

# CAPÍTULO 1

## GENERALIDADES

### 1.1 Antecedentes.

En estos tiempos de cambios climáticos debido a la sobreexplotación de los recursos naturales como el petróleo, del cual se extrae fibras textiles para fabricar prendas de vestir, se ha hecho conciencia principalmente en los países europeos de utilizar materiales provenientes de recursos no contaminantes como es el caso de la seda.

El hilo de seda es obtenido de manera directa del gusano, el cual se alimenta de una planta llamada morera que se cultiva en sitios calidos como es el caso de la Zona de Santo Domingo de los Colorados.

Con la realización de este proyecto se desea hacer en la Hacienda Zoila Luz un centro de acopio de los capullos para su secado, comprando principalmente a pequeños productores de la zona y de esta manera mejorar sus ingresos económicos.



**Figura 1.** Gusano de seda

En la figura anterior se puede observar:

- La larva llamada gusano de seda que alcanza una longitud máxima de 7,5 cm.
- La morera, planta única del cual se alimenta el gusano de seda.
- Y el capullo que esta compuesto de una envoltura (hilo de seda) y en su parte interior se halla la pupa que esta en proceso de transformación de gusano a mariposa luego de que el gusano ha construido el hilo de seda de manera continua encerrándose dentro del capullo. El hilo puede alcanzar una longitud de 1000m hasta 1500m de largo.

## **1.2 Definición del Problema.**

En el mundo se han desplegado muchos esfuerzos con el fin de aumentar la producción y la productividad de los productos agrarios. Estos esfuerzos, que exigen inversiones importantes, se han visto parcialmente neutralizados por las pérdidas que se producen después de la madurez de los productos.

En nuestro país, es conocido que mucha producción se deteriora, debido a las precarias condiciones en que se realiza el tratamiento de la mayor parte de productos entre ellos los capullos de seda. El tratamiento de los productos se compone de una serie de operaciones unitarias entre las que se destaca el secado. La falta de secado adecuado es una de las principales fuentes de pérdida de los productos agrícolas.

El secado de los capullos, consiste en eliminar el agua hasta un nivel que prevenga el crecimiento de hongos y bacterias, y así permitir la conservación del capullo por largos periodos de tiempo. Por lo tanto tener capullos de seda en cualquier época de año.

En vista de aquello la ESPE, en convenio con el INSTITUTO ITALO LATINOAMERICANO (IILA), están desarrollando toda una infraestructura en la Hacienda Zoila Luz en Santo Domingo de los Colorados para apoyar la producción del gusano de seda en la región, donde el horno secador a construirse es una parte importante para el procesamiento industrial de la seda.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 General**

Diseñar y construir un horno secador de capullos de seda para la Carrera de Ciencias Agropecuarias Santo Domingo de los Colorados, Hacienda Zoila Luz.

### **1.3.2 Específicos**

- Diseñar y construir un horno secador para 40 Kg de capullos de seda.
- Instalar y poner en marcha el horno secador en la hacienda.
- Obtener un grado de secado de alrededor del 42 %, con una temperatura en la cámara de secado de 80°C en una jornada promedio de 8 horas.

## **1.4 Alcance**

Consiste en diseñar y construir un horno secador con capacidad para 40 kilogramos de capullos de seda frescos, el cual deberá contener un sistema de combustión de gas licuado de petróleo. La cámara de secado deberá funcionar a una temperatura de (80 °C), y de manera asociada funcionaran un sistema de circulación forzada que permitan una mayor tasa de evacuación de la humedad de los capullos de seda.

Los controles para el suministro del gas y temperatura interior del horno son por medio de válvulas y un controlador de temperatura respectivamente.

El proyecto deberá contener manual de operación y mantenimiento del equipo, para preservación y buen desempeño de los mismos. Así como capacitar a las personas responsables del manejo del horno secador.

## **1.5 Justificación e importancia**

Este proyecto esta relacionado con el mejoramiento de los ingresos de familias que viven en el sector y la utilización de la seda en prendas de vestir debido a la comodidad y compatibilidad con el medio ambiente.

Este trabajo lleva consigo dar un valor agregado a los capullos de seda es decir; aumentar los ingresos económicos de los sericultores; ya que antes recibían un valor de 3.5 USD por cada Kg. de capullo fresco; y ahora con el secado de los capullos de seda reciben en la actualidad 15 USD por cada Kg. de capullo seco. Además de que los productores pueden almacenar los capullos secos por períodos largos de tiempo y permitiendo a los artesanos obtener un hilo de seda de mejor calidad.

Para llevarse a cabo el proyecto se cuenta con los recursos económicos asignados por el Instituto Italo Latinoamericano (IILA) para el proyecto serícola en la hacienda Zoila Luz de la Carrera de Ciencias Agropecuarias sede Santo Domingo de los Colorados.

El horno secador deberá ser de fácil uso para el operario y que permita un control adecuado durante el proceso de secado. Además deberá contar con las respectivas seguridades para precautelar la integridad física, técnica del equipo y que su consumo energético sea económico.

Esta tesis servirá como modelo para la construcción de más hornos en otras zonas geográficas del Ecuador, donde se trabaja a un nivel artesanal.

## **CAPITULO 2**

### **MARCO DE REFERENCIA**

#### **2.1 Marco teórico.**

##### **2.1.1 Gusano de seda.**

El gusano de seda es un insecto que pertenece a la familia zoológica de las mariposas. Para el desarrollo de su ciclo larval, se alimenta única y exclusivamente de hojas frescas de morera. De manera que, la hoja de morera constituye la materia prima necesaria, para producir la fibra natural más bella.

El cultivo de la morera es la base de la sericultura, pues determina la velocidad de crecimiento de una actividad serícola; así como el período, en el calendario agrícola anual, en el que es factible el desarrollo de los gusanos de seda. Dos a tres crías bajo climas de cuatro estaciones y hasta nueve en la zona subtropical.

La morera llega a medir hasta diez metros de altura y es un árbol longevo. Se trata de una planta originaria del Sur Oriente de Asia, desde donde se difundió hacia toda China, Korea, Japón, Mediano y Cercano Oriente, a Europa y de allí a América.

De acuerdo con el botánico ecuatoriano, Misael Acosta Solís (1992), la morera fue introducida en el Ecuador en el siglo XIX por el presidente García Moreno, se dice que en su primera administración; y como su

propagación se hace vegetativamente, las estacas vinieron en paquetes acondicionados, los que fueron abiertos en Quito y llevados a Puéllaro e Ibarra. Las plantas de Puéllaro prosperaron muy bien. El gusano de seda, los huevos y las larvas fueron introducidos al poco tiempo de obtener buen resultado del crecimiento de la plantación.

Hacia fines del siglo XX, se reintrodujo la morera en Ecuador, para el fomento de la Sericultura, como parte del Proyecto Piloto para la Introducción y Desarrollo de la Sericultura en Ecuador, financiado por la Dirección General para la Cooperación al Desarrollo del Ministerio de Asuntos Exteriores de Italia (DGCD- MAE), a través del Instituto Italo Latino Americano (IILA), proyecto que se desarrolló con muy buenas perspectivas.

## **2.1.2 Capullo de seda.**

### **2.1.2.1 Producción.**

Para la producción comercial el ciclo se ha dividido en 3 etapas:

- Producción de huevos de cría de gusano joven (1a. y 2a. edad).
- Cría de gusano adulto (3a., 4a. y 5a. edades).
- Producción de capullos.



**Figura 2.1.** Gusano adulto iniciando el encapullamiento.

La cría del gusano adulto tiene una duración de 27 días aproximadamente, son realizados por los sericultores en sus fincas, para lo cual deben disponer de casetas de cría con adecuadas condiciones de asepsia, temperatura, humedad, ventilación y luminosidad. De igual manera, la morera que se le suministre al gusano debe ser de excelente calidad nutricional y cantidad suficiente para su normal desarrollo.

La producción de capullos se inicia cuando la quinta edad y el gusano muestran algunos síntomas como inapetencia, disminución del tamaño, cambio de color y eliminación de hilo de seda. Para este proceso se utilizan las rodalinas.



**Figura 2.2.** Rodalinas con capullos.

Los gusanos trepan a las rodalinas, entonces comienzan a tejer su capullo fabricando, alrededor suyo, una envoltura oval, dándole forma de "8" con los movimientos de la cabeza. Al cuarto día, el gusano ha terminado de vaciar su glándula sedosa y pasa a una etapa de sueño profundo.

A partir del décimo día, los sericultores pueden desmontar las rodalinas y separar cada capullo, quitándole la borra y las impurezas. Hasta entonces, la crisálida sigue viva y en proceso de metamorfosis, por lo que es necesario interrumpirla a través del secado con aire caliente, que es igualmente importante para evitar cualquier residuo de humedad, ya que puede manchar los finos hilos, perdiéndose definitivamente el capullo.



### 2.1.2.2 Uso de la seda.

En la industria luego de los procesos de secado, cocinado, devanado e hilado, con la cual se produce la seda cruda que puede ser exportada a otros países para posteriormente elaborar telas. Si el destino son las artesanías; el capullo pasa por procesos similares pero hechos por los artesanos, los cuales además de devanada, tinturan los hilos para luego tejer finas prendas.



**Figura 2.3.** Hilo de seda

### 2.1.2.3 Características.

La calidad de los capullos se define por un conjunto de características que determinan su estructura y propiedades físicas, y en consecuencia su comportamiento al devanado.

La evaluación de estas características permite efectuar una clasificación de los capullos en términos de cantidad y calidad de hilo que se puede obtener, y por ende establecer un valor económico de los mismos.

Entre las características del capullo de seda que determina la calidad tenemos las siguientes:

- Riqueza en seda
- Devanabilidad
- Largo del hilo
- Rendimiento en seda
- Calibre

### **2.1.3 Secado del capullo de seda**

#### **2.1.3.1 Propósito del secado.**

Realizar un proceso de secado a los capullos frescos tiene tres consideraciones principales que son:

- Terminar el ciclo de vida de los gusanos de seda para interrumpir su metamorfosis, la cual destruye el capullo deteriorando la continuidad del hilo y manchando los capullos vecinos.
- Deshidratar la corteza y pupa, de tal manera que el capullo seco se pueda almacenar por largo tiempo sin riesgo a que se produzcan hongos por la presencia de humedad.
- Acondicionar la sericina con unas propiedades exactas para que el hilo resultante sea de una tensión y elongación propias y de igual precisión. Además de una buena pureza y limpieza, exento de varios tamaños de nudos y defectos del hilo de seda.

El capullo fresco contiene desde un 61 a 64% de agua, la mayoría de agua se encuentra en el cuerpo de la pupa (Tabla 2.1). Durante el proceso de secado el agua en la corteza se evapora rápidamente, mientras que la deshidratación de la pupa demora de unas 6 a 8 horas de secado. Después del proceso de secado, el peso del capullo seco queda alrededor de un 40% comparado con el del capullo fresco.

**Tabla 2.1** Contenido de agua en los capullos frescos y secos

| División            | Capullo fresco (%) | Capullo seco (%) |
|---------------------|--------------------|------------------|
| Corteza del capullo | 11-12              | 6-7              |
| Cuerpo de pupa      | 75-79              | 7-13             |
| Capullo total       | 61-64              | 6-12             |

### 2.1.3.2 Condiciones de secado.

El estado de capullos secos depende de la temperatura, humedad, velocidad de aire, duración de secado y la capa de capullos durante el secado.

#### Temperatura

La temperatura de secado afecta principalmente el estado de corteza del capullo seco. Si la temperatura es muy alta la sericina de la corteza se degenera radicalmente, causando menor devanabilidad en los capullos y bajo rendimiento de seda cruda con mala calidad en la pureza y limpieza del hilo. Si la temperatura del proceso de secado es baja, los capullos quedarán mal secados, presentando hongos durante su almacenamiento, además después de cocinado presentará el fenómeno de hilaza obteniéndose un hilo muy suave que produce nudos y defectos mayores en el hilo devanado.

El secado se realiza a una temperatura promedio de los 80 °C.

### **Humedad.**

La humedad del aire de secado tiene poca influencia sobre la calidad de los capullos, por otro lado, las altas temperaturas y humedades consecuentes de una ventilación insuficiente provocan una disminución de la devanabilidad.

Se aconseja mantener una humedad relativa del 4-5% durante la primera fase de secado, para evitar una excesiva disminución del contenido húmedo de la corteza

### **Velocidad y flujo de Aire.**

La velocidad del aire tiene poca influencia sobre la calidad de los capullos, pero si la presión del aire no es uniforme en las diferentes zonas de la máquina secadora, se obtendrán resultados de secado no uniformes; es entonces muy importante que el flujo del aire toque toda la superficie del capullo uniformemente.

Si la velocidad del aire es demasiado alta, el riesgo es de dañar la superficie de la corteza, reduciendo su devanabilidad.

En el caso de secadoras a pisos sobrepuestos, donde el estrato de capullos no pasa algunos centímetros de alto, la velocidad del aire se mantiene alrededor de 0,15 m/s; en caso de que los capullos alcancen los 30 cm. de alto (secadoras a banda continua), se utiliza una velocidad de 1 m/s.

### **Altura del estrato de capullos.**

En el caso de secadoras a pisos sobrepuestos, se mantiene un estrato de 2,5 capullos (4-6 cm.), una altura inferior causaría la formación de corrientes de aire, y por ende un secado no uniforme. En el caso de secadoras a banda continua, se trabaja con estratos de capullos de 30 cm. (15-20 capullos) en promedio: montos demasiado altos podrían no permitir un buen secado de los capullos de los estratos internos, mientras que los estratos superior e inferior podrían resultar demasiado secos. Se aconseja operar con estratos de 20 cm. en la primera fase de secado constante y 40 cm. en la fase de secado decreciente.

### **Grado de secado.**

El grado de secado de capullos se expresa en el porcentaje del peso del capullo seco comparado con el del capullo fresco así:

$$\% \text{ de secado} = \frac{(\text{peso del capullo seco} \times 100)}{\text{peso del capullo fresco}} \quad (2.1)$$

Por ejemplo, un 40% de secado significa que 100 gramos de capullo fresco queda en 40 gramos después del proceso de secado. El estado estándar de secado se encuentra entre un 38 a 42%. El porcentaje de secado se determina según el porcentaje de corteza del capullo y un método práctico y conveniente es sumar 20 puntos al porcentaje de corteza del capullo fresco. Es decir, si los capullos frescos tienen un 21.5% de corteza, el óptimo grado de secado queda en 41.5%.

#### 2.1.4 Calor y temperatura.

El calor se define como la forma de energía que se transfiere entre dos sistemas (o un sistema y sus alrededores) debido a una diferencia de temperaturas.

El concepto de temperatura surge de la capacidad sensitiva que nos permite apreciar si un cuerpo está más caliente que otro, en otras palabras es la medida del grado de calentamiento de un cuerpo.

##### 2.1.4.1 Calor sensible.

Cuando se suministra energía por calentamiento a un cuerpo se produce un cambio en la velocidad de sus moléculas y la temperatura varía. Sin embargo durante un cambio de fase la energía suministrada al cuerpo se emplea en cambiar las posiciones relativas de las moléculas entre sí y hacerles superar la fuerza de tensión entre ellas, de tal forma que la temperatura permanece constante.

En el primer caso la variación de temperatura indica transferencia de energía. El efecto de calentamiento (o enfriamiento) de un cuerpo puede ser analizado observando la temperatura. El calor añadido de esta forma se llama calor sensible, en atención a que la transferencia de calor es tangible.

La expresión que permite determinar el calor sensible es:

$$Q_s = \dot{m} \times C_p \times \Delta T \quad (2.2)$$

Donde:

$Q_s$  = Calor sensible (W);

$\dot{m}$  = masa a calentarse (kg/s);

$C_p$  = Calor específico (KJ/kg °C);

$\Delta T$  = diferencia de temperaturas final menos inicial. (°C).

#### 2.1.4.2 Calor latente.

Se da el nombre de calor latente a la energía térmica empleada para el cambio de fase, suponiendo este cambio es realizado de manera reversible a temperatura y a presión constantes.

Si el cambio es de estado líquido a vapor se emplea el calor latente de vaporización. La expresión que permite determinar el calor latente es:

$$Ql = \dot{m} \times h_{fg} \quad (2.3)$$

Donde:

$Ql$  = calor latente de vaporización (W);

$\dot{m}$  = agua a evaporarse (kg/s);

$h_{fg}$  = calor latente de vaporización (KJ/Kg);

#### 2.1.4.3 Calor específico.

Se define como la energía requerida para elevar un grado la temperatura de una masa unitaria de una sustancia. En termodinámica interesan dos clases de calores específicos: El calor específico a volumen constante  $C_v$  y el calor específico a presión constante  $C_p$ .

Físicamente,  $C_v$  puede verse como la energía requerida para elevar la temperatura de una masa unitaria de una sustancia por un grado mientras su volumen se mantiene constante. La energía requerida para hacer lo mismo si la presión se mantiene constante es el  $C_p$

El  $C_p$  Siempre es mayor a  $C_v$  debido a que presión constante se permite que el sistema se expanda y la energía para ese trabajo de expansión también debe suministrarse al sistema.

Una unidad común para los calores específicos es el  $\text{KJ/kg } ^\circ\text{C}$  ó  $\text{KJ/kg K}$

### **2.1.5 Deshidratación.**

La deshidratación de un producto, es el proceso de reducción de líquidos contenidos en éste, mediante algún método mecánico o térmico, así pues se tiene la remoción mediante exprimido, centrifugado, evaporación, por mencionar algunas formas de secado, sin embargo, el término secado está más asociado a formas térmicas de reducción agua por evaporación mediante la adición de calor, teniendo generalmente la presencia de una corriente de aire, como medio de captación del vapor de agua por ser el medio más económico.

#### **2.1.5.1 Parámetros relacionados con la deshidratación.**

La deshidratación de productos es la remoción de su humedad; existen pues algunos parámetros que se relacionan con el proceso de secado, los cuales se enuncian continuación.



### 2.1.5.1.1 Contenido de humedad.

El contenido de humedad es la cantidad de agua presente en un material, se expresa generalmente en términos de porcentaje ya sea en base húmeda o base seca.

#### Contenido de humedad en base húmeda.

Es la masa de humedad sobre la masa total de material fresco a secar:

$$X_w = \frac{W}{S_w} \times 100 \quad (2.4)$$

Donde:

$X_w$  = porcentaje de humedad en base húmeda (%)

$W$  = masa de agua (kg.);

$S_w$  = masa de sólido húmedo o fresco (kg.)

Pero  $S_w = S_d + W$

Donde:

$S_d$  = masa de sólido seco (kg.)

Con lo cual tenemos:

$$X_w = \frac{W}{S_d + W} * 100 \quad (2.5)$$

#### Contenido de humedad en base seca.

Es la relación de la masa de humedad presente en un producto, sobre la masa seca de dicho sólido.

$$X_d = \frac{W}{S_d} * 100 \quad (2.6)$$

$X_d$  = porcentaje de humedad base seca.

Puesto que la masa de sólido permanece prácticamente constante, variando únicamente el contenido humedad durante todo el proceso de secado, es recomendable expresar este contenido en base seca, para tener una idea exacta de la marcha de la desecación. Sin embargo generalmente, la humedad viene dado como un porcentaje del peso total del producto húmedo, por lo tanto es necesario tener una expresión que relacione las dos formas de contenido de agua, la equivalencia entre las dos es:

$$X_d = \frac{100 \times X_w}{100 - X_w} \quad (2.7)$$

#### **2.1.5.1.2 Masa de humedad a remover del producto.**

El agua a remover del producto, está dado por el contenido inicial de humedad menos el contenido de humedad final. Esta humedad final debe ser establecida convenientemente dependiendo del tipo de producto.

De la ecuación 2.5 tenemos:

$$W = \frac{X_d * S_d}{100} \quad (2.8)$$

$$W_i = \frac{X_{di} * S_d}{100}$$

$$W_f = \frac{X_{df} * S_d}{100}$$

$$\Delta W = W_i - W_f$$

$$\Delta W = \frac{S_d}{100} (X_{di} - X_{df}) \quad (2.9)$$

Donde:

$\Delta W$  = los kilogramos de agua removida considerando el porcentaje de humedad en base seca;

$X_{di}$  = contenido inicial de humedad en base seca;

$X_{df}$  = contenido final de humedad en base seca.

Para este caso vamos a utilizar una formula idéntica pero en base húmeda, con lo que tenemos:

$$\Delta W = S_d \left( \frac{X_{wi}}{100 - X_{wi}} - \frac{X_{wf}}{100 - X_{wf}} \right) \quad (2.10)$$

Donde:

$S_d$  = masa de sólido seco (kg.)

$X_{wi}$  = contenido inicial de humedad en base húmeda (%);

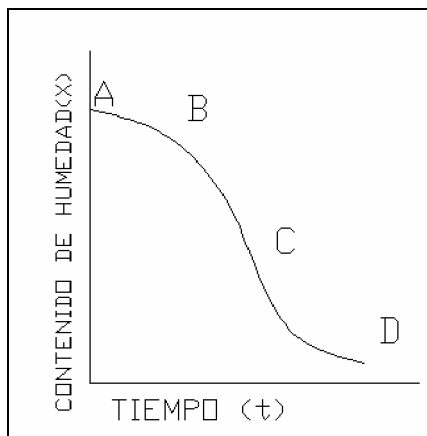
$X_{wf}$  = contenido final de humedad en base húmeda (%).

### 2.1.5.1.3 Períodos del secado.

Para dimensionar el equipo de secado, hay que conocer el tiempo necesario para remover la humedad presente en un producto hasta niveles deseados, así también es importante tener conocimiento de la influencia que sobre el secado presentan las distintas variables de operación, como temperatura, flujo de aire.

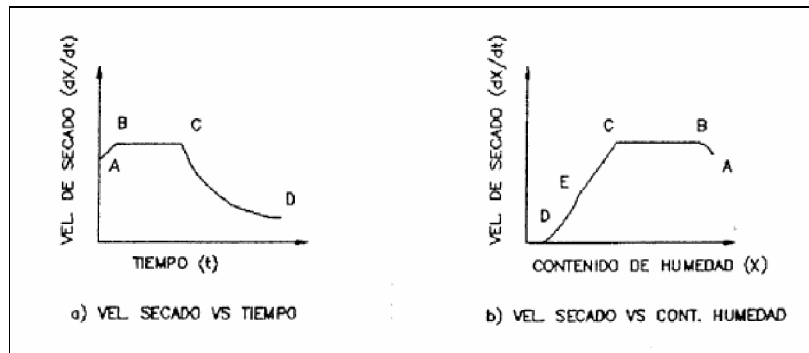
Para esto, es necesario disponer de las llamadas curvas de secado que experimentalmente se pueden determinar, ajustando las condiciones en lo posible a las que se prevén regirán en la operación a mayor escala, así por ejemplo la forma como se colocará el producto dentro del secador, relación de la superficie expuesta al aire caliente a la no expuesta.

Una curva de secado relaciona la pérdida de humedad (comúnmente en base seca) con el tiempo (t).



**Figura 2.4.** Curva de secado

El proceso de secado en la mayoría de productos presenta dos períodos marcados de desecación, el primero, en el cual la velocidad de remoción de humedad ( $dx_d/dt$ ) es constante, y el segundo que presenta una velocidad decreciente. Para poder apreciar estos dos períodos, es recomendable presentar curvas que relacionen  $dx_d/dt$  con el contenido de humedad ( $X_d$ ),  $dx_d/dt$  con el tiempo.



**Figura 2.5** Periodos de secado

**Periodo de velocidad constante.**

En la figura anterior el segmento BC corresponde al período de velocidad constante, en el cual, la migración de la humedad desde el interior del producto a su superficie, es tal que permite que ésta se encuentre completamente húmeda.

Bajo estas condiciones, este período depende de las variables externas tales como, la diferencia de temperatura o humedad entre la corriente de aire y el área mojada del producto, la superficie expuesta al medio del secado.

**Período de velocidad decreciente.**

El punto C de la figura 2.5 es el contenido crítico de humedad y es aquí donde el período de la velocidad decreciente comienza.

En la superficie del producto ya no hay disponible más humedad libre, y la tasa de secamiento se controla por la velocidad a la que la humedad se difunde desde el interior del producto hacia la superficie. Esto corresponde a la primera zona del periodo. La segunda zona es aquella en la que, el movimiento interno de la humedad, es el que ejerce el control y las variables externas tienen poca influencia en esta zona.

### **2.1.6 Psicrometría.**

La psicrometría se define como "aquella rama de la física relacionada con la medición o determinación de las condiciones del aire atmosférico, particularmente respecto de la mezcla de aire seco y vapor de agua", o bien "aquella parte de la ciencia que está en cierta forma íntimamente ligada a las propiedades termodinámicas del aire húmedo". Las propiedades termodinámicas de la mezcla de aire seco y vapor de agua revisten gran interés en la etapa de postcosecha de productos agrícolas, por el efecto que tiene la humedad del aire atmosférico sobre el contenido de humedad de los productos.

En la conservación y almacenamiento de productos agrícolas se emplean diversas prácticas con participación directa de la psicrometría; una de dichas prácticas es el secado. En el secado a bajas temperaturas en particular, la tasa de secado depende de la capacidad del aire para evaporar la humedad (potencial de secado), la cual es determinada por las condiciones psicrométricas del aire: temperatura y humedad relativa.

En el secado y almacenamiento, uno de los conceptos más importantes es el contenido de humedad de equilibrio. Así se denomina al intercambio recíproco de humedad entre materiales higroscópicos, tales como los granos, y el aire que los rodea; la condición de intercambio recíproco de humedad indica el equilibrio que hay entre el aire y el material. Se establece dicho equilibrio cuando la presión de vapor que corresponde a la humedad del producto es igual a la presión de vapor de la humedad presente en el aire, en condiciones fijas de temperatura. Por tanto, en los estudios de higroscopia, las propiedades termodinámicas del aire húmedo son de fundamental importancia.

### 2.1.6.1 Aire atmosférico.

El aire atmosférico se compone de una mezcla de gases, vapor de agua y una mezcla de contaminantes, tales como humo, polvo, y otros elementos gaseosos que no están presentes normalmente, en lugares distantes de las fuentes de contaminación.

Por definición, existe aire seco cuando se ha extraído todo el vapor de agua y los contaminantes del aire atmosférico. Mediante extensas mediciones se ha demostrado que la composición del aire seco es relativamente constante, si bien el tiempo, la ubicación geográfica y la altura determinan pequeñas variaciones en la cantidad de componentes. La composición porcentual, en volumen o número de moles por 100 moles de aire seco, aparece en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2** Composición del aire seco.

| Sustancia          | Fórmula         | Masa molecular | Porcentajes en volumen (moles/ 100 moles) |
|--------------------|-----------------|----------------|---|
| Nitrógeno          | N <sub>2</sub>  | 28,016         | 78,084                                    |
| Oxígeno            | O <sub>2</sub>  | 32             | 20,9496                                   |
| Argón              | Ar              | 39,948         | 0,934                                     |
| Dióxido de carbono | CO <sub>2</sub> | 44,01          | 0,0314                                    |
| Neón               | Ne              | 20,183         | 0,001818                                  |
| Helio              | He              | 4,0026         | 0,000524                                  |
| Metano             | CH <sub>4</sub> | 16,03188       | 0,0002                                    |
| Dióxido de azufre  | SO <sub>2</sub> | 64,064         | 0,0001                                    |
| Hidrógeno          | H <sub>2</sub>  | 2,01594        | 0,00005                                   |
| Criptón            | Kr              | 83,8           | 0,0002                                    |
| Ozono              | O <sub>3</sub>  | 48             | 0,0002                                    |
| Xenón              | Xe              | 131,3          | 0,0002                                    |

La masa molecular aparente del aire seco es de 28,9645 kg-mol y la del vapor de agua es de 18,1535 kg/mol. El aire seco, normalmente tiene vapor de agua asociado, lo que da origen al que se denomina aire húmedo, que es una mezcla binaria de aire seco y vapor de agua. La cantidad de vapor presente en la mezcla puede variar entre cero y un valor correspondiente al

estado de saturación. Esto corresponde a la cantidad máxima de vapor de agua que el aire puede soportar a una temperatura determinada.

### **2.1.6.2 Propiedades termodinámicas del aire húmedo.**

Hay diversas propiedades termodinámicas fundamentales ligadas a las propiedades del aire húmedo. Hay dos propiedades independientes, además de la presión atmosférica necesaria para establecer el estado termodinámico del aire húmedo.

Tres propiedades se relacionan con la temperatura:

- temperatura de bulbo seco;
- temperatura termodinámica de bulbo húmedo;
- temperatura del punto de rocío.

Algunas propiedades termodinámicas caracterizan la cantidad de vapor de agua presente en el aire húmedo:

- presión de vapor;
- razón de humedad;
- humedad relativa;
- grado de saturación.

Otras propiedades de fundamental importancia, relacionadas con el volumen ocupado por el aire y con la energía del aire, respectivamente, son:

- el volumen específico,



- la entalpía.

La entalpía y el volumen específico son propiedades de la mezcla de aire seco y vapor de agua, pero se expresan sobre la base de una unidad de masa de aire seco.

### **Temperatura de bulbo seco.**

La temperatura de bulbo seco, es la verdadera temperatura del aire húmedo y con frecuencia se la denomina sólo temperatura del aire; es la temperatura del aire que marca un termómetro común.

### **Temperatura de punto de rocío.**

La temperatura de punto de rocío, es la temperatura a la cual el aire húmedo no saturado se satura, es decir, cuando el vapor de agua comienza a condensarse, por un proceso de enfriamiento, mientras que la presión y la razón de humedad se mantienen constantes.

### **Temperatura de bulbo húmedo.**

La temperatura de bulbo húmedo, es la temperatura de equilibrio que se alcanza cuando la mezcla de aire seco y vapor de agua pasa por un proceso de enfriamiento adiabático hasta llegar a la saturación.

### **Presión de vapor.**

La presión de vapor, es la presión parcial que ejercen las moléculas de vapor de agua presentes en el aire húmedo. Cuando el aire está totalmente saturado de vapor de agua, su presión de vapor se denomina presión de vapor saturado.

### **Razón de humedad.**

La razón de humedad del aire, se define como la relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco en un volumen dado de mezcla.

### **Humedad relativa.**

La humedad relativa del aire, se define como la razón entre la presión de vapor de agua en un momento dado ( $P_v$ ) y la presión de vapor de agua cuando el aire está saturado de humedad ( $P_{vs}$ ), a la misma temperatura. También se define como la relación entre la cantidad de vapor de agua presente en el aire y la cantidad máxima de humedad que el aire puede contener a la misma temperatura. La humedad relativa se puede expresar como decimal o como porcentaje.

### **Entalpía.**

La entalpía de la mezcla de aire seco y vapor de agua, es la energía del aire húmedo por unidad de masa de aire seco, por encima de una temperatura de referencia; dado que en ingeniería sólo las diferencias de entalpía tienen interés práctico, el valor que se escoja para la temperatura de referencia carece de importancia.

### **Volumen específico.**

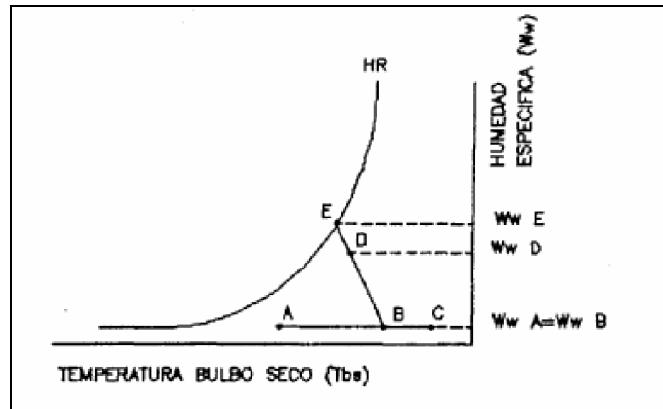
El volumen específico del aire húmedo, se define como el volumen que ocupa la mezcla de aire seco y vapor de agua por unidad de masa de aire seco. La masa específica del aire húmedo no es igual al recíproco de su volumen específico. La masa específica del aire húmedo es la relación entre la masa total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

#### **2.1.6.3 Procesos psicrométricos en el secado.**

Las condiciones de entrada y salida del aire en una cámara de secado pueden ser representadas claramente en una carta psicrométrica.

Cuando el aire pasa por una superficie seca y mas caliente se produce un incremento de temperatura de bulbo seco que se aproxima a la temperatura de la superficie con la que entra en contacto, segmento AC de la figura 2.6, indica que este es un proceso de calentamiento sensible del aire.

Siempre que el aire no saturado pase a través de una superficie húmeda, su humedad específica aumenta y la temperatura de bulbo seco baja, este constituye un proceso de saturación adiabática. La temperatura de bulbo húmedo se mantiene constante debido a que el calor sensible que el aire pierde es ganado en forma latente por el agua que se separa del producto.



**Figura 2.6** Procesos psicrométricos del secado

Si el aire se saturaría completamente, saldría en la condición que indica en el punto E de la figura 2.6. En condiciones reales este corresponde al punto D.

### 2.1.7 Mecanismos de transferencia de calor.

Hay tres formas diferentes en las que el calor puede pasar de la fuente al receptor, aun cuando muchas de las aplicaciones en la ingeniería son combinaciones de dos o tres. Estas son, conducción, convección y radiación.

#### 2.1.7.1 Conducción.

La conducción es la transferencia de calor a través de un material fijo tal como la pared estacionaria mostrada en la figura 2.7.

La conducción es el método más habitual de transmisión de calor en proceso de calentamiento/enfriamiento de materiales sólidos opacos. Si existe un gradiente de temperatura en un cuerpo, tendrá lugar una transmisión de calor desde la zona de alta temperatura hacia la que esta a

temperatura más baja. La ecuación para determinar la transferencia de calor es:

$$Q = -k * A * \frac{dT}{dx} \quad (2.11)$$

Donde

Q: Flujo de calor por conducción (W);

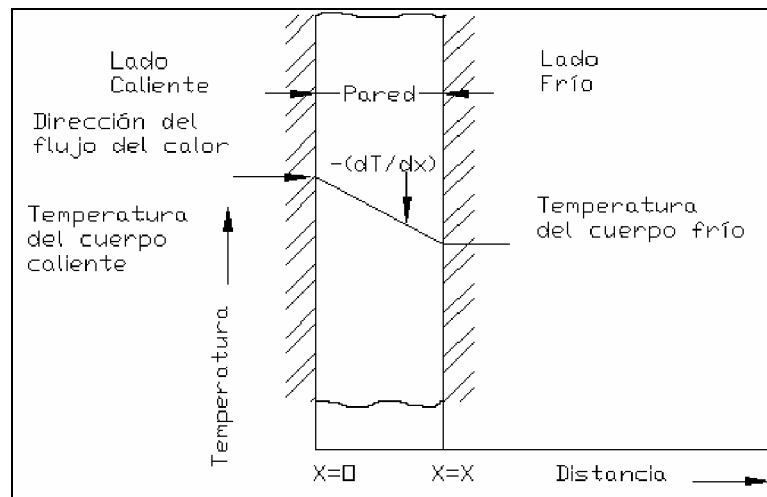
k: conductividad térmica, en (W/m°C);

A: Es el área normal en dirección x (m<sup>2</sup>);

dT /dx: gradiente de temperatura;

dT: diferencial de temperatura (°C);

dx: espesor de la pared (m).



**Figura 2.7.** Flujo de calor a través de una pared

La conductividad térmica de los sólidos tiene un amplio rango de valores numéricos dependiendo de si el sólido es relativamente un buen conductor del calor, tal como un metal, o un mal conductor como el asbesto. Estos últimos sirven como aislantes. Aun cuando la conducción de calor se asocia

usualmente con la transferencia de calor a través de los sólidos, también es aplicable a gases y líquidos, con sus limitaciones.

### 2.1.7.2 Convección.

La transmisión de calor por convección ocurre cuando un fluido circula alrededor de un sólido, por ejemplo por el interior de una tubería, existiendo una diferencia de temperatura entre ambos tiene lugar un intercambio de calor entre ellos. El calentamiento y enfriamiento de gases y líquidos son los procesos más habituales de este mecanismo de transferencia de calor.

Dependiendo de si el flujo del fluido es provocado artificialmente o no, se distinguen dos tipos de transferencia de calor: forzada y natural (libre). La convección forzada implica el uso de algún medio mecánico, como una bomba o un ventilador, para provocar el movimiento del fluido. En cambio la convección natural tiene lugar a causa de diferencias de densidad provocadas a su vez por gradientes de temperatura. Ambos mecanismos pueden provocar un movimiento laminar o turbulento del fluido.

El flujo de calor se expresa mediante la ley de enfriamiento de Newton que se expresa por:

$$Q = h * A ( T_p - T_{\infty} ) \quad (2.12)$$

Donde

Q: Flujo de calor por convección (W);

h: coeficiente de transmisión de calor por convección, en (W/m<sup>2</sup>°C);

A: Es el área (m<sup>2</sup>);

T<sub>p</sub>: Temperatura de pared (°C);

T<sub>∞</sub>: Temperatura del fluido (°C).

La tabla siguiente muestra algunos valores orientativos de h.

| <b>Fluido</b>      | <b>Coefficiente de convección<br/>(W/m<sup>2</sup>°K)</b> |
|--------------------|---|
| <b>Aire</b>        |   |
| Convección natural | 5 - 25  |
| Convección forzada | 10 – 200  |
| <b>Agua</b>        |   |
| Convección natural | 20 - 100  |
| Convección forzada | 50 – 10000  |

**Tabla 2.3** Coeficientes de convección orientativos

### 2.1.7.3 Radiación.

La radiación involucra la transferencia de energía radiante desde una fuente a un receptor. Cuando la radiación se emite desde una fuente a un receptor, parte de la energía se absorbe por el receptor y parte es reflejada por él. A diferencia de la conducción y la convección, la radiación no requiere ningún medio para su propagación y puede tener lugar incluso en el vacío

La energía irradiada o emitida por una superficie es proporcional a su temperatura absoluta elevada a la cuarta potencia y depende de las características de la superficie. El flujo de calor emitido por una superficie se expresa mediante la ecuación:

$$Q = \varepsilon * \sigma * A * T^4 \quad (2.13)$$

Donde:

Q: Flujo de calor por radiación (W)

$\sigma$  : Constante de Stefan-Boltzman  $5.669 \times 10^{-8}$  (W/m<sup>2</sup>°K<sup>4</sup>)

$\varepsilon$  : Emisividad de la superficie.

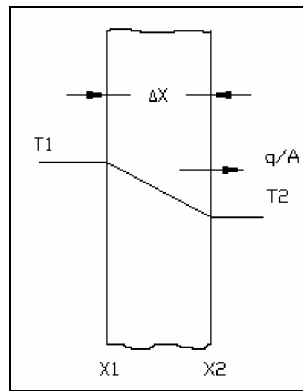
A: Área de transferencia de calor ( $m^2$ ).

T: temperatura de la superficie irradiante ( $^{\circ}K$ )

### 2.1.8 Conducción unidimensional en el estado estable.

#### Pared plana.

El más sencillo de los problemas de transferencia de calor es el del estado estable de conducción en una pared plana de material homogéneo y que posee conductividad térmica constante y una temperatura constante y uniforme en cada cara de la pared plana, como se ve en la figura 2.8.



**Figura 2.8.** Pared plana.

Separando variables e integrando en (la ec. 2.11), donde la dirección del gradiente se toma en la dirección x, tenemos:

$$q \int_{x1}^{x2} dx = -kA \int_{T1}^{T2} dT$$
$$q = -kA \frac{T2 - T1}{x2 - x1} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

La ecuación puede ordenarse dando:



$$q = \frac{T_1 - T_2}{\Delta x / kA} = \frac{\text{diferencia potencial térmico}}{\text{resistencia térmica}} \quad (2.14)$$

Nótese que la resistencia al flujo de calor es directamente proporcional al grosor del material, inversamente proporcional a la conductividad térmica, e inversamente proporcional al área normal a la dirección de la transferencia de calor.

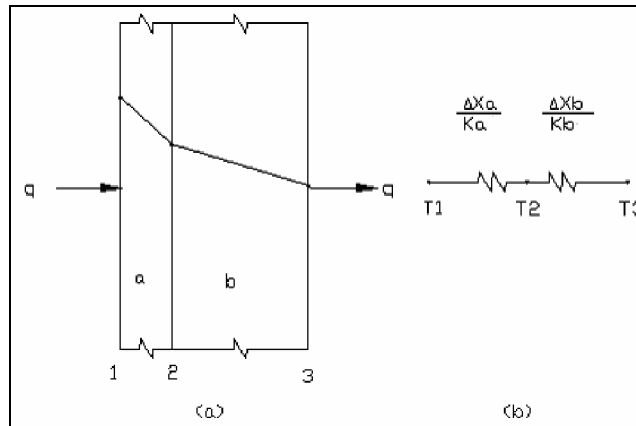
Estos principios realmente son extensivos al caso de una pared plana compuesta, como se muestra en la figura 2.9 (a). En el estado estable la tasa de transferencia de calor que entra en la cara izquierda es la misma que abandona la cara derecha.

$$q = \frac{T_1 - T_3}{\Delta x_a / k_a A + \Delta x_b / k_b A} \quad (2.15)$$

Las ecuaciones (2.14) y (2.15) ilustran la analogía que hay entre la transferencia térmica por conducción y el flujo de corriente eléctrica, analogía ésta basada en la similitud entre las leyes de Fourier y de Ohm. Es conveniente expresar la ley de Fourier como

$$\text{flujo de calor conductivo} = \frac{\text{diferencia total de temperatura}}{\text{suma de las resistencias térmicas}} \quad (2.16)$$

En el caso de la pared plana compuesta de dos capas, la resistencia térmica total es sencillamente la suma de las dos resistencias en serie como se indica en la Figura 2.9. (b). La extensión a tres o más capas es obvia.



