

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

**"Diseño de una Secadora de Tandas para Arroz usando como  
Combustible Cascarilla de Arroz "**

**INFORME DE PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**Previo a la Obtención del Título de:**

**INGENIEROS MECÁNICOS**

**Presentada por:**

**Frank Vinicio Aguilar Castro  
Miguel Ángel Cárdenas Jaramillo  
Daniel Ricardo Moyano Carbo**

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**Año: 2010**

## **AGRADECIMIENTO**

Esta tesis está dedicada a Dios por llenar nuestras vidas de dicha y bendiciones, a nuestros padres a quienes agradecemos de todo corazón por su amor, cariño y comprensión.

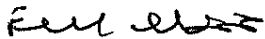
# DEDICATORIA

A DIOS

A NUESTROS PADRES

A NUESTROS HERMANOS

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



---

Ing. Francisco Andrade S.  
**DECANO DE LA FIMCP**  
**PRESIDENTE**



---

Ing. Marcelo Espinosa L.  
**DIRECTOR DE TESIS**



---

Ing. Jorge Duque R.  
**VOCAL**



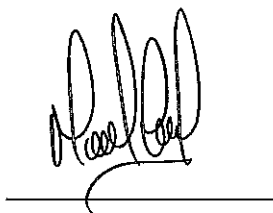
## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".

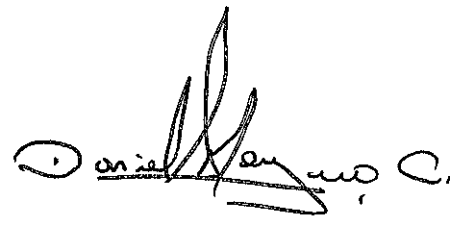
(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



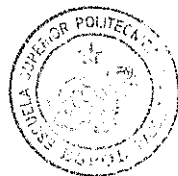
Frank Aguilar C.



Miguel Cárdenas J.



Daniel Moyano C.



CIB-ESPOL

---

## RESUMEN

Analizados los diferentes tipos de secado se deduce, que el método utilizado en este proyecto resulta ser el más conveniente, por cuanto brinda una alta calidad en el secado de la gramínea; además de su gran rentabilidad al valerse de materiales que son de desecho como es la cascarilla de arroz y que en este proyecto sirven como fuente de energía.

La implementación de este sistema para el secado de arroz es de fácil ejecución y operatividad. El proceso del secado de arroz, se inicia con el calentamiento del aire hasta los límites recomendados para la gramínea.

El producto de la combustión de la cascarilla de arroz en el horno, aumenta la temperatura del aire que fluye por el intercambiador de calor y es aspirado por el ventilador centrífugo ubicado en el interior del horno que a su vez expulsa el aire caliente hacia el ducto desembocando en la cámara de distribución (plenum).

La presión dinámica ejercida por el ventilador hace que el aire transite por el ducto hasta el plenum donde se transforma la presión dinámica en estática,

---

estabilizando el aire que posteriormente atravesará el espesor del lecho (columna de arroz).

La cámara de secado es un recipiente con fondo de plancha de metal perforado, capaz de soportar el peso del producto húmedo. El arroz permanece estático en la cámara de secado, mientras que el aire caliente, que es impulsado mecánicamente por el ventilador, pasa a través de la capa de arroz reduciendo su contenido de humedad.



CIB-ESPOL

---

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN .....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	IV
SIMBOLOGÍA.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII

## CAPÍTULO 1

### 1. FUNDAMENTO DE SECADO DE GRANOS

1.1 Planteamiento y justificación del problema durante el secado.....	3
1.2 Tipos de secadoras.....	5
1.2.1 Secadores de flujo contracorriente.....	6
1.2.2 Secadores de flujo concurrente.....	9
1.2.3 Secadores en cascada.....	10
1.2.4 Secadores horizontales.....	14
1.3 Conservación y almacenamiento del grano.....	17
1.3.1 Conservación del grano.....	17
1.3.2 Almacenamiento del grano.....	18
1.3.3 Problemas comunes en el grano.....	19
1.4 Dinámica del secado.....	20

## CAPÍTULO 2

### 2. PARÁMETROS DE SECADO

2.1 Selección del tipo de secado.....	29
2.2 Análisis del combustible a utilizar.....	32
2.3 Elementos constitutivos.....	34
2.3.1 Cámara de Secado.....	40
2.3.2 Homo.....	42
2.3.3 Intercambiador de Calor.....	48

2.3.4 Ventilador.....	51
2.4 Planteo de parámetros.....	53
2.4.1 Capacidad del sistema .....	56
2.4.2 Tiempos de secado.....	57
2.4.3 Rendimiento del sistema .....	58
2.4.4 Temperatura de aire para el secado.....	58

### CAPÍTULO 3

#### 3. RECEPCIÓN Y LIMPIEZA DEL ARROZ

3.1 Principios generales de la prelimpieza.....	61
3.2 Capacidad de limpieza.....	62
3.2.1 Niveles tecnológicos.....	62
3.2.2 Costos de producción y rentabilidad .....	64
3.2.3 Esquema de planta prelimpieza .....	65
3.3 Tolvas de recepción .....	66
3.3.1 Tolva de recepción de arroz en cáscara.....	66
3.3.1.1 Diseño de forma .....	68
3.3.1.2 Factor de compactación .....	69
3.3.2 Tolva de recepción de cascarilla de arroz.....	70
3.3.2.1 Diseño de forma .....	71
3.3.2.2 Factor de compactación .....	72
3.4 Elevador de cangilones.....	73

3.4.1 Elevador de cangilones para arroz en cáscara .....	74
3.4.2 Elevador de cangilones para cascarilla de arroz.....	78
3.4.3 Dimensionamiento de fosas... ..	81
3.5 Maquina pre-limpiadora de arroz.....	82

## CAPÍTULO 4

### 4. DISEÑO DEL SISTEMA DE SECADO

4.1 Calculo y diseño estructural de cámara de secado .....	85
4.1.1 Diseño de columna de soporte.....	87
4.1.2 Diseño de vigas transversales.....	91
4.1.2.1 Prediseño de vigas secundarias .....	92
4.1.2.2 Prediseño de vigas cargadoras .....	97
4.1.3 Modelado en SAP-2000 .....	99
4.1.4 Selección de láminas perforadas entre arroz y aire caliente .....	101
4.2 Diseño del horno de quemado de cascarilla de arroz.....	101
4.2.1 Condiciones y criterios para el diseño .....	101
4.2.2 Volumen de cámara de combustión .....	103
4.2.3 Diseño de hogar y selección de materiales.....	108
4.2.3.1 Diseño de forma del horno .....	108
4.2.3.2 Parrilla.....	110
4.2.3.3 Dimensionamiento del hogar.....	111

4.2.4 Tolva alimentadora del horno.....	114
4.2.5. Flujo de aire requerido.....	116
4.2.5.1 Potencia del motor ventilador de cenizas.....	121
4.2.5.2 Selección del ventilador de cenizas.....	121
4.2.6 Flujo de gases en la chimenea.....	122
4.2.7 Tiro natural de la chimenea.....	124
4.2.8 Selección del tornillo transportador.....	126
4.2.8.1 Cálculo de potencia requerida.....	129
4.2.8.2 Selección de artesa.....	132
4.3 Diseño del intercambiador de calor.....	133
4.3.1 Determinación del flujo de aire de la cámara de secado.....	133
4.3.2 Análisis de transferencia de calor.....	138
4.3.3 Prediseño del intercambiador de calor.....	140
4.3.4 Cálculo de la velocidad de los gases.....	151
4.4 Cálculo y selección del ventilador... ..	156
4.4.1 Cálculo del flujo de aire necesario para el proceso.....	156
4.4.2 Pérdidas de presión del sistema.....	160
4.4.3 Calculo de Potencia Motor eléctrico.....	172
4.4.4 Selección del ventilador.....	173

## CAPÍTULO 5

### 5. ANÁLISIS ECONÓMICO



5.1 Costos de materiales.....	174
5.1.1 Cámara de secado y ducto de ventilación.....	
5.1.2 Horno.....	
5.2 Costo de mano de obra.....	180
5.3 Costos de equipos y accesorios.....	
5.4 Comparación de costos de nuestro sistema con los tradicionales	

## CAPÍTULO 6

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones.....	181
6.2 Recomendaciones.....	183

## APÉNDICES

## BIBLIOGRAFÍA

## ABREVIATURAS

A	Área Transversal
$C_c$	Constante de Columna
$C_{HA}$	Contenido de humedad en A
$C_{HC}$	Contenido de humedad en C
$C_{pa}$	Calor específico del aire
$C_{pg}$	Calor específico del gas
$D_e$	Diámetro exterior de la tubería
$D_i$	Diámetro interno de la tubería
E	Modulo de Elasticidad
F	Factor de Corrección
$F_u$	Carga por Columna
$h_i$	coeficiente de convección interno
$I_y$	Inercia en el eje y-y
K	Conductividad térmica
L	Longitud
$L_e$	Longitud Efectiva
$\rho_{aire}$	Flujo másico del aire
N	Número de tubos
$P_{cr}$	Carga Crítica
$P_h$	Potencia del horno
Pr	Número de Prandtl
$P_{ve}$	Presión a la velocidad de entrada
$Q_{aire}$	Caudal de aire
$Q_{GAS}$	Calor del gas
r	Radio de Giro
$R_{C_{v_{aire}}}$	Resistencia de convección del aire
$R_d$	Razón de delgadez
$S_y$	Esfuerzo último de tracción

## ABREVIATURAS

$T_{fa}$	Temperatura final del aire
$T_{fg}$	Temperatura final del gas
$T_{ia}$	Temperatura inicial del aire
$T_{ig}$	Temperatura inicial del gas
$U$	Coficiente Global de Transferencia de Calor
$Un$	Número de Nusselt
$V_{CZ}$	volumen de la ceniza
$\mu$	Viscosidad
$\Delta T_a$	Diferencia de temperatura del aire
$\Delta T_g$	Diferencia de temperatura del gas
$\Delta T_{lm}$	Diferencia de temperaturas media logarítmica
$\eta$	Factor de seguridad
$\rho_{cz}$	Densidad de la ceniza

## SIMBOLOGÍA

m	Metros
cm <sup>2</sup>	Centímetros cuadrados
Pa	Pascales
mm	milímetros
N	Newton
Kg	Kilogramo
Kg/s	Kilogramo por segundo
°C	grados Centígrados
KJ	Kilojules
°K	grados Kelvin
s/m <sup>2</sup>	Segundos por metro cuadrado
KJ/s	Kilojules por segundo
m <sup>3</sup>	metros cúbicos
Kg/m <sup>3</sup>	kilogramos por metro cúbico

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Secado en Flujo contracorriente .....	7
Figura 1.2 Esquema de Secadora de Flujos Contracorriente .....	10
Figura 1.3 Secador en cáscara de un solo plano .....	11
Figura 1.4 Secador en cáscara de dos planos.....	12
Figura 1.5 Secador Vertical en Cascada.....	13
Figura 1.6 Sección Transversal de Secadora Horizontal.....	15
Figura 1.7 Secadora Horizontal de Lecho Fijo.....	16
Figura 1.8 Secadora Horizontal de Lecho Fluido.....	16
Figura 1.9 Corte Longitudinal de la semilla de Arroz.....	21
Figura 1.10 Curva de Equilibrio Higroscópico aire-grano de arroz .....	24
Figura 1.11 Variación de Humedad relativa en Secadora tipo Columna.....	27
Figura 2.1 Esquema del Secador de Lecho Fijo.....	36
Figura 2.2 Cámara de Secado.....	42
Figura 2.3 Hogar con Parrilla bajo el Piso.....	46
Figura 2.4 Hogar a nivel de Piso Fijo.....	46
Figura 2.5 Hogar a nivel de Piso Portátil.....	47
Figura 2.6 Horno con Parrilla múltiple .....	47
Figura 2.7 Secadora con Intercambiador de Calor Cilíndrico.....	50
Figura 2.8 Secadora con Intercambiador de Calor de Batería de Tubos. ....	50
Figura 3.1 Esquema del Sistema Prelimpieza .....	66

Figura 3.2 Tolva de Hormigón a nivel del Piso.....	67
Figura 3.3 Diseño de Forma de Tolva de Recepción de arroz en cáscara...68	
Figura 3.4 Diseño de Forma de Tolva de Recepción de Cascarilla.....	71
Figura 3.5 Elevador de Cangilones... ..	74
Figura 3.6 Vista Lateral de Conjunto Tolva-Elevador de Cangilones .....	82
Figura 3.7 Máquina Prelimpiadora Schule.....	83
Figura 4.1 Diseño Estructural de cámara de Secado .....	86
Figura 4.2 Diseño de Forma de Columnas... ..	87
Figura 4.3 Vista superior de vigas secundarias .....	92
Figura 4.4 Diagrama de Cuerpo Libre de Viga Secundaria.....	93
Figura 4.5 Esfuerzo Cortante y Momento Flector para Viga Secundaria .....	95
Figura 4.6 Diagrama de Cuerpo Libre de Viga Cargadora.....	97
Figura 4.7 Esfuerzo Cortante y Momento Flector para Viga Cargadora. ....	98
Figura 4.8 Estructura de Cámara Secado Modelado en SAP-2000 .....	99
Figura 4.9 Factor de carga soportada, modelado SAP 2000.....	100
Figura 4.10 Diseño de Forma del Horno .....	108
Figura 4.11 Corte Transversal del Horno .....	109
Figura 4.12 Posicionamiento de la Parrilla.....	111
Figura 4.13 Gráfica Potencia del Horno Vs Volumen de la Cámara.....	112
Figura 4.14 Medidas Exteriores del Horno.....	113
Figura 4.15 Diseño de Forma de Tolva Alimentadora.....	115
Figura 4.16 Sistema de Paletas para Descarga de Cascarilla.....	116
Figura 4.17 Cálculo de Coeficiente experimental n .....	120
Figura 4.18 Esquema de Soplador de Cenizas... ..	122
Figura 4.19 Helicoide Sencillo de Paso Estándar .....	131
Figura 4.20 Balance de energía.....	138
Figura 4.21 Factor de Corrección para un Intercambiador de Calor... ..	141
Figura 4.22 Distribución de Temperatura en Flujo Cruzado.....	143
Figura 4.23 Banco de Tubos.....	150
Figura 4.24 Croquis de Distribución de Aire.....	157

Figura A.1 Diámetro Equivalente

Figura A.2 Pérdida de Carga en Ductos

Figura A3. Coeficiente modificador de pérdidas

Figura A4. Resistencia al Flujo de Aire de Granos y Semillas

Figura A5. Carta Psicrométrica

Figura B.1 Dimensiones de elevadores de cangilones

Figura B.2 Características técnicas de maquina prelimpiadora

Figura B.3 Tornillo sin fin

Figura B.4 Conjunto Motor- Ventilador

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.1 Participación de Agricultores en Superficie de Siembra.....	64
Tabla 3.2 Costo de Producción de Agricultores por Hectárea .....	65
Tabla 3.3 Características del Arroz en Cáscara.....	75
Tabla 3.4 Tabla de Código de Material para arroz en Cáscara .....	76
Tabla 3.5 Características de la Cascarilla de Arroz .....	78
Tabla 3.6 Tabla de Código de Material para Cascarilla de Arroz .....	79
Tabla 4. 1 Valores prácticos de K .....	89
Tabla 4.2 Calor Mínimo para evaporar 1 Kg de Agua .....	105
Tabla 4.3 Dimensiones de Hornos utilizados en la Industria.....	112
Tabla 4.4 Tiro Estático específico para Flujo de Gases. ....	125
Tabla 4.5 Características del material .....	127
Tabla 4.6 Tabla de Código de Material para Cenizas... ..	128
Tabla 4.7 Tabla de Datos de Variables a Utilizar.....	139
Tabla 4.8 Valores de Coeficiente de Transferencia Global.....	142
Tabla 4.9 Dimensiones de Tubería del Intercambiador de Calor... ..	144
Tabla 4.10 Constantes de la ecuación de Nusselt.....	153
Tabla 4.11 Iteración de los coeficientes de transferencia.....	155
Tabla 5.1 Costos de cámara de secado estructura metálica .....	175
Tabla 5.2 Costos de cámara de secado, obra civil.....	176
Tabla 5.3 Costos de ducto de ventilación y acople de ventilador.....	177
Tabla 5.4 Costos de estructura de horno, chimenea e intercambiador.....	178
Tabla 5.5 Costos de tolvas de recepción de arroz y cascarilla .....	179
Tabla 5.6 Costo total de planta de secado.....	179



Tabla 5.7 Comparación de costos entre el sistema propuesto y los tradicionales .....	180
Tabla A1 Merma durante el Secado	
Tabla A2 Pérdidas de presión por contracciones	
Tabla B1 Materiales	
Tabla B.2 Propiedades y Códigos de Descripción según Martin	
Tabla B.3 Especificaciones de elevador de cangilones serie 100 de banda	
Tabla B.4 Potencia demandada por el transportador de cangilones	
Tabla B.5 Cangilones y Cadena	
TablaB.6 Perforación de cangilón (Banda)	
Tabla B.7 Dimensiones de elevadores de cangilones	
Tabla B.8 Características del Material a Transportar a través del Tornillo	
Tabla B.9 Clasificación del Material a Transportar a través del Tornillo	
Tabla B.10 Selección de Rodamiento del Tornillo Sin Fin	
Tabla B.11 Capacidad de Transporte de Ceniza del Tornillo Sin Fin	
Tabla B.12 Potencia Requerida del Tornillo Sin Fin	
Tabla B.13 Factor de Potencia del Tornillo Sin Fin	
Tabla B.14 Selección del Tornillo Sin Fin	
Tabla B.15 Artesa	
Tabla B.16 Tapa de Artesa	
Tabla B.17 Características Técnicas del Ventilador	

## ÍNDICE DE PLANOS

Plano C1	Cámara de Secado
Plano C2	Ensamble de Horno para Quemado de Cascarilla de Arroz
Plano C3	Cubierta de Horno y Ladrillos Refractarios
Plano C4	Parrilla
Plano C5	Estructura Metálica del Horno
Plano C6	Tolva de Alimentación de Cascarilla de Arroz
Plano C7	Sistema de Paletas de Alimentación al Horno
Plano C8	Estructura Metálica de Tolva de Alimentación
Plano C9	Chimenea
Plano C10	Tornillo Transportador de Ceniza
Plano C11	Artesa
Plano C12	Tapa de Artesa
Plano C13	Transportador Helicoidal
Plano C14	Chumacera de Artesa
Plano C15	Intercambiador de Calor
Plano C16	Estructura Metálica del Intercambiador de Calor
Plano C17	Ductos de Ventilación
Plano C18	Acople Ventilador y Ducto de Ventilación
Plano C19	Acople Horno con ventilador
Plano C20	Tolva de Recepción de Arroz en cáscara
Plano C21	Tolva de Recepción de Cascarilla de Arroz
Plano C22	Planta de Secado

## INTRODUCCIÓN

El arroz es un alimento que está presente en un alto porcentaje en la dieta de ecuatorianos. También es el cereal más importante del mundo si se considera la extensión de la superficie en que se cultiva y la cantidad de gente que se involucra en su cosecha. A nivel mundial, el arroz ocupa el segundo lugar después del trigo en superficie cosechada.

En el país, el sector predominante en lo referente a cultivo de arroz son los pequeños agricultores, para los cuales está enfocada nuestra tesis; utilizan el secado convencional que consiste en utilizar grandes tendales donde es depositado el arroz en finas capas de manera que se pueda aprovechar la energía solar necesaria para realizar el secado. Sin embargo este método no es muy eficiente ya que no se puede controlar la temperatura, y depende mucho del factor climático, lo cual es una desventaja principalmente en la temporada invernal debido a las lluvias frecuentes.

Con la secadora de tandas se elimina este problema ya que no depende del clima para secar la gramínea, y al mismo tiempo se puede realizar un mejor

control en todo el proceso asegurándonos de eliminar las impurezas y humedad de acuerdo a los parámetros requeridos.

En el presente trabajo se realiza el análisis y selección de equipos de limpieza y transporte, considerando un combustible barato como es la cascarilla de arroz, ayudando así al ecosistema ya que la misma en los actuales momentos más que un combustible es un contaminante principalmente de los ríos.

# CAPÍTULO 1

## 1. FUNDAMENTO DE SECADO DE GRANOS

### 1.1 Planteamiento y justificación del problema durante el secado

El problema radica en que los agricultores dependen del factor meteorológico para secar su arroz luego de la cosecha, por lo que necesitan un método de secado que les facilite esta labor y les permita mantener el producto durante más tiempo de manera que se puedan beneficiar de las temporadas donde este se comercialice a buenos precios.

El modelo de solución que se propone es el de "Diseño de una secadora de tandas para arroz usando como combustible cascarilla de arroz " que tiene como finalidad brindar una ayuda

complementaria para el pequeño y mediano agricultor, quienes tienen como principal sustento la siembra y cosecha de arroz.

La cámara de secado tendrá la capacidad de abastecer las necesidades de una comunidad de por lo menos 36 agricultores que requieren secar su producto con un máximo de tiempo de 2 semanas (14 días).

Tomando como referencia que en el Ecuador la siembra promedio de un pequeño agricultor es de 3 hectáreas y que, además por cada hectárea se producen aproximadamente 60 sacas que pueden variar entre agricultores, dependiendo de la variedad y del grado de tecnificación con el cual se haya sembrado dicha hectárea, se sabe además, que cada saca tiene 205 libras (93.18 kilogramos), dando un total de 603.82 toneladas de arroz que se necesita secar en dos semanas, es decir que la cámara tendrá una capacidad de secado de 43.13 [toneladas/día].

El secador contará con un horno que utilizará como combustible cascarilla de arroz, ya que se considera que de toda la cosecha de un agricultor el desperdicio total de cascarilla equivale aproximadamente al 40% del peso en arroz pilado, con esto se garantiza que la planta no vaya a sufrir desabastecimiento ni paras por falta de combustible.

