

# Universidad Nacional de Ingenieria

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



“Secador para Castaña que Utiliza como  
Combustible la misma Cáscara”

T E S I S

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO

CARLOS ARISPE CORNEJO

PROMOCION: 1983 - 2

LIMA • PERU • 1988

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
PROLOGO	1
CAPITULO 1: INTRODUCCION	4
1.1 Proceso de explotación de castaña	7
1.2 Proceso de secado convencional	9
CAPITULO 2: ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LA CASTAÑA Y DATOS CLIMATOLOGI- COS DE LA ZONA DE OPERACION	12
2.1 Datos climatológicos de la zona de opera- ción	12
2.2 Proceso de secado de castaña en forma na- tural	15
2.3 Cáscara de castaña	24
2.4 Procesos con castañas con cáscara de apa- riencia totalmente húmeda	24
2.5 La misma muestra en peso total	25
2.6 Proceso con castaña de apariencia exterior seca	26
2.7 La misma muestra en peso total	27
2.8 Muestra húmeda	28
CAPITULO 3: CALCULOS Y SELECCION DEL VENTILADOR	29
3.1 Flujo de aire	29
3.2 Presión del ventilador	30
3.3 Cálculo de las pérdidas de presión	31

	Pág.
3.4 Potencia del motor eléctrico de accionamiento del ventilador	35
3.5 Corriente de alimentación del motor	35
3.6 Instrumentos de control	36
CAPITULO 4: CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR Y CHIMENEA	38
4.1 Calor necesario para la vaporización del agua de la castaña	39
4.2 Determinación de las temperaturas del aire de secado en recirculación	40
4.3 Flujo de calor por convección entre intercambiador de calor y aire de secado	40
4.4 Flujo de calor por conducción a través de las placas del intercambiador de calor	41
4.5 Flujo de calor por convección entre los gases de combustión e intercambiador de calor	42
4.6 Determinación de la temperatura de combustión	43
4.7 Cálculo del flujo de gases de combustión	44
4.8 Cálculo del combustible necesario	45
4.9 Cálculo del volumen de combustible	45
4.10 Cálculo de la chimenea	46
4.11 Tiro de la chimenea	46
4.12 Cálculo de las pérdidas de presión en el hogar	47

	Pág.
4.12.1 Pérdidas de presión en la chimenea e intercambiador de calor	47
4.12.2 Cálculo de la pérdida de presión en la parrilla de combustible y determinación de las pérdidas totales	48
4.13 Cálculo del peso del intercambiador	49
4.14 Cálculo de la dilatación térmica del intercambiador de calor	50
4.15 Otra forma de cálculo del coeficiente convectivo	51
4.16 Cálculo de las pérdidas de calor a través de las paredes	53
CAPITULO 5 : CALCULO DE LA CÁMARA DE SECADO	56
5.1 Cálculo de la parrilla	56
5.2 Cálculo de los ejes soportos de la parrilla	58
CAPITULO 6 : DIMENSIONAMIENTO DEL HOGAR, DUCTOS, ACCESORIOS, CARGA, DESCARGA DE CENIZA Y OTROS	63
6.1 Parrilla de combustible	63
6.2 Chequeo de los esfuerzos de flexión de la parrilla	65
CAPITULO 7 : MONTAJE, PUESTA EN OPERACION Y RESULTADOS	68
7.1 Aspectos de montaje	68
7.1.1 Intercambiador de calor	68
7.1.2 Parrilla del hogar	69
7.1.3 Caja de cenizas y cajas para ali-	



	Pág.
8.1.2 Transporte de equipos e instrumentos	87
8.1.3 Materiales para la fabricación	87
8.2 Costos Indirectos	90
8.2.1 Correspondencia, fotocopias, teléfonos y otros	90
8.2.2 Viejes de supervisión a obras - civiles, montaje y puesta en operación	90
8.2.3 Sueldos del personal de taller	91
8.2.4 Gastos varios	91
8.3 Obras civiles	92
8.4 Resumen de costos	94
8.5 Rentabilidad del proyecto	95
CONCLUSIONES	96
BIBLIOGRAFIA	99
APENDICE	101

## PROLOGO

El trabajo que a continuación desarrollaremos consta de ocho capítulos, siendo el primero de ellos la introducción.

Empezaremos por describir el segundo capítulo, que incluye un estudio realizado en el mismo lugar en donde estará ubicada la máquina, la ciudad de Puerto Maldonado.

Se tomaron datos de temperaturas y humedad relativa en diferentes horas del día.

Se investigó el proceso natural de secado al sol y pelado de la castaña. Luego se hizo un estudio de investigación de secado en forma natural (al sol) de muestras de castaña con cáscara, así como del secado en un "horno de panificación", con el objeto de determinar la cantidad de agua a ser evaporada y las propiedades finales de la castaña.

El capítulo tercero incluye el cálculo y selección del ventilador que se utilizará para el correspondiente secado de la castaña en cáscara, así como el cálculo y selección del motor eléctrico y diferentes componentes

eléctricos para el funcionamiento del mismo (contactor, cables, relés, etc.).

Se detalla también el uso de termómetros y humidistato a usarse para el control durante el funcionamiento.

El capítulo cuarto, incluye el cálculo y dimensionamiento del intercambiador de calor y chimenea; intercambiador de calor de placas paralelas por donde intercaladamente circulan los gases de combustión, producto de la combustión de la misma cáscara de la castana, y el aire que es aspirado e impulsado por el ventilador.

El capítulo quinto, incluye el cálculo y dimensionamiento de la cámara de secado, cálculos de la parrilla que soportará la castaña con cáscara a ser secada, y de los soportes de la misma.

El capítulo sexto, incluye el dimensionamiento del hogar de combustión, la parrilla que contendrá la cáscara de castaña que se utilizará como combustible, los ductos y colectores de entrada y salida del aire al intercambiador de calor, los dispositivos de carga y descarga de castaña y eliminación de la humedad, la caja de cenizas, las ventanas y compuertas para el aire de combustión y demás accesorios de la misma.

El capítulo séptimo, incluye las consideraciones del montaje, puesta en operación y los resultados del funcionamiento de la máquina.

El capítulo octavo, incluye los estudios económicos, los costos de los diferentes materiales que intervienen en la fabricación de la máquina; costos de mano de obra y diferentes gastos relacionados con la fabricación de la misma.

Para terminar, quisiera agradecer a las personas e instituciones que financiaron este proyecto e hicieron posible la fabricación y puesta en operación de la máquina.

Exportadora de la Selva S.A., Puerto Maldonado que finalmente financió el proyecto.

Electromecánica Kuti S.A., Cuzco, que permitió la fabricación de todos los componentes de la máquina, a su personal que bajo mi supervisión efectuó el montaje de la misma, y a sus directivos Ingenieros Andrés Llosa I. y Edwin San Román Z. que colaboraron en todo momento con el éxito del proyecto.

## CAPITULO 1

### INTRODUCCION

El estudio que empezaremos a tratar, pretende contribuir al desarrollo de la tecnología aplicada a la construcción de máquinas en el país, y que estén de acuerdo a nuestra realidad.

Ante el requerimiento de personas y empresas interesadas en adquirir una máquina que seque castaña en el Departamento de Madre de Dios, en la ciudad de Puerto Maldonado, nació en mí la expectativa de llevar adelante este proyecto.

La idea central consiste en diseñar una máquina para secar castaña con cáscara, que tenga un bajo costo de operación, que pueda ser fabricada en el país con los materiales existentes en el mercado, y de fácil mantenimiento dadas las precarias condiciones con que cuenta la ciudad de Puerto Maldonado.

En vista de que la cáscara de castaña es un buen combustible y que además constituye un producto residual en el proceso de explotación de la castaña, la utilizaremos como combustible.

La máquina contará con un intercambiador de calor en donde los gases de la combustión de la cáscara de castaña, transfieran calor al aire que será "trabajado" por un ventilador, y este aire a su vez transfiera calor a la castaña con cáscara que estará depositada en una "cámara de secado".

La humedad removida será evacuada a través de compuertas al ambiente exterior.

El intercambiador de calor es de placas paralelas, en donde en forma intermitente circulan los gases de combustión y el aire de secado, intercambiando calor.

El esquema general de la máquina será el mostrado en la figura siguiente:

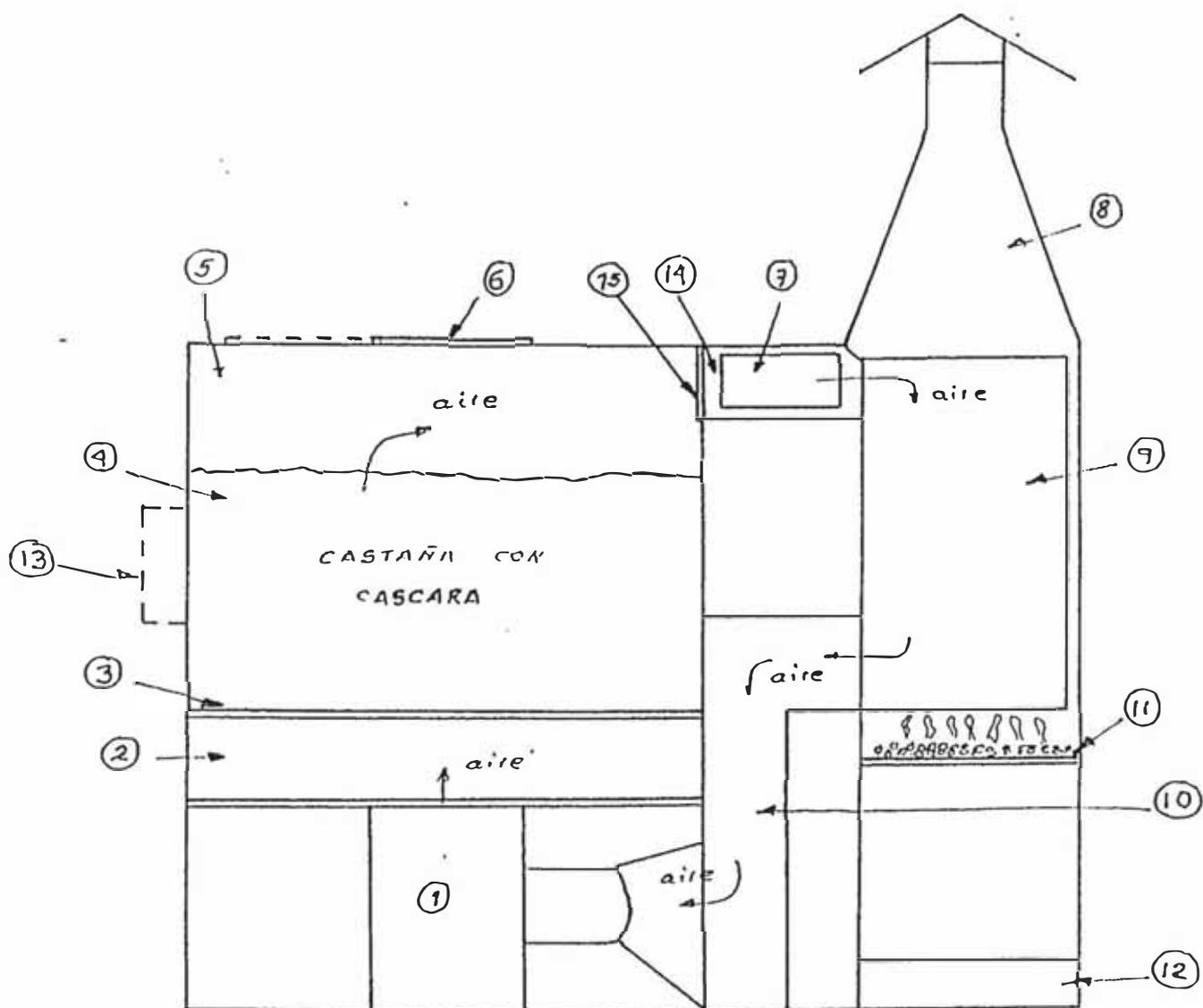


Figura No.1

### Componentes de la Máquina

1. Ventilador centrífugo con motor eléctrico,
2. Cámara de distribución de aire de secado
3. Parrilla del producto
4. Producto (castaña con cáscara)
5. Cámara de secado
6. Compuerta para la carga de castaña y evacuación de la humedad
7. Ducto de entrada de aire fresco.
8. Chimenea
9. Intercambiador de calor.
10. Ducto de aire caliente.
11. Hogar y parrilla del combustible.
12. Caja de cenizas.
13. Compuertas para descarga de castaña.
14. Ducto de ingreso de aire "frío".
15. Compuertas de conmutación.

La máquina deberá secar castaña con cáscara a razón de 5 toneladas/día.

El aire aspirado del intercambiador de calor por el ventilador pasa a través de la cámara de distribución, parrilla y castaña, para luego recircular, pasando nuevamente por la cámara de secado, el intercambiador de calor y aspirado nuevamente por el ventilador.

#### 1.1 Proceso de explotación de castaña

El proceso de explotación de la castaña es el si-

guiente:

La castaña en el árbol está contenida en una envoltura que contiene entre 30 a 40 castanas. Una vez alcanzada su maduración y por su propio peso la envoltura conteniendo las castañas se cae del árbol al suelo, de donde es recogida y llevada a la ciudad para su venta.

La castaña una vez extraída de su envoltura es sometida a un proceso de secado, que en este momento se viene realizando en forma natural (al sol) para luego ser sumergida en agua para que adquiriera humedad, para luego ser pelada. A continuación la castaña pelada es secada nuevamente en forma natural (al sol), y de esta manera queda lista la castaña para su venta posterior.

La unidad de volumen utilizada en la zona es de una barrica que equivale a seis latas de manteca que pesan unos 70 kg. aproximadamente.

El pelado de la castana se realiza manualmente y se obtienen entre 18 y 20 kg. de castaña de primera (entera) y 2 kg. aproximadamente de castaña de segunda categoría (partida).

Se utilizan unas 200 personas para la operación de pelado con lo que se obtiene una producción de 4,500 kg. diarios de castaña.

## 1.2 Proceso de secado convencional

El proceso de secado convencional consiste en colocar las castañas sobre una plataforma de madera, y secarlas al sol durante tres días aproximadamente y en ausencia de lluvias.

La castaña es removida unas tres veces al día para asegurar un secado uniforme.

El área total de secado al aire es de 210 m<sup>2</sup> aproximadamente.

El propósito del presente trabajo, es el de diseñar y construir una máquina que seque castaña con cáscara, utilizando como combustible la misma cáscara de la castaña. El secado deberá efectuarse en condiciones similares a la del secado convencional (al sol), y los resultados de humedad final de la castaña y cantidad de aceite y demás propiedades de la castaña, no sean alterados.

El método de trabajo conocidas las condiciones finales a las que se debe llegar es el siguiente:

Se parte por calcular la cantidad de calor que necesita la castaña para extraerle la humedad que po see inicialmente.

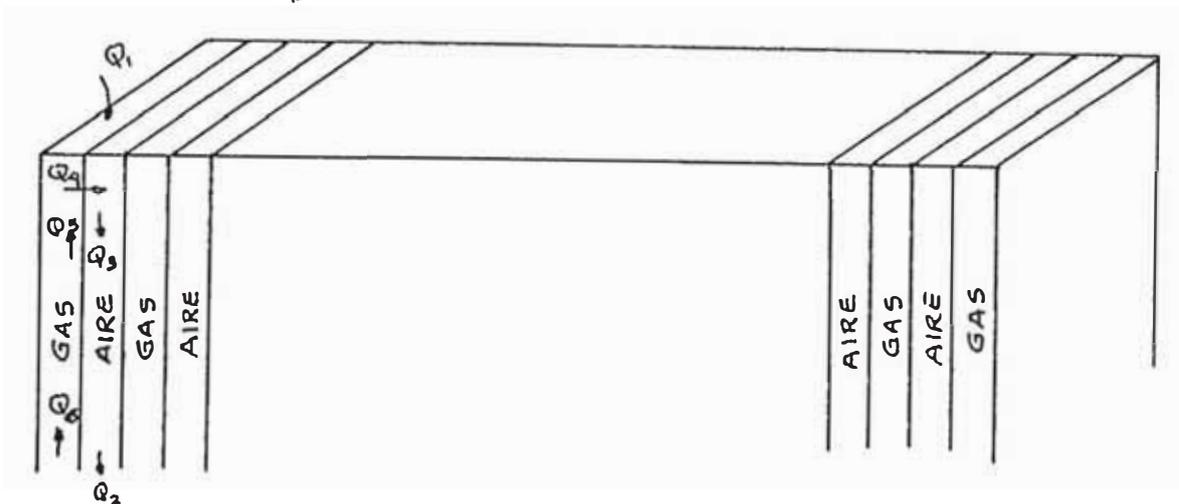


Fig. N°2: Intercambiador de calor de placas paralelas

Una vez conocida la cantidad de calor, se determinan las diferentes temperaturas que por transferencia de calor se tienen en las placas del intercambiador de calor.

Temperatura de la placa en el lado del "aire" de secado y que es transferido a la plancha metálica por convección ( $T_3, Q_3$ ), temperatura de la plancha metálica en el lado de los gases de combustión y que es transferida por conducción a través de la misma ( $T_2, Q_2$ ), temperatura de los gases de combustión, transferida por convección entre los gases de combustión y la plancha metálica, y finalmente la temperatura de combustión ( $T_1, Q_1$ ) transferida producto de la combustión de la cáscara de castana.

Para esto previamente se calcula la cantidad de aire que circulará por el intercambiador de calor.

Los demás cálculos que se señalan en los otros capítulos son cálculos de resistencia y deformaciones de los materiales que constituyen los diferentes elementos que se señalan en cada caso.

Para finalizar es necesario mencionar que el costo de transporte va a disminuir considerablemente, ya que la castaña seca y pelada tendrá un peso del 50% menos, lo cual significa un ahorro por concepto de transporte.

También es posible asegurar que la extracción de la castaña ha aumentado considerablemente, ya que la producción se ha incrementado en un 600% aproximadamente, con el consecuente beneficio económico para la empresa Exportadora, para la región y finalmente para el país, ya que con esto se incrementará la captación de divisas tan necesarias para el país.