**Figura 2.9.** Pared plana compuesta.

### Sistemas radiales.

La figura 2.10 representa una pared cilíndrica de capa simple de un material homogéneo de conductividad térmica constante y de temperaturas interior y exteriormente uniformes. Para un radio dado el área normal al flujo radial de calor por conducción es  $2\pi rL$ , donde  $L$  es la altura del cilindro. Sustituyendo este flujo radial en 2.8 e integrando con  $q$  constante, tenemos

$$T_2 - T_1 = \frac{q}{2\pi kL} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

$$q = \frac{2\pi kL(T_2 - T_1)}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.17)$$

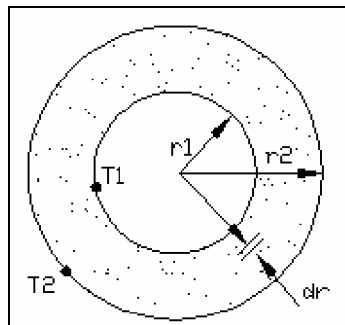
De (2.14) tenemos que la resistencia térmica de un cilindro de una capa es:

$$\ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right) / 2\pi kL$$

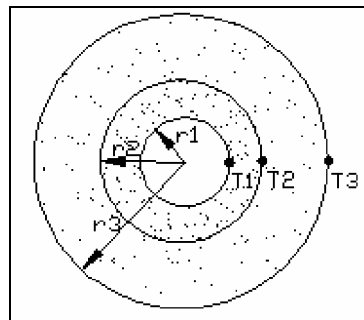
Para un cilindro de capa doble (figura 2.11) la tasa de transferencia térmica es, usando (2.13),

$$q = \frac{2\pi kL(T_2 - T_1)}{\frac{1}{k_a} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{1}{k_b} \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)} \quad (2.18)$$

Y este resultado es también extensivo al caso de tres o más capas.



**Figura 2.10** Pared cilíndrica.



**Figura 2.11** Pared cilíndrica compuesta.

### 2.1.9 Condiciones de contorno de convección.

#### Coeficiente global de transferencia.

Es conveniente expresar la tasa de transferencia de calor para problemas que constan simultáneamente de convección y conducción

caloríficas en la forma de (2.12), reemplazando  $h$  por un coeficiente global de transferencia calorífica  $U$ .

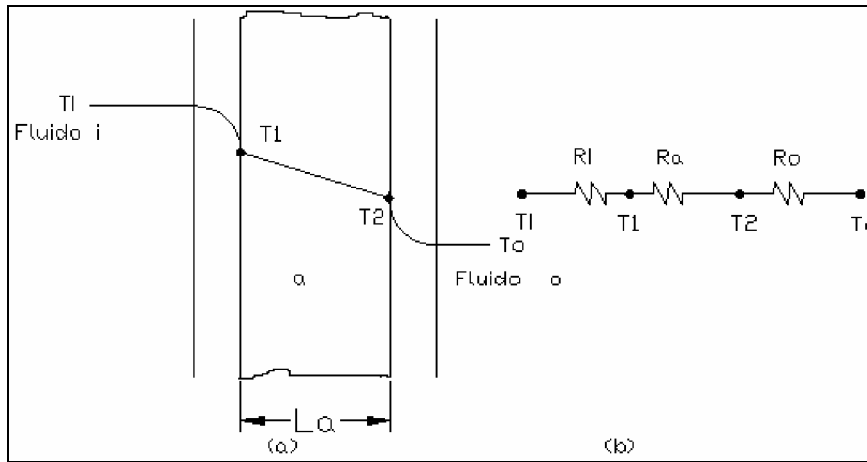
### **Pared plana.**

En la figura 2.12 se representa una pared plana de material a homogéneo y uniforme, de conductividad térmica constante, expuesto al contacto del fluido  $i$  de temperatura  $T_i$  de un lado, y al del fluido  $o$  de temperatura  $T_o$  del otro. Generalmente, las temperaturas de los fluidos, suficientemente lejanos de la pared para no ser afectadas por la transferencia de calor, son conocidas, y las temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  no se especifican.

Aplicando (2.9) a las dos caras del material tendremos

$$\begin{aligned}\frac{q}{A} &= h_i(T_i - T_1) \\ \frac{q}{A} &= h_o(T_2 - T_o) \\ q &= \frac{T_i - T_1}{1/h_i A} \\ q &= \frac{T_2 - T_o}{1/h_o A} \quad (2.19)\end{aligned}$$

Donde la barra sobre  $h$  denota el valor promedio de toda la superficie.



**Figura 2.12.** Analogía eléctrica de la pared plana.

De conformidad con la analogía eléctrica, se puede considerar que  $1/hA$  es la resistencia térmica producida por la convección de contorno. Así, la analogía eléctrica con este problema es la de tres resistencias en serie, figura 2.12 (b). Aquí,  $R_a = L_a / K_a A$  es la resistencia de conducción debida al material homogéneo  $a$ . Como el flujo del calor de conducción dentro del sólido debe ser exactamente igual al flujo del calor de convección en el contorno, dará

$$\frac{q}{A} = \frac{T_i - T_o}{1/\bar{h}_i + L_a/k_a + 1/\bar{h}_o} = \frac{(\Delta T)_{global}}{A \sum R_t}$$

Si se define el coeficiente global de transferencia de calor  $U$ , por

$$U = \frac{1}{A \sum R_t}$$

para cualquier forma geométrica, vemos que

$$\frac{q}{A} = U(\Delta T)_{global}$$

y para la pared plana de la figura 2.12(a),

$$U = \frac{1}{1/\bar{h}_i + L_a/K_a + 1/\bar{h}_o}$$

Para una pared plana de capas múltiples

$$U = \frac{1}{1/\bar{h}_i + L_a/K_a + L_b/K_b + \dots + 1/\bar{h}_0} \quad (2.20)$$

### Sistemas radiales.

Considérese un sistema cilíndrico que consiste en una capa sencilla de material como el de la figura 2.13 (a) y que tiene un flujo de convección interior tanto como exterior. Si  $T_2$  es la temperatura en  $r_2$ , entonces (2.13) da:

$$q = \frac{(\Delta T)_{global}}{\sum R_t} = \frac{T_i - T_0}{\sum R_t}$$

Donde las energías térmicas son:

$$R_i = \text{resistencia convectiva interna } R_t = \frac{1}{2\pi r_1 L \bar{h}_i}$$

$$R_a = \text{resistencia } R_t \text{ conductiva del material } a = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi k_a L}$$

$$R_0 = \text{resistencia convectiva externa } R_t = \frac{1}{2\pi r_2 L \bar{h}_0}$$

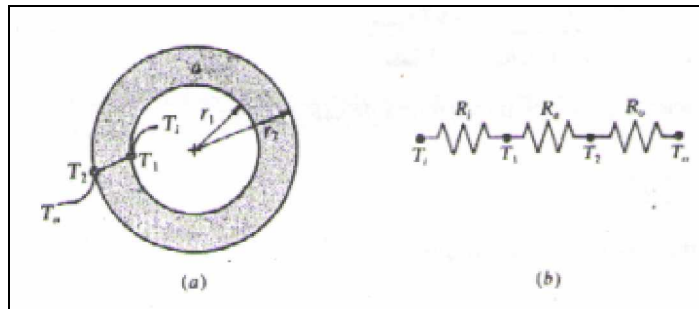
En estas expresiones  $L$  es la longitud del sistema cilíndrico. Sumando las resistencias térmicas.

$$\sum R_t = \frac{1}{2\pi r_1 L \bar{h}_i} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_a L} + \frac{1}{2\pi r_2 L \bar{h}_0}$$

Tenemos que por definición  $U = 1/(A\sum R_i)$ , y para A se acostumbra tomar el área de la superficie exterior  $A_0 = 2\pi r_2 L$  tal que se tiene:

$$U_0 = \frac{1}{\frac{r_2}{r_1 \bar{h}_i} + \frac{r_2 \ln(r_2/r_1)}{k_a} + \frac{1}{\bar{h}_0}}$$

Donde el subíndice 0 se refiere al hecho de que  $U_0$  se toma con base en el área de la superficie exterior del cilindro.



**Figura 2.13** Analogía eléctrica de la pared cilíndrica.

Para un sistema cilíndrico de capas múltiples que tienen n-1 capas materiales<sup>1</sup>,

$$U_0 = \frac{1}{\frac{r_n}{r_1 \bar{h}_i} + \frac{r_n \ln(r_2/r_1)}{k_{1,2}} + \dots + \frac{r_n \ln(r_n/r_{n-1})}{k_{n-1,n}} + \frac{1}{\bar{h}_0}} \quad (2.21)$$

Donde los subíndices en las k se refieren a los radios que comprenden la capa respectiva (por ejemplo, para un sistema de capa doble siendo b la capa exterior del material,  $k_b = k_{2,3}$ ).

<sup>1</sup> Transferencia de Calor, Schaum, Editorial McGraw-Hill, 1980, pág. 23.

### **2.1.10 Intercambiadores de calor.**

Un intercambiador de calor es cualquier dispositivo en el cual se efectúa la transferencia de energía térmica desde un fluido hasta otro. En los intercambiadores más sencillos el fluido caliente y el fluido frío se mezclan directamente sin embargo, los intercambiadores más comunes son aquellos en los cuales los fluidos están separados por una pared. Estos últimos, llamados recuperadores, pueden variar desde una simple placa plana que separa dos fluidos hasta configuraciones complejas que incluyen pasos múltiples, aletas y deflectores. En este caso se requieren los principios de transferencia de calor por conducción y convección y en ocasiones por radiación, para describir el proceso de intercambio de energía.

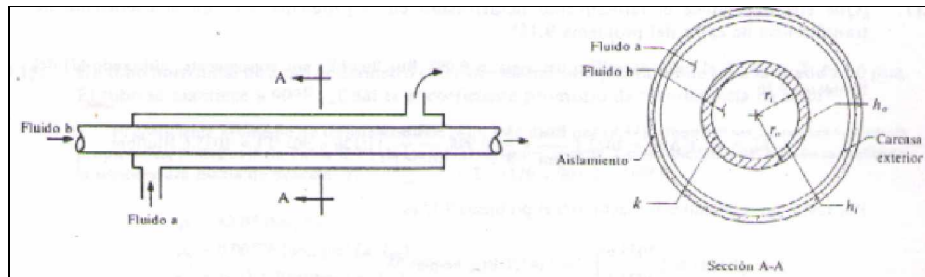
En el diseño de los intercambiadores de calor intervienen muchos factores, entre los cuales se incluyen el análisis térmico, tamaño, peso, resistencia estructural, caída de presión y costo.

#### **2.1.10.1 Tipos de intercambiadores de calor.**

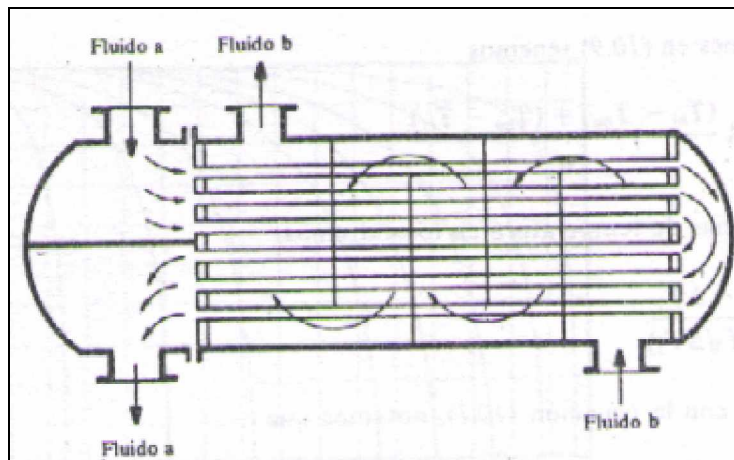
Los intercambiadores de calor incluyen los tipos de placa plana, carcasa y tubos y de flujo cruzado. En la figura 2.14 se muestra un intercambiador de doble tubo, la forma más sencilla del tipo de carcasa y tubos. Si los dos fluidos fluyen en el mismo sentido, se denomina flujo paralelo y si los flujos tienen sentidos opuestos se dice que es de contraflujo. La figura 2.15 muestra un intercambiador de carcasa y tubos con varios tubos, dos pasos y deflectores.



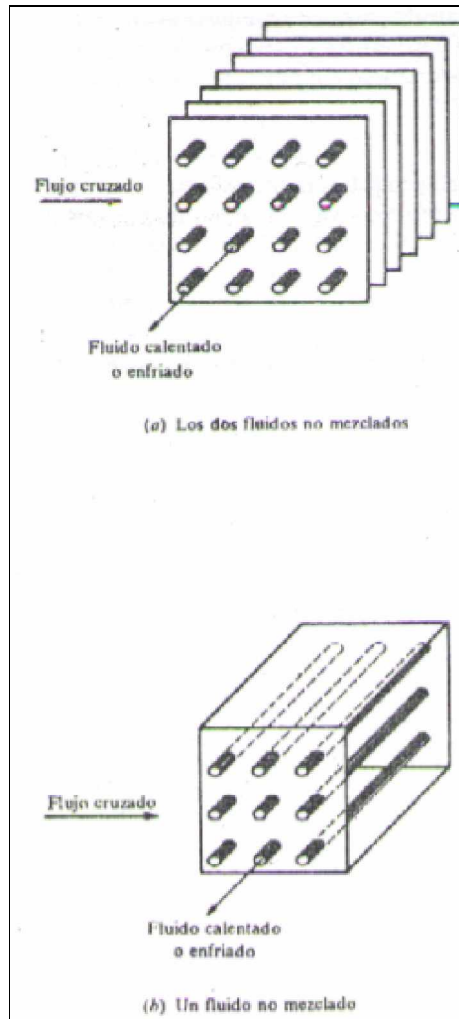
En los intercambiadores de calor de flujo cruzado, los fluidos forman ángulo recto uno con el otro, como se ilustra en la figura 2.16. Si un fluido puede moverse más o menos libremente, mientras pasa a través del intercambiador, se denomina mezclado. La figura 2.17 muestra un tipo de flujo cruzado con los dos fluidos no mezclados. Aquí la curva de distribución de temperatura es inclinada debido a que el fluido en una trayectoria de flujo determinada está sometido a una diferencia de temperatura diferente a la experimentada por el fluido en cualquier otra trayectoria a la misma distancia de la entrada.



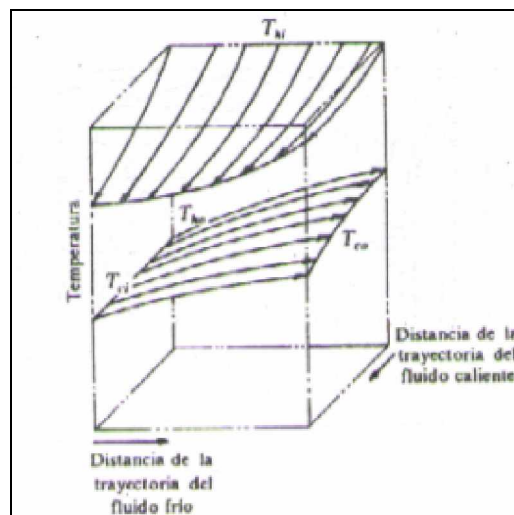
**Figura 2.14.** Intercambiador de doble tubo.



**Figura 2.15.** Intercambiador de calor multitubo.



**Figura 2.16.** Intercambiadores de flujo cruzado.



**Figura 2.17.** Distribución de temperatura.

### **2.1.10.1.1 Tubos para intercambiadores de calor.**

Los tubos para intercambiadores de calor también se conocen como tubos para condensador y no deberán confundirse con tubos de acero u otro tipo de tubería obtenida por extrusión a tamaños normales de tubería de hierro.

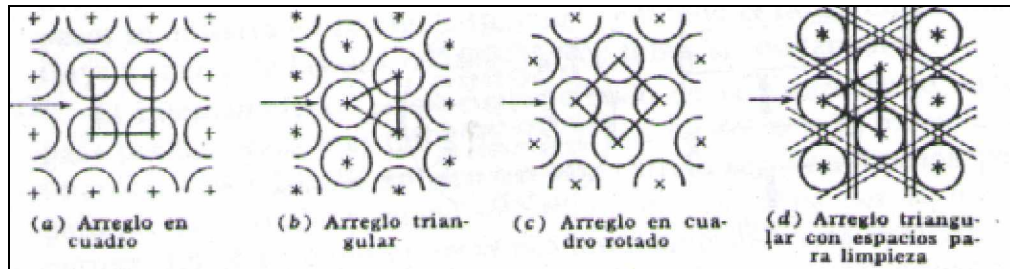
El diámetro exterior de los tubos para condensador o intercambiador de calor, es el diámetro exterior real en pulgadas dentro de tolerancias muy estrictas. Estos tubos para intercambiador se encuentran disponibles en varios metales, los que incluyen acero, cobre, latón, 70-30 cobre-níquel, aluminio-bronce, aluminio y aceros inoxidable. Se pueden obtener en diferentes grores de pared, definidos por la norma Birmingham para alambre, que en la práctica se refiere como el calibrador BWG del tubo. Los tamaños de tubos que generalmente se usan son de  $\frac{3}{4}$ " y 1" de diámetro exterior.

### **2.1.10.1.2 Espaciado de los tubos.**

Los orificios de los tubos no pueden taladrarse muy cerca uno de otro, ya que una franja demasiado estrecha de metal entre los tubos adyacentes, debilita estructuralmente el cabezal de tubos o espejo. La distancia más corta entre dos orificios adyacentes es el claro o ligadura, y éstos a la fecha, son casi estándar.

Los tubos se colocan en arreglos ya sean triangulares o cuadrados, como se muestra en las Figuras. 2.20 a y b. La ventaja del espaciado cuadrado es que los tubos son accesibles para limpieza externa y tienen pequeña caída de presión cuando el fluido fluye en la dirección indicada en la Figura 2.20a.

El espaciado de los tubos  $Pr^2$  es la distancia menor de centro a centro en tubos adyacentes. Los espaciados más comunes para arreglos cuadrados son de  $3/4$  plg DE en un espaciado cuadrado de 1 plg y de 1 plg DE en un espaciado en cuadro de  $1\ 1/4$  plg. Para arreglos triangulares éstos son, de  $3/4$  plg DE en espaciado triangular de  $15/16$  plg,  $3/4$  plg DE en un arreglo triangular de 1 plg y 1 plg DE en un arreglo triangular  $1\ 1/4$  plg. En la Figura 2.20 c el arreglo en cuadro ha sido rotado  $45^\circ$ , y permanece esencialmente lo mismo que en la Figura 2.20 a. En la Figura 2.20 d se muestra una modificación del espaciado triangular que permite una limpieza mecánica. Si los tubos se separan suficientemente, es posible dejar los pasajes indicados para limpieza.

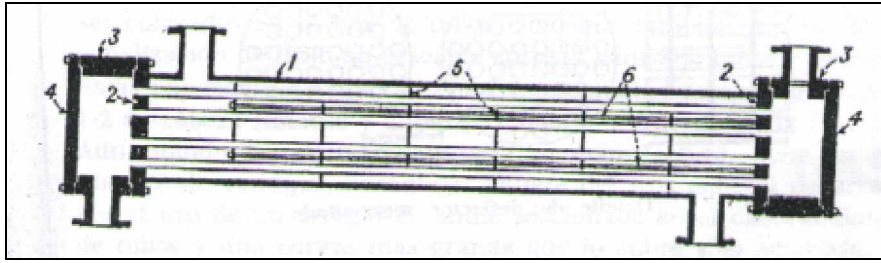


**Figura 2. 18.** Arreglos comunes para los tubos de intercambiadores.

### 2.1.10.1.3 Intercambiadores con cabezal de tubos estacionario.

El tipo más simple de intercambiador es el tipo fijo o intercambiador con cabezal de tubo estacionario, de los cuales el mostrado en la Figura 2.21 es un ejemplo. Las partes esenciales son la coraza (1), equipada con dos entradas y que tiene dos cabezales de tubos o espejos (2) a ambos lados, que también sirven como bridas para fijar los dos carretes (3) y sus respectivas tapas (4). Los tubos se expanden en ambos espejos y están equipados con deflectores transversales (5) en el lado de la coraza. El cálculo de la superficie efectiva frecuentemente se basa en la distancia entre las caras interiores de los espejos en lugar de la longitud total de los tubos.

<sup>2</sup> Procesos de Transferencia de Calor, Donald Kern, Pág. 160.



**Figura 2.19.** Intercambiador tubular de cabezal fijo.

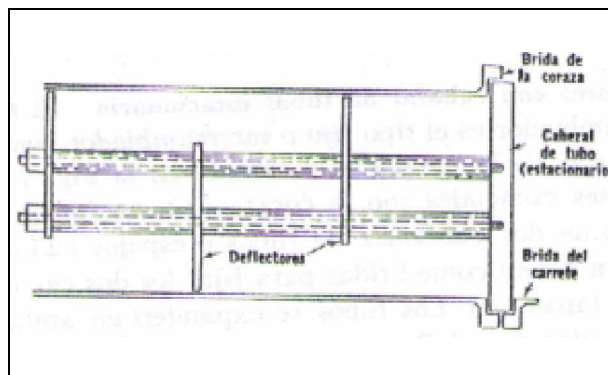
### 2.1.10.2 Deflectores.

Es claro que se logran coeficientes de transferencia de calor más altos cuando el líquido se mantiene en estado de turbulencia. Para inducir turbulencia fuera de los tubos, es costumbre emplear deflectores que hacen que el líquido fluya a través de la coraza a ángulos rectos con el eje de los tubos. Esto causa considerable turbulencia aun cuando por la coraza fluya una cantidad pequeña de líquido. La distancia centro a centro entre los deflectores se llama espaciado de deflectores. Puesto que los deflectores pueden espaciarse ya sea muy junto o muy separado, la masa velocidad no depende enteramente del diámetro de la coraza. Usualmente el espaciado de los deflectores no es mayor que una distancia igual al diámetro interior de la coraza, o menor que una distancia igual a un quinto del diámetro interior de la coraza. Los deflectores se mantienen firmemente mediante espaciadores como se muestra en la Figura 2.20, que consisten de un pasador atornillado en el cabezal de tubos o espejo y un cierto número de trozos de tubo que forman hombreras entre deflectores adyacentes.

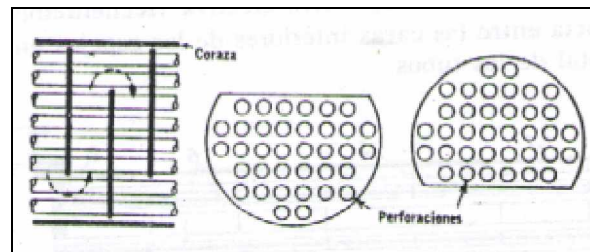
Hay varios tipos de deflectores que se emplean en los intercambiadores de calor, pero los más comunes son los deflectores segmentados que es muestran en la Figura 2.21. Los deflectores segmentados son hojas de metal perforadas cuyas alturas son generalmente un 75% del diámetro interior de la coraza. Estos se conocen como deflectores con 25% de corte, aun cuando otros deflectores fraccionales se empleen también en la

industria. Pueden ser arreglados, como se muestra, para flujo "arriba y abajo" o pueden ser rotados 90° para un flujo 'lado con lado', este último es deseable cuando a través de la coraza fluye una mezcla de líquido y gas. Es el espaciado del deflector y no el 25% de su corte, el que determina, como se mostrará después, la velocidad efectiva del fluido en la coraza.

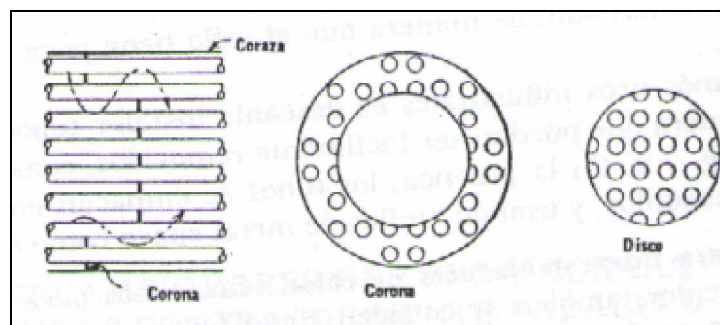
Otros tipos de deflectores son el de disco y corona de la Figura 2.22 y el deflector de orificio en la Figura 2.23. Aun cuando algunas veces se emplean otros tipos, no son de importancia general.



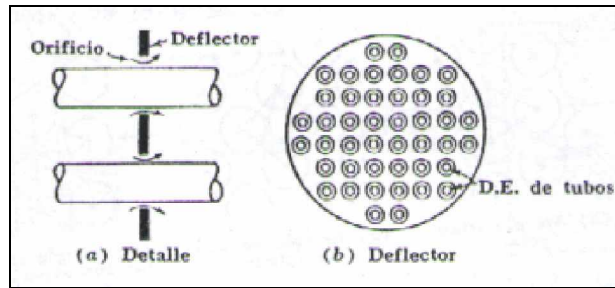
**Figura 2.20** Deflectores.



**Figura 2.21** Deflectores segmentados.



**Figura 2.22** Deflectores de disco y corona.



**Figura 2. 23** Deflector de orificio.

### 2.1.10.3 Haces de tubos en flujo transversal.

En los intercambiadores de calor se usan frecuentemente haces de tubos cilíndricos poco espaciados. En esta situación las estelas de los tubos localizados aguas arriba ejercen influencia sobre la rapidez de transferencia de calor y las características del flujo sobre los tubos situados aguas abajo. Para los primeros tubos se presentan variaciones de tubo a tubo y después no hay cambios perceptibles. El tipo de arreglo es otro factor de influencia; en la figura 2.24 se muestran los dos arreglos más comunes.

El coeficiente promedio de transferencia de calor para haces de por lo menos 10 tubos de profundidad en la dirección del flujo está dado por

$$\frac{hD}{k_f} = C_1 (Re_{m\acute{a}x})^n \quad (2.22)$$

Donde  $Re_{m\acute{a}x} = V_{m\acute{a}x} D/v_f$  y las constantes  $C_1$  y  $n$ , se dan en la Tabla 2.4. La velocidad máxima,  $V_{m\acute{a}x}$ , ocurre en el pasaje mínimo de flujo. En relación con las celdas unitarias sombreadas en la Figura 2.24, se observa que el pasaje mínimo para haces de tubos en línea es igual a  $a-D$ , de modo que, por continuidad,

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{V_{\infty} \times a}{a - D} \quad (2.23)$$

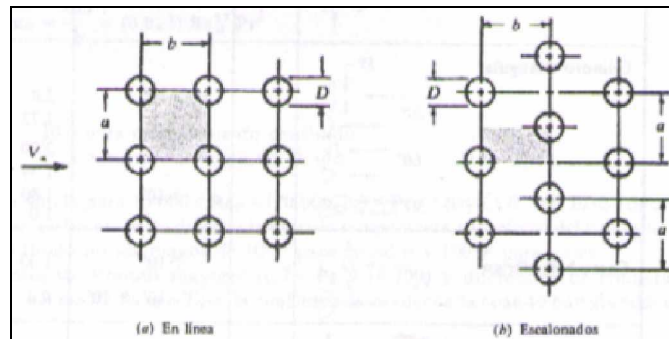


Para haces escalonados, el pasaje mínimo es el menor valor entre

$(a - D)/2$  y  $\sqrt{(a/2)^2 + b^2} - D$  (la diagonal) y  $V_{m\acute{a}x}$ , es igual a  $\frac{V_{\infty} \times a}{2}$  dividido

por este menor valor.

Para haces de tubos que tienen menos de 10 tubos en la direcci3n del flujo, se tienen los coeficientes de correcci3n que se dan en la Tabla 2.5, donde  $h_{10}$  se expresa mediante (2.19).



**Figura 2.24.** Disposici3n del haz de tubos

**Tabla 2.4.** Espaciado de los tubos.

| $\frac{b}{D}$      | $a/D$ |       |       |       |       |       |        |       |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
|                    | 1.25  |       | 1.5   |       | 2     |       | 3      |       |
|                    | $C_1$ | $n$   | $C_1$ | $n$   | $C_1$ | $n$   | $C_1$  | $n$   |
| Tubos en lnea:     |       |       |       |       |       |       |        |       |
| 1.25               | 0.348 | 0.592 | 0.275 | 0.608 | 0.100 | 0.704 | 0.0633 | 0.752 |
| 1.5                | 0.367 | 0.586 | 0.250 | 0.620 | 0.101 | 0.702 | 0.0678 | 0.744 |
| 2                  | 0.418 | 0.570 | 0.299 | 0.602 | 0.229 | 0.632 | 0.198  | 0.648 |
| 3                  | 0.290 | 0.601 | 0.357 | 0.584 | 0.374 | 0.581 | 0.286  | 0.608 |
| Tubos escalonados: |       |       |       |       |       |       |        |       |
| 0.6                |       |       |       |       |       |       | 0.213  | 0.636 |
| 0.9                |       |       |       |       | 0.446 | 0.571 | 0.401  | 0.581 |
| 1                  |       |       | 0.497 | 0.558 |       |       |        |       |
| 1.125              |       |       |       |       | 0.478 | 0.565 | 0.518  | 0.560 |
| 1.25               | 0.518 | 0.556 | 0.505 | 0.554 | 0.519 | 0.556 | 0.522  | 0.562 |
| 1.5                | 0.451 | 0.568 | 0.460 | 0.562 | 0.452 | 0.568 | 0.488  | 0.568 |
| 2                  | 0.404 | 0.572 | 0.416 | 0.568 | 0.482 | 0.556 | 0.449  | 0.570 |
| 3                  | 0.310 | 0.592 | 0.356 | 0.580 | 0.440 | 0.562 | 0.421  | 0.571 |



|                    | Número de Tubos |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                    | 1               | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| <b>Escalonados</b> | 0,68            | 0,75 | 0,83 | 0,89 | 0,92 | 0,95 | 0,97 | 0,98 | 0,99 |
| <b>En Línea</b>    | 0,64            | 0,80 | 0,87 | 0,90 | 0,92 | 0,94 | 0,96 | 0,98 | 0,99 |

**Tabla 2.5.** Relación de  $\bar{h}/\bar{h}_{10}$ <sup>3</sup>

#### 2.1.10.4 Factores de ensuciamiento.

El rendimiento de los intercambiadores de calor desarrollado en las secciones anteriores depende de que las superficies de transferencia de calor se encuentren limpias y libres de corrosión; los depósitos superficiales incrementan la resistencia térmica y, por tanto, disminuye el rendimiento. Esta resistencia adicional generalmente se tiene en cuenta utilizando un factor de ensuciamiento o resistencia de ensuciamiento,  $R_f$ , el cual se debe incluir junto con las otras resistencias térmicas para calcular el coeficiente total de transferencia de calor.

El factor de ensuciamiento<sup>4</sup> se determina experimentalmente probando el intercambiador de calor en condiciones limpias y en condiciones sucias, y se define en la forma

$$R_f = \frac{1}{U_{\text{sucio}}} - \frac{1}{U_{\text{limpio}}} \quad (2.24)$$

La tabla siguiente indica algunos valores típicos.

<sup>3</sup> Transferencia de Calor, Schaum, Editorial McGraw-Hill, 1980, pág. 175.

<sup>4</sup> La Transmisión del calor, Kreith, Editorial Alambra, España, 1983.

**Tabla 2.6** Factores de ensuciamiento.

| <b>FLUIDO</b>   | <b>hr-pie<sup>2</sup>-°F/Btu</b> | <b>m<sup>2</sup>-K/W</b> |
|---|----------------------------------|--------------------------|
| Agua de mar a menos de 125°F                              | 0,0005                           | 0,00009                  |
| Agua de mar a más de 125°F                                | 0,001                            | 0,0002                   |
| Agua tratada para alimentación de calderas a más de 125°F | 0,001                            | 0,0002                   |
| Aceite combustible  | 0,005                            | 0,0009                   |
| Aceite para temple  | 0,004                            | 0,0007                   |
| Vapores de alcohol  | 0,0005                           | 0,00009                  |
| Vapor de agua, superficie libre de aceite                 | 0,0005                           | 0,00009                  |
| Aire industrial   | 0,002                            | 0,0004                   |
| Líquido de refrigeración                                  | 0,001                            | 0,0002                   |

### **2.1.11 Técnicas de secado.**

El secado artificial surgió como respuesta a las deficiencias del secado natural. Por medio de aparatos e instalaciones especiales, éste se establece en recintos cerrados con condiciones climáticas diferentes a las condiciones atmosféricas normales. La velocidad de secado se puede incrementar, elevando la temperatura tanto como sea admisible para producto en particular, sin ocasionar daños de consideración.

El secado artificial además de reducir el tiempo de secado y de restringir la producción de defectos, permite alcanzar contenidos de humedad tan bajos como sean requeridos de acuerdo con el uso final del producto.

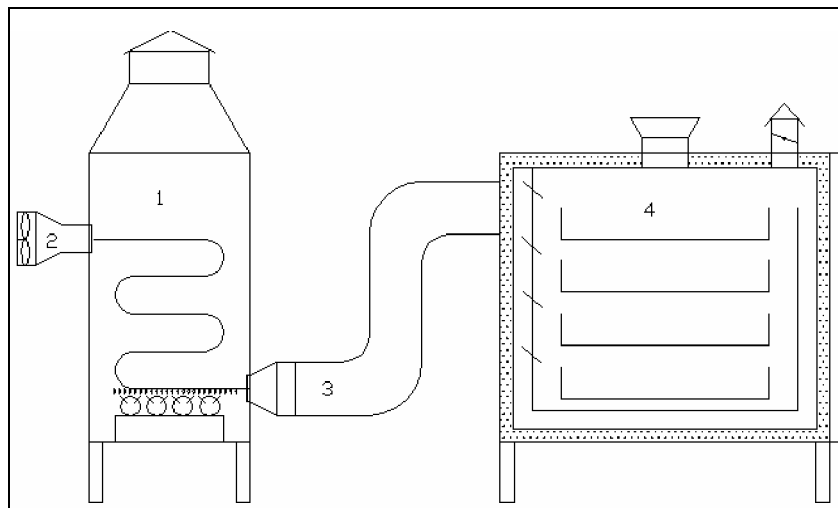
Este secado se ha venido desarrollando en formas diferentes, entre las técnicas más usadas están las siguientes:

- Secado por aire caliente.
- Secado al vacío.
- Secado por superficies calientes.
- Secado por radiación.

### 2.1.11.1 Secado por aire caliente.

Este tipo de hornos se componen de cuatro elementos principales:

1. Sistema de calentamiento del aire.
2. Ventilador.
3. Ducto de circulación del aire
4. Cámara de secado.



**Figura 2.25** Esquema del secado por aire caliente.

El ventilador, generalmente es del tipo centrífugo, por la presión estática que se necesita en este sistema, la cámara de distribución del aire sirve para transformar la presión dinámica del aire en presión estática, uniformando la distribución del aire dentro del secador, la cámara de secado es un recipiente con una o varias bandejas para albergar el producto, el cual permanece estático cuando el aire calentado es impulsado mecánicamente por el ventilador, pasa a través de la capa del producto y reduce su contenido de humedad.

La temperatura de secado afecta directamente la tasa de secado. Cuanto mayor sea la temperatura, mayor será la tasa de evaporación y en el caso de determinados productos pueden presentar irregularidades en el contenido final del producto.

El flujo de aire influye principalmente en la tasa de secado y en la distribución de la humedad, en relación con la profundidad de la capa del producto. Al aumentar el flujo de aire, aumenta la tasa de secado y disminuyen las irregularidades de humedad y temperatura en la capa de producto. El tiempo de secado disminuye con el aumento del flujo de aire, pero la eficiencia del secado también disminuye, en condiciones fijas de temperatura, espesor del lecho y flujo de aire, depende también de la humedad inicial y final del producto.

Cuanto mayor sea el contenido inicial de humedad menor será el contenido final de humedad y mayor será el tiempo de secado.

La cámara de secado puede ser rectangular o circular, el tamaño de las bandejas son normalizadas. La estructura para soportar las bandejas de metal y la masa del producto pueden ser de distintos materiales.

### **Ventajas.**

- Secado de grandes, medianas y pequeños volúmenes de producción.
- Se obtiene un bajo % de humedad del producto final.

### **Desventajas.**

- Dependiendo del tipo de combustible se puede contaminar el producto.
- El tiempo de secado es considerable.

### 2.1.11.2 Secado al vacío.

El secado al vacío<sup>5</sup> considera, que la circulación del agua desde el interior del producto es de 100 a 1000 veces más lenta que la velocidad de evaporación en la superficie del material.

El agua circula a una velocidad cinco veces mayor en un material o producto bajo presión de 60mm de mercurio que bajo una presión de 760 mm. de mercurio. Esta propiedad es la que sirve de fundamento para el desarrollo del proceso de secado al vacío.

De igual manera, la acción de vacío también se traduce en una disminución de la temperatura de ebullición del agua, con lo cual se logra una intensificación de la evaporación en la superficie.

**Tabla 2.7** La temperatura de ebullición del agua en función de la presión.

| Presión del Aire en mm de Hg | Temperatura de Evaporación del Agua |
|------------------------------|-------------------------------------|
| 760                          | 100                                 |
| 480                          | 88                                  |
| 305                          | 76                                  |
| 240                          | 70                                  |
| 153                          | 60                                  |
| 120                          | 55                                  |
| 76                           | 45                                  |
| 62                           | 42                                  |
| 38                           | 32                                  |
| 8                            | 7                                   |

<sup>5</sup> Manual del Grupo Andino para el secado de maderas, Primera edición, Cartagena, 1989.

Además de realizar el vacío, es necesario suministrar la energía calorífica requerida para extraer el agua higroscópica y para pasar el agua del estado líquido al gaseoso.

Si embargo, se debe tener presente que cuando se crea una depresión (vacío) alrededor del producto, se produce un enrarecimiento del aire ambiente, es decir, del agente de transmisión de calor por convección.

La presión de vacío en el cual la transferencia de calor es por conducción es de 76-153 mm. de mercurio.

En estas condiciones es imposible calentar los productos ya que el vacío no transmite el calor. Se debe entonces optar por uno de los siguientes procedimientos:

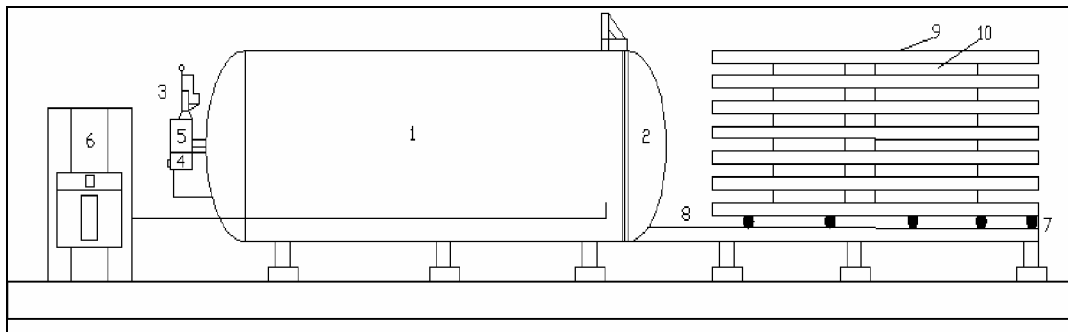
- Colocar el producto en contacto con elementos calientes, por ejemplo, placas calientes.
- Interrumpir el vacío a intervalos regulares y durante estas interrupciones calentar la atmósfera.
- Colocar encima del producto elementos irradiantes.

#### **Elementos de una secadora al vacío.**

- Una cámara hermética con los diferentes elementos mecánicos y en la cual se coloca la carga que va a secarse.
- Un dispositivo de calefacción.
- Un dispositivo para la eliminación del agua.

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

La cámara consiste en un cilindro metálico colocado horizontalmente, provisto de un fondo y de una puerta hemisférica. La forma cilíndrica le permite resistir la presión atmosférica exterior cuando se hace vacío. El cilindro es construido en lámina de acero suficientemente gruesa, unida o soldada. Este tipo de construcción limita la dimensión de la cámara de secado al vacío a unos 10 m<sup>3</sup> de capacidad útil, debido a una elevada inversión representa la construcción de autoclaves más voluminosos.



**Figura 2.26** Esquema del secado al vacío.

1. Cilindro o autoclave.
2. Puerta para la entrada de la carga
3. Unidad de enfriamiento.
4. Bomba de vacío.
5. Dispositivo de regulación.
6. Caldera para generar agua caliente para las placas de calentamiento.
7. Vagoneta para la carga.
8. Riel transportador.
9. Placas de calentamiento.

10. Producto para secar, colocada entre las placas de calentamiento.

### **Ventajas.**

- Aumenta la velocidad de salida del agua que se encuentra contenida en el producto higroscópico.
- Reduce considerablemente el tiempo de secado.
- Mínima emisión de contaminantes.
- Para el secado se necesita baja temperatura.
- Menor aporte energético por baja temperatura.
- Conserva la calidad natural del producto.
- Menor tiempo de secado (2 horas aproximadamente).
- Limitados gradientes de humedad entre el exterior y la superficie.
- Fácil utilización.
- Mantenimiento reducido de la instalación.

### **Desventajas.**

- Alto costo del equipo.
- Capacidad de volumen restringido desde 15 a 25m<sup>3</sup>.
- La bomba tiende a introducir el aceite a la cámara y contamina el producto.
- Los aparatos que se emplean y el manejo del ciclo de secado presentan cierta complejidad, la aplicación alternada de ciclos de vacío y de presión normal es difícil de realizar.
- Hermeticidad tiene que ser absoluta.
- No se puede secar adecuadamente un producto con cáscara.