Otra ventaja adicional es la de minimizar costos ya que el combustible utilizado es un desperdicio que se lo obtiene fácilmente de las piladoras, ya que esto no posee ningún valor económico, más bien representa un gasto adicional al tratar de eliminarla.

## **1.2 Tipos de secadoras**

Los secadores de flujo continuo pueden clasificarse de la siguiente forma:

a. Verticales (tipo torre).

- De flujo mixto (de caballetes).
- De flujo cruzado (de columnas).
- De persianas.
- De flujo contracorriente.
- De flujo concurrente.

b. De cascadas.

c. Horizontales.

- De flujo cruzado (de columnas hexagonales).
- De flujo mixto.
- De lecho plano.

- Fijo.
- Fluido.

### **1.2.1 Secadores de flujo contracorriente**

En esta secadora el grano fluye hacia abajo y el aire hacia arriba. En forma general este tipo de secadora corresponde al silo secador ilustrado en la figura 1.1.

El secado de granos en silos provisto de este tipo de mecanismos representa un adelanto en relación con el secado en partidas en silos y presenta las siguientes características:

- No hay pérdida de energía en el secado de granos con humedad inferior a la deseada, puesto que no se permite que el producto llegue a la humedad de equilibrio.
- Los granos están sujetos a temperaturas elevadas mientras pierden humedad a una tasa razonable. Con esto se evita que el producto alcance la temperatura del aire de secado. Comparado con el sistema de secado en partidas en silos, el tiempo de exposición de los granos a las condiciones del aire de secado es menor.



- Como el producto no se reseca, los daños mecánicos debidos al transporte posterior se reducen.

Este tipo de secado es muy eficiente energéticamente, porque el aire sale a través del grano más húmedo, o sea muy saturado, pues recoge una máxima carga de humedad.

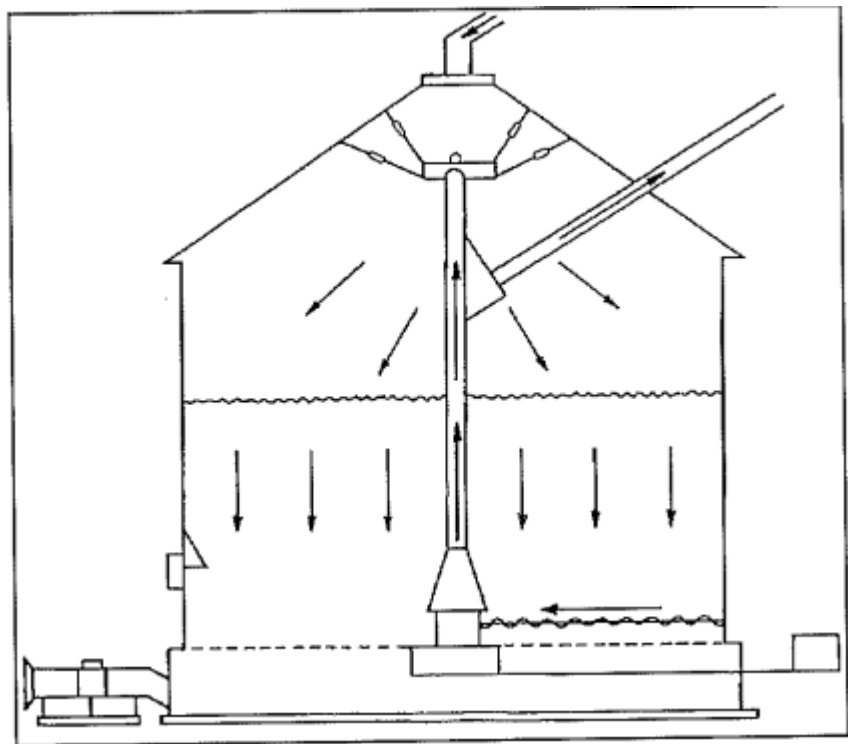


Figura 1.1 SECADO EN FLUJO CONTRACORRIENTE, EN  
SILO

### 1.2.2 Secadores de flujo concurrente

En este tipo, el grano y el aire de secado fluyen en la misma dirección y sentido. De esta forma el aire caliente se encuentra con grano frío y húmedo, pero la transferencia de calor y humedad que tiene lugar asegura que la temperatura del grano no alcance la temperatura del aire de entrada y que descienda rápidamente.

Este diseño tiene la ventaja que se pueden emplear muy altas temperaturas del aire, que originan altas velocidades de secado sin sobrecalentar el grano. Este último está sometido a un tiempo de permanencia más corto, por lo cual no es muy afectado.

En la práctica se ha comprobado que la extracción de humedad por cada tratamiento de flujo concurrente no supera los dos puntos de humedad, de manera que las secadoras comerciales existentes (Figura 1.2) tienen dos o tres etapas, separadas cada una por secciones de reposo. Tales máquinas son muy altas, la potencia consumida es elevada y los tiempos de residencia son más prolongados, todo lo cual está limitando, hasta ahora, la difusión de modelos de este tipo, así como su mayor costo inicial.

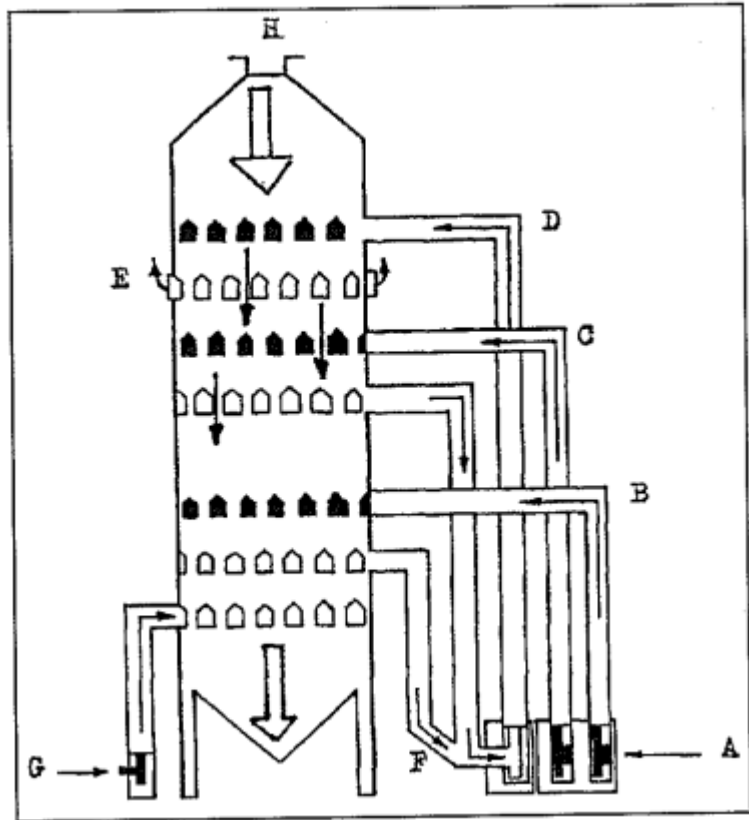


Figura 1.2 ESQUEMA DE SECADORA DE FLUJOS CONCURRENTES, DE TRES ETAPAS DE SECADO Y ENFRIAMIENTO POR FLUJO CORRIENTE.

### 1.2.3 Secadores en cascada

Estas máquinas están formadas por uno o dos planos inclinados, compuestos por persianas (las que atraviesa el aire) por las cuales el grano va descendiendo en forma de una cascada continua.

Este sistema tiene la ventaja de que no se tapan agujeros (porque no existen) con basura, como en otras secadoras que tienen paredes perforadas. También son aptas para secar semillas muy pequeñas, reduciendo el caudal de aire.

Existen dos configuraciones especiales, una con un solo plano inclinado (Figura 1.3), en el cual la última sección es la zona de enfriado, y otra con dos planos inclinados (Figura 1.4) donde el plano superior es la zona de secado, y el inferior, la zona de enfriado.

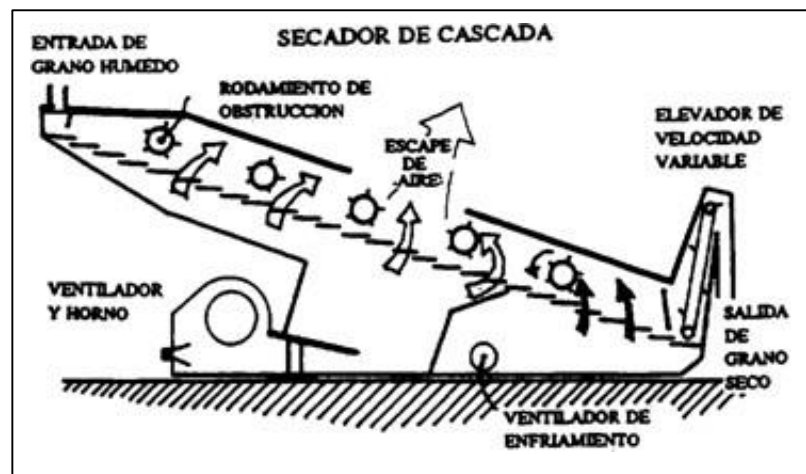


Figura 1.3 SECADOR EN CSACADA DE UN SOLO PLANO.

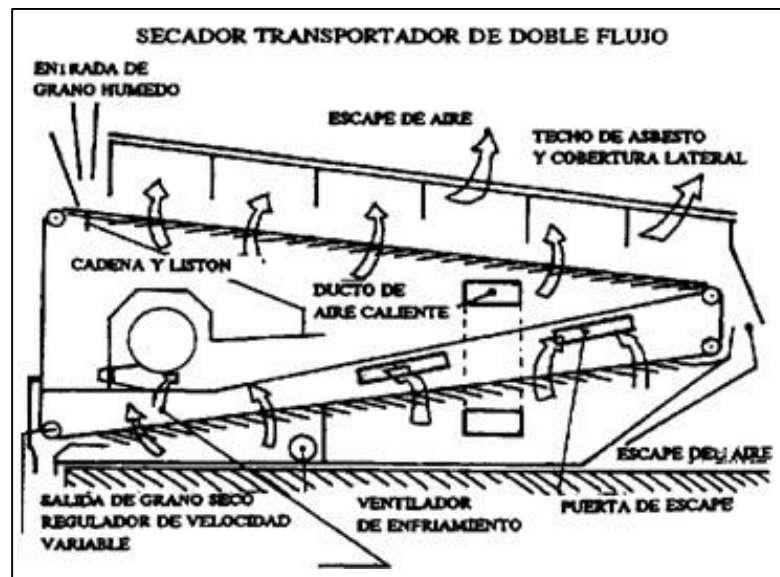


Figura 1.4 Secador en cascada de dos planos.

Con el fin de aumentar la capacidad de secado se han fabricado secadoras con este mismo principio de cascadas, pero verticales, formadas por módulos de forma romboidal (Figura 1.5) obteniéndose secadoras de hasta 100 [Ton/hr].

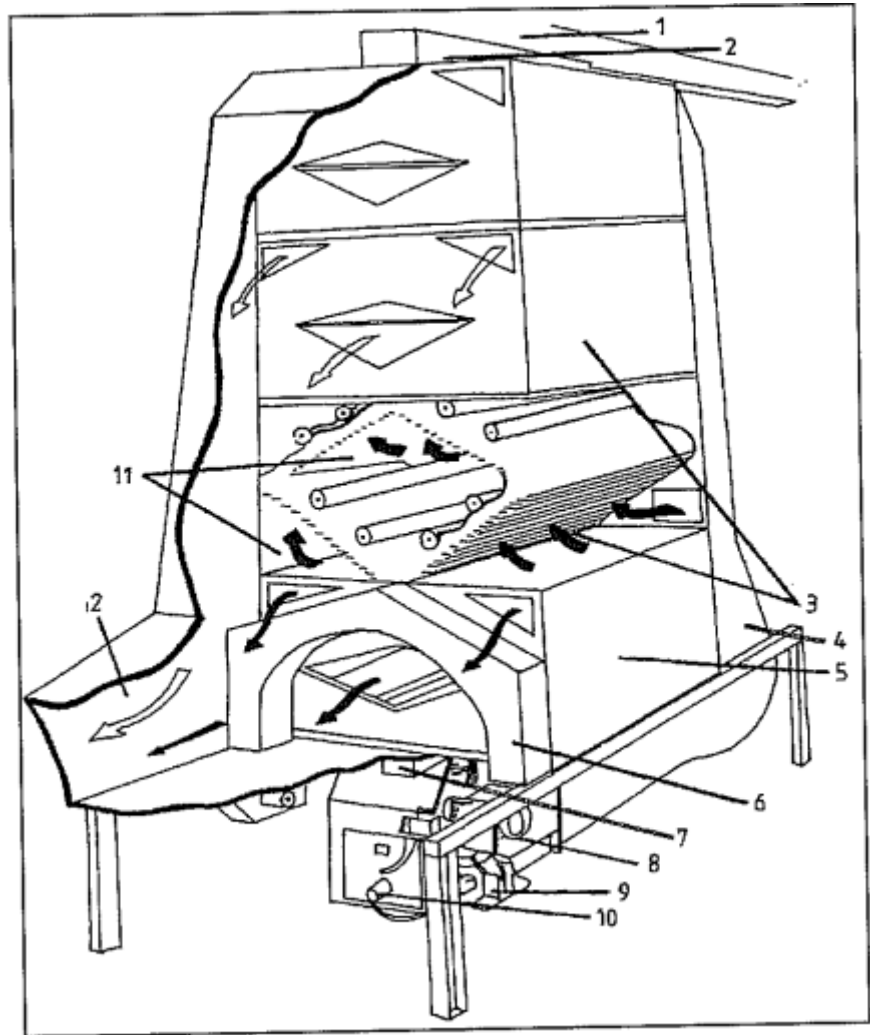


Figura 1.5 1: transportador de granos; 2: tolva de grano húmedo; 3: secciones de calor; 4: conducto de aire caliente; 5: sección de enfriado; 6: conducto de aire frío; 7: rosca de descarga de grano; 8: ventilador de aire frío; 9: controles de quemador; 10: ventilador y cámara de combustión; 11: cámaras de calor; 12: salida de aire usado.

#### 1.2.4 Secadores Horizontales

Se ubican en este grupo dos tipos: las secadoras horizontales de columnas hexagonales y las secadoras horizontales planas.

En la Figura 1.6 se observa un esquema interno de una secadora de este tipo, en la cual el grano se desplaza desde arriba por venas que rodean una cámara de aire caliente o frío; La capacidad de estas máquinas se aumenta haciéndolas de mayor longitud.

Las secadoras horizontales planas se caracterizan por tener la sección de secado y enfriamiento en posición horizontal plana. Pueden ser clasificadas en dos modelos: de lecho fijo y de lecho fluido.

Las de lecho fijo (Figura 1.7) tienen una cámara de secado plana.

Muchas de estas secadoras horizontales también pueden ser empleadas para secar forraje, otros productos y subproductos,

Las secadoras de lecho fluido se diferencian porque emplean elevados caudales de aire caliente, con el fin de agitar y poner

en suspensión a la capa de granos, y de esta forma conseguir un secado más rápido y uniforme (Figura 1.8)

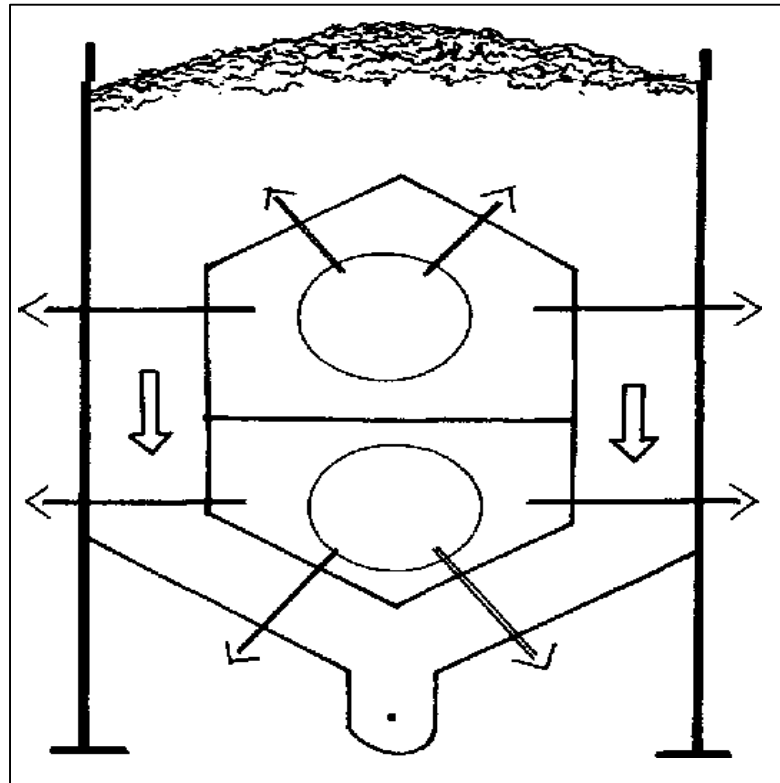


Figura 1.6 Sección transversal de secadora horizontal de columnas hexagonales.



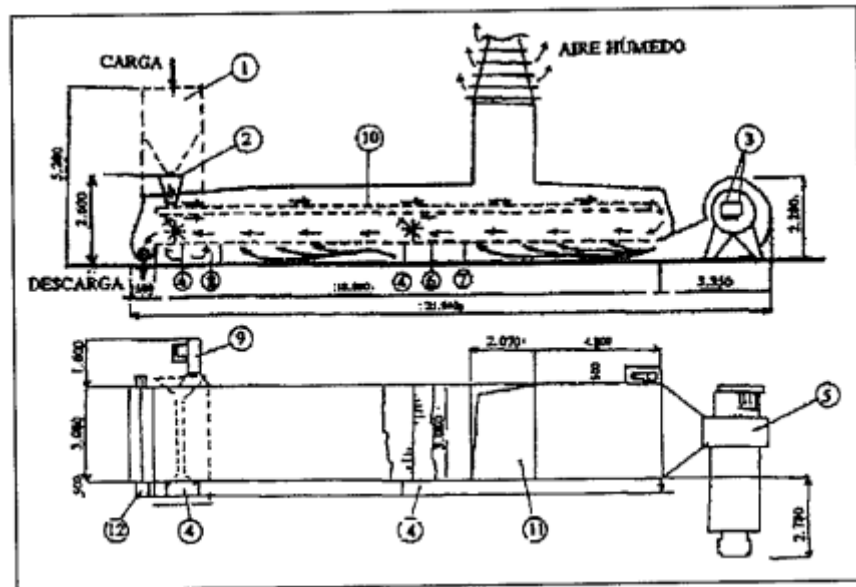


Figura 1.7 Secadora horizontal de lecho fijo.

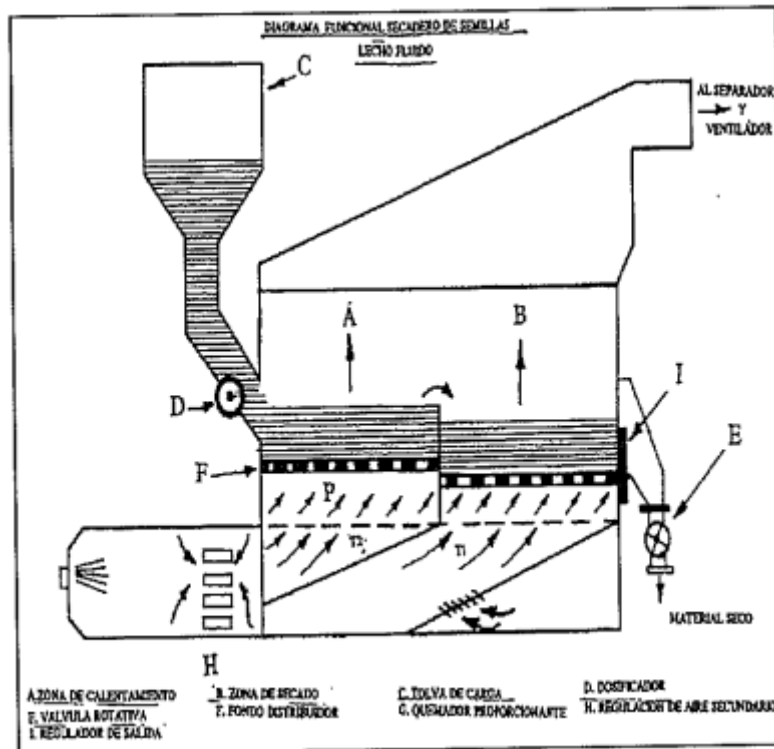


Figura 1.8 Secadora horizontal de lecho fluido.

## 1.3 Conservación y almacenamiento del grano

### 1.3.1 Conservación del grano

Entre los alimentos de producción estacional, los granos son sin dudas uno de los principales recursos para el hombre, ya que son esencialmente estructuras de supervivencia, siendo capaces de soportar condiciones extremas gracias a que los mismos pueden permanecer en estado de vida latente.

Entiéndase por conservar mantener o cuidar una cosa, a guardar cuidadosamente una cosa preservándola de su deterioro.

Las normas básicas dentro de la conservación son:

Sano - Seco -Limpio - Bajas temperaturas.

Lo que nos permitirá mantener un granel:

**Sano:** Integro y sin plagas.

**Seco:** Con niveles de humedad lo suficientemente bajos como para no favorecerle desarrollo de las plagas.

**Limpio:** Con la menor cantidad de impurezas y contaminantes.

**Bajas temperaturas:** Para disminuir el ritmo o intensidad de los procesos que pueden iniciar el deterioro.

### **1.3.2 Almacenamiento del grano**

El almacenamiento de granos es una etapa que a veces se le presta poca atención y durante la misma es muy difícil detectar las pérdidas ya que, en general, nadie compara la calidad y el peso de los granos al entrar y luego a la salida de los silos como para saber si hubo pérdidas o no. Estimaciones hechas por expertos indican que en promedio esas pérdidas están en el orden de 6 a 8%. Este porcentaje representa una pérdida de rentabilidad muy significativa.