CAPITULO 2

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LA CASTAÑA Y DATOS CLIMATOLÓGICOS DE LA ZONA DE OPERACION

2.1 Datos climatológicos de la zona de operación(Iñapari - 500 m.s.n.m.)

	1965		1966		1967		1968		1975	
	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H
Ene	25.4		25.9	88	26.1	88	25.4	84	23.6	88
Feb	25.6		26.3	88	24.8	92	25.6	90	23.2	89
Mar	23.2		25.5	86	25.0	93	25.8	92	23.6	89
Abr	25.1		25.2	88	25.4	91	25.7	92	23.2	85
May	24.2		23.8	88	25.5	90	25.7	91	22.3	87
Jun	24.0		24.0	90	24.5	87	24.7	85	22.0	87
Jul	21.9		21.3	82	24.7	88	23.3	89	22.9	80
Ago	24.5	78	21.3	82	25.5	86	25.3	87	22.2	82
Set	25.2	81	24.1	79	25.6	88	24.7	87	23.4	98
Oct	23.7	86	25.7	82	26.1	89	26.0	90	24.3	80
Nov	25.1	82	25.3	88	25.5	91	26.1	87	23.5	82
Dic	25.8	89	25.6	87	24.9	91	26.1	88	23.5	86

Tabla No.1

$$T = \bar{T}_{\text{mín-máx}} \quad (^\circ\text{C})$$

$$H = \bar{H} \quad (\%)$$

Promedio:

$T_{\text{máx}}$	30.6	30.4	30.8	31.1	29.6
$T_{\text{mín}}$	19.2	18.7	19.8	19.7	17.0
H	-	86	89	88	86

Promedios Mensuales

Año	T <sub>máx.</sub>	T <sub>mín.</sub>	Promedio Extremos	Humedad Relativa(%)
65	30.6	19.2	24.9	-
66	30.4	18.7	24.5	86
67	30.8	19.8	25.3	89
68	31.1	19.7	25.4	88
69	29.8	19.8	24.8	-
70	30.9	19.4	25.1	87
71	30.7	19.7	25.3	87
72	31.1	17.9	24.5	85
73	31.2	16.7	23.9	79
74	29.5	16.0	22.7	86
75	29.6	17.0	23.3	86
76	29.3	15.4	22.4	83

Tabla No.2

Nota: Datos proporcionados por la Marina de Guerra del Perú-Puerto Maldonado.

Datos de humedad relativa en Puerto Maldonado

Temp.(°C)	Húmedad Relativa (%)	Características del día
32.5	78.5	Despejado Soleado
29.5	78.5	Lluvia Cerrado
32.5	76.0	LLuvia soleado
30.0	78.0	Bajo techo
30.5	80.0	Bajo techo
33.0	77.0	Lugar de la Se cadora
30.0	82.5	Lugar de la se cadora
26.0	93.0	Despejado ama- necer
26.5	90.0	Despejado
27.5	87.0	Despejado solea do

Tabla No.3

Nota: Datos tomados los días 04 y 05.10.86 entre las 05.0 y las 21.0 horas.

2.2 Proceso de secado de castaña en forma natural

180 castañas humedecidas 12 horas en agua

Muestra	Peso(gr)	No.de Castañas
1	116	10
2	114	10
3	122	10
4	100	10
5	129	10
6	130	10
7	111	10
8	116	10
9	122	10
10	119	10
11	116	10
12	114	10
13	116	10
14	120	10
15	123	10
16	128	10
17	120	10
18	109	10
	<hr/>	
	2,125	180

Tabla No.4

$$\frac{2,125 \text{ gr.}}{180 \text{ castaña}} = 11.81 \text{ gr/castaña}$$

La relación del volumen de aire contenido entre las -  
castañas al volumen total utilizado como unidad de me-  
dida(1 galón) será:

$$\mathcal{E} = \frac{V_{\text{aire}}}{V_{\text{total}}} = \frac{1.9 \text{ lt}}{3.786 \text{ lt}} = 0.5$$

La densidad del aglomerado, castaña más aire será:

$$\rho_{\text{aglom.}} = \frac{2.125(\text{Kg})}{3.786(\text{lt})} = 0.56 \text{ Kg/lt}$$

La densidad de la castaña será:

$$\rho_{\text{castaña}} = \frac{2.125(\text{Kg})}{(3.786 - 1.900)(\text{lt})} = 1.127 \text{ Kg/lt}$$

180 castañas que secaron en 24 horas al aire libre (Cuzco)

---

Muestra	Peso(gr)	No.de castañas
1	110	10
2	119	10
3	115	10
4	120	10
5	100	10
6	116	10
7	100	10
8	90	10
9	102	10
10	86	10
11	96	10
12	96	10
13	102	10
14	95	10
15	101	10
16	106	10
17	91	10
18	106	10
	<hr/>	<hr/>
	1,861	180

Tabla No. 5

$$\frac{1,861 \text{ gr}}{180 \text{ castaña}} = 10.34 \text{ gr/castaña}$$

180 castañas que secaron en 48 horas al aire libre (Cuzco)

Muestra	Peso (gr)	No.de Castañas
1	126	10
2	106	10
3	103	10
4	88	10
5	104	10
6	109	10
7	98	10
8	101	10
9	85	10
10	84	10
11	91	10
12	88	10
13	81	10
14	106	10
15	99	10
16	86	10
17	102	10
18	98	10
	<u>1,755</u>	<u>180</u>

Tabla No.6

$$\frac{1,755 \text{ gr}}{180 \text{ castaña}} = 9.75 \text{ gr/castaña}$$

180 castañas que secaron en 72 horas al aire libre(Cuzco)

Muestra	Peso (gr)	No.de castañas
1	94	10
2	106	10
3	100	10
4	92	10
5	91	10
6	95	10
7	92	10
8	100	10
9	101	10
10	80	10
11	89	10
12	104	10
13	86	10
14	80	10
15	86	10
16	95	10
17	86	10
18	108	10
	<u>1,685</u>	<u>180</u>

Tabla No. 7

$$\frac{1,685 \text{ gr}}{180 \text{ castaña}} = 9.36 \text{ gr/castaña}$$

180 castañas que secaron en 144 horas al aire libre (Cuzco)

Muestra	Peso (gr)	No.de castañas
1	97	10
2	100	10
3	93	10
4	90	10
5	85	10
6	90	10
7	86	10
8	84	10
9	89	10
10	81	10
11	77	10
12	80	10
13	89	10
14	86	10
15	94	10
16	90	10
17	75	10
18	85	10
	<hr/>	<hr/>
	1,569	180

Tabla No.8

La relación del volumen de aire contenido entre las castañas al volumen total utilizado como unidad de volumen de medida (1 galón) será:

$$\mathcal{E} = \frac{V_{\text{aire}}}{V_{\text{total}}} = \frac{1.550(\text{lt})}{(3.786 - 0.750)(\text{lt})} = 0.51$$

La densidad del aglomerado ,castaña más aire será:

$$\rho_{\text{aglom.}} = \frac{1.569 \text{ (Kg)}}{(3.786 - 0.750)(\text{lt})} = 0.52 \text{ Kg/lt}$$

La densidad de la castaña será:

$$\rho_{\text{castaña}} = \frac{1.569(\text{Kg})}{(3.786 - 0.750 - 1.550)(1\text{t})} = 1.06 \text{ Kg/1t}$$

La relación del volumen de castaña seca al volumen de castaña húmeda será:

$$r = \frac{V_t \text{ seca}}{V_t \text{ húmeda}} = \frac{(3.786 - 0.750)(1\text{t})}{3.786(1\text{t})} = 0.802$$

$$r = 80.2 \%$$

180 castañas que secaron 14 días al aire libre(Cusco)

Muestra	Peso (gr)	No.de castañas
1	90	10
2	85	10
3	83	10
4	83	10
5	92	10
6	77	10
7	77	10
8	75	10
9	78	10
10	95	10
11	69	10
12	82	10
13	86	10
14	82	10
15	74	10
16	94	10
17	75	10
18	90	10
	<u>1,487</u>	<u>180</u>

Tabla No. 9

$$\frac{1,487 \text{ gr}}{180 \text{ castañas}} = 8.26 \text{ gr/ castaña}$$

### 3.3 Cáscara de castaña

Siguiendo el mismo procedimiento anterior, es decir tomando como unidad de medida un galón, determinamos a continuación la densidad de la cáscara de castaña y se será utilizado como combustible.

$$\rho_{\text{aglom.}} = \frac{1.106(\text{gr})}{3.786(\text{lt})} = 0.29 \text{ Kg/lt}$$

$$\mathcal{E} = \frac{V_{\text{aire}}}{V_{\text{total}}} = \frac{2.700 \text{ lt}}{3.786 \text{ lt}} = 0.71$$

$$\rho_{\text{cáscara}} = \frac{1.106(\text{Kg})}{(3.786 - 2.700)(\text{lt})} = 1.02 \text{ Kg/lt}$$

### 3.4 Proceso con castañas con cáscara de apariencia total húmeda

Muestra 200 castañas escogidas aleatoriamente dentro de 5 toneladas y secadas en un horno de panificación.

Pesos de grupos de 20 castañas

Muestra	Peso antes de secado (gr)	Peso después de secado (gr)
1	230	204
2	228	207
3	244	188
4	244	182
5	240	212
6	235	205
7	232	199
8	243	191
9	203	185
10	250	190
Promedio	231.9 gr	196.3 gr
Peso uni- tario - promedio	11.745 gr	9.815 gr

Tabla No. 10

Peso de agua desplazada:  $11.745 - 9.815 = 1.939$  gr/casta,  
aprox.  $\approx 19.8$  %

Condiciones del secado: Horno Nova  
Cubetas sin orificios

0 minutos      70°C  
16 minutos     70°C    aire flujo  
133 minutos  
185 minutos     pesada final

Deshidratación promedio: 0.066 gr de H<sub>2</sub>O/gr de castaña

2.5 La misma muestra en peso total

0 minutos	2,450 gr
133 minutos	2,150 gr
185 minutos	2,050 gr

Deshidratación promedio:  $\frac{2,450 - 2,050}{2,050 \times 3} = \frac{0.065 \text{ gr de H}_2\text{O}}{\text{gr de castaña}}$

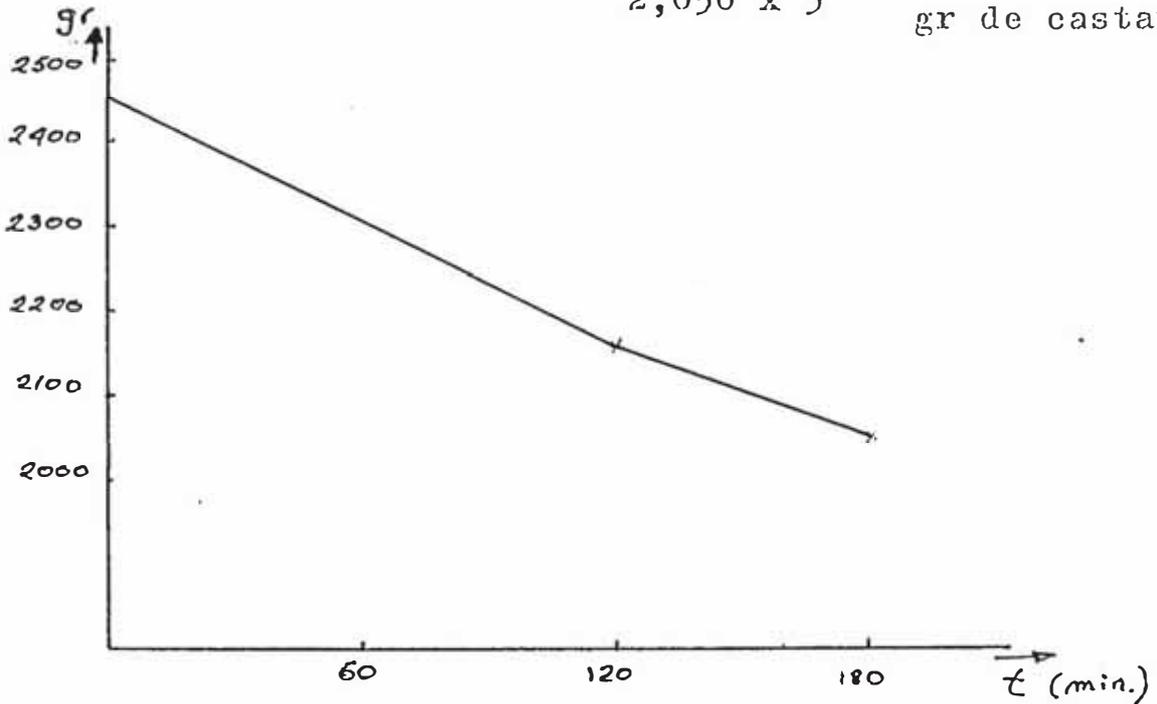


Gráfico No.3

2.6 Proceso con castaña de apariencia exterior seca

Tabla No.11  
Pesos de grupos de 20 castañas

Muestra	Antes del Secado (gr)	Después del Secado (gr)
1	180	152
2	164	171
3	180	149
4	181	149
5	182	148
6	188	161
7	170	152
8	174	152
9	173	158
10	171	145
Promedio	176.3 gr	151.7 gr
Peso unitario - promedio	8.815 gr/castaña	7.585 gr/castaña

Peso del agua desplazada:  $8.815 - 7.585 = 1.230$  gr/castaña  
aprox.  $\approx 16.2$  %

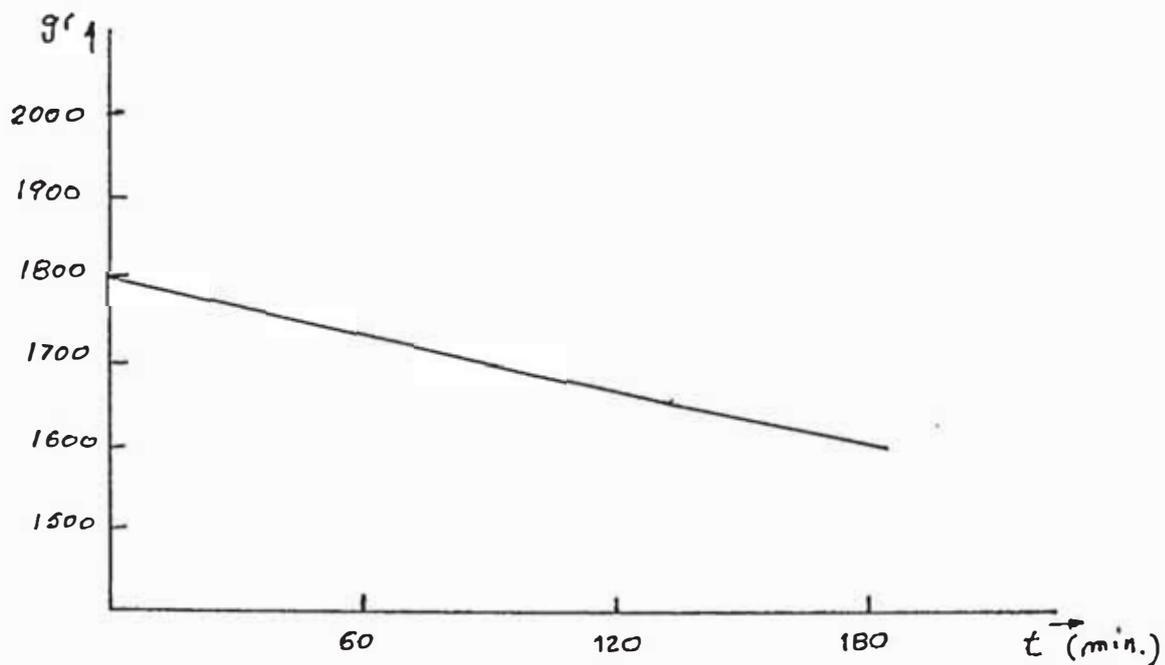
A las mismas condiciones de muestra anterior

Deshidratación media:  $0.054$  gr de  $H_2O$ /gr de castaña

2.7 La misma muestra en peso total

Minutos	Gr
0	1,800
133	1,650
185	1,600

Gráfico No.4

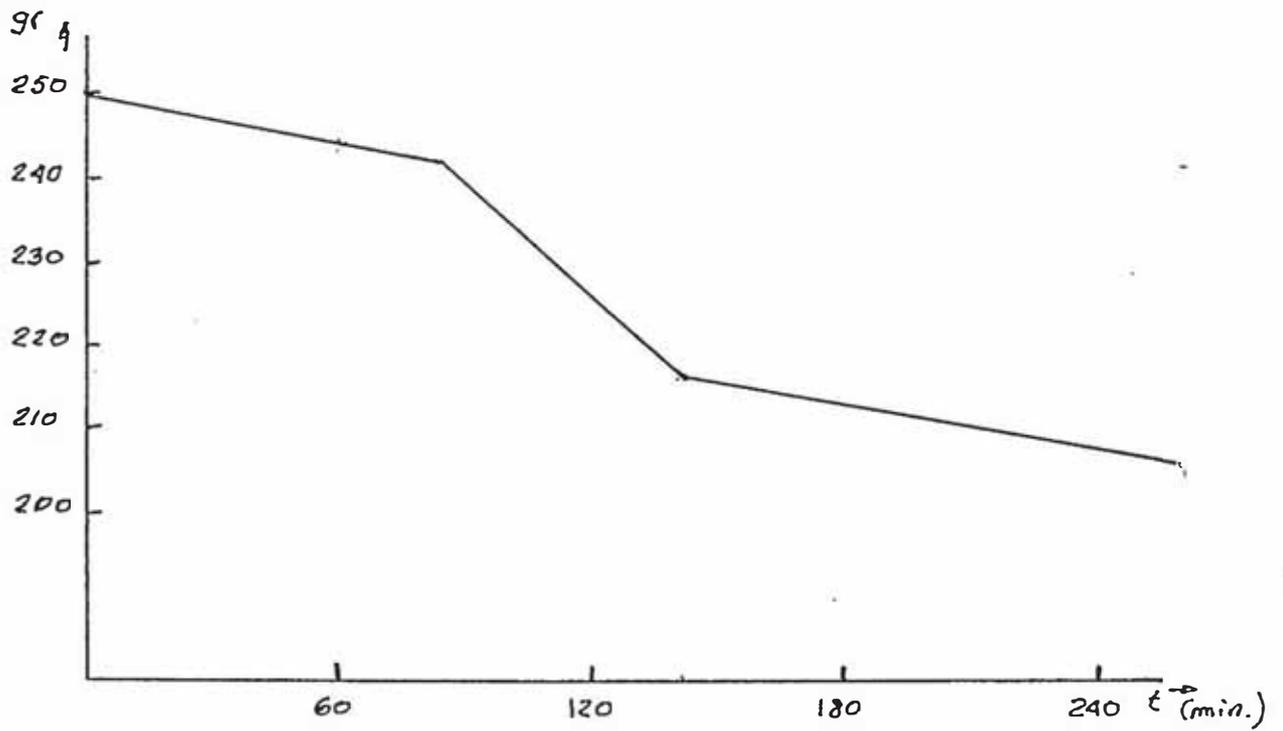


Deshidratación de la castaña

3.8 Muestra húmeda (21 castañas)

0 min.	250 gr
60 min.	244 gr
85 min. aire	-
142 min.	217 gr.
252 min.	207 gr

Gráfico No.5



Deshidratación de 21 castañas

### CAPITULO 3

#### CALCULOS Y SELECCION DEL VENTILADOR

Para el cálculo y selección del ventilador será necesario asumir algunos datos:

Temperatura de entrada de aire al ventilador	65°C
Temperatura del aire calentado	80°C
Cantidad de aire a ser trabajado por el ventilador para vaporizar 10 Kg de agua	2,050 Kg aprox. 2,510 m <sup>3</sup> (air + vapor)

#### 3.1 Flujo de aire

$$\bar{P}_h = 11.81 \text{ gr/castaña (castaña húmeda sumergida 12 hrs. en agua)}$$

$$\bar{P}_s = 7.58 \text{ gr/castaña (castaña seca horno Nova)}$$

$$\bar{P}_h - \bar{P}_s = 11.81 - 7.58 = 4.23 \text{ gr H}_2\text{O/castaña a secarse}$$

Cantidad de H<sub>2</sub>O en 5,000 Kg de castaña húmeda:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 5,000 \text{ (Kg)} \times \frac{4.23 \text{ (gr)}}{11.81 \text{ (gr)}} = 1,791 \text{ Kg}$$

Cantidad de aire a ser trabajado por el ventilador para vaporizar 1,791 Kg de H<sub>2</sub>O :

$$V_{\text{aire}} = 1,791(\text{Kg}) \times \frac{2,510(\text{m}^3)}{10(\text{Kg})} = 449,541 \text{ m}^3$$

El flujo de aire necesario para un proceso de 8 horas y - 5 toneladas de castaña:

$$\phi_{\text{aire}} = \frac{449,541(\text{m}^3)}{8 \times 60 \times 60} = 15.61 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Cantidad de	5,000 Kg	2,500 Kg	3,200 Kg
castaña a -	( 200 %)	( 100 %)	( 128 %)
secar en 8			
horas.			