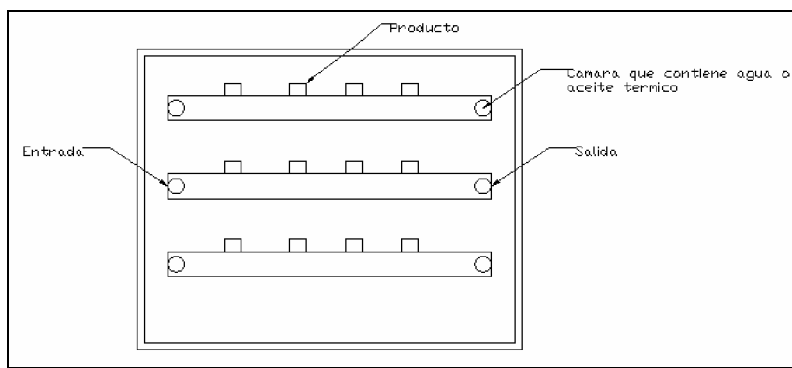


### 2.1.11.3 Secado por superficies calientes.

La técnica por superficies calientes, hace que el calor de desecación se transfiera al sólido húmedo a través de una pared. El líquido vaporizado se separa independientemente del medio de calentamiento. La velocidad de desecación depende del contacto que se establezca entre el producto mojado y las superficies calientes. Los secadores indirectos se llaman también secadores por conducción o de contacto. Y son apropiados para productos con un gran contenido de humedad.

Un secador de superficies calientes, tiene por lo general un tambor que esta formado por uno o más rodillos metálicos calientes o a su vez planchas, en cuya superficie se evapora la humedad contenida por el producto.

El aire que hay dentro del secador se moverá a través de la superficies calientes y se forzara para que se mueva también a través del producto, antes de volver a los ventiladores o sopladores. Para reducir la humedad relativa es necesario introducir aire fresco del exterior y extraer el aire húmedo por las compuertas. Cualquier escape que halla en las paredes o en el techo de la estructura, reducirá la cantidad de ventilación que se requiere.



**Figura 2.27** Esquema del secado por superficies calientes.

### **Ventajas.**

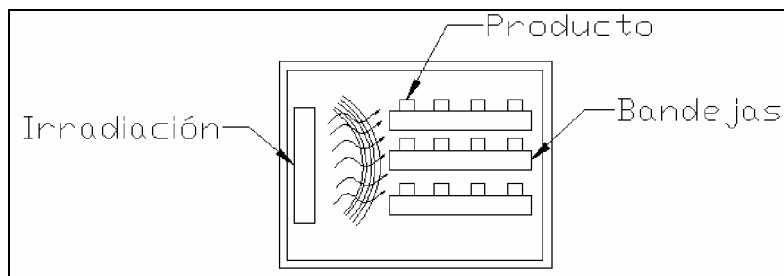
- Se puede aumentar la rapidez del secado.

### **Desventajas.**

- Producto tiende a quemarse.
- Necesita cambios de aire.
- Conexiones para que llegue el fluido a las bandejas.
- Si es agua va a correr por las bandejas.
- Necesita estar en movimiento para que no se queme.

#### **2.1.11.4 Secado por radiación.**

El secado por radiación en los productos, ocurre en un campo donde la energía irradiante proviene de resistencias eléctricas, tubos calientes con agua o aceite térmico. En el cual se calienta a una temperatura superior al punto de ebullición del agua debido a la fricción molecular ocasionada por la oscilación de sus moléculas. La tasa de calentamiento depende de las propiedades dieléctricas y el calor específico del producto y además de la potencia de la corriente eléctrica disponible.



**Figura 2.28** Esquema del secado por radiación.

El calentamiento de los productos húmedos por esta técnica es rápido y uniformemente a través de su sección transversal. La tasa de calentamiento varía, según los productos a secarse, entre 5 y 20°C por minuto. Como se presentan pérdidas de calor y se produce enfriamiento de las superficies debido a la evaporación de la humedad, la distribución de la temperatura decrece de adentro hacia afuera, es decir, en forma opuesta a la que ocurre en el secamiento convencional.

En productos poco permeables, o sea, en aquellas con envoltura cerrada y densa, en las cuales el movimiento del agua es restringido, se desarrollan altas presiones internas y se eleva la temperatura mucho más allá del punto de ebullición del agua, produciéndose como consecuencia explosiones y rupturas internas. Por lo tanto, los productos densos secados con este proceso están expuestos a daños considerables.

#### **Ventajas.**

- Facilidad de fabricación.
- Humedad final uniforme.
- Aplicaciones pequeñas.

#### **Desventajas.**

- Los productos se queman cuando están cerca al radiador de calor.
- Con resistencias eléctricas, consume bastante energía.
- Dificultad de secar productos poco permeables.
- Altos costos en aplicaciones grandes.

## 2.1.12 Combustibles.

Son aquellas sustancias que se pueden quemarse para liberar energía o calor. La mayoría de los combustibles conocidos se componen principalmente de hidrógeno y carbono. Reciben el nombre de combustibles hidrocarburos y se denotan por la fórmula general  $C_nH_m$ . Los combustibles hidrocarburos existen en todas las fases: sólido, líquido y gaseoso.

Los combustibles utilizados generalmente en la operación de hornos y calderos industriales, son derivados del petróleo: diesel, gas propano (glp) o bunker.

**Tabla 2.8** Propiedades de algunos hidrocarburos<sup>6</sup>.

| Combustible (fase)      | Fórmula               | Masa molar, kg/kmol | Densidad, <sup>1</sup> kg/L | Entalpía de vaporización, <sup>2</sup> kJ/kg | Calor específico, <sup>1</sup> $C_p$ kJ/kg · °C | Valor calorífico superior, <sup>3</sup> kJ/kg | Valor calorífico inferior, <sup>3</sup> kJ/kg |
|-------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------------|--|---|---|---|
| 1-Penteno (ℓ)           | $C_5H_{10}$           | 70.134              | 0.641                       | 363  | 2.20  | 47 760  | 44 630  |
| Acetileno (g)           | $C_2H_2$              | 26.038              | —                           | —  | 1.69  | 49 970  | 48 280  |
| Benceno (ℓ)             | $C_6H_6$              | 78.114              | 0.877                       | 433  | 1.72  | 41 800  | 40 100  |
| Butano (ℓ)              | $C_4H_{10}$           | 58.123              | 0.579                       | 362  | 2.42  | 49 150  | 45 370  |
| Carbono (s)             | C                     | 12.011              | 2                           | —  | 0.708   | 32 800  | 32 800  |
| Decano (ℓ)              | $C_{10}H_{22}$        | 142.285             | 0.730                       | 361  | 2.21  | 47 640  | 44 240  |
| Diesel ligero (ℓ)       | $C_nH_{1.8n}$         | 170                 | 0.78-0.84                   | 270  | 2.2   | 46 100  | 43 200  |
| Diesel pesado (ℓ)       | $C_nH_{1.7n}$         | 200                 | 0.82-0.88                   | 230  | 1.9   | 45 500  | 42 800  |
| Etano (g)               | $C_2H_6$              | 30.070              | —                           | 172  | 1.75  | 51 900  | 47 520  |
| Etanol (ℓ)              | $C_2H_6O$             | 46.069              | 0.790                       | 919  | 2.44  | 29 670  | 26 810  |
| Gas natural (g)         | $C_nH_{2.5n}N_{0.1n}$ | 18                  | —                           | —  | 2   | 50 000  | 45 000  |
| Gasolina (ℓ)            | $C_nH_{1.87n}$        | 100-110             | 0.72-0.78                   | 350  | 2.4   | 47 300  | 44 000  |
| Heptano (ℓ)             | $C_7H_{16}$           | 100.204             | 0.684                       | 365  | 2.24  | 48 100  | 44 600  |
| Hexano (ℓ)              | $C_6H_{14}$           | 86.177              | 0.660                       | 366  | 2.27  | 48 310  | 44 740  |
| Hexeno (ℓ)              | $C_6H_{12}$           | 84.161              | 0.673                       | 392  | 1.84  | 47 500  | 44 400  |
| Hidrógeno (g)           | $H_2$                 | 2.016               | —                           | —  | 14.4  | 141 800                                       | 120 000                                       |
| Isopentano (ℓ)          | $C_5H_{12}$           | 72.150              | 0.626                       | —  | 2.32  | 48 570  | 44 910  |
| Metano (g)              | $CH_4$                | 16.043              | —                           | 509  | 2.20  | 55 530  | 50 050  |
| Metanol (ℓ)             | $CH_4O$               | 32.042              | 0.790                       | 1 168  | 2.53  | 22 660  | 19 920  |
| Monóxido de carbono (g) | CO                    | 28.013              | —                           | —  | 1.05  | 10 100  | 10 100  |
| Octano (ℓ)              | $C_8H_{18}$           | 114.231             | 0.703                       | 363  | 2.23  | 47 890  | 44 430  |
| Propano (ℓ)             | $C_3H_8$              | 44.097              | 0.500                       | 420  | 2.77  | 50 330  | 46 340  |
| Tolueno (ℓ)             | $C_7H_8$              | 92.141              | 0.867                       | 412  | 1.71  | 42 400  | 40 500  |

<sup>1</sup>A 1 atm y 20°C.  
<sup>2</sup>A 25°C para combustibles líquidos, y 1 atm y temperatura normal de ebullición para combustibles gaseosos.  
<sup>3</sup>A 25°C. Multiplique por la masa molar para obtener los valores caloríficos en kJ/kmol.

<sup>6</sup> Termodinámica, Cengel, Mc Graw Hill, 4ta Edición Pág. 762.

### **2.1.12.1 Selección del combustible.**

Para realizar una correcta selección de combustibles debemos tener en cuenta los siguientes factores:

1. Cantidad de energía calorífica puede obtenerse de una cantidad dada de combustible, es decir el poder calorífico.
2. Cantidad de oxígeno o aire se necesita para mantener el proceso de combustión, es decir relación aire combustible.
3. Que productos se generan por efectos de la combustión.
4. El aspecto logístico.
5. Facilidad de almacenamiento.
6. El costo del combustible.

### **2.1.12.2 Propiedades de los combustibles.**

Entre las propiedades físico-químicas de los combustibles, podemos destacar las siguientes:

#### **1. Punto de inflamación.**

El punto de inflamación o flash point es la temperatura más baja a la cual el combustible produce el suficiente vapor, y que al combinarse con el aire se enciende pero no se da un proceso de combustión continua, ya que este se interrumpe inmediatamente. Esta temperatura es importante establecer en las especificaciones del combustible puesto que determina las precauciones de seguridad, en cuanto a transferencia, carga y manejo del hidrocarburo.

## **2. Punto de Ignición.**

Este punto de ignición o fire point corresponde a la temperatura a la cual el combustible produce suficiente vapor, el mismo que al mezclarse con el oxígeno del aire, la combustión continua después de haberse dado el encendido. Esta temperatura siempre es más alta que la correspondiente al punto de inflamación, y es importante ya que establece la temperatura apropiada para la combustión.

## **3. Punto de fluidez.**

Es la temperatura más baja a la cual el combustible todavía fluye, esta temperatura está en el límite del congelamiento. Es importante conocer esta temperatura tanto para el diseño y selección de equipos, como cuanto para el manejo del combustible.

## **4. Viscosidad.**

Es el grado de fluidez del combustible y está medida por la resistencia molecular al flujo. Esta característica determina la temperatura a la cual el combustible debe ser calentado para efectos de asegurar una atomización adecuada.

## **5. Gravedad específica.**

Es la relación del peso de un determinado volumen de combustible, al peso de igual volumen de agua a la temperatura estándar de 60 °F. El valor de la gravedad específica es importante en la medida que nos puede revelar la presencia de impurezas en los fluidos. Usualmente, la gravedad específica se expresa en Grados API.

$$\text{Grados API} = 141.51 / (\text{G.E. } 60/60) - 131.5 \quad (2.25)$$

Donde:

**G.E. 60/60** = gravedad específica considerando tanto el fluido como el agua a 60°F.

Por ejemplo, si el combustible tiene una gravedad específica de 0,89, el correspondiente grado API será igual a 27.4

## **6. Porcentaje de agua y sedimentos.**

El agua y los sedimentos son impurezas suspendidas en el combustible que evitan una combustión adecuada y causan daño al equipo de combustión.

El agua se emulsifica en el tanque de almacenamiento, y que al ser bombeado al quemador, causa chisporroteo, dando lugar a la generación de humo blanco, que sale por la chimenea.

Los sedimentos, particularmente los materiales abrasivos, tales como la arena causan un desgaste prematuro entre los diferentes elementos que manipulan este combustible.

## **7. Contenido de cenizas.**

Las cenizas son material incombustible, que se encuentra en el combustible. Las cenizas suelen quedarse en el interior de la cámara de combustión, bien sea en los refractarios o tubos generadores de vapor, disminuyendo el calor transferido desde el hogar al agua.

Las sales de sodio y vanadio son las principales cenizas que están contenidas en el combustible, y cuando están en contacto con el material refractario, cuya superficie se encuentra gelatinosa le convierte en fluida, y que con el movimiento turbulento del aire y gases de escape, el refractario se ve destruido de manera rápida.

## **8. Valor calórico.**

Este valor se refiere a la energía que un combustible puede liberar, si tanto los reactantes, como los productos en el proceso de combustión se encuentran a la misma temperatura.

El valor calórico se determina experimentalmente en la bomba calorimétrica, el reporte se refiere en este caso al valor calórico a volumen constante. En algunos casos, en donde se dispone de información adicional puede encontrarse analíticamente.

El valor calórico puede estimarse a partir de los grados API del combustible, y la fórmula que les relaciona es la siguiente:

$$V.C. = 17601 + 53.1 Y \quad (2.26)$$

Donde:

V.C. = Valor calórico (BTU/lb.)

Y = Grados API.

## **9. Temperatura adiabática de la llama.**

Es la máxima temperatura que se alcanzaría en un proceso de combustión de un combustible, y permite al ingeniero involucrar a este dato



en un marco de diseño, considerando que ningún calor se transfiere desde el sistema de combustión o hacia el sistema de combustión.

La temperatura adiabática de llama depende de los siguientes factores:

- El combustible utilizado.
- Composición química de la mezcla reactante.
- Temperatura de la mezcla reactante.
- Restricciones del sistema.
- Presión de la mezcla reactante.

Por consiguiente diferentes combustibles producirán diferentes temperaturas adiabáticas de llama; si la composición de la mezcla reactante cambia también cambiará la temperatura adiabática de llama.

Mezclas combustible / oxígeno producirían temperaturas adiabáticas de llama más altas que mezclas combustible / aire, con un contenido de oxígeno equivalente, y la razón es muy simple, el nitrógeno del aire es esencialmente inerte, y no contribuye a la reacción de combustión, simplemente absorbe energía. Al incrementar la temperatura de los reactantes, se elevará la temperatura adiabática de la llama. Cuando los reactantes son quemados a volumen constante no transfieren trabajo a los alrededores, en cambio si los reactantes se combustionan a presión constante si lo pueden hacer.

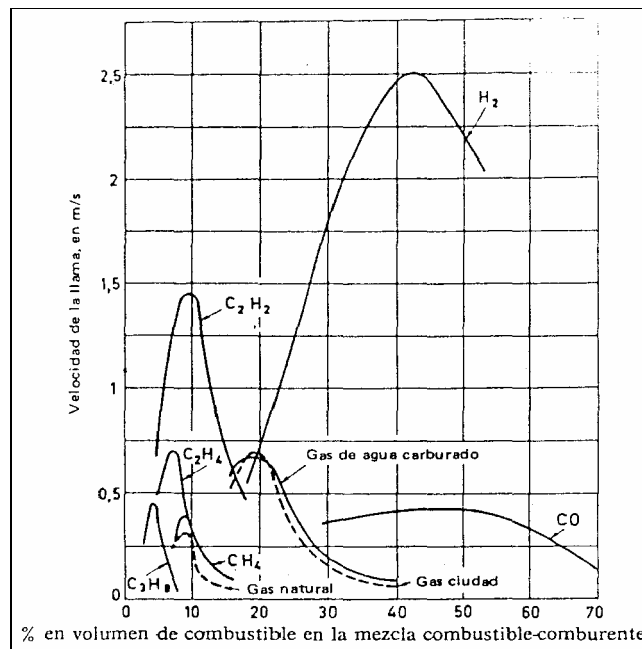
### **2.1.13 Proceso de combustión.**

La combustión es una reacción química durante la cual se oxida un combustible con la presencia de oxígeno para liberar una gran cantidad de

energía, con o sin manifestaciones del tipo de llama o radiaciones visibles. Las llamas pueden definirse cómo reacciones de combustión que se propagan a través del espacio, a velocidades inferiores al sonido acompañadas normalmente con radiaciones visibles.

Si la mezcla destinada a la combustión fluye dentro de un tubo hacia un extremo libre del mismo, en condiciones definidas de flujo, la llama puede quedar aparentemente móvil en el extremo libre. Si la velocidad del gas aumenta más allá de un cierto límite, la llama languidece, apagándose por completo; por el contrario, si la velocidad de flujo de la mezcla disminuye sensiblemente, puede producirse el llamado retorno de la llama dentro del tubo.

La figura siguiente muestra la velocidad de la llama de diversos tipos de combustibles mezclados con aire<sup>7</sup>.



**Figura 2.29** Velocidad de llama de diversos tipos de combustibles

<sup>7</sup> La Combustión teoría y aplicaciones, Giuliano Salvi, Dossat, 2da edición, pág. 91.

Para que se produzca una llama es necesaria tanto la presencia del combustible y del comburente como la de un iniciador: éste puede ser una chispa o una fuente de calor, como un hilo incandescente o una llama piloto.

El oxígeno utilizado en un proceso de combustión, es proveniente del aire atmosférico, cuyo análisis molar para este efecto es 21% de  $O_2$  y 79% de  $N_2$ ; es decir, que por cada mol de  $O_2$  están involucrados 3.76 moles de  $N_2$ .

Durante la combustión el nitrógeno se comporta como un gas inerte y no reacciona con otros elementos químicos más que para formar una muy pequeña cantidad de óxidos nítricos. Pero aún en ese caso la presencia de nitrógeno influye de manera considerable en el resultado de un proceso de combustión, pues el nitrógeno suele entrar a una cámara de combustión en grandes cantidades a temperaturas bajas y salir a temperaturas considerablemente altas, absorbiendo una gran proporción de la energía química liberada durante la combustión.

#### **2.1.13.1 Combustión estequiométrica.**

Es cuando el proceso de combustión se realiza con la mínima cantidad de aire posible, que permita oxidar teóricamente todos los elementos capaces de oxidarse en un combustible.

#### **2.1.13.2 Exceso de aire.**

En vista de que con la mezcla estequiométrica es imposible que cada átomo de carbono del combustible encuentre su átomo de oxígeno, para garantizar la total oxidación de todos los elementos capaces de oxidarse en el combustible, se provee al proceso de combustión de una cantidad

adicional de aire, la misma que depende del combustible y del equipo de combustión, y a esta cantidad se denomina exceso de aire.

#### **2.1.13.3 Combustión perfecta.**

Se refiere al quemado total del combustible con la exacta cantidad de aire teórico, necesario para la reacción. Los productos resultantes son:

CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, y N<sub>2</sub>.

#### **2.1.13.4 Combustión completa.**

Se refiere a la reacción del combustible con el oxígeno del aire; el mismo que se encuentra en exceso. Como productos se tiene: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, y N<sub>2</sub>.

#### **2.1.13.5 Combustión incompleta.**

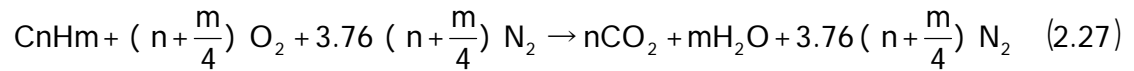
Se refiere al hecho de que no todo el carbono del combustible se ha oxidado para formar el CO<sub>2</sub>, sino que existen en los productos el CO, que es la señal de una combustión incompleta.

#### **2.1.13.6 Relación aire — combustible.**

Es la relación de las moles o masa de aire, a las moles o masa de combustible, que están en juego en un proceso de combustión. Este parámetro es de trascendental importancia en el diseño de todo el sistema de combustión.

### 2.1.13.7 Ecuación de combustión.

Se refiere a la reacción entre el combustible y el oxígeno del aire. Si consideramos un hidrocarburo que tenga la fórmula  $C_nH_m$ , la ecuación de la combustión será<sup>8</sup>:



La relación aire combustible, se obtiene a partir de un balance apropiado de esta ecuación.

Si se conoce el flujo másico de combustible que debe quemarse, la cantidad de aire a utilizarse quedará establecido a través del parámetro aire combustible.

### 2.1.13.8 Eficiencia de combustión.

Es la efectividad solamente del quemador, y relaciona su habilidad para quemar el combustible completamente. Un quemador bien diseñado operará con un pequeño 15 a 20 % de exceso de aire para obtener la energía útil del combustible.

### 2.1.13.9 Eficiencia térmica.

Es la efectividad de transferencia de calor en un intercambiador de calor. Esta eficiencia no toma en cuenta las pérdidas por convección y radiación. Las pérdidas por convección y radiación variaran de acuerdo al tamaño del horno.

---

<sup>8</sup> Apuntes de Clase de Tecnología Automotriz, 2005.

### 2.1.14 La combustión de mezclas gaseosas.

La combustión de las mezclas gaseosas es evidentemente más sencilla que la de los combustibles líquidos y sólidos, puesto que la unión con el comburente, operación que determina la calidad de la combustión, es mucho más fácil de lograr. La sustitución de una mezcla por otra en un quemador determinado implica problemas de intercambios de los productos relacionados con las características del quemador y con la cantidad de aire necesaria para la combustión, la velocidad de la combustión de los respectivos gases y la cantidad de gas distribuido (además del poder calorífico y la densidad).

Desde el punto de vista estrictamente químico, el mecanismo de la combustión de las mezclas no se diferencia sustancialmente de los componentes puros; la combustión se favorece con el precalentamiento del aire comburente y de la mezcla gaseosa en reacción.

Las llamas de los combustibles gaseosos, por contener solamente anhídrido carbónico, vapor de agua y nitrógeno, tienen una emisividad relativamente débil; en el nitrógeno es prácticamente nula, mientras que en el anhídrido carbónico y en el vapor de agua alcanza valores no muy elevados.

Para que una llama sea luminosa debe contener en suspensión partículas sólidas (carbono) que irradian como un cuerpo negro. Es posible obtener llamas de emisividad relativamente alta ( $\epsilon \sim 0.4$ ), a partir de combustibles gaseosos mediante un cracking parcial de los hidrocarburos durante el proceso de oxidación, o sea, haciendo proceder la combustión propiamente dicha de una fase preliminar de reacción con defecto de aire.

### **2.1.15 Control de la combustión.**

Para conocer la importancia del control de la combustión, es preciso entender la secuencia que lleva el quemador y algunos términos empleados en ellos.

Se entiende como parada insegura a un corte en el proceso de combustión bajo condiciones que pueden devenir en la posibilidad de ocurrencia de una explosión. Esta principalmente es causada por la presencia de una mezcla de combustible en el espacio confinado de la cámara de combustión y/o los pasajes asociados a ella.

La mezcla explosiva es la acumulación de una excesiva cantidad de combustible mezclado con aire en proporciones que permitan una rápida e incontrolable combustión cuando una fuente de encendido esté presente y es el resultado de la aplicación de procedimientos inadecuados por parte del personal de operación y mantenimiento, de un diseño no adecuado del equipo y sus sistemas de control, de una selección no acertada en los elementos de reemplazo o de un mal funcionamiento de componentes y sistemas.

Una adecuada secuencia de encendido, presencia de dispositivos de bloqueo y protección adecuados y un claro entendimiento del problema por parte de operadores puede reducir grandemente el riesgo de las explosiones.

De acuerdo a los expertos, las cuatro principales causas que están en conexión directa con las explosiones son:

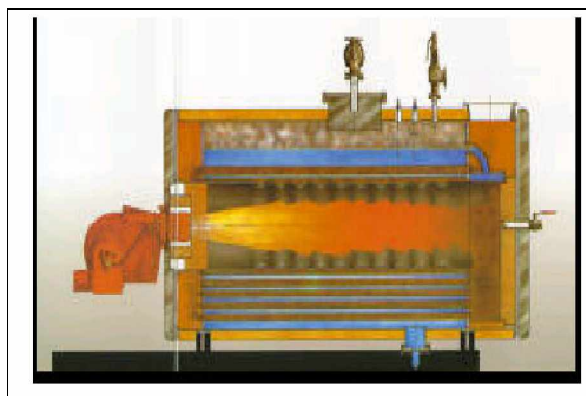
1. Una interrupción en el suministro de aire, combustible o energía de encendido al quemador; situación que produce una pérdida momentánea de la llama y un reestablecimiento de ésta con retardo.
2. Una fuga de combustible en una cámara de combustión que no está operando y el encendido de la acumulación resultante por medio de una chispa u otra fuente de energía.
3. Repetidos intentos de encendido sin una purga de aire adecuada.
4. Relaciones de aire combustible ricas en combustible que ocasionan pérdidas transitorias de llama, seguidas, por el reestablecimiento de ésta.

La seguridad en el proceso de combustión y por tanto la prevención en la ocurrencia de explosiones, se da por medio de elementos sensores para detectar la presencia de llama, dispositivos de arranque y bloqueo del quemador; válvulas de control de paso y regulación de la cantidad de combustible, relés de secuencia y por controles auxiliares usados en conjunto con el sistema de seguridad del quemador. Es decir: un grupo de elementos de control usados para proveer seguridad en la operación del quemador, de acuerdo con los requerimientos de aplicación del mismo.

#### **2.1.16 Quemadores a gas.**

Los quemadores son dispositivos mediante los cuales, el combustible se pone en contacto y se mezcla con el comburente a fin de provocar una combustión eficiente y lograr de ese modo el efecto térmico buscado.





**Figura2.30** Quemador a gas

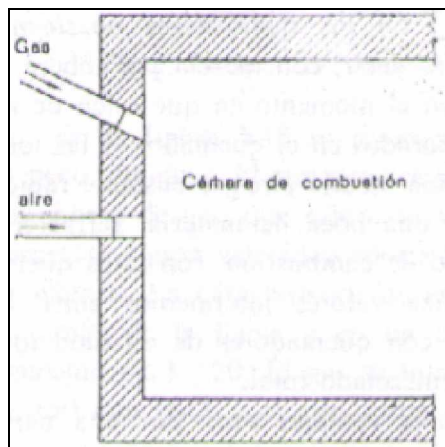
Los quemadores a gas, como su nombre lo dice emplean combustibles gaseosos, estos se queman y se regulan con mayor facilidad. La combustión se realiza en una sola fase, y no existen problemas de atomización y vaporización (aceites combustibles) o de pulverización (combustibles sólidos).

Los gases generalmente son limpios y por consiguiente no forman atascos ni ensucian las cámaras de combustión. Los quemadores de gas se pueden regular fácilmente y ofrecen amplias condiciones de productividad; generalmente su precio es más bajo que el de los quemadores de combustibles líquidos y sólidos. Sin embargo, el hecho de que generalmente no lleven una reserva localizada de combustibles gaseosos supone una desventaja para este tipo de quemadores, puesto que una falta casual de la fuente de suministro lleva a la parada total de la instalación que lo utiliza. Por esta razón, a veces resulta necesario añadir a los quemadores de gas otros quemadores de combustibles auxiliares (generalmente aceite).

Las reacciones de combustión del gas y del oxígeno van estrechamente unidas a los métodos de adición y de mezcla del aire con el gas.

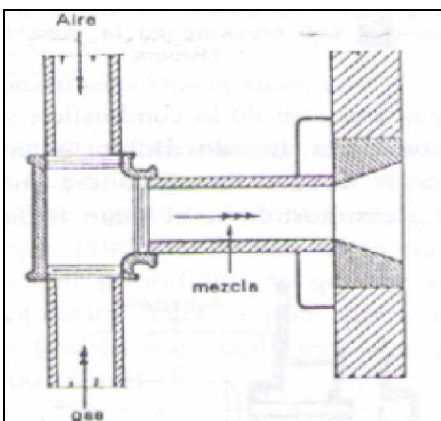
Según el método de introducción del gas y del aire en la cámara de combustión el horno, los quemadores de gas se clasifican<sup>9</sup> como sigue:

- Quemadores con llamas de difusión, en los que el gas y el aire penetran sin mezclar en la cámara, y la mezcla se efectúa por difusión turbulenta en el lugar de la combustión (Figura 2.31.).
- Quemadores con premezclado parcial, en los que se mezcla previamente el gas con una parte de aire, y el resto necesario para la combustión se aspira más adelante, ya en el horno;
- Quemadores con llamas y premezclado total, en los que el gas y todo el aire necesario para la combustión se mezclan antes de que tenga lugar la combustión (Figura 2.32.).



**Figura 2.31** Esquema de quemador de gas con mezcla en el horno.

<sup>9</sup> La Combustión teoría y aplicaciones, Giuliano Salvi, Dossat, 2da edición, pág. 314.



**Figura 2.32** Esquema de quemador de gas con premezclado total.

Esta clasificación es puramente indicativa, puesto que a menudo muchos quemadores de gas presentan propiedades de dos categorías.

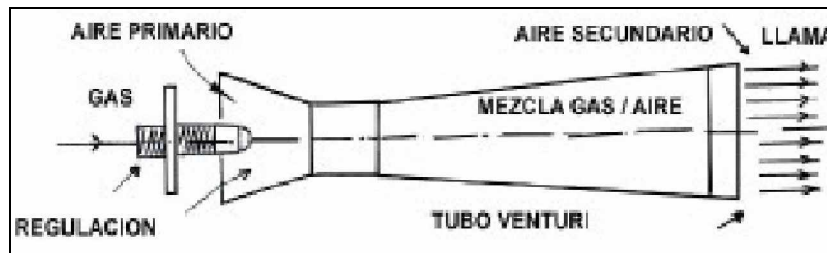
Las propiedades típicas de los quemadores con premezclado son: llama corta, intensa y dura, de gran velocidad, alta temperatura y baja luminosidad. Por el contrario, los quemadores de difusión producen llamas largas y «suaves», poco intensas y de temperaturas relativamente bajas.

En el campo de las clasificaciones ya mencionadas se pueden formular otras subdivisiones que tengan en cuenta las presiones de trabajo. Si se introduce el gas a una presión superior a la atmosférica y la depresión que existe en el horno es la que absorbe el aire, se puede hablar de quemadores de aire aspirado, o atmosféricos. En cambio, si siempre con el gas a presión, es un ventilador el que suministra el aire, se trata de quemadores con aire insuflado.

#### **2.1.16.1 Quemadores atmosféricos.**

Los quemadores atmosféricos se pueden emplear para alta o baja presión de suministro de gas. Como se observa en la figura, cuenta con una

tobera de inyección de gas en forma de tubo de venturi, que aspira el aire primario necesario para la combustión a la entrada del quemador. Para completar la totalidad del aire requerido para la combustión se introduce el aire secundario.

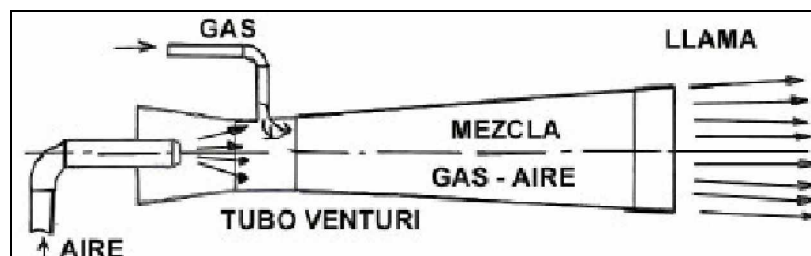


**Figura 2.33** Funcionamiento del quemador atmosférico.

#### 2.1.16.2 Quemador de gas /aire.

En este tipo de quemador, el aire se suministra a una presión adecuada superior a la del gas combustible.

El gas combustible es inducido por el aire que se inyecta en un tubo tipo venturi, efectuándose la mezcla en su casi totalidad antes de producirse la combustión como se indica en la figura.

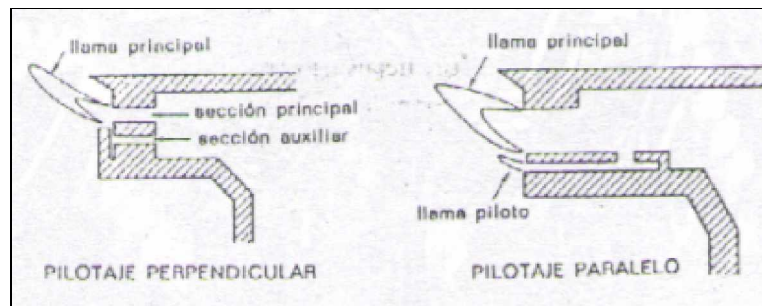


**Figura 2.34** Funcionamiento del quemador aire/gas.

### 2.1.16.3 Quemadores de llama piloto.

Las llamas auxiliares o llamas piloto están dispuestas en la base de la llama principal; de este modo queda protegida contra la turbulencia del aire secundario y a la vez se tiene una aportación de calorías en la base de la llama.

El control puede hacerse en sentido horizontal o en sentido vertical respecto a la llama principal, tal como se indica en la figura<sup>10</sup> siguiente.



**Figura 2.35** Sistemas de llamas piloto.

La mezcla aire-gas que alimenta la llama piloto tiene una pérdida de carga distinta de la que alimenta la llama principal. Es decir, se tienen dos secciones de llama con distintas velocidades de salida y que pueden por ello admitir la alimentación de gases de distinta velocidad de combustión. Hay que tener en cuenta que la llama piloto, si bien protege a la llama principal del efecto de turbulencia del aire secundario, no debe impedir u obstaculizar en exceso el contacto y el paso del aire.

Esta es la razón por la cual las llamas piloto deben proyectarse de forma que su caudal térmico no sea demasiado elevado respecto al del quemador: en general es conveniente que tengan un flujo térmico no superior a 1/6 -

<sup>10</sup> La Combustión teoría y aplicaciones, Giuliano Salvi, Dossat, 2da edición, pág. 506.

1/7 del flujo del quemador. Este tipo de llama requiere además un cuidadoso trabajo de la sección de salida, sobre todo en los casos en que el piloto está constituido por un anillo de llama: pues se precisa, en efecto, una sección lo más constante posible para no tener zonas de mala combustión.

#### **2.1.16.4 Recomendaciones para la operación apropiada del quemador.**

Generalmente se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Los quemadores deben calibrarse o ajustarse apropiadamente.
2. Se debe chequear el sistema de combustible, y ver que no existan fugas.

La causa más común para que un quemador no trabaje en óptimas condiciones es que el exceso de aire no es adecuado. Los procedimientos para chequear este exceso son conocidos, uno de ellos es el análisis de los productos de la combustión, aunque un operador de bastante experiencia puede enterarse fácilmente de las condiciones bajo las cuales está operando la caldera, bien sea mirando el color de la llama o bien sea mirando la chimenea y viendo el color de los productos de la combustión.

La presencia de CO en los productos significa que la combustión es incompleta, y que se está perdiendo energía, lo deseable es que la presencia del CO sea nula, aunque es recomendable un margen de tolerancia, ya que es prácticamente imposible tener todo el tiempo el porcentaje de CO igual a cero.

Para ilustrar el efecto de la presencia de CO en los productos. Si 1 Kg de C es quemado a CO la energía que se genera es de 2435 Kcal y si ese Kg

de C se quema a CO<sub>2</sub> se genera 8100 Kcal. El exceso de aire oscila entre el 8% y 15%.

La presencia de grandes excesos de aire, se puede detectar a través del humo blanco en la chimenea y un enfriamiento de la caldera. El humo blanco también puede ser que sea debido a la temperatura demasiado alta del combustible. Si el color de la llama es rojo, es señal de que existe insuficiencia de aire, el color de la llama ideal es dorada brillante.

#### **2.1.16.5 Seguridad en la operación del quemador.**

Dado que la incidencia del error humano en la operación o mantenimiento es alta. La posibilidad de una parada insegura seguirá subsistiendo pese a que el horno cuente con todos los elementos de control necesarios.

Un proceso de combustión requiere combustible y aire debidamente programados y balanceados; lo más factible de controlar para prevenir la formación de una mezcla explosiva es el combustible, el aire es siempre abundante y esto dificulta que pueda garantizarse su control.

Por otra parte, existe siempre la posibilidad de formación de chispas debido a las condiciones normales de operación del caldero. Tomando como variable única el suministro de combustible, se presentan dos técnicas para prevenir las explosiones:

1. Un control de entrada que supervisa el ingreso de la mezcla aire combustible no permitiendo la acumulación de mezclas explosivas.

2. Un control de encendido que habilitará la combustión inmediatamente al ingreso de la mezcla de aire combustible a la cámara.

El método más común para lograr un “control de entrada” es el de determinar un tiempo máximo permisible para el ingreso de la mezcla explosiva; un volumen de mezcla mayor al 30 % del volumen del hogar del caldero es considerada peligrosa. Este tiempo que se denomina periodo de gracia es el tiempo máximo que un combustible reactivo sin quemar puede ser introducido y retenido en una cámara de combustión y varía grandemente dependiendo de la capacidad del flujo de entrada del combustible y del volumen de la cámara de combustión.

Por ejemplo un pequeño caldero tiene un periodo de gracia de alrededor de un segundo, mientras que quemadores o calderos del tipo industrial o comercial tienen periodos de gracia de cuatro o más segundos. Para mayor seguridad en la protección de encendido, el corte de combustible debe ocurrir antes del final del periodo de gracia.

El “control de encendido” comienza a ser efectivo una vez que la llama se ha establecido. El proceso de combustión convierte la mezcla en gases inertes, los cuales conjuntamente con el aire no utilizado diluyen aun más a los combustibles que pudieran haber quedado durante el proceso, esta situación reduce todavía más el peligro de explosión. La protección de encendido se realiza por dos formas básicas: auxiliares e inherentes.

El encendido auxiliar es provisto por una llama piloto o por un encendedor eléctrico, es efectivo cuando no existe llama y se lo utiliza mientras esta se establece.

La protección de encendido inherente es una retroalimentación de parte del calor generado por la llama principal y es efectivo cuando termina el encendido auxiliar.



Debido a que la llama es una conversión de combustible y aire en energía calórica, gases inflamables y no inflamables, productos de combustión con humos y cenizas, la presencia de ésta es por si indirectamente un indicativo de esta conversión. Bajo condiciones normales, la presencia de la llama es la evidencia de que hay suficiente entrada de combustible y aire para producir la combustión y proveer una atmósfera segura en el hogar.

El método más seguro para determinar las condiciones del proceso de combustión es el análisis directo de la atmósfera del horno, situación que es bastante difícil de conseguir en instalaciones industriales y por métodos convencionales, entonces es el detector de llama montado como control en el sistema el elemento más crítico para determinar la presencia del control de encendido. Esto hace que el destino del equipo dependa de la eficiencia del detector de llama.

#### **2.1.16.6 Sistemas automáticos.**

La secuencia de operación de un quemador esta supervisada, controlada y monitoreada por un conjunto de controles que se denominan “sistema de seguridad de llama “, el cual agrupa todos los controles, el quemador en si y los equipos asociados a él.

Los sistemas de seguridad de llama, se diseñan de acuerdo a la capacidad de generación de calor de los quemadores, creciendo en complejidad conforme las ratas de consumo de combustible aumentan. Un pequeño calentador con una capacidad de generar entre 30.000 y 100.000 B.T.U., normalmente puede ser controlado con un sistema eléctrico que incluya una termocupla o un relé de chimenea, estos sistemas requieren alrededor de un minuto para cortar el combustible, una vez que la

termocupla a sido enfriada cuando se cortó la llama o se terminó la condición de expansión de gases que accionan el relé de la chimenea. Obviamente, debido a la pequeña capacidad de generación de calor del quemador, una poca cantidad de combustible podrá acumularse, pero los sistemas de seguridad son satisfactorios para estas condiciones de operación.

Se necesitan sistemas de seguridad de llama con repuestas más rápidas para quemadores grandes donde las ratas de consumo de combustible son altas y pueden producirse almacenamientos peligrosos de mezclas combustibles; por seguridad estos sistemas deben cortar el combustible dentro de los primeros 2 a 4 segundos, siguientes a la falla de llama.

Aparte de la velocidad de respuesta en la falla de llama, se requieren equipos confiables por razones de seguridad y economía ya que la pérdida del quemador o equipo completo puede ser muy costosa.

Por ello se fabrican controles automáticos con capacidad de supervisar todas las funciones del quemador incluyendo los sistemas de seguridad y confiabilidad.

#### **2.1.16.6.1 Detectores de llama.**

Las técnicas de detección de llama<sup>11</sup> usan algunas de las características de ésta, tales como la conducción eléctrica, la ionización de la atmósfera dentro y alrededor de la llama, el calor, la luz visible y la emisión electromagnética. El detector de llama utilizando, o más bien sensando alguna de estas propiedades da una señal de paso al sistema de control cuando la llama ha sido detectada; esta señal permitirá entonces al quemador que siga operando. Pero en realidad, la función más importante

---

<sup>11</sup> Seminario: Selección, Operación y mantenimiento de Calderos Industriales, Ing. Iván Arellano, 2007, CIMEPI, Pág. 25.

del detector de llama es dar la señal de pare, cuando la llama por algún motivo ha desaparecido.