Por tal motivo todas las recomendaciones se basan en un esquema preventivo, con lo cual se disminuyen los riesgos de deterioro y los costos de almacenamiento.

El principio del almacenamiento es guardar los granos secos, sanos y limpios. Una vez logrado esto, los problemas de pos cosecha se reducen a la mitad. El almacenamiento de granos es una actividad en la que se debe invertir tiempo suficiente

para controlar todo el proceso y tiene como objetivo fundamental la conservación de la calidad inicial de los granos cosechados hasta su entrega, al menor costo posible.

### 1.3.3 Problemas comunes en el grano

Factores que afectan la postcosecha.

- **Factores físicos del medio:** Temperatura, humedad y condiciones de cosecha, acondicionamiento y manipuleo.
- **Factores físicos de los granos:** Porosidad, fluidez, segregación, sorción y propiedades termo - físicas.
- **Factores químicos del medio:** composición Atmosférica intergranaria.
- **Factores químicos de los granos:** Composición característica de los granos.
- **Factores biológicos del medio:** Insectos, ácaros, microorganismos, roedores, pájaros y el hombre.
- **Factores biológicos de los granos:** Respiración, longevidad, brotación y madurez postcosecha.

Estas variables están en permanente interacción ya que estas se afectan mutuamente. El análisis de un granel nunca

se debe realizar en forma parcial sino que se deben integrar todos los aspectos.

El deterioro por falta de control de las variables puede ocasionar:

- Pérdida de poder germinativo
- Pérdida de energía germinativa
- Contaminación con plaguicidas
- Incremento de acidez
- Fermentación
- Aparición de toxicidad.
- Aumento de humedad y temperatura.
- Disminución del valor comercial.

#### **1.4 Dinámica del secado**

En general, los granos presentan características acordes con las especies a que pertenecen. Los elementos básicos de la estructura del grano son: tegumento, embrión y tejido de reserva. Desde el punto de vista funcional, la semilla está compuesta de una cobertura protectora, un eje embrionario y un tejido de reserva (Figura 1.9).

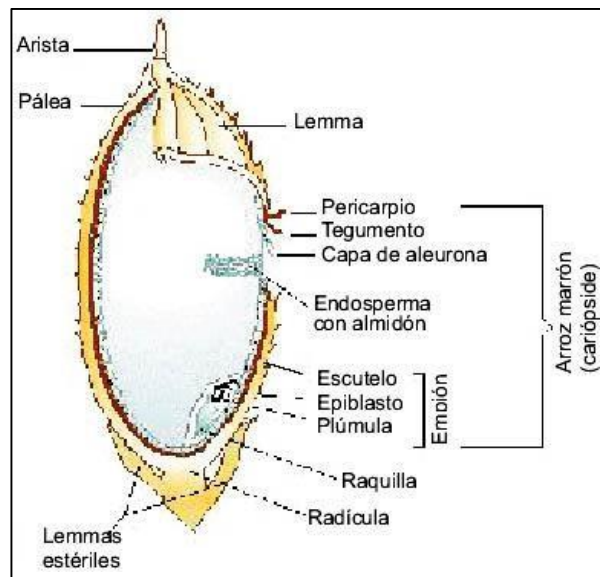


Figura 1.9. Corte longitudinal de la semilla de arroz.

### **Cobertura protectora**

Es la estructura externa que envuelve la semilla y puede estar constituida apenas por el tegumento y, en algunos casos, también por el pericarpio. El tegumento es una cobertura formada por una capa de células; el pericarpio se origina de la pared del ovario.

- La cobertura protectora tiene como funciones:
- Mantener unidas las partes internas de las semillas
- Proteger las partes internas contra choques y abrasiones
- Servir como barrera a la entrada de microorganismos en la semilla.

**Eje embrionario**

El eje embrionario tiene función reproductiva con capacidad para iniciar divisiones celulares y crecer. Es la parte vital de la semilla. Se trata de un eje porque inicia el crecimiento en dos direcciones: hacia las raíces y hacia el tallo.

**Tejido de reserva**

Es una fuente de energía y de sustancias orgánicas que son utilizadas por el eje embrionario en el proceso de germinación; eso es, desde el comienzo de la germinación hasta que se vuelve autotrófico, capaz de sintetizar materias orgánicas por el proceso de fotosíntesis.

Para dichos cereales se ha hablado de proceso artificial y no natural en el sentido de que la radiación solar, en el periodo de maduración y de recolección, no es suficiente para evaporar el exceso de agua, a diferencia de lo que sucede generalmente en los cereales de verano. Tal efecto de radiación se traduce, de hecho, en un recalentamiento del aire ambiente y, por lo tanto, en una reducción de su humedad relativa que equivale a un aumento del propio poder desecador. El grado de aprovechamiento de este poder está en correspondencia con las condiciones de humedad del producto, siendo nulo cuando existe equilibrio higroscópico

entre el aire ambiente y el grano y, por lo tanto, no hay transporte de agua en forma de vapor desde el cereal hasta el aire.

Por esto es necesario el secado artificial, pues se consigue producir el desequilibrio de esta relación, al volver hacer mayor la tensión de vapor correspondiente a la superficie externa del grano que la tensión del vapor contenido en el aire, con el siguiente pasó de agua del grano al aire.

En el diagrama adjunto (Figura 1.10) de equilibrio higroscópico obtenido experimentalmente, se da, en función de las características termodinámicas del aire (temperatura y humedad relativa), la humedad de equilibrio de los granos, de modo que se puede evaluar la posibilidad de desecación con o sin calentamiento artificial del aire.



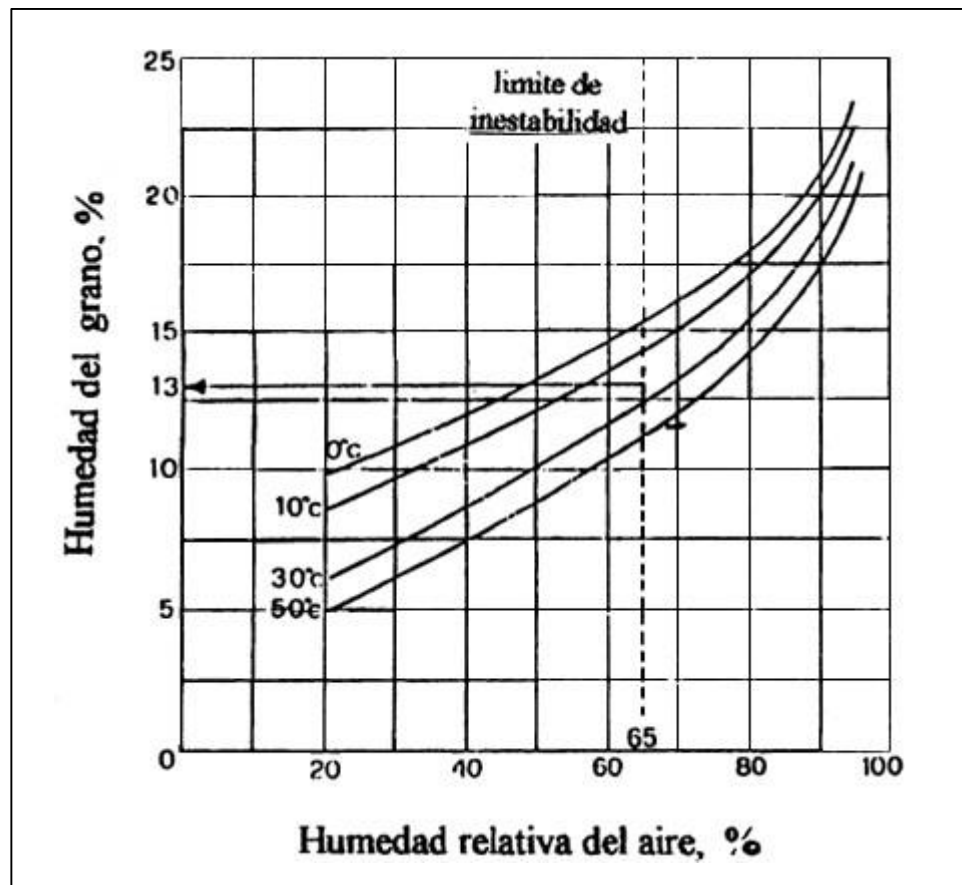


Figura 1.10 (Curva de equilibrio higroscópico aire-grano de arroz)

En la figura 1.10 se observa, a modo de ejemplo, que con aire ambiente el 65% de humedad relativa (valor por debajo del cual no se desarrollan microorganismos y está bloqueada la actividad de las enzimas) y a 20° C de temperatura, con la humedad de equilibrio del arroz es del 13%; es decir, con este tipo de aire se estará en disposición de alcanzar las condiciones de conservación

de dicho grano con una simple ventilación de masa (esto es, sin calentamiento del aire).

De la misma curva se deduce que, a igualdad de humedad relativa, la humedad de equilibrio del arroz aumenta al disminuir la temperatura; así, con aire ambiente también a 65% de humedad relativa, se puede conservar el producto con una humedad del 15,15% cuando el aire tiene una temperatura cercana a 0° C. en otras palabras, con el enfriamiento se pueden conservar cereales a humedad elevada sin que se presenten fenómenos de degradación de su sustancia.

Pasando ahora a la dinámica del secado, la evaporación del agua de grano se consigue haciendo atravesar la masa por una corriente de aire caliente (a consecuencia de su porosidad se puede llegar al 40%), que se ocupa en la primera fase de la eliminación del agua de imbibición, e incluso de la que viene del exterior en forma de lluvia y de niebla, y que se encuentra en los poros del grano. Sucesivamente, el flujo térmico va a afectar el agua libre de vegetación, definida así porque está ligada estrechamente, sin formar parte de ella, a la sustancia constitutiva

de los granos por una interacción molecular de carácter físico-químico.

La desecación no afecta, en cambio, a la tercera forma en que se encuentra el agua, la de constitución, combinada con la sustancia constitutiva del grano, y cuya eliminación, a temperatura notablemente superior, nos llevaría en descomposición de la propia sustancia orgánica.

En segundo lugar, la evaporación del agua, procediendo desde los estratos internos del grano hacia los externos, se produce siempre en condiciones más difíciles, con lo que el tiempo de secado aumenta y se aprovecha peor el poder desecador del aire caliente.

A tal fenómeno, en el caso del arroz, se añade la disminución de la conductividad interna del cereal según se produce la desecación, porque la glumela (cascarilla), que protege el grano por el exterior, se separa gradualmente del grano propiamente dicho durante la concentración de este último, según se van eliminando las moléculas de agua. Todo esto se puede observar en la figura 1.11 relativo a dos tipos distintos de instalación, donde la mayor

velocidad de descenso de la humedad de los granos se produce en la primera hora y media del secado (de 3 a 5 puntos, según la humedad inicial), mientras que se advierte una mayor lentitud cuando la humedad es más baja, requiriendo tiempos de cerca de una hora y media para eliminar el último uno por ciento de humedad.

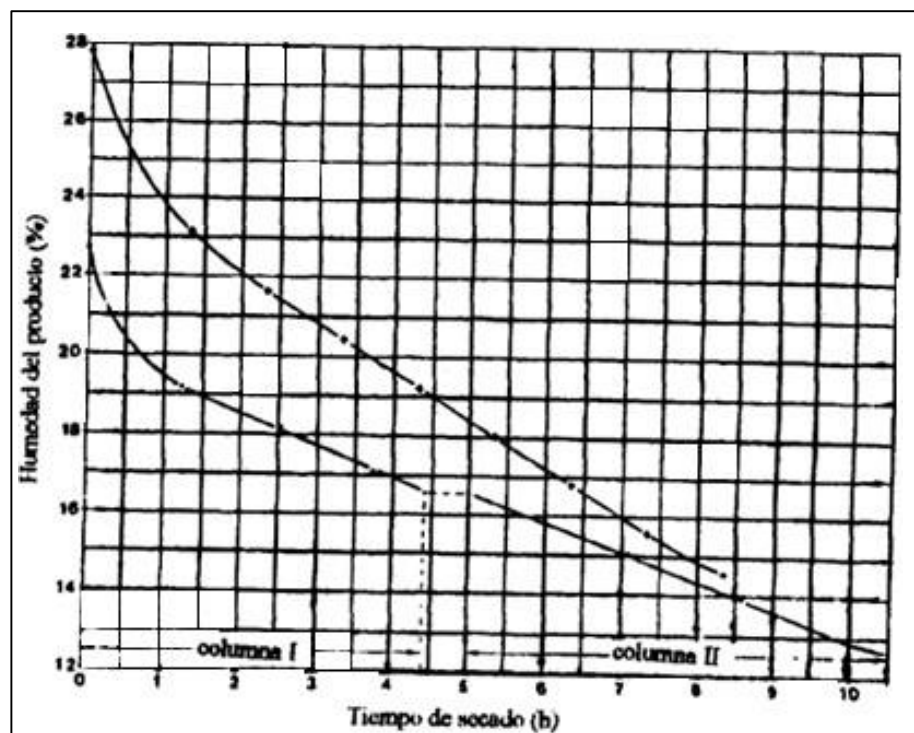


Figura 1.11 Comportamiento de la humedad del arroz durante el secado en una instalación tipo columna zigzag (+) y en lechos constituidos por dos columnas en serie.

De aquí, la importancia para el arroz de una subdivisión del proceso en varios intervalos con el fin de disminuir el tiempo total y aumentar el rendimiento térmico de la instalación. En efecto, el fenómeno del enfriamiento intermedio del producto en el silo, que sigue a la interrupción de la exposición al aire caliente, viene seguido de la difusión del agua libre hacia los estratos de los granos, con el consiguiente restablecimiento del contacto glumelagrano, y del paso del agua desde el grano más húmedo al más seco, volviendo así más uniforme la humedad de la masa a secar. Todo esto se puede realizar en las instalaciones que prevén estos silos de enfriamiento intermedio, donde el producto puede permanecer cerca de 5 a 10 horas, y aun más en ocasiones, con una reducción del tiempo de desecación del orden de un 10 a un 20%, mientras que el rendimiento térmico también se puede elevar en un 5 o 10%.

# CAPÍTULO 2

## 2. PARÁMETROS DE SECADO

### 2.1 Selección del tipo de secado

#### Métodos de secado

Los métodos que se emplean para realizar el secado de granos son diversos y se pueden clasificar como sigue:

#### a. Secado natural

- En el campo
- En asoleaderos

#### b. Secado artificial

- A bajas temperaturas: con aire natural con aire ligeramente calentado

- A altas temperaturas: en lecho fijo en flujos cruzados en flujos concurrentes en flujos contracorriente en cascada (flujos mixtos)
- En combinación: alta temperatura/baja temperatura
- Secado aireación

Los métodos de secado natural no se analizan aquí, pues sus parámetros de secado dependen solamente de las condiciones ambientales. Se les mencionará, en algunos casos, como alternativas.

Se denominan procedimientos de secado a bajas temperaturas, aquellos que usan aire a temperatura ambiente o calentado en 3 a 5°C, como medio de transporte de humedad y energía. En estos procedimientos se emplean bajos flujos específicos de aire (2,0 - 5,0 m<sup>3</sup>/min.t). Los bajos flujos de aire, junto con las condiciones de éste, hacen que los procedimientos de secado a bajas temperaturas sean típicamente lentos y tarden días o semanas en alcanzar la humedad deseada del producto. En cambio, estos procedimientos son energéticamente eficientes y el producto final es de buena calidad. Se les puede emplear para producciones tanto pequeñas como grandes, y sus puntos limitantes son las

condiciones ambientales, la velocidad de cosecha del producto y el posible desarrollo de hongos.

Los procedimientos de secado a altas temperaturas se caracterizan por el empleo de aire calentado, por lo menos a 10°C, sobre la temperatura ambiente. Los flujos específicos del aire son mayores que en los casos anteriores y en consecuencia, la velocidad de secado es más alta. Así, el secado de granos a altas temperaturas se emplea en los predios en que hay grandes producciones y la cosecha diaria es de un alto volumen.

Los procedimientos de secado a altas temperaturas exigen un manejo más cuidadoso y con mayor vigilancia, porque el peligro de accidentes, principalmente incendios, es más grande y porque la posibilidad de que se dañe el producto también se acentúa. Aun así, el manejo correcto de los secadores permite que se sequen algunos productos a 400°C, sin alterar su calidad final. Si bien es cierto que no todos los tipos de secadores aceptan esa clase de manejo, el aumento de la temperatura del aire de secado, aunque por un lado exige mayor supervisión, por otro aumenta la eficiencia energética del procedimiento (menor consumo de energía por unidad de masa de agua evaporada).



Para lograr lo estipulado, el objetivo principal es el de minimizar los tiempos que le toman a un agricultor promedio desde que se ejecuta la cosecha hasta la venta de su producto; es necesario utilizar un método de secado que cumpla con esta condición por tal motivo el sistema se basa en calentar lo más que se pueda el flujo de aire que sirve para secar el grano sin que este sufra algún daño.

## **2.2 Análisis del combustible a utilizar**

Es importante la adecuación de tecnologías a las necesidades específicas de las poblaciones utilizando los recursos naturales de cada zona. Este proyecto parte de las posibilidades del uso de la cascarilla de arroz como combustible alternativo en el secado de cereales. El poder calorífico de la cascarilla de arroz es similar al de la madera y al de otros residuos agrícolas.

Por las características fisicoquímicas la cascarilla resulta poco biodegradable y se convierte en un desecho altamente contaminante en especial para las fuentes de agua.

El peso y volumen de la cascarilla ocasionan elevados costos de almacenamiento y de transporte para la industria arrocera. Pero,

además, por ser poco digestible, su uso en la elaboración de alimentos concentrados para animales, es restringido.

Estos inconvenientes, sumados a la necesidad de ahorrar combustible, y el interés por aumentar la productividad, han orientado la búsqueda de un método de utilización de la cascarilla de arroz acorde con el medio ambiente. La cascarilla de arroz es un tejido vegetal constituido por celulosa y sílice, elementos que ayudan a mejorar los rendimientos como combustible. Además el residuo obtenido después de quemarla, puede ser utilizado en la fabricación de cementos. El uso de la cascarilla de arroz como combustible representa un aporte significativo a la preservación de los recursos naturales y un avance en el desarrollo de tecnologías limpias y económicas.

En países como Colombia, que ya cuenta con este tipo de tecnología, se ha desarrollado un nuevo diseño de horno para secar cereales en el que se utiliza como combustible la cascarilla de arroz. En el diseño y construcción del nuevo horno, la idea concreta fue la de mejorar la vida útil del equipo, disminuir el costo de fabricación y el consumo de energía, así como cumplir con las normas técnicas internacionales para prevenir la contaminación ambiental.

Dicho horno resultó ser altamente competitivo, entre otras razones por su elevada operatividad, su favorable precio de venta, el incremento de la eficiencia de combustión de un 60% a un 80% y su bajo consumo de energía eléctrica.

Otra ventaja de estos hornos fue lograr un bajo nivel de contaminación, cumpliendo, de esta manera, con las normas EPA de protección ambiental.

Es importante mencionar que ni con todo el sinnúmero de utilidades que se le da a la cascarilla de arroz demanda la producción total genera en el mundo.

### **2.3 Elementos constitutivos**

El secador de lecho fijo o de capa estacionaria se componen de cuatro elementos principales que se observan en la figura 2.1: sistema de calentamiento del aire, ventilador, cámara de distribución del aire y cámara de secado.

En este caso el sistema de calentamiento es producto de la combustión de la cascarilla de arroz, que aumenta la temperatura del aire que fluye por el intercambiador hasta los límites

recomendados para el producto a secar (arroz). El ventilador, generalmente, es del tipo centrífugo, por la presión estática que se necesita en este sistema. La cámara de distribución de 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 fondo de plancha de metal perforado, capaz de soportar el peso del producto húmedo. El producto permanece estático en la cámara de secado, mientras que el aire calentado, impulsado mecánicamente por el ventilador, pasa a través de la capa de producto y reduce su contenido de humedad. Después del secado, el producto se enfría dentro del mismo secador, para lo cual se interrumpe el suministro de energía al sistema de calentamiento y se deja conectado el ventilador

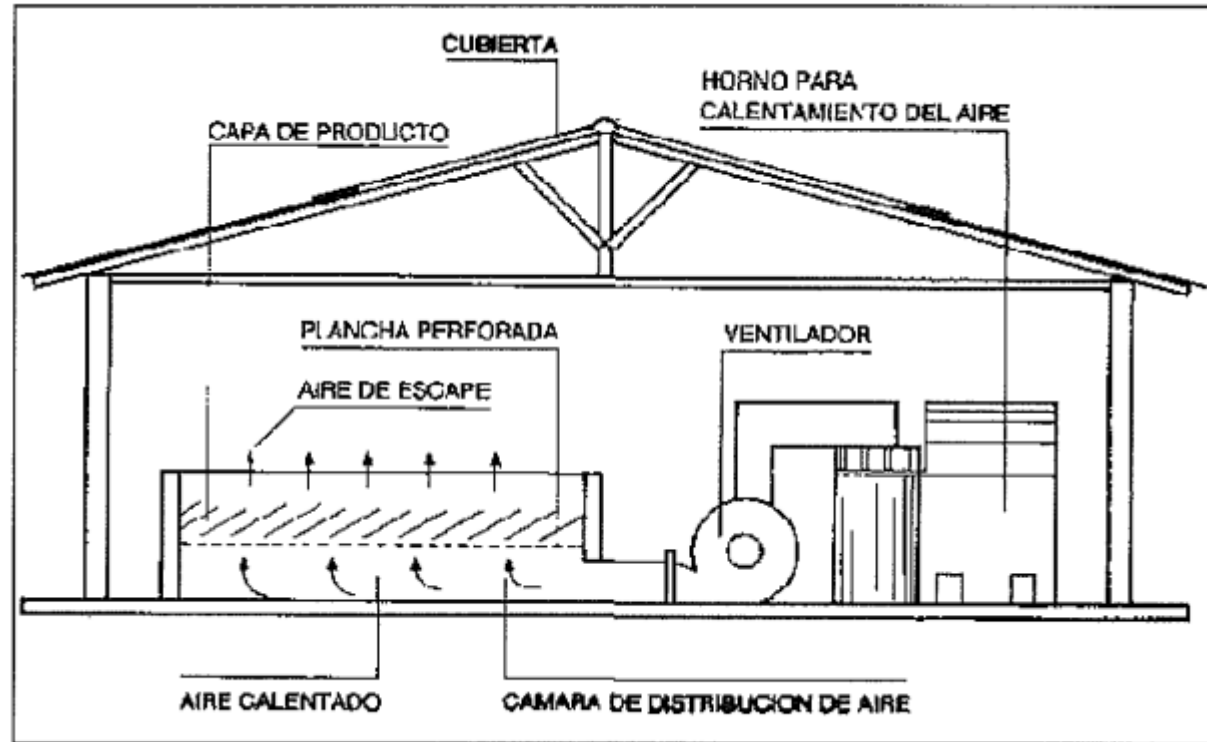


FIGURA 2.1 ESQUEMA DEL SECADOR DE LECHO FIJO

Las principales variables del sistema de secado de partidas en lecho estacionario son: espesor del lecho, contenido de humedad inicial, flujo de aire, temperatura del aire y tiempo de secado.