$\phi_{\text{aire}}$	15.61	7.80	10
	$\text{m}^3/\text{seg.}$	$\text{m}^3/\text{seg.}$	$\text{m}^3/\text{seg.}$

Tabla No.12

Tomamos: 10  $\text{m}^3/\text{seg.}$

### 3.2 Presión del Ventilador

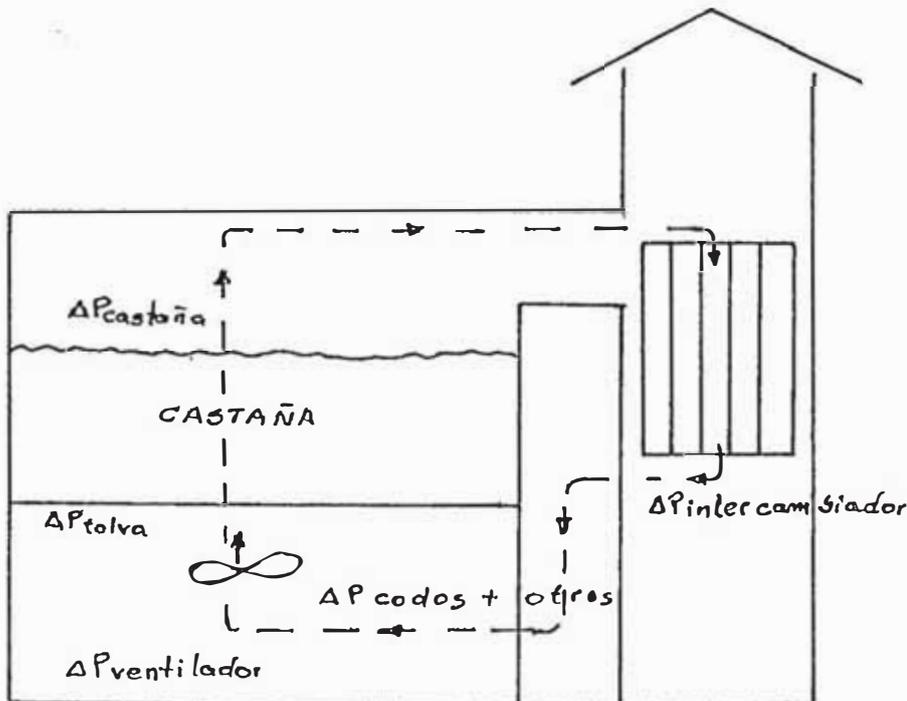


Figura No.3

Esquema general de la secadora, pérdidas de presión

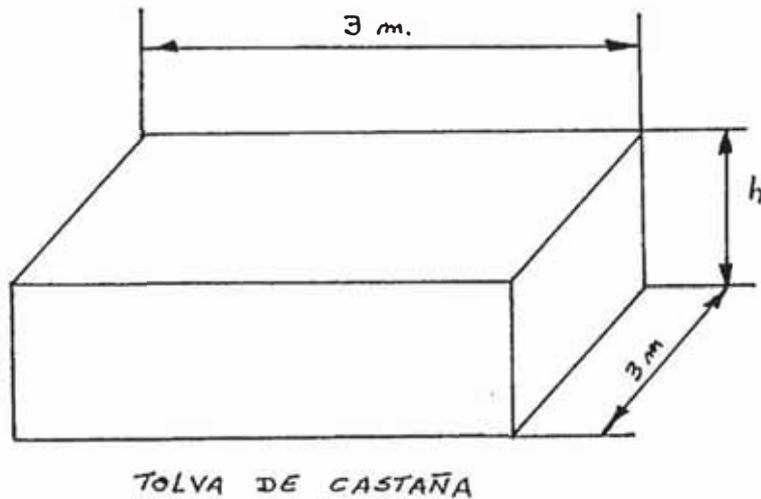


Figura No.4

$$V_{\text{castaña}} = \frac{m_{\text{castaña}}}{\rho_{\text{aglom.}}} = \frac{5,000(\text{Kg})}{0.56(\text{Kg /it})} = 8,929 \text{ it}$$

$$V_{\text{castaña}} = 8.93 \text{ m}^3$$

$$h = \frac{V_{\text{castaña}}}{A_{\text{tolva}}} = \frac{8.93 (\text{m}^3)}{3 \times 3 (\text{m}^2)} = 0.99 \text{ m}$$

Cantidad de castaña	5,000 Kg	2,500 Kg	3,200 Kg
h	0.99 m	0.50 m	0.64 m

Tabla No.13

Tomamos:  $h = 0.64 \text{ m}$

### 3.3 Cálculo de las pérdidas de presión

El diámetro equivalente de una castaña tipo será :

$$D = \frac{4 + 3 + 2}{3} \text{ (cm)}$$

$$D = 3 \text{ cm}$$

$$\epsilon = 0.50$$

Velocidad del aire m/seg	0.25	0.50	1.00
Caída de presión Pa/m	68	240	300

Tabla No. 14

$$V_{\text{aire en tolva}} = \frac{\dot{V}_{\text{aire}}}{A_{\text{tolva}}} = \frac{10 \text{ (m}^3\text{/seg)}}{9 \text{ (m}^2\text{)}}$$

$$V_{\text{aire en tolva}} = 1.11 \text{ m/seg}$$

$$\Delta P_{\text{castaña}} = 300 \text{ (Pa/m)} \times \left(\frac{1.11}{1.0}\right)^2 \times 0.99 \text{ (m)}$$

$$\Delta P_{\text{castaña}} = 1,098 \text{ Pa}$$

La caída de presión total está dada por la caída de presión del aire que pasa a través de la castaña, tolva, el intercambiador de calor y los codos respectivamente.

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_{\text{castaña}} + \Delta P_{\text{tolva}} + \Delta P_{\text{intercambiador}} +$$

$$\Delta P_{\text{codos}} =$$

$$\Delta P_{\text{castaña}} = 1.098 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{\text{tolva}} = 0$$

$$\Delta P_{\text{codos}} = K \frac{V^2}{2g}$$

$$K = 1.5$$

$$V = \varnothing \text{ aire} / A_{\text{codos}}, = \frac{10 \text{ (m}^3/\text{seg)}}{\pi \frac{(0.886)^2}{4}} = 16.22 \text{ m/seg.}$$

$$\Delta P_{\text{codos}} = 1.5 \frac{(16.22)^2 \text{ (m}^2\text{/seg}^2)}{2 \times 9.81 \text{ (m/seg}^2)} = 20.11 \text{ m.}$$

Por los 6 codos:

$$\Delta P_{\text{codos}} = 20.11 \times 120.66 \text{ m} \times 1.029 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 124.16$$

$$\Delta P_{\text{codos}} = 124.16 \times 10^{-4} \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \times 98,066 \frac{\text{Pa}}{\text{Kg/m}^2} = 1217.58 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{\text{codos}} = 1218 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{\text{intercambiador}} = 11 \times f \frac{L}{D_H} \times \frac{V^2}{2g}$$

Para los 11 canales:

$$\text{donde: } L = 1.7 \text{ m}$$

$$V = 12.1 \text{ m/seg (ver página 41)}$$

$$D_H = \frac{4 \times 0.53 \times 0.15}{2(0.53 + 0.15)} = 0.4325 \text{ m}$$

El número de reynolds será:

$$Re = \frac{\text{aire} \times \Pi}{V_{\text{aire}}}$$

$$V_{\text{aire}} = 35.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{seg a } 200^\circ\text{C}$$

$$Re = \frac{12.1 \times 0.4325}{35.0 \times 10^{-6}} = 149,521.4$$

para una rugosidad relativa  $e/D = 0.0045$

$f = 0.03$  (diagrama de Mondy)

$$\Delta P_{\text{intercambiador}} = 11 \times 0.03 \times \frac{1.7 \text{ (m)}}{0.4325 \text{ (m)}} \times \frac{(12.1)^2 \text{ (m)}^2}{2 \times 9.81 \text{ (m/seg)}^2}$$

$$\Delta P_{\text{intercambior}} = 9.7 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{aire a } 200^\circ\text{C}} = 0.7359 \text{ Kg/m}^3$$

$$\Delta P_{\text{intercambiador}} = 9.7 \text{ m} \times 0.7359 \text{ Kg/m}^3 \times 1 \text{ m}^2 / (10^2)^2 \text{ cm}^2$$

$$\Delta P_{\text{intercambiador}} = 7.1382 \times 10^{-4} \text{ Kg/cm}^2 \times 98,066 \frac{\text{Pa}}{\text{Kg/cm}^2}$$

$$\Delta P_{\text{intercambiador}} = 70 \text{ Pa}$$

Por lo tanto:

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_{\text{castaña}} + \Delta P_{\text{tolva}} + \Delta P_{\text{intercambiador}} + \Delta P_{\text{codos}}$$

$$\Delta P_{\text{total}} = 1,098 \text{ Pa} + 70 \text{ Pa} + 12.18 \text{ Pa} = 2386 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{\text{total}} = 2386 \text{ Pa}$$

3.4 Potencia del motor eléctrico de accionamiento del ventilador

$$P = \frac{\phi \times \Delta P}{\eta_{\text{ventilador}}} = \frac{10(\text{m}^3/\text{seg}) \times 2386 (\text{N}/\text{m}^2)}{0.70}$$

$$P = 34.1 \text{ KW} = 45.9 \text{ HP}$$

Cantidad de castaña(Kg)	5,000	2,500	3,200
$P_{\ddagger}$ (mbar)	23.8	11.9	15.1
$P_{\text{motor}}$ (KW)	34.1	19.2	24.5
(HP)	45.9	26.11	33.5

Tabla No. 16

Tomamos:  $P = 34.1 \text{ KW}$

3.5 Corriente de alimentación del motor

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi \times \eta_{\text{motor}}}$$

$$I = \frac{34100 \text{ (W)}}{\sqrt{3} \times 380(\text{V}) \times 0.85 \times 0.85} = 71.7$$

Cantidad de castaña(Kg)	5,000	2,500	3,200
I (A)	71.7	35.9	45.7
N (KVA)	39.9	19.9	25.4

Tabla No. 17

A continuación resumiremos todos los datos anteriormente calculados para el ventilador y el motor eléctrico, e indicaremos los datos para la selección del contactor y el conductor eléctrico.

Ventilador:  $\dot{V}_{\text{aire}} = 10 \text{ m}^3/\text{seg.}$

$\Delta P = 15 \dots 20 \text{ mbar}$

Temperatura del aire  $70^\circ\text{C}; 250 \text{ msnm}$

RPM = 1,800 ... 3,600

Motor: 3 x 380 V

34 KW ... 30 KW (32 HP ... 40 HP)

60 Hz

RPM = 1,800 ... 3,600

Contactora: 500 V

(42 A ... 65 A) x 3

60 Hz

AC 3

(con relé térmico)

Conductor

eléctrico: 500 V

4 x 4 mm<sup>2</sup> (4 x 10 ... 12 AWG)

### 3.6 Instrumentos de control

La máquina tendrá termómetro y un higrómetro para poder efectuar los controles de temperaturas y humedad.

Un termómetro con escala de 0 - 600°C deberá ser instalado a la salida de los gases de combustión que pasaron a través del intercambiador de calor, con el objeto de controlar la temperatura de los gases de combustión.

Otro termómetro con escala de 0 - 100°C será instalado debajo de la parrilla de secado, que contiene la castaña con cáscara a ser secada y servirá para controlar la temperatura del aire caliente que ingresa a la cámara de secado.

Otro termómetro con escala de 0 - 100°C será instala

do en la parte superior de la cámara de secado, encima del producto con la finalidad de controlar la temperatura del aire de secado que atravesó el producto y poder medir la caída de temperatura del aire de secado en el producto.

Un higrómetro será instalado en la cámara de secado con la finalidad de controlar la humedad del aire de secado y poder así regular la apertura de la compuerta situada en la parte superior de la cámara de secado para la eliminación al ambiente exterior de la humedad en el ambiente de la cámara de secado.

CAPITULO 4  
CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR Y  
CHIMENEA

El intercambiador de calor, cuyo cálculo iniciaremos a continuación será de placas paralelas en donde intercambiarán calor en contracorriente los gases de combustión, productos de la combustión de la cáscara de la castaña, y el aire que será el agente que transportará la energía en forma de calor para el secado de la castaña en cáscara que estará en la cámara de secado.

El esquema del intercambiador de calor es el siguiente:

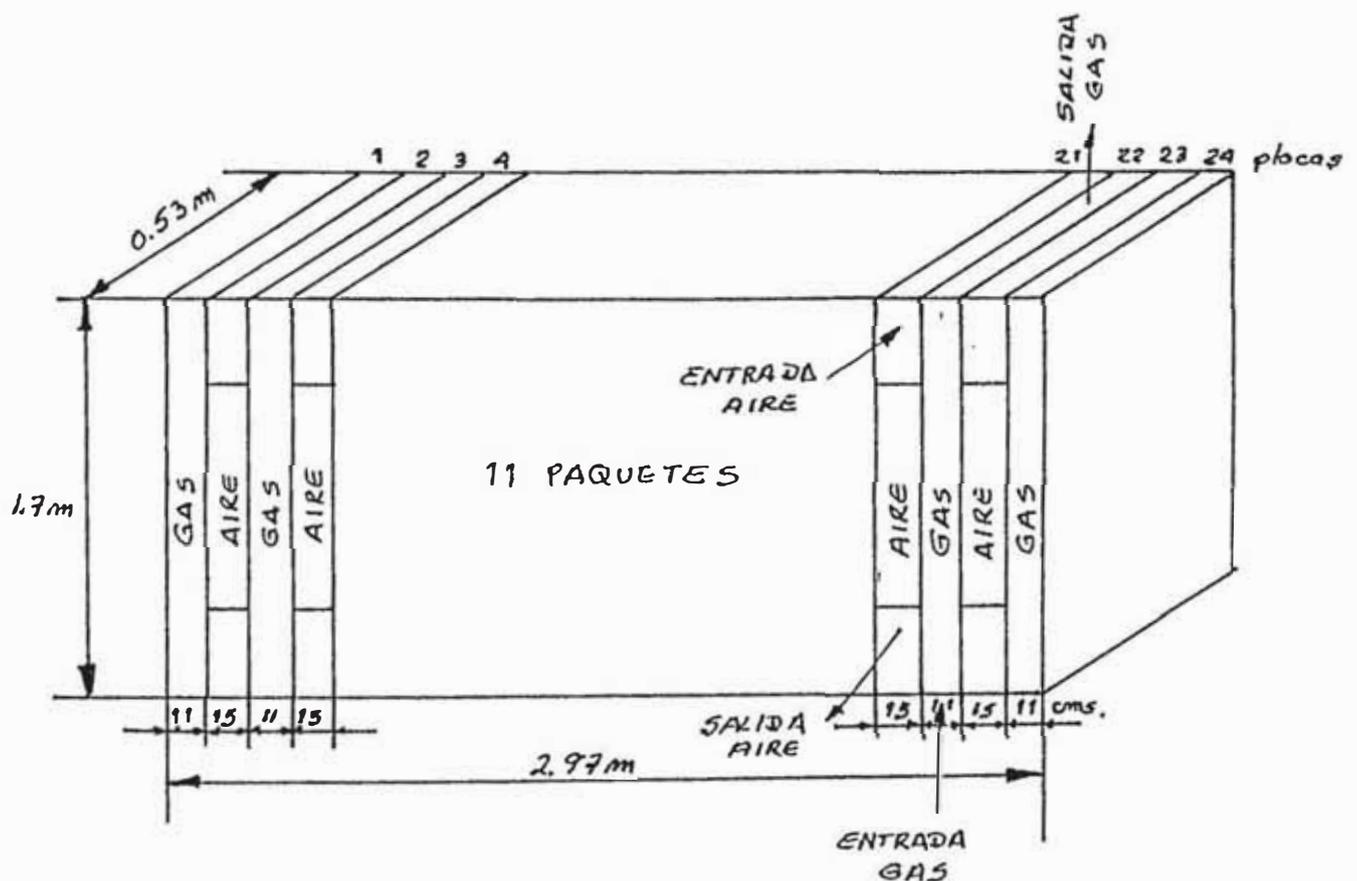


Figura No.5

4.1 Calor necesario para la vaporización del agua de la castaña

El peso de una castaña húmeda es de: 11.81 gr.

El peso de una castaña seca es de: 7.58 gr.