La información de la presencia de la llama es muy importante en razón de que únicamente con su presencia el detector enviará la señal de “vía libre” para continuar con la operación; pero esta acción no puede prevenir la formación de una acumulación de mezcla explosiva. Si un detector de llama da señal de vía libre cuando no hay llama, el sistema lógico obedientemente permite la entrada al quemador de mezclas inflamables, aunque puedan crearse situaciones peligrosas.

Este último razonamiento puede aplicarse a cualquier etapa de operación del quemador, en el momento que se pierda la llama, el quemador debe detenerse antes del final del periodo de gracia; es el detector de llama el único que puede enviar la señal de pare al sistema lógico para que este detenga al quemador después del corte de la llama.

El tiempo de reacción de los interbloques de aire y combustible es crítico y debe ser mucho más amplio que el tiempo de reacción del detector de llama, debido a que los cambios en las condiciones de operación de la llama son más lentos comparados con la transición digital de la señal “llama — no llama”.

#### **2.1.16.6.2 Programadores.**

Los programadores principalmente contienen el llamado control primario, que es el sistema de control y seguridad de la operación del quemador, este convierte las señales provenientes del detector de llama, controladores, en una secuencia de operación segura que permite mantener estables las condiciones de operación del quemador. Las funciones del control primario son:

1. Ordena las operaciones de arranque, trabajo y corte del quemador
2. Supervisa la presencia de la llama en el quemador y corta el suministro de combustible si esta no está presente.
3. Se auto chequea contra condiciones de operación inseguras. Si estas condiciones están presentes el sistema no arranca.

Dentro de los diferentes sistemas de protección de que se dispone para calderos, el mecanismo básico es el protector relé, este dispositivo cumple ya con los requerimientos de seguridad en la operación de quemadores de baja potencia.

Por ejemplo el protector de relé R8185E (Honeywell); es un control utilizado para proveer seguridad de llama en calderos de baja potencia, con quemadores para aceite, provee reciclaje automático y encendido intermitente de los electrodos. La detección de llama puede ser hecha únicamente con una fotocélula de sulfuro de cadmio y como límites usa un termostato de 24 voltios u otro tipo de control con circuito de voltaje adecuado.

Conforme aumenta la capacidad de los quemadores el riesgo de ocurrencia de situaciones peligrosas también aumenta.

Por ello, se da la necesidad de dar mayor seguridad a quemadores de gran tamaño deriva de la utilización de secuencias más complejas en el encendido, por ejemplo se requiere que la cámara de combustión y chimenea sean barridas con aire antes de arrancar el sistema. Entonces deben agregarse a los circuitos de supervisión y detección las facilidades necesarias para ejecutar un proceso de purga.

La supervisión de la llama también es más compleja ya que por ejemplo debe cortarse el piloto antes de que el quemador principal alcance las condiciones de trabajo.

En resumen el programador de seguridad de llama controla la siguiente secuencia:

- Prepurga.
- Tiempo de encendido para el piloto.
- Tiempo de encendido de la llama principal.
- Post-purga.

La prepurga es el periodo de tiempo durante el arranque del quemador, en el cual únicamente el ventilador del quemador trabaja para mandar aire a través de la cámara de combustión, chimenea y pasajes asociados a estos. El objetivo es eliminar la posibilidad de acumulación de mezclas combustibles no quemadas en el encendido anterior.

La post-purga es el periodo de tiempo posterior al corte de la llama, en el cual se realiza también un barrido con aire a los mismos elementos.

El tiempo de encendido de la llama principal es el periodo de tiempo durante el arranque en el cuál con el piloto encendido, se espera que la llama principal se estabilice antes que se corte el piloto, asegurando de esta manera que el detector supervise no solamente la llama principal sino también el piloto.

## 2.2 Marco Conceptual.

En la elaboración del presente proyecto se han empleado los siguientes términos.

**IIIA.** Instituto Italo Latino Americano.

**Morera.** Es una planta que constituye la materia prima fundamental para el desarrollo del gusano de seda. Y es el único alimento del gusano en su ciclo larval.

**Pupa.** Es el contenido del capullo o dicho en otra palabra el gusano en forma de crisálida (proceso de transformación de gusano a mariposa).

**Rodalina.** Accesorio que sirve para el encapullamiento de los gusanos.

**Devanabilidad.** Facilidad de desenvolvimiento del hilo del capullo.

**Denier.** Filamento continuo en toda su longitud con un calibre determinado.

**Sericina.** Sustancia producida por el gusano que mantiene unidos los diferentes estratos de hilo que componen la corteza del capullo.

**Capullo.** Gusano en etapa de metamorfosis. Y por ende el producto a ser secado.

**Temperatura.** Capacidad sensitiva que nos permite apreciar si un cuerpo esta más caliente que otro, en otras palabras es la medida del grado de calentamiento de un cuerpo.

**Calor sensible.** Variación de temperatura que nos indica transferencia de energía.

**Calor latente.** Energía empleada para el cambio de estado.

**Calor específico.** Se define como la energía requerida para elevar un grado la temperatura de una masa unitaria de una sustancia.

**Contenido de humedad.** El contenido de humedad es la cantidad de agua presente en un material, se expresa generalmente en términos de porcentaje ya sea en base húmeda o base seca.

**Contenido de humedad inicial.** Es el contenido de humedad que tiene el producto al iniciarse el secado.

**Contenido de humedad final.** Es el contenido de humedad que deberá tener el producto al terminar el proceso de secado.

**Psicrometría.** Se define como "aquella rama de la física relacionada con la medición o determinación de las condiciones del aire atmosférico, particularmente respecto de la mezcla de aire seco y vapor de agua".

**Aire atmosférico.** Se compone de una mezcla de gases, vapor de agua y una mezcla de contaminantes, tales como humo, polvo, y otros.

**Temperatura de bulbo seco.** Es la verdadera temperatura del aire húmedo.

**Temperatura de punto de rocío.** Es la temperatura a la cual el aire húmedo no saturado se satura, es decir, cuando el vapor de agua comienza a condensarse, por un proceso de enfriamiento.

**Presión de vapor.** Es la presión parcial que ejercen las moléculas de vapor de agua presentes en el aire húmedo.

**Razón de humedad del aire.** Se define como la relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco en un volumen dado de mezcla.

**Humedad relativa del aire.** Se define como la razón entre la presión de vapor de agua en un momento dado ( $P_v$ ) y la presión de vapor de agua cuando el aire está saturado de humedad ( $P_{vs}$ ), a la misma temperatura.

**Humedad higroscópica.-** Humedad que esta íntimamente unida, por absorción, con los elementos más finos de la pared celular y mantenido con fuerza suficiente para reducir de modo apreciable la presión de vapor.

**Humedad libre.** Humedad mantenida en la estructura capilar más gruesa del producto, pero que no esta íntimamente asociada con la estructura más fina.

**Grado de saturación.** Es la relación entre la razón de humedad real de la mezcla y la razón de humedad del aire en estado de saturación.

**Entalpía.** De la mezcla de aire seco y vapor de agua, es la energía del aire húmedo por unidad de masa de aire seco.

**Volumen específico.-** Del aire húmedo, se define como el volumen que ocupa la mezcla de aire seco y vapor de agua por unidad de masa de aire seco.

**Conducción.** Es la transferencia de calor a través de un material fijo.

**Convección.** Es la transferencia de calor entre partes relativamente calientes y frías de un fluido por medio de mezcla.

**Radiación.** Involucra la transferencia de energía radiante desde una fuente a un receptor.



**Combustión.** Una reacción química durante la cual se oxida un combustible y se libera una gran cantidad de energía.

**Cámara de secado.** Recinto o cuarto cerrado en el cual se controlan la temperatura, la humedad de aire y su velocidad para permitir el secado del producto.

**Agua libre.** Es el agua contenida en las cavidades celulares por encima del punto de saturación de las fibras y cuya eliminación durante el proceso de secado no produce cambios volumétricos.

**Contenido de humedad.** Es la cantidad de agua contenida en el producto, normalmente expresada en una de las siguientes formas: a) en porcentaje del peso de la producto anhidrido, b) en porcentaje del peso total del producto; c) cantidad absoluta de agua en una cantidad absoluta del producto.

**Densidad.** Es la relación entre la masa de producto y su volumen a un determinado contenido de humedad. Como con el cambio de humedad, la masa y el volumen también cambian, es recomendable especificar la condición de humedad existente en el momento en el que se determina la densidad.

**Densidad relativa.** Es la relación entre el peso o masa de un producto seco en el horno y el peso o masa del agua desplazada por ese mismo producto a un cierto contenido de humedad. Puesto que es una relación de pesos o de masas, no tiene dimensiones.

**Humedad relativa.** Es la relación entre la presión real del vapor de agua existente en la atmósfera y la presión del vapor saturado de la misma, a igual temperatura.

**Secado al aire.** Proceso mediante el cual se seca el producto por exposición a las condiciones atmosféricas de un lugar, ya sea a la intemperie o bajo cubierta.

## **2.3 Marco contextual.**

### **2.3.1 Externo.**

#### **2.3.1.1 Político.**

En la Comunidad Andina hace falta que se realice un plan nacional que defina las políticas conducentes a desarrollar la Sericultura, proponiendo un régimen tributario especial para la importación de los huevos de gusano de seda y la maquinaria necesaria para la industrialización de la seda natural

El Plan Nacional a elaborarse deberá contener lo siguiente:

- El diagnóstico de situación de los suelos más adecuados para el cultivo de la morera así como el diagnóstico de situación de las zonas climatológicamente más adecuadas para la crianza intensiva del gusano de seda, incluyendo el estudio de impacto ambiental en el ecosistema de dichas zonas donde se desarrollen dichas actividades.
- Un estudio de la demanda mundial de la seda natural y sus subproductos en la actualidad y dentro de los próximos cinco (5) años a efectos de establecer las zonas de demanda del producto a futuro.
- El diagnóstico de los recursos tecnológicos existentes en el país para impulsar el desarrollo sostenido del cultivo intensivo de la morera y la crianza del gusano de seda.

- El estudio de los recursos humanos existentes en las zonas susceptibles de llevar a cabo el cultivo de la morera y crianza de gusano de seda y sus efectos socioeconómicos.
- Creación de un registro específico de cultivadores de moreras, criadores de gusanos de seda o industriales de la seda existentes o que se instalen en el país, que estará a cargo de los Ministerios de Agricultura.
- Medidas de fomento de la inversión privada en la promoción y producción de los recursos, así como buscar nuevas formas de financiamiento para dichas actividades.

#### **2.3.1.2 Legal.**

##### **Normativa Andina**

Establece que cuando un gobierno realiza la solicitud de diferimiento del Arancel Externo Común de productos del sector confección por razones de emergencia nacional, debido a las dificultades políticas y económicas que ese país este atravesando deberá tomarse en el corto plazo medidas adecuadas, para evitar una agudización de la difícil situación de la industria textil, lo cual podría derivar en el cierre de empresas del rubro existentes en el país con la consiguiente pérdida de empleos. Ya que la industria antes mencionada, de los países andinos está conformada en su mayoría por pequeñas y medianas empresas y constituye el eslabón más importante de la cadena textil – confección, ya que ese sector se caracteriza por el uso intensivo de mano de obra. De manera que se genere un espacio para que el sector pueda recuperarse y encuentre condiciones para competir con sus similares de otros países, sin afectar el comercio intracomunitario.

La Comunidad Andina ha resuelto lo siguiente:

**Artículo 1.-** Autorizar a los Gobiernos Andinos a diferir la aplicación del Arancel Externo Común para los productos que sean especificados hasta un nivel del treinta y cinco por ciento (35%).

**Artículo 2.-** La autorización a que se refiere el artículo anterior tendrá vigencia por un período de tres meses contados a partir de la entrada en vigencia de la Resolución.

Con lo cual el sericultor tiene la oportunidad de desarrollarse en sus comunidades, sintiéndose respaldado por los Gobierno Nacionales y Locales, siendo un aporte brillante para que La Red Andina de la Seda se fortalezca.

Cabe decir que los Gobiernos han emprendido por medio de sus distintos Ministerios leyes para fomentar la Sericultura; en donde se declare como interés nacional el cultivo de la morera y la crianza del gusano de seda, siendo estas entidades las encargadas de implementar las acciones necesarias para impulsar esta actividad y transformación artesanal e industrial de la seda natural y sus subproductos.

### **2.3.1.3 Económico Financiero.**

#### **Estado actual del mercado mundial de la seda.**

La producción de capullo en el año 2004 en China alcanzó las 554.000 toneladas, ése es el pico más alto en cantidad para los últimos cinco años y su distribución en las diversas provincias varió ligeramente en relación con los años anteriores. El movimiento progresivo de la producción del capullo de las regiones tradicionales a las áreas relativamente nuevas se ha acelerado mientras que la producción en las regiones tradicionales ha estado disminuyendo siendo la región del noreste de Jiangsu la notable excepción.

Una impresión es que China no ha realizado a tiempo la evaluación de que un kilo de capullo producido en Guangxi no es equivalente del kilo de capullo producido en Zhejiang o Shandong, especialmente cuando nos referimos a la calidad de los últimos años que era mucho mejor que la de hoy.

Se ha realizado un estimado que el contenido de seda total de los capullos producidos en China ha declinado el cerca de 12% entre la producción de 2002 y 2005 y esto significa que la producción total de seda disminuirá en 2005 cerca de 7%, o más, en comparación con el año anterior. Esto se comprueba por el hecho que varias plantas devanadoras han funcionado sin capullos antes de la cosecha de primavera de 2005, lo que es inusual en el año reciente aunque absolutamente común en el pasado.

Estas situaciones favorecen a la Comunidad Andina ya que nos abre una brecha y mantener un mercado, ya que los productos Andinos son elaborados artesanalmente en su mayoría y muy codiciados internacionalmente.

Ese déficit temporal que presenta China hace que las hilanderías tienen que comprar ahora capullos de los centros de producción a un precio relativamente elevado, sobre 70 CY/kg, que es considerado riesgoso para ellos, y consideran que aunque ahora vendan la producción de seda cruda de esos capullos, los compradores cancelarán los contratos y demandarán una reducción de precio si algo negativo afecta el mercado, pues ellos saben bien que este mismo comportamiento lo repetirán los clientes en el futuro.

Así mismo los expertos dicen que después de la felicidad relativa de los sericultores por el precio del capullo en 2004, especialmente después del pico reciente de los precios en otoño en Jiangsu, que China no puede aumentar la producción para el año siguiente a menos que bastantes huevos de gusano de seda hayan sido preparados en la estación anterior.

El sistema de producción de huevos en China todavía se basa en un ciclo anual, lo que hace imposible decidir, por ejemplo en octubre, incrementar la producción para la siguiente primavera por el límite impuesto por los huevos de gusano de seda disponibles.

Aquí nuestro país tiene una franca ventaja debido a nuestra situación climática que nosotros poseemos nos permite obtener hasta 9 producciones de capullo fresco al año.

### **Situación en Brasil.**

El pronóstico para la producción de este año está en el nivel más bajo desde hace veinte años y sobre la mitad de lo que fue en 1994. Las condiciones climáticas adversas han afectado la cosecha de capullo en la última estación. El precio del capullo en Brasil alcanzó a ser extremadamente de alto nivel sin cambios en el año anterior comparado con los anteriores, pero mucho más alto en dólares debido a la nueva reevaluación del Real.

### **Calidad de la seda cruda China.**

Está claro que la brecha de precios entre las calidades superiores y las regulares o bajas calidades se han ido ajustando rápidamente en los últimos meses. La nueva conciencia sobre los altos costos y también el interés de una cierta porción del mercado por las calidades altas ha presionado verdaderamente a incrementar esta brecha hacia arriba. Lo que era una verdadera diferencia de \$US1 a \$US2 se convierte, después de una cierta fluctuación a lo largo del principio de este año, en una verdadera brecha que redondea los US\$5 a US\$6 por kilogramo, reflejando de hecho los costos, habilidad y el origen de capullos más correctamente. Si habrá suficiente buena calidad de seda cruda en los meses que vienen sería una maravilla después de los pobres resultados de la cosecha del otoño.

## **Expectativas del mercado.**

Al inicio de lo que podríamos ahora llamar una seria crisis en el lado del abastecimiento de seda cruda, un número de operadores han pensado en la especulación y en un alza temporal del precio, sin embargo mientras que el tiempo va pasando el pensamiento ha ido cambiado progresivamente a una perspectiva moderadamente positiva, y después de las posiciones proyectadas en la bolsa de Jiaxing se observa que alguna vez superó el precio para las transacciones de punto, demostrando claramente un cambio completo del sentir en China. No obstante, en algunas partes se está diciendo que cerca de 800 toneladas de seda cruda se han dispuesto en el mercado electrónico para evitar el rápido incremento del precio de futuros antes de la cosecha de capullo para evitar un precio demasiado alto y proteger toda la cadena industrial. Entregas retrasadas, contratos cancelados, pagos anticipados requeridos y el aseguramiento de la venta se convierte en la regla.

El precio para la última compra capullo de buena calidad en Jiangsu ha alcanzado el tope histórico de casi 1500 CY/Dan. Algunos factores diferentes al desequilibrio estructural entre la oferta y la demanda han estado desempeñando un papel importante creando la situación de hoy. Después de muchos años de incertidumbre, de malos negocios y de fluctuaciones de precio hacia abajo la mayoría de los operadores no guardaron la suficiente cantidad de inventarios que tenían antes, y esta situación se ha regado por todo el mundo, especialmente en Europa así como en Japón y en la India. Cuando los precios comenzaron a incrementarse y se hacía más claro que venía una cierta escasez, casi todos los compradores intentaron comprar una cantidad usualmente mayor para asegurar sus inventarios, pero como los cogieron fuera de balance y del incremento de precio ellos se auto-suministraron el combustible necesario para el alza posterior.

**Tabla 2.9.** Producción capullos frescos (Fuente: Boletín red andina de la seda)

| PRODUCCIÓN DE CAPULLOS FRESCOS (TON) |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| COUNTRY                              | 1995   | 1996   | 1997   | 1998   | 1999   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   | 2004   |
| BANGLADESH                           | 618    | 923    |        |        |        |        |        |        |        |        |
| BRAZIL                               | 16260  | 15368  | 14811  | 14594  | 10305  | 8473   | 9916   | 10238  | 9966   | 8005   |
| BULGARIA                             |        | 65     | 156    | 50     | 70     | 93     | 52     | 50     | 0.3    |        |
| CAMBODIA                             | 180    |        |        |        | 200    |        | 11     |        |        |        |
| CHINA                                | 790000 | 430000 | 500000 | 588000 | 484702 | 454600 | 512700 |        | 480000 |        |
| COLOMBIA                             | 203    | 66     | 43     | 38     | 62     |        | 67     | 0      |        |        |
| EGYPT                                |        |        | 21     | 8      | 19     | 19     | 15     | 14     | 0      |        |
| FRANCE                               | 1      | 1      | 1      |        |        |        |        |        |        |        |
| GREECE                               | 26     | 33     | 32     |        |        |        | 40     | 60     | 60     | 70     |
| INDIA                                | 128349 | 122802 | 115655 | 127495 | 128094 | 126084 | 126136 | 139700 | 129948 | 120027 |
| INDONESIA                            | 939    | 536    | 464    |        | 639    | 744    | 749    | 691    |        |        |
| IRAN                                 |        | 5000   | 5000   |        | 4600   | 5522   | 5000   | 3500   | 3200   |        |
| ITALY                                | 18     | 24     | 22     | 33     | 39     | 60     | 1      |        | 1      | 3.5    |
| IVORY COST                           |        |        | 8      | 9      | 8      | 11     | 5      |        |        |        |
| JAPAN                                | 5351   | 3021   | 2517   | 1980   | 1496   | 1244   | 1031   | 880    | 776    | 683    |
| KOREA S.                             | 552    | 524    |        | 10     |        |        |        |        | 3.3    | 3.4    |
| KOREA N.                             |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MADAGASCAR                           |        |        |        | 106    | 100    |        |        | 106    |        |        |
| MALAYSIA17                           |        |        |        |        |        | 17     |        |        |        |        |
| MEXICO                               |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| NEPAL                                |        | 10     | 13     |        |        |        |        |        |        |        |
| PARAGUAY                             | 300    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| PHILIPPINES                          | 4      | 1      | 5      | 2      | 8      | 9      | 17     | 28     | 23     | 22     |
| ROMANIA                              | 13     | 11     | 5      | 3      | 5      | 2      | 2      | 3      | 3      | 4      |
| SYRIA                                | 179    | 32     | 42     | 38     | 32     |        |        |        | 15     | 11.5   |
| THAILAND                             | 3789   | 2381   | 14047  | 2307   | 2267   | 2287   | 3473   |        | 10500  | 10850  |
| TURKEY                               | 272    | 215    | 161    | 136    | 133    | 80     | 47     | 100    | 169    |        |
| UGANDA                               | 9      | 10     |        |        |        | 15     |        |        |        |        |
| UKRAINE                              |        |        |        |        | 6      |        |        |        |        |        |
| UZBEKISTAN                           |        | 21700  | 20412  | 20375  |        |        |        |        |        |        |
| VIETNAM                              | 12000  | 12920  | 13000  |        |        | 10000  | 22000  | 21000  |        |        |

**Tabla 2.10.** Producción de seda cruda (Fuente: Boletín red andina de la seda)

| PRODUCCIÓN DE SEDA CRUDA (TON) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| COUNTRY                        | 1995  | 1996  | 1997  | 1998  | 1999  | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  |
| BANGLADESH                     | 39    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| BRAZIL                         | 2468  | 2270  | 2120  | 1820  | 1554  | 1389  | 1484  | 1807  | 1563  | 1512  |
| BULGARIA                       |       | 11    | 21    | 8     | 12    | 14    | 7     | 7     |       |       |
| CAMBODIA                       | 20    |       |       |       | 20    |       | 1     |       |       |       |
| CHINA                          | 67113 | 68500 | 60300 | 57500 | 56958 | 60000 | 58600 | 60000 | 84600 |       |
| COLOMBIA                       | 40    | 18    | 21    | 6     | 7     |       |       | 0     |       |       |
| EGYPT                          |       |       | 3     | 2     | 3     | 2     | 2     | 2     | 0     |       |
| FRANCE                         |       | 0.2   | 0.3   |       |       |       |       |       |       |       |
| GREECE                         |       |       |       |       |       |       | 4     | 4     | 4     | 4.5   |
| INDIA                          | 15045 | 13909 | 14126 | 15246 | 15544 | 15214 | 15857 | 16000 | 16369 | 14620 |
| INDONESIA                      | 135   | 86    | 67    |       | 90    | 106   | 110   | 91    |       |       |
| IRAN                           |       | 700   | 800   |       | 710   | 900   | 770   | 630   | 500   |       |
| ITALY                          | 0     | 4     | 0     | 0     |       |       |       |       | 0.1   |       |
| IVORY COST                     | 0     |       |       |       |       | 0.6   | 0.4   |       |       |       |
| JAPAN                          | 3228  | 2579  | 1902  | 1108  | 650   | 557   | 431   | 391   | 287   | 263   |
| KOREA S.                       | 643   | 480   |       | 60    |       |       |       |       | 0     | 0     |
| KOREA N.                       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| MADAGASCAR                     |       |       |       |       | 5     |       |       |       |       |       |
| MALAYSIA17                     |       |       |       |       |       | 0     |       |       |       |       |
| MEXICO                         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| NEPAL                          |       | 1     | 1     |       |       |       |       |       |       |       |
| PARAGUAY                       | 5     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| PHILIPPINES                    | 0     |       |       | 0     | 1     |       | 1     | 3     | 3     | 3     |
| ROMANIA                        | 6     | 1     | 0.1   | 0     |       | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| SYRIA                          |       |       |       |       |       |       |       |       | 2     | 1.5   |
| THAILAND                       | 1075  | 1596  | 1280  | 889   | 1272  | 955   | 1500  | 1500  | 1500  | 1420  |
| TURKEY                         | 40    | 40    | 27    | 21    | 22    | 10    | 7     | 17    | 26    |       |
| UGANDA                         | 0     |       |       |       |       | 2     |       |       |       |       |
| UKRAINE                        |       |       |       |       | 0     |       |       |       |       |       |
| UZBEKISTAN                     |       | 1349  | 1250  | 556   |       | 1100  |       |       |       |       |
| VIETNAM                        | 1550  | 1600  | 1400  |       |       | 1000  | 2000  | 2250  |       |       |



**Tabla 2.11.** Consumo de seda Industrial en Italia (Fuente: Boletín red andina de la seda)

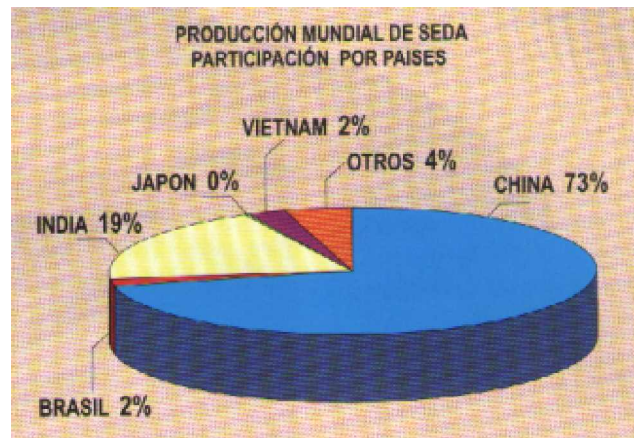
| TABLA ■: CONSUMO SEDA INDUSTRIAL EN ITALIA (TONS) |      |
|---|------|
| 1990  | 3600 |
| 1991  | 3300 |
| 1992  | 3000 |
| 1993  | 3050 |
| 1994  | 3370 |
| 1995  | 3300 |
| 1996  | 3200 |
| 1997  | 3300 |
| 1998  | 3300 |
| 1999  | 3200 |
| 2000  | 3800 |
| 2001  | 3700 |
| 2002  | 3400 |

Fuente: Fino al 2000  
Associazione Serica Italiana  
2001/2002 Sistema Mosa Italia

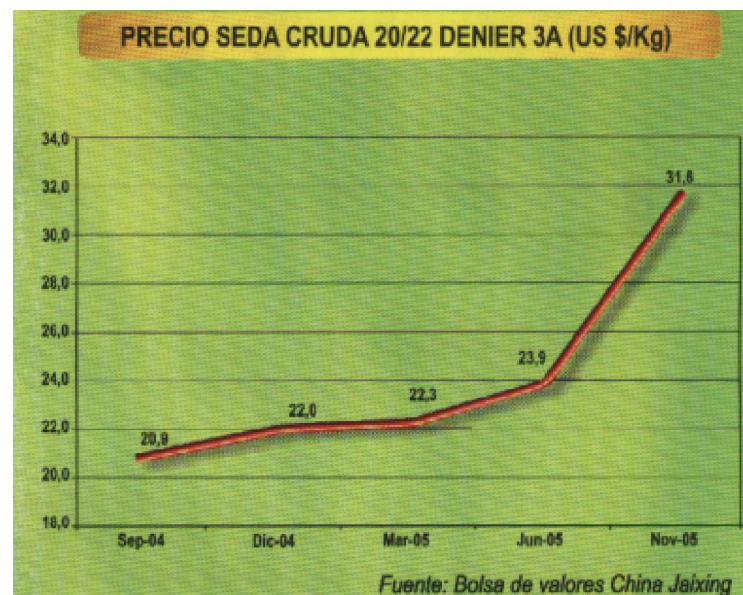
**Tabla 2.12.** Producción y Consumo mundial de la seda capullos frescos (Fuente: Boletín red andina de la seda)

| TABLA ■: PRODUCCIÓN Y CONSUMO MUNDIAL DE SEDA |  |   |                |
|---|--|---|----------------|
| Estimado en toneladas métricas de hilo        |  | Pesajes promedios 1997 / 1998 y 1999 / 2000 |                |
| CONSUMO                                       |  | 1997/1998                                   | 1999/2000      |
| 1. CHINA                                      | PRODUCCION (RS/SPSY/WS)                  | 61.683                                      | 82.036         |
|   | EXPORTACION                              | 56.364                                      | 58.948         |
|   | <b>CONSUMO</b>                           | <b>5.319</b>                                | <b>23.088</b>  |
| 2. JAPON                                      | INVENTARIOS INICIALES                    | 7.920                                       | 7.643          |
|   | PRODUCCION                               | 1.500                                       | 604            |
|   | IMPORTACION                              | 12.933                                      | 14.621         |
|   | EXPORTACION                              | 810   | 757            |
|   | INVENTARIOS FINALES                      | 7.620                                       | 8.287          |
|   | <b>CONSUMO</b>                           | <b>13.923</b>                               | <b>13.824</b>  |
| 3. USA  | Importación de materiales crudos e hilos | 2.616                                       | 2.731          |
|   | Importaciones de prendas                 | 23.305                                      | 24.146         |
|   | Ajustes estadísticos de exportación      | 2.500                                       |                |
|   | <b>CONSUMO</b>                           | <b>23.421</b>                               | <b>26.877</b>  |
| 4. EUROPA                                     | IMPORTACION                              | 23.577                                      | 23.261         |
|   | EXPORTACION                              | 10.214                                      | 9.963          |
|   | <b>CONSUMO</b>                           | <b>13.363</b>                               | <b>13.298</b>  |
| 5. INDIA                                      | PRODUCCION                               | 16.379                                      | 18.174         |
|   | IMPORTACION                              | 2.760                                       | 5.210          |
|   | EXPORTACION                              | 2.694                                       | 2.734          |
|   | <b>CONSUMO</b>                           | <b>16.445</b>                               | <b>20.650</b>  |
| 6. COREA SUR                                  | PRODUCCION                               | 146   | 22             |
|   | IMPORTACION                              | 6.521                                       | 5.490          |
|   | EXPORTACION                              | 4.395                                       | 3.904          |
|   | <b>CONSUMO</b>                           | <b>2.272</b>                                | <b>1.608</b>   |
| 7. HONG KONG                                  | IMPORTACION                              | 22.618                                      | 15.583         |
|   | RE&EXPORTACION                           | 21.879                                      | 14.978         |
|   | <b>CONSUMO</b>                           | <b>739</b>                                  | <b>605</b>     |
| 8. RESTO DEL MUNDO                            | <b>CONSUMO</b>                           | <b>11.000</b>                               | <b>6.144</b>   |
| 9. VARIACION DE INVENTARIOS                   | (Incremento/Decremento)                  | 2.796                                       | N.A.           |
| <b>TOTAL CONSUMO</b>                          |  | <b>89.278</b>                               | <b>106.094</b> |

Fuente: ISA Statistics elaborated by DESCO von SCHULTESS, 28 Ene/2002



**Figura 2.36** Producción mundial de seda.



**Figura 2.37** Precio seda cruda.

**Algunas otras situaciones tienen que ser consideradas.**

En la India, el precio sobre US\$22 ha superado el nivel del "antidumping" por lo tanto los importadores ahora tienen más oportunidad para la importación y ningún riesgo para mantener los "containers" esperando para

que los clientes realicen una reevaluación de la calidad o esperen la autorización de la importación. Las nuevas reglas serán dictaminadas concretamente por el gobierno.

Los tejedores domésticos chinos de telas blancas y de algunas mezclas desde junio habían copado la capacidad de sus órdenes hasta septiembre y por lo tanto comprado activamente en el mercado doméstico, siendo mucho más atractivos los clientes para las hilanderías de seda que para el mercado de exportación, aún necesitando buenas calidades y a menudo queriendo seleccionar la carga antes de la compra final.

Adicionalmente el costo de la seda cruda en China es fácil de calcular conociendo el precio del capullo y el costo del devanado en las diferentes áreas. El precio estará listo hasta la próxima cosecha y definido por la oferta y la demanda y nunca más basado en el costo como ha sido por unos años en el pasado reciente.

Está visto que tenemos que esperar de las hilanderías una situación de "el que primero llega, primero servido" y una especie "permanente tendencia competitiva" por los pocos productos calidad disponibles donde el más rápido en aceptar el alto precio obtendrá la carga.

Para las calidades ordinarias cualquier cosa se decidirá por la demanda de la India y doméstica china. Sin embargo considerando el 10° plan Indú para el desarrollo de la sericultura que esta lejos de acercarse a la meta, tenemos que esperar una enérgica demanda de todas las calidades de seda, sin excepción. Comparando la meta de producción para el periodo 2002-2007 con la producción actual se observa que no ha habido ningún cambio substancial y esta se ha limitado a las 14 a 15000 toneladas /anuales para la región andina.

## 2.3.2 Interno

### a. Organizacional.

Desde el año de 1996 el IILA ha introducido al Ecuador la sericultura.

El Instituto Italo Latino Americano (IILA), es un organismo internacional intergubernamental con sede en Roma, que reúne a Italia y 20 Países de América Latina, con el financiamiento del Gobierno de Italia, ha logrado implementar un Proyecto para la "Creación de una Red Regional Andina de Sericultura".

La actuación de esta importante y ambiciosa iniciativa de la Cooperación italiana realizada a través del IILA dará la posibilidad de integrar los esfuerzos que realizan los países andinos, mediante un provechoso intercambio de conocimientos y experiencias, que les permitan identificar una política común, diversificando las competencias para cada uno, a fin de encontrar un "nicho" de mercado en el marco de la globalización, más aún en este momento en el que se está creando un importante espacio para el mercado de hilo y seda crudos, espacio antes dominado por China.

El proyecto reviste aún mayor importancia en consideración de los distintos aspectos que el mismo involucra:

- Diversificación de la producción agrícola;
- Incremento de la renta del campesino y del pequeño agricultor.
- Conservación y mejoramiento de los recursos naturales, favoreciendo la utilización eco-compatible de los mismos.

- Creación de fuentes de trabajo que favorezcan la integración de grupos marginados de la población (mujeres, campesinos pobres, indígenas, discapacitados).

La sericultura, que interesa importantes sectores tales como el agropecuario, el industrial y el artesanal, se presenta como un recurso para la exportación de productos "no tradicionales", la creación de una industria de transformación y el desarrollo y diversificación de la actividad artesanal, evitando al mismo tiempo el abandono de los campos, a través del mejoramiento de las condiciones económicas de las poblaciones rurales.

Las actividades previstas en el desarrollo del proyecto son las siguientes:

#### **b. Difusión de la cultura y formación en el sector serícola.**

En este campo la Red realiza actividades de cooperación entre Universidades, Escuelas Politécnicas (en nuestro caso la ESPE) e Instituciones de Investigación locales, para desarrollar proyectos conjuntamente con Universidades e Institutos de Investigación Europeos, prioritariamente Italianos.

De igual manera, se fomenta las actividades de difusión y promoción de la sericultura en las áreas de cría de otros insectos útiles, de artesanías (transformación artesanal, colorantes y fibras naturales), gestión de la microempresa campesina y/o artesanal. Adicionalmente fomenta la realización de seminarios, congresos, encuentros y acuerdos de cooperación científica en sericultura.

#### **c. Incentivación de la producción de capullos de calidad**

Aquí se brindan cursos de formación sobre las técnicas y sobre las condiciones de cría para promotores y técnicos de campo a fin de obtener capullos de primera calidad en todos los países de la región andina, garantizando a los productores, al mismo tiempo, un mercado seguro para

su producto. Además de una incentivación para una primera transformación de capullos de segunda calidad para la producción de hilo apto para el trabajo artesanal todo esto gracias a los "Fondos de Rotación", con los cuales el sericultor puede contar con recursos inmediatos al momento de vender sus cosechas.

#### **d. Apoyo a la artesanía.**

Esta ayuda se realiza a través de cursos de hilado, tejido, diseño textil, tinturas naturales y de confección para las artesanas, teniendo siempre presente la calidad del producto. Además de cursos de marketing, cursos sobre la gestión de las micro empresas, siempre con un enfoque a la producción de calidad.

Adicionalmente la Red brinda formación en Italia de expertos del sector serícola de los diferentes países andinos, con programas individualizados de acuerdo a exigencias específicas.

#### **e. Estructuración de una Red Regional Andina de la Seda.**

Esta estructuración es con el objeto de seguir la evolución del sector serícola en los distintos países, con medios tecnológicos como el de la página web ([www.redandinadelaseda.org](http://www.redandinadelaseda.org)), con el cual se mantiene informada a la comunidad de los últimos acontecimientos relacionados con la seda. Siendo es mas fácil coordinar las actividades de formación y de investigación.

La información que se da es acerca de la producción y además otro objetivo es lograr mejorar la promoción y comercialización de los productos.

Otras actividades del IILA son publicaciones e impresos (afiches promocionales, cartilla para niños y el Boletín Andino de la seda); también

están las capacitaciones; apoyo a la Investigación (proyectos con las Universidades) y por ultimo el apoyo a los Sericultores y Artesanos de la Seda con los antes mencionados fondos de rotación.

Cabe destacar que en nuestro país se ha firmado convenios con nuestra Universidad Escuela Politécnica del Ejército en donde se está desarrollando una infraestructura para brindar el soporte que necesitan los sericultores en incubación de huevos, cría de gusanos; y el centro Interamericano de Artesanías y Artes Populares (CIDAP).

Finalmente la Red Andina de la seda con el auspicio del IILA y el Gobierno de Italia, aspira que cientos de familias marginadas, de campesinos y artesanos del Ecuador, alcancen una mejor calidad de vida.

#### **2.3.2.1 Situación en el Ecuador.**

En el año 2002 se concreta la propuesta serícola ecuatoriana con el nuevo diseño conocido actualmente como las Aldeas Serícolas del Ecuador (Localidad que desarrolla toda la cadena productiva de la seda, cultivo, cría de gusano, producción de capullos y procesamiento artesanal de la seda).

Estos son centros, donde toda la cadena productiva es entregada a los grupos campesinos y artesanales, permitiendo de esta manera que los excedentes económicos vayan directamente en beneficio de las familias de los pequeños productores.

El valor agregado en el proceso productivo serícola está considerado dentro de los más elevados de todas las actividades agropecuarias tradicionales, obteniendo, en promedio, cerca de \$ 400 dólares por Kg. de hilo devanado, el mismo que se obtiene de aproximadamente de 10 Kg. de capullo fresco con un costo de \$25 que se paga al agricultor. Es aquí cuando surge la sericultura con su enorme potencial liberador, donde la actividad serícola es manejada por toda la familia, insertando productivamente a las personas de la tercera edad, a los discapacitados y

los niños. Todos en conjunto realizan el manejo y cuidado de los gusanos de seda en un proceso que no solamente comprende la producción, sino permite transferir una educación en valores morales y sociales que la convierten en una verdadera escuela de formación. Estos valores son la constancia, la disciplina, la solidaridad, la higiene y el amor al trabajo entre otros.

El Proyecto Nacional de Sericultura mantiene su carácter solidario, sobre todo, con las personas con diferentes niveles de discapacidad, que se encuentran incorporadas como miembros activos y productivos en las diferentes Aldeas Serícolas. Esta participación es considerada como un aporte importante, donde cada persona produce de acuerdo a sus capacidades y destrezas adquiridas; al tiempo que la presencia de personas discapacitadas en los centros productivos no responde a sentimientos de caridad, sino en el verdadero sentimiento de que la solidaridad es una obligación y responsabilidad social y donde cada persona cumple efectivamente con una meta productiva real y por tanto remunerada adecuadamente.

Cabe destacar que existe un Incentivo a la Producción de Capullos que se obtiene de los fondos de rotación para la Red Andina de la Seda y por ende para los sericultores. Los mismos que deben cumplir unos prerequisites; el sericultor al momento de la venta entrega su capullo al comprador. Este aplica el "Sistema de clasificación de Capullos" que normalmente viene utilizando y que como mínimo debe clasificarse en tres grupos (capullos buenos, capullos de segunda y capullos dobles). Una vez determinado la calidad del capullo (bueno) entregado por caja de gusanos y si es igual o superior a 22 kg, la red pagará de hasta US \$2.5 /kg más otros US \$2.5/kg por incentivo, permitiendo que el Sericultor reciba hasta US \$5 por kg. de capullo bueno.



## CAPITULO 3

### ANALISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

#### 3.1 Planteamiento de alternativas.

El presente proyecto tiene como finalidad, deshidratar o secar el capullo de seda mediante la circulación de aire caliente, para lo cual se utilizará la energía proveniente de la combustión de gas licuado de petróleo (propano). En lo que al producto seco a obtener se refiere, éste deberá contener un porcentaje de humedad final de alrededor del 6% y 10 % para la corteza del capullo y cuerpo de pupa respectivamente. Desde otra perspectiva después del proceso de secado, el peso del capullo seco queda alrededor de un 40% comparado con el del capullo fresco.

Se pretende también, que los resultados que se obtengan de las respectivas pruebas, permitan desarrollar y construirse más unidades de secado de este tipo.

El equipo de secado por tanto, deberá presentar ciertas características principales tales como:

- Secado a una temperatura promedio de 80 °C.
- Tiempo de secado de 7 a 8 horas.
- Seguridad en el funcionamiento del quemador.
- Facilidad de manejo.

Las alternativas a plantearse, se refieren básicamente a:

- Cámara de secado.
- Tipo de quemador a gas.