El espesor del lecho, generalmente, debe estar entre 0,4 a 0,6 m cuando se trata de arroz, por la dificultad para moverlo. La capa fina, lo mismo que el movimiento manual o mecánico del producto, sirven para prevenir el secado excesivo cerca de la entrada de aire y disminuir las diferencias de temperatura y de humedad dentro de la cámara de secado.

El secador de capa fija se debe construir en lugar cubierto, para que pueda funcionar incluso en condiciones meteorológicas adversas y de noche. Hay que construirlo de tal modo que su manejo sea seguro, para evitar riesgos para el operador o perjuicios a la calidad del producto. Hay que tener cuidado de prevenir incendios, tanto en el secador mismo como en las construcciones vecinas. Las partes móviles del motor y del ventilador deben estar protegidas del contacto con personas o animales. La temperatura del aire de secado se debe controlar mediante

un termómetro colocado en la entrada de la cámara de distribución del aire, para evitar que éste se recaliente.

Se pueden emplear diversos materiales en la construcción de los conductos y en las cámaras de secado y distribución del aire. Ya existen en el mercado silos metálicos apropiados para funcionar como cámara de secado, con la ventaja de que al final de la cosecha sirven como silos de almacenamiento. Los secadores hechos de madera también son viables, aunque acarrearán riesgos de incendio. En el Ecuador parece que una de las opciones más interesantes, del punto de vista económico, es el secador construido de albañilería.

Para obtener buenos resultados con el uso del secador de capa fija, hay que observar las siguientes recomendaciones:

- Las temperaturas y los espesores de la capa, para el producto, La temperatura de secado depende del fin que se dará al producto.
- La superficie de la capa de producto se debe nivelar con un rastrillo de madera, después de cargado el secador, para evitar la irregularidad en el flujo de aire.
- Se debe evitar al máximo la compactación del producto.

- Se debe revolver el producto a intervalos predeterminados, para evitar la irregularidad en la humedad final del producto, principalmente con temperaturas superiores a 45°C. Para esto, el operador debe desconectar el ventilador y mover el producto con una pala o con rastrillo de madera.
- El término de la operación de secado depende de varios factores, tales como espesor de la capa, humedades Inicial y final del producto, flujo de aire y temperatura de secado; el operador deberá contar con equipos capaces de determinar el contenido de humedad final del producto. Si el producto está excesivamente seco, el productor perderá dinero al comercializar sobre la base del peso húmedo. Si el producto estuviera demasiado húmedo, quedará expuesto a deterioro durante el almacenamiento.
- Al término del secado, se debe interrumpir el calentamiento del aire o abrir todas las entradas de aire frío en la fuente de calor, y dejar el ventilador conectado hasta que la masa de granos alcance una temperatura próxima a la del ambiente. En los secadores con horno de albañilería se debe interrumpir el abastecimiento de



cascarilla cuando el contenido medio de humedad del producto llegue a alrededor de uno a dos puntos por ciento de humedad por encima del valor recomendado para almacenarlo, manteniendo el ventilador conectado. De este modo, se aprovecha la energía almacenada en las paredes de las tuberías y del intercambiador para terminar el secado de producto, evitando los choques térmicos de enfriamiento.

- Se debe limpiar el secador después de secar cada partida, retirando los residuos de productos agrícolas que queden sobre la plancha perforada.

### **2.3.1 Cámara de Secado**

La cámara de secado (figura 2.2) debe tener el piso de plancha metálica perforada, de modo que el área perforada sea por lo menos el 10% del área total, para evitar que haya altos valores de pérdida de carga. La cámara de secado puede ser rectangular o circular. El piso de forma circular exige mayor cantidad de planchas para su construcción. Si la velocidad del aire que entra en la cámara de distribución es inferior a 1 m/s, la forma del piso deja de tener importancia para el

buen desempeño. Para facilitar el mantenimiento del piso de la cámara de secado y evitar elevadas pérdidas de carga, se puede utilizar una cámara de distribución de aire con una altura de 0,5 m. Los agujeros de las planchas de metal perforadas deben ser tales que no permitan el paso del producto, teniendo en cuenta que interesa más una cantidad elevada de orificios pequeños que pocos orificios de mayor diámetro. La estructura para soportar las planchas de metal perforadas y la masa del producto pueden ser de distintos materiales, como albañilería y madera, aceros de construcción y perfiles metálicos. La cámara de secado deberá contar con aberturas laterales para la descarga manual o mecánica del producto y un sistema de boquilla para facilitar el ensacado, en caso necesario. La altura total del secador es de 1,2 m. aproximadamente, de los cuales 0,70 m. corresponden a la altura de la cámara de secado y 0,5 m. a la altura del piso. Para facilitar la limpieza de la cámara de distribución de aire del secador, se puede construir el piso de la cámara de

secado de modo que una de las planchas perforadas se pueda retirar.

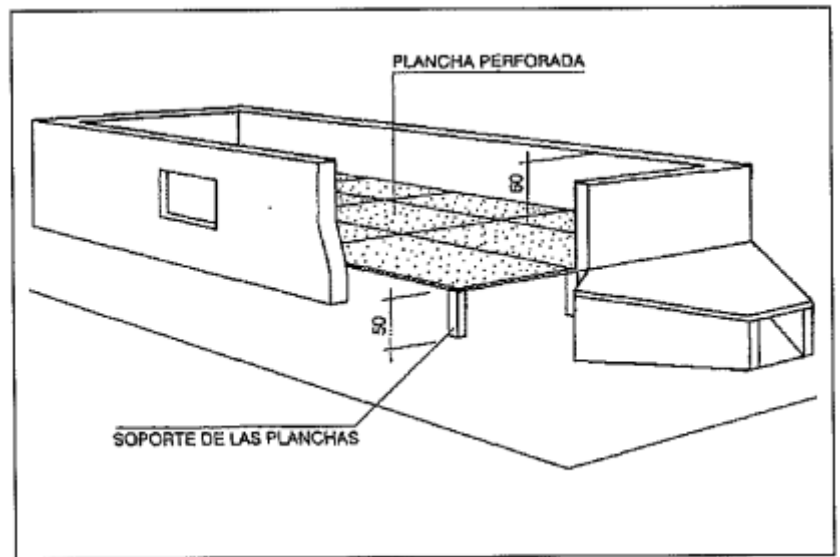


FIGURA 2.2 Cámara de secado y cámara de distribución de aire en el secador de lecho fijo.

### 2.3.2 Horno

De los muchos diseños de hornos que existen en la actualidad que utilizan como combustible cascarilla de arroz, el de hogar con parrilla escalonada es el más eficiente, el cual fue introducido por BURMA (referencia 4) en 1880.

Existen tres variaciones básicas:

- **Bajo el piso.-** es el ilustrado en la figura 2.3 en este caso es posible acoplar a nivel con un caldero, pero las cenizas podrían crear problemas en sus desalojos.
- **Nivel del piso.-** se muestra en la figura 2.4. El sistema de remoción de cenizas es por hundimiento con un sistema de poleas.
- **Hogar portátil.-** Un estilo de fogón desmontable apropiado cuando se desea dar mantenimiento periódico (Figura 2.5).

Además de algunas variaciones de estilo de hogares con parrilla inclinada, hay que tener presente especialmente la forma de la parrilla, que puede ser de varillas escalonadas con su apropiado ángulo de inclinación. Una combustión económica y completa depende sobre estos factores.

- Parrilla de sección simple.

- Parrilla de sección múltiple.
- Parrilla de sección múltiple con inclinación variable.

La inclinación de la parrilla depende de varios factores: Densidad de la cascarilla al suministro, contenido de humedad, del tamaño de la cascarilla (por el tipo de descascarador), cantidad de material extraño y si la cascarilla es cruda o precocida.

Necesariamente es importante tener un tiro uniforme a través de la parrilla, B.R.Wolf recomienda que no sea mayor a 1 [m/seg] (referencia 4) y por ello una capa uniforme de cascarilla con desalojos continuos.

Otra variación de este horno es el de parrilla escalonada movable, experiencias con este sistema reportan resultados satisfactorios de alta eficiencia. En este tipo de parrilla es posible encontrar las zonas de alimentación, combustión y desalojo de cenizas.

El aire de combustión está dividido de acuerdo a las diferentes zonas de la parrilla y podría también ser suministrada en forma concreta dentro de la principal

zona de combustión. Hay que poner atención en el correcto diseño de la cámara de combustión, para lograr el máximo aprovechamiento y óptimo encendido.

En la figura 2.5 se representa una sección de este tipo de parrilla. La utilización de este tipo de sistema de parrilla, alcanza alta razón de conversión de energía.

Cada una de las tres secciones consiste de:

- Parrilla de parte rígida con ángulo de inclinación regulable.
- Parrilla que opera con alimentación mecánica.
- Parte longitudinal, la cual divide dos zonas en movimiento.

Obviamente que la mayor desventaja de este sistema de parrilla es el elevado costo.

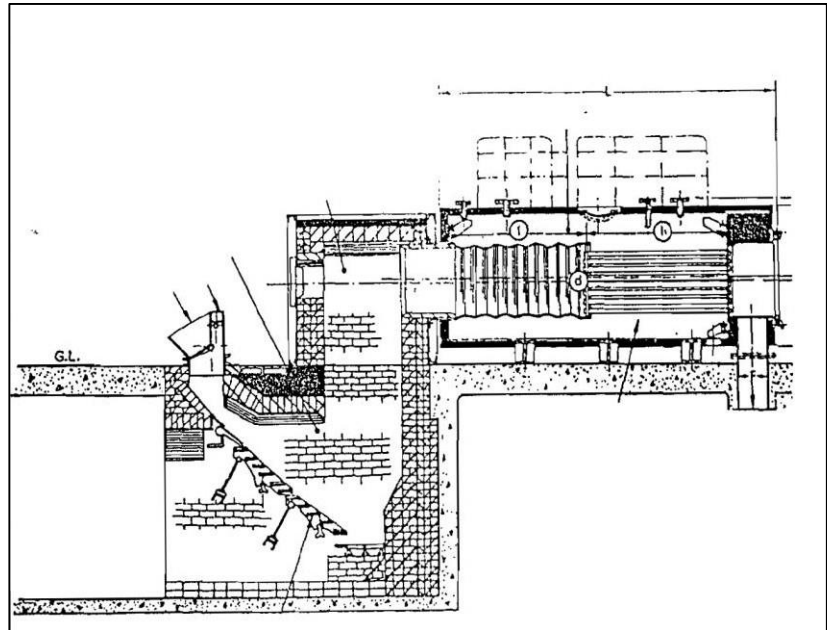


Figura 2.3 Hogar con parrilla bajo el piso.

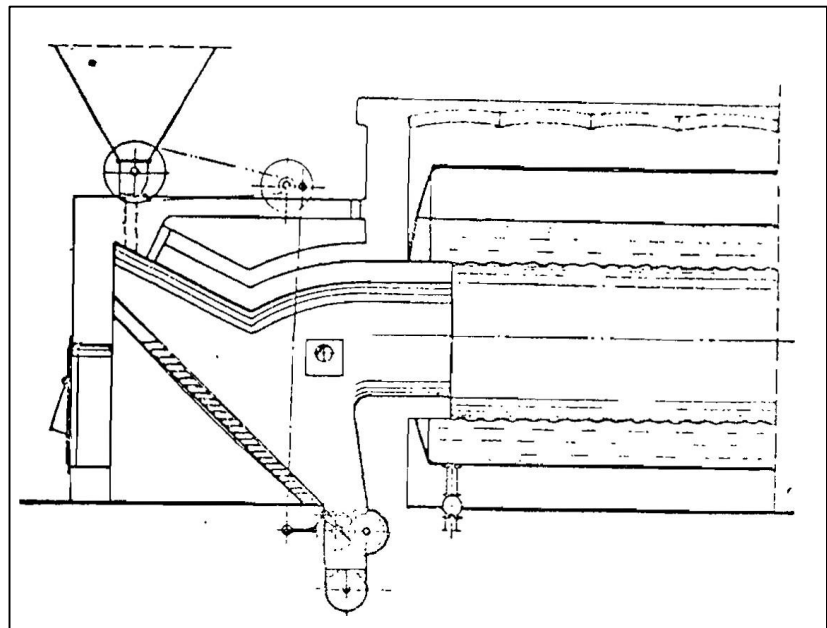


Figura 2.4. Hogar a nivel de piso fijo.

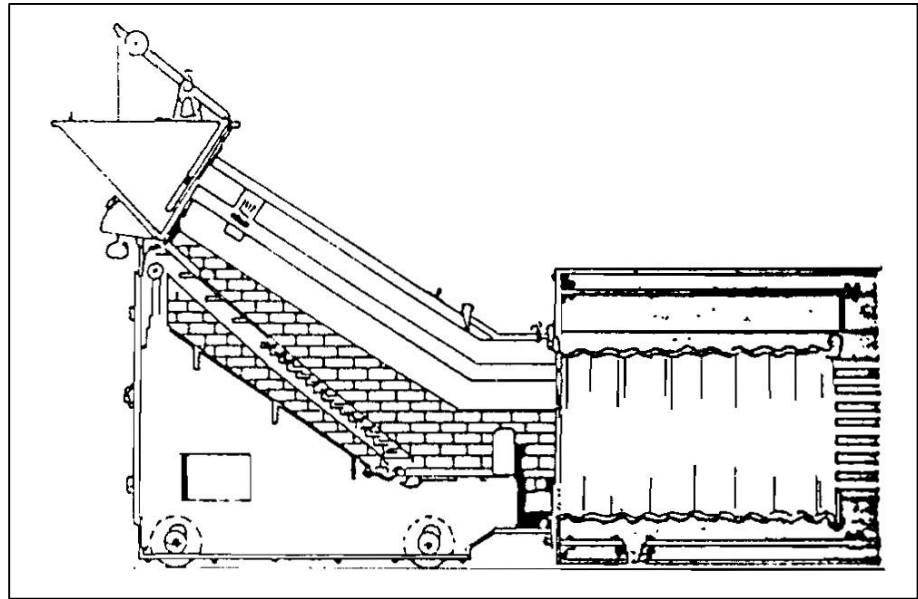


Figura 2.5. Hogar a nivel de piso portátil.

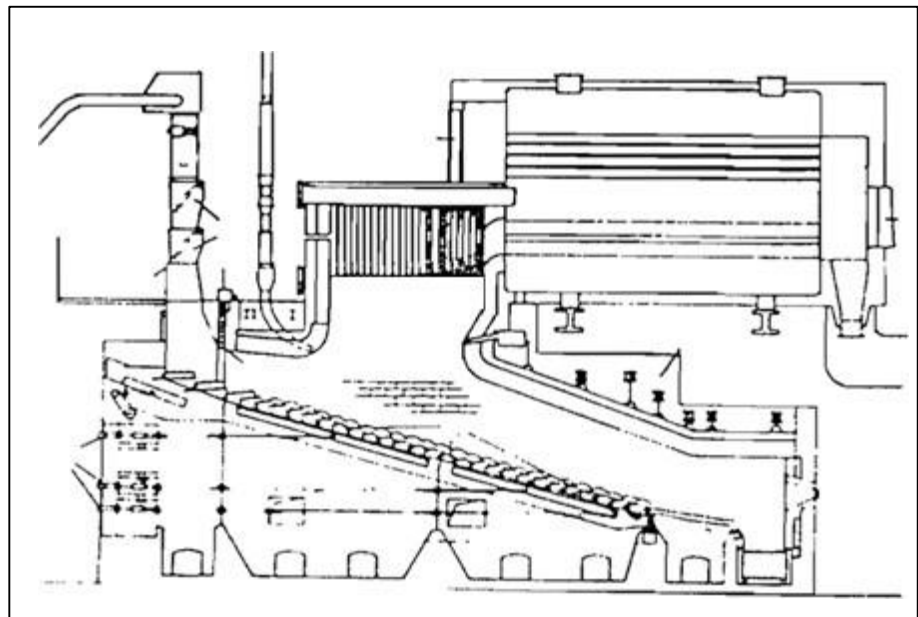


Figura 2.6. Horno con parrilla múltiple.



### **2.3.3 Intercambiador de Calor**

Como ya se sabe que la cascarilla de arroz tiene un elevado contenido de materia volátil, el intercambiador de calor tiene por objetivo aislar completamente el circuito de los gases de la combustión del circuito del aire de secado.

Con ello se consigue evitar la contaminación de los granos por compuestos químicos peligrosos, como el benzopireno, de acuerdo a lo expresado. También se logra reducir el peligro de incendios debido a partículas de combustible incandescentes o chispas que puede transportar el aire de secado.

En Francia se usan secadores con intercambiadores de calor tanto para precaver la contaminación sino para eliminar el riesgo de los compuestos de azufre que originan los combustibles líquidos, los cuales actúan produciendo corrosión en las partes metálicas de la parte superior de las secadoras, lugar donde existe un exceso de humedad, sobre todo en las condiciones adversas.

A continuación se ilustra un típico intercambiador de calor (Figura 2.7). La combustión calienta la pared metálica del circuito por radiación de la llama y por convección. El calor atraviesa esta pared por conducción y es transmitido al aire de secado del otro costado de la pared. Este modelo, de tipo anular cilíndrico, es muy simple, pero existen también de tipo tubular; en éstos, el aire de secado se recalienta en una batería de tubos en el interior de los cuales circulan los gases de la combustión. En la Figura 2.8 se observa un intercambiador de este tipo.

El inconveniente de los intercambiadores es la existencia de pérdidas inevitables de calor y de carga, que pueden ser de alrededor del 15%, en comparación con la combustión directa.

Son muy escasas las secadoras en el país que tengan intercambiador de calor, lo cual significa que puede existir el problema de la contaminación de los granos.

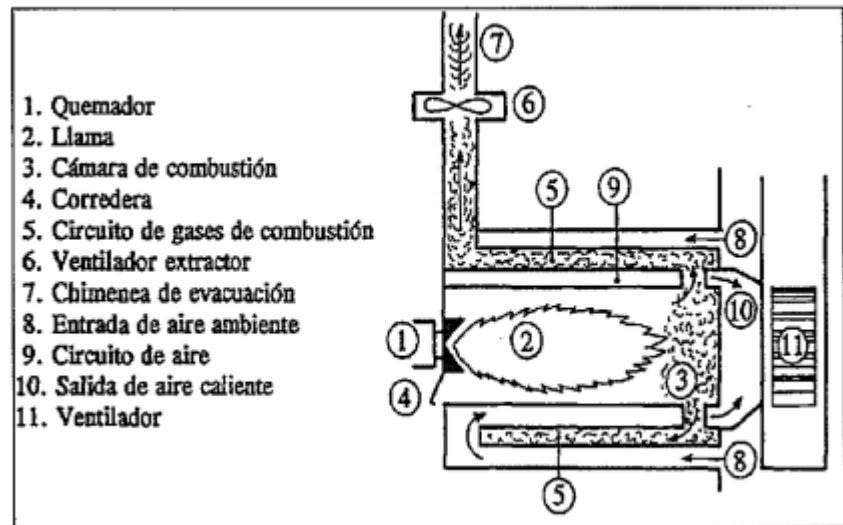


Figura 2.7. Secadora con intercambiador de calor cilíndrico.

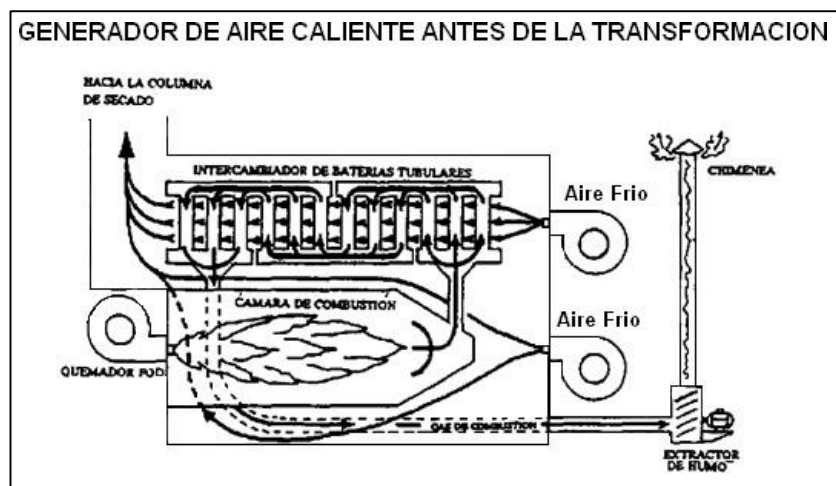


Figura 2.8 Secadora con Intercambiador de calor de batería de tubos.