La capacidad de la máquina será de: 5 000 Kg

La masa de agua contenida en 5000 Kg. de castaña será:

$$\left( \frac{11.81 \text{ gr} - 7.58 \text{ gr}}{11.81 \text{ gr}} \right) \times 5,000 \text{ Kg} = 0.358 \times 5,000 \text{ Kg} \\ = 1,790 \text{ Kg de H}_2\text{O}$$

El flujo de masa de agua a ser evaporado será:

$$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{1,790 \text{ Kg}}{8 \text{ hr}} = 223.75 \text{ Kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{hr}$$

$$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} = 0.06215 \text{ Kg}/\text{seg.}$$

El flujo de calor necesario para la vaporización del agua  $\dot{Q}_1 = Q_{\text{vap}} \times \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$

siendo:

$$Q_{\text{vap}} = 540 \text{ Kcal/Kg} = 2,259.4 \text{ KJ/Kg}$$

$$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} = 0.06215 \text{ Kg}/\text{seg}$$

$$\dot{Q}_1 = 2,259.4 \text{ ( KJ/Kg )} \times 0.06215 \text{ ( Kg/seg)}$$

$$\dot{Q}_1 = 140.4 \text{ KW}$$

#### 4.2 Determinación de las temperaturas del aire de secado en recirculación

La temperatura del aire a la salida de la cámara de secado, después de haber atravesado la castaña será de  $t_1 = 65^{\circ}\text{C}$  (considerando los gráficos de humedad relativa en función de la temperatura, gráfico No.1)

El flujo de calor perdido por el aire de recirculación  $\dot{Q}_2$  será:

$$\dot{Q}_2 = C_{p_{\text{aire}}} \times \dot{\phi}_{\text{aire}} \times (t_1' - t_1)$$

siendo:

$$C_{p_{\text{aire}}} (70^{\circ}\text{C}) = 1.020 \text{ KJ/m}^3 \times ^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{\phi}_{\text{aire}} = 10 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$t_1 = 65^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{Q}_2 = \dot{Q}_1 = 140.4 \text{ KW}$$

$$t_1' = \frac{\dot{Q}_2}{C_{p_{\text{aire}}} \times \dot{\phi}_{\text{aire}}} + t_1$$

$$t_1' = \frac{140.4 \text{ KJ/seg}}{1.020 (\text{KJ/m}^3 \times ^{\circ}\text{C}) \times 10 (\text{m}^3/\text{seg})} + 65^{\circ}\text{C}$$

$$t_1' = 79^{\circ}\text{C}$$

#### 4.3 Flujo de calor por convección entre intercambiador de calor y aire de secado

$$\dot{Q}_3 = A_{3-2} \times \alpha_{3-2} \times (t_3' - t_3)$$

siendo:

$$t_3 \leq t_1'' = 79^{\circ}\text{C} \text{ (caso mas desfavorable)}$$

$$A_{3-2} = n \times 1.70 \times 0.53 = n \times 0.90 (\text{m}^2)$$

siendo:  $n = 22$

$$A_{3-2} = 22 \times 0.90(\text{m}^2) = 19.8 \text{ m}^2$$

La velocidad del aire a través de los canales formados por las placas del intercambiador de calor será:

$$v_{3-2} = \frac{\dot{V}_{\text{aire}}}{n \times A_{3-2}} = \frac{10 \text{ m}^3/\text{seg}}{11(0.5 \times 0.15) \text{ m}^2}$$

$$v_{3-2} = 12.1 \text{ m/seg}$$

$$\omega = 12.1 \times \frac{293}{273 + 76} = 10.1 \text{ m/seg}$$

$$\alpha_{3-2} = 7.12 \omega^{0.78} = 7.12 \times 10.1^{0.78}$$

$$\alpha_{3-2} = 43.2 \text{ W/m}^2 \times \text{°C}$$

$$\dot{Q}_3 = \dot{Q}_1 = 140.4 \text{ KW}$$

Entonces:

$$t_3' = \frac{\dot{Q}_3}{A_{3-2} \times \alpha_{3-2}} + t_3$$

$$t_3' = \frac{140,400 \text{ W}}{19.8(\text{m}^2) \times 43.3 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{°C}}\right)} + 79\text{°C} = 163.7 + 79 \text{ °C}$$

$$t_3' = 243 \text{ °C}$$

4.4 Flujo de calor por conducción a través de las placas del intercambiador de calor

$$\dot{Q}_4 = A_{3-4} \frac{\lambda_{3-4}}{S_{3-4}} (t_4 - t_3)$$

siendo:

$$\dot{Q}_4 = 140,400 \text{ W}$$

$$\lambda_{3-4} = 38 \text{ W/m} \times \text{°C} \quad \text{a } 400\text{°C}$$

$$S_{3-4} = 2(1/16'' \times 25.4 \times 10^{-3}) = 0.0032 \text{ m}$$

$$t_3 = 243 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$A_{3-4} = (1.70 \times 0.53) \times 22 \times 0.05$$

donde: 0.05 factor de remache (5%)

$$A_{3-4} = 19.8 \times 0.05 = 0.99 \text{ m}^2$$

entonces:

$$t_4 = \frac{\dot{Q}_4 \times S_{3-4}^1}{A_{3-4} \times \lambda_{3-4}} + t_3$$

$$t_4 = \frac{140,400 \text{ (W)} \times 0.0032 \text{ (m)}}{0.99 \text{ (m}^2) \times 38 \text{ (W/m} \times \text{ } ^\circ\text{C)}} + 243 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_4 = 11.9 + 243 = 254.9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_4 = 255 \text{ } ^\circ\text{C}$$

#### 4.5 Flujo de calor por convección entre los gases de combustión e intercambiador de calor

$$\dot{Q}_5 = A_{5-4} \times \alpha_{5-4} \times (t_5 - t_4)$$

siendo:

$$\dot{Q}_5 = 140,400 \text{ W}$$

$$t_4 = 255 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$A_{5-4} = A_{3-2} = 19.8 \text{ m}^2$$

$$\alpha_{5-4} = 20 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$$

entonces:

$$t_5 = \frac{\dot{Q}_5}{A_{5-4} \times \alpha_{5-4}} + t_4$$

$$t_5 = \frac{140,000 \text{ (W)}}{19.8 \text{ (m}^2) \times 20 \text{ (W/m}^2 \times \text{ } ^\circ\text{K)}} + 255 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_5 = 354.5 + 255 \text{ } ^\circ\text{C} = 609.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_5 = 609 \text{ } ^\circ\text{C}$$

#### 4.6 Determinación de la temperatura de combustión

La temperatura de combustión teórica será:

$$t_{6t} = \frac{Hu}{v_{rt} \times \bar{Cp}_m}$$

dónde:

Hu poder calorífico inferior = 13,538 Kcal/Kg

$$Hu = 13,538 \text{ KJ/Kg}$$

$v_{rt}$  : volumen de productos totales de combustión ( combustión con aire teórico ) x Kg de combustible.

$$v_{rt} = 8 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$Cp_m$  : capacidad calorífica media de los gases de combustión.

$$Cp_m = 1.595 \text{ KJ/m}^3 \times \text{°C} \quad (\text{a } 1,200 \text{ °C})$$

$$t_{6t} = \frac{13,538 \text{ (KJ/Kg)}}{8 \text{ (m}^3/\text{Kg)} \times 1.595 \text{ (KJ/m}^3 \times \text{°C)}}$$

$$t_{6t} = 1,066 \text{ °C}$$

La relación del volumen de aire real al aire teórico será:

$$n = \frac{\text{volumen aire real (m}^3/\text{Kg)}}{\text{volumen aire teórico (m}^3/\text{Kg)}}$$

$$\text{asumimos: } n = 1.8$$

entonces:

$$v_r = 1.8 \times 8 = 14.4 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$\text{luego: } \bar{Cp}_n = 1.8 = \frac{1.528 \times 1 + 1.382 \times 0.8}{1.8}$$

$$\bar{Cp}_n = 1.8 = 1.46 \text{ KJ/m}^3 \times \text{°C}$$

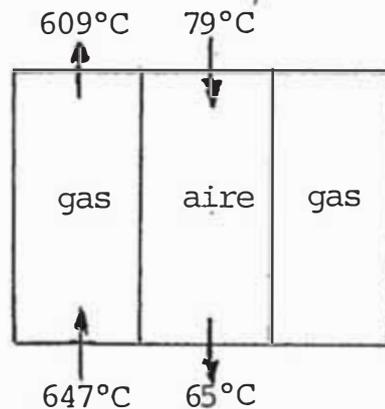
entonces .

$$t_6 = \frac{13,598 \text{ (KJ/Kg)}}{14.4 \text{ (m}^3\text{/Kg)} \times 1.46 \text{ (KJ/m}^3 \text{ x } ^\circ\text{C)}}$$

$$t_6 = 647^\circ\text{C}$$

Cálculo de la temperatura media logaritmica del intercambio de color

La distribución de las placas del intercambiador de color es de la siguiente manera:



La temperatura media logaritmica es:

$$\bar{\Delta T} = \frac{\Delta T_a - \Delta T_s}{\ln(\Delta T_a / \Delta T_s)}$$

donde:  $\Delta T_a = 647 - 609 = 38^\circ\text{C}$

$\Delta T_s = 79 - 65 = 14^\circ\text{C}$

$$\bar{\Delta T} = \frac{38 - 14}{\ln(38/14)} = 24.04$$

Sabemos además que:

$$q = UA \bar{\Delta T}$$

y  $UA = \frac{1}{\sum R}$  ,  $U = \frac{1}{A \sum R}$

luego :  $q = \frac{\bar{\Delta T}}{R_{3-2} + R_{4-3} + R_{5-4}}$

siendo:  $R_{3-2} = \frac{1}{43.2 \text{ (W/m}^2\text{ xK)} \times 19.8 \text{ (m}^2\text{)}} = 1.169 \times 10^{-3} \frac{\text{K}}{\text{W}}$

$$R_{4-3} = \frac{0.0032 \text{ (m)}}{38 \text{ (W/m xK)} \times 0.99 \text{ (m)}} = 8.506 \times 10^{-5} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{5-4} = \frac{1}{20 \text{ (W/m}^2\text{ xK)} \times 19.8 \text{ (m)}} = 2.53 \times 10^{-3} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

entonces:

$$q = \frac{24.04 \text{ (K)}}{(1.169 \times 10^{-3} + 8.506 \times 10^{-5} + 2.53 \times 10^{-3}) \left(\frac{\text{K}}{\text{W}}\right)}$$

$$q = 7338.7 \text{ W}$$

entonces, para el área total se tiene:

$$Q = Aq = 19.8 \times 7338.7 = 145,306.26 \text{ W}$$

$$Q = 145.3 \text{ Kw}$$

De acá se deduce que el intercambiador de calor produce un poco más de calor, que el que se necesita para evaporar toda la humedad de lo castaño (145.3 140.4 Kw);

#### 4.7 Cálculo del flujo de gases de combustión

$$Q_6 = Q_5 = C_{p_n} \times \emptyset_{\text{gas comb}} \times (t_6 - t_5)$$

donde:

$$t_5 = 609 \text{ °C}$$

$$t_6 = 647 \text{ °C}$$

$$Q_5 = 140,000 \text{ W}$$

$$\therefore C_{p_n} = 1.02 \text{ KJ/m}^3 \times \text{°C} \text{ (gases de combustión)}$$

asumiendo  $C_{p_{\text{aire}}}$  a 100°C (caso más desfavorable)

entonces:

$$\emptyset_{\text{gas comb.}} = \frac{Q_5}{C_{p_n} \times (t_6 - t_5)}$$

$$\emptyset_{\text{gas comb.}} = \frac{140.4 \text{ (KJ/seg)}}{1.02 \text{ (KJ/m}^3 \times \text{°C)} \times 38\text{°C}}$$

$$\emptyset_{\text{gas comb.}} = 3.62 \text{ m}^3/\text{seg}$$

La velocidad de ños gases de combustión que pasan a través de los canales formados por las placas del intercambiados de calor serán:

$$V_{\text{gas comb.}} = \frac{\emptyset_{\text{gas comb}}}{A_{\text{intercamb.}}} = \frac{3.62 \text{ (m}^3/\text{seg)}}{12 \times 0.11 \times 0.53 \text{ (m}^2\text{)}}$$

$$V_{\text{gas comb.}} = 5.17 \text{ m/seg.}$$

#### 4.8 Cálculos del combustible necesario

$$V_{\text{gas comb.}} = 3.62 \text{ (m}^3\text{/seg)} \times 3,600 \text{ (seg)} \times 8$$

$$V_{\text{gas comb.}} = 104,256 \text{ m}^3$$

$$V_r = 14.4 \text{ m}^3\text{/kg comb.}$$

$$m_{\text{comb.}} = \frac{V_{\text{gas comb.}}}{V_r} = \frac{104,256 \text{ (m}^3\text{)}}{14.4 \text{ (m}^3\text{/Kg)}}$$

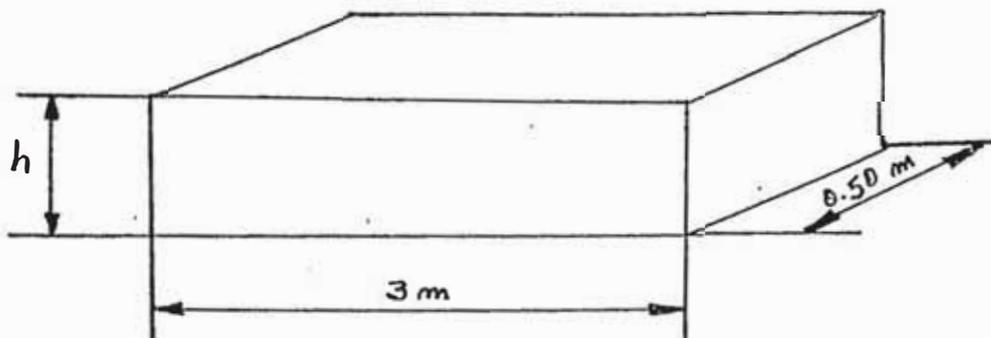
$$m_{\text{comb.}} = 7240 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{comb.}} = \frac{7249 \text{ Kg}}{8 \text{ hr}}$$

$$m_{\text{comb.}} = 905 \text{ Kg/hr}$$

#### 4.9 Cálculo del volumen de combustible

Figura N<sup>o</sup> 6



$$\rho_{\text{cáscara aglom.}} = 0.29 \text{ Kg/lt}$$

La velocidad con que se consume el combustible (cáscara de castaña) será:

$$\dot{v}_{\text{comb}} = \frac{\dot{m}_{\text{combustible}}}{\rho_{\text{cáscar aglom.}}} = \frac{905 \text{ Kg/hr}}{0.29 \text{ Kg/lt}}$$

$$\dot{v}_{\text{comb}} = 3791 \text{ lt/hr}$$

$$h = \frac{\dot{v}_{\text{comb}}}{300 \times 50 \text{ cm}^2} = \frac{379 \times 1,000 \text{ cm}^3/\text{hr}}{300 \times 50 \text{ cm}^2}$$

$$h = 25.3 \text{ cm/hr}$$

Podemos concluir que cada 30 minutos se tendrá que cargar entre 12 a 13 cm de combustible (cáscara de castaña)

#### 4.10 Cálculo de la chimenea

La velocidad de los gases de combustión en la chimenea serán:

$$v_{g \text{ ch}} = 5 \text{ m/seg}$$

$$A_{\text{ch}} = \frac{\phi_{\text{gas comb}}}{v_{g \text{ ch}}}$$

$$\text{siendo: } \phi_{\text{gas comb}} = 3.62 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$A_{\text{ch}} = \frac{3.62 \text{ m}^3/\text{seg}}{5 \text{ m/seg}} = 0.724 \text{ m}^2$$

$$\text{sabemos que: } A_{\text{ch}} = \frac{\pi d_{\text{ch}}^2}{4}$$

$$\text{de dónde: } d_{\text{ch}} = \sqrt{\frac{4 A_{\text{ch}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.724}{\pi}}$$

$$d_{\text{ch}} = 0.96 \text{ m}$$

#### 4.11 Tiro de la chimenea

$$\Delta p = Hg \left( \rho_1 \frac{273}{273 + t_1} - \rho_2 \frac{273}{273 + t_2} \right)$$

donde:

$$h = 5 + 1.7 = 4.7 \text{ m}$$

$$g = 9.81 \text{ m/seg}^2$$

$$\rho_1 = 1.293 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_2 \approx \rho_1$$

$$t_1 = 30^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 423^\circ\text{C}$$

$$\Delta p = \text{N/m}^2$$

$$v: \quad t_2 = \frac{t_g' + t_g''}{2}$$

$$\text{siendo: } t_g' = 697^\circ\text{C}$$

$$t_g'' = 150^\circ\text{C}$$

$$\text{entonces: } t_2 = \frac{697 + 150}{2} = 423^\circ\text{C}$$

reemplazando en la fórmula original:

$$\Delta p = 4.7 \text{ (m)} \times 9.81 \text{ (m/seg}^2) \times 1.293 \text{ (Kg/m}^3) \times \left( \frac{273}{273 + 30} - \frac{273}{273 + 423} \right)$$

$$\Delta p = 4.7 \times 9.81 \times 1.293 \times (0.901 - 0.392)$$

$$\Delta p = 30.3 \text{ N/m}^2$$

$$\Delta p = 0.3 \text{ mbar}$$

#### 4.12 Cálculo de las pérdidas de presión en el hogar

##### 4.12.1 Pérdidas de presión en la chimenea e intercambiador de calor

$$\Delta p_{ch}' = \frac{73.6}{D^{1.269}} \times w_o^{1.852} \times \frac{T}{273 \times p} \times \dot{E} \text{ (N/m}^2)$$

siendo:

$$w_o = 5 \text{ m/seg}$$

$$D = 340 \text{ mm}$$

$$T = \frac{t'_g + t''_g}{2}$$

$$y: t'_g = 697^\circ\text{C}$$

$$t''_g = 150^\circ\text{C}$$

entonces:  $T = 423^\circ\text{C}$  (696 K)

$$P \approx 1 \text{ bar}$$

reemplazando la fórmula original:

$$\Delta P'_{ch} = \frac{73.6}{(340)^{1.269}} \times (5)^{1.852} \times \frac{696}{273 \times 1} \times 4.7$$

$$\Delta P'_{ch} = 10.67 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 1.4 \times 10.67 = 14.94 \text{ Pa}$$

hemos tomado un factor de seguridad del 40 % para todas aquellas pérdidas de presión que no esten contenidas en la aplicación de la fórmula anterior.