## **3.2 Cámara de secado.**

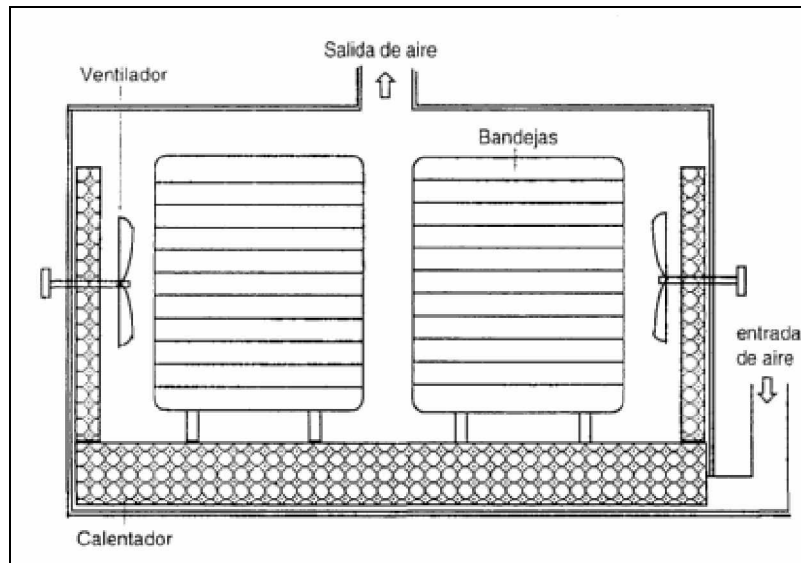
Como se vio en el capítulo anterior existen diferentes métodos de secado; la evaporación del contenido húmedo del capullo de seda se puede obtener mediante la energía calorífica proveída por aire caliente, ondas electromagnéticas a alta frecuencia (radiación), superficies calientes y hornos que usan el vacío para secar.

Por seguridad, confiabilidad y economía, el método con aire caliente resulta ser hoy el más utilizado.

Para la deshidratación de los capullos de seda se tiene principalmente tres tipos de cámaras de secado, estas son: la secadora a pisos o estantes, secadora de pisos sobrepuestos y la secadora a banda continua.

### **3.2.1 Secadora con estantes.**

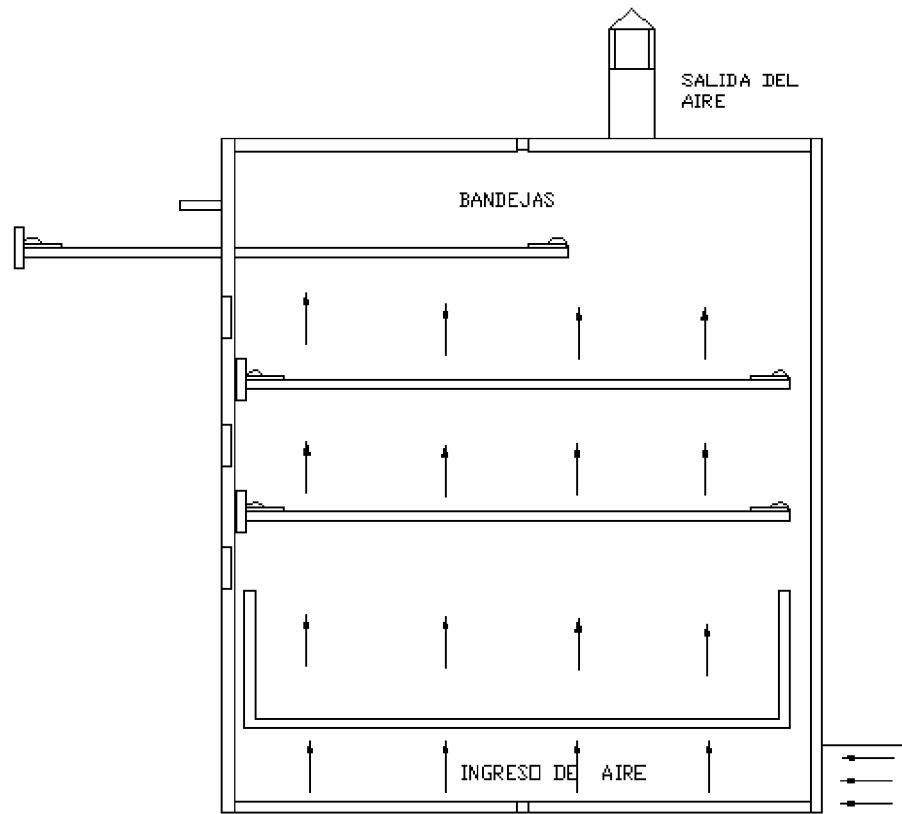
Es utilizada por institutos experimentales y por hilanderías de pequeñas dimensiones, en países serícolas donde la producción es limitada. Los capullos se disponen en estratos delgados sobre una serie de mesitas sobrepuestas en malla metálica. En esta secadora es difícil obtener el secado uniforme de capullos debido a la distribución dispereja de aire caliente. Además requiere mucha mano de obra para poner los capullos bien distribuidos y sacar los capullos secos después del proceso de secado.



**Figura 3.1.** Secadora de capullos con estantes

### 3.2.2 Secadora de pisos sobrepuestos

Este tipo de cámara de secado se utiliza ampliamente para producciones industriales, permite una alta eficiencia y eficacia productiva. Los capullos se cargan de la parte alta de la máquina, y se distribuyen en un estrato de 2,5 capullos de alto sobre mallas móviles sobrepuestas. La máquina comprende varias secciones, generalmente de cuatro pisos con diferentes condiciones de calentamiento (temperatura y humedad) del aire, tal como se indica en la figura 3.2. Los capullos en esta secadora van cayendo a las secciones siguientes a través de un sencillo mecanismo. Este consiste en halar la bandeja, la cual esta entre una malla de amianto tensada en los extremos de la bandeja con un rodillo a cada lado. El tiempo de secado en cada piso es de alrededor de 2 horas con una temperatura promedio de la cámara de secado de 80 °C.



**Figura 3.2.** Secadora de pisos sobre puestos

Es importante resaltar que la dirección del flujo de aire tiene la dirección contracorriente en relación al movimiento de los capullos.

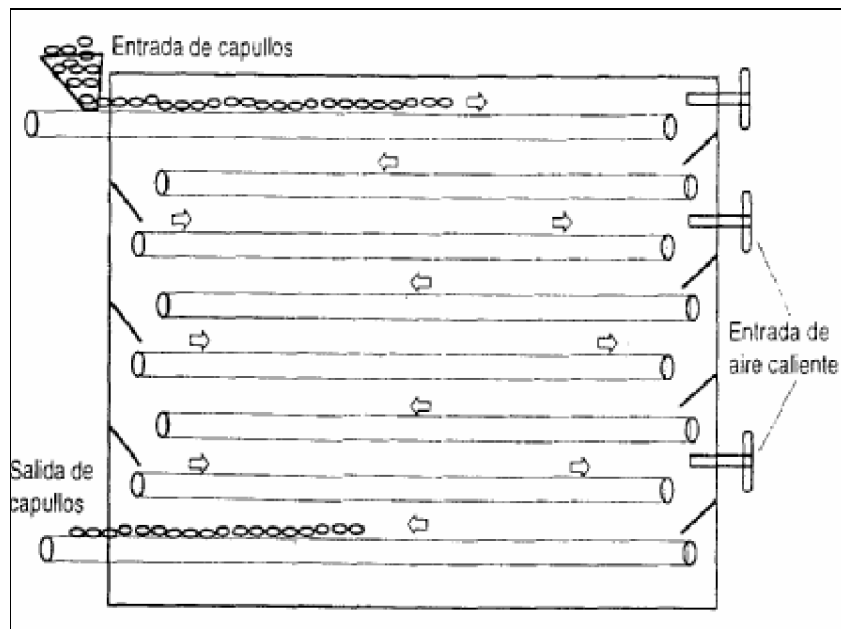
### 3.2.3 Secadora de banda continua.

Este tipo de cámara de secado, los capullos son transportados por una malla vertical a través de una serie de secciones siguientes condicionadas en modo diferente. Consta esta maquina de un cuarto dividido en 8 secciones o pisos paralelos, tal como se indica en la figura 3.2. Cada piso es un transportador de malla construida con alambre inoxidable flexible con orificios de 7x 7 mm. la cual está unida por ambos lados a una cadena para transmitir el movimiento.

El alto del estrato de capullos varía de 30 a 40 cm.; el aire es soplado a través del estrato de capullos, del alto hacia el bajo y viceversa en cada sección.

En la tolva alimentadora se dosifica el capullo fresco y desbornado para iniciar el proceso de secado en el primer piso con una temperatura de 100 a 150°C. Los capullos a medida que van llegando al final de cada piso van alimentando el siguiente nivel y rebajando temperaturas gradualmente hasta salir por el octavo piso con una temperatura promedio de 60 °C. en ese momento el capullo ya seco ha rebajado el 60 % de su peso por pérdida de humedad.

Este tipo de secadora permite ocupar un área inferior respecto a la anterior, un fácil control de las condiciones de secado, un mejoramiento de la eficiencia mediante una mayor velocidad del aire y un menor riesgo de daños consecuentes a la caída de los capullos durante el proceso.



**Figura 3.3.** Secadora de banda continua

Por lo tanto, se establece como alternativas para el tipo secadora las siguientes:

- Alternativa A1: secadora con estantes.
- Alternativa A2: secadora de pisos sobrepuestos.
- Alternativa A3: secadora de banda continúa.

### **3.3 Tipos de quemadores a gas.**

#### **3.3.1 Quemador atmosférico circular.**

En general los quemadores atmosféricos constituyen el más simple tipo de quemadores industriales. Constan de un tubo de mezcla aire-gas que se conecta a la cabeza del quemador. El calor de combustión es dispuesto de varias formas para ajustar un patrón de llama a una aplicación particular.

El quemador circular es similar a los instalados en hornos de cocina doméstica. Este quemador consiste de un distribuidor circular con una conexión que admite la mezcla aire-gas, donde una serie de agujeros dispuestos alrededor de la parte superior del quemador distribuyen las llamas con un patrón circular.

Estos quemadores se emplean comúnmente para calentamiento de bateas, recipientes de forma circular.



**Figura 3.4.** Quemador atmosférico tipo circular

### 3.3.2 Quemador atmosférico tipo flauta.

El quemador atmosférico tipo flauta consiste sencillamente de una sección de tubo con un mezclador instalado en uno de los extremos y agujeros taladrados a lo largo de la longitud del tubo para formar un patrón de llama en línea recta.

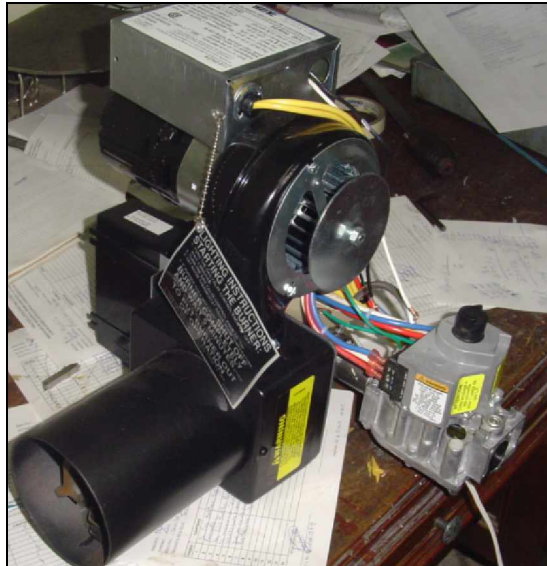
Estos tipos de quemadores generalmente son utilizados en hornos de una considerable profundidad, así como también en asaderos de parrillas.



**Figura 3.5.** Quemador atmosférico tipo flauta

### 3.3.3 Quemador industrial tipo tubular.

Los quemadores industriales tipo tubular son los mas empleados en aplicaciones como hornos y calderos. Este tipo de quemadores se diferencian de los atmosféricos, en que la mezcla aire-combustible se realiza en su totalidad antes de la combustión, por lo cual no requiere aire adicional para la combustión. Esta singularidad le permite a este quemador operar en un recinto cerrado y así evitar escapes del horno, el cual es una causa que decrece la eficiencia del horno.



**Figura 3.6** Quemador industrial tubular.

Por lo indicado, se establece como alternativas para el tipo de quemador las siguientes:

- Alternativa A1: quemador atmosférico tipo circular
- Alternativa A2: quemador atmosférico tipo flauta.
- Alternativa A3: quemador industrial tipo tubular.



### **3.4 Selección de la alternativa más viable.**

Una vez que las alternativas analizadas han sido planteadas, entonces tenemos que seleccionar, la más adecuada a nuestras necesidades. Es importante por lo tanto, citar los elementos que nos permitan evaluar dichas alternativas, esto es, considerar los beneficios que se van a obtener y las dificultades que significan implantar tal o cual alternativa.

#### **3.4.1 Parámetros de selección.**

Para poder comparar distintas alternativas y por lo tanto optar por una de ellas, es necesario medirlas contra un patrón común, es decir, frente a los mismos criterios (parámetros). Estos parámetros se agrupan convenientemente dentro de tres aspectos, esto es, técnicos, económicos y complementarios.

##### **Aspectos técnicos.**

- Facilidad de fabricación.
- Facilidad de operación.
- Facilidad de montaje.
- Control.
- Disponibilidades de materiales.

##### **Aspectos económicos.**

- Costo de fabricación.

- Costo de mantenimiento.
- Costo de montaje.

**Aspectos complementarios.**

- Seguridad.
- Ergonomía.

Todos estos criterios, serán valorados convenientemente en escala de porcentaje de 0 a 100 % los tres tipos de aspectos, y mediante una matriz de decisiones permitirán optar por la alternativa más favorable.

### 3.4.2 Selección de la cámara de secado.

Para la selección de la cámara de secado, se tiene tres alternativas, las cuales son comparadas en la tabla 3.1 en su respectiva matriz de decisión.

**Tabla 3.1** Matriz de decisión para la cámara de secado.

| Parámetros de selección         | Ponderación. | ALTERNATIVAS |           |           |
|---------------------------------|--------------|--------------|-----------|-----------|
|                                 |              | A1           | A2        | A3        |
| <b>Aspectos Técnicos.</b>       | <b>40</b>    |              |           |           |
| Facilidad de fabricación        | 10           | 9            | 7         | 5         |
| Facilidad de operación          | 10           | 4            | 8         | 9         |
| Facilidad de montaje            | 5            | 4            | 4         | 2         |
| Control                         | 10           | 5            | 8         | 9         |
| Disponibilidad de materiales    | 5            | 5            | 4         | 4         |
| <b>Aspectos Económicos</b>      | <b>40</b>    |              |           |           |
| Costo de fabricación            | 20           | 17           | 15        | 12        |
| Costo de mantenimiento          | 15           | 13           | 12        | 10        |
| Costo de montaje                | 5            | 5            | 4         | 3         |
| <b>Aspectos Complementarios</b> | <b>20</b>    |              |           |           |
| Seguridad                       | 10           | 7            | 9         | 9         |
| Ergonomía                       | 10           | 7            | 8         | 7         |
| <b>Puntuación Total</b>         | <b>100</b>   | <b>76</b>    | <b>79</b> | <b>70</b> |

- Alternativa A1: secadora con estantes.
- Alternativa A2: secadora de pisos sobrepuestos.
- Alternativa A3: secadora de banda continua.

La alternativa que mayor puntaje obtuvo es la A2, es decir la secadora de pisos sobrepuestos.

### 3.4.3 Selección del quemador a gas.

Para el quemador a gas, se tiene tres alternativas, las cuales son comparadas en la tabla 3.1 en su respectiva matriz de decisión.

**Tabla 3.2** Matriz de decisión para el quemador a gas.

| Parámetros de selección         | Ponderación. | ALTERNATIVAS |           |           |
|---------------------------------|--------------|--------------|-----------|-----------|
|                                 |              | A1           | A2        | A3        |
| <b>Aspectos Técnicos.</b>       | <b>50</b>    |              |           |           |
| Facilidad de fabricación        | 10           | 9            | 10        | 7         |
| Facilidad de operación          | 10           | 4            | 4         | 10        |
| Facilidad de montaje            | 5            | 4            | 3         | 5         |
| Control                         | 20           | 14           | 12        | 18        |
| Disponibilidad de materiales    | 5            | 5            | 5         | 3         |
| <b>Aspectos Económicos</b>      | <b>30</b>    |              |           |           |
| Costo de fabricación            | 15           | 13           | 14        | 10        |
| Costo de mantenimiento          | 8            | 6            | 6         | 7         |
| Costo de montaje                | 7            | 6            | 6         | 4         |
| <b>Aspectos Complementarios</b> | <b>20</b>    |              |           |           |
| Seguridad                       | 15           | 10           | 10        | 14        |
| Ergonomía                       | 5            | 3            | 2         | 4         |
| <b>Puntuación Total</b>         | <b>100</b>   | <b>74</b>    | <b>72</b> | <b>82</b> |

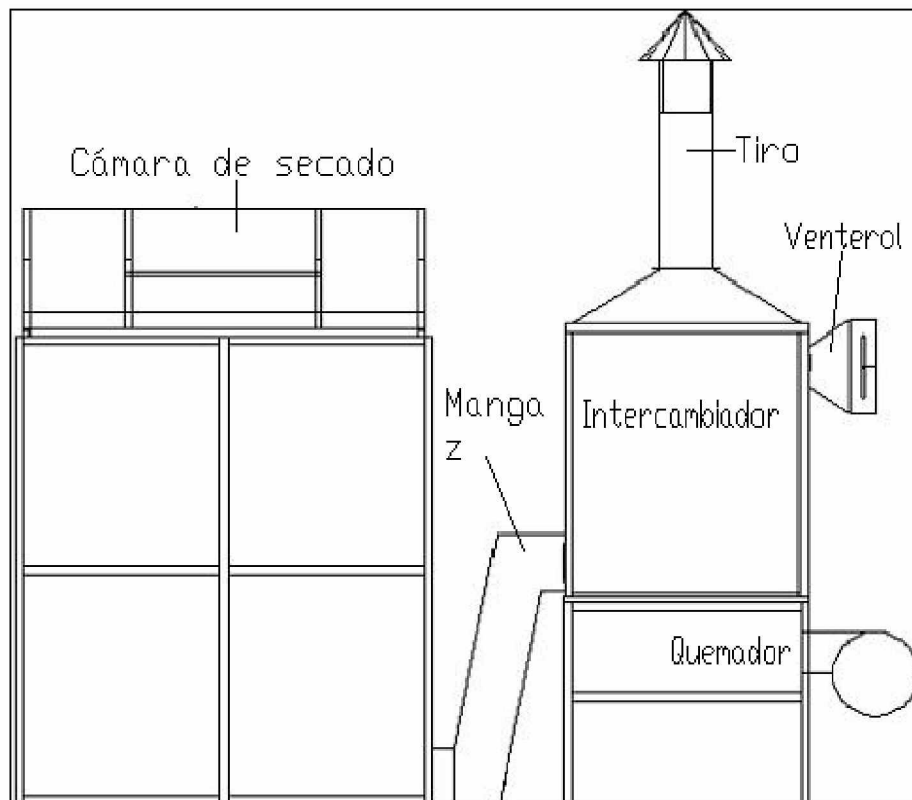
- Alternativa A1: quemador atmosférico tipo circular
- Alternativa A2: quemador atmosférico tipo flauta.
- Alternativa A3: quemador industrial tipo tubular.

La alternativa que mayor puntaje obtuvo es la A3, es decir el quemador industrial tipo tubular.

#### 3.4.4 Descripción del horno secador seleccionado.

El horno secador seleccionado según el análisis precedente, estará compuesto por los siguientes sistemas:

- Cámara de secado. Esta se constituye de bandejas sobrepuestas con un controlador de temperatura del aire calentado.
- Sistema de calentamiento del aire, por medio de la transformación de la energía proveniente de la combustión de gas licuado de petróleo en el quemador industrial tipo tubular en energía calorífica útil, empleando para ello un intercambiador de calor.



**Figura 3.7** Prototipo del horno secador.

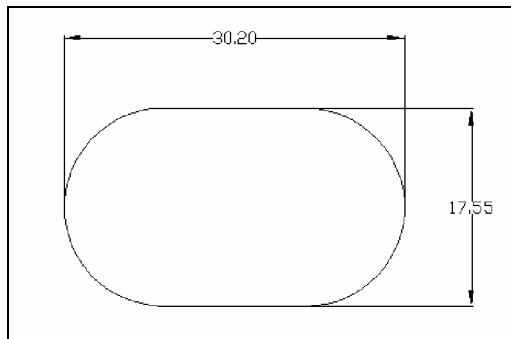
## CAPITULO 4

### DISEÑO

#### 4.1 TÉRMICO.

##### 4.1.1 Dimensión de un capullo.

La figura que presenta el capullo corresponde a un cilindro con sus extremos en forma de medias esferas.



**Figura 4.1** Dimensiones externas de un capullo de seda

Donde el diámetro externo y longitud de la parte cilíndrica son respectivamente las siguientes.

$$d_{\text{cap}} := 17.55 \text{ (mm)}$$

$$l_{\text{cap}} := 12.65 \text{ (mm)}$$

El volumen ( $v_c$ ) de un capullo de seda es el siguiente.

$$v_c := \frac{\pi}{6} \cdot d_{\text{cap}}^3 + \frac{\pi}{4} \cdot d_{\text{cap}}^2 \cdot l_{\text{cap}}$$

$$v_c = 5.89 \times 10^3 \text{ (mm}^3\text{)}$$

El área ( $A_c$ ) de la superficie externa de un capullo es:

$$A_c := \pi \cdot d_{cap} \cdot l_{cap} + \pi \cdot d_{cap}^2$$

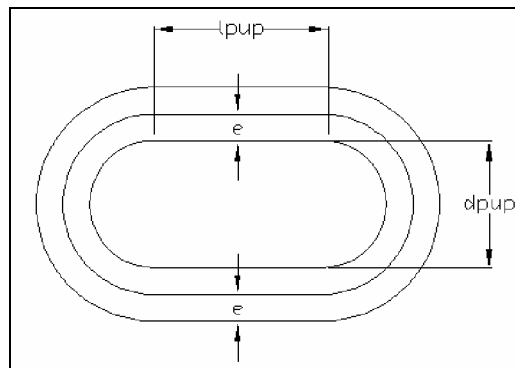
$$A_c = 1.665 \times 10^3 \text{ (mm}^2\text{)}$$

La masa de capullos a secarse ( $m_{tc}$ ), y la de un capullo de seda ( $m_{1c}$ ) son respectivamente las siguientes.

$$m_{tc} := 40 \text{ (Kg)}$$

$$m_{1c} := 2.05 \text{ (g)}$$

De igual manera la pupa también corresponde a un cilindro con sus extremos en forma de medias esferas, donde el diámetro externo ( $d_{pup}$ ) y longitud de la parte cilíndrica ( $l_{pup}$ ) son las siguientes medidas.



**Figura 4.2** Vista de corte de un capullo de seda.

Espesor de la seda ( $t_s$ ) es el siguiente.

$$e = 2 \text{ (mm)}$$

Como se ve en la figura 4.2, la distancia desde la pupa a la pared interna de la corteza del capullo también es de 2 mm.

$$dpup := 9.55 \text{ (mm)}$$

$$lpup = 12.65 \text{ (mm)}$$

El volumen de la pupa es.

$$vpup := \left( \frac{\pi}{6} \cdot dpup^3 + \frac{\pi}{4} \cdot dpup^2 \cdot lpup \right)$$

$$vs = 1.401 \times 10^3 \text{ (mm}^3\text{)}$$

El volumen de la corteza del capullo de seda es el siguiente.

$$vs := vc - \left[ \frac{\pi}{6} \cdot (dcap - 2 \cdot e)^3 + \frac{\pi}{4} \cdot (dcap - 2e)^2 \cdot lcap \right] - vpup$$

$$vs = 1.401 \times 10^3 \text{ (mm}^3\text{)}$$

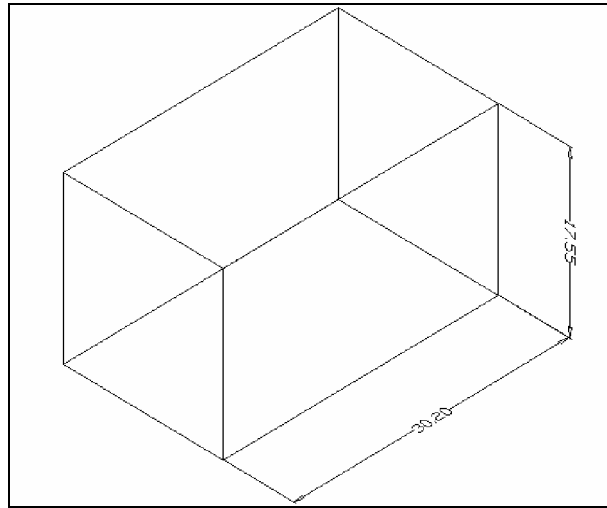
#### 4.1.2 Volumen del producto a secarse.

Para determinarse el volumen del producto a secarse, se va a considerar a los capullos como prismas. El volumen de un capullo como tal es el siguiente.

$$vt := dcap^2 \cdot (lcap + dcap)$$

$$vt = 9.302 \times 10^3 \text{ (mm}^3\text{)}$$





**Figura 4.3** Capullo en forma de prisma.

La masa de un capullo fresco es:

$$m1c = 2.05 \text{ (g)}$$

Para encontrar el volumen de todo el producto (40 Kg), realizamos una regla de tres.

$$\begin{array}{l} m1c \text{ ----- } vt \\ mtc \text{ ----- } X = VTc \end{array}$$

$$VTc := \frac{mtc \cdot 1000 \cdot \frac{vt}{m1c}}{10^9}$$

$$VTc = 0.181 \text{ (m}^3\text{)}$$

Considerando un factor de acomodamiento de los capullos del 50%, debido a que estos toman cualquier forma de ubicarse en las bandejas de secado.

$$\zeta := 0.5$$

Entonces se tiene que el volumen de capullos de los 40 Kg es.

$$V_{rTc} := \frac{VTc}{\zeta}$$

$$V_{rTc} = 0.363 \text{ (m}^3\text{)}$$

#### 4.1.2.1 Cálculo del número aproximado de capullos a secarse.

Para encontrar el número de capullos se va a dividir el volumen que ocupa los 40 Kg para el volumen de un capullo.

$$n_{cap} := \frac{V_{rTc}}{\frac{v_t}{10^9}}$$

$$n_{cap} = 1.951 \times 10^4$$

##### 4.1.2.1.1 Dimensiones de la cámara de secado.

La altura o capa de producto a secarse recomendada<sup>12</sup> es de 2 a 2.5 capullos, es decir de 4 a 6 cm.

$$z := 0.06 \text{ (m)}$$

Como el horno de secado va a llevar 4 bandejas, se hace necesario que las bandejas tengan una compuerta de inspección para ubicar los

---

<sup>12</sup> Revista del Cidap, Artesanías de América, Pág. 43.

capullos a lo largo y ancho de las bandejas, debido que estos no ocupan la misma de manera uniforme.

La altura de la compuerta de inspección va ha ser.

$$a_{\text{comp}} := 0.20 \text{ (m)}$$

Como el secador va ha ser del tipo de pisos sobrepuestos, las bandejas contienen un mecanismo incorporado que permite el paso de capullos de bandeja a bandeja en sentido contrario al flujo de aire<sup>13</sup>.

La altura de las bandejas va a ser de:

$$a_{\text{band}} := 0.15 \text{ (m)}$$

La ultima o cuarta bandeja no va ha llevar compuerta de inspección, por ello será de:

$$a_4 := 0.30 \text{ (m)}$$

En la parte inferior de la cuarta bandeja, se ubicará la cámara de distribución de aire, el mismo que proviene del intercambiador de calor para que desde allí ascienda y atravesie por medio de los capullos, retirando la humedad de de ellos.

La altura de la cámara de distribución de aire ( $a_{\text{ult}}$ ) es:

$$a_{\text{ult}} := 0.40 \text{ (m)}$$

Sumando las dimensiones descritas, se tiene la altura de la cámara de secado.

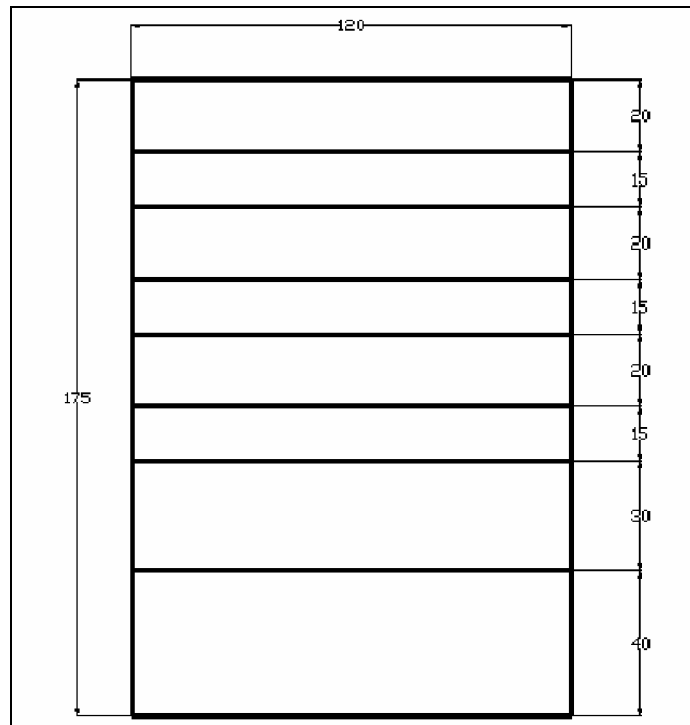
---

<sup>13</sup> Revista del Cidap, Artesanías de América, Pág. 47.

$$a := 3 \cdot (a_{\text{band}} + a_{\text{comp}}) + a_4 + a_{\text{ult}}$$

$$a = 1.75 \text{ (m)}$$

Quedando de la siguiente manera la disposición de los compartimientos de la cámara de secado. Las unidades en el gráfico se encuentran en cm.



**Figura 4.4** Disposición de la cámara de secado

El ancho y largo de bandejas recomendado para el secado de productos son respectivamente las siguientes<sup>14</sup>.

$$b := 1.2 \text{ (m)}$$

$$L = 1.6 \text{ (m)}$$

<sup>14</sup> Estufas de secado, Telstar, Pág. 3

A continuación se determino el volumen que ocupa los capullos en cada bandeja, a partir de las dimensiones (b, L) y el estrato de capullos (z) recomendados.

$$V1b := z \cdot b \cdot L$$

$$V1b = 0.115 \text{ (m}^3\text{)}$$

También es necesario determinar el volumen que ocupa la cuarta parte de la carga del producto a secarse.

$$Vr1b := \frac{VrTc}{4}$$

$$Vr1b = 0.091 \text{ (m}^3\text{)}$$

El volumen V1b encontrado, le comparamos con el volumen (Vr1b), como se observa estos valores se aproximan, lo cual indica que los capullos van ha caer en cada una de las bandejas.

Finalmente calculamos el volumen de la cámara de secado, con la altura determinada (a), ancho (b) y largo (L).

$$Vic := a \cdot b \cdot L$$

$$Vic = 3.36 \text{ (m}^3\text{)}$$

Una recomendación práctica, es comprobar que el volumen de cámara de secado debe ser al menos 4 veces el volumen del producto a secarse<sup>15</sup>.

$$Vic > 4(VrTc)$$

$$3.36 > 4 \cdot (0.363)$$

$$3.36 > 1.452$$

Cumple la recomendación

---

<sup>15</sup> Operación y mantenimiento, Incomaq, Italia Pág. 5.

#### 4.1.3 Cálculo del calor sensible.

Para determinar el calor sensible o de calentamiento empleamos la fórmula conocida:

$$Q_s = \dot{m} \times C_p \times \Delta T$$

Donde:

$\dot{m}$ : Flujo másico del producto a calentarse.  $\left(\frac{\text{Kg}}{\text{s}}\right)$

$C_p$ : Calor específico.  $\left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \times ^\circ\text{C}}\right)$

$\Delta T$ : Delta de temperaturas. ( $^\circ\text{C}$ )

$Q_s$ : Calor sensible (W)

Para encontrar el  $C_p$  del capullo, utilizamos una expresión en función de la humedad del producto<sup>16</sup>, que es:

$$C_p = (1.675 + 0.075 \times w) \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \times ^\circ\text{C}}\right)$$

Donde  $w$  es el contenido de agua en porcentaje.

Como el capullo está conformado principalmente por la corteza (seda) y pupa, entonces es necesario calcular el  $C_p$  de ambos.

El contenido de agua en los capullos frescos<sup>17</sup> tanto en la corteza ( $w_c$ ) y pupa ( $w_p$ ) son 12% y 78% respectivamente.

La temperatura máxima de secado ( $T_{ai}$ ) para capullos de seda<sup>18</sup> y la temperatura ambiente ( $T_a$ ) promedio del sitio son respectivamente las siguientes:

---

<sup>16</sup> Introducción a la ing. de Alimentos, Paúl Singh, España, Editorial ACRIBIA S.A., pág. 155

<sup>17</sup> Manual técnico de Sericultura, Colombia, 1998, pág. 376.

$$T_{ai} := 120 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$T_a := 25 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

#### 4.1.3.1 Calor sensible de la corteza del capullo.

##### Calor específico.

$$w_c = 12 \text{ (\%)}$$

$$C_{pc} = 1.675 + 0.025 \cdot w_c$$

$$C_{pc} = 1.975 \left( \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$$

##### Masa de la corteza del capullo.

La corteza del capullo ( $m_c$ ) tiene una masa de alrededor del 21.5 % en estado fresco, entonces tenemos:

$$m_c := 0.215 \cdot m_{tc}$$

$$m_c = 8.6 \text{ (Kg)}$$

Por lo tanto tenemos el calor sensible de la corteza ( $Q_{sc}$ ) del capullo.

$$Q_{sc} := m_c \cdot C_{pc} \cdot (T_{ai} - T_a)$$

$$Q_{sc} = 1.614 \times 10^3 \text{ (KJ)}$$

---

<sup>18</sup> Revista del Cidap. Artesanías de América pág. 42

#### 4.1.3.2 Calor sensible de la pupa.

##### Calor específico.

$$w_p := 78 (\%)$$

$$C_{pp} := 1.675 + 0.025 \cdot w_p$$

$$C_{pp} = 3.625 \left( \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \times ^\circ\text{C}} \right)$$

##### Masa de la pupa.

La pupa tiene una masa ( $m_c$ ) de alrededor del 78.5 % en estado fresco, entonces tenemos:

$$m_p := 0.785 \cdot m_{tc}$$

$$m_p = 31.4 \text{ (Kg)}$$

Por lo tanto tenemos el calor sensible de la pupa ( $Q_{sp}$ ).

$$Q_{sp} := m_p \cdot C_{pp} \cdot (T_{ai} - T_a)$$

$$Q_{sp} = 1.081 \times 10^4 \text{ (KJ)}$$

##### Calor sensible total de los capullos.

Sumando el calor sensible de la corteza y de la pupa se tiene el calor sensible total de los capullos dentro del horno.

$$Q_s := Q_{sc} + Q_{sp}$$

$$Q_s = 1.243 \times 10^4 \text{ (KJ)}$$

En watts-hora se tiene:



$$Q_s = \frac{Q_s}{3.6}$$

$$Q_s = 3.452 \times 10^3 \text{ (Wh)}$$

#### 4.1.4 Cantidad de humedad a remover de los capullos.

La masa de humedad del capullo se encuentra a partir de los porcentajes de humedad conocidos, empleando la fórmula<sup>19</sup>:

$$\Delta W = m_s * (X_{wi} / (100 - X_{wi}) - X_{wf} / (100 - X_{wf}))$$

Donde:

$\Delta W$  = contenido de agua a remover (Kg).

$m_s$  = masa seca del producto (Kg).

$X_{wi}$  = porcentaje de humedad inicial del producto (%).

$X_{wf}$  = porcentaje de humedad final del producto (%).

De la ecuación 2.4, 2.6 y 2.7 tenemos la masa seca.

$$m_s = m_c * (100 - X_{wi}) / 100$$

Donde:

$m_c$  = masa del producto fresco.

#### 4.1.4.1 Cantidad de agua a remover de la corteza.

Los porcentajes de humedad fresca y seca de la corteza del capullo<sup>20</sup> son los siguientes valores:

$$X_{wic} := 11.5 \text{ (\%)}$$

$$X_{wfc} := 6.5 \text{ (\%)}$$

---

<sup>19</sup> Diseño y construcción de un deshidratador de de frutas, Ángel Oñate, 1997, pág. 19.

<sup>20</sup> Manual técnico de Sericultura, Colombia, 1998, pág. 376.

Para calcular la cantidad de agua a retirar de las cortezas de los capullos es necesario determinar primero la masa del mismo pero en estado seco.

$$m_{sc} := \frac{m_c}{100} \cdot (100 - X_{wic})$$

$$m_{sc} = 7.611 \text{ (Kg)}$$

La cantidad de humedad a retirar de las cortezas de los capullos es:

$$\Delta w_c := m_{sc} \cdot \left( \frac{X_{wic}}{100 - X_{wic}} - \frac{X_{wfc}}{100 - X_{wfc}} \right)$$

$$\Delta w_c = 0.46 \text{ (Kg)}$$

#### 4.1.4.2 Cantidad de agua a remover de las pupas.

El contenido de agua de la pupa<sup>21</sup> fresca y seca son respectivamente los siguientes valores:

$$X_{wip} := 77 \text{ (\%)}$$

$$X_{wfp} := 10 \text{ (\%)}$$

De igual forma la masa seca de las pupas

$$m_{sp} := \frac{m_p}{100} \cdot (100 - X_{wip})$$

$$m_{sp} = 7.222 \text{ (Kg)}$$

La cantidad de humedad a retirar de las pupas es:

---

<sup>21</sup> Manual técnico de Sericultura, Colombia, 1998, pág. 376.

$$\Delta w_p := m_{sp} \cdot \left( \frac{X_{wip}}{100 - X_{wip}} - \frac{X_{wfp}}{100 - X_{wfp}} \right)$$

$$\Delta w_p = 23.376 \text{ (Kg)}$$

Sumando  $\Delta w_c$  y  $\Delta w_p$ , tenemos el agua a remover total de los capullos:

$$\Delta w := \Delta w_c + \Delta w_p$$

$$\Delta w = 23.835 \text{ (Kg)}$$

#### 4.1.5 Calor latente de los capullos.

Para determinar el calor latente, se emplea la fórmula conocida, que se indica:

$$Ql = \dot{m}_w \times h_{fg}$$

Donde:

$\dot{m}_w$  Masa de humedad a retirar del producto (Kg/s).

$h_{fg}$  : Calor de vaporización del agua (KJ/Kg).

El agua total a removerse es:

$$\Delta w = 23.835 \text{ (Kg)}$$

Con la cantidad de agua, y con el calor de vaporización del agua<sup>22</sup>  $h_{fg} = 2257 \text{ KJ/Kg.}$ , tenemos el calor latente para los capullos en (watts-hora) por jornada:

$$Ql := \Delta w \cdot \frac{2257}{3.6}$$

<sup>22</sup> Termodinámica, Cengel, Editorial McGraw-Hill, Cuarta edición, pág. 728.

$$QI = 1.494 \times 10^4 \text{ (Wh)}$$

#### 4.1.6 Masa total de los capullos secos.

Sumamos la masa seca tanto de las cortezas como de las pupas.

$$msc = 7.611 \text{ (Kg)}$$

$$msp = 7.222 \text{ (Kg)}$$

$$ms = msp + msc$$

$$ms = 14.833 \text{ (Kg)}$$

#### 4.1.7 Porcentaje de secado de los capullos.

El grado o porcentaje de secado se expresa mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{secado} = \text{masa del capullo seco} \cdot 100 / \text{masa del capullo fresco}$$

$$\% \text{secado} := \frac{ms}{mtc} \cdot 100$$

$$\% \text{secado} = 37.083 \text{ (\%)}$$

Esto significa que en 100 Kg. de capullo fresco, queda 37 Kg. de capullos después del proceso de secado.

También se puede observar que el grado de secado esta alrededor de los porcentajes de secado óptimos<sup>23</sup> para los capullos que es entre 37 a 42%.

---

<sup>23</sup> Manual técnico de Sericultura, Colombia, 1998, pág. 376.

#### 4.1.8 Calor útil en la cámara de secado.

El calor útil es aquel que realmente es aprovechado por el producto, y nos es más que la suma del calor sensible (Qs) y calor latente (Ql).

$$Q_s = 3.452 \times 10^3 \text{ (Wh)}$$

$$Q_l = 1.494 \times 10^4 \text{ (Wh)}$$

El cual es:

$$Q_{uh} := Q_s + Q_l$$

$$Q_{uh} = 1.84 \times 10^4 \text{ (Wh)}$$

El secado de los capullos se realiza en una jornada que va de 6 a 8 horas<sup>24</sup>, entonces el Q<sub>uh</sub> se lo divide para este tiempo.

$$Q_{uh} = \frac{Q_{uh}}{6}$$

$$Q_{uh} = 3.066 \times 10^3 \text{ (Wh)}$$

#### 4.1.9 Pérdidas de calor en la cámara de secado.

Las pérdidas de calor en la cámara de secado ocurren en dos partes:

- En las paredes de la cámara de secado.
- En la salida del aire utilizado en el secado.

---

<sup>24</sup> Revista del Cidap. Artesanías de América pág. 42.

#### 4.1.9.1 Pérdidas de calor en las paredes de la cámara de secado.

##### 4.1.9.1.1 Coeficiente de convección interna en la cámara de secado.

Como la cámara de secado es de sección rectangular (L, b), el número de reynolds se determina tomando en cuenta el radio como radio hidráulico.

$$L = 1.6 \text{ (m)}$$

$$b = 1.2 \text{ (m)}$$

El área de ésta sección es:

$$A = b \times L$$

$$A = 1.92 \text{ (m}^2\text{)}$$

El perímetro mojado de la sección rectangular es:

$$P_m := 2 \cdot (b + L)$$

$$P_m = 5.6 \text{ (m)}$$

La velocidad del aire recomendada para el secado de los capullos es de 0.15 m/s<sup>25</sup>.

$$vel := 0.15 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

El radio hidráulico es:

$$RH := \frac{4A}{P_m}$$

$$RH = 1.371 \text{ (m)}$$

---

<sup>25</sup> Revista del Cidap. Artesanías de América pág. 42.