### 2.3.4 Ventilador

Del examen de la cantidad de agua a evaporar y del diagrama psicométrico se puede calcular el caudal del ventilador. Los valores prácticos de caudal están comprendidos entre 1 y 4 - 6 [ft<sup>3</sup>] aire (por cada 2000 [ft<sup>3</sup>] de producto). Caudales inferiores a estos valores se emplean para la ventilación de los cereales. Los valores mencionados inferiores son empleados para secados lentos, semilla, arroz, etc. Los valores más altos se utilizan para procesos rápidos y para granos de dimensión notable (maíz, etc.); en efecto, con más de 1 [ft<sup>3</sup>]/ (2000 [ft<sup>3</sup>]) los granos de diámetro limitado pueden ser levantados.

El segundo parámetro fundamental de los ventiladores es la presión estática a vencer. Los ventiladores pueden ser:

- Centrifugos
- Axiales

Los ventiladores centrífugos pueden ser:

- **Cóncavos** (con palas inclinadas hacia adelante). Tienen más caudal con menos presión, además de rendimiento y dimensión limitada.
- **Convexos** (con palas hacia atrás). Tienen características contrarias.
- **Con palas rectas y características intermedias.**

Los ventiladores centrífugos se usan especialmente cuando se desean altas presiones. Tienen dimensiones elevadas y son relativamente silenciosos.

En los ventiladores axiales el aire no cambia de dirección y el rendimiento es superior al rendimiento de los centrífugos.

El ventilador axial es compacto y ruidoso. Está caracterizado por altos caudales y bajas presiones. Resulta de otro lado posible montar dos ventiladores axiales es serie, con lo cual se puede triplicar la presión (con una etapa difícilmente supera los 2 in de H<sub>2</sub>O).

## 2.4 Planteo de parámetros

Los parámetros que influyen en la tasa de secado, cuando se secan granos con aire forzado, son: la temperatura y la humedad relativa ambiente, la temperatura y el flujo de aire de secado, el contenido de humedad inicial y de equilibrio de los granos, dado el caso, la velocidad de dichos granos dentro del secador. El tipo de grano y las condiciones en la fase de campo también pueden influir en su tasa de secado.

Los parámetros de secado citados no son independientes. Esto quiere decir que influyen en la tasa de secado como un conjunto de factores y no aisladamente. El manejo adecuado de dichos parámetros permite determinar el equipamiento apropiado para las condiciones específicas de secado.

A la temperatura y la humedad relativa del aire ambiente, muchas veces no se les da importancia para el secado a altas temperaturas. Estos parámetros tienen poca influencia sobre la tasa de secado; en cambio, determinan la cantidad de energía necesaria para alcanzar la temperatura de secado. Cuanto menor sea la temperatura ambiente, mayor

será la cantidad de energía necesaria para calentar ese aire, lo que determina un mayor costo del secado.

El contenido de humedad inicial también influye en la tasa de secado. Cuanto más elevado sea el contenido de humedad de un producto, mayor será la cantidad de agua evaporada por unidad de energía. Con elevados contenidos de humedad, las fuerzas de absorción de la estructura celular del material sobre las moléculas de agua, son menores que cuando el contenido de humedad del producto es más bajo. En consecuencia, se utiliza un mayor porcentaje de energía disponible para evaporar la humedad contenida en los granos más secos.

La temperatura del aire de secado es el parámetro de mayor flexibilidad en un sistema de secado a altas temperaturas e influye significativamente en la tasa y la eficiencia de secado y en la calidad del producto final. Un aumento de dicha temperatura significa un menor consumo de energía por unidad de agua evaporada y una mayor tasa de secado. En cambio, las temperaturas de secado más elevadas pueden causar daños térmicos más acentuados en los granos. La temperatura de secado, junto con los

flujos de aire y de granos, determina la cantidad de agua evaporada en un secador.

La pérdida de carga de un flujo de aire a través de una capa de granos, conocida generalmente como resistencia al flujo de aire y denominada presión estática, influye en este flujo y, en consecuencia, en la tasa de secado. Para determinado tamaño de ventilador, cuanto mayor sea el espesor de la capa de granos y menor la cantidad de impurezas en ella, mayor será el flujo de aire y también la tasa de secado. Esto, porque el menor espesor de la capa y la menor cantidad de impurezas significan menos resistencia al paso del aire a través de los granos.

Hay que tener en cuenta que la humedad relativa del aire a la salida del secador deberá ser de 65 a 75% y la temperatura del grano al salir de la cámara de enfriamiento no deberá exceder la temperatura del aire del aire circundante en más de 10° a 15°C.



### 2.4.1 Capacidad del sistema

Es un parámetro exclusivamente ligado al producto e incide mayormente *en* su costo de secado, por lo tanto en su consumo de combustible durante la operación, es decir, el costo de puntos de humedad a eliminar para llegar al límite de conservación.

La cantidad de agua  $Q_{pu}$  a evaporar por unidad de masa de arroz que presenta una humedad inicial  $U_i$  (%) y una humedad final  $U_f$ , se calcula con la siguiente fórmula:

$$Q_{pu} = \frac{U_i - U_f}{100 - U_f}$$

Por medio de la carta psicrométrica (ver figura A.5) se puede notar que un aumento de la temperatura del aire incrementa también su capacidad absorbente, con la consecuente disminución de su humedad relativa (punto B) para luego llegar hasta el punto de máxima capacidad de absorción de agua (punto C) con la correspondiente disminución de su temperatura.

Como se explico en al Capítulo 1, la cámara tendrá una capacidad de secado de 43.13 toneladas/día, se debe mencionar que la secadora va a operar 2 jornadas al día, cuya jornada comprende 8 horas, la capacidad de secado es de 2.7 toneladas/hora.

#### **2.4.2 Tiempos de secado**

El tiempo de secado es relativo, además de la capacidad de evaporación del sistema, al tipo y a la humedad inicial del producto y teniendo presente que la evaporación del agua no es lineal, ocurre más rápido a la humedad elevada y algo lento en la proximidad de los limites de conservación y en el arroz puede ser de 3-4 puntos/h al inicio contra casi 1 punto/h en la fase final, hay que tener en cuenta la cantidad de humedad removida durante un solo paso a través del secado no debe exceder del 6%, si estas condiciones no son mantenidas, rajaduras y arrugamiento de los granos puede resultar.

Depende además de la condición del aire ambiente durante el año, esto significa que la operación del

sistema puede ser dividida en partes de tal manera que se ahorre al mismo tiempo en el consumo de combustible.

#### **2.4.3 Rendimiento del sistema**

Es un parámetro que se basa en las características que representan al secador, viene expresado en quintales (o toneladas) de producto húmedo (o seco) tratado en las 24 horas en función de la humedad de recolección.

Depende además de la característica del sistema, del tiempo de secado y en particular de la humedad inicial del producto y de la condición del aire ambiente. Puede variar de cualquier centena a cualquier milenio de quintales al día, y en algunos casos también decenas de miles cuando están presentes más contenedores en paralelo.

#### **2.4.4 Temperatura de aire para el secado**

La temperatura del aire de secado es el parámetro de mayor flexibilidad en un sistema de secado a altas temperaturas e influye significativamente en la tasa y

la eficiencia de secado y en la calidad del producto final. Un aumento de dicha temperatura significa un menor consumo de energía por unidad de agua evaporada y una mayor tasa de secado. En cambio, las temperaturas de secado más elevadas pueden causar daños térmicos más acentuados en los granos. La temperatura de secado, junto con los flujos de aire y de granos, determina la cantidad de agua evaporada en un secador.

# CAPÍTULO 3

## 3. RECEPCIÓN Y LIMPIEZA DEL ARROZ

En este proceso se busca remover todo el material extraño o semillas objetables que se encuentren en el grano que se recibe del campo.

- Materia extraña: incluye las pajas, polvo, piedras, hojas y tallos de maleza etc.
- Semillas objetables: cualquier otra semilla diferente al arroz como, grano rojo, frijolillos, maíz, soya etc.

La limpieza es una operación clave en el acondicionamiento del grano y en la obtención de mayor eficiencia de los equipos. El trabajo se realiza utilizando principios físicos aplicados a las diferencias que existen entre las propiedades de los granos de arroz y las impurezas, como son: forma, peso y velocidad terminal.

Las industrias molineras líderes conceden mayor atención a esta labor porque facilita todas las operaciones posteriores del proceso y se traduce en

un mayor rendimiento de secado, mejor conservación del grano durante el almacenaje y buen rendimiento en el descascarado.

### **3.1 Principios generales de la prelimpieza.**

#### **Recibo de la materia prima.**

En general, la mayor parte de las industrias molineras cuenta con tolvas de piso muy grandes, que hacen las veces de silos de trabajo, y equipos de transporte para descarga. El grano se acumula en las tolvas y forma montañas que exigen su arrastre con ayuda de equipos mecánicos auxiliares y personal de la planta. Este sistema impide la clasificación por variedades y causa demoras en el recibo y prelimpieza del grano.

A diferencia de otros países como Estados Unidos, donde los agricultores entregan a la industria el arroz con cáscara seco, en Ecuador, el agricultor entrega al molino el arroz con cáscara húmedo. En los Estados Unidos el secamiento de arroz se hace en parte en silos en las fincas productoras, y otra parte en plantas de silos independientes, operadas generalmente por cooperativas o asociaciones de agricultores. En Ecuador es la industria molinera la que realiza el proceso de secamiento y limpieza del arroz con cáscara.

En el momento del recibo del producto, se toman muestras de la carga para ser analizadas en laboratorio y de cuyos resultados va a depender el pago que efectúa la industria molinera al productor. Mediante el análisis de estas muestras el laboratorio califica, de acuerdo con la norma de calidad, el arroz con cáscara recibido, midiendo y cuantificando algunos atributos de la calidad del producto. Por tanto, el laboratorio es la principal herramienta técnica y comercial de que dispone la organización industrial. También en ocasiones, algunas de las determinaciones relacionadas con la valoración y cuidado de la materia prima, se basan en el análisis de muestras tomadas de arroz durante las diversas etapas del proceso industrial, lo que permite observar el comportamiento del grano y de los equipos.

### **3.2 Capacidad de limpieza.**

#### **3.2.1 Niveles tecnológicos.**

Para obtener la capacidad de limpieza del sistema se basará principalmente en la capacidad de cosecha del pequeño agricultor para ello se cita como fuente el CORPEI y en base a la experiencia de los pequeños Agricultores situados en la zona

Baja de la Provincia de Los Ríos, Cantón Babahoyo, Parroquia Barreiro, agrupados en la asociación “Victoria del Pueblo”.

La estratificación de productores por su nivel de tecnificación es la siguiente: el nivel tecnificado cubre el 19 % de la producción; el nivel semitecnificado el 55% y el tradicional el 26%.

La mayoría de agricultores (55%) cultiva bajo un esquema semitecnificado que significa empleo incompleto del paquete tecnológico, mientras que el 19% corresponde en su mayoría a agricultores con extensiones sobre las 50 ha, que utilizan la tecnología recomendada y el 26% cultiva tradicionalmente (el nivel de pequeño agricultor), que ejerce esta actividad para su subsistencia utilizando semilla reciclada, bajos niveles de fertilización y de pesticidas químicos.

El mayor número de agricultores (pequeños) se encuentra en las zonas bajas (de inundación, con suelos arcillosos); existen medianos en las dos zonas y los grandes están ubicados generalmente en las zonas altas. La clasificación por superficie de siembra y su participación en la producción consta en el cuadro N°2:



<b>Cuadro No. 2</b>		
<b>Tipo de agricultor</b>	<b>Extensión de Siembra (ha)</b>	<b>Participación en la producción (%)</b>
Grande	Más de 100	40
Mediano	Entre 50-100	30
Pequeño	Menos de 50	30

Fuente: CORPEI

Tabla 3.1 Porcentaje de participación de los agricultores

### **3.2.2 Costos de producción y rentabilidad.**

El costo de producción de arroz varía de acuerdo al nivel tecnológico que se aplique en el cultivo, así como por los diferentes sistemas de cultivo utilizados, siendo superiores en las zonas altas por la mayor utilización de maquinaria en la preparación del suelo y uso adecuado de herbicidas, fungicidas, insecticidas y fertilizantes.

En las zonas de Samborondón y Daule, donde los agricultores aplican un mejor paquete tecnológico, el costo de producción por hectárea es más elevado que en Babahoyo y Quevedo, pero obtienen mayor rendimiento por hectárea. En la tabla 3.2 se detallan los costos de producción por tipo de agricultor.

<b>Cuadro No. 3</b>			
<b>Referencias de costos de producción por tipo de agricultor</b>			
<b>Tipo Agricultor</b>	<b>Rendimiento TM/ha</b>	<b>Costo USD/ha</b>	<b>Costo USD/TM</b>
Pequeño	1.8	281	156
Mediano	4.0	511	128
Grande	4.5	435	97

Fuente: CORPEI

Tabla 3.2 Costos de producción por tipo de agricultor.

Conforme a lo estipulado anteriormente y lo hablado en el capítulo 1, sección 1.1. El sistema de prelimpieza debe tener una capacidad de al menos 2.7 Toneladas/hora, en términos de un pequeño agricultor (29 sacas de 205 libras de arroz en Cáscara húmedo que se pueden prelimpiar en una hora).

### **3.2.3 Esquema de Planta Prelimpieza.**

El sistema está compuesto por una tolva receptora, dos elevadores de cangilones y un prelimpiador; considerando que uno de los principales factores en la realización de esta tesis es el factor económico, no se cuenta con un silo pulmón en el cual se deposite el grano en caso de que no se disponga de albercas vacías o suficientes en un momento determinado. Ver figura 3.1.

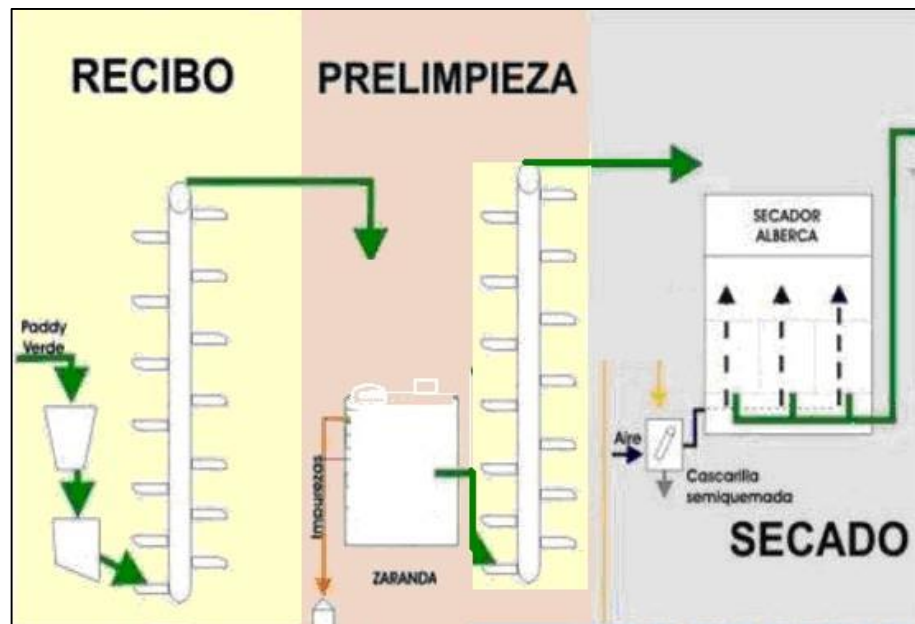


Figura 3.1 Esquema de sistema de prelimpieza

### 3.3 Tolvas de recepción.

#### 3.3.1 Tolva de recepción de Arroz en cáscara

Esta tolva es donde se recibe el arroz en cáscara proveniente del campo, el arroz está mezclado aproximadamente con un 7% impurezas y con un porcentaje de humedad superior al 20 %.

Para evitar aumentar los costos y hacer el proyecto más viable, la tolva es fabricada con hormigón y está incrustada en el piso para que los vehículos que traen el arroz del campo lo puedan descargar con facilidad, ver Figura 3.2.



Figura 3.2 Tolva de concreto a nivel del piso.

Para el diseño de la tolva al ras de piso se debe tomar en cuenta el sistema de elevación, se necesita que la profundidad sea la menor posible, para reducir costos de perforación del hueco donde se va a instalar todo el sistema.

La altura de la tolva que se utiliza en el diseño es de 1.35 m, después se vera que esta medida está estrechamente relacionada con la profundidad del pozo donde se realiza el montaje del elevador de cangilones.

### 3.3.1.1 Diseño de Forma.

La forma de la tolva es la de una pirámide truncada, con una base de 4 lados, tanto en la parte superior como inferior de la pirámide, como se muestra en la Figura 3.3.

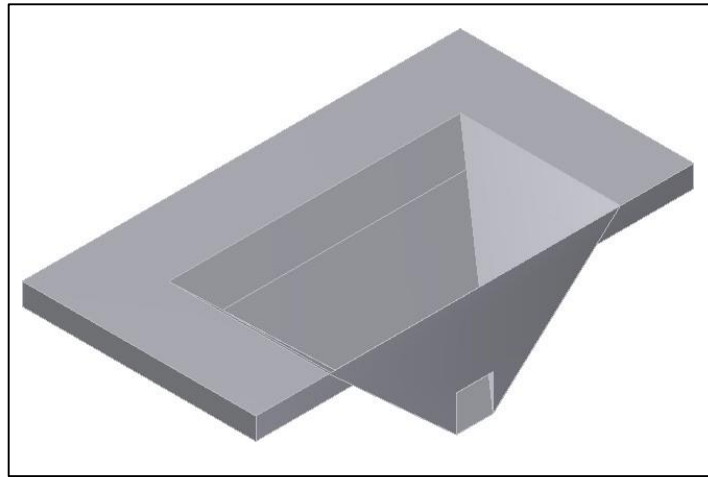


Figura 3.3 Diseño de forma de tolva de recepción de cáscara

Las dimensiones de la tolva, son asumidas en base a las plantas de secado y Pilado que existen en el medio. Así se tiene que las medidas son.

$A = 9[m^2]$ , que equivale a un área 4,5 m de ancho x 2 m largo

$A = 0.25[m^2]$ , que equivale a un superficie cuadrada de 0.50 m de lado (entrada al elevador de cangilones).

Aplicando la fórmula para pirámide truncada se tiene:

$$V = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 * A_2})$$

$$V = 4.84[\text{m}^3]$$

Teniendo en cuenta que:

$$V = \frac{M}{\rho} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$W = \rho * V * g$$

Donde la densidad del arroz en cáscara  $\rho = 629.24 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$ .

$$M = 629.24 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right] * 4.84 [\text{m}^3]$$

$$M = 3045.52 [\text{Kg}]$$

$$M = 3.046 [\text{Ton}]$$

### 3.3.1.2 Factor de compactación:

Valor expresado en porcentaje, producido por la presión que ejercen las capas superiores de grano sobre las capas inferiores, para tolvas se determina que está en función de la altura de llenado de grano así se tiene:

- Altura de masa de granos superior a 50%  $\approx$  5%
- Altura de masa de granos inferior a 50%  $\approx$  3%

$$\text{Kg de arroz} = 3045.52 * 1.03 = 3136.89 \text{ [Kg]}.$$

Entonces la tolva de recepción del arroz en cáscara puede almacenar hasta un aproximado de 34 sacas de arroz húmedo.

### **3.3.2 Tolva de recepción de Cascarilla de Arroz**

Como ya se mencionó anteriormente, el horno utilizará cascarilla de arroz como fuente de energía, por tal motivo se necesita de una tolva receptora de cascarilla de arroz que posteriormente alimentará a otra tolva de menor capacidad que es la encargada de alimentar al horno.

En esta sección se tratará solo la tolva receptora, que es la encargada de almacenar una gran cantidad de cascarilla de arroz que sirve para suplir las necesidades energéticas del horno para un determinado periodo de tiempo.

Para el diseño de la tolva de almacenamiento de cascarilla se utilizan los mismos parámetros de la tolva receptora de arroz.

### 3.3.2.1 Diseño de Forma.

El primer paso es definir las dimensiones de la tolva, de la misma manera, las dimensiones de la tolva serán de acuerdo a las ya existentes en el mercado.

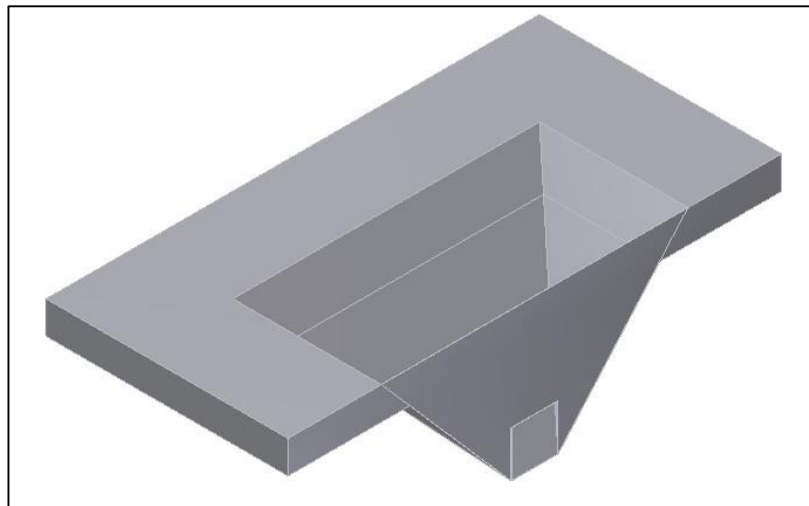


Figura 3.4 Diseño de forma de tolva de recepción de cascarilla

Siguiendo el mismo razonamiento explicado, la altura de la tolva es de 1.35 m,

$A = 5.25[m^2]$ , que equivale a un área 3.5 m de ancho x 1.5 m largo.

$A = 0.25[m^2]$ , que equivale a un área cuadrada de 0.50m de lado (entrada al elevador de cangilones).