Entonces tomamos:

$$P = 15 \text{ Pa}$$

#### 4.12.2 Cálculo de la pérdida de presión en la parrilla de combustible y determinación de las pérdidas-totales

$$\phi_{\text{aire comb.}} = 3.62 \text{ m}^3/\text{seg}$$

La velocidad del aire que pasa a través de la parrilla y el combustible será:

$$v_{\text{aire parrilla}} = \frac{\phi_{\text{aire comb.}}}{A_{\text{parrilla}}} = \frac{3.62 \text{ m}^3/\text{seg}}{3 \times 0.5 \text{ m}^2}$$

$$v_{\text{aire parrilla}} = 2.4 \text{ m/seg}$$

La pérdida de presión del aire que pasa a través de la cáscara de castaña y para una velocidad de 0.25 m/seg - será:

$$\Delta P_{\text{cáscara}} = 68 \text{ Pa/m}$$

como:  $h_{\text{cáscara}} = 13 \text{ cm.}$

$$\Delta P'_{\text{hogar}} = 68 \text{ (Pa/m)} \times 0.13 \text{ cm} \times \frac{(0.30)^2}{0.25}$$

$$\Delta P'_{\text{hogar}} = 12.8 \text{ Pa}$$

asumiendo un factor de seguridad del 20 %

$$\Delta P_{\text{hogar}} = 1.2 \times 12.8 = 15 \text{ Pa}$$

las pérdidas totales serán por lo tanto:

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_{\text{chim.}} + \Delta P_{\text{hogar}} = 15 \text{ Pa} + 15 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{\text{total}} = 30 \text{ Pa} = 0.3 \text{ mbar}$$

#### 4.13 Cálculo del peso del intercambiador

$$e = 2 \times \frac{1}{16}''$$

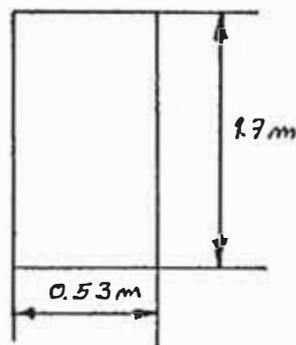


Figura No.7

$$A = 1.70 \times 0.53 = 0.901 \text{ m}^2$$

$$e = 2 \times \frac{1}{16}'' \times 25.4 \times 10^{-3} = 0.0032 \text{ m}$$

$$\text{El volúmen será: } V = A \times e = 0.00289 \text{ m}^3$$

El volúmen de las 24 planchas del intercambiador serán:

$$V_{24} = 24 \times V = 0.07 \text{ m}^3$$

sabemos que:

$$\rho_{\text{acero}} = 7.83 \text{ ton/m}^3$$

$$m_{24} = V_{24} \times \rho_{\text{acero}} = 0.548 \text{ ton}$$

dado que no se han considerado las placas que tapan los canales del intercambiador, ni tampoco el peso de la soldadura, asumiremos un factor de seguridad del 25 %. Por lo tanto el peso aproximado del intercambiador de calor será:

$$m_{\text{total}} = 1.25 \times 0.548 = 0.685 \text{ ton}$$

tomamos:

$$m_{\text{total}} \approx 700 \text{ Kg}$$

#### 4.14 Cálculo de la dilatación térmica del intercambiador de calor

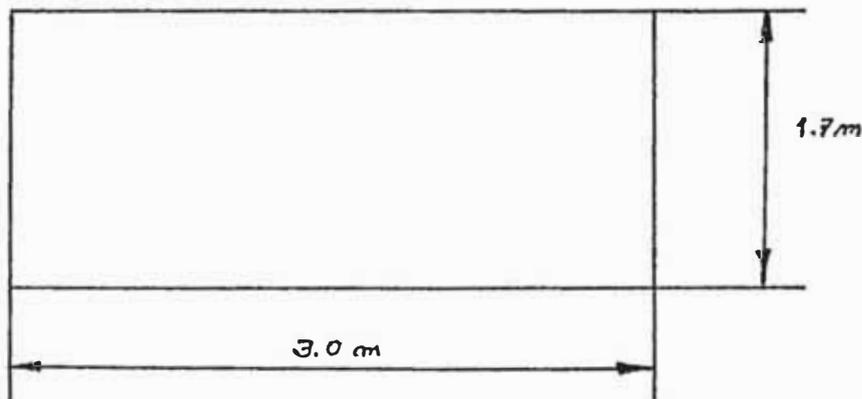


Figura No.8

Asumiendo:  $t_{\text{min}} = 10^{\circ}\text{C}$  (caso más desfavorable)

y:  $t_{\text{máx}} = 800^{\circ}\text{C}$

además sabemos que: el coeficiente de dilatación térmica lineal para el acero entre 25 y  $800^{\circ}\text{C}$  es:

$$\alpha = 0.136 \times 10^{-4} \text{ m/m}$$

$$\frac{\Delta l}{l} = \alpha (t_{\text{máx}} - t_{\text{min}}) = 0.136 \times 10^{-4} (800 - 10)$$

$$\frac{\Delta l}{l} = 0.01074 \text{ m/m}$$

$$\Delta l = 3 \times 0.01074 = 0.03222 \text{ m}$$

$$\Delta l = 32.2 \text{ mm}$$

#### 4.15 Otra forma de cálculo para el coeficiente convectivo

La velocidad calculada en el punto 4.3 para el flujo de aire dentro de los ductos del intercambiador de calor es:

$$v_{\text{aire}} = 12.1 \text{ m/seg}$$

El diámetro hidráulico equivalente será:

$$D_H = \frac{4 \times (0.53 \times 0.15)}{(2 \times 0.15 + 2 \times 0.53)} = 0.4325 \text{ m}$$

La viscosidad cinemática del aire a 200°C será:

$$\nu = 35 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{seg}$$

El número de Reynolds será:

$$Re = \frac{v_{\text{aire}} \times D_H}{\nu_{\text{aire}}} = \frac{12.1(\text{m/seg}) \times (0.4325)(\text{m})}{35 \times 10^{-6}(\text{m}^2/\text{seg})}$$

$$Re = 149,521.4$$

El número de Prandtl a 200°C será:

$$Pr = 0.68$$

Aplicando la fórmula de Rohsenow y Hartnett:

$$N = 0.021 Re^{0.8} \times Pr^{0.6}$$

Para gases con  $0.5 < Pr < 1.0$  y flujo turbulento

Entonces:

$$Nu = 0.021(149,521.4)^{0.8} \times (0.68)^{0.6}$$

$$Nu = 269.87$$

$$\text{como: } Nu = \frac{\alpha D_H}{\lambda}$$

$$\text{siendo: } \lambda = 0.0385 \text{ (W/m x } ^\circ\text{C)}$$

$$\alpha = \frac{N \times \lambda}{D_H} = \frac{269.87 \times 0.0385 \text{ (W/m x } ^\circ\text{C)}}{0.4325 \text{ m}}$$

$$\alpha = 24.02 \text{ W/m}^2 \text{ x } ^\circ\text{C}$$

como:

$$t_3' = \frac{Q_3}{A_{3-2} \times \alpha_{3-2}} + t_3 \quad (\text{Esta fórmula se encuentra en el punto 4.3})$$

siendo:

$$Q_3 = 140,400 \text{ W}$$

$$A_{3-2} = 19.8 \text{ m}^2$$

$$t_3 = 243^\circ\text{C}$$

entonces:

$$t_3' = \frac{140,400 \text{ (W)}}{19.8 \text{ (m}^2\text{)} \times 24.02 \text{ (W/m}^2 \text{ x } ^\circ\text{C)}} + 243^\circ\text{C}$$

$$t_3' = 538^\circ\text{C}$$

Como la temperatura  $t_3' = 538^\circ\text{C}$  así calculada nos da resultado muy alto respecto a la temperatura anteriormente calculada ( $t_3 = 243^\circ\text{C}$ ), tomaremos para efecto de nuestros cálculos  $t_3 = 243^\circ\text{C}$ , para darnos así cierto factor de seguridad y poder lograr posteriormente resultados positivos.

Cálculo de los coeficientes de calor a través de las paredes

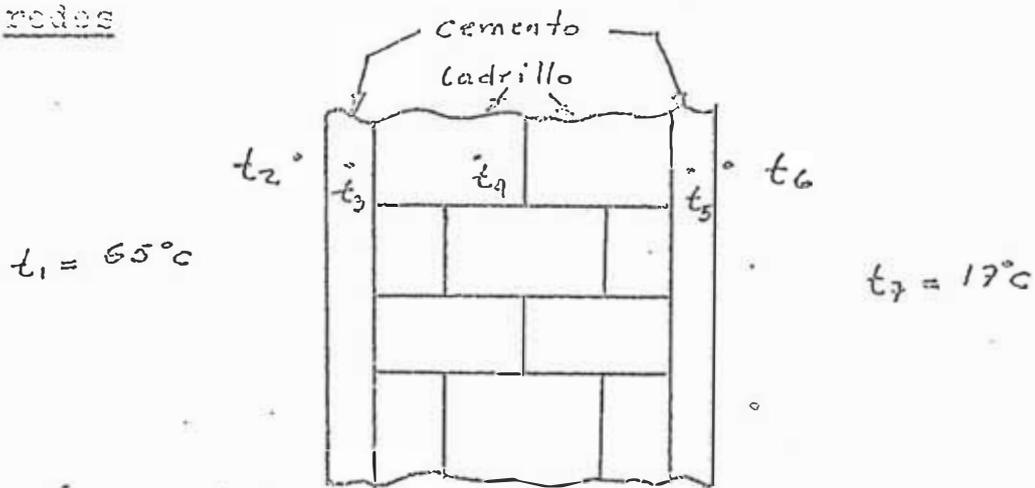


Fig. 8

$$\lambda_{\text{cemento}} = 0.17 \text{ BTU/h x pie}^2 \text{ x } ^\circ\text{F/pie}$$

$$\lambda_{\text{cemento}} = 29.41 \text{ W/m x K}$$

$$\lambda_{\text{ladrillo}} = 0.4 \text{ BTU/h x pie}^2 \text{ x } ^\circ\text{F/pie} = 69.20 \text{ W/m x K}$$

Velocidad del aire en la cámara:

$$V = 1.11 \text{ m/seg} \quad (\text{pág 32})$$

$$\alpha = 6.2 + 4.0 w$$

$$w = wt \times \frac{293}{273 + t} = 1.11 \times \frac{293}{273 + 65} = 0.9622 \text{ m/seg}$$

$$\alpha_i = 10.05 \text{ W/m}^2 \text{ x K}$$

Velocidad del aire en el ambiente exterior:

$$V_{\text{aire}} = 0.2 \text{ m/seg}$$

$$w = 0.2 + \frac{293}{273 + 17} = 1.21 \text{ m/seg}$$

siendo  $t = 17^\circ\text{C}$  (caso mas desfavorable)

$$\alpha_s = 11.04 \text{ W/m}^2 \text{ x K}$$

Sabemos que:

$$q = U \Delta T$$

$$\text{donde: } UA = \frac{1}{\sum R} \quad \text{y} \quad U = \frac{1}{\sum R}$$

entonces:

$$q = \frac{\Delta T}{R_{ci} + R_{Kc} + R_{KL} + R_{Kc} + R_{ce}}$$

dónde:

$R_{ci}$  = resistencia a la convección en el interior de la cámara

$R_{ce}$  = resistencia a la convección en el exterior de la cámara

$R_{Kc}$  = resistencia a la conducción en el concreto

$R_{KL}$  = resistencia a la conducción en el ladrillo

$$R_{ci} = \frac{1}{\alpha_i \times A}$$

Si tomamos como área unitaria  $A = 1 \text{ m}^2$ , y si además sabemos que:

$$\alpha_i = 10.05 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$$

$$s_c = 0.02 \text{ m}$$

$$\lambda_c = 29.41 \frac{\text{W}}{\text{m} \times \text{K}}$$

$$s_L = 0.25 \text{ m}$$

$$\lambda_L = 69.20 \frac{\text{W}}{\text{m} \times \text{K}}$$

$$\alpha_e = 11.04 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}}$$

Entonces:

$$R_{ci} = \frac{1}{\alpha_i \times A} = \frac{1}{10.05 \text{ (W/m}^2 \times \text{K)} \times 1 \text{ m}^2} = 0.0995 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{Kc} = \frac{s_c}{\lambda_c \times A} = \frac{0.02 \text{ (m)}}{29.41 \text{ (W/m} \times \text{K)} \times 1 \text{ (m}^2)} = 0.0340 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{KL} = \frac{s_L}{\lambda_L \times A} = \frac{0.25 \text{ (m)}}{69.20 \text{ (} \frac{\text{W}}{\text{m} \times \text{K}} \text{)} \times 1 \text{ (m}^2)} = 0.0036 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{Kc} = \frac{s_c}{\lambda_c \times A} = \frac{0.02 \text{ (m)}}{29.41 \text{ (} \frac{\text{W}}{\text{m} \times \text{K}} \text{)} \times 1 \text{ (m}^2)} = 0.0340 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{ce} = \frac{1}{\alpha_e \times A} = \frac{1}{11.04 \text{ (} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}} \text{)} \times 1 \text{ (m}^2)} = 0.0906 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

luego:

$$q = \frac{(65 - 17) (K)}{(0.0995 + 0.0340 + 0.0036 + 0.0340 + 0.0906) \frac{K}{W}}$$

$$q = \frac{48 (K)}{(0.2617) \left(\frac{K}{W}\right)} = 183.42 W$$

el área total de transferencia de calor es:

$$A = 2.21 \times 3.03 \times 4 + 3.03 \times 3.03 \times 2 = 45.15 m^2$$

$$Q = q A = 183.42 \times 45.15 m^2 = 8,281.41 W$$

$$Q = 8.28 KW$$

esto representa:

$$\frac{8.28}{102.8} = 8.05 \%$$

CAPITULO 5  
CALCULO DE LA CAMARA DE SECADO

Como ya hemos asumido anteriormente, la cámara de secado - tendrá las siguientes dimensiones:

Cuadrada de 3 x 3 m

Altura del producto: 1.0 m

Altura sobre el producto: 0.6 m

5.1 Cálculo de la parrilla

La parrilla que soportará la castaña en cáscara será de platinas de acero de  $\frac{1}{8}$ " x 1" dispuestos de la siguiente forma:

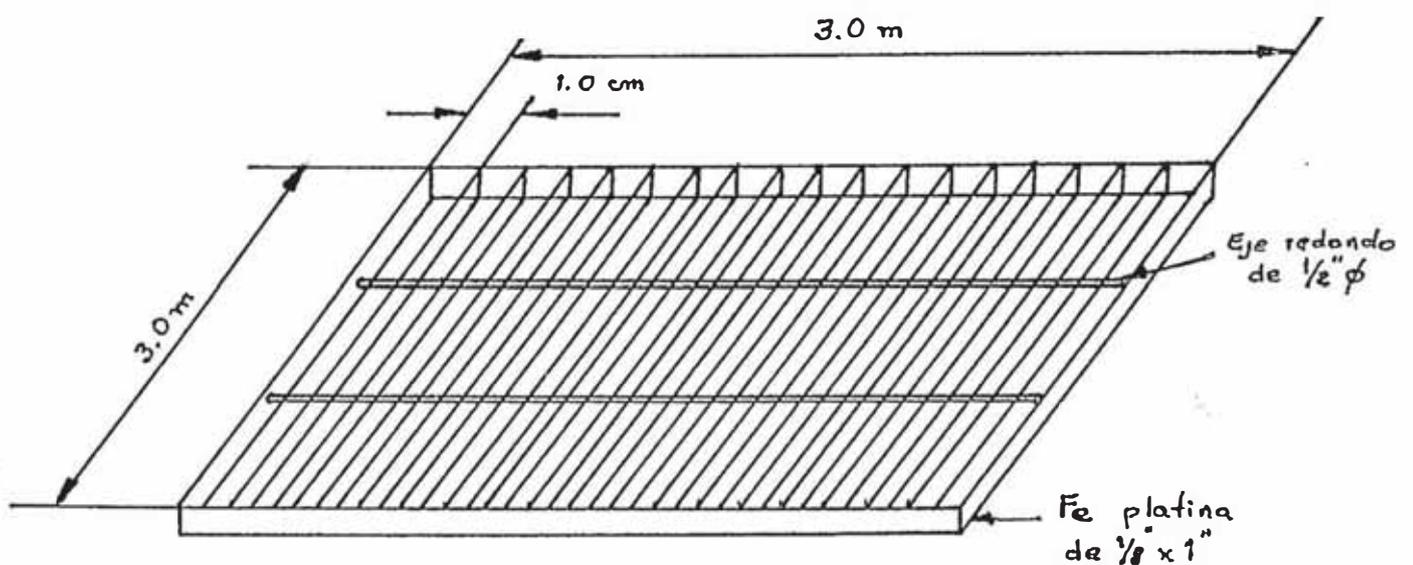


Figura No.9

Carga máxima = 5,000 Kg

$$\text{Area} = 3 \times 3 = 9 \text{ m}^2$$

La carga uniformemente distribuida será:

$$w = \frac{5,000 \text{ Kg}}{9 \text{ m}^2} = 555.56 \text{ Kg/m}^2$$

La parrilla estará soportada por 16 ejes de  $1\frac{1}{2}$ "  $\phi$  dispuestos en cada uno de los lados del cuadrado de la parrilla.

La carga que soportará cada soporte será:

$$W = \frac{5,000 \text{ Kg}}{16} = 312.5 \text{ Kg}$$

Se considera que la parrilla estará simplemente apoyada, y que además se trata de una placa plana.

Placa plana con bordes apoyados solo inferiormente (ángulos con libertad hacia arriba).

Carga uniforme sobre toda la superficie.

El esfuerzo será:

$$S = 0.2214 \frac{w a^2}{t^2}$$

La flecha máxima será:

$$y_{\text{máx}} = \frac{0.0443 \times w \times a^4}{t^2} \quad \text{para } \nu = 0.3 \text{ (acero)}$$

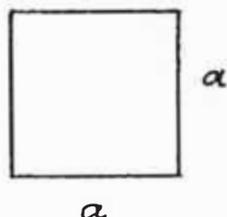


Figura No.10

$$w = 555.56 \text{ Kg/m}^2$$

$$a = 3 \text{ m}$$

$$t = 1'' = (25.4 \text{ mm}) = (2.54 \times 10^{-2} \text{ m})$$

$$E = 2.0 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

El esfuerzo será:

$$S = \frac{0.2214 \times (555.56 \text{ Kg/m}^2) \times (3 \text{ m})^2}{(2.54 \times 10^{-2})^2 \text{ m}^2} = 4'358,302.58 \text{ Kg/m}^2$$

$$S = 435.83 \text{ Kg/cm}^2$$

El esfuerzo de rotura es:

$$S_r = 3.52 \times 10^3 \text{ Kg/cm}^2$$

De aquí deducimos que:  $S < S_r$  cumple.

La flecha máxima será:

$$y_{\text{máx}} = \frac{0.0443 \times (555.56) (\text{Kg/m}^2) \times (3)^4 (\text{m}^4)}{(2.54 \times 10^{-2})^3 (\text{m}^3) \times (2.0 \times 10^{10}) (\text{Kg/m}^2)}$$

$$y_{\text{máx}} = 0.0392 \text{ m}$$

$$y_{\text{máx}} = 3.92 \text{ cm aplicada en el centro}$$

## 5.2 Cálculo de los ejes soportes de la parrilla

La carga de cada eje será:

$$W = 312.5 \text{ Kg}$$

Se considera viga en voladizo con carga en un extremo y empotrada en el otro.

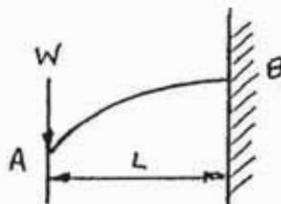


Figura No.11

Las reacciones y fuerza cortante serán:

$$R_1 = R_2 = W = 312.5 \text{ Kg}$$

$$V = -W = -312.5 \text{ Kg}$$

El momento flector será:

$$M = -W \times L \quad (\text{en B})$$

$$M = -312.5 \times 0.1 = -31.25 \text{ Kg-m}$$

Siendo:  $L = 10 \text{ cm}$

La flecha máxima será:

$$y_{\text{máx}} = \frac{W \times L^3}{3 E \times I} \quad (\text{en A})$$

El momento de inercia (i) será:

$$I = \frac{r^4}{4} = \frac{(1.91)^4}{4}$$

$$I = 10.34 \text{ cm}^4$$

Reemplazando en la fórmula:

$$y_{\text{máx}} = \frac{312.5 \text{ (Kg)} \times (10)^3 \text{ (cm}^3\text{)}}{3 \times (2.0 \times 10^6) \text{ (Kg/cm}^2\text{)} \times (10.34) \text{ (cm}^2\text{)}}$$

$$y_{\text{máx}} = 0.5 \text{ cm} = 5.0 \text{ mm}$$

La longitud total de los ejes soportes de la parrilla se  
rán:

$$27 \text{ cm (ancho de la pared)} + 10 \text{ cm (longitud dentro de la -} \\ \text{cámara de secado)} = 37 \text{ cm}$$

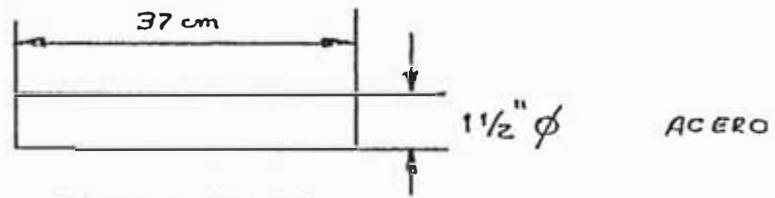


Figura No.12

La cámara de distribución de aire tendrá una altura de 62 cm y estará situada debajo de la parrilla y sobre una losa que servirá para la separación de los lados de alta y baja presión (descarga y succión del ventilador).

