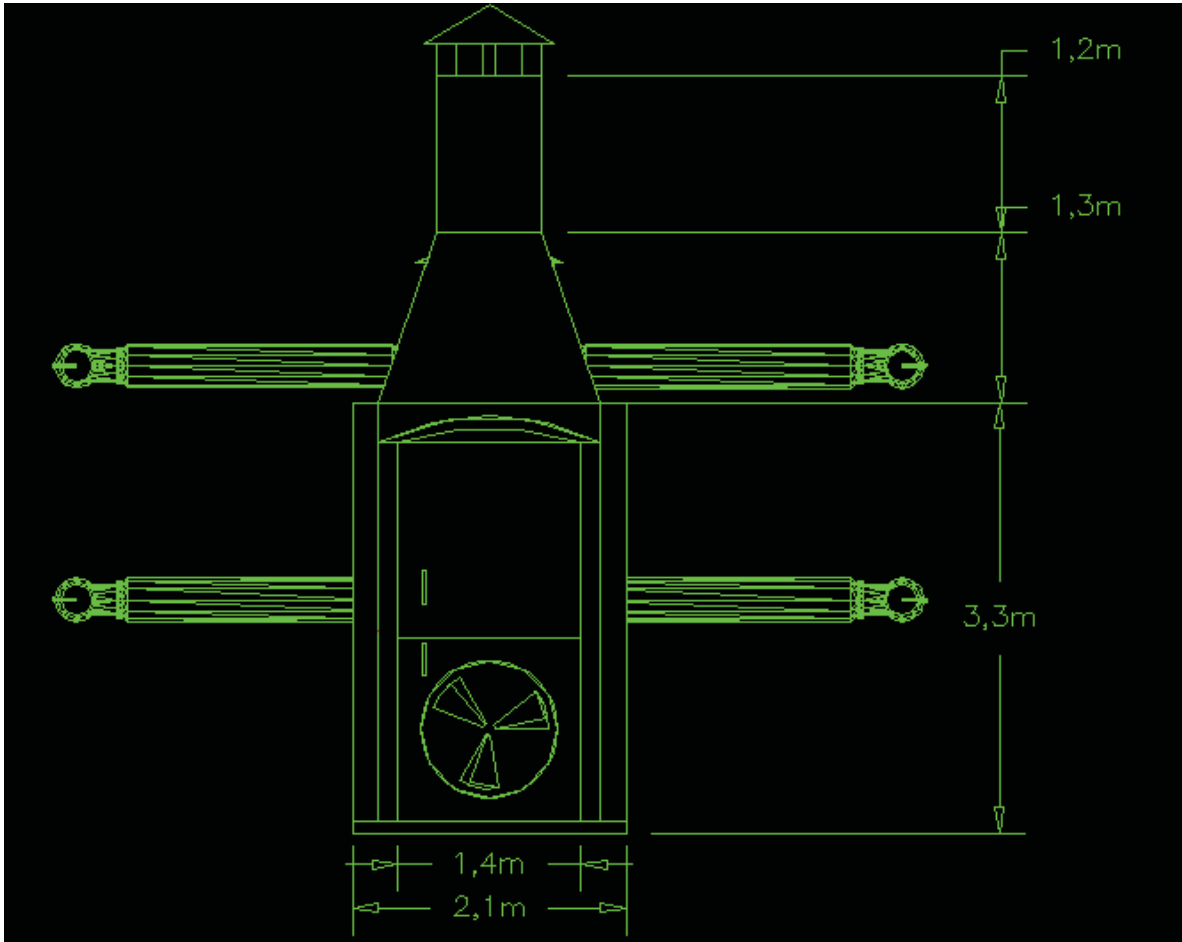


Figura 10. Vista frontal de la cámara de combustión.