Aplicando la fórmula para pirámide truncada se tiene:

$$V = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 * A_2})$$

$$V = 2.99[\text{m}^3]$$

Teniendo en cuenta que:

$$V = \frac{M}{\rho} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$W = \rho * V * g$$

Donde la densidad de la cascarilla de arroz  $\rho =$

$$2265 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right].$$

$$M = 100 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right] * 2.99 [\text{m}^3]$$

$$M = 299 [\text{Kg}]$$

$$M = 0.299 [\text{Ton}]$$

### 3.3.2.2 Factor de compactación

Valor expresado en porcentaje, producido por la presión que ejercen las capas superiores de grano sobre las

capas inferiores, para tolvas se determino que está en función de la altura de llenado de grano así se tiene:

- Altura de masa de granos superior a 50%  $\approx$  5%
- Altura de masa de granos inferior a 50%  $\approx$  3%

$\text{Kg de cascarilla de arroz} = 299[\text{Kg}] * 1.03 \approx 308[\text{Kg}]$

Es decir la capacidad de la tolva de cascarilla de arroz es de 0.3 Toneladas.

### **3.4 Elevador de cangilones.**

Los elevadores de cangilones son los sistemas más utilizados para el transporte de materiales de la más variada clase, ya sea a granel, secos, húmedos e inclusive líquidos. Constan de una cinta ó cadena motora accionada por una polea (tipo tambor) que la soporta e impulsa, sobre la cual van fijados un determinado número de cangilones. El cangilón es un recipiente que puede tener distintas formas y dimensiones, construido en chapa de acero o aluminio y modernamente en materiales plásticos, de acuerdo al material a transportar. Van unidos a la cinta o cadena por la parte posterior, mediante remaches o tornillos, en forma rígida o mediante un eje basculante superior cuando trabajan montados sobre cadenas para transporte horizontal.



Figura 3.5 Elevadores de Cangilones

En la planta secadora se utilizan dos elevadores de cangilones, uno para trasladar el arroz en cáscara de la tolva de recepción a nivel del piso hacia la maquina prelimpiadora y otra para elevar la cascarilla de arroz de la tolva receptora a nivel del piso hacia la tolva suspendida para ser depositada en el horno para su combustión.

#### **3.4.1 Elevador de cangilones para arroz en cáscara**

Para el diseño del elevador de cangilones se utiliza el manual MARTIN y con ello se selecciona un modelo estándar que exista en el mercado.

Como se define en el capítulo 2, la capacidad a secar es de 2.7 [ton/h] de arroz y de la tabla B.1 se escoge el tipo de material (Rice Hull) y se escoge las siguientes especificaciones.

<b>Material</b>	Arroz en cáscara
<b>Densidad (Lb/ft<sup>3</sup>)</b>	45
<b>Código de Material</b>	C1/2-25P
<b>Serie de elevadores recomendados</b>	E

Tabla 3.3 Características del arroz en cáscara.

Con esto se calcula la capacidad por hora que se necesita para que el cangilón funcione. Las medidas a utilizar son inglesas, ya que el manual las presenta de esta forma.

$$CFH = \frac{TPH \left[ \frac{Ton}{h} \right] * 2000}{\rho \left[ \frac{lb}{ft^3} \right]} \quad (3.1)$$

$$CFH = \frac{2.7 \left[ \frac{Ton}{h} \right] * 2000}{45 \left[ \frac{lb}{ft^3} \right]} = 120 \left[ \frac{ft^3}{h} \right]$$

Para ver el significado del código de material se usa la gráfica de código de clasificación de Material (Tabla B.2), donde se obtiene lo siguiente:

<b>Clase</b>	<b>Características del material</b>	<b>Designación de código</b>
<b>Tamaño</b>	Granular. ½" y menor(malla 6 a ½")	C½
<b>Fluidez</b>	Fluido Libre	2
<b><u>Abrasividad</u></b>	<u>Abrasividad Media</u>	5
<b>Peligros</b>	Contaminante, afecta uso	P
<b>Designación de series de elevadores</b>	Banda Series 500	E

TABLA 3.4 Significado de código de material 1

El catálogo recomienda una banda de la serie 500, pero al revisar las capacidades se verifica que están muy por encima de los requerimientos con lo que se sobredimensionaría el equipo injustificadamente con lo que aumentaría su precio, es por eso que se escoge la serie 100 que es recomendada para bajas capacidades y que tiene las especificaciones similares a la anterior.

Se selecciona un cangilón de banda de la serie B64-141 de acuerdo a la tabla B.3 se muestra las especificaciones del mismo.

El elevador B64-141 tendrá una capacidad real de transporte de 6 [Ton/Hr], utiliza cangilones tipo AA, dimensiones (6 x 4) [in] y un espaciamento de 13 [in] entre cangilon y cangilon.

La potencia demandada por el elevador se selecciona por medio de la tabla B.4. La distancia del elevador es menos de 66 pies y la densidad entre 50. Mediante esto se sabe que el motor debe ser de 1 HP de potencia.

Para ver el tipo de cangilon y la banda se utiliza la tabla B.5, en donde para un espaciamento de 13 [in], se recomienda un aseguramiento B-1 como se ilustra en la tabla B.6. De aquí se sabe que se van a necesitar 2 pernos de  $\frac{1}{4}$  [in] por cada cangilon para asegurarlo a la banda.

Todas las dimensiones del elevador de Cangilones se detallan en las tablas B.7 y B.8, con ellos se definen las dimensiones de la fosa donde se alojara el mismo, junto a la tolva.

### 3.4.2 Elevador de cangilones para cascarilla de arroz

Para el caso del elevador que se utiliza para transportar la cascarilla de arroz, este será de las mismas características del que se utiliza para arroz en Cáscara, es decir Centrífugo, Descarga Continua y de banda. La capacidad del elevador está condicionado a la masa por unidad de tiempo requerida para alimentar al horno, en este caso ese valor es de 111.6 [kg/hr].

Como se va a trabajar en jornadas de 8 horas, la cantidad de cascarilla que se necesitaría transportar para alimentar al horno es de 892.8 [kg]. De allí que se elije un elevador de 1[Ton/hr], lo que significaría que en una hora se obtiene en la tolva el suficiente combustible para que el sistema pueda trabajar al menos por 8 horas diarias. De la tabla B.1 se escoge el tipo de material (Rice Bran) y se escoge las siguientes especificaciones.

<b>Material</b>	Cascarilla de arroz
<b>Densidad (Lb/ft<sup>3</sup>)</b>	20
<b>Código de Material</b>	B6-35NY
<b>Serie de elevadores recomendados</b>	E

Tabla 3.5 Características de la cascarilla de arroz.

De la ecuación 3.1 se calcula la capacidad por hora con la que el cangilón funciona.

$$CFH = \frac{1 \left[ \frac{Ton}{h} \right] * 2000}{20 \left[ \frac{lb}{ft^3} \right]} = 100 \left[ \frac{ft^3}{h} \right]$$

Para ver el significado del código de material se usa la grafica de código de clasificación de Material (Tabla B.2), donde se obtiene lo siguiente:

<b>Clase</b>	<b>Características del material</b>	<b>Designación de código</b>
<b>Tamaño</b>	Fino. Malla N° 6(0.132”) y menor	B6
<b>Fluidez</b>	Fluido promedio	3
<b>Abrasividad</b>	Abrasividad Media	5
<b>Peligros</b>	Explosividad	N
	Muy ligero y esponjoso, se barre fácilmente con el aire	Y

TABLA 3.6 Significado de código de material 2

Del catalogo se escoge la serie 100 que es recomendada para bajas capacidades, se selecciona un cangilón de banda de la serie



B43-139 de acuerdo a la tabla B.3 se muestra las especificaciones del mismo.

El elevador B64-141 tiene una capacidad real de transporte de 0.97 [Ton/Hr], utiliza cangilones tipo AA, dimensiones (4 x 3) [in] y un espaciamiento de 8 [in] entre cangilon y cangilon.

La potencia demandada por el elevador se selecciona por medio de la tabla B.4. La distancia del elevador es menos de 100 pies y la densidad entre 35. Mediante esto se sabe que el motor debe ser de 1 HP de potencia.

Para ver el tipo de cangilon y la banda se utiliza la tabla B.5, en donde para un espaciamiento de 8 [in], se recomienda un aseguramiento B-1 como se ilustra en la tabla B.6. de aquí se sabe que se van a necesitar 2 pernos de  $\frac{1}{4}$  in por cada cangilon para asegurarlo a la banda.

Todas las dimensiones del elevador de Cangilones se detallan en las tablas B.7 y B.8, con ellos se definen las dimensiones de la fosa donde se alojara el mismo, junto a la tolva.

### 3.4.3 Dimensionamiento de Fosas

De acuerdo a las medidas del elevador de arroz en Cáscara y el dimensionamiento de la tolva, la fosa donde va montado el elevador de cangilones tiene las siguientes dimensiones.

1.5 m ancho, 1.75 metros fondo, 2,45m de profundidad.

Hay que tomar en cuenta que la salida de descarga de la tolva de arroz, se encuentra a 1,35m del suelo y la distancia desde la placa de montaje del elevador y la tolva del mismo es de 1,10m. Por lo que la profundidad de la fosa sale de la suma de las dos, esto es 2.45m.

El mismo análisis se hace para dimensionar la fosa de elevador de cascarilla, con la diferencia que la longitud de la fosa varia un poco ya que al ser el elevador de más baja capacidad, su distancia de la placa a su tolva también es menor, para este caso es 0,94 m, por lo que la fosa queda dimensionada de la siguiente manera.

1.5 m ancho, 1.75 metros fondo, 2,29m de profundidad.

Una medida mayor de tolva arroz significa que el material se puede quedar atascado en el piso de la tolva, y una medida menor

imposibilita el uso del bastidor, he aquí el detalle de la importancia de este dimensionamiento.

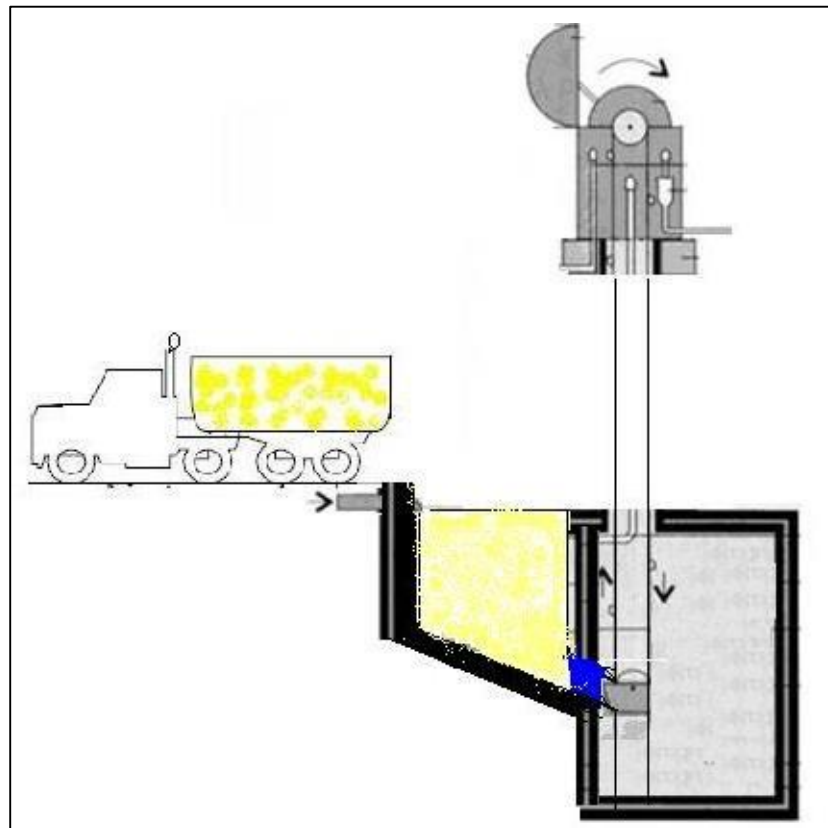


Figura 3.6 Vista Lateral de tolva con elevador de cangilones

### 3.5 Máquina prelimpiadora de arroz.

Son utilizadas para clasificar el arroz de las impurezas, producto de su producción y cosecha, con esta máquina se hace más eficiente el secado ya que evita tener que tratar con los

contaminantes que nos pueden ocasionar una deficiente calidad en el sistema.

Para la selección se utiliza una marca Alemana conocida en el medio por su calidad y eficiencia llamada SCHULE.

Revisando su catalogo en base a la capacidad del sistema y tomando siempre en cuenta el factor económico:



Figura 3.7 Maquina prelimpiadora SCHULE

Se selecciona la GTR 15, sus características técnicas y dimensiones se detallan a continuación en la tabla B.9. Las características de esta máquina limpiadora GTR se detallan a continuación:

- Bastidor y cámara de aspiración están totalmente construidas en acero.
- Rodillo alimentador para una alimentación uniforme del producto.
- Efectivo sistema de aspiración para la limpieza previa y posterior.

Las partes internas que la constituyen, así como el esquema de su funcionamiento se detallan en la tabla B.10.

# CAPÍTULO 4

## 4. DISEÑO DEL SISTEMA DE SECADO

### 4.1 Cálculo y diseño estructural de cámara de secado

Como se definió previamente en el capítulo 2 la cámara de secado será diseñada para una capacidad de secado de 2.7 ton/h de arroz, con una reducción de humedad del 24 al 12%, en 2 pasos y utilizando una temperatura de secado de 65 °C.

Además el volumen de cada cámara va a ser de 7.18 toneladas métricas (70435.8 N), a partir de este dato se procederá a diseñar las columnas y vigas que resistan este peso.

La estructura de la cámara de secado se diseña siguiendo los siguientes parámetros:

- La cámara debe construirse sobre cimientos y pisos de concretos.
- El piso de la cámara debe ser de una altura un poco mayor a la del terreno y debe tener un ángulo de caída hacia afuera para facilitar el uso del mantenimiento y prever posibles inundaciones.
- Cada cámara tendrá una puerta en la descarga del grano, la misma que debe ser bien aislada y con un buen ajuste de hermeticidad.
- La cámara estará forrada de planchas perforadas de aluminio de delgado espesor que servirá de sostenedor para permitir la libre salida del aire caliente hacia el arroz en cáscara.
- La cámara contará con varillas de hierro (vigas secundarias), que ayudaran a evitar la deflexión de las planchas de aluminio.

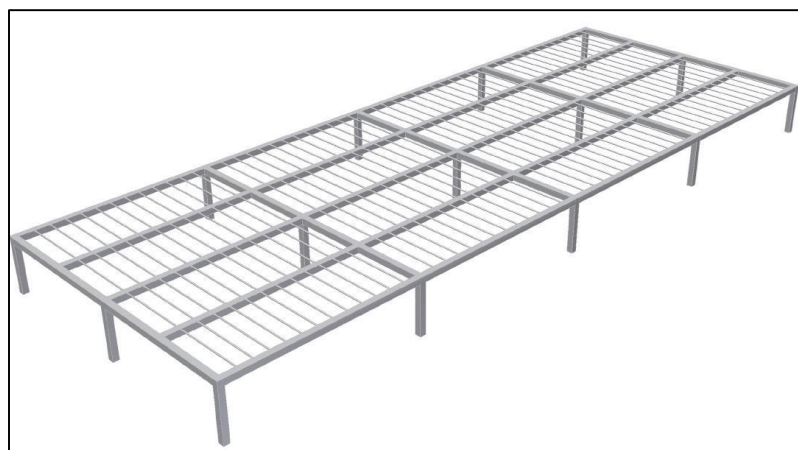


Fig. 4.1 Diseño de forma estructural de cámara de secado

#### 4.1.1 Diseño de columna de soporte

Para proceder a diseñar la columna de soporte se define el número de columnas y el perfil a usar.

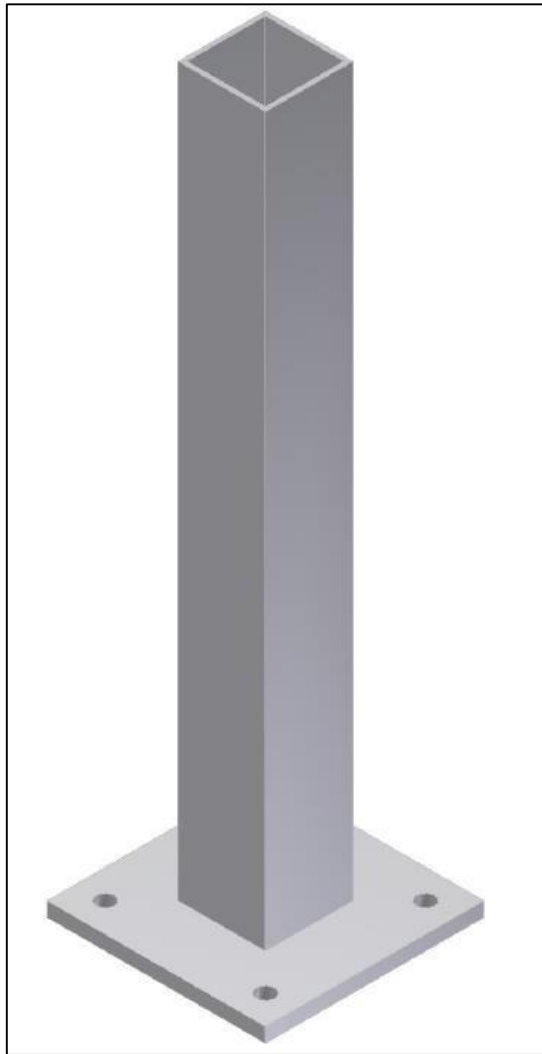


Fig. 4.2 Diseño de forma de columnas

Para esto se define 15 columnas de 0.5 metros de longitud por lo que se analiza como columna corta.



Se selecciona un perfil cuadrado estructural ASTM A-500 de medidas 60x60x3 mm de espesor.

Datos:

$$L = 0.5 \text{ m}$$

$$I_y = 35.06 \text{ cm}^4$$

$$A = 6.61 \text{ cm}^2$$

$$E = 207 \times 10^9 \text{ Pa}$$

$$S_y = 248 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Para comprobar si es columna corta se aplica la siguiente fórmula

$$R_d > C_c \rightarrow \text{Columna Larga}$$

$$R_d < C_c \rightarrow \text{Columna Corta}$$

Para esto se procede a calcular la razón de delgadez y constante de columna respectivamente.

$$R_d = \frac{L_e}{r} \quad (4.1)$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{S_y}} \quad (4.2)$$

Ahora se calcula las variables utilizadas en las fórmulas.

### **Longitud Efectiva**

$$L_e = K \times L$$

Donde K es un valor práctico para la longitud efectiva

Valores de K prácticos para longitud efectiva		
Atornillado-Atornillado	$K_a$	1
Fija-empotrado	$K_f$	0,65
Empotrada-libre	$K_l$	2,1
Empotrada-atornillada	$K_e$	0,8

Tabla 4.1 Valores prácticos de K (Tomado del libro Diseño de elementos de maquinas Robert L. Mott.)

Se Escoge Fija-empotrado con lo que  $K_f = 0.65$ , reemplazando en la formula anterior se obtiene:

$$L_e = 0.65 * 0.5 = 0.325 \text{ m} = 325 \text{ mm}$$

### **Radio de giro**

$$r = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$r = \sqrt{\frac{35.06}{6.61}} = 2.30 \text{ cm} = 23.03 \text{ mm}$$

Al reemplazar los respectivos valores en la ecuación 4.1 y 4.2 se tiene:

$$R_d = \frac{325 \text{ [mm]}}{23.03 \text{ [mm]}} = 14.11$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 207 * 10^9}{248 * 10^6}} = 128.36$$

En base a los resultados se comprueba que  $R_d < C_c$ , entonces es una columna corta se utiliza la fórmula de J. B. Johnson (Tomado del libro Diseño de elementos de maquinas Robert L. Mott.) para determinar la carga crítica que resiste la columna, antes de producirse el pandeo.

$$P_{cr} = A * S_y * \left[ \frac{1 - S_y * (K * L / r)^2}{4 * \pi^2 * E} \right]$$

Al reemplazar los datos se obtiene:

$$P_{cr} = 661 * 248 * \left[ 1 - \frac{248 * 10^6 * 23.03^2}{4 * \pi^2 * 207 * 10^9} \right] = 162937.33 \text{ [N]}$$

Como la capacidad de carga total es de 70435.8 N, se lo divide para el número de columnas para sacar la carga por columna y ver cuanta carga debe resistir cada columna.

$$F_u = \frac{F}{N_c}$$

$$F_u = \frac{70435.8}{15} = 4695.72 \text{ [N]}$$

Con esto se procede a sacar el factor de seguridad de la columna

$$\eta = \frac{P_{cr}}{F_u}$$
$$\eta = \frac{162937.33}{4695.72} = 34.69$$

Con un elevado factor de seguridad el perfil cuadrado 50x50x2 mm satisface. Cabe recalcar que falta añadir el peso que van a originar las vigas transversales y las planchas de aluminio, pero esto es un prediseño que se comprueba en SAP 2000 mas adelante para mayor seguridad de la estructura.

### **Placa de sujeción**

Al final de la columna con el piso se debe colocar una placa rectangular de 100x100x6 mm de espesor soldada a la columna para sujetar la columna al piso y debe estar empernada con 4 pernos de sujeción de ½ in. Los detalles de la placa se adjuntan en el plano C1.

### **4.1.2 Diseño de vigas transversales**

Para diseñar las vigas que servirán de soporte en la estructura se utiliza SAP 2000, pero para saber datos preliminares se realiza un prediseño de las mismas.

Para calcular el perfil de la viga a utilizar se basará en el momento flector máximo.

#### 4.1.2.1 Prediseño de vigas secundarias

Se define como viga secundaria a las varillas macizas de hierro que van a ayudar a evitar la deflexión de las planchas perforadas de aluminio.