La viscosidad cinemática del aire a 80°C es:

$$\nu := 23.36 \cdot 10^{-6} \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)$$

Teniendo así es el número de reynolds

$$\text{Re} = \frac{\text{vel} \times \text{RH}}{\nu}$$

$$\text{Re} = 8.806 \times 10^3$$

Para determinar el número de nusset hacemos uso de la fórmula<sup>26</sup> siguiente:

$$\text{Nu} = 0.023 \times \text{Re}^{0.8} \times \text{Pr}^n$$

Donde:

$n$  = constante para el enfriamiento del fluido

$$n := 0.3$$

$$\text{Pr} = 0.689$$

$$\text{Nu} := 0.023 \cdot \text{Re}^{0.8} \cdot \text{Pr}^n$$

$$\text{Nu} = 30.341$$

Igualando el número nusset a la expresión siguiente:

$$\text{Nu} = \frac{h \times D}{K}$$

Donde:

---

<sup>26</sup> Transferencia de Calor, Schaum, McGraw – Hill, 1980, pág. 170

$$h = \text{coeficiente de convección.} \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$$

D= diámetro, en nuestro caso es el radio hidráulico en (m)

$$kacr = \text{Coeficiente de conductividad de la superficie en contacto en} \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)$$

$$h_i = Nu \frac{kacr}{RH}$$

$$h_i = 30.341 \frac{43}{1.371}$$

$$h_i = 923.256 \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$$

#### 4.1.9.1.2 Coeficiente de convección externa a la cámara de secado.

La velocidad del aire en la Hacienda Zoila Luz, se tomo como referencia la de Santo Domingo de los Colorados, facilitada por el INAHMI.

$$v := 2 \left( \frac{m}{s} \right)$$

Para determinar el coeficiente de convección externo, empleamos la expresión, que esta en función de la velocidad del viento.

$$h_o := 2.8 + 3 \cdot v$$

$$h_o = 8.8 \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$$



#### 4.1.9.1.3 Coeficiente global de transferencia de calor en la pared de la cámara de secado.

Empleando analogía eléctrica se puede determinar la resistencia que presenta los elementos de la pared al paso de calor. Estas son:

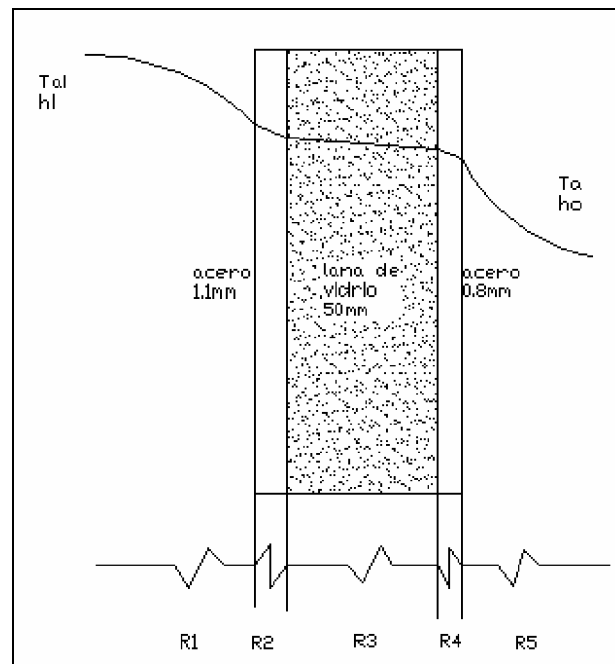
R1: Resistencia convectiva interna.

R2: Resistencia conductiva debido a la lamina de acero de 1.1 mm.

R3: Resistencia conductiva debido a la lana de vidrio de 2 pulg.

R4: resistencia conductiva debido a la lámina de acero de 0.8 mm.

R5: Resistencia convectiva externa.



**Figura 4.5.** Pared de la cámara de secado

Conductividad térmica del acero

$$k_{acr} := 43 \left( \frac{W}{m^{\circ}K} \right)$$

Conductividad térmica de la lana de vidrio.

$$k_{lv} := 0.037 \left( \frac{W}{m^{\circ}K} \right)$$

Espesor de la lamina de acero interior y exterior respectivamente.

$$e_{aci} := 0.0011 \text{ (m)}$$

$$e_{aco} := 0.0008 \text{ (m)}$$

Espesor de la lana de vidrio.

$$e_{lv} := 0.0508 \text{ (m)}$$

Las resistencias térmicas en la pared son:

$$R1 := \frac{1}{h_i}$$

$$R1 = 1.083 \times 10^{-3} \left( \frac{m^2 \cdot K}{W} \right)$$

$$R2 := \frac{e_{aci}}{k_{acr}}$$

$$R2 = 2.558 \times 10^{-5} \left( \frac{m^2 \cdot K}{W} \right)$$

$$R3 := \frac{e_{lv}}{k_{lv}}$$

$$R3 = 1.373 \left( \frac{m^2 \cdot K}{W} \right)$$

$$R4 := \frac{e_{aco}}{k_{acr}}$$

$$R4 = 1.86 \times 10^{-5} \left( \frac{m^2 \cdot K}{W} \right)$$

$$R5 := \frac{1}{h_o}$$

$$R5 = 0.114 \left( \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right)$$

Obteniéndose de esta manera el coeficiente global de transferencia de calor.

$$U_o := \frac{1}{R1 + R2 + R3 + R4 + R5}$$

$$U_o = 0.672 \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right)$$

Finalmente determinamos esta pérdida de calor por las paredes de la cámara de secado a partir de la expresión:

$$Q = U_o \times A \times (T_{ai} - T_a)$$

Donde:

$T_{ai}$  = temperatura máxima del aire dentro del horno.

$T_a$  = temperatura ambiente.

Las temperaturas son:

$$T_{ai} = 120 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$T_a = 25 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

El área de las paredes de la cámara esta en función de a,b,L que son altura, ancho y largo respectivamente.

$$A_{ih} := 2 \cdot (a \cdot b + a \cdot L + b \cdot L)$$

$$A_{ih} = 13.64 \text{ (m}^2\text{)}$$

Teniendo el calor perdido por las paredes de la cámara de secado.

$$Q_{ph} := U_o \cdot A_{ih} \cdot (T_{ai} - T_a)$$

$$Q_{ph} = 870.987 \text{ (W)}$$

#### 4.1.9.2 Pérdidas de calor por la salida del aire utilizado en el secado.

La temperatura del aire en la salida ( $T_s$ ) de la cámara de secado es alrededor de:

$$T_s := 50 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

El calor específico del aire es:

$$C_p = 1.008 \left( \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \times ^\circ\text{C}} \right)$$

El flujo de aire que se requiere para el secado, se puede estimar a partir del calor útil en el horno así:

$$Q_{uh} = M_{aire} \times C_p \times (\Delta T)$$

$$3.066 \frac{\text{KJ}}{\text{s}} = M_{aire} \times 1.008 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \times ^\circ\text{C}} \times (95)^\circ\text{C}$$

$$M_{aire} = 0.031 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

Utilizando la ecuación del calor sensible tenemos el calor perdido debido a la salida del aire cargado de humedad en la cámara de secado.

$$Q_{ps} = M_{aire} \times C_p \times (T_s - T_a)$$

$$Q_{ps} = 0.031 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \times 1.005 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \times ^\circ\text{K}} \times (50 - 25) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{ps} = 0.787 \text{ (Kwh)}$$

#### 4.1.10 Calor requerido en la cámara de secado.

El calor requerido en la cámara de secado es la suma del calor útil en la cámara y el calor perdido en la misma, que es:

$$Q_{rh} := Q_{uh} + Q_{ph} + Q_{ps} \cdot 1000$$

$$Q_{rh} = 4712.94 \text{ (Wh)}$$

#### 4.1.11 Calentamiento del aire.

El calentamiento del aire se va a realizar por medio de un intercambiador de calor, donde el aire circula por dentro de los tubos del intercambiador y los gases de combustión por fuera.

La temperatura inicial y final del aire dentro de los tubos, es decir, a la entrada ( $T_a$ ) y salida ( $T_{max}$ ) son respectivamente las siguientes.

$$T_a = 25 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

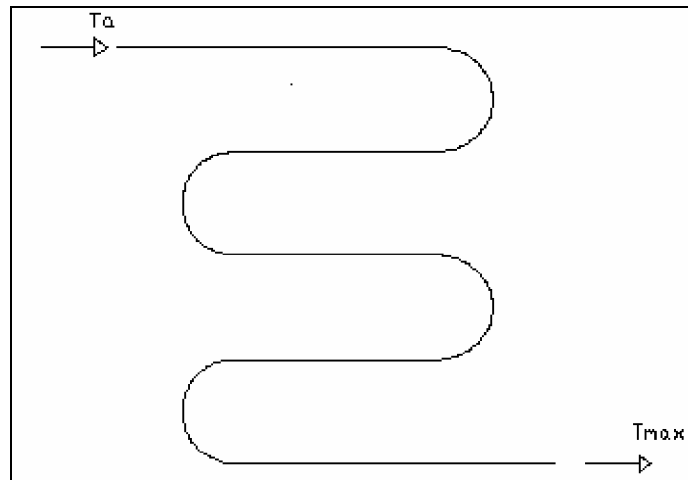
$$T_{max} := 140 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

La viscosidad cinemática.

$$\nu := 24.42 \cdot 10^{-6} \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)$$

Longitud de tubo.

$$L_{tb} := 4.2 \text{ (m)}$$



**Figura 4.6.** Disposición del tubo para el calentamiento del aire.

Espesor del tubo.

$$etb := 0.0015 \text{ (m)}$$

Diámetro nominal del tubo.

$$D := 0.0254 \text{ (m)}$$

Diámetro interior del tubo.

$$Di := D - 2 \cdot etb \text{ (m)}$$

$$Di = 0.022 \text{ (m)}$$

#### 4.1.11.1 Coeficiente de convección interna en el tubo

Primeramente calculamos el número de Reynolds, que presenta el aire. La velocidad promedio del aire recomendado en el tubo, es

$$\text{vel\_airetb} := 10 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

Numero de reynolds para tubería circular.

$$\text{Re} = \frac{\text{vel\_airetb} \cdot \text{Di}}{u}$$

$$\text{Re} = 9.173 \times 10^3$$

El intercambiador de calor, tiene un haz de tubos en flujo transversal (Figura 2.26), por lo tanto utilizamos la expresión que permite determinar el coeficiente de convección interno al tubo ( $hitb$ )<sup>27</sup>.

Donde C1 y n son constantes debido a la configuración escalonada de los tubos, tomados de la tabla 2.4.

$$C1 := 0.522$$

$$n = 0.562$$

$$\text{hitb} := \frac{\text{Re}^n \cdot C1 \cdot \text{kacr}}{\text{Di}}$$

$$\text{hitb} = 1.69 \times 10^5 \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right)$$

---

<sup>27</sup> Transferencia de Calor, Schaum, Editorial McGraw-Hill, 1980, pág. 175.

#### 4.1.11.2 Coeficiente de convección externo al tubo.

Para determinar el coeficiente de convección externo al tubo, hacemos uso de la expresión que esta en función de la velocidad.

Como los gases de combustión son los que van a circular por fuera de los tubos, necesitamos la velocidad de estos.

Para determinar esta velocidad, es preciso primero calcular el tiro de chimenea.

El tiro se calcula de la siguiente expresión<sup>28</sup>:

$$\text{Tiro (mmH}_2\text{O)} = 4.63 \times B \times \left( \frac{1}{T_c} - \frac{w_1}{T_h} \right) \times H$$

Donde:

B = Presión atmosférica en cm. Hg.

$w_1$  = Densidad específica de los gases de combustión con relación al aire.

H = altura de la chimenea (m).

$T_c$  = temperatura del aire frío o ambiente. (°K)

$T_h$  = temperatura de los gases de combustión promedio en la chimenea. (°K)

La densidad del aire, presión atmosférica y temperatura en Sto. Dgo, son respectivamente los siguientes valores.

$$\rho_c := 1.114 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$B := 73.6 \text{ (cmHg)}$$

---

<sup>28</sup> Hornos Industriales, W. Trinks, URMO S.A. EDICIONES, España, pág. 386.



$$T_c := 298 \text{ (}^\circ\text{K)}$$

La densidad específica de los gases de combustión es:

$$\varphi_1 := 0.972$$

La temperatura promedio de los gases de combustión es:

$$T_h := 330 \text{ (}^\circ\text{K)}$$

La altura de la chimenea es:

$$H = 0.8 \text{ (m)}$$

Entonces el tiro es:

$$\text{tiro} := 4.63 \cdot B \cdot \left( \frac{1}{T_c} - \frac{\varphi_1}{T_h} \right) \cdot H$$

$$\text{tiro} = 0.112 \text{ (mmH}_2\text{O)}$$

La velocidad de los gases en la chimenea se determina con la siguiente expresión<sup>29</sup>.

$$\text{tiro (mmH}_2\text{O)} = \frac{v_{gc}^2}{2 \times g \times \frac{1}{\rho_h}}$$

Donde:

$v_{gc}$  = velocidad de los gases de combustión (m/s).

$g$  = aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

$\rho_h$  = densidad de los gases de combustión en (Kg/m<sup>3</sup>).

---

<sup>29</sup> Hornos Industriales, W. Trinks, URMO S.A. EDICIONES, España, pág. 387.

El volumen específico de los gases de combustión es:

$$\rho_h := \rho_c \cdot \omega_1$$

$$\rho_h = 1.083 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$v_{gc} = \sqrt{\text{tiro} \times 19.6 \times \frac{1}{\rho_h}}$$

$$v_{gc} = 1.423 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

Con la velocidad de los gases, tenemos el coeficiente de convección externa en el tubo del intercambiador de calor.

$$\text{hotb} = 2.8 + 3 \times v_{gc}$$

$$\text{hotb} = 7.068 \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}} \right)$$

#### 4.1.11.3 Coeficiente global de transferencia de calor en el tubo.

Radio externo del tubo.

$$r_2 := \frac{D}{2}$$

$$r_2 = 0.0127 \text{ (m)}$$

Radio interno del tubo.

$$r_1 := r_2 - \text{etb}$$

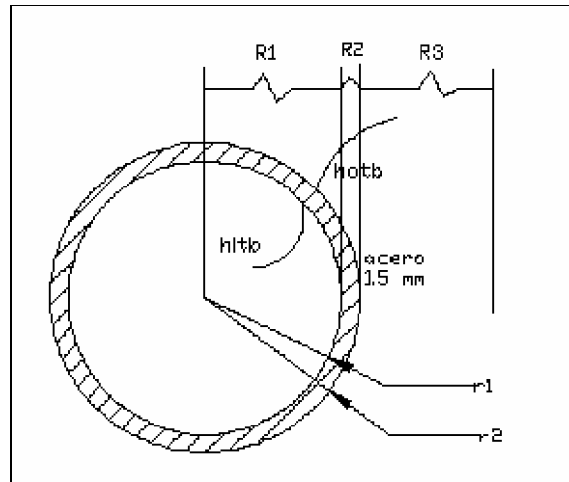
$$r_1 = 0.0112 \text{ (m)}$$

Empleando analogía eléctrica se puede determinar las resistencias térmicas que presenta los elementos en la pared del tubo. Estas son:

R1: Resistencia convectiva interna.

R2: Resistencia conductiva debido al espesor del tubo

R3: Resistencia convectiva externa.



**Figura 4.7** Pared del tubo

$$R1 = \frac{r2}{r1 \times hitb}$$

$$R1 = 6.711 \times 10^{-6} \left( \frac{m^2 \times ^\circ K}{W} \right)$$

$$R2 = \frac{r2 \times \ln \frac{r2}{r1}}{Kacr}$$

$$R2 = 3.712 \times 10^{-5} \left( \frac{m^2 \times ^\circ K}{W} \right)$$

$$R3 = \frac{1}{hotb}$$

$$R3 = 0.141 \left( \frac{m^2 \times ^\circ K}{W} \right)$$

Obteniéndose de esta manera el coeficiente global de transferencia de calor.

$$U_o = \frac{1}{R1 + R2 + R3}$$

$$U_o = 7.066 \left( \frac{W}{m^2 \times ^\circ K} \right)$$

#### 4.1.11.4 Coeficiente global de transferencia de calor en el tubo con incrustación.

Como es conocido, durante el funcionamiento con la mayoría de gases o líquidos, se va produciendo gradualmente una película de suciedad sobre la superficie en la que se produce la transferencia de calor.

El factor de ensuciamiento<sup>30</sup> para este caso es:

$$R_d := 0.0004 \left( \frac{m^2 \times ^\circ K}{W} \right)$$

Empleando la ecuación siguiente tenemos el coeficiente global de transferencia después de haberse producido el depósito.

$$U_d := \frac{1}{R_d + \frac{1}{U_o}}$$

$$U_d = 7.046 \left( \frac{W}{m^2 \times ^\circ K} \right)$$

#### 4.1.11.5 Cálculo del calor útil en un tubo del intercambiador de calor.

El área lateral de transferencia de calor en un tubo es:

---

<sup>30</sup> La Transmisión de calor, F. Kreit, Pág. 398; Editorial Alambra, 1Edición, 1983.

$$A_{tb} := \pi \cdot D \cdot L_{tb}$$

$$A_{tb} = 0.335 \text{ (m}^2\text{)}$$

Calor útil en un tubo es:

$$Q_{tb1} := U_d \cdot A_{tb} \cdot (T_{max} - T_a)$$

$$Q_{tb1} = 271.579 \text{ (Wh)}$$

#### 4.1.11.6 Calor requerido para el calentamiento de la estructura metálica de la cámara de secado.

El calor requerido para calentar la estructura se lo realiza a través de la ecuación del calor sensible.

$$Q_{cs} = m \times C_p \times \Delta T$$

$$Q_{cs} = \frac{210 \text{ Kg}}{6 \cdot 3.6 \text{ s}} \times 0.47 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \times \text{°C}} \times 95 \text{ °C}$$

$$Q_{cs} = 434.097 \text{ (Wh)}$$

#### 4.1.11.7 Cálculo del número de tubos en el intercambiador.

Para determinar el número de tubos, dividimos el calor que se requiere en la cámara de secado ( $Q_{rh}$ ) más el requerido para calentar la estructura metálica de la cámara ( $Q_{cs}$ ) para el calor útil en un tubo ( $Q_{tb1}$ ).

$$Q_{rh} = 4.713 \times 10^3 \text{ (Wh)}$$

$$n_{tbs} = \frac{Q_{rh} + Q_{cs}}{Q_{tb1}}$$

$$n_{tbs} = 18.9$$

Se asumió un número de tubos de:

$$ntbs = 22$$

#### **4.1.11.8 Calor útil en la cabina de calentamiento del aire.**

El calor útil para el calentamiento del aire por medio del intercambiador de calor, se determina multiplicando el número de tubos por el calor útil en un tubo, teniendo:

$$Qtbs := Qtb1 \cdot ntbs$$

$$Qtbs = 5.975 \times 10^3 \text{ (Wh)}$$

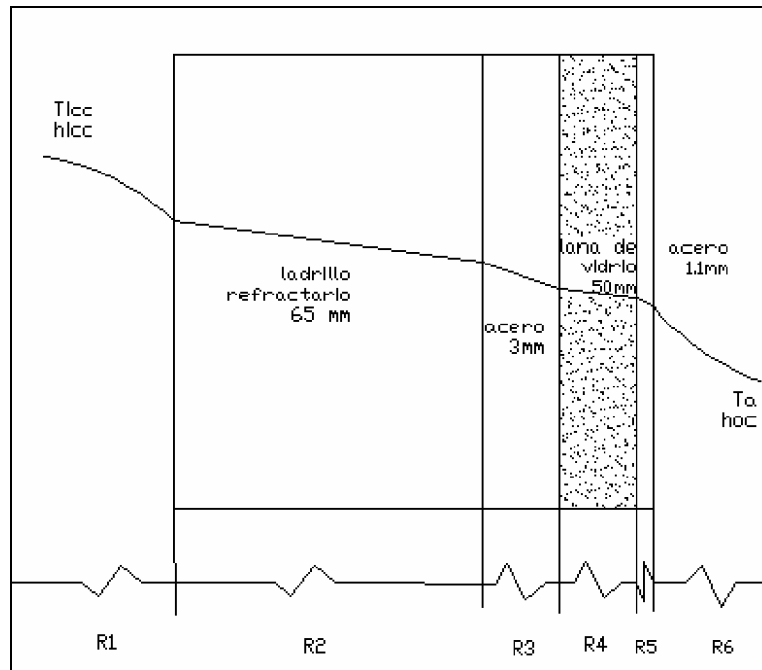
#### **4.1.11.9 Pérdidas de calor en la cabina de calentamiento del aire.**

Las pérdidas de calor en la cabina de calentamiento del aire se producen en tres partes que son:

- En las paredes de la cámara de combustión.
- En las paredes del intercambiador de calor.
- En la salida de los gases de combustión.

##### **4.1.11.9.1 En las paredes de la cámara de combustión.**

En las paredes de la cámara de combustión se tiene:



**Figura 4.8** Pared de la cámara de combustión.

#### 4.1.11.9.1.2 Coeficiente de convección externo.

Velocidad del aire en el sitio tomado del INAHMI.

$$u = 2 \left( \frac{m}{s} \right)$$

$$hoc := 2.8 + 3 \cdot u$$

$$hoc = 8.8 \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$$

La temperatura de la llama adiabática real para el GLP, es de alrededor de los 815 °C.

$$T_{icc} := 815 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$T_a = 25 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

#### 4.1.11.9.1.3 Coeficiente de convección interno.

El coeficiente de convección interno, para la cámara de combustión toma en cuenta la temperatura de la llama adiabática del GLP además de la velocidad de propagación de la llama.

Este valor  $h_{icc}^{31}$  es de:

$$h_{icc} := 9.457 \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$$

#### 4.1.11.9.1.4 Coeficiente global de transferencia de calor.

Empleando analogía eléctrica se puede determinar las resistencias térmicas que presenta los elementos de la pared al paso de calor. Estas son:

R1: Resistencia convectiva interna.

R2: Resistencia conductiva debido al ladrillo refractario de 65mm.

R3: Resistencia conductiva debido a la lamina de acero de 3 mm.

R4: Resistencia conductiva debido a la lana de vidrio de 2 pulg.

R5: Resistencia conductiva debido a la lámina de acero de 1.1 mm.

R6: Resistencia convectiva externa.

Conductividad térmica del ladrillo refractario.

$$k_{lr} := 0.25 \left( \frac{W}{m \times ^\circ K} \right)$$

$$R1 = \frac{1}{h_{icc}}$$

---

<sup>31</sup> Folleto de diseño térmico, Gastón Guerra.



$$R1 = 0.106 \left( \frac{\text{m}^2 \times ^\circ\text{K}}{\text{W}} \right)$$

$$R2 = \frac{elr}{klr}$$

$$R2 = 0.26 \left( \frac{\text{m}^2 \times ^\circ\text{K}}{\text{W}} \right)$$

$$R3 = \frac{eaci}{kacr}$$

$$R3 = 6.977 \times 10^{-5} \left( \frac{\text{m}^2 \times ^\circ\text{K}}{\text{W}} \right)$$

$$R4 = \frac{elv}{klv}$$

$$R4 = 1.373 \left( \frac{\text{m}^2 \times ^\circ\text{K}}{\text{W}} \right)$$

$$R5 = \frac{eaco}{kacr}$$

$$R5 = 2.558 \times 10^{-5} \left( \frac{\text{m}^2 \times ^\circ\text{K}}{\text{W}} \right)$$

$$R6 := \frac{1}{hoc}$$

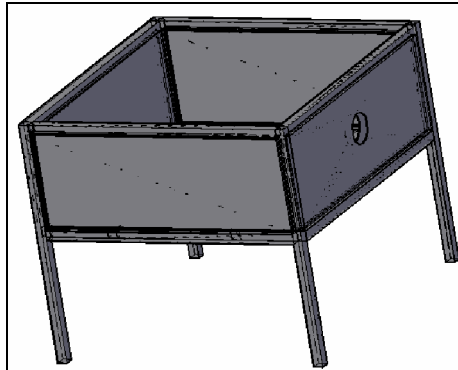
$$R6 = 0.114 \left( \frac{\text{m}^2 \times ^\circ\text{K}}{\text{W}} \right)$$

Teniendo de esta manera el coeficiente global de transferencia de calor en las paredes de la cámara de combustión.

$$U_0 = \frac{1}{R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6}$$

$$U_o = 0.54 \left( \frac{W}{m^2 \times ^\circ K} \right)$$

El área de transferencia de calor en la cámara de combustión es la que se muestra en la figura siguiente:



**Figura 4.9** Cámara de combustión.

$$Acc := 1.1 (m^2)$$

El calor perdido en las paredes de la cámara de combustión es:

$$Q_{pcc} := U_o \cdot Acc \cdot (T_{icc} - T_a)$$

$$Q_{pcc} = 469.109 \text{ (Wh)}$$

#### **4.1.11.9.2 En las paredes del intercambiador de calor.**

En las paredes de la cabina del intercambiador tenemos gases de combustión por el interior y aire al ambiente por fuera.

##### **4.1.11.9.2.1 Coeficiente de convección externo.**

Este es el mismo que se determinó para la pared de la cámara de combustión.

$$h_{oc} = 8.8 \left( \frac{W}{m^2 \times ^\circ K} \right)$$

#### **4.1.11.9.2.2 Coeficiente de convección interno.**

Este coeficiente de convección interno, es el coeficiente de convección externo que se determinó para el tubo.

$$h_{ic} := h_{otb}$$

$$h_{ic} = 7.068 \left( \frac{W}{m^2 \times ^\circ K} \right)$$

#### **4.1.11.9.2.3 Coeficiente global de transferencia de calor.**

Empleando analogía eléctrica se puede determinar las resistencias térmicas que presenta los elementos de la pared al paso de calor. Estas son:

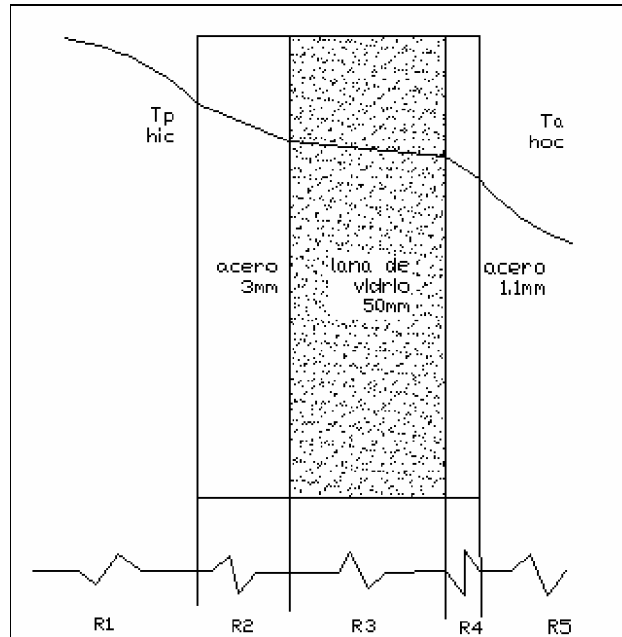
R1: Resistencia convectiva interna.

R2: Resistencia conductiva debido a la lamina de acero de 3 mm.

R3: Resistencia conductiva debido a la lana de vidrio de 2 pulg.

R4: resistencia conductiva debido a la lámina de acero de 1.1 mm.

R5: Resistencia convectiva externa.



**Figura 4.10** Pared de la cabina donde se alojan los tubos.

$$R1 = \frac{1}{h_{ic}}$$

$$R1 = 0.141 \left( \frac{m^2 \times ^\circ K}{W} \right)$$

$$R2 = \frac{e_{aci}}{k_{acr}}$$

$$R2 = 6.977 \times 10^{-5} \left( \frac{m^2 \times ^\circ K}{W} \right)$$

$$R3 = \frac{e_{lv}}{k_{lv}}$$

$$R3 = 1.373 \left( \frac{m^2 \times ^\circ K}{W} \right)$$

$$R4 = \frac{e_{aco}}{k_{acr}}$$

$$R4 = 2.558 \times 10^{-5} \left( \frac{\text{m}^2 \times \text{°K}}{\text{W}} \right)$$

$$R5 = \frac{1}{h_{oc}}$$

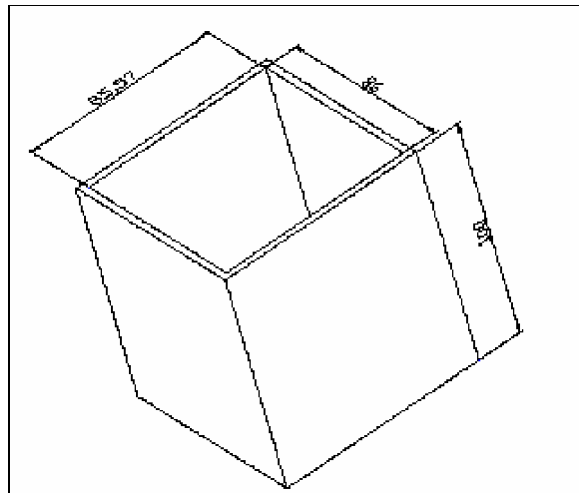
$$R5 = 0.114 \left( \frac{\text{m}^2 \times \text{°K}}{\text{W}} \right)$$

Teniendo de esta manera el coeficiente global de transferencia de calor de pared en la cabina.

$$U_o = \frac{1}{R1 + R2 + R3 + R4 + R5}$$

$$U_o = 0.614 \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{°K}} \right)$$

El área de transferencia de calor es la suma de las cuatro paredes del gráfico que se muestra:



**Figura 4.11** Cabina donde se alojan los tubos

El área es:

$$A_i = 3.42 \text{ (m}^2\text{)}$$

La temperatura de pared promedio ( $T_p$ ) dentro de la cabina es:

$$T_p := 350 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

El calor perdido en las paredes de la cabina es:

$$Q_{pc} := U_o \cdot A_i \cdot (T_p - T_a)$$

$$Q_{pc} = 682.665 \text{ (Wh)}$$

#### 4.1.11.9.3 En la salida de los gases de combustión.

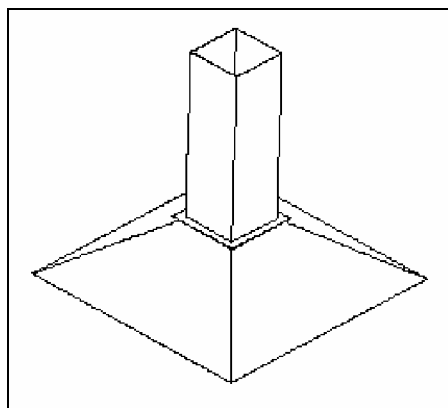
Las pérdidas de calor en la salida de los gases de combustión se producen en el plenum y tubo de chimenea.

La temperatura de pared donde empieza el plenum es:

$$T_{maxin} := 75 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

El área del plenum y tubo de chimenea es:

$$A_s := 1.35 \text{ (m}^2\text{)}$$



**Figura 4.12** Plenum y chimenea

El calor perdido a la salida es:

$$Q_{pg} := A_s \cdot h_{otb} \cdot (T_{maxin} - T_a)$$

$$Q_{pg} = 477.122 \quad (\text{Wh})$$

#### 4.1.11.10 Calor requerido para el calentamiento del aire.

El calor requerido para calentar el aire que se va a utilizar en la cámara de secado es la suma del calor útil y calor perdido en la cabina de calentamiento del aire. Este es de:

$$Q_{Treq} := Q_{tbs} + Q_{pcc} + Q_{pc} + Q_{pg}$$

$$Q_{Treq} = 7.604 \times 10^3 \quad (\text{Wh})$$

Como se trata de un valor teórico, es conveniente tener un margen sobre aquel valor, por ello se ha asumido un calor requerido de:

$$Q_T := 9 \quad (\text{KWh})$$

#### 4.1.12 Cálculo del flujo másico de combustible.

Como se va a emplear gas propano el poder calorífico de este es:

$$P_{cal} = 46340 \left( \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right)$$

El gas necesario es:

$$F_{gas} := \frac{Q_T}{P_{cal}}$$

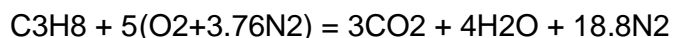
$$F_{gas} = 1.942 \times 10^{-4} \left( \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right)$$

En kilogramos por hora del gas es:

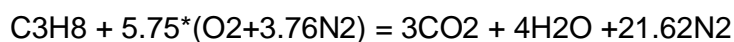
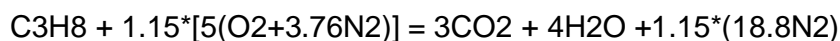
$$F_{\text{gas}} = 0.699 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right)$$

#### 4.1.13 Relación aire combustible.

Considerando la ecuación estequiométrica teórica para el gas propano.



Para que el combustible sea quemado completamente es preciso añadir un 15% de exceso de aire<sup>32</sup>. Entonces se tiene la siguiente ecuación:



Los pesos moleculares de los componentes de la ecuación son los siguientes:

Oxígeno

$$Pm_{\text{O}_2} := 32 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}} \right)$$

Gas propano

$$Pm_{\text{C}_3\text{H}_8} := 44 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}} \right)$$

Nitrógeno

$$Pm_{\text{N}_2} := 28 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}} \right)$$

---

<sup>32</sup> Secado de granos a altas temperaturas, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Chile, 1991, pág. 60.



Multiplicando el número de moles (coeficientes) por los pesos moleculares respectivos se obtiene los kilos de aire y gas propano.

$$\text{Kg\_Aire} := 5.75 \cdot (\text{Pm\_O2} + 3.76 \cdot \text{Pm\_N2})$$

$$\text{Kg\_Aire} = 789.36 \text{ (Kg)}$$

$$\text{Kg\_propano} := 1 \cdot \text{Pm\_C3H8}$$

$$\text{Kg\_propano} = 44 \text{ (Kg)}$$

Donde la relación aire-combustible es:

$$r := \frac{\text{Kg\_Aire}}{\text{Kg\_propano}}$$

$$r = 17.94$$

#### 4.1.14 Cálculo del flujo másico de aire necesario para la combustión.

Con la relación aire combustible y el flujo másico del gas propano determinamos el aire necesario para producir la combustión.

$$F_{\text{air}} := r \cdot F_{\text{gas}}$$

$$F_{\text{air}} = 12.543 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right)$$

Para calcular el flujo en volumen dividimos para la densidad

$$\rho_{\text{aire}} := 1.114 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right), \text{ teniendo así:}$$

$$F_{\text{air}} = 11.26 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

#### 4.1.15 Cálculo del aire necesario para el secado.

Para determinar el aire necesario a emplearse en el secado de los capullos, es preciso conocer la entalpía del aire del sitio. Por ello se ingreso a la carta psicrométrica con la presión atmosférica y altitud, correspondiente a la hacienda Zoila Luz. Sto. Dgo.

Presión Atmosférica = 98.12 Kpa.

Altitud= 270 msnm.

Para ello se empleo el programa Akton para psicrometría.

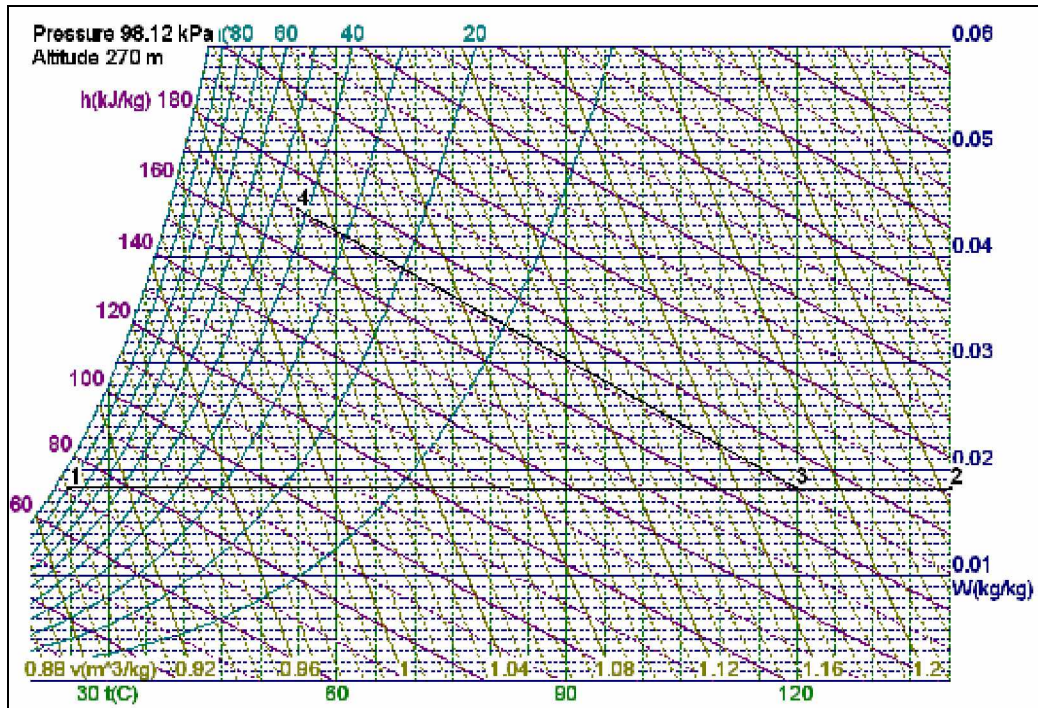


Figura 4.13 Procesos psicrométricos del secado para los capullos

Como se puede ver en la figura anterior, tenemos los procesos psicrométricos en el secado. El reporte de los procesos que presenta el programa se encuentra en la tabla siguiente.

**Tabla 4.1** Reporte del proceso de secado

|   | rh    | h     | t     | v                  | W      | tw    | td   |
|---|-------|-------|-------|--------------------|--------|-------|------|
|   | %     | kJ/kg | C     | m <sup>3</sup> /kg | kg/kg  | C     | C    |
| 1 | 89.3  | 71.84 | 25*   | 0.8973             | 0.0184 | 23.6* | 23.1 |
| 2 | 0.781 | 191.9 | 140*  | 1.243              | 0.0182 | 42.5* | 23   |
| 3 | 1.43  | 170.9 | 120*  | 1.183              | 0.0183 | 40.2* | 23   |
| 4 | 42.3  | 171   | 54.9* | 1.028              | 0.0445 | 40.2* | 37.9 |

Para el aire a la entrada punto1, es decir al ambiente, ingresamos con:

Humedad relativa del sitio = 90%

Temperatura ambiente = 25 °C.

$$h1 := 71.84 \left( \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right)$$

$$\rho1 := 1.114 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

Para el aire a la salida (caliente) punto 2, ingresamos con una temperatura máxima de 140 °C de bulbo seco humedad específica constante y se tiene:

Entalpía del aire a la salida de los tubos

$$h2 := 191.9 \left( \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right)$$

Densidad del aire a la salida

$$\rho2 := 0.804 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

La densidad media del aire es:

$$\rho_m := \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}$$

$$\rho_m = 0.959 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

El flujo de aire necesario para el secado se determina a partir de la ecuación:

$$Q_T = \text{maire} \times (h_2 - h_1)$$

Donde:

$Q_T$ : calor requerido para el calentamiento del aire (KW).

$h_2$  = entalpía del aire caliente (KJ/Kg.).

$h_1$  = entalpía del aire al ambiente (KJ/Kg.).

$\text{maire}$  = caudal másico de aire necesario para el secado. (Kg. /s).

$$Q_T = 9 \text{ (KW)}$$

$$\text{maire} := \frac{Q_T}{h_2 - h_1}$$

$$\text{maire} = 0.075 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right)$$

Dividiendo para la densidad media del aire se tiene:

$$\text{Faire} := \frac{\text{maire}}{\rho_m}$$

$$\text{Faire} = 0.0782 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

En pies cúbicos por minuto (CFM) se tiene:

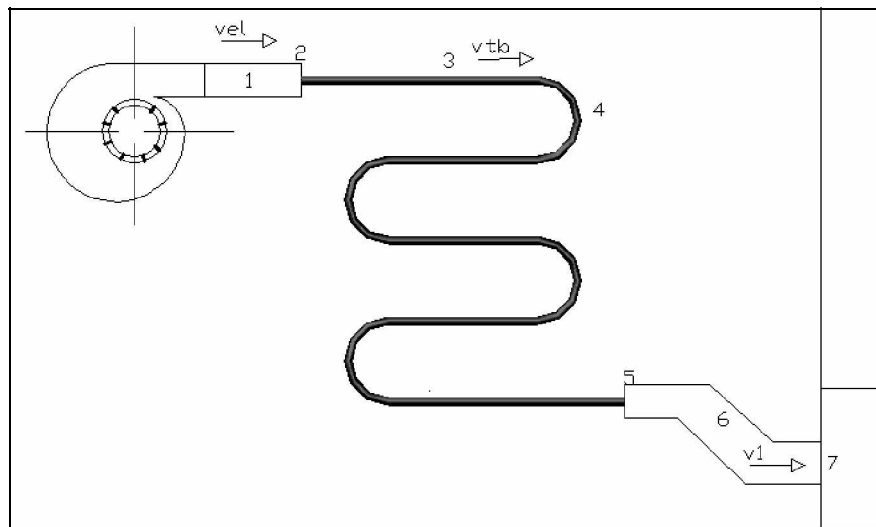
$$F_{aire} = 165.621 \left( \frac{\text{pie}^3}{\text{min}} \right)$$

Esto quiere decir que requerimos un ventilador de al menos 170 CFM

#### 4.1.16 Cálculo de las pérdidas de presión.

Las caídas o pérdidas de presión, de acuerdo al recorrido que va a tener el aire en este diseño son en siete partes. Estas son en:

1. Conducto de entrada.
2. Entrada a los tubos.
3. Partes rectas de los tubos.
4. Giros de los tubos a 180°.
5. Salida de los tubos.
6. Conducto de salida.
7. Ingreso a la cámara de secado.