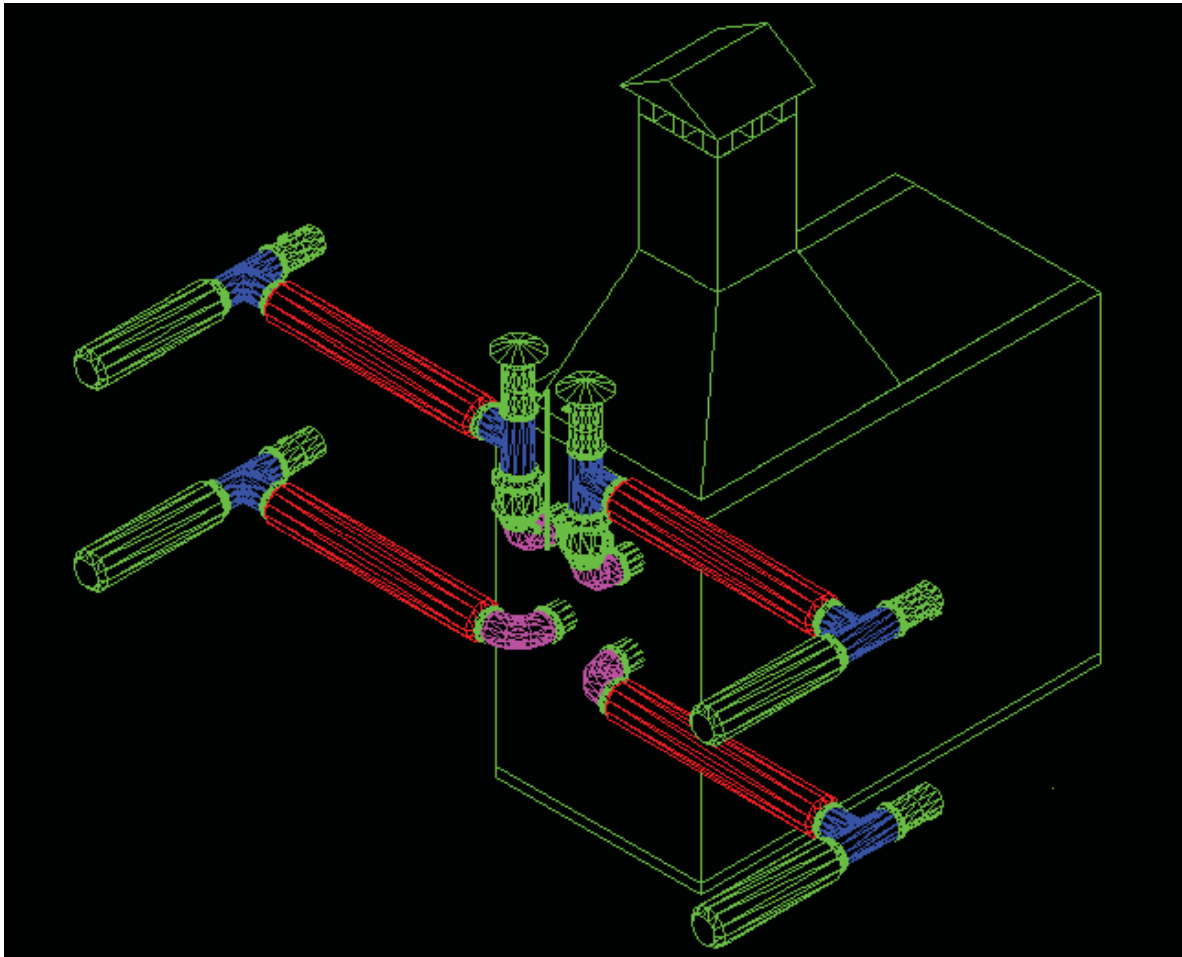


Figura 11. Vista posterior de la cámara de combustión.