La carga distribuida de 7.18 toneladas métricas (70435.8 N) va a representar la carga viva que se dividirá entre el área total de la cámara.

$$Carga\ viva = \frac{Carga\ distribuida}{Área\ total\ Cámara} = \frac{70.4\ K\ [N]}{24\ [m^2]} = 2.93\ K\ \left[\frac{N}{m^2}\right]$$

La separación entre cada viga secundaria es de 15 cm a partir del centro de cada una. La figura (4.3) muestra la configuración.

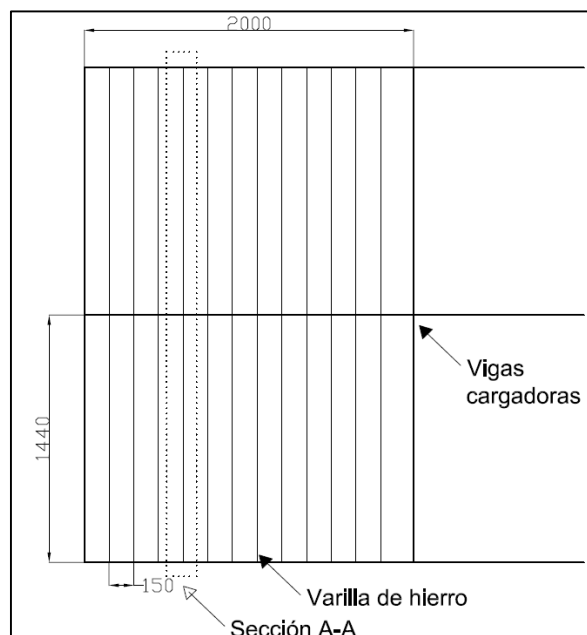


Fig. 4.3 Vista superior de vigas secundarias

Si se toma una sección A-A de la figura anterior, se multiplica la carga muerta para la distancia comprendida entre cada mitad entre varilla y varilla.

$$w = 2.93 \text{ K} \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] * 0.15 \text{ [m]} = 0.44 \text{ K} \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

Esta carga distribuida va a trabajar a lo largo de la viga secundaria, un diagrama de cuerpo libre es el siguiente.

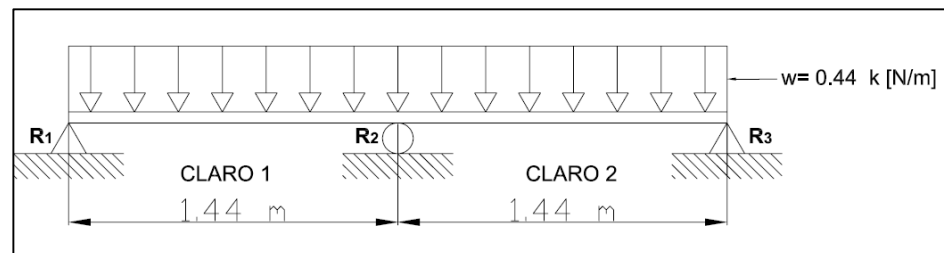


Fig. 4.4 Diagrama de cuerpo libre de viga secundaria

Mediante el grafico anterior se puede apreciar que se está tratando con vigas continuas, para la resolución de las mismas se va a usar la ecuación de los tres momentos usando como referencia el libro de resistencia de materiales de Pytel y Synger Cap.8.

$$M_1 + 2M_2 \left( \frac{L_1}{L_1 + L_2} \right) + M_3 \frac{L_2}{L_1 + L_2} + \frac{6A_1 \bar{a}}{L_1} + \frac{6A_2 \bar{b}_2}{L_2}$$

$$= 6EI \left( \frac{h_1}{L_1} + \frac{h_3}{L_2} \right) \quad (4.3)$$

Como los tres apoyos están al mismo nivel, las alturas  $h_1$  y  $h_3$  son nulas y la ecuación 4.3 se escribe de la forma:

$$M_1 + 2M_2(L_1 + L_2) + M_3L_2 + \frac{6A_1\bar{a}}{L_1} + \frac{6A_2\bar{b}_2}{L_2} = 0 \quad (4.4)$$

De acuerdo con la definición de momento flexionante,  $M_1$  y  $M_3$  son nulos, los valores  $6A_1\bar{a}/L_1$  y  $6A_2\bar{b}_2/L_2$  son: (referencia 2)

$$\frac{6A_1\bar{a}}{L_1} = \frac{6A_2\bar{b}_2}{L_2} = \frac{wl^3}{4} = \frac{0.44 \left[\frac{KN}{m}\right] * 2.99[m^3]}{4}$$

$$\frac{6A_1\bar{a}}{L_1} = \frac{6A_2\bar{b}_2}{L_2} = 0.33 K [N * m^2]$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación (4.4) resulta:

$$2M_2(1.44 + 1.44) + 0.33 + 0.33 = 0$$

De donde se obtiene:

$$M_2 = -\frac{0.66}{5.76} = -0.115 K [N * m]$$

A continuación se muestra el diagrama de esfuerzo cortante y momento flector.

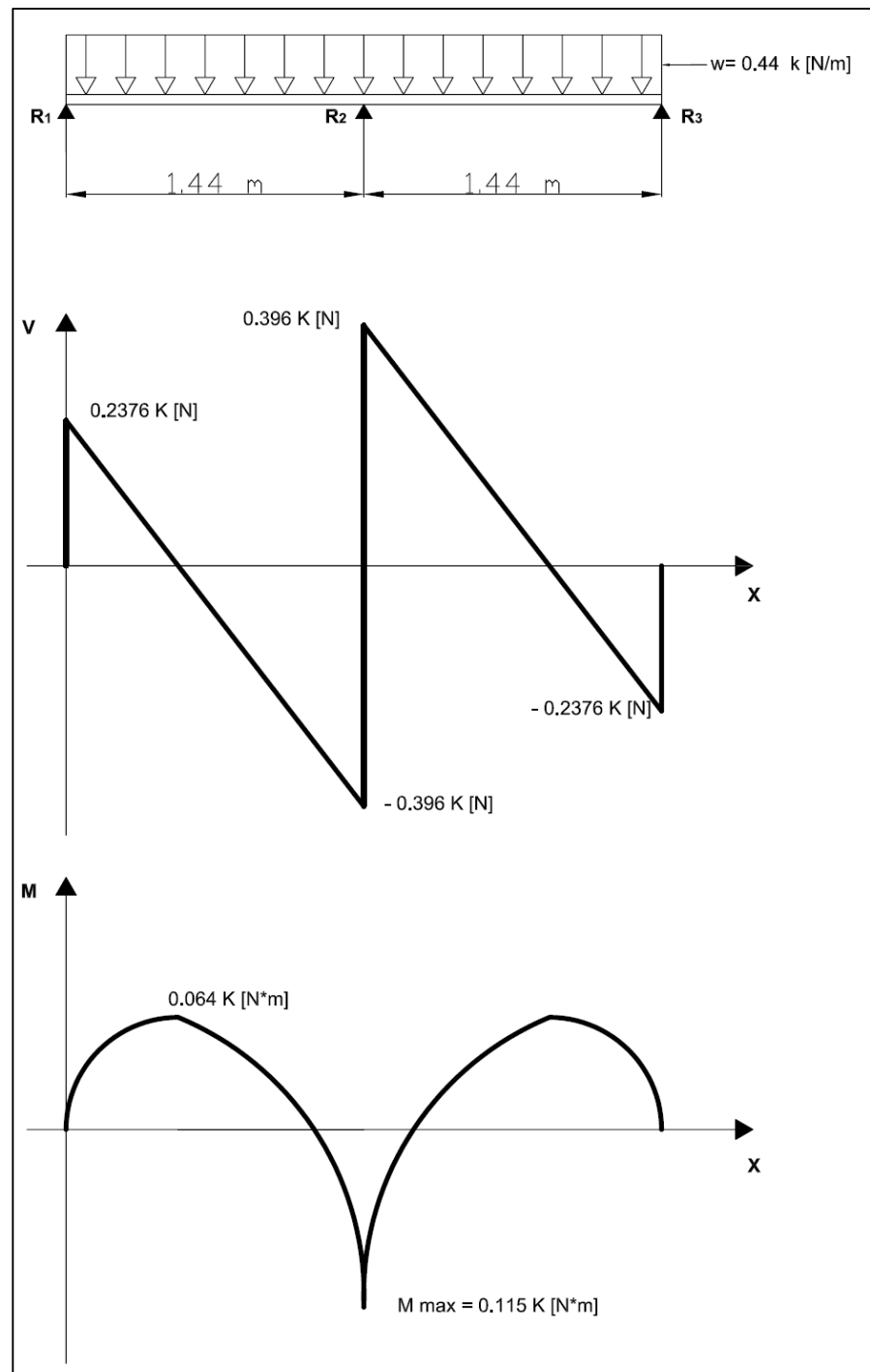


Fig. 4.5 Gráfico de esfuerzo cortante y momento flector para la viga secundaria



Por el gráfico se observa que el momento máximo se origina en la reacción intermedia, ahora se procede a calcular el módulo de sección para seleccionar la dimensión de tipo de varilla a utilizar. Por las especificaciones LRFD (Load and Resistance Factor Design) del AISC se tiene el siguiente criterio:

$$S = \frac{M_{max}}{\phi F_y} \quad (4.5)$$

Donde

S = Módulo de sección elástico

$F_y$  = Límite Elástico de tensión, el tipo de material a utilizar es el mismo que se utiliza en las columnas, acero estructural ASTM A-500, donde el límite elástico de tensión es de 248 M [Pa].

$\phi$  = Factor de resistencia que es de 0.90 para vigas

Reemplazando queda:

$$S = \frac{M_{max}}{\phi F_y} = \frac{0.115 K [N * m]}{0.90 * 248 M [Pa]} = 5.15 \times 10^{-7} [m^3] = 0.52 [cm^3]$$

Al reemplazar en la fórmula de módulo de sección y despejar el diámetro, queda:

$$S = \frac{\pi * d^3}{32} \rightarrow d = 17.4 \text{ mm} \cong 18 \text{ mm}$$

Se selecciona una varilla redonda lisa de 18 mm de diámetro, que estará espaciada cada 15 cm entre ellas.

#### 4.1.2.2 Prediseño de vigas cargadoras

Se define como vigas principales a las vigas cargadoras interiores que soportaran la mayor cantidad de carga muerta de la cámara de secado, el proceso de diseño es el mismo que para las vigas secundarias. Se diseña la viga en el centro que es la más crítica.

De la figura (4.5) se tiene el valor de la fuerza puntual que soporta la viga central que es de 0.396 K [N] que esta accionada cada 15 cm como se muestra en la figura (4.3). Al dividir, queda la carga distribuida a lo largo de la viga.

$$w = \frac{0.396 \text{ K[N]}}{0.15 \text{ [m]}} = 2.64 \text{ K} \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

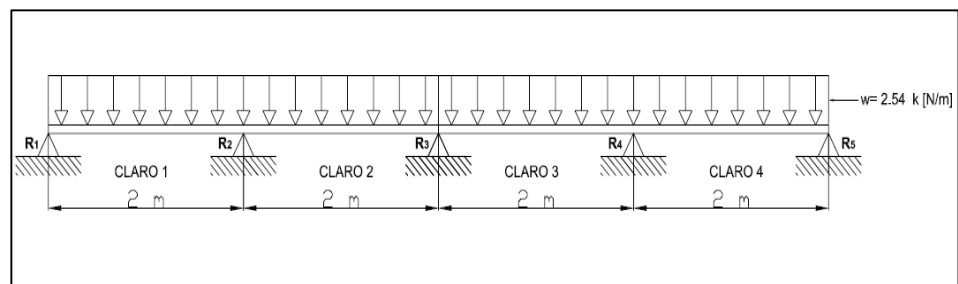


Fig. 4.6 Diagrama de cuerpo libre de viga cargadora

Usando la ecuación 4.4 de los tres momentos para vigas continuas, queda lo siguiente.

$$M_1 + 2M_2(L_1 + L_2) + M_3L_2 + \frac{6A_1\bar{a}}{L_1} + \frac{6A_2\bar{b}}{L_2} = 0$$

$$M_2 + 2M_3(L_2 + L_3) + M_4L_3 + \frac{6A_2\bar{a}}{L_2} + \frac{6A_3\bar{b}_3}{L_3} = 0$$

$$M_3 + 2M_4(L_3 + L_4) + M_5 L_4 + \frac{6A_3 \bar{q}}{L_3} + \frac{6A_4 \bar{b}_4}{L_4} = 0$$

Donde  $M_1$  y  $M_5$  son nulos, al sustituir los valores, da como resultado:

$$M_2 = -1.16 \text{ K}[N * m]$$

$$M_3 = -0.73 \text{ K}[N * m]$$

$$M_4 = -1.88 \text{ K}[N * m]$$

A continuación se muestra el diagrama de esfuerzo cortante y momento flector.

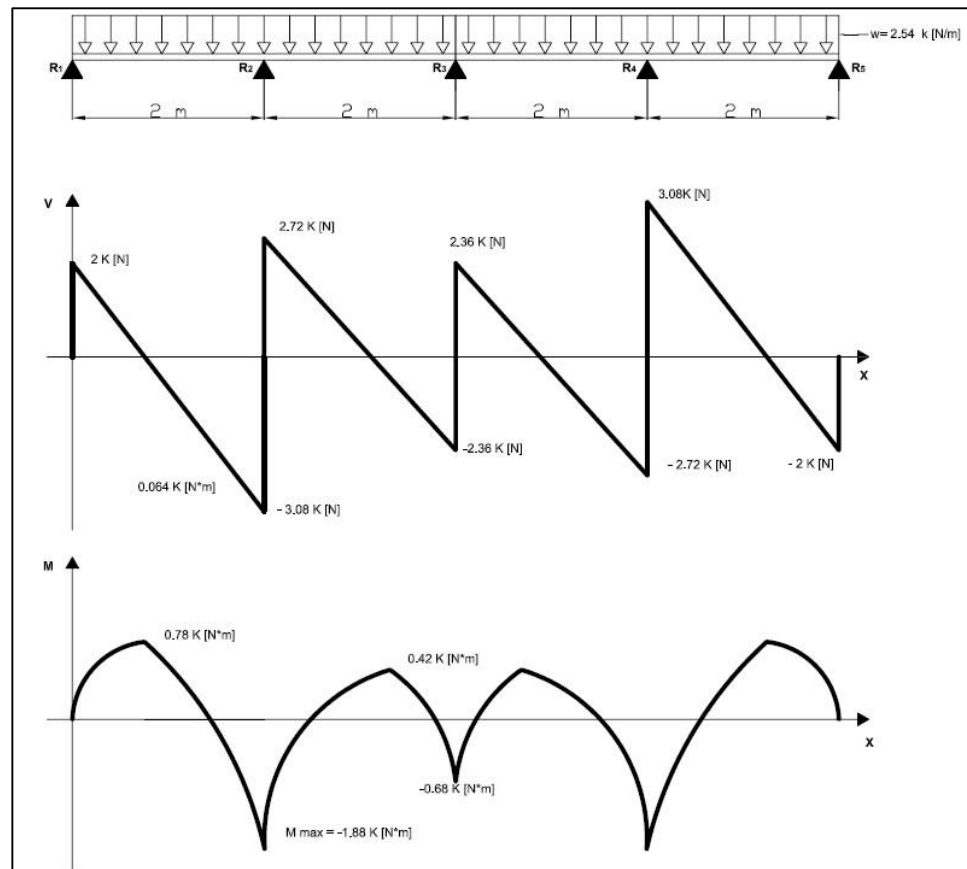


Fig. 4.7 Gráfico de esfuerzo cortante y momento flector para la viga cargadora

En el gráfico se observa que el momento máximo se origina en la reacción intermedia, ahora se procede a calcular el módulo de sección para seleccionar las dimensiones de la viga cuadrada a utilizar. Utilizando la fórmula (4.5) se tiene:

$$S = \frac{M_{max}}{\phi F_y} = \frac{1.88 K [N * m]}{0.90 * 248 M [Pa]} = 8.42 \times 10^{-6} [m^3] = 8.42 [cm^3]$$

Se selecciona un perfil cuadrado estructural ASTM A-500 de medidas 60x60x3 mm de espesor.

Ahora se va a comprobar estos datos en el programa SAP-2000

#### 4.1.3 Modelado en SAP 2000

Al modelar con las medidas ya calculadas, queda el siguiente grafico:

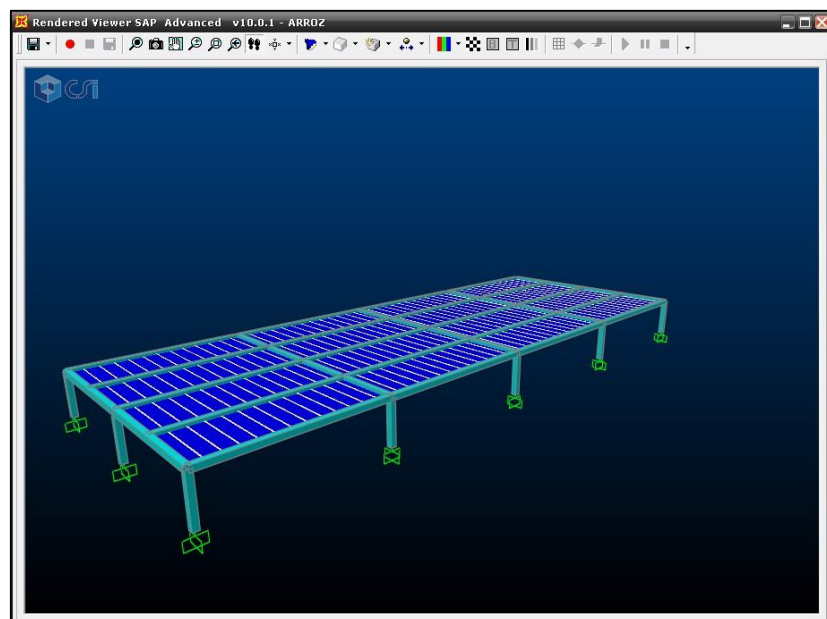


Figura 4.8 Estructura de cámara de secado modelado en SAP-2000.

Al seguir con los pasos del programa se aprecia que las dimensiones calculadas satisfacen a la carga de peso de arroz en cáscara y que el diseño es seguro. A continuación se muestra la vista superior de la estructura, que indica el factor de carga real que soporta cada sección, donde para valores menores a uno, la sección satisface a la estructura.

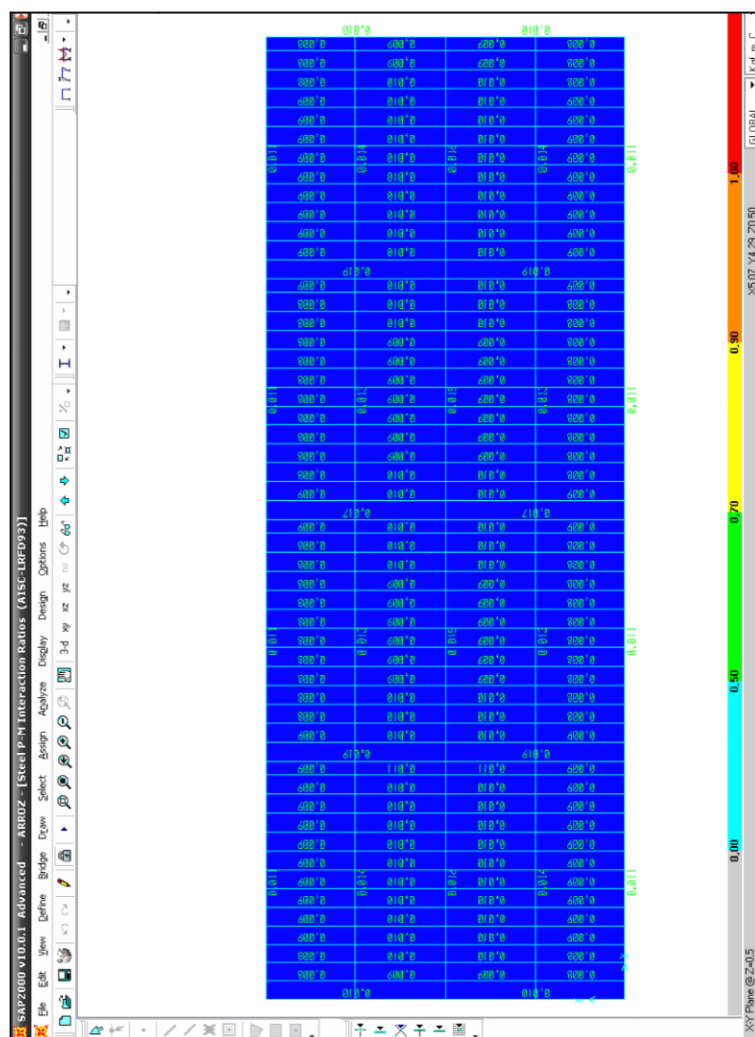


Fig. 4.9 Factor de carga soportada, modelado en SAP-2000.

En el anexo A1 se muestra la capacidad de carga de la columna y las vigas y las deflexiones de las mismas, donde se comprueba que los perfiles seleccionados satisfacen la estructura.

#### **4.1.4 Selección de láminas perforadas entre arroz y aire caliente**

La cámara de secado debe tener el piso falso de plancha metálica perforada, de modo que el área perforada sea por lo menos el 10% del área total y el diámetro de los agujeros debe ser menor al tamaño del grano para impedir el ingreso hacia la cámara de secado. Por lo que se escoge plancha de aluminio perforada de 1000x2000x3 [mm] de espesor y con un diámetro de agujeros de 2 [mm] que es una medida comercial y se encuentra fácilmente en el mercado.

## **4.2 Diseño del horno de quemado de cascarilla de arroz**

### **4.2.1 Condiciones y criterios para el diseño**

Para el diseño del horno de quemado de cascarilla de arroz se toma en cuenta los siguientes parámetros:

- Se considera que la altura de la llama para este tipo de combustible alcanza una altura máxima de 1.83 metros.
- La ceniza producida por la quema de tamo será retirada por un tornillo transportador, que será elaborado de acero inoxidable

para evitar la corrosión debido a la elevada cantidad de sílice en la ceniza.