**Figura 4.14** Pérdidas de presión del aire.

**Datos:**

Viscosidad promedio del aire.

$$\nu := 2.19 \cdot 10^{-5} \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)$$

Aceleración de la gravedad.

$$g = 9.81 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

Peso específico del aire.

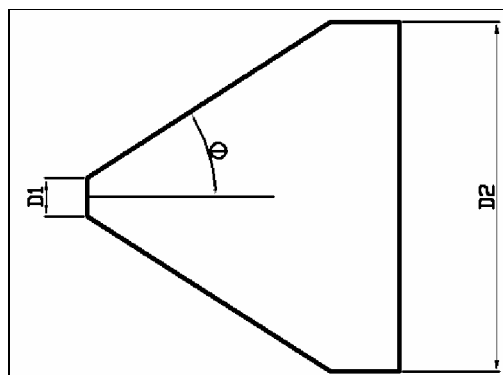
$$\gamma := 9.27 \left( \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \right)$$

Flujo de aire

$$F_{\text{aire}} := 0.0608 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

**1. Conducto de entrada a los tubos**

En este conducto ocurre una dilatación gradual con un ángulo de cono de 30°.



**Figura 4.15** Conducto de entrada. Vista superior

Diámetro equivalente<sup>33</sup> al final del conducto.

$$a := 0.10 \text{ (m)}$$

$$b := 0.90 \text{ (m)}$$

$$D2 := \frac{1.3 \cdot (a \cdot b)^{\frac{5}{8}}}{(a + b)^{\frac{1}{4}}}$$

$$D2 = 0.289 \text{ (m)}$$

Diámetro al inicio del conducto 4"

$$D1 := 0.10$$

Con  $D2/D1$  y  $30^\circ$  el ángulo de cono, escogemos K de la tabla siguiente.

| $D_2/D_1$ | Ángulo del cono, $\theta$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|           | 2°                        | 6°   | 10°  | 15°  | 20°  | 25°  | 30°  | 35°  | 40°  | 45°  | 50°  |
| 1.1       | 0.01                      | 0.01 | 0.03 | 0.05 | 0.10 | 0.13 | 0.16 | 0.18 | 0.19 | 0.20 | 0.21 |
| 1.2       | 0.02                      | 0.02 | 0.04 | 0.09 | 0.16 | 0.21 | 0.25 | 0.29 | 0.31 | 0.33 | 0.35 |
| 1.4       | 0.02                      | 0.03 | 0.06 | 0.12 | 0.23 | 0.30 | 0.36 | 0.41 | 0.44 | 0.47 | 0.50 |
| 1.6       | 0.03                      | 0.04 | 0.07 | 0.14 | 0.26 | 0.35 | 0.42 | 0.47 | 0.51 | 0.54 | 0.57 |
| 1.8       | 0.03                      | 0.04 | 0.07 | 0.15 | 0.28 | 0.37 | 0.44 | 0.50 | 0.54 | 0.58 | 0.61 |
| 2.0       | 0.03                      | 0.04 | 0.07 | 0.16 | 0.29 | 0.38 | 0.46 | 0.52 | 0.56 | 0.60 | 0.63 |
| 2.5       | 0.03                      | 0.04 | 0.08 | 0.16 | 0.30 | 0.39 | 0.48 | 0.54 | 0.58 | 0.62 | 0.65 |
| 3.0       | 0.03                      | 0.04 | 0.08 | 0.16 | 0.31 | 0.40 | 0.48 | 0.55 | 0.59 | 0.63 | 0.66 |
| $\infty$  | 0.03                      | 0.05 | 0.08 | 0.16 | 0.31 | 0.40 | 0.49 | 0.56 | 0.60 | 0.64 | 0.67 |

**Tabla 4.2** Coeficiente de resistencia- dilatación gradual.

$$K = 0.48$$

La velocidad del aire al inicio del conducto es:

<sup>33</sup> Mecánica de Fluidos, Robert L. Mott, Prentice Hall, 4ª edición, pág. 519

$$vel = \frac{Faire}{\frac{\pi \times D1^2}{4}}$$

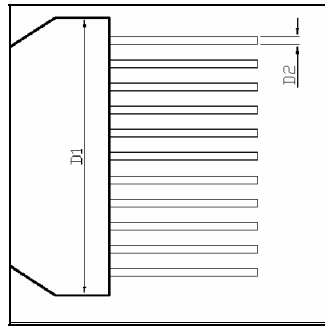
$$vel = 9.957 \left( \frac{m}{s} \right)$$

En una dilatación siempre ocurre una subida de presión que es:

$$\Delta P1 := \left( K \cdot \frac{vel^2}{2 \cdot g} \right) \cdot \gamma$$

$$\Delta P1 = 22.483 \text{ ( Pa )}$$

## 2. Entradas del aire a los tubos



**Figura 4.16** Entrada a los tubos. Vista superior

El diámetro equivalente del conducto de entrada es:

$$D1 = 0.289 \text{ ( m )}$$

El área transversal de un tubo del intercambiador de calor es:

$$D2 = 0.0224 \text{ ( m )}$$

$$Atb := \frac{\pi \cdot D2^2}{4}$$



$$A_{tb} = 3.941 \times 10^{-4} \text{ (m}^2\text{)}$$

Aplicando la ecuación de la continuidad se tiene la velocidad del aire en el tubo

$$v_{tb} := \frac{F_{aire}}{A_{tb} \cdot n_{tbs}}$$

$$v_{tb} = 9.02 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

Con  $D_1/D_2$  y la velocidad del aire en los tubos; escogemos  $K$  para contracción súbita<sup>34</sup>.

$$K = 0.41$$

El número de tubos del intercambiador de calor es:

$$n_{tbs} := 22$$

En contracción de secciones de tubería ocurre una caída de presión que en este caso es de:

$$\Delta P_2 := - \left[ \left[ \left( K \cdot \frac{v_{tb}^2}{2 \cdot g} \right) \cdot n_{tbs} \right] \cdot \gamma \right]$$

$$\Delta P_2 = -346.724 \text{ (Pa)}$$

### 3. Partes rectas de los tubos

La longitud de los tubos de las partes rectas es:

$$L_{rtb} = 2.7 \text{ (m)}$$

---

<sup>34</sup> Mecánica de Fluidos, Robert L. Mott, Prentice Hall, 4ª edición, pág. 275.

Diámetro interior de un tubo de intercambiador de calor es:

$$D_2 = 0.0224 \text{ (m)}$$

El número de Reynolds es:

$$\text{Reynolds} := \frac{v_{tb} \cdot D_2}{\nu}$$

$$\text{Reynolds} = 9.226 \times 10^3$$

La rugosidad del tubo se tomo de la tabla siguiente:

| Material                             | Rugosidad, $\epsilon$<br>(m) |
|--------------------------------------|------------------------------|
| Vidrio, plástico                     | Suavidad                     |
| Cobre, latón, plomo (tubería)        | $1.5 \times 10^{-6}$         |
| Hierro fundido: sin revestir         | $2.4 \times 10^{-4}$         |
| Hierro fundido: revestido de asfalto | $1.2 \times 10^{-4}$         |
| Acero comercial o acero soldado      | $4.6 \times 10^{-5}$         |
| Hierro forjado                       | $4.6 \times 10^{-5}$         |
| Acero remachado                      | $1.8 \times 10^{-3}$         |
| Concreto                             | $1.2 \times 10^{-3}$         |

**Tabla 4.3.** Rugosidad de conductos

$$\epsilon = 4.6 \times 10^{-5} \text{ (m)}$$

La rugosidad relativa es:

$$\epsilon_{rel} := \frac{D_2}{\epsilon}$$

$$\epsilon_{rel} = 486.957$$

El factor de fricción se determina de la siguiente expresión:

$$f := \frac{0.25}{\log\left(\frac{1}{3.7 \cdot \epsilon_{rel}} + \frac{5.74}{\text{Reynolds}^9}\right)^2}$$

$$f = 0.035$$

La caída de presión en las partes rectas de los tubos es:

$$\Delta P_3 := - \left[ \left[ \left( f \cdot \frac{L_{rtb}}{D_2} \cdot \frac{v_{tb}^2}{2 \cdot g} \right) n_{tbs} \right] \cdot \gamma \right]$$

$$\Delta P_3 = -3.557 \times 10^3 \text{ (Pa)}$$

#### 4. Giros de los tubos a 180°.

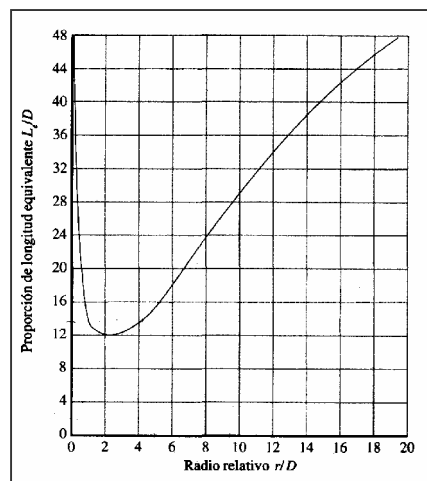
Las pérdidas de presión en los codos se dan por fricción. El número de codos es:

$$n_{codos} := 8 \text{ Considerando codos de } 90^\circ$$

El radio interno del codo es:

$$r_{cdo} := 0.12 \text{ (m)}$$

Con la relación  $r/D_2$ , determinamos la longitud de proporción equivalente de la figura siguiente.



**Figura 4.17** Resistencia debido a codos de 90° de tubería

$$L_e := 14$$

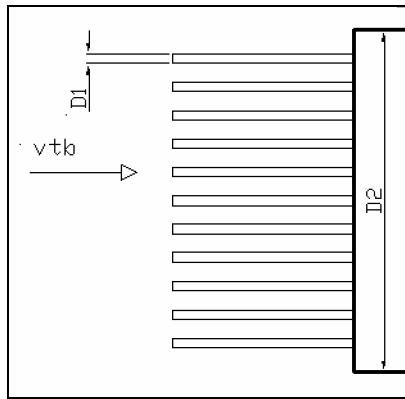
La pérdida de presión por los codos de tubería es:

$$\Delta P_4 := - \left[ \left[ \left( f \cdot L_e \cdot \frac{v_{tb}^2}{2 \cdot g} \right) \cdot n_{cdos} \right] \cdot \gamma \right]$$

$$\Delta P_4 := - 150.224 \text{ (Pa)}$$

## 5. Salida del aire de los tubos.

En la salida del aire de los tubos se produce una dilatación súbita. El conducto o manga que se ubica en la salida del aire, tiene las mismas dimensiones que el conducto de entrada. Este es:



**Figura 4.18** Salida del aire de los tubos al acople.

El diámetro interno de un tubo del intercambiador de calor es:

$$D_1 = 0.0224 \text{ (m)}$$

El diámetro equivalente de la manga es:

$$D_2 = 0.289 \text{ (m)}$$

El coeficiente de resistencia se determina de la siguiente ecuación<sup>35</sup>:

$$k := \left[ 1 - \left( \frac{D1}{D2} \right)^2 \right]^2$$

$$K = 0.988$$

En este caso se produce una subida de presión que es:

$$\Delta P5 := \left[ \left( K \cdot \frac{v_{tb}^2}{2 \cdot g} \right) \cdot n_{tbs} \right] \cdot \gamma$$

$$\Delta P5 = 835.537 \text{ (Pa)}$$

## 6. Conducto de salida

En el conducto de salida, se produce fricción. El diámetro equivalente de la manga y longitud son respectivamente:

$$D2 = 0.289 \text{ (m)}$$

$$L_{manga} = 1.2 \text{ (m)}$$

El radio hidráulico de en la manga es:

$$Rh := \frac{a \cdot b}{2 \cdot (a + b)}$$

$$Rh = 0.045$$

La velocidad del aire en el conducto es:

$$v1 := \frac{F_{aire}}{a \cdot b}$$

$$v1 = 0.869 \left( \frac{m}{s} \right)$$

---

<sup>35</sup> Mecánica de Fluidos, Robert L. Mott, Prentice Hall, 4ª edición, pág. 269

El número de Reynolds en el conducto es:

$$\text{Reynolds} = \frac{v1(4 \times Rh)}{u}$$

$$\text{Reynolds} = 7.142 \times 10^3$$

La rugosidad relativa del conducto es:

$$r_{\text{rel}} := \frac{D2}{\varepsilon}$$

$$r_{\text{rel}} = 6.283 \times 10^3$$

El factor de fricción es:

$$f := \frac{0.25}{\log\left(\frac{1}{3.7 \cdot r_{\text{rel}}} + \frac{5.74}{\text{Reynolds}^9}\right)^2}$$

$$f = 0.034$$

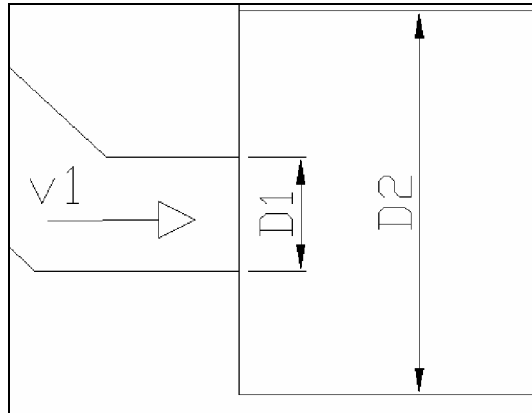
La pérdida de presión en la manga de salida es:

$$\Delta P6 := f \cdot \frac{L_{\text{manga}}}{D2} \cdot \frac{v1^2}{2 \cdot g}$$

$$\Delta P6 = 4.566 \times 10^{-3} \text{ (Pa)}$$

## 7. Ingreso a la cámara de secado

En este lugar se produce una dilatación súbita.



**Figura 4.19** Ingreso a la cámara de secado.

El diámetro equivalente de la manga de salida es:

$$D1 = 0.289 \text{ (m)}$$

La velocidad del aire caliente en la manga es:

$$v1 = 0.927 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

El diámetro equivalente en la cámara de secado se determina a partir de la altura de la cámara de distribución del aire y el del ancho interior de la cámara de secado que son respectivamente los siguientes valores:

$$c = 0.40 \text{ (m)}$$

$$d = 1.1 \text{ (m)}$$

$$D2 = \frac{1.3(c \times d)^{5/8}}{(c + d)^{1/4}}$$

$$D2 = 0.703 \text{ (m)}$$

El coeficiente de resistencia se determina de la siguiente ecuación

$$k := \left[ 1 - \left( \frac{D1}{D2} \right)^2 \right]^2$$

$$K = 0.637$$

En este caso se produce una subida de presión que es:

$$\Delta P7 := \left( K \cdot \frac{v1^2}{2 \cdot g} \right) \cdot \gamma$$

$$\Delta P7 = 0.227 \text{ (Pa)}$$

#### 4.1.17 Presión estática del ventilador

La presión estática que se requiere en el ventilador se determina sumando algebraicamente las caídas y subidas de presión obtenidas. Esta es:

$$\Delta PT := -(\Delta P1 + \Delta P2 + \Delta P3 + \Delta P4 + \Delta P5 + \Delta P6 + \Delta P7)$$

$$\Delta PT = 3.196 \times 10^3 \text{ (Pa)}$$

En psi la presión estática del ventilador que se requiere es:

$$\Delta PT = 0.465 \text{ (psi)}$$

$$\Delta PT = 12.8 \text{ plg. H}_2\text{O}$$

#### 4.1.18 Selección del ventilador.

Para la selección del ventilador, es necesario conocer el caudal del aire y la presión estática. Con estos valores y de acuerdo a la disponibilidad del mercado local, se ha seleccionado un soplador centrífugo de las siguientes características.

|                    |           |
|--------------------|-----------|
| Caudal de aire:    | 300 (cfm) |
| Velocidad de giro: | 3000(rpm) |
| Ducto de salida:   | 4(pulg.)  |



|                     |           |
|---------------------|-----------|
| Voltaje:            | 110(V)    |
| Amperaje:           | 5(A)      |
| Diámetro de hélice: | 10(pulg.) |

La entrada del aire al ventilador es regulable (0-100%)

#### **4.1.19 Selección del controlador de temperatura.**

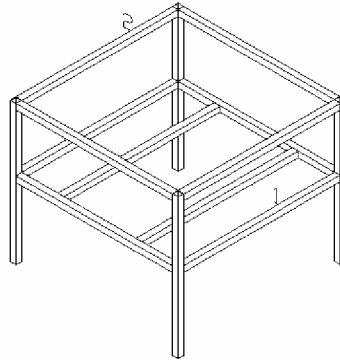
La temperatura del aire de secado, se controla mediante un controlador digital de las siguientes características.

|                           |                     |
|---------------------------|---------------------|
| Marca:                    | Full Gauge Control. |
| Serie:                    | MT-511Ri.           |
| Procedencia:              | Brasil.             |
| Alimentación eléctrica:   | 110/220 Vac, 60Hz.  |
| Temperatura de control:   | -50 hasta 105 °C.   |
| Corriente máxima:         | 8A/250Vac.          |
| Dimensiones:              | 71x28x71mm.         |
| Temperatura de operación: | 0 hasta 50°C.       |
| Humedad de operación:     | 10 hasta 90% HR.    |
| Apreciación:              | 0.1 °C              |

Este equipo es a la vez controlador e indicador de temperatura.

## 4.2 Diseño estructural.

El diseño estructural en el horno secador, se realizó en el soporte donde se encuentra la cabina de calentamiento del aire, debido a que en esta estructura se encuentra sometida a cargas considerables.



**Figura 4.20** Soporte del intercambiador de calor.

### 4.2.1 Determinación de las cargas.

En el sistema de calentamiento del aire se encuentran dos cargas distribuidas. Estas son:

#### Carga 1

|                           | <b>Kg.</b>   |
|---------------------------|--------------|
| Ladrillos refractarios    | 99.0         |
| Paredes y piso de acero   | 53.4         |
| Piso concreto refractario | 40.1         |
| Quemador                  | 5.0          |
| <b>Suman</b>              | <b>197.5</b> |

#### Carga 2

|                            | <b>Kg.</b>   |
|----------------------------|--------------|
| Tubos del intercambiador   | 81.1         |
| Paredes del intercambiador | 107.3        |
| Plenun                     | 8.0          |
| Tubo de chimenea           | 8.2          |
| Venterol                   | 5.0          |
| <b>Suman</b>               | <b>214.7</b> |

#### 4.2.2 Análisis de tensiones de base estructural.

Para el análisis de tensiones de base se empleó el programa computacional Cosmos Works. Siguiendo el siguiente procedimiento.

- Las cargas 1 y 2 se las pasó como cargas distribuidas de presión, ya que estas cargas actúan sobre los lados de los tubos. Quedando así:

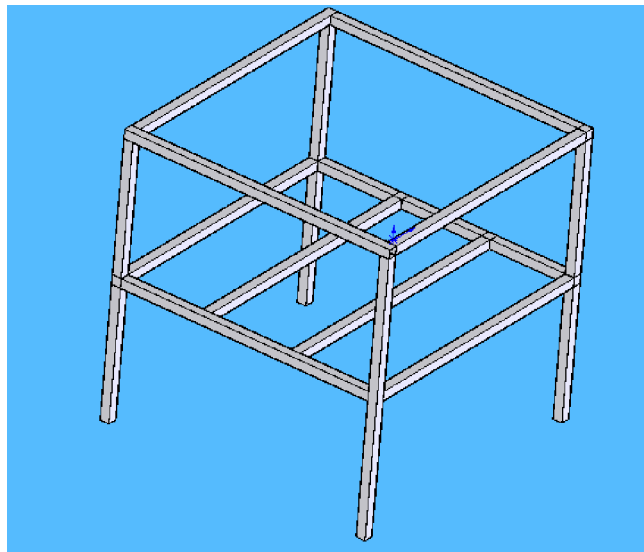
##### **Presión 1**

Como se ve en la grafica 4.21 la carga 1 actúa sobre 6 tubos de 86 cm. en tubos de 1.25" de lado. El área donde está la carga 1 es de  $0.1638 \text{ m}^2$ . Entonces la presión 1 es de 12845.3 Pa.

##### **Presión 2**

Como se ve en la grafica 4.21 la carga 2 actúa sobre 4 tubos de 86 cm. de largo y de 1.25" de lado. El área donde está la carga 2 es de  $0.1092 \text{ m}^2$ . Entonces la presión 2 es de 19268 Pa.

- Se creó el perfil tubo cuadrado de 1.25 pulg. x 1.5 mm. de espesor.
- Se dibujo la base estructural.



**Figura 4.21** Soporte base estructural.

- Asignamos las cargas de presión 1 sobre los elementos de la parte inferior

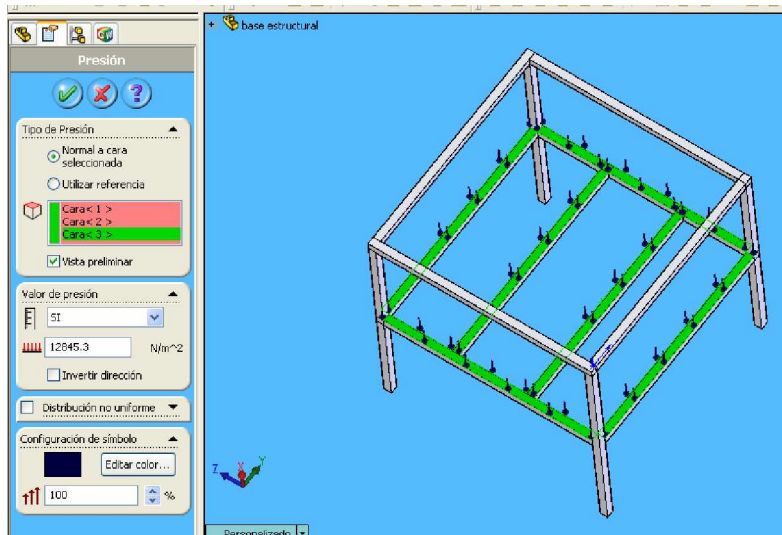


Figura 4.22 Asignación de carga de presión 1.

- Asignamos la carga de presión 2 sobre los elementos de la parte superior y ponemos restricciones fijas a los extremos inferiores de la base estructural.

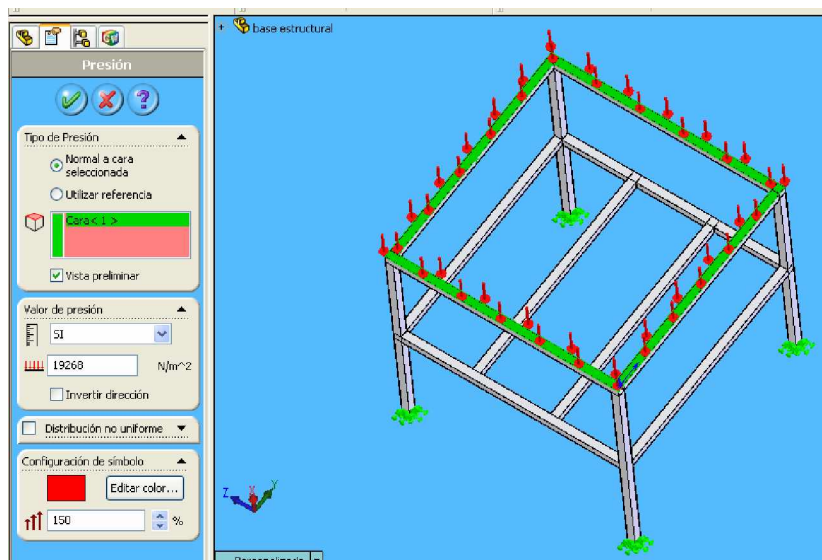


Figura 4.23 Asignación de de restricciones.

- Asignamos el material A-36 a la estructura y creamos el mallado.

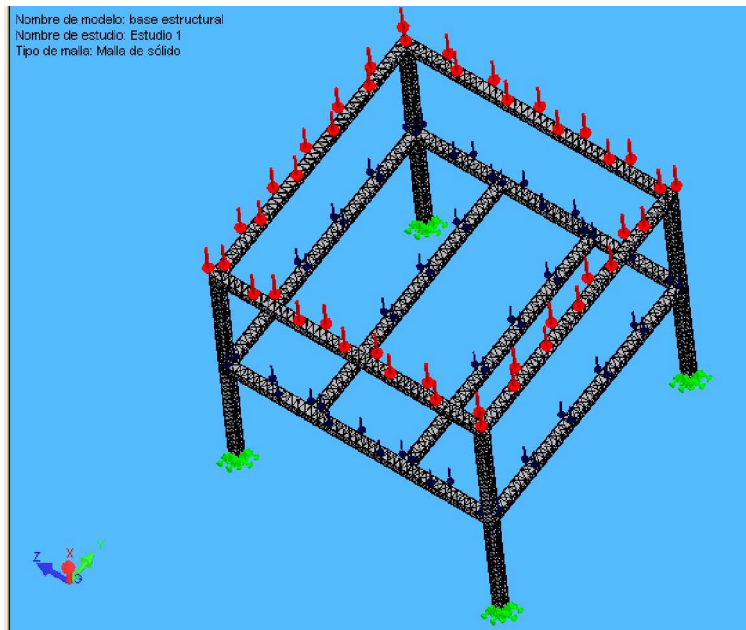


Figura 4.24 Ejecución de análisis.

## Resultados

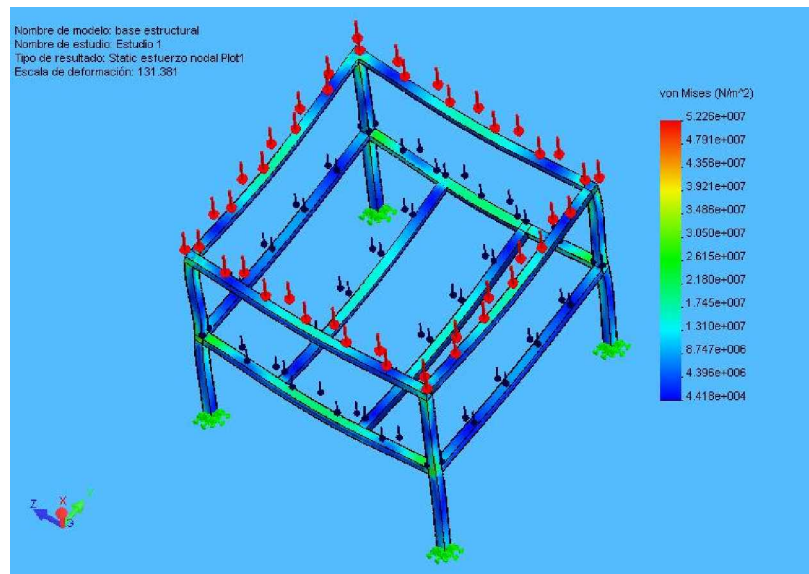
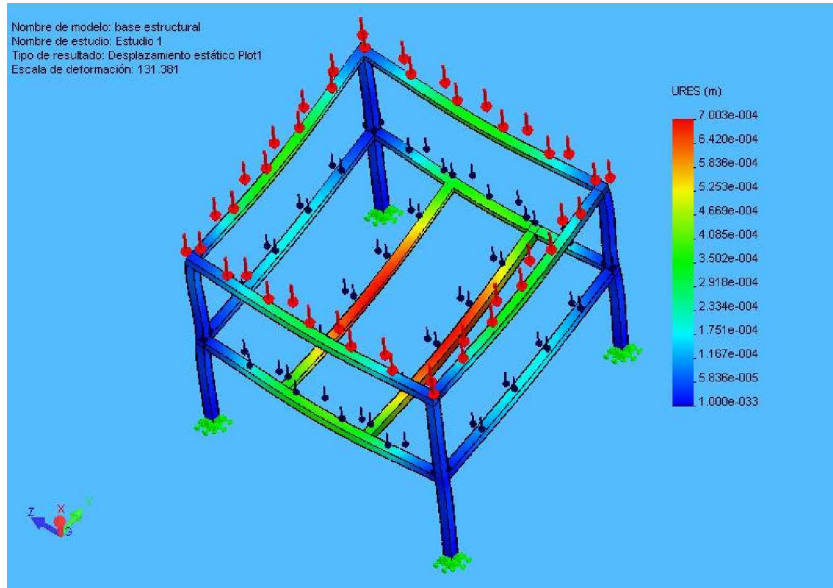
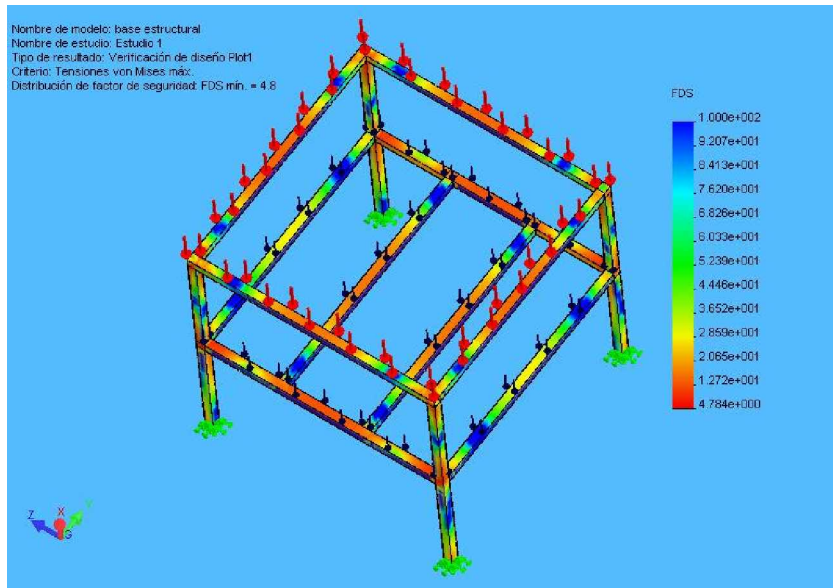


Figura 4.25 Resultados de esfuerzos



**Figura 4.26** Resultados de desplazamientos



**Figura 4.27** Resultados del factor de seguridad.

- Propiedades del material empleado en el análisis.

**Tabla 4.4** Tipo de material de análisis.

|  |                            |
|--|----------------------------|
| <b>Nombre de material:</b>                 | ASTM A36 Steel             |
| <b>Origen del material:</b>                | Archivos de biblioteca     |
| <b>Nombre de biblioteca de materiales:</b> | cosmos materials           |
| <b>Tipo de modelo del material:</b>        | Isotrópico elástico lineal |

**Tabla 4.5** Propiedades del acero A36.

| <b>Nombre de propiedad</b> | <b>Valor</b>          | <b>Unidades</b>   | <b>Tipo de valor</b> |
|----------------------------|-----------------------|-------------------|----------------------|
| Módulo elástico            | $2 \times 10^{11}$    | N/m <sup>2</sup>  | Constante            |
| Coefficiente de Poisson    | 0.26                  | NA                | Constante            |
| Módulo cortante            | $7.93 \times 10^{10}$ | N/m <sup>2</sup>  | Constante            |
| Densidad                   | 7850                  | kg/m <sup>3</sup> | Constante            |
| Límite de tracción         | $4 \times 10^8$       | N/m <sup>2</sup>  | Constante            |
| Límite elástico            | $2.5 \times 10^8$     | N/m <sup>2</sup>  | Constante            |

Como se puede observar el gráfico correspondiente al factor de seguridad, éste es de 4.8, lo cual indica que la base va a resistir las cargas además que no se encuentra sobredimensionada.

## CAPITULO 5

### CONSTRUCCIÓN

La construcción del presente proyecto contiene:

1. Construcción del sistema de calentamiento del aire.
2. Construcción de la cámara de secado.

**Tabla 5.1** Lista de materiales, implementos de seguridad e insumos usados en la construcción el horno secador.

| <b>Cant.</b> | <b>Unidad</b> | <b>Descripción</b>         |
|--------------|---------------|----------------------------|
| 35           | Kg.           | Mortero refractario        |
| 125          | Kg.           | Concreto refractario       |
| 1            | U             | Silicón transparente       |
| 2            | U             | Respirador gases tóxicos   |
| 2            | U             | Gafa protección clara      |
| 2            | U             | Faja lumbar "L"            |
| 1            | U             | Broca de cobalto 5/32"     |
| 1            | U             | Broca 3/16x3-1/2"          |
| 1            | U             | Broca de cobalto 1/4"      |
| 2            | U             | Disco desbaste 7"          |
| 2            | U             | Disco de corte 7"          |
| 1            | U             | Cepillo multiusos          |
| 1            | U             | Quemador a gas Marca Wayne |
| 50           | U             | Ladrillos refractarios     |
| 40           | m             | Cable concéntrico 2x12     |
| 1            | U             | Breaker 16 <sup>a</sup>    |
| 2            | U             | Pulsador verde             |
| 2            | U             | Pulsador rojo              |
| 2            | U             | Caja Csc                   |
| 1            | U             | Taípe                      |
| 3            | Gal           | Anticorrosivo              |
| 3            | Gal           | Pintura verde              |
| 2            | U             | Brochas blancas 2 1/2"     |
| 2            | U             | Guantes de cuero           |
| 10           | U             | Lija de agua               |
| 6            | Gal           | Thinner                    |
| 6            | Gal           | Envases                    |
| 8            | U             | Seguros mariposa           |



**Tabla 5.1** Lista de materiales, implementos de seguridad e Insumos usados en el horno. Continuación.



|     |                           |  |
|-----|---------------------------|--|
| 4   | U                         | Cilindros 15 kg                                  |
| 4   | U                         | Teflones   |
| 1   | U                         | Regulador 753B                                   |
| 1   | U                         | Regulador 914                                    |
| 1   | U                         | Reductor de 1/4x1/2 G-4                          |
| 1   | U                         | Neplo 122 1/4x1/4                                |
| 1   | U                         | Adaptador b-3 de 3/8                             |
| 1   | U                         | Bushing de 3/4x1/2                               |
| 1   | U                         | Adaptador b-3 de 1/2 bronce                      |
| 4   | m                         | Manguera 300 psi                                 |
| 2   | U                         | Abrazaderas de 1/2"                              |
| 1   | U                         | Control de temperatura                           |
| 10  | U                         | Tiradera niquelada                               |
| 2   | U                         | Tiradera 5 1/2"                                  |
| 200 | U                         | Remache 5/32x1/2"                                |
| 100 | U                         | Remache 3/16x3/4"                                |
| 5   | U                         | Broca HSS 5/32"                                  |
| 5   | U                         | Broca HSS 3/16"                                  |
| 7   | U                         | Bisagra 2"                                       |
| 4   | U                         | Sierra Grano fino                                |
| 4   | U                         | Sierra Grano grueso                              |
| 6   | U                         | Perno hexagonal                                  |
| 1   | U                         | Venterol   |
| 1   | U                         | Central 4ptos                                    |
| 4   | U                         | Ataques rápidos                                  |
| 3   | U                         | Laminas perforadas<br>e=1mm, perforación=10mm    |
| 3   | U                         | Laminas perforadas e=1,5 mm,<br>perforación=12mm |
| 24  | U(1"-e=1.5mm)             | Tubo redondo                                     |
| 22  | U(1 1/4"-e=1.5mm)         | Tubo cuadrado                                    |
| 5   | U(1"-e=1.5mm)             | Tubo cuadrado                                    |
| 12  | U(1,22x2,44m-<br>e=1/32") | Tool al frío                                     |
| 2   | U(1,22x2,44m-<br>e=1/8")  | Tool 3 mm  |
| 21  | U(1,22x2,44m-<br>e=1,1mm) | Tool al frío                                     |
| 2   | U(2x1m-e=1,5mm)           | Aluminio alto relieve                            |
| 4   | U(1"x2mm)                 | Angulo   |
| 2   | U(fundas)                 | Electrodos 60-11                                 |
| 1   | U(1/2")                   | Tubo hierro negro                                |
| 2   | U                         | Discos de corte                                  |
| 1   | U                         | Juego de Brocas                                  |
| 10  | U(Kg.)                    | Electrodos 60-11                                 |

**Tabla 5.1** Lista de materiales, implementos de seguridad e Insumos usados en el horno. Continuación.




|    |              |                     |
|----|--------------|---------------------|
| 1  | U            | Remachadora         |
| 2  | U            | Monogafas           |
| 2  | U            | Overoles            |
| 1  | U            | Guantes             |
| 16 | U(2,5x0,65m) | Lana de vidrio      |
| 2  | U            | Contactora          |
| 1  | U            | Rele térmico        |
| 1  | U            | Rele diferencial    |
| 2  | U            | Luz piloto rojo     |
| 1  | U            | Luz piloto verde    |
| 15 | U            | Cable flexible      |
| 1  | U            | Riel de Aluminio    |
| 1  | U            | Gabinete metálico   |
| 1  | U            | Caja térmica        |
| 1  | U            | Malla de amianto    |
| 2  | U            | Bloque de contactos |

**Tabla 5.2** Lista de equipos utilizados.

**Equipos:**

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Sierra de vaivén:</b></p>       | <p><b>Características:</b><br/>                 Longitud de la sierra: 14”<br/>                 Voltaje: 120 V<br/>                 Bomba de refrigeración<br/>                 Switch de fin de corte<br/>                 Motor eléctrico</p>  |
| <p><b>Guillotina para acero:</b></p>  | <p><b>Características:</b><br/>                 Panel de control eléctrico.<br/>                 Switch de encendido principal.<br/>                 Pedal para accionar el corte<br/>                 Corte máximo 2 mm de espesor.<br/>                 Voltaje: 220 V, Motor eléctrico.</p> |

**Tabla 5.2** Lista de equipos, herramientas e instrumentos de medida.  
Continuación.

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Mandrinadora Horizontal:</b></p>  | <p><b>Características:</b></p> <p>Tablero de control<br/>Switch de encendido principal.<br/>Volantes para avance manual longitudinal y transversal de la mesa.<br/>Volante regulador de altura del mandril.<br/>Voltaje: 220 V<br/>Bomba de refrigeración</p>                              |
| <p><b>Soldadora por puntos:</b></p>    | <p><b>Características:</b></p> <p>Tablero de control para el amperaje y tiempo de suelda.<br/>Switch de encendido principal<br/>Electrodos de cobre<br/>Pedestal<br/>Voltaje: 220 V<br/>Llave de paso de agua para refrigeración.</p>  |
| <p><b>Cortadora de plasma:</b></p>    | <p><b>Características:</b></p> <p>Tablero de control para el amperaje y tipo de operación a realizar (corte, perforación)<br/>Switch de encendido principal<br/>Alimentación de aire comprimido.<br/>Trampa de agua.<br/>Voltaje: 220 V o trifásico<br/>Amperaje: 20 A<br/>Peso 80 Kg.</p> |

**Tabla 5.2** Lista de equipos, herramientas e instrumentos de medida.  
Continuación.

|   |   |
|---|---|
| <p><b>Dobladora Manual Universal:</b></p>  | <p><b>Características:</b><br/>         Contrapesos en las dos palancas.<br/>         18 Muelas desplazables con pernos hexagonales.<br/>         Prensa láminas.</p>                                     |
| <p><b>Taladro de pedestal:</b></p>        | <p><b>Características:</b><br/>         Permite usar juego de brocas hasta 22 mm<br/>         Potencia:620 w<br/>         RPM:1725<br/>         Voltaje:110V<br/>         Amperaje: 10A</p>               |
| <p><b>Esmeril:</b></p>                   | <p><b>Características:</b><br/>         RPM:1720<br/>         HP:1<br/>         Voltaje:110V<br/>         Amperaje: 8A</p>  |
| <p><b>Amoladora:</b></p>                 | <p><b>Características:</b><br/>         Se puede usar disco de corte y desbaste, hasta 18 cm de diámetro.<br/>         Potencia:2000 w<br/>         Amperaje: 17.2A<br/>         Frecuencia: 50-60 Hz</p> |

**Tabla 5.3 Instrumentos utilizados.**

| Ord. | Instrumento          | Características |
|------|----------------------|-----------------|
| 1    | – Flexo metro        | (3m)            |
| 2    | – Escuadra           | (15 cm – 90°)   |
| 3    | – Nivel              | (imantado)      |
| 4    | – Compás de puntas   | (1m de radio)   |
| 5    | – Regla de ingeniero | (30 cm )        |

**Tabla 5.4 Herramientas manuales utilizadas.**

| Ord. | Herramientas         | Características     |
|------|----------------------|---------------------|
| 1    | – Sierra             | Grano fino y grueso |
| 2    | – Martillo           | 20 Lb               |
| 3    | – Desarmadores       | Plano y de estrella |
| 4    | – Playo              | A presión           |
| 5    | – Soplete            | 1/4 de gal.         |
| 6    | – Rayador            | Para acero          |
| 7    | – Granete            | Para acero          |
| 8    | – Dobladora de tubos | Para tubos de 1"    |
| 9    | – Tijeras            | Para tool           |

## **5.1. Construcción del sistema de calentamiento del aire**

El sistema de calentamiento del aire esta compuesta de tres partes o módulos fundamentales que son:

- Módulo de la cámara de combustión.
- Módulo del intercambiador de calor.
- Módulo del tiro.

### **5.1.1 Modulo de la cámara de combustión.**

La estructura principal del intercambiador de calor esta fabricada por tubería cuadrada de 1 ¼"x 1.5 mm recubierta interior y exteriormente por laminas de 3 mm y 1.1 mm respectivamente. Intermedio de dichas planchas consta de una pared aislante de lana de vidrio de 2". Adicionalmente la

cámara de combustión esta cubierta internamente a nivel de pared y piso con ladrillo refractario. La figura 5.2 muestra la cámara de combustión.