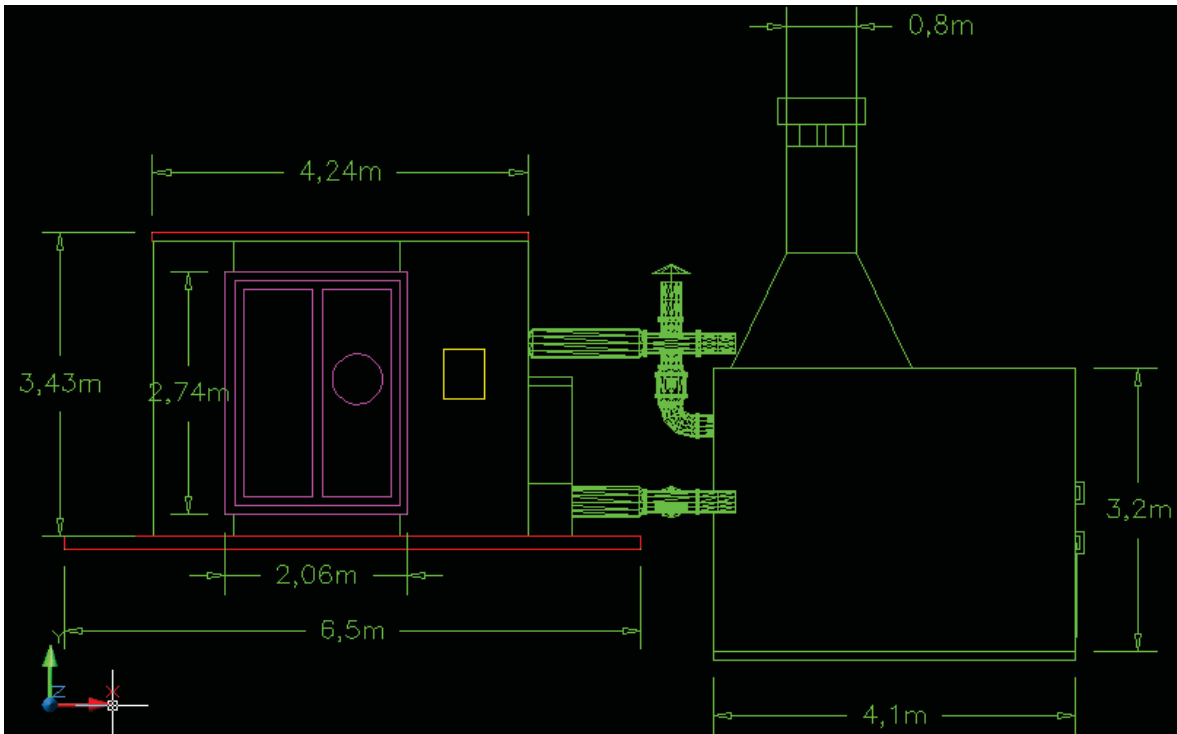


Figura 12. Vista lateral de la cámara de combustión.