- El piso inferior del horno debe tener un grado de inclinación que permita la caída de ceniza hacia el tornillo transportador, al basarse en modelos existentes, se considera que el ángulo debe estar en un rango de 15 a 20 grados.
- El hogar será recubierto con ladrillos refractarios para disminuir las pérdidas de calor.
- La parrilla debe tener un ángulo de inclinación, el cual permita la correcta distribución de la cascarilla a combustionar.
- El horno requiere de un soplador que provea el aire necesario para tener una buena combustión.
- El intercambiador de calor será expuesto a las llamas de combustión de forma directa (Intercambiadores al fuego), y debe ser de fácil montaje y desmontaje para facilitar su mantenimiento.
- Los gases residuales son expulsados al exterior por medio de una chimenea.
- El diseño del horno será de fácil operación y mantenimiento.
- Al momento de iniciar la quema de la cascarilla de arroz se lo hará manualmente con la ayuda de algún combustible.

#### 4.2.2 Volumen de cámara de combustión

La determinación del volumen de la cámara de combustión ( $V_{cc}$ ) deberá ser tal que mantenga espacio suficiente para que se mezclen y reaccionen con el oxígeno los elementos combustibles, tanto sólido como gaseoso y está dada por la siguiente expresión:

$$V_{cc} = V_g + V_{cz} \quad (4.6)$$

Para la quema de combustibles lignocelulósicos en una cámara caliente con un suministro razonable de aire secundario, se sugiere que el volumen necesario para los gases de combustión por unidad de potencia suministrada será de 0.6 dm<sup>3</sup>/kw, según P. Verhaart (referencia 4). Luego el volumen necesario para los gases ( $V_g$ ) viene dado de la siguiente expresión (referencia 4):

$$V_g = 0.6 \left[ \frac{dm^3}{kw} \right] * P_h \quad (4.7)$$

Debe considerarse el alto grado de ceniza que posee la cascarilla, no es recomendable térmicamente estar desalojando a cada momento las cenizas. Se debe estimar un tiempo prudencial el cual no afecte la eficiencia del horno, el volumen de cenizas ( $V_{cz}$ ) que



ocupará para cualquier intervalo de tiempo está dado por la siguiente expresión:

$$V_{cz} = \frac{m_c * t}{\rho_{cz}} \quad (4.8)$$

### Potencia del horno

Para determinar la potencia del horno, se considera la cantidad de agua a evaporar  $Q_{pu}$  del sistema. Como se menciona en el capítulo 2, la cantidad de agua a evaporar depende del contenido de humedad inicial y final del grano.

Se calcula la cantidad de agua a evaporar cuya masa de arroz va de 24% a 12% de humedad con la ayuda del apéndice A5, mermas de secado.

Entonces la cantidad de agua a evaporar es 13.63 % de la cantidad total de arroz a secar o el 13.63 % de la capacidad de secado del sistema que como ya se calculo es de 2.7 toneladas/hora.

$$Q_{pu} = 2.7 \left[ \frac{Tn}{h} \right] * \frac{13.63\%}{100}$$

$$Q_{pu} = 0.368 \left[ \frac{Tn}{h} \text{ de } H_2O \text{ a evaporar} \right]$$

Se necesita calcular cuantas calorías [Kcal], son necesarias para evaporar 1Kg de agua, (referencia 5) que estima las diferentes pérdidas a las que se somete esta clase de horno, las cuales se detallan a continuación:

Calor necesario para la evaporación de 1Kg de agua	600Kcal
Perdida de calor sensible que se va en el aire usado	320Kcal
Perdidas de calor por conducción, radiación y convección (intercambiador de calor 13 %)	130Kcal
Perdida de calor transportado por el grano	80Kcal
8Calor mínimo para evaporar 1Kg de agua (kcalM)	1130 Kcal

Tabla 4.2 Calor mínimo para evaporar 1 kg de agua

La potencia del horno ( $P_h$ ) se calcula de la siguiente fórmula:

$$P_h = Q_{pu} \left[ \frac{Kg}{h} \text{ de } H_2O \text{ a evaporar} \right] * 1130 [Kcal]$$

$$P_h = 368 \left[ \frac{Kg}{h} \text{ de } H_2O \text{ a evaporar} \right] * 1130 \left[ \frac{Kcal}{Kg \text{ de } H_2O} \right]$$

$$P_h = 415840 \left[ \frac{Kcal}{h} \right]$$

$$P_h = 483.47 Kw$$

### Flujo de combustible

La masa de cascarilla ( $m_c$ ) que se debe quemar por unidad de tiempo para producir la potencia suministrada, se determina por la siguiente expresión:

$$m_c = \frac{P_h}{PC_I} \quad (4.9)$$

Donde  $PC_I$  es el poder calorífico inferior que es la diferencia entre poder calorífico superior  $PC_S$  y el calor latente de vapor de agua condensado en la combustión.

El poder calorífico corresponde al calor producido por la combustión completa de una cantidad unitaria, en un proceso adiabático y a volumen constante por medio de una bomba calorimétrica de oxígeno en condiciones normalizadas. Si todo el vapor formado por la combustión se condensa, cuando los productos vuelven a la temperatura inicial de ensayo, la cantidad de calor cedido o

rechazado es el poder calorífico superior. El calor latente de vapor de agua en el  $PC_s$  en muchos procesos no forma parte de la energía aprovechable, por lo que, se ha determinado el llamado **poder calorífico inferior**.

Al remplazar en la fórmula 4.9:

$$m_c = \frac{1741.04 \left[ \frac{MJ}{h} \right]}{15.6 \left[ \frac{MJ}{Kg} \right]}$$

$$m_c = 111.6 \left[ \frac{Kg}{h} \right]$$

De esta forma el volumen necesario para los gases ( $V_g$ ) de acuerdo a la ecuación 4.7:

$$V_g = 600 \left[ \frac{cm^3}{kW} \right] * 483.47 Kw$$

$$V_g = 290082 cm^3$$

El volumen de cenizas ( $V_{cz}$ ), ecuación 4.8 que se necesita remover en ½ hora es:

$$V_{cz} = \frac{111.6 \left[ \frac{Kg}{h} \right] * 0.5[h]}{2.27 \times 10^{-3} \left[ \frac{Kg}{cm^3} \right]}$$

$$V_{cz} = 24581.5 [cm^3]$$

Entonces el volumen de la cámara de combustión de la ecuación 4.6 es:

$$V_{cc} = 290082 cm^3 + 24581.5 cm^3$$

$$V_{cc} = 314663.5 [cm^3] = 0.32 [m^3]$$

## 4.2.3 Diseño del hogar y selección de materiales

### 4.2.3.1 Diseño de forma del horno

Siguiendo las recomendaciones de la sección 4.2.1, a continuación se muestra un esquema representativo del horno.

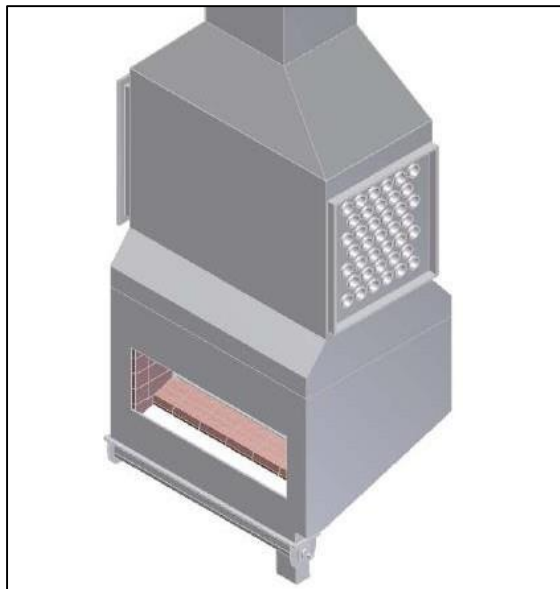


Fig. 4.10 Diseño representativo del horno

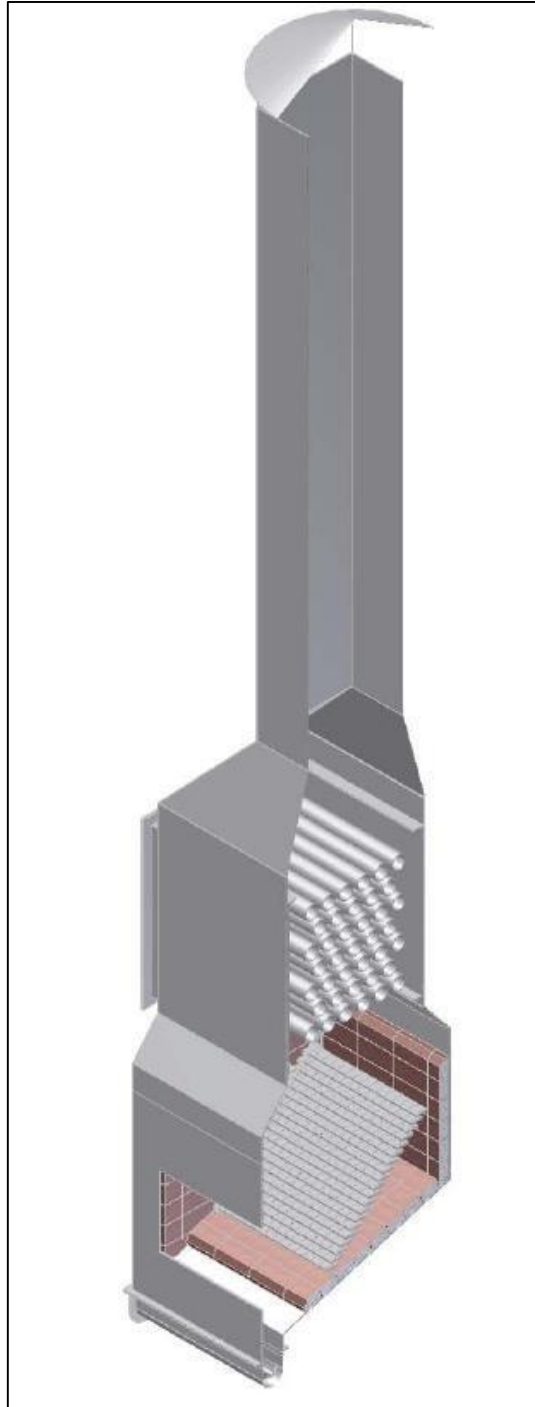


Fig. 4.11 Corte transversal del horno

#### 4.2.3.2 Parrilla

Este tipo de de horno utiliza una parrilla inclinada escalonada, ya que con esta se obtiene una mayor eficiencia en la quema de cascarilla de arroz.

Con este tipo de parrilla el aire pasa a través de los espacios formados por los escalones de la parrilla, precalentándose para alcanzar alta temperatura y manteniendo la reacción química, logrando así la liberación de todo el carbono.

Se recomienda una inclinación que varía de  $45^\circ$  a  $50^\circ$ , y los escalones deben ser paralelos entre si y en forma horizontal (Figura 4.12). La separación entre cada escalón no debe ser menor de 3 cm.

El diseño de la parrilla (plano C4) será similar al diseñado y probado por Landires (referencia 6), con algunas modificaciones para poder adaptarla al hogar.

Conocida la posición de la parrilla es posible dimensionar el hogar, para la combustión de la cascarilla de arroz siguiendo las recomendaciones de diseño de la sección 4.2.2. En la figura

4.14 se muestra un esquema con las dimensiones de la cámara de combustión y posición de la parrilla.

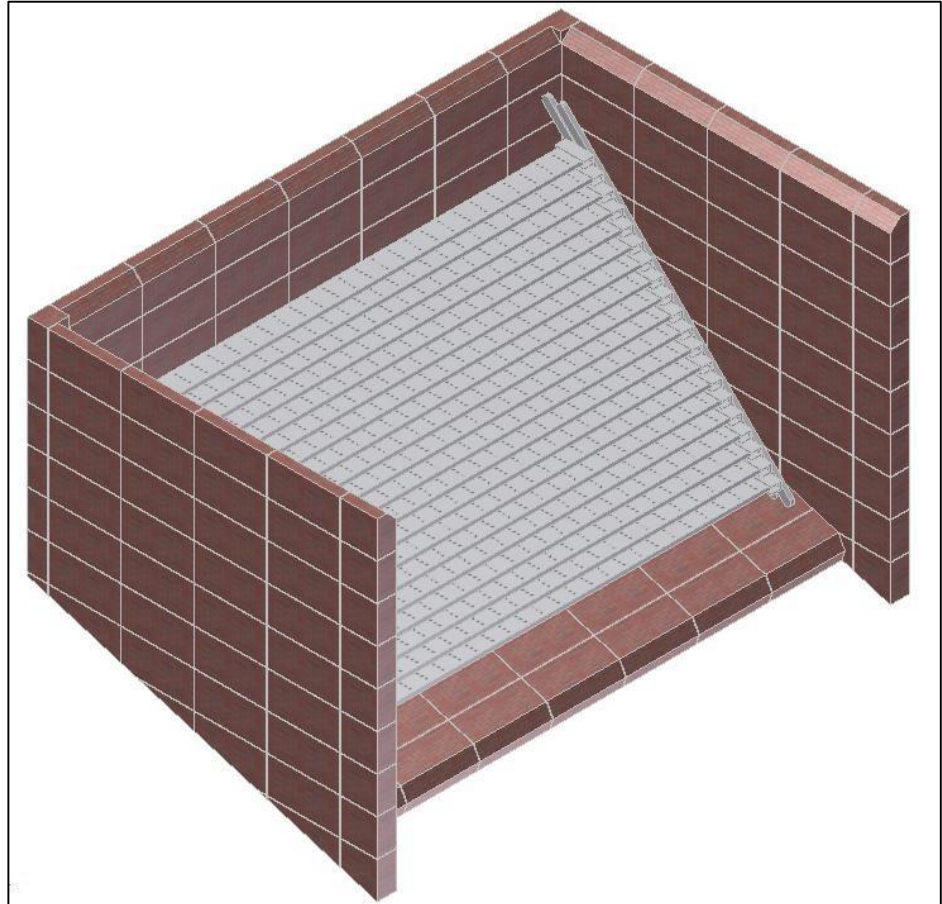


Fig. 4.12 Posición de la parrilla

#### 4.2.3.3 Dimensionamiento del Hogar

En vista de que existen hornos que operan con el mismo sistema de quema de cascarilla de arroz (TABLA 4.3), las dimensiones finales del horno dependerán de estos.



	Ubicación	L(m)	a(m)	h(m)	V(m <sup>3</sup> )
<b>La Promesa</b>	Las maravillas, vía Daule	1,3	1,2	2	3
<b>Portilla Mediano</b>	Km 3 1/2 Vía a Milagro - 26	1,4	1,6	3,6	8,064
<b>Portilla Grande</b>	Km 3 1/2 Vía a Milagro - 26	1,25	1,9	5,2	12,35

Tabla 4.3 Dimensiones de hornos existentes en la industria

En base a las medidas anteriores se encuentra una curva que relaciona la Potencia de Combustión Vs. Volumen de la cámara

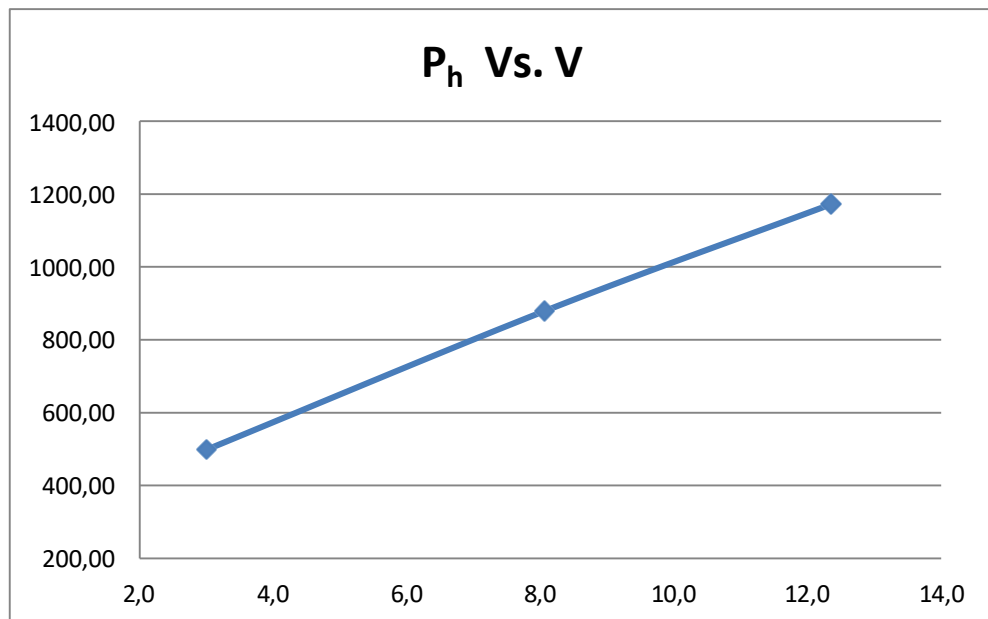


Fig. 4.13 Grafica Potencia del horno Vs. Volumen de la cámara

Se sabe que la potencia del horno es  $P_h = 483.47$  [Kw] y al interceptar en la curva de Intensidad de combustión (Fig. 4.13) se estima un volumen de cámara de aproximadamente  $3$  [m<sup>3</sup>].

En base a la sección 4.2.2 y a la curva obtenida de los tres hornos conocidos se procede a dimensionar la cámara del horno.

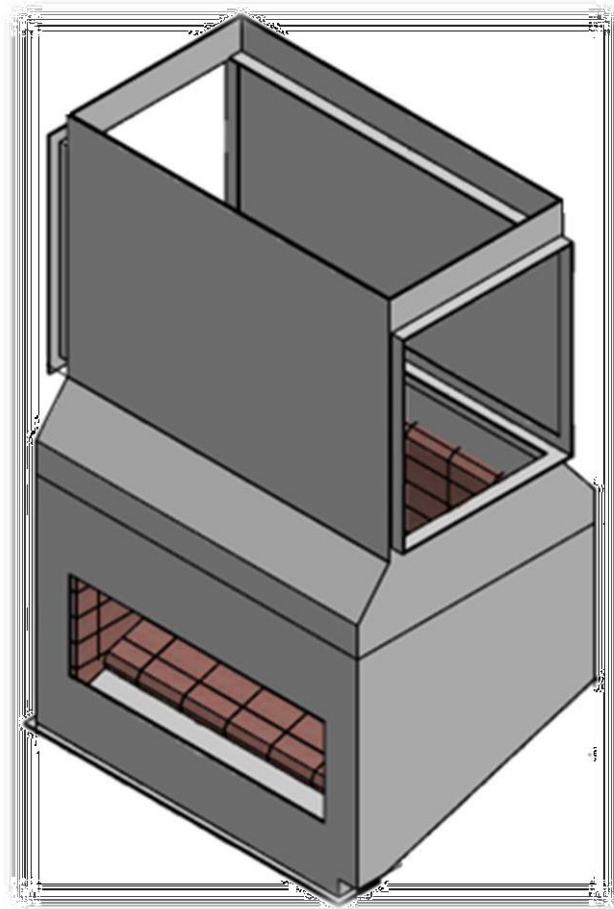


Fig. 4.14 Medidas exteriores del horno

Las paredes del horno serán fabricadas de acero en plancha AISI-SAE 1020 de 10 mm de espesor, que es el mismo material utilizado en los hornos visitados.

#### 4.2.4 Tolva alimentadora del horno.

Para el sistema de alimentación de cascarilla de arroz hacia el horno, se utilizara el diseño de la tolva alimentadora realizado por Chao, el cual utiliza un eje con paletas rotatorias que introduce la cascarilla hacia la parrilla para su posterior quema en el hogar.

De la fórmula 4.9 se sabe que se necesita un flujo másico de 111.6 [Kg/hr], para el diseño de la tolva se ha considerado que la tolva pueda abastecer al horno por lo menos 3 horas antes que sea descargada en su totalidad. El volumen de la tolva es:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{111.6 \left[ \frac{Kg}{h} \right] * 3[h]}{100 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]} = 3.35[m^3]$$

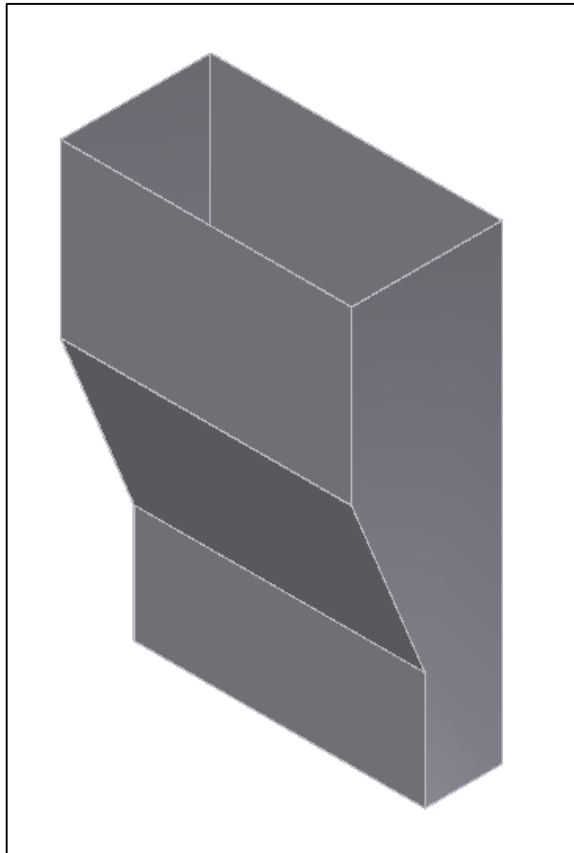


Fig. 4.15 Diseño de forma de la tolva alimentadora

Otro factor muy importante a considerar en el diseño de la tolva son los intervalos de tiempo en