Adicionalmente dicha cámara deberá contener un orificio de 4" para el ingreso de la boquilla del quemador a gas. Y un ángulo de 1" el cual servirá para asentar el módulo del intercambiador de calor en su parte superior.

El diagrama de operaciones y el de procesos, referente a la cámara de combustión se muestra en los anexos B y C, respectivamente.



**Figura 5.1** Comprobación de medidas.



**Figura 5.2** Cámara de combustión



**Figura 5.3** Cámara de combustión con ladrillo refractario.

### **5.1.2 Módulo del intercambiador de calor.**

El objetivo de la elaboración de este intercambiador de calor es de que los gases de combustión calienten al aire que viaja a través de los tubos (22 tubos de 1" de diámetro y  $e= 1.5$  mm, mostrados en la Figura 5.7) que están provistos de curvaturas de 23 cm de diámetro que da como resultado 5 pasos de tubería y con un arreglo triangular; el aire que ingresa es esta temperatura ambiente  $25$  °C al inicio y sale a  $120$  °C aproximadamente.

El ingreso del aire se lo logra gracias a un venterol centrífugo de 4" y a un sistema de admisión de aire ambiente, su forma cónica elaborada con lamina de 1.1 mm. Igualmente las paredes tienen láminas de 3 mm de espesor interiormente y 1.1 mm exteriormente; y entre estas láminas se colocara la lana de vidrio 2". En las láminas de 3 mm de espesor fue necesario realizar las perforaciones con el taladro de pedestal hasta un diámetro de 22 mm y con la mandrinadora las perforaciones de 25 mm (ó 1"); en la Figura 5.5 podemos observar lo antes mencionado.



En cambio en la Figura 5.6 se visualiza la lámina de 3 mm con sus 22 perforaciones, mientras que en la Figura 5.7 observamos la intercambiador de flujo cruzado con sus respectivos tubos.

El diagrama de operaciones y el de procesos, referente a la construcción del intercambiador de calor se muestran en los anexos B y C, respectivamente.



**Figura 5.4** Tubo de 1" con 5 pasos para el intercambiador de calor.



**Figura 5.5** Perforaciones de 1" utilizando la mandrinadora.





**Figura 5.6** Lámina de 3 mm con 22 perforaciones de 1”.



**Figura 5.7** Intercambiador de calor.

### **5.1.3 Módulo del tiro.**

La finalidad de tiro es la evacuación de los gases de combustión, su construcción se lo realizo con tol de 1.1 mm de espesor y cabe resaltar que no lleva ningún aislante térmico.

En figura 5.8 se muestra parte del tiro.

El diagrama de operaciones y el de procesos, referente a la construcción del tiro se muestran en los anexos B y C, respectivamente.



**Figura 5.8** Tiro.



**Figura 5.9** Suelda del tiro.



**Figura 5.10** Tiro acoplado al intercambiador de calor.

## 5.2. Construcción de la cámara de secado.

Esta conformada por cuatro bandejas, tres de las cuales constan de malla de amianto deslizadas por rodillos metálicos, con la característica de que estas bandejas poseen un mecanismo que al momento de halarlas hacen que la malla de amianto se traslade a forma de banda permitiendo la caída del producto a la siguiente bandeja, una bandeja de recolección con malla metálica, tres compuertas de inspección visual, una compuerta de evacuación de humedad y una compuerta de alimentación; la estructura principal de la cámara esta fabricada por tubería cuadrada de 1 ¼"x 1.5 mm recubierta interior y exteriormente por paneles de 1.1 mm. Y 0.8 mm. respectivamente. Intermedio de dichas planchas consta de una pared aislante de lana de vidrio de 2".

Primeramente se procedió a elaborar la estructura con tubos cuadrados de 1 ¼ " y de 1", posteriormente se soldó los tubos comprobando que las medidas estén de acuerdo a los planos.



**Figura 5.11** Corte de tubos



**Figura 5.12** Suelda de los tubos 1 ¼" y 1"



**Figura 5.13.** Estructura de la cámara de secado.

Una vez armada la estructura se corto y doblo las laminas de 1.1 y 0.8 mm, para posteriormente soldarlas a dicha estructura con su respectiva lana de vidrio.



**Figura 5.14** Doble de las láminas.



**Figura 5.15** Lamina con lana de vidrio.



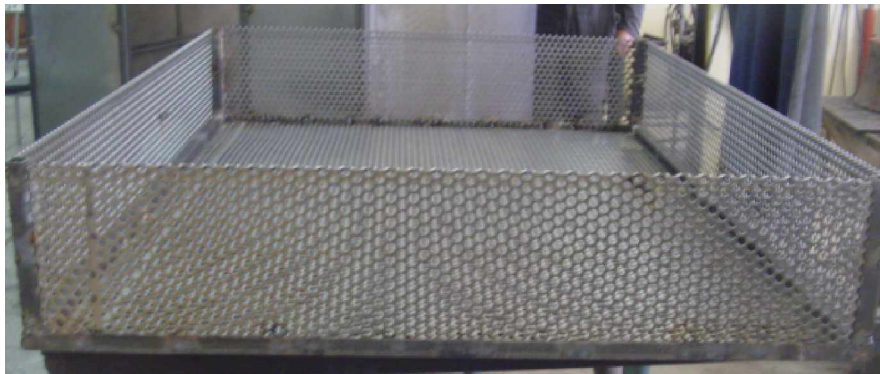
**Figura 5.16** Ensamble de la cámara de secado.



Finalmente se construye las compuertas de inspección, las bandejas alojamiento y recolección. Cabe decir que las de alojamiento son las únicas que poseen malla de amianto y estas se desplazan sobre rieles laterales colocadas en el interior de la cámara.



**Figura 5.17** Bandeja de alojamiento con malla de amianto.



**Figura 5.18** Bandeja de recolección.

## CAPITULO 6

### MONTAJE Y PRUEBAS

#### 6.1 Montaje.

El montaje o instalación del horno secador de capullos de seda se lo realizo en el sitio asignado para la operación, (Hacienda Zoila Luz). De acuerdo al siguiente procedimiento:

1. Colocación de los ladrillos refractarios a nivel de piso y pared.



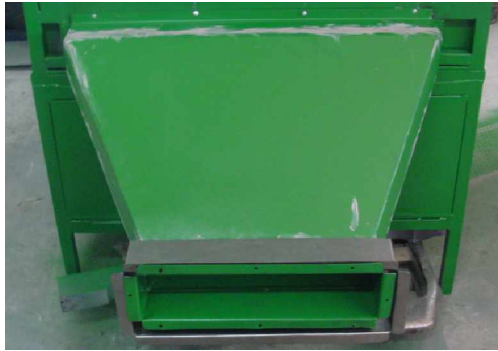
**Figura 6.1** Pegada de ladrillos refractarios.

2. Colocación de los módulos correspondientes al intercambiador de calor, del tiro y venterol.



**Figura 6.2** Montaje del intercambiador de calor.

3. Colocación de la manga de salida del aire caliente.



**Figura 6.3** Manga de salida.

4. Acople con la cámara de secado.



**Figura 6.4** Cámara de secado.

5. Instalación del sistema de gas.



**Figura 6.5** Centralina Italiana de cuatro tomas.



## 6. Comprobación de fugas



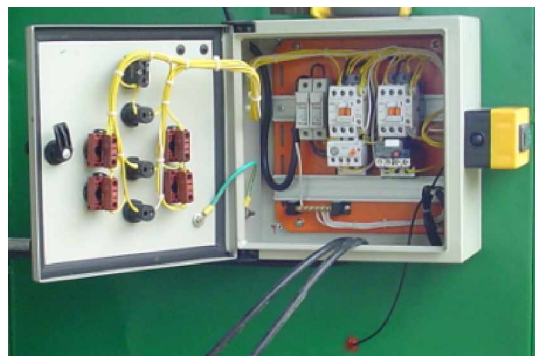
**Figura 6.6** Manómetro de 25 bar .

## 7. Colocación del quemador



**Figura 6.7** Quemador a gas electrónico.

## 8. Instalación del panel de control



**Figura 6.8** Panel de Control.

9. Colocación de empaques



**Figura 6.9** Empaques.

10. Ensamblaje



**Figura 6.10** Horno secador de capullos de seda operando.

## 6.2 Pruebas.

Para realizar las pruebas de la secadora de capullos de seda, se plantean los siguientes objetivos:

- Comprobar el funcionamiento de la cámara de secado.
- Obtener el grado de secado de los capullos luego de la jornada de secado (8 horas).

## 6.3 Parámetros y variables.

Luego del montaje se procedió a realizar las pruebas para comprobar el funcionamiento del horno secador.

Con el fin de cumplir con los objetivos planteados, es necesario fijar los parámetros y variables a utilizarse, los mismos que se indican a continuación:

- Temperatura de operación en la cámara de secado.  $T_{op}$ . (°C)
- Masa de capullos.  $M_{cap}$ . (Kg)
- Tiempo de secado.  $t_s$  (h)

## 6.4 Equipos e instrumentos.

El equipo utilizado es el horno secador de capullos de seda, constituido por las siguientes partes:

- **Cámara de secado.**

Conformada por cuatro bandejas, tres de las cuales constan de malla de amianto deslizadas por rodillos metálicos, una bandeja de recolección

con malla metálica, tres compuertas de inspección visual, una compuerta de evacuación de humedad y una compuerta de alimentación

– **Intercambiador de calor.**

Conformada de tres partes cámara de combustión, intercambiador y tiro

– **Sistema de combustión.**

Conformado por un quemador electrónico, centralina con manómetro de 25 bares, cuatro tomas con ataques rápidos, mangueras y cilindros de gas.

– **Sistema de arranque eléctrico.**

Cuenta con tablero de control y controlador de temperatura. En el anexo E se indica el diagrama eléctrico.

– **Sistema de suministro del aire.**

Consta de un ventilador centrífugo, ducto cónico que conecta el ventilador con el intercambiador de calor y una manga en forma de z invertida que conecta el intercambiador de calor con la cámara de secado.

Los instrumentos a utilizarse para el registro de los diferentes datos son:

– Controlador de temperatura.

Marca: Fullgauge Control.

Rango: -50 a 105 °C.

Apreciación: 0.1 °C.

- Balanza digital.

Marca: Ohaus.

Rango: 0 a 3000 g.

Apreciación: 0.01 g.

- Cronómetro.

## **6.5 Procedimiento.**

Se procedió a realizar las pruebas de secado de los capullos de seda de la siguiente manera:

- Pesar aproximadamente 10 kg. de capullos. Esta carga es la establecida por bandeja.
- Poner en funcionamiento la secadora y esperar que la temperatura llegue a los 80 °C (aproximadamente 40 minutos) antes de cargar el producto.

El procedimiento a seguir para poner en funcionamiento el secador, se indica en el respectivo manual, tal como se indica en el anexo E.

- Cargar el producto por la compuerta de alimentación y distribuir los capullos de manera uniforme en aquella bandeja.
- Luego de dos horas, halar la bandeja donde se hallan los capullos para que caigan en la segunda bandeja, enseguida cargar la bandeja vaciada, tal como se explico en el paso anterior.

- Transcurrido dos horas mas, halar la segunda y primera bandeja respectivamente y cargar otros 10 kg.
- Luego de dos horas, halar la tercera, segunda y primera bandeja respectivamente y cargar otros 10 kg.
- Transcurrido dos horas mas, es decir luego de 8 horas de que se inicio el ingreso de la primera carga se debe halar la cuarta bandeja y se retira los capullos secos del secador, para luego repetir el paso anterior. Y así sucesivamente.

## 6.6 Evaluación de resultados

En cuanto al funcionamiento del quemador, el cual se energiza por medio del controlador de temperatura, el mismo que sensa la temperatura de operación de secado (cámara de secado), tuvo el siguiente comportamiento.

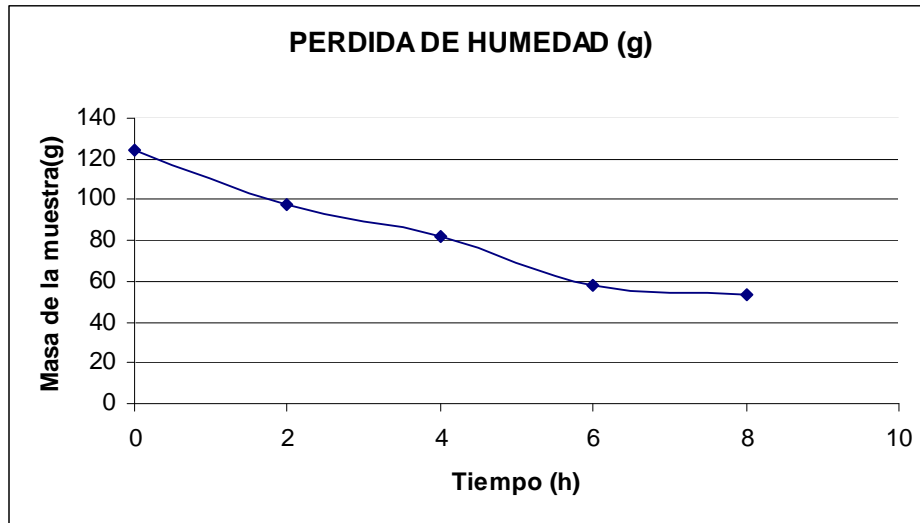
| Tiempo(min) | Temperatura (°C) | Observaciones   |
|-------------|------------------|-----------------|
| 0           | 25               | Inicio/ OK      |
| 40          | 80               | Se apago/OK     |
| 44          | 79.8             | Se encendió/ OK |
| 58          | 80               | Se apago/OK     |
| 62          | 79.8             | Se encendió/ OK |

**Tabla 6.1** Comportamiento del quemador

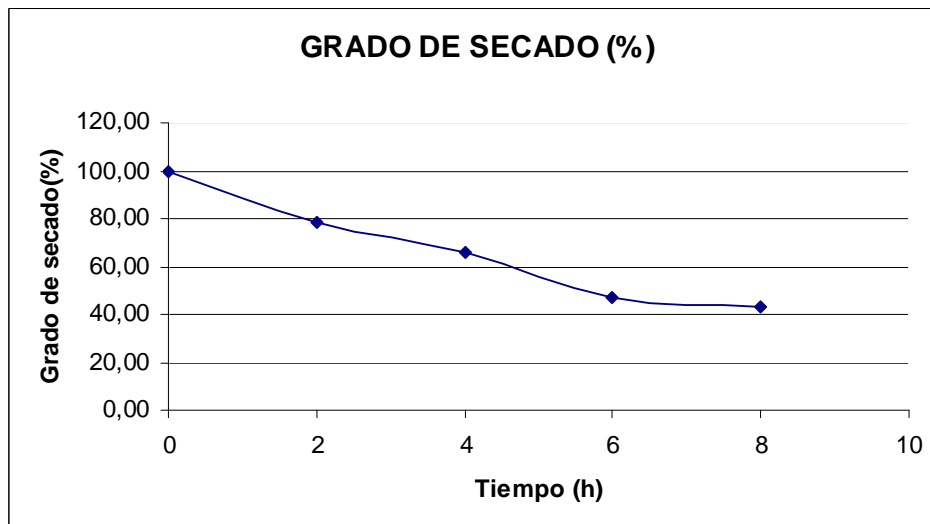
El tiempo de secado de los capullos de seda, en forma general se puede decir que son de alrededor de 8 horas. A lo largo de ese tiempo se tomo una muestra de 50 capullos de seda cada dos horas, para determinar el secado de los mismos, tal como de indica en la tabla 6.2 y graficas 6.1 y 6.2.

**Tabla 6.2** Grado de secado de los capullos.

| Muestra de 50 capullos. |                       |                     |
|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| t(h)                    | Masa de la muestra(g) | Grado de secado (%) |
| 0                       | 124,43                | 100,00              |
| 2                       | 97,68                 | 78,50               |
| 4                       | 82,3                  | 66,14               |
| 6                       | 58,2                  | 46,77               |
| 8                       | 53,23                 | 42,78               |



**Figura 6.11.** Pérdida de humedad de la muestra



**Figura 6.12.** Grado de secado de la muestra.

Como se puede ver en la figura 6.2, al término de la jornada de 8 horas se obtiene un grado de secado de alrededor del 42 %, lo cual concuerda con el porcentaje de secado requerido para los capullos de seda (37 al 42%).



## CAPITULO 7

### ANÁLISIS ECÓNOMICO – FINANCIERO

#### 7.1. Análisis económico.

En el análisis económico se menciona los costos incurridos en el proyecto tales como: materia prima, insumos, remuneraciones, instalaciones, maquinas herramientas

**Tabla 7.1** Honorarios profesionales

| No.          | Posición                | Valor total |
|--------------|-------------------------|-------------|
| 1            | Director del proyecto   | 600         |
| 2            | Codirector del proyecto | 600         |
| <b>Total</b> |                         | <b>1200</b> |

**Tabla 7.2** Aporte de estudiantes

| No.          | Posición   | Valor total |
|--------------|------------|-------------|
| 1            | Estudiante | 1.000       |
| 2            | Estudiante | 1.000       |
| <b>Total</b> |            | <b>2000</b> |

**Tabla 7.3** Remuneración a no profesionales

| Cant.        | Posición | Tiempo [Horas] |
|--------------|----------|----------------|
| 1            | Soldador | 200            |
| <b>Total</b> |          | <b>200</b>     |

**Tabla7.4** Misceláneos

| Materiales               | Valor       |
|--------------------------|-------------|
| Útiles de oficina        | 200         |
| Transporte personal      | 500         |
| Servicios básicos        | 100         |
| Viáticos y subsistencias | 400         |
| Planos                   | 50          |
| Otros gastos             | 30          |
| <b>Total</b>             | <b>1280</b> |

Total de los rubros de ingeniería y administración.

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| <b>Subtotal 1</b> | <b>4680</b> |
|-------------------|-------------|

### Adquisición de materiales.

En la siguiente tabla se encuentran los costos de los materiales que forman parte de la construcción del horno secador.

**Tabla 7.5** Costos de materiales para la construcción del Horno.

| <b>Cant.</b> | <b>U</b> | <b>Descripción</b>       | <b>PU</b> | <b>TOTAL</b> |
|--------------|----------|--------------------------|-----------|--------------|
| 35           | Kg.      | Mortero refractario      | 0,87      | 30,45        |
| 125          | Kg.      | Concreto refractario     | 1,05      | 131,25       |
| 1            | U        | Silicón transparente     | 1,5       | 1,5          |
| 2            | U        | Respirador gases tóxicos | 2,49      | 4,98         |
| 2            | U        | Gafa protección clara    | 2,4       | 4,8          |
| 2            | U        | Faja lumbar "L"          | 8,92      | 17,84        |
| 1            | U        | Broca de cobalto 5/32"   | 2,67      | 2,67         |
| 1            | U        | Broca 3/16x3-1/2"        | 3,65      | 3,65         |
| 1            | U        | Broca de cobalto 1/4"    | 6,24      | 6,24         |
| 2            | U        | Disco desbaste 7"        | 2,85      | 5,7          |
| 2            | U        | Disco de corte 7"        | 5,32      | 10,64        |
| 1            | U        | Cepillo multiusos        | 3,11      | 3,11         |
| 1            | U        | Quemador Marca Wayne     | 700       | 700          |
| 50           | U        | Ladrillos refractarios   | 3,21      | 160,5        |
| 40           | M        | Cable concéntrico 2x12   | 1,64      | 65,6         |
| 1            | U        | Breaker 16A              | 4,55      | 4,55         |
| 2            | U        | Pulsador verde           | 9,25      | 18,5         |
| 2            | U        | Pulsador rojo            | 9,25      | 18,5         |
| 2            | U        | Caja Csc                 | 2,55      | 5,1          |
| 1            | U        | Taípe                    | 0,6       | 0,6          |
| 3            | Gal      | Anticorrosivo            | 10,89     | 32,67        |
| 3            | Gal      | Pintura verde            | 13,19     | 39,57        |
| 2            | U        | Brochas blancas 2 1/2"   | 1,24      | 2,48         |
| 2            | U        | Guantes de cuero         | 1,78      | 3,56         |
| 10           | U        | Lija de agua             | 0,23      | 2,3          |
| 6            | Gal      | Thinner                  | 4,23      | 25,38        |
| 6            | Gal      | Envases                  | 0,36      | 2,16         |
| 8            | U        | Seguros mariposa         | 2,78      | 22,24        |
| 4            | U        | Cilindros 15 Kg.         | 34        | 136          |
| 4            | U        | Teflones                 | 0,22      | 0,88         |
| 1            | U        | Regulador 753B           | 9,82      | 9,82         |
| 1            | U        | Regulador 914            | 9,82      | 9,82         |
| 1            | U        | Reductor de 1/4x1/2 G-4  | 2,67      | 2,67         |

| <b>Tabla 7.5</b> Costos de materiales para la construcción del Horno. Continuación |                     |   |        |        |
|--|---------------------|---|--------|--------|
| 1  | U                   | Neplo 122 1/4x1/4                               | 1,16   | 1,16   |
| 1  | U                   | Adaptador b-3 de 3/8                            | 1,7    | 1,7    |
| 1  | U                   | Bushing de 3/4x1/2                              | 3,3    | 3,3    |
| 1  | U                   | Adaptador b-3 de 1/2<br>bronce                  | 2,32   | 2,32   |
| 4  | M                   | Manguera 300 psi                                | 1,07   | 4,28   |
| 2  | U                   | Abrazaderas de 1/2"                             | 0,53   | 1,06   |
| 1  | U                   | Control de temperatura                          | 73     | 73     |
| 10   | U                   | Tiradera niquelada                              | 0,19   | 1,9    |
| 2  | U                   | Tiradera 5 1/2"                                 | 4,11   | 8,22   |
| 200  | U                   | Remache 5/32x1/2"                               | 0,02   | 4      |
| 100  | U                   | Remache 3/16x3/4"                               | 0,04   | 4      |
| 5  | U                   | Broca HSS 5/32"                                 | 0,19   | 0,95   |
| 5  | U                   | Broca HSS 3/16"                                 | 0,25   | 1,25   |
| 7  | U                   | Bisagra 2"                                      | 0,72   | 5,04   |
| 4  | U                   | Sierra Grano fino                               | 1,66   | 6,64   |
| 4  | U                   | Sierra Grano grueso                             | 1,66   | 6,64   |
| 6  | U                   | Perno hexagonal                                 | 0,24   | 1,44   |
| 1  | U                   | Venterol  | 106,91 | 106,91 |
| 1  | U                   | Central 4ptos                                   | 130,35 | 130,35 |
| 4  | U                   | Ataques rápidos                                 | 10     | 40     |
| 3  | U                   | Laminas perforadas<br>e=1mm,perforación=10mm    | 38     | 114    |
| 3  | U                   | Laminas perforadas e=1,5<br>mm,perforación=12mm | 53     | 159    |
| 24   | U(1"x1.5mm)         | Tubo redondo                                    | 6,13   | 147,12 |
| 22   | U(11/4"x1.5mm)      | Tubo cuadrado                                   | 9,48   | 208,56 |
| 5  | U(1"x1.5mm)         | Tubo cuadrado                                   | 7,43   | 37,15  |
| 12   | U(1,22x2,44mx1/32") | Tool al frió                                    | 14,89  | 178,68 |
| 2  | U(1,22x2,44x1/8")   | Tool 3 mm                                       | 62,52  | 125,04 |
| 21   | U(1,22x2,44mx1,1mm) | Tool al frió                                    | 23,72  | 498,12 |
| 2  | U(2x1mx1,5mm)       | Aluminio alto relieve                           | 39,9   | 79,8   |
| 4  | U(1"x2mm)           | Angulo  | 4,53   | 18,12  |
| 2  | U(fundas)           | Electrodos 60-11                                | 9,5    | 19     |
| 1  | U(1/2")             | Tubo hierro negro                               | 7,8    | 7,8    |
| 2  | U                   | Discos de corte                                 | 2,36   | 4,72   |
| 1  | U                   | Juego de Brocas                                 | 16,83  | 16,83  |
| 10   | U(Kg.)              | Electrodos 60-11                                | 2,75   | 27,5   |
| 1  | U                   | Remachadora                                     | 13,31  | 13,31  |
| 2  | U                   | Monogafas                                       | 1,77   | 3,54   |
| 2  | U                   | Overoles  | 31,7   | 63,4   |
| 1  | U                   | Guantes   | 3,5    | 3,5    |
| 16   | U(2,5x0,65m)        | Lana de vidrio                                  | 7,93   | 126,88 |
| 2  | U                   | Contactador                                     | 12,87  | 25,74  |
| 1  | U                   | Rele térmico                                    | 8,5    | 8,5    |
| 1  | U                   | Rele diferencial                                | 21,9   | 21,9   |
| 2  | U                   | Luz piloto rojo                                 | 1,8    | 3,6    |
| 1  | U                   | Luz piloto verde                                | 1,8    | 1,8    |
| 15   | U                   | Cable flexible                                  | 0,24   | 3,6    |
| 1  | U                   | Riel de Aluminio                                | 3,22   | 3,22   |
| 1  | U                   | Gabinete metálico                               | 32,86  | 32,86  |

| <b>Tabla 7.5</b> Costos de materiales para la construcción del Horno. Continuación. |   |                     |                 |                |
|---|---|---------------------|-----------------|----------------|
| 1   | U | Caja térmica        | 7,56            | 7,56           |
| 1   | U | Malla de amianto    | 250             | 250            |
| 2   | U | Bloque de contactos | 1,9             | 3,8            |
|   |   |                     | <b>SUBTOTAL</b> | <b>4104,54</b> |
|   |   |                     | 12%IVA          | 492,54         |
|   |   |                     | <b>TOTAL</b>    | <b>4597,08</b> |

**Tabla 7.6** Otros costos directos

| <b>Cant.</b> | <b>Descripción</b>    | <b>Costo total</b> |
|--------------|-----------------------|--------------------|
| 1            | Instalaciones         | 250                |
| 1            | Maquinas herramientas | 800                |
| <b>Total</b> |                       | <b>1.050</b>       |

Total de adquisición de materiales.

|                   |                    |
|-------------------|--------------------|
| <b>Subtotal 2</b> | <b>\$ 5.647,08</b> |
|-------------------|--------------------|

Para los imprevistos se tomó un 10% de los totales de ingeniería, administración y adquisición de materiales.

|                    |                |
|--------------------|----------------|
| <b>Imprevistos</b> | <b>1032,71</b> |
|--------------------|----------------|

El costo final del proyecto es:

|                      |               |
|----------------------|---------------|
| <b>TOTAL GENERAL</b> | <b>11.360</b> |
|----------------------|---------------|

## **7.2 Consumo energético.**

Para el mes de agosto del 2007 se tiene un valor de 0.15 USD por Kg. de GLP, precio que incluye IVA y transportación. A continuación vamos a determinar cuantos Kg. de GLP son necesarios para el secado del producto durante un año.

Horas de trabajo del horno= 30h\*4semanas\*12meses=1440 horas

Se consumen un cilindro por cada 10h de secado:

$$N^{\circ} \text{ de cilindros} = 1440/10 = 144 \text{ cilindros}$$

Bajo petición de los interesados ocupamos cilindros de 15 Kg. cabe decir que tienen subsidio general del estado.

$$Kg_{GLP} = 144 \text{ cilindros} \times 15 \text{kg} = 2160 \text{ kg.}$$

$$2160 \text{ Kg} \times 0.15 \$/ \text{ Kg} = 324 \text{ USD}$$

El consumo total eléctrico de los equipos es de 6A valor obtenido por un amperímetro. Los equipos mencionados son: venterol, controlador de temperatura y quemador principalmente.

$$P = IV$$

$$P = 6A \times 110V$$

$$P = 660 (W)$$

*Potencia total*

$$P_T = 660(W) \times 1440(h)$$

$$P_T = 950400 \text{ Wh}$$

$$P_T = 950.4 \text{ kWh}$$

El precio del Kwh. esta en 0.0858 USD

$$\text{Costo} = 950.4 \frac{\text{kWh}}{\text{h}} \times 0.0858 \text{ USD}$$

$$\text{Costo} = 81.54 \text{ USD}$$

### 7.3 Análisis financiero.

La siguiente tabla muestra las fuentes de financiamiento correspondientes a la elaboración del proyecto.

**Tabla 7.7** Fuente de financiamiento.

| Fuente de financiamiento | Efectivo USD | % efectivo | Tiempo USD  | % tiempo   | Total USD     |
|--------------------------|--------------|------------|-------------|------------|---------------|
| CIME ESPE                | 0            | 0          | 1050        | 30         | 1.050         |
| IASA ESPE                | 6630         | 84         | 0           | 0          | 6.630         |
| DIRECTORES               | 0            | 0          | 1200        | 35         | 1.200         |
| ESTUDIANTES              | 1280         | 16         | 1200        | 35         | 2.480         |
| <b>TOTALES</b>           | <b>7910</b>  | <b>100</b> | <b>3450</b> | <b>100</b> | <b>11.360</b> |

### 7.3.1 Valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR).

Para poder determinar la tasa interna de retorno, para el presente proyecto, se considera una vida útil de 10 años, teniendo en cuenta que el horno con un buen mantenimiento puede estar en funcionamiento por más años.

El método de depreciación usado es el método uniforme o de línea recta.

| Depreciación              | HORNO |
|---------------------------|-------|
| Tiempo = 10 años          |       |
| <b>Vi (valor inicial)</b> | 11360 |
| <b>Vf (valor final)</b>   | 2000  |

La TIR (Tasa interna de retorno) se calculó con las fórmulas<sup>36</sup> 7.1 y 7.2, igualando el valor actual neto a cero.

$$VAN = \sum_{i=1}^n \frac{FNC_n}{(1+r)^n} \quad (7.1)$$

$$TIR = VAN = \sum_{i=1}^n \frac{FNC_n}{(1+r)^n} = 0 \quad (7.2)$$

Donde:

<sup>36</sup> Apuntes en clase de Ingeniería Económica y Financiera, Ingeniero Miguel Arias, 2005.

VAN: Valor actual neto.

FNCi: Flujo neto de caja en cada período.

TIR: Tasa interna de retorno.

r: Tasa de interés.

**Tabla 7.8** Tabla de ingresos y egresos.

| INGRESOS | \$    | EGRESOS       | \$    |
|----------|-------|---------------|-------|
| Ventas   | 23040 | Energía       |       |
|          |       | -Eléctrica    | 81,54 |
|          |       | -GLP          | 324   |
|          |       | MPD           | 13440 |
|          |       | MOD           | 2400  |
|          |       | Depreciación  | 936   |
|          |       | Mantenimiento | 100   |

**Tabla 7.9** Ingresos y egresos en 10 años.

| Tasa de interés anual (%) |             | 10         |       |      |         |       |          |  |
|---------------------------|-------------|------------|-------|------|---------|-------|----------|--|
|                           | INGRESOS \$ | EGRESOS \$ |       |      |         |       |          |  |
| Periodo (años)            | Ventas      | Energía    | MPD   | MOD  | Deprec. | Mtto. | TOTAL    |  |
| 0                         | 0           | 0          | 0     | 0    | 0       | 0     | 0        |  |
| 1                         | 23040       | 405,54     | 13440 | 2400 | 936     | 100   | 17281,54 |  |
| 2                         | 23040       | 405,54     | 13440 | 2400 | 936     | 100   | 17281,54 |  |
| 3                         | 23040       | 405,54     | 13440 | 2400 | 936     | 100   | 17281,54 |  |
| 4                         | 23040       | 405,54     | 13440 | 2400 | 936     | 100   | 17281,54 |  |
| 5                         | 23040       | 405,54     | 13440 | 2400 | 936     | 100   | 17281,54 |  |
| 6                         | 23040       | 405,54     | 13440 | 2400 | 936     | 100   | 17281,54 |  |
| 7                         | 23040       | 405,54     | 13440 | 2400 | 936     | 100   | 17281,54 |  |
| 8                         | 23040       | 405,54     | 13440 | 2400 | 936     | 100   | 17281,54 |  |
| 9                         | 23040       | 405,54     | 13440 | 2400 | 936     | 100   | 17281,54 |  |
| 10                        | 23040       | 405,54     | 13440 | 2400 | 936     | 100   | 17281,54 |  |

### Cálculo del valor actual neto.

La tasa de interés anual en fracción es:

$$r := .1$$

$I_0 := 11360$  Valor inicial de la inversión inicial

$$VAN := -I_0 + \frac{FNC_0}{(1+r)^1} + \frac{FNC_1}{(1+r)^2} + \frac{FNC_2}{(1+r)^3} + \frac{FNC_3}{(1+r)^4} + \frac{FNC_4}{(1+r)^5} + \frac{FNC_5}{(1+r)^6} + \frac{FNC_6}{(1+r)^7} + \frac{FNC_7}{(1+r)^8} + \frac{FNC_8}{(1+r)^9} + \frac{FNC_9}{(1+r)^{10}}$$

VAN = 24023.244

El VAN calculado es positivo, por lo tanto la rentabilidad de la inversión esta por encima de la tasa de interés anual.

### Cálculo de la tasa interna de retorno.

Giver

$$0 = -I_0 + \frac{FNC_1}{(1+r)^1} + \frac{FNC_2}{(1+r)^2} + \frac{FNC_3}{(1+r)^3} + \frac{FNC_4}{(1+r)^4} + \frac{FNC_5}{(1+r)^5} + \frac{FNC_6}{(1+r)^6} + \frac{FNC_7}{(1+r)^7} + \frac{FNC_8}{(1+r)^8} + \frac{FNC_9}{(1+r)^9} + \frac{FNC_{10}}{(1+r)^{10}}$$

TIR:= Find(r)

TIR = 0.498      49.8 % Anual

**Tabla 7.10** Flujo neto de caja.

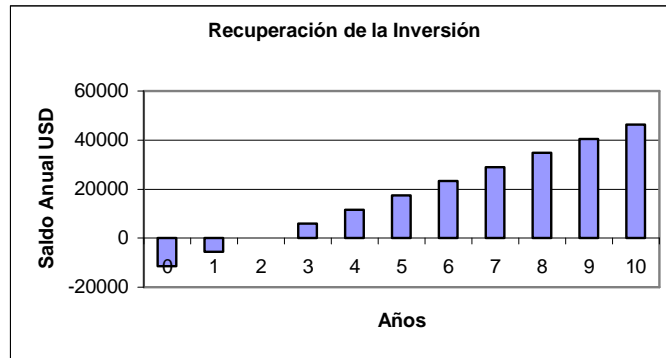
| Periodo (años) | INVERSIÓN | FNC     | VAN       | TIR   |
|----------------|-----------|---------|-----------|-------|
| 0              | 11360     | 0       | 24023.244 | 49.8% |
| 1              | 0         | 5758,46 |           |       |
| 2              | 0         | 5758,46 |           |       |
| 3              | 0         | 5758,46 |           |       |
| 4              | 0         | 5758,46 |           |       |
| 5              | 0         | 5758,46 |           |       |
| 6              | 0         | 5758,46 |           |       |
| 7              | 0         | 5758,46 |           |       |
| 8              | 0         | 5758,46 |           |       |
| 9              | 0         | 5758,46 |           |       |
| 10             | 0         | 5758,46 |           |       |

La tasa interna de retorno o rendimiento calculada es del 49.8 % anual, lo cual indica que el proyecto tiene buenos réditos financieros.

### 7.4 Recuperación de la inversión

La recuperación de la inversión esta en relación directa con la vida útil del horno secador, el siguiente grafico muestra la recuperación total de la inversión del proyecto.





**Figura 7.1** Recuperación de la inversión

Como podemos observar la inversión se recuperara a partir del segundo año de funcionamiento del equipo.

### 7.5 Relación Costo- Beneficio

El costo-beneficio es un indicador del rendimiento del proyecto, para nuestro caso es el siguiente:

**Tabla 7.11** Relación Costo - Beneficio

| Periodo (años) | COSTO  | SALDO    |
|----------------|--------|----------|
| 0              | -11360 | -11360   |
| 1              |        | -5599,83 |
| 2              |        | 160,34   |
| 3              |        | 5920,51  |
| 4              |        | 11680,68 |
| 5              |        | 17440,85 |
| 6              |        | 23201,02 |
| 7              |        | 28961,19 |
| 8              |        | 34721,36 |
| 9              |        | 40481,53 |
| 10             |        | 46241,7  |

$$\text{Costo/Beneficio} = \frac{11360}{11360 + 46241,7}$$

$$\text{Costo/Beneficio} = 0.19$$

El beneficio supera al costo, por lo tanto el proyecto es rentable.

## CAPITULO 8

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 8.1 CONCLUSIONES

- El comportamiento de la secadora en forma general es satisfactorio.
- El grado de secado de los capullos de seda obtenidos luego de la jornada de 8 horas de secado es del 42 %.
- Los capullos secos obtenidos es de calidad y peso aceptable y por lo tanto puede continuar con el proceso industrial de la seda.
- El equipo consta de un panel de control que hace mas fácil su manejo al operario, por lo cual se requerirá de menos recurso humano y a su vez alargara la vida útil del equipo.
- El consumo de GLP en el horno secador es de un tanque de 15 Kg. por cada 10 horas de secado.
- Los sericultores recibían un valor de 3.5 USD por cada Kg. de capullo fresco; ahora reciben 15 USD por cada Kg. de capullo seco, gracias al secado del mismo. Además de que los productores pueden almacenar los capullos secos por periodos largos de tiempo.
- El horno secador tiene una tecnología, de fácil uso para el operario y que permite un control adecuado durante el proceso de secado. Además cuenta con las respectivas seguridades para precautelar la integridad física y técnica del equipo.

- El potencia eléctrica que tiene el horno secador 660 W. Realizándose dos jornadas de secado por semana se tiene un consumo 79.2 Kwh lo que da 7 USD por mes.

## **8.2 RECOMENDACIONES**

- Para lograr un secado mas uniforme de los capullos, se recomienda que el producto se distribuya uniformemente a lo largo y ancho de las bandejas.
- Asegurarse que las compuertas estén completamente cerradas, para evitar pérdidas de calor por aquellos sitios.
- El personal que maneje el equipo debe tener una capacitación física y técnica para poder operar el mismo.
- Para un correcto uso del horno secador se recomienda seguir el manual de funcionamiento.
- Realizar las actividades expuestas en el respectivo manual de mantenimiento del equipo y tabla de identificación de fallas para evitar daños al mismo.
- El quemador es un equipo electrónico y por ende sensible, por lo cual es mejor evitar contactos innecesarios con el mismo.
- El mantenimiento debe realizarlo personal técnico.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Ing. Peña Adrián, Cartas Psicrométricas
2. Estufas de secado al vacio, Telstar
3. Manual de mantenimiento, Incomac
4. Corvalan R., Horn M., Roman R., Saravia L., Ingeniería del secado solar
5. Ing. Guerra Gastón, Notas sobre Diseño Térmico
6. Singh Paúl, Heldman Dennis, Introducción a la Ingeniería de Alimentos, Acribia S.A., 1998
7. Dr. Cengel Yunus, Dr. Boles A., Termodinámica, Mc Graw-Hill
8. Mills Anthony, Transferencia de Calor, Irwin
9. Salvi Giuliano, La Combustión Teoría y Aplicaciones, Dossat S.A.
10. Marcal Daniel, Marques José, Principios de secado de granos psicrometría higroscopia, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 1991.
11. Trinks W., M. Mawhinney, Hornos Industriales I,II, Urmo S.A. 1975
12. Pitts Donald, Leighton Sissom, Teoría y Problemas de Transferencia de Calor, Mc Graw Hill, 1980.
13. Hreith F., Black, W. Transferencia de Calor principios fundamentales, Alambra, 1983.
14. Hoheisel Hannes, Manual Andino para el Secado de Maderas.
15. Incropera Frank, David Dewitt, Fundamentos de Transferencia de Calor, Prentice hall, 1999.
16. Marter Donald, Termodinámica y Motores Térmicos, UTEHA, 1988.
17. Mott Robert, Mecánica de Fluido Aplicada, Prentice Hall, 1996.
18. Arellano Iván, Selección, Operación y Mantenimiento de calderos industriales, 2007.
19. Cifuentes Cesar, Manual técnico de sericultura, Fondo Editorial de Risaralda, 1998.

## **DIRECCIONES DE INTERNET**

- <http://www.criba.edu.ar/cribabb/servicios/secelec/mycdetemp.htm> --> "Medidores y controladores de temperatura\_archivos/estilos.css"
- <http://www.fao.org/docrep/X5057S/x5057S08.htm> --> Principios de secado de granos Psicrometría higroscopia
- <http://www.alanper.com/quemador.html> --> quemadores de gas natural y glp
- <http://www.tukoex.com/secaderosvacio.html> -->secadores de vacio
- [http://www.agrobit.com/Microemprendimientos/cria\\_animales/MI000003cr.htm](http://www.agrobit.com/Microemprendimientos/cria_animales/MI000003cr.htm) -->cría de gusanos de seda
- <http://www.redandinadelaseda.org/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=8> --> Red Andina de la Seda

## **REVISTAS**

- Red andina de la seda N° 1-12.
- Revista del Centro Interamericano de Artesanías y Artes Populares (CIDAP) "Artesanías de América".

# **ANEXOS**

**ANEXO A:  
PLANOS**

**ANEXO B:  
DIAGRAMA DE OPERACIONES**



**ANEXO C:  
DIAGRAMA DE PROCESOS**

**ANEXO D:  
CATÁLOGOS**

**ANEXO E:  
MANUAL DE FUNCIONAMIENTO**

**ANEXO F:  
MANUAL DE MANTENIMIENTO**

**ANEXO G:  
FOTOGRAFÍAS**

**ANEXO H:  
CARTA DE SATISFACCIÓN**