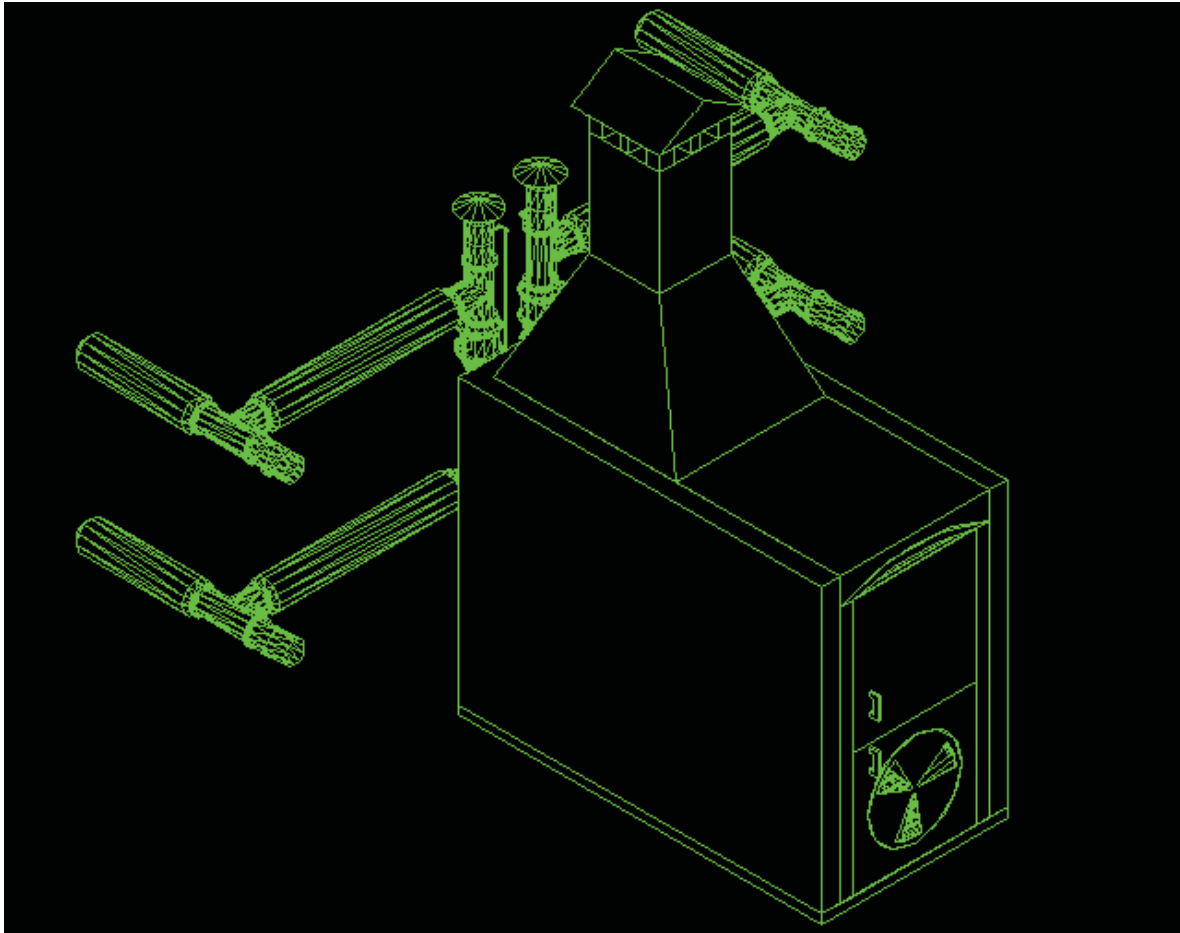


Figura 13. Vista isométrica de la cámara de combustión.

Debido a que la trayectoria que deberá de recorrer el aire expulsado por las ventilas de salida de la cámara de secado es grande; se opto por incluir en el diseño dos extractores tubulares los cuales tendrán la función de llevar el aire por los fluses para que se caliente y sea nuevamente introducido a la cámara de secado.

5.5. DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE LOS EXTRACTORES.

La capacidad necesaria de los extractores fue determinada por la formula siguiente:

$$G = V \times A \quad (19)$$

G = gasto o caudal.

V = velocidad del aire (salida de las ventilas, medición tomada de la cámara de secado)

A = área libre de la ventila.

$$G = 12 \text{ m/s} \times 0.045\text{m}^2 = 0.54 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$0.54 \text{ m}^3/\text{s} \times 3600\text{s} = 1944 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Agregando a este valor un 30 % como margen de seguridad: $1944 \times 0.30 = 583$

$$1944 + 583 = 2527 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Obteniendo el resultado anterior podemos elegir el modelo de extractor que mas se ajuste a nuestras necesidades.

Siendo el modelo TT-B 315 de la marca S&P el que mas se adapta a las necesidades, con un caudal de descarga libre de $2600 \text{ m}^3 / \text{h}$ para el modelo antes mencionado.

6.- ANALISIS DE RESULTADOS

Si utilizamos desperdicios de madera provenientes del aserradero y residuos de la fabricación de otros procesos, tendremos un significativo ahorro de diesel. Ya que si comparamos el poder calorífico que aporta tanto el diesel, como la madera verde, tendremos que por cada 3.6 Kg de madera verde quemada en este sistema se deja de quemar un litro de diesel.

Cuando presecamos la madera que ha de ser introducida en la cámara de secado; reducimos el consumo de diesel hasta en un 50% con el sistema que esta instalado actualmente (caldera).

Las medidas de la cámara de combustión fueron resultado del espacio requerido para el intercambiador de calor, y el espacio para quemar el volumen de madera requerido.

Una clara desventaja de este diseño, es que ya que funciona con desperdicios; es necesario un gran volumen de estos, comparando con el volumen de otros combustibles derivados del petróleo.

Es decir si en el primer secado fue necesario quemar 1061 litros de diesel, para obtener la misma cantidad de Kcal que el diesel proporciona necesitaremos 3.8 toneladas de madera verde.

Por lo tanto si tenemos que la densidad de la madera a un contenido de humedad de 90% es igual a 975 Kg/m³; requeriremos de un volumen de 3.7 m³.

Un aserradero que produce 4000 pt en un turno de 8 horas, con un coeficiente de desperdicio de 40%; proporcionara la cantidad suficiente de material por turno para secar 1.6 cargas de madera, teniendo un sistema auxiliar de calentamiento como el que se presenta en este trabajo.