La altura debajo de la losa anteriormente mencionada y el nivel del piso será de 1.66 m y en ese espacio irá ubicado el ventilador, que de acuerdo a las dimensiones del fabricante (AIRTEC S.A. ventilador modelo VRI-838), será de 165,7 cm de altura.

La cámara de secado será cuadrada de 3.03 m de lado.

La forma y dimensiones finales se detallan en el plano

La carga de la cascada se hará por el techo mediante una compuerta corrediza de la siguiente manera:

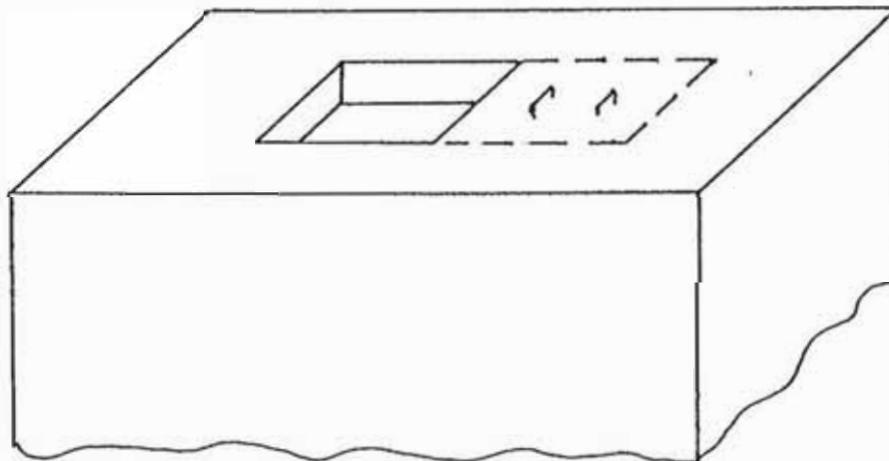


Figura No.13

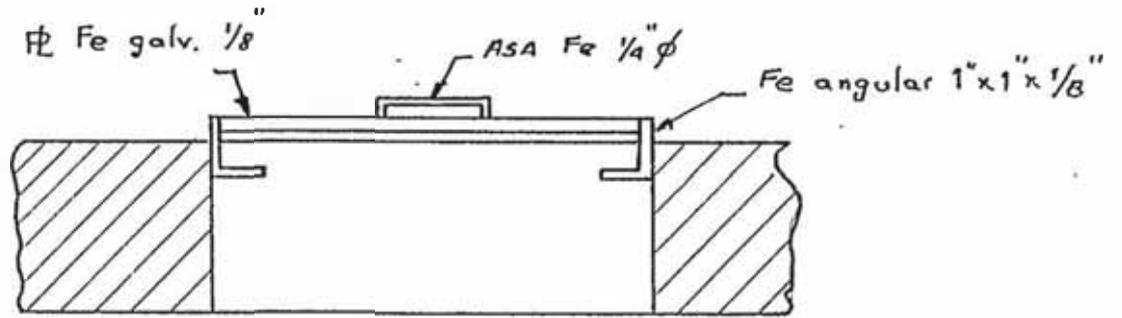


Figura No.14

Detalle de la compuerta de carga de castaña

Esta compuerta servirá también para la evacuación del aire húmedo.

La descarga de la castaña se hará por la pared lateral - frente al hogar de combustión, y mediante dos ventanas que serán cubiertas por dos cajones de la siguiente forma:

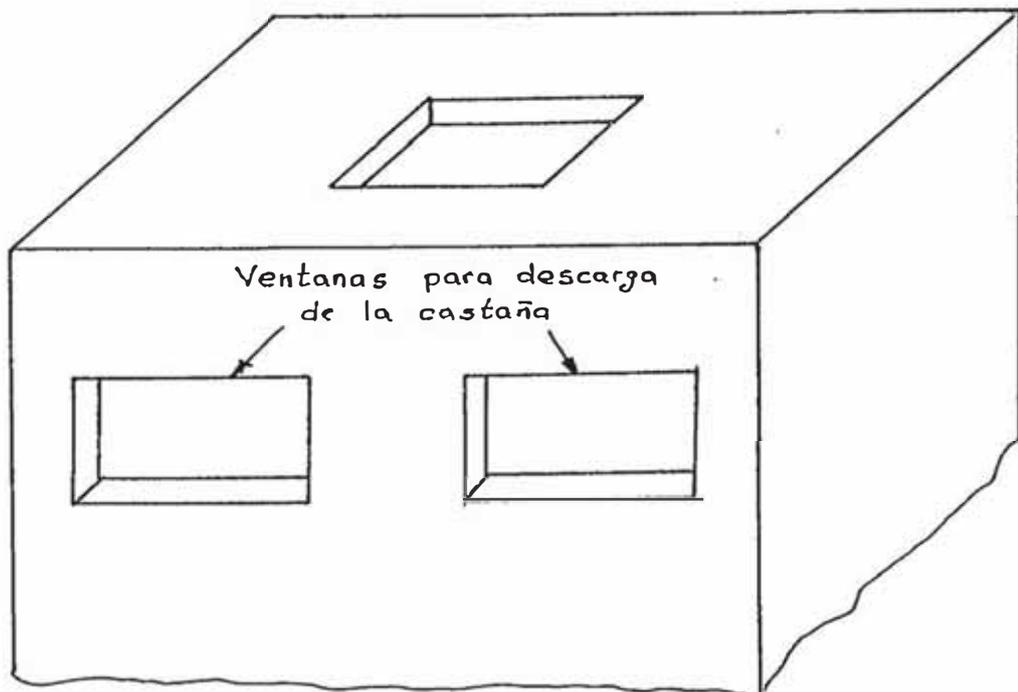


Figura No.15

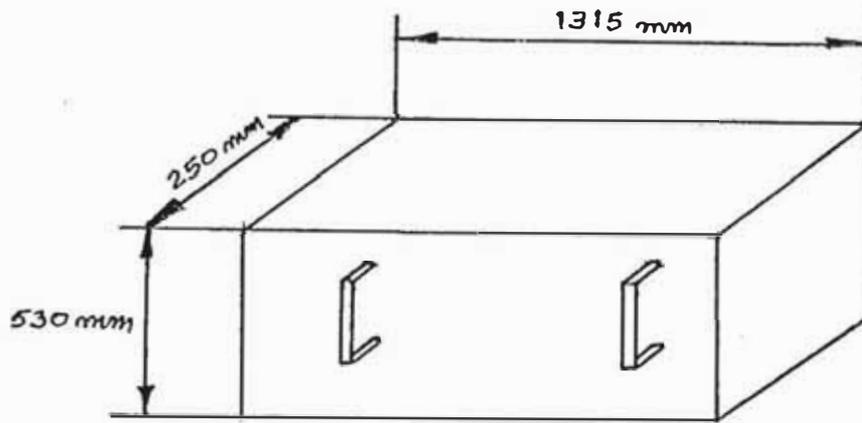
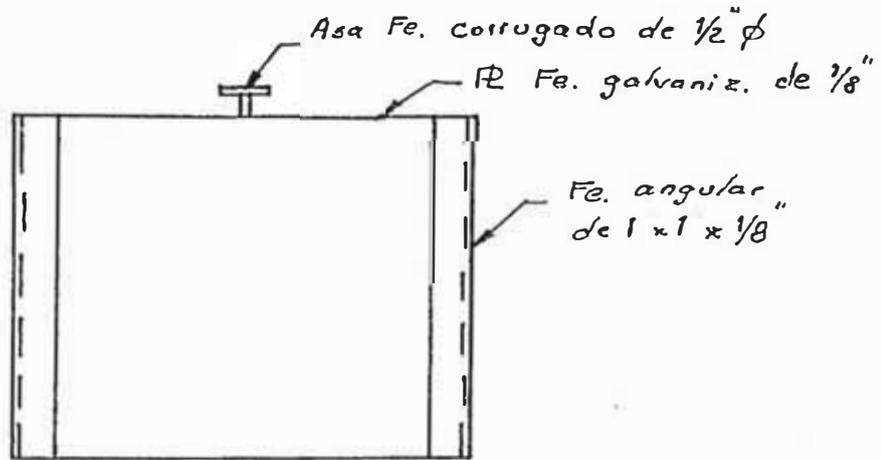


Figura No.16

Cajones para tapar las ventanas de descarga de castaña  
(2 piezas de plancha galvanizada de 1/20")



2 PIEZAS

Figura No.17

Compuertas de conmutación

## CAPITULO 6

### DIMENSIONAMIENTO DEL HOGAR, DUCTOS, ACCESORIOS, CARGA, DES - CARGA DE CASTAÑA Y OTROS

Para mantener la simetría con respecto al intercambiador de calor y la cámara de secado, las dimensiones del hogar serán:

Largo: 3.03 m

Ancho: 0.55 m

Alto: 0.69 m

#### 6.1 Parrilla de combustible

Las dimensiones físicas del edificio que contendrá la parrilla de combustible (cáscara de castaña), son las señaladas líneas arriba.

Las dimensiones de la parrilla del combustible debido a las dilataciones térmicas serán:

Dilatación lineal:

$$\Delta L = L \alpha x (t_{\text{máx}} - t_{\text{Min}})$$

$$t_{\text{mi}} = 10^{\circ}\text{c} \quad (\text{temperatura ambiente, caso más -  
desfavorable})$$

$$t_{\text{máx}} = 800^{\circ}\text{c} \quad (\text{caso más desfavorable})$$

$$\alpha = 0.136 \times 10^{-4} \quad (\text{acero } 25 \dots 600^{\circ}\text{C})$$

$$\frac{\Delta L}{L} = 0.136 \times 10^{-4} \times (800 - 10) = 0.01074 \text{ m/m}$$

$$\frac{L_f - L_o}{L_o} = 0.01074$$

$$L_f = L_o (1 + 0.01074)$$

$$L_f < 5050 \text{ mm} \quad (\text{condición})$$

$$L_o < 2998 \text{ mm}$$

$$L_o = 2995 \text{ mm}$$

Las dimensiones y forma de la parrilla de combustible serán las siguientes:

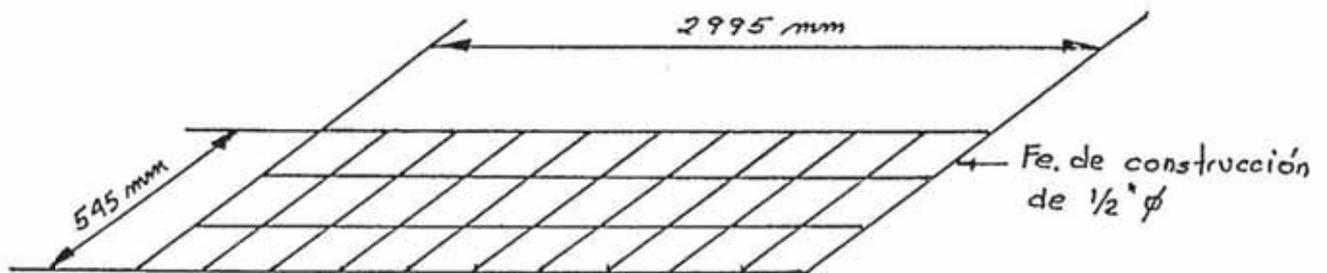


Figura No.18

El peso de la cáscara de la castaña será:

Altura de cáscara 13 cm cada 30 mín.

Volúmen de cáscara de castaña:

$$V_{\text{cáscara}} = 299.5 \times 54.5 \times 13 = 212,195.75 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{cáscara}} = 212.20 \text{ lt}$$

El peso de la cáscara será:

$$P = 1.02 \text{ Kg/lt} \times 212.20 \text{ lt}$$

$$P = 216.45 \text{ Kg} = 217 \text{ Kg}$$

6.2 Chequeo de los esfuerzos de flexión de la parrilla

$$\text{Carga} = 217 \text{ Kg}$$

$$\text{Area} = 2.995 \times 0.545 = 1.6323 \text{ m}^2$$

Carga uniformemente distribuída:

$$\omega = \frac{217 \text{ Kg}}{1.6323 \text{ m}^2} = 132.94 \text{ Kg/m}^2$$

Assumiendo como en el caso anterior de la parrilla de la cámara de secado, placa plana simplemente apoyada:

$$S_{\text{máx}} = \frac{0.75 \omega b^2}{t^2 \times (1 + 1.61 \alpha^2)} \quad a \quad \square \quad \frac{b}{a} = \alpha$$

$$S_{\text{máx}} = \frac{0.75 \times (132.94) (\text{Kg/m}^2) \times (0.545)^2 (\text{m}^2)}{\left(\frac{2.54 \times 10^{-2}}{2}\right)^2 (\text{m}^2) \times \left(1 + 1.61 \times \frac{0.545}{2.995}\right)}$$

$$S = 71,004.11 \text{ Kg/m}^2 = 7.1 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Y_{\text{máx}} = \frac{0.1422 \omega b^4}{E \times t^3 \times (1 + 2.21 \alpha^3)}$$

$$Y_{\text{máx}} = \frac{0.1422 \times (132.94) (\text{Kg/m}^2) \times (0.545)^4 (\text{m}^4)}{(2.0 \times 10^{10}) (\text{Kg/m}^2) \times \left(\frac{2.54}{2} \times 10^{-2}\right)^3 (\text{m}^2)} \times \frac{1}{1 + 2.21 \times \left(\frac{0.545}{2.995}\right)^3}$$

$$Y_{\text{máx}} = 4.0175 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$Y_{\text{máx}} = 0.0402 \text{ mm}$$

La parrilla estará soportada en tres ejes por cada

$$P = 216.45 \text{ Kg} = 217 \text{ Kg}$$

### 6.2 Chequeo de los esfuerzos de flexión de la parrilla

$$\text{Carga} = 217 \text{ Kg}$$

$$\text{Area} = 2.995 \times 0.545 = 1.6323 \text{ m}^2$$

Carga uniformemente distribuída:

$$\omega = \frac{217 \text{ Kg}}{1.6323 \text{ m}^2} = 132.94 \text{ Kg/m}^2$$

Asumiendo como en el caso anterior de la parrilla de la cámara de secado, placa plana simplemente apoyada:

$$S_{\text{máx}} = \frac{0.75 \omega b^2}{t^2 \times (1 + 1.61 \alpha^3)} \quad \begin{array}{c} a \\ \square \\ b \end{array} \quad \frac{b}{a} = \alpha$$

$$S_{\text{máx}} = \frac{0.75 \times (132.94) (\text{Kg/m}^2) \times (0.545)^2 (\text{m}^2)}{\left(\frac{2.54 \times 10^{-2}}{2}\right)^2 (\text{m}^2) \times \left(1 + 1.61 \times \frac{0.545}{2.995}\right)}$$

$$S_{\text{máx}} = 71,004.11 \text{ Kg/m}^2 = 7.1 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Y_{\text{máx}} = \frac{0.1422 \omega b^4}{E \times t^3 \times (1 + 2.21 \alpha^3)}$$

$$Y_{\text{máx}} = \frac{0.1422 \times (132.94) (\text{Kg/m}^2) \times (0.545)^4 (\text{m}^4)}{(2.0 \times 10^{10}) (\text{Kg/m}^2) \times \left(\frac{2.54}{2} \times 10^{-2}\right)^3 (\text{m}^2)}$$

$$\frac{1}{1 + 2.21 \times \left(\frac{0.545}{2.995}\right)^3}$$

$$Y_{\text{máx}} = 4.0175 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$Y_{\text{máx}} = 0.0402 \text{ mm}$$

La parrilla estará soportada en tres ejes por cada

lado de mayor dimensión y en dos por los de menos dimensión.

La carga total de cada eje será:

total de ejes = 10

carga total:  $W = \frac{217}{10} = 21.6 \text{ Kg}$

Dado que la carga es insignificante; no será necesario calcular los ejes de apoyo de la parrilla de combustible, estos serán empotrados.