Comparando los resultados de los requerimientos de calor podemos observar que la mayor cantidad de energía es requerida para calentar el aire de ventilación. Así que si recirculamos el aire de las ventilas de salida y lo ingresamos al intercambiador de calor estaremos ahorrando energía en la fase del proceso que mas demanda tiene.

Respecto a la cantidad de material orgánico que se recolecta en los jardines, oscila entre 3 y 4 camiones tipo volteo por semana; incluyendo hojarasca, pasto y ramas.

La cantidad de Kcal que aportan las ramas y hojas secas de arboles varia en gran medida debido al contenido de humedad que presenten pero un valor aproximado seria de 3000 Kcal para las hojas y 3500 para las ramas

La cantidad de material orgánico que se recolecta de los jardines de CU es de aproximadamente 200Kg (medio camión tipo volteo) de la cual podemos extraer 600000 Kcal.



Figura 14. Ramas secas que se pueden utilizar para el secado.



Figura 15. Hojas secas de arboles que se recolectan en los jardines de CU.

7.- CONCLUSIONES

El presente diseño de un sistema auxiliar de calentamiento con materiales comerciales y accesibles, pero de buena calidad, reduce significativamente el costo total de la construcción; además no es necesaria mano de obra especializada para la construcción de dicho sistema.

El apilado de madera para su secado al aire libre es muy conveniente para disminuir costos de secado pero debe planificarse para realizar el menor número de maniobras posible y así disminuir el costo de mano de obra y tiempo en este proceso.

Además de desperdicios del aserradero y fábrica de muebles, es posible utilizar algunos otros materiales provenientes de otros procesos entre los que podemos mencionar corteza de madera, bagazo de caña, papel y cartón. Y la utilización de residuos de productos naturales como la cascara de cacao, algodón, coco, basura (hojas de arboles, ramas secas, follaje) etc.

Dar un uso alternativo a los desperdicios de madera de un aserradero y fábricas de muebles, que cuentan con sistemas que funcionan a base de combustibles derivados del petróleo es una de las razones principales que dan sustento a este trabajo.

Dadas las características obtenidas en el diseño es posible utilizar este sistema como único o auxiliar, siempre siendo cuidadosos de seguir el programa de secado para las diferentes maderas y espesores.

8.- RECOMENDACIONES

Es recomendable realizar un pre secado al aire libre, ya que ofrece las ventajas de homogenizar la humedad de la madera para cada una de las tablas, disminuye los costos de estufado y no presenta costos excepto los de maniobras de apilamiento.

Para tener un mayor control de la temperatura en el interior de la cámara de secado, se recomienda utilizar el sistema auxiliar en las primeras etapas de secado y utilizar los dos sistemas en las últimas etapas, cuando es requerida una mayor precisión en el control de la temperatura.

Utilizando madera seca como combustible obtendremos un mayor poder calorífico por kilogramo de madera así que se recomienda quemar madera con un bajo contenido de humedad. por lo tanto es recomendable realizar un presecado al aire de la madera que tenga alto contenido de humedad.

Al diseñar equipos como estos, es recomendable verificar las medidas comerciales de los elementos de construcción para que el diseño sea lo mas eficiente y practico posible.

Es recomendable utilizar entre 95 y 110 Kg de madera por hora, que es el valor calculado para las diferentes etapas de secado, ya que si utilizamos menos madera, el secado tardaría más tiempo, y si utilizamos mas combustible podríamos tener defectos de secado.

En caso de utilizar como combustible otros materiales (bagazo de caña, papel y cartón, etc.) será necesario ajustar la cantidad de material en kilogramos de acuerdo al poder calorífico respectivo. Ver tabla 1.

Es posible también utilizar un quemador de gas LP, el cual posee un poder calorífico de 12000 Kcal/Kg, solo que en la actualidad los precios tanto del diesel como del gas son casi iguales comparando las kilocalorías que aporta cada uno de ellos.

Se recomienda que el material orgánico recolectado en los jardines, tenga el mas bajo contenido de humedad posible para que su eficiencia sea mayor.

9.- BIBLIOGRAFIA

1.-Aprovechamiento energético de biomasa y residuos fabriles en la industria de transformación de la madera. 2004. [Internet]. Mexico. Disponible en:

<http://www.agroinformacion.com/leer-articulo.aspx?not=135>

[Consulta: septiembre 18, 2004].

2.-Bocanegra Ojeda S.1991. Diseño de una estufa de secado para madera a base de leña y/o viruta. Tesis profesional. Escuela de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de san Nicolás de Hidalgo. Morelia Mich., México. 59p.

3.-Bocanegra Ojeda S. 2000. Diseño, Construcción y Funcionamiento de una Estufa de Secado Para Madera a Base de Leña con Intercambiador de Calor. Tesis de maestria. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de san Nicolás de Hidalgo. Morelia Mich., México. 46p.

4.- Bramhall, G. 1979. Mathematical model for lumber drying. Wood science (18)1:14-31.

5.-Combustión con exceso de aire. 2004 [Internet]. México. Disponible en:

<http://www.pue.uia.mx/docs/alumnos/Mexico/termica/CAPGII.htm>

[Consulta: septiembre 23, 2004].

6.- Frass A. 1988. Heat exchanger design. Second edition. John Wiley & sons. New York.536p.

7.-Gieck K. 2000. Manual de Formulas Tecnicas. Alfaomega pp. Z6,7.

8.- Granet, I. 1988. Termodinámica. Prentice-Hall Hispanoamericana. Mexico. 752p.

9.-Hernández Goribar E. 2004. Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración. Limusa. México. 461p.

10.-Hildebrand, R. 1970. Kiln drying of sawn timber. Maschinenbau Gmbh. 196p.

11.- Hildebrand, R. 1964. El secado de madera aserrada. Comercial Sagrera. Sabadell. 161p.

- 12.-Instalcion de una caldera mixta Biomasa-Fuel-Oil. 2004. [Internet]. España. Disponible en: <http://www.aven.es/pdf/fichas/23.pdf>. [Consulta: octubre 3, 2004].
- 13.- Kern, D. 1976. Procesos de transferencia de calor. Compañía editorial continental. México. 980p.
- 14.-Kollmann F. 1960. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Trad. de la ed. Alemana por el Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y el Servicio de la madera. Madrid. 628p.
- 15.-Mcquiston, F. Et all. 2003. Calefacción, ventilación y aire acondicionado. Limusa Wiley. México. 612p
- 16.- Parker, H. 1983. Diseño simplificado de concreto reforzado. Limusa. Mexico. 317p.
- 17.-Perry, H. R. 1992. Manual del ingeniero Químico. 6ta ed. Tomo II. México. 1210p.
- 18.-Severns, W. et all. 1991. Energía mediante vapor, aire ò gas. Edit. Revertè,S.A. Mexico. 503p.
- 19.- Simpson,W. 1991. Dry Kiln Operator's Manual. United States Department of Agriculture. Madison Wisconsin. 267p.
- 20.- Tsoumis, G. 1991 Science and technology of Wood. Van Nostrand Reinhold. New York. pp 113.
- 21.-W. Schamale, et all. 1969. Tecnología de carpintería. Edit.Julius Beltz.Weinheim/Bergstr. Alemania. Pp 59.

10.- APENDICE 1

PROGRAMA DE SECADO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA

Nombre científico: _____ Nombre común: Pino Programa: T13-F6

Esesor: 4/4" Humedad inicial: _____ Humedad final: 8%

Observaciones: _____

ETAPA DE SECADO	ETAPA DE TEMP.	ETAPA DE DEPRESIÓN	C. H. (%)	a:	T SECA °C	ΔT °C	T HUMEDA °C	°F	H. R. (%)	H. e. (%)	DECLIVE DE SECADO	
											de:	de:
1	1	1	>70	70	76.7	8.3	68.4	15	69	9.2	>7.6	7.6
2	1	2	70	60	76.7	11.1	65.6	20	60	7.8	8.9	7.6
3	1	3	60	50	76.7	13.9	62.8	25	52	6.7	8.9	7.4
4	1	4	50	40	76.7	16.7	60	30	45	5.7	8.7	7.01
5	1	5	40	30	76.7	19.4	57.3	35	39	5.05	7.92	5.9
6	2	5	30	25	82.2	19.4	62.8	35	41	5	6	5
7	3	5	25	15	87.8	19.4	68.4	35	41	4.9	5.1	3.06
8	3	6	15	8	87.8	27.8	60	50	28	3.3	4.54	2.42

IGUALAMIENTO			S = 6	H = 8	87.8	190	14.4	26	73	164	53	6	1	1.3
ACONDICIONAMIENTO			H = 8		87.8	190	5.5	10	82.2	180	80	10.9	0.73	

11.- ANEXOS

ANEXO 1. HOJA DE CONTROL CONTINUO DE SECADO.

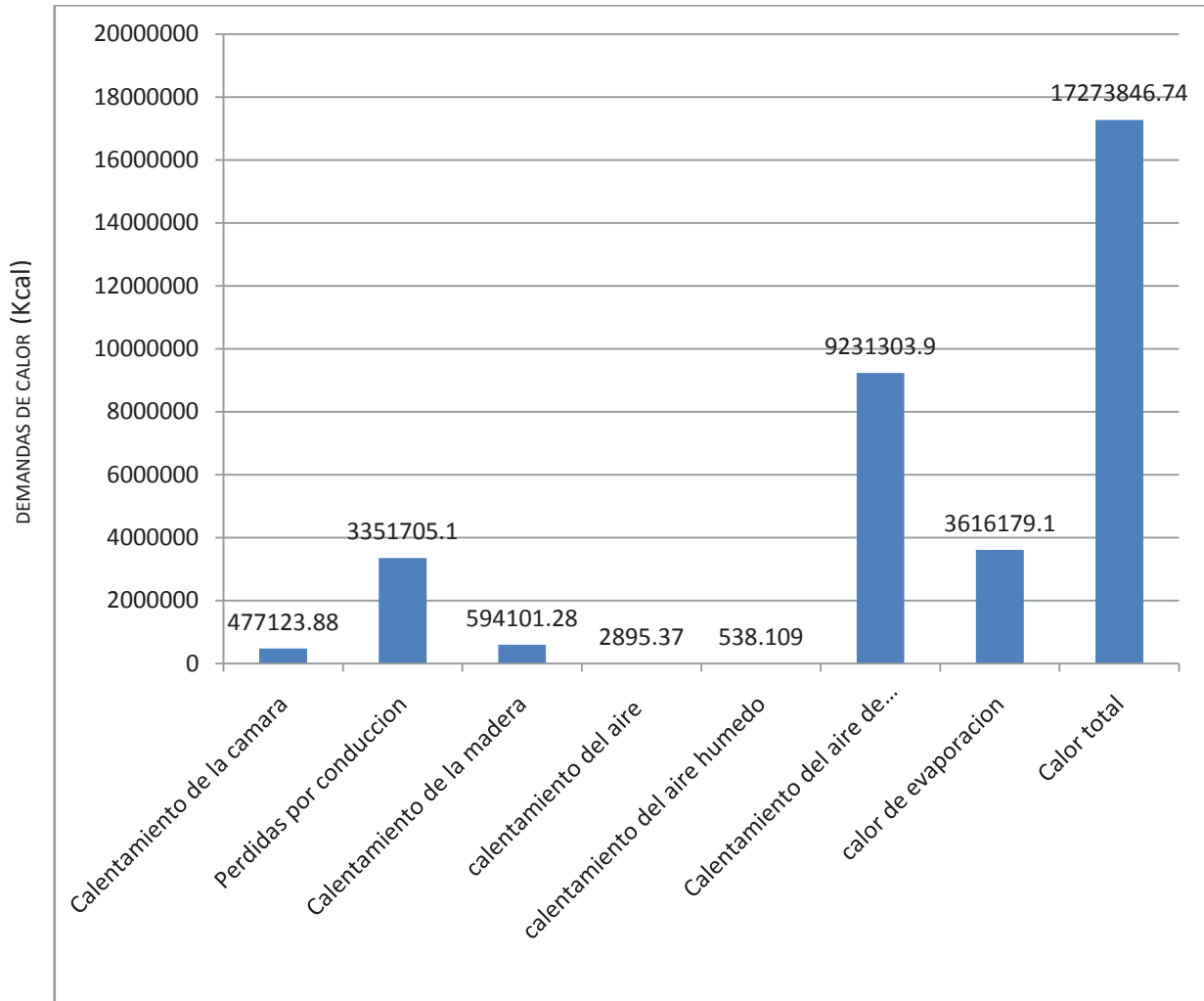
AREA DE SECADO DEL LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE LA MADERA