El fondo del espacio reservado para el hogar, debajo de la parrilla de combustible, estará ubicada una caja para depositar las cenizas, que tendrá las siguientes dimensiones:

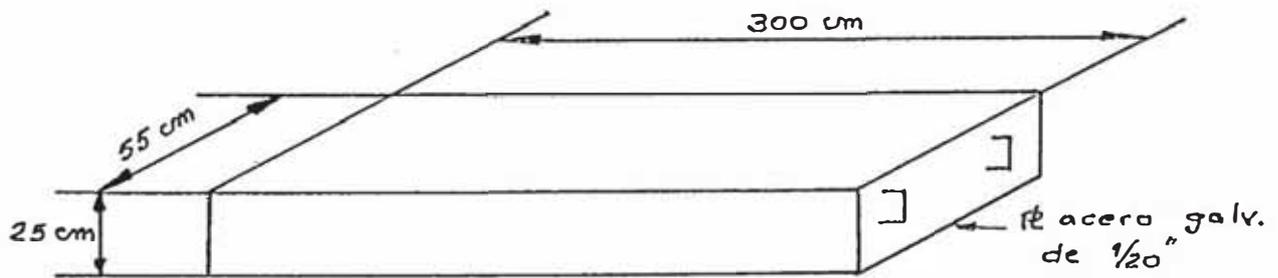


Figura No.18

Para la alimentación de combustible se deberán dos ventanas que serán cubiertas por dos tapas metálicas de las siguientes dimensiones:

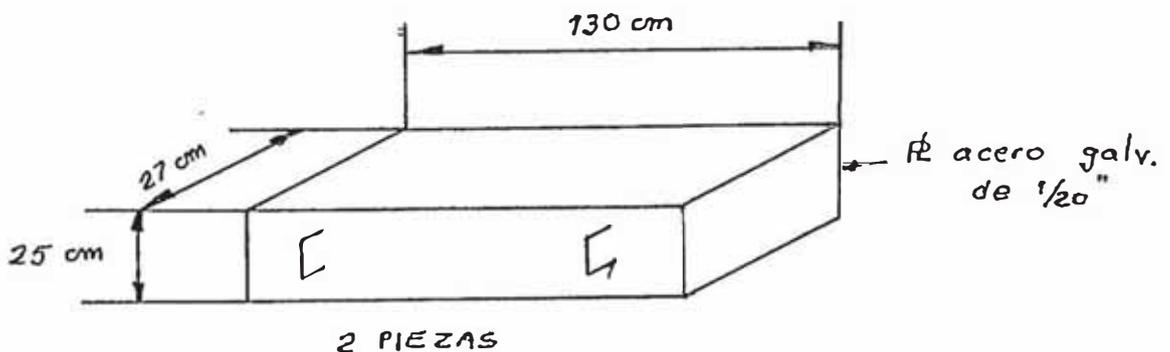
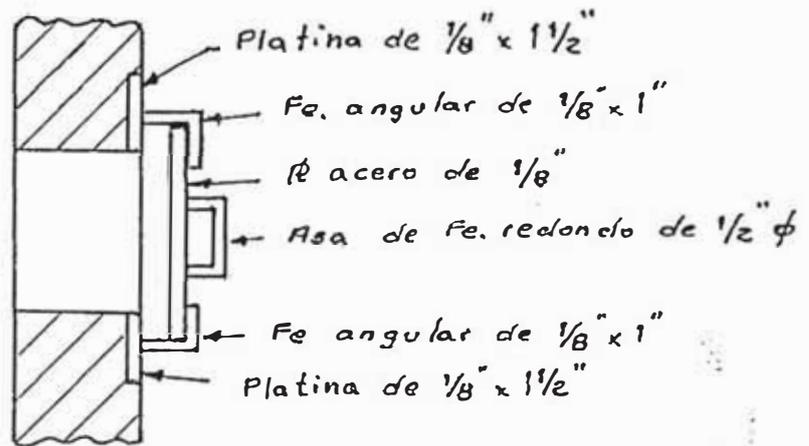
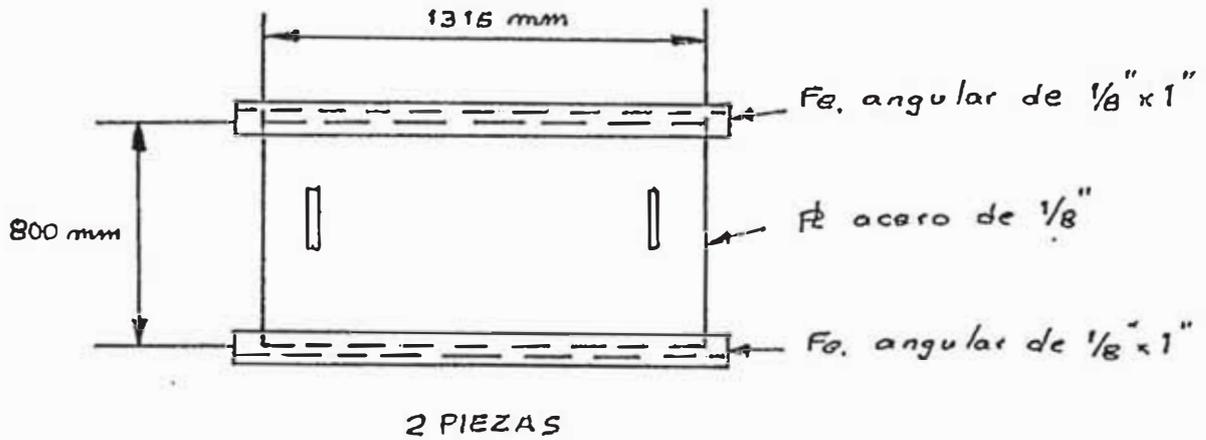


Figura No.19

Para la entrada de aire de combustión se dejarán dos ventanas que tendrán dos compuertas corredizas de las siguientes dimensiones:



VISTA LATERAL

Figura No.20

La entrada de aire fresco de secado será por dos ventanas abiertas que estarán ubicadas en las dos paredes laterales al costado de la descarga de castaña de la cámara de secado, y entre esta última y el hogar e intercambiador de calor.

## CAPITULO 7

### MONTAJE, PUESTA EN OPERACION Y RESULTADOS

#### 7.1 Aspectos de montaje

A continuación se especificarán detalladamente todas las consideraciones y precauciones que se deben tomar para el montaje de los diferentes elementos mecánicos y eléctricos componentes de la máquina.

Se entiende que la construcción civil, previa su supervisión durante su ejecución ha sido concluída.

Detallaremos a continuación todos los elementos que serán montados.

##### 7.1.1 Intercambiador de calor

El intercambiador de calor deberá ser montado por el vano o agujero de montaje que para tal efecto se deberá dejar por ambos costados del lugar.

El intercambiador deberá ser izado con un tecele mecánico de la parte superior del hogar, justo del lugar del nacimiento de la chimenea.

Una vez que alcance la posición final, se instalarán unos soportes de acero corrugado de construcción de 3/4"  $\phi$  que irán soldados a los fierros de la pared delantera (lado de la alimentación de combustible) y pared posterior respectivamente.

Se deberá tener especial cuidado de que el intercambiador de calor quede perfectamente centrado respecto de las cuatro paredes del hogar, para que por efectos de la dilatación térmica, no llegue a hacer contacto con las paredes del hogar antes mencionado.

#### 7.1.2 Parrilla del Hogar

La parrilla del hogar de combustión deberá ser montada por el mismo agujero de montaje dejado para el intercambiador de calor, se instalará sobre soportes de fierro de construcción de 1/2"  $\phi$  soldados a los fierros de las paredes y teniendo en cuenta las mismas consideraciones que para el caso del intercambiador de calor.

#### 7.1.3 Caja de cenizas y cajas para alimentación de combustible

La caja de cenizas será instalada debajo de la parrilla del hogar y al nivel del piso.

Las cajas para alimentación de combustible (2), serán instaladas en las ventanas que para tal efecto fueron dejadas en la construcción del edificio.

Se deberá tener especial cuidado en que las dimensiones de las ventanas coincidan con las de las cajas, para evitar la fuga de gases de combustión.

#### 7.1.4 Compuertas para el aire de combustión y chimenea

Durante la construcción del hogar fueron instalados los fierros angulares de 1/8" x 1" que constituyen el marco de las compuertas por donde deberán ser instaladas posteriormente las compuertas metálicas de plancha de acero de 1/8".

Se deberá tener especial cuidado en la posición y dimensiones finales de los marcos, de tal manera que las compuertas puedan ser instaladas posteriormente con facilidad, dándole para ello cierta holgura.

El ducto de la chimenea fabricada en plancha de acero galvanizado de 1/20" será montado en la parte superior del intercambia-

dor de calor y fijado a una plancha de acero de 1/4" de espesor con cuatro pernos en sus extremos.

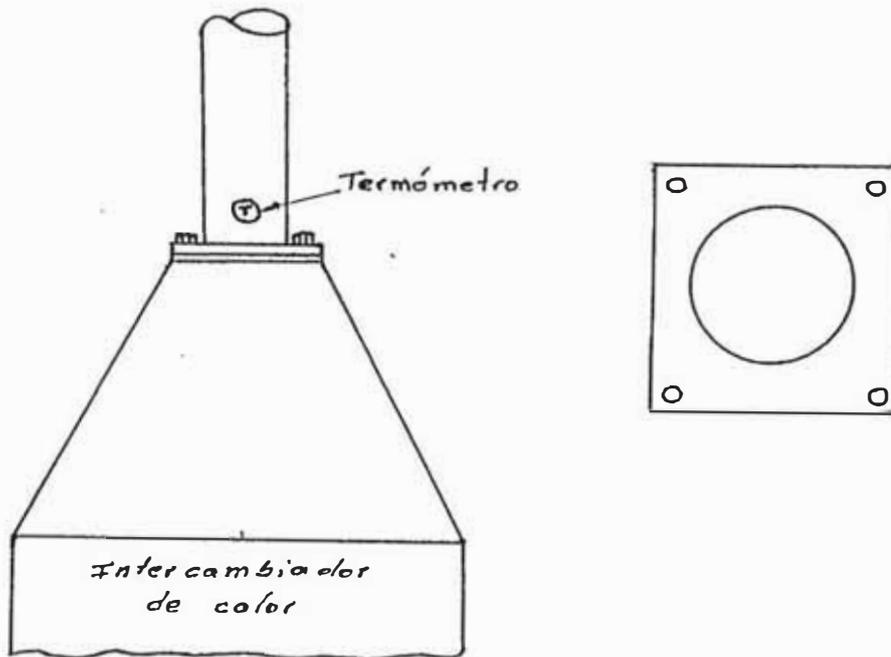


Figura N<sup>o</sup> 21

Vista lateral y superior de la chimenea

#### 7.1.5 Ventilador, instalaciones eléctricas e instrumentos de control

El ventilador deberá ser montado en el espacio dejado para ello debajo de la parrilla de la cámara de secado.

Se deberá cuidar de que quede perfectamente instalado en posición horizontal y que las brisas de aspiración y descarga coincidan

con los agujeros que para tal efecto se dejarán en la pared junto al hogar de combustión, y en la loza de la cámara de distribución de aire de secado.

De existir algún espacio entre las bridas de admisión y descarga del ventilador y paredes, se deberá aumentar un anillo metálico y sellar con concreto.

La caja conteniendo el contactor, relé térmico y la botonera de arranque y parada, deberá montarse junto al ventilador y en la columna hacia el lado del hogar de combustión. Toda la instalación de cables deberá de ser entubada (tubo de 2"Ø PVC) y debajo del piso.

Los termómetros para el control de temperatura serán instalados en un tubo de acero galvanizado que atraviesa las paredes de la cámara de secado (antes y después de la parrilla) y en la chimenea respectivamente.

#### 7.1.6 Parrilla para castaña en cáscara

La parrilla para la castaña en cáscara será montada bajo el mismo principio utilizado para el montaje del intercambiador de calor

y parrillada de combustible, es decir utilizando para ello soportes de acero 1 1/2"Ø soldados a los fierros de construcción dejados para tal efecto en las cuatro paredes de la cámara de secado. Se deberá de tener especial cuidado en que los soportes queden en posición horizontal. Se montará primero al marco y luego los seis módulos de la parrilla de 1m<sup>2</sup> cada uno.

7.1.7 Compuerta para la carga de castaña en cáscara y eliminación de la humedad

La compuerta deberá ser montada dejando para ello previamente el marco de fierro angular de 1" x 1" x 1/8" para ser vaciado con concreto en el agujero dejado para tal efecto en el techo de la cámara desecado. Se deberá de tener cuidado de respetar las medidas y paralelismo de dicho marco.

Luego se instalará la compuerta, insertándola en dicho marco.

7.1.8 Cajas para la descarga de castaña en cáscara

Las cajas para la descarga de la castaña en cáscara de la cámara de secado (2), serán

instaladas en las ventanas que para tal efecto fueron dejadas en la construcción del edificio.

Se deberá tener especial cuidado de que las dimensiones de las cajas y las ventanas coincidan para evitar las fugas de aire al exterior.

## 7.2 Puesta en operación y resultados

Las pruebas para la puesta en operación de la máquina, fueron realizadas primero sin combustión (sin calor) y en vacío, es decir sin castaña a secarse; utilizando para ello sólo el ventilador.

A continuación se efectuaron las pruebas con ventilador, combustión (con calor), pero en vacío, es decir sin castaña a secarse.

Finalmente se efectuaron las pruebas con castaña y con todo el sistema funcionando.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Protocolo de pruebas-puesta en operación

1.-Operación del motor del ventilador en vacío

1.1 Tensión de llegada al contactor antes del arranque.

$$u_{RS} = 416 \text{ V}$$

$$u_{ST} = 416 \text{ V}$$

$$u_{TR} = 416 \text{ V}$$

$$u_{RN} = 225 \text{ V}$$

$$u_{SN} = 227 \text{ V}$$

$$u_{TN} = 227 \text{ V}$$

Tabla No.19

1.2 Chequeo del conexionado del motor(380 V)

Conforme.

1.3 Operación del motor e vacío

1.3.1 Sentido de rotación: correcto

1.3.2 Tensiones de llegada en el contactor

$$u_{RS} = 410 \text{ V}$$

$$u_{ST} = 410 \text{ V}$$

$$u_{TR} = 410 \text{ V}$$

$$u_{RN} = 225 \text{ V}$$

$$u_{SN} = 227 \text{ V}$$

$$u_{TN} = 227 \text{ V}$$

Tabla No.20

1.3.3 Corrientes de línea

$$I_R = 6.5 \text{ A}$$

$$I_S = 7.0 \text{ A}$$

$$I_T = 7.0 \text{ A}$$

Tabla No.21

2.-Operación del sistema sin carga(sin castaña) y sin calefacción

2.1. Tensión y estado de las correas de transmisión del ventilador.

Correcta

2.2. Arranque del ventilador con compuertas de salida de aire y humedad cerradas.

t(seg)	$I_r$ (A)	$u_{RS}$ (V)	$I_S$ (A)	$u_{ST}$ (A)	$I_T$	$u_{TR}$
0	110	360	115	360	120	370
5	100	380	105	370	100	375
10	80	380	100	410	80	390
15	50	410	80	410	30	410
20	20	410	22	410	20	415
25	18	410	22	415	20	415
30	18	410	22	415	20	418
35	18	410	22	418	20	418
40	18	410	22	418	20	418
45	18	410	22	418	20	418
	18	410	22	418	20	418

Tabla No.22

## 2.5 Operación estacionaria del ventilador

	Compuertas cerradas	Recirculación 100 %	Circuito abierto 100 %	Recirculación 50 %
$I_R$ (A)	20	18	19	19
$I_S$ (A)	20	18	19	19
$I_T$ (A)	21	20	20	20
$u_{RS}$ (V)	400	400	400	400
$u_{ST}$ (V)	400	400	400	400
$u_{TR}$ (V)	400	400	400	400
$u_{RN}$ (V)	220	220	220	220
$u_{SN}$ (V)	220	220	220	220
$u_{TN}$ (V)	220	223	220	220

Tabla No.23.

## 2.4 Vibraciones del ventilador

Normales

## 2.5 Fugas del aire de secado

Por las porosidades del sello (silicona)

## 2.6 Distribución del flujo en la cámara de secado

El flujo de aire es uniforme, incluso sin castaña

## 2.7 Temperatura(T) y humedad(H)

2.7.1 Del aire de secado después de 15 minutos de operación en recirculación 100 %

$$T = 20^{\circ}\text{C}$$

$$H = 85 \%$$

2.7.2 Atmosférica

$$T = 17.5^{\circ}\text{C}$$

$$H = 96 \%$$

3.-Operación del sistema sin carga(sin castaña)y con calefacción

3.1 Temperatura y humedad del aire de secado en recirculación al 100 % en la cámara de secado.

t (min)	T (°C)	H (%)
0	21	96
2.5	22	86
5	23	83
7.5	24	83
10	24	82.5
15	24	82
20	24	81
25	15	77
30	26	74.5
35	27	73
40	28.5	69
45	29.5	66
50	30	65
55	31	64

Tabla No.24

3.2 Temperatura de los gases de combustión en operación de recirculación 100 %

3.2.1. A la entrada al intercambiador

$$T_{ge} = 360 \text{ °C} \quad (\text{termocupla} = 15 \text{ mV})$$

3.2.2. A la salida del intercambiador

$$T_{gs} = 240 \text{ °C} \quad (\text{termocupla} = 10 \text{ mV})$$

3.3. Temperatura y humedad del aire de secado en circuito abierto 100 %

Compuertas abiertas y tapa superior abierta

$$T = 37 \text{ °C}$$

$$\bar{H} = 46 \%$$

Compuertas cerradas y tapa superior abierta

$$T = 30^{\circ}\text{C}$$

$$\bar{H} = 57 \%$$

3.4 Temperatura de los gases de combustión en operación - de circuito abierto 100 %

3.4.1. A la entrada al intercambiador

$$T_{ge} = 360^{\circ}\text{C} \quad (\text{termocupla} = 15 \text{ mV})$$

3.4.2. A la salida del intercambiador

$$T_{gs} = 250^{\circ}\text{C} \quad (\text{termocupla} = 11 \text{ mV})$$

3.5 Chequeo de la sensibilidad del sistema maniobrando - parcialmente las compuertas de salida de aire y conmutación.

Comenzando la medición desde  $45^{\circ}\text{C}$  y al cabo de 4 horas de operación se obtuvo:

$$T = 50^{\circ}\text{C}$$

$$\bar{H} = 39 \%$$

$$T_{amb} = 19^{\circ}\text{C}$$

$$\bar{H}_{amb} = 95 \%$$

4.- Operación del sistema con 2.5 ton/5 ton de carga (aprox 50 cm/100 cm de altura de castaña) y con calefacción

Estando el sistema en estado estacionario:

4.1 Temperatura del aire de secado

4.1.1. En la parte inferior de la cámara de secado

$$T_i = 50^{\circ}\text{C}$$

4.1.2. En la parte superior de la cámara de secado

$$T_s = 33^{\circ}\text{C}$$

4.2 Temperatura de los gases de combustión

4.2.1. A la entrada al intercambiador

$$T_{ge} = 420^{\circ}\text{C} \quad (\text{termocupla} = 30 \text{ mV}).$$

4.2.2. A la salida del intercambiador

$$T_{gs} = 280^{\circ}\text{C} \quad (\text{termocupla} = 12 \text{ mV})$$

4.3 Regulación de las compuertas para obtener  $65^{\circ}\text{C}$  en la parte inferior de la cámara de secado

4.3.1. Compuerta de salida de aire

Posición: abierta 4 horas (cerrando paulatinamente hasta dejarla 10 cm abierta)

4.3.2. Compuerta de conmutación

Posición: 8 horas abierta, 1 hora cerrada

$$T_{\text{amb}} = 27^{\circ}\text{C}$$

$$H_{\text{amb}} = 82 \%$$

Estos son datos iniciales.

4.4 Temperatura y humedad del aire de secado

t (hr)	T <sub>i</sub> (°C)	T <sub>s</sub> (°C)	H <sub>s</sub> (%)
0	23	23	72
1	27.5	26.5	98
2	30	28	98
3	35.5	31.5	90
4	43.5	35	86
5	41.5	35	82
6	42.5	36	79
7	43.5	36	65
8	28	30	54

Tabla No.25

4.5 Alimentación de combustible(cáscara de castaña)

Al iniciar la combustión se cargaron 0.4 m<sup>3</sup> de combustible(cáscara de castaña)

Cada 15 minutos se le agregan 30 palas(lompas) de combustible lo que equivale aproximadamente entre 10 a 12 cms de altura de cáscara de castaña en la parrilla de combustión.

Temperatura y humedad del aire de secado

t (hr)	T <sub>i</sub> (°C)	T <sub>s</sub> (°C)	H <sub>s</sub> (%)
0	25	25	82
1	36	28	100
2	45	29	100
3	50	30	100
4	46	30	93
5	48	33.5	91
6	48	32	83
7	47	32	68
8	50	39	63
9	30	29	56

Tabla No. 26

A continuación detallaremos sólo los datos referentes a las temperaturas y humedades en la cámara de secado.

La carga de combustible es constante, a razón de 30 pastillas (lampas) cada 15 minutos, lo que representa una altura en la parrilla de combustible de 10 a 12 cms. cada 1/2 hora de acuerdo a lo calculado.