ESPECIE: _____ GROSOR: _____ H. i.: _____ H. f.: _____ SECADO No. _____
: _____

Fecha											
Hora											
Probeta No.	No de medición										
	Pa										
	Ha										

HOJA No. _____

ANEXO 2. GRAFICA DE DEMANDAS DE CALOR



ANEXO 3

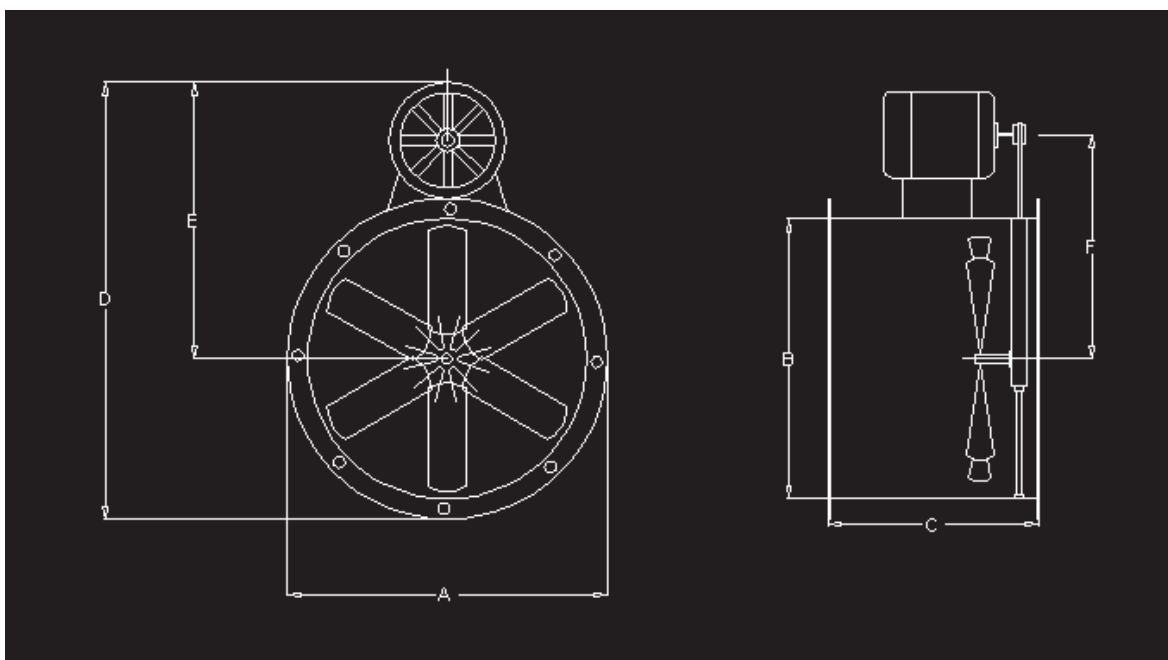
CARACTERISTICAS Y DIMENSIONES PRINCIPALES

Características técnicas							
Modelo	Velocidad R.P.M.	Potencia H.P.	Intensidad Admisible A		Caudal Descarga Libre m ³ /hr.	Nivel Sonoro dB*	Peso Aprox. Kg.
			Trifásicos	monofásicos			
TT-B250	1625	1/10	-	1.23	1350	50	9.75
TT-B315	1625	1/8	-	1.53	2600	55	12.5
TTT-B400	1650	1/2	2.2	9	4300	64	28
TTT-B500	1650	3/4	2.6	9.4	8700	68	35

*TTT Motor trifásico 220/440 V, 80HZ.

*TTB Motor monofásico 127 V, 60HZ.

Dimensiones en mm						
Modelo	A	B	C	D	E	F
TT-B250	300	260	238	430	280	215
TT-B315	365	319	240	500	315	255
TTT-B400	465	400	300	630	430	350
TTT-B500	565	500	310	730	480	400



ANEXO 4

Grafica de cantidad de agua por metro cubico de aire.