Temperatura y humedad del aire de secado

t (Hr)	T <sub>i</sub> (°C)	T <sub>s</sub> (°C)	H <sub>s</sub> (%)	H <sub>amb</sub> (%)
0	24	23	92	
1	28	27	99	89
2	32.5	27	98.5	82.5
3	37	28	95	75
4	39	30	82	73.5
5	43	36.5	86	73
6	47.5	39.5	90	73
7	43	35	72	70
8	44	36	62	68
9	38.5	33	60	82

Tabla No. 27

Hasta la cuarta hora estuvieron las compuertas de evacuación de la humedad cerradas. A partir de la quinta hora se abrió la compuerta en un 25 % a continuación y hasta la novena hora se abrió la compuerta al 100 %

Temperatura y humedad del aire de secado.

Las últimas pruebas que se efectuaron con 5,000 Kg de castana con cáscara, dieron los siguientes resultados:

t(hr)	T <sub>i</sub> (°C)	T <sub>s</sub> (°C)	H <sub>s</sub> (%)	H <sub>amb</sub> (%)	T <sub>amb</sub> (%)	T <sub>chim</sub> (°C)
0	26	26	96	96	24	27
1	29	27.5	100	88	27	340
2	3	29.5	100	83	27.5	100
3	33	29.5	99	81	29.5	130
4	35	30	98	79	29	200
5	37	31	97	75.5	29	190
6	37.5	31	92	74.5	29	150
7	45	35	95	62	28.5	220
8	37	33	86	87	25.5	180
9	41.5	30.5	82	77	25	240
10	45.5	38.5	84	90	23	200
11	43.5	35	75	96	22.5	230
12	40	29.5	68	89	21.5	200
12.5	37	29	66	90	21	50

Tabla No. 28

La última media hora de secado se efectuó sin cargar combustible(cáscara de castaña)y teniendo en funcionamiento solamente el ventilador.

### 7.3 Recomendaciones para la operación y el mantenimiento de la máquina

- a) Los fusibles de la llave de cuchilla de la alimentación eléctrica del motor del ventilador deberán ser reemplazados de ser necesario sólo por fusibles iguales a los originales (100 A).
- b) El ajuste del relé térmico del motor del ventilador deberá mantenerse siempre en la posición original (25 A).
- c) Las cunaceras del ventilador deberán lubricarse cada semana con grasa de consistencia No.3.
- d) El estado y la tensión de todas las correas del ventilador deberán chequearse cada vez que se arranque el ventilador.
- e) El lapso mínimo entre dos arranques del motor del ventilador es de 1/2 hora (30 minutos).
- f) El motor del ventilador, la caja de control y los accesorios del mismo, y el ventilador deberán limpiarse por lo menos una vez por semana.
- g) Cualquier vibración y/o calentamiento fuera de lo normal en el motor del ventilador, caja de control o en el ventilador deberán ser comunicados oportunamente. Todo el sistema deberá pararse a la brevedad posible.
- h) Las temperaturas de operación no deberán exceder en ningún caso los siguientes valores:  
300°C en la entrada a la cuisenea.  
65°C en la parte inferior o superior de la tolva.
- i) Los tres termómetros deben mantenerse completamente limpios y leíbles.

- j) Nunca debe mantenerse el hogar en operación (fuego) es tando el ventilador cerrado.
- k) Nunca deberán cargarse mas de 5,000 Kg. en la tolva de-  
canta en cáscara.
- l) El único producto que puede cargarse en la tolva es -  
canta en cáscara. Cualquier otro producto o mate -  
rial (sacos, telas, etc.) no están permitidos.
- m) El techo de la tolva no está diseñado como almacén de-  
productos. El peso sobre dicho techo no deberá ser ma  
yor en ningún caso de 500 Kg.

## CAPÍTULO 8

### COSTOS

Para elaborar este capítulo, es preciso separar en dos partes los costos que intervienen en la fabricación de la máquina.

Por un lado tenemos los costos de materiales y mano de obra de todo lo relacionado con las obras civiles, y por otro lado todos los costos relacionados con las fabricaciones mecánicas.

Todo aquello que involucre gastos de obras civiles los especificaremos, pero solo indicando los costos totales, ya que dicha obra fue encomendada a una Empresa constructora.

Empezaremos por detallar todo lo concerniente a las fabricaciones mecánicas.

#### 8.1 Costos directos

##### 8.1.1. Equipos e instrumentos

Un ventilador centrífugo

Airtec modelo VMS-838 -  
con motor eléctrico.

I/. 48,634.92

Un termómetro bimetalico  
de 0... 120°C

I/. 400.68

Un termómetro bimetalico  
de 0... 500°C

I/. 902.06

Un termómetro bimetalico de 0... 120°C	I/. 1,500.00
Una termocupla(cromel- - alumel)	I/. 1,378.00
Un higrómetro	I/. 680.00
Un contactor de 40 A y - un relé térmico de 23... 32 A con dos pulsadores	I/. 2,027.84
Conductor eléctrico de - 4 x 4 mm <sup>2</sup> con terminales y pernos(110 m)	I/. 3,761.12
3 fusibles tipo lámina - de 200 A	I/. 60.00
3 fusibles tipo lámina - de 150 A	I/. 45.00
Un portafusible con 3 fu sibles	I/. 30.00
TOTAL	I/. 59,419.52

#### 8.1.2. Transporte de equipos e instrumentos

Un ventilador e instru - mentos Lima-Cuzco	I/. 2,000.00
--	--------------

#### 8.1.3. materiales para la fabricación

Los costos de materiales que a continuación se detallan, fueron sacados directamente de facturas de compras efectuadas en distintas fechas entre julio y noviembre de 1986, por lo que algunos de estos materiales se señala en forma repetida.

Fierro angular de 3/8" x 2"	I/.	646.07
Fierro angular de 1/8" x 1"	I/.	222.44
Fierro Tee de 1/8" x 1"	I/.	69.92
9 varillas de fierro corrugado de 3/8" ø	I/.	405.00
8 planchas de fierro negro de 1/20" mas 7 planchas de fierro negro de 1/8"	I/.	8,775.96
8 varillas de fierro trefilado corrugado de 8 mm ø	I/.	113.40
4 varillas fierro angular de 1/4" x 1"	I/.	555.10
2 varillas de fierro angular de 1/8" x 1"	I/.	130.36
3 varillas de fierro platina de 1/2" x 1/8"	I/.	64.10
110 varillas fierro platina de 1/8" x 1"	I/.	4,569.50
1 m <sup>2</sup> mallia para zaranda	I/.	392.00
1 varilla fierro corrugado de 3/8" ø	I/.	35.00
4 varillas fierro angular de 3/4" más 2 varillas fierro Tee 3/4" x 1/8" mas 10 varillas fierro liso 3/8" ø mas 5 varillas fierro angular 3/8" x 2"	I/.	2,631.00
2 brochas de 1/2"	I/.	30.00

Un galón de pintura anticorrosiva	I/.	110.00
1 1/2 galón thinner	I/.	75.00
1 1/2 galón thinner	I/.	110.00
1/2 galón de pintura anticorrosiva mas 1 galón de thinner	I/.	110.00
2 brochas de 1/8	I/.	30.00
1 galón de thinner mas 1/2 galón - de pintura anticorrosiva mas 2 li- jar	I/.	131.00
6 m <sup>3</sup> oxígeno industrial	I/.	139.00
20 Kg soldadura Fontargen de 1/8"	I/.	761.71
4 Kg soldadura Cellocord de 1/8"	I/.	150.41
1 Kg soldadura Cellocord de 1/8"	I/.	37.62
3 nojas de cierra	I/.	60.00
1 Kg soldadura Cellocord de 1/8"	I/.	37.62
3 Kg soldadura Fontargen de 1/8"	I/.	92.53
3 Kg soldadura Fontargen de 1/8"	I/.	92.53
10 Kg soldadura Fontargen de 1/8"	I/.	331.38
330 pie <sup>3</sup> acetileno	I/.	913.38
5 Kg soldadura Cellocord de 1/8"	I/.	184.73
6 m <sup>3</sup> oxígeno industrial	I/.	400.61
		<hr/>
TOTAL	I/.	23,276.24

8.2 Costos indirectos

8.2.1. Correspondencia, fotocopias, teléfono, y otros

World Courier	I/.	226.00
Copias Ozalid	I/.	128.00
Fotocopias	I/.	79.50
LLamdas telefonicas Puerto Maldona do	I/.	<u>931.00</u>
TOTAL	I/.	1,364.50

8.2.2. Viajes de supervisión a obras civiles, montaje y -  
puesta en operación

Incluye pasajes aéreos, hotel, transporte y alimentación; de dos personas cada vez.

Del 4 al 6.10.86	I/.	1,795.05
Del 22 al 30.11.86	I/.	1,264.03
Del 3 al 25.03.87	I/.	6,000.00
Del 1 al 4.04.87	I/.	1,200.00
Del 24.04 al 8.05.87	I/.	7,545.61
Del 30.05 al 2.06.87	I/.	<u>2,064.00</u>
TOTAL	I/.	19,868.69

8.2.3. Sueldos del personal de taller

2 x Ingenieros (fabricación)	I/.	8,000.00
1 x Ingeniero (montaje)	I/.	4,500.00
1 x Ingeniero (pruebas)	I/.	1,500.00
2 x obreros (3 meses)	I/.	7,810.00
1 x Ingeniero (pruebas finales)	I/.	750.00
Vacaciones, Ipsa, Fonavi	I/.	<u>6,768.00</u>
TOTAL	I/.	29,328.00

8.2.4. Gastos varios

En este rubro se menciona todos aquellos gastos - indirectos tales como teléfono, electricidad, alquiler del local, movilidad, planos para obras civiles, publicidad y otros, imputados en la fabricación de la máquina y por un tiempo estimado.

Teléfono(3 meses)	I/.	2,400.00
Electricidad(3 meses)	I/.	2,400.00
Alquiler local (3 meses)	I/.	625.00
Movilidad (1 mes camioneta)	I/.	1,000.00
Publicidad	I/.	337.50
Ejecución planos obras civiles	I/.	<u>2,500.00</u>
TOTAL	I/.	9,262.50

8.3 Obras civiles

Descripción	Metrado		Costos	
	Unid.	Cant.	Precio Unitario	Total (I/.)
Nivelación del terreno	m <sup>2</sup>	47	9.0	423.00
Escavación para cimentación	m <sup>3</sup>	3	70.0	210.00
Eliminación del desmonte, esponjamiento - 25 %	m <sup>3</sup>	3.75	65.0	243.75
<b>Cimentaciones:</b>				
Zapatas aisladas de concreto armado				
a) Concreto de 210 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	1.5	1850.0	2,775.00
b) Acero corrugado f <sub>y</sub> = 4,200 Kg/cm <sup>2</sup>	Kg	32	22.0	704.00
Cimientos corridos de concreto simple				
a) Concreto de 100 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	4.80	1100.0	5,280.00
b) Encofrado	m <sup>2</sup>	9.0	65.0	585.00
<b>Columnas:</b>				
a) Concreto de 210 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	3.40	2300.0	7,820.00
b) Encofrado	m <sup>2</sup>	50.20	110.0	5,522.00
c) Acero	Kg	163	22	3,586.00
<b>Vigas:</b>				
a) Concreto de 210 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	2.0	1980.0	3,960.00
b) Encofrado	m <sup>2</sup>	30.40	130.0	3,952.00

c) Acero	Kg	126.30	22	2,778.60
----------	----	--------	----	----------

Losas de concreto:

a) Concreto de 210 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	1.80	2100	3,780.00
b) Encofrado	m <sup>2</sup>	15.0	95	1,425.00
c) Acero	Kg	67.0	22	1,474.00

Losa aligerada:

a) Concreto de 210 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	3.50	2100	7,350.00
b) Encofrado	m <sup>2</sup>	17.60	85	1,496.00
c) Bloquetas	Unid.	194	10	1,940.00
d) Acero	Kg	41.10	22	904.20

Piso de losa de  
concreto:

a) Concreto	m <sup>3</sup>	10.0	2100	21,000.00
b) Acero	Kg	43.0	22	946.00

Piso de losa de  
concreto simple acabado  
frotado frío:

a) Concreto	m <sup>3</sup>	4.3	2100	9,030.00
b) Acero	Kg	21.40	22	470.80

Muros de ladrillo de  
0.25 m de espesor

	m <sup>3</sup>	54.0	340	118,360.00
--	----------------	------	-----	------------

Tarrageo interior de  
muros y vigas con  
mezcla cemento arena  
1:3 (con cemento re-  
fractario)

	m <sup>2</sup>	109.0	106	11,554.00
--	----------------	-------	-----	-----------

Enladrillado exterior de muros con mezcla de- cemento arena 1:3	m <sup>2</sup>	120	81	9,720.00
Sub Total				<u>127,289.35</u>
Gastos generales, ad- ministrativos y uti- lidad 12 %				<u>15,274.72</u>
				TOTAL <u>142,564.07</u>

8.4 Resumen de los costos

Equipos e instrumentos	I/.	59,419.62	20.7 %
Transporte	I/.	2,000.00	0.7 %
Materiales para la fa- bricación.	I/.	23,227.08	8.09 %
Correspondencia, foto - cografías, etc.	I/.	1,364.50	0.48 %
Viajes de supervisión y montaje	I/.	19,868.69	6.92 %
Sueldos	I/.	29,328.00	10.22 %
Gastos varios	I/.	9,262.00	3.23 %
Obras civiles	I/.	142,564.07	49.66 %
		<u>287,033.96</u>	<u>100.00 %</u>
TOTAL			

Rentabilidad del Proyecto

La secadora seca a razón de 5,000 Kg/día. Si tomamos como referencia una producción de 10 meses:

$$30 \times 10 \times 5,000 = 1'500,000 \text{ Kg.}$$

Sabemos que:

$$\frac{11.81 \text{ gr/castaña} - 7.585 \text{ gr/castaña}}{11.81 \text{ gr/castaña}} = 0.3577$$

El 35.77 % del peso, corresponde al agua desplazada.

$$\text{Por lo tanto: } 1'500,000 \text{ Kg} \times 0.3577 = 536,622 \text{ Kg de H}_2\text{O}$$

$$\text{Entonces } (1'500,000 - 536,622) \text{ Kg} = 936,773 \text{ Kg de castaña.}$$

$$\frac{\rho_{\text{castaña}} - \rho_{\text{cáscara}}}{\rho_{\text{castaña}}} = \frac{1.06 \text{ Kg/Lt} - 1.02 \text{ Kg/Lt}}{1.06 \text{ Kg/Lt}} = 0.0377 = 3.77 \%$$

$$\text{Entonces la cáscara pesará: } 936,773 \times 0.0377 = 35,317 \text{ Kg.}$$

Por lo tanto la almendra de castaña seca pesará:

$$(936,773 - 35,317) \text{ Kg} = 901,462 \text{ Kg}$$

Por concepto de transporte significa un ahorro de:

$$(1'500,000 - 901,462) \text{ Kg} = 598,538 \text{ Kg}$$

Si consideramos el transporte a un flete de 2.2 I/./Kg tenemos:

$$\text{Un ahorro total de } 2.2 \times 598,538 = \text{I/}. 1'316,784$$

Si consideramos que el costo total de la máquina fue de I/ 287,033.96, la rentabilidad neta del proyecto fue de:

$$1'316,784 - 287,033.96 = \text{I/}. 1'029,750$$

Por lo tanto la máquina se pagará, sólo por concepto de ahorro de transporte en:

$$\frac{1'316,784}{12} = 109,732 \quad \frac{287,033.96}{109,732} = 2.6 \text{ meses.}$$

## CONCLUSIONES

1.- Para empezar esta sección final, vale la pena destacar el hecho que la máquina funciona utilizando como combustible la cáscara de la castaña, que constituye un producto residual en el proceso de explotación de la castaña en la zona de Madre de Dios.

A diferencia de otras secadoras que actualmente vienen funcionando en Puerto Maldonado, el costo de operación de ésta máquina es considerablemente más bajo, ya que al no utilizar petróleo se pueden ahorrar grandes sumas de dinero, con el consecuente beneficio para la zona y el país por concepto de ahorro de combustible.

2.- Otro aspecto importante es el hecho que la máquina seca el producto a baja temperatura y con gran flujo de aire y fue diseñada de tal manera que trate de reproducir el fenómeno natural de secado "al sol"

Esto trae como consecuencia que el contenido vitamínico, proteico de enzimas, aminoácidos, grasas y otros no se altere, por lo que la castaña conserva así todas sus propiedades originales.

Esto último constituye un gran acierto, ya que la tendencia mundial en el proceso de secado de productos alimenticios es la de secar a baja temperatura y con un gran flujo de aire. Esto se pudo comprobar con los últimos artículos publicados por revistas norteamericanas especializadas en productos alimenticios.

- 3.- Es destacable también el hecho de que la máquina ha sido construída íntegramente en el país (Cusco), utilizando para ello materiales, insumos y mano de obra nacional, lo que demuestra la factibilidad de diseñar, construir y llevar adelante proyectos íntegramente nacionales y con tecnología propia.
- 4.- Sería importante mencionar que este diseño, con algunas modificaciones, es aplicable a máquinas secadoras de productos alimenticios tales como arroz, avena, trigo, cebada y otros.
- 5.- Como medio comparativo simplemente, vale la pena mencionar que la Empresa que adquirió la máquina, importó hace algunos años atrás una máquina secadora de castaña que funciona a petróleo y que seca solamente 1,500 Kg/día en US \$ 17,000. Dicha máquina no consigue extraer totalmente la humedad de la castaña, debido a un error en el diseño, pues no cuenta con una cámara de secado adecuado y no utiliza la

recirculación de aire como medio para el calentamiento y así mejorar la eficiencia de la máquina.

6.- Para finalizar sería importante destacar que la tecnología aplicada en el diseño de la máquina, es lo suficientemente simple como para ser aplicada por ingenieros en cualquier lugar del país.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Kern, Donald C., Procesos de transferencia de calor, 9a. edición 1974, editorial continental, México.
- 2.- Kreith Frank, Principios de transferencia de calor, 1a. edición en español 1970, editorial Herrera Hermanos Sucesoras S.A., México.
- 3.- J. Henri Brunklaus, Industrieöfen, Bau und Betrieb, 1970, Editorial Vulkan - Verlag Berlín.
- 4.- Herbert Kröll, Trocknungstechnik 1979, Editorial - Springer - Verlag Berlín.
- 5.- John H. Perry, Manual del Ingeniero Químico, primera reimprisión 1974, Editorial UTEH, México.
- 6.- W. Kast, O. Krischer, H. Reinicke, K. Wintermantel, - Konvektive Wärme und Stoffübertragung, edición 1974 editorial Springer Verlag Berlín.
- 7.- W. Dubbel, Manual del Constructor de Máquinas, - 4ta. edición 1975, Editorial Labor S.A.
- 8.- Marks, T. Baumister, E. A. Avallone, T. Baumister-III, Manual del Ingeniero Mecánico, 2da. edición en español 1982, Libros Mc Graw-Hill, México.
- 9.- Raymond V. Roark, Resistencia de Materiales, esfuerzo y Deformaciones, 1982 Libros Mc Graw-Hill, México.

10.- K.K.Strelov, Estructura y Propiedades de los Refrac-  
tarios, 1975, Editorial MIR.

11.- Capeco, Precios unitarios directos en edificación  
y pavimentación, Perú 1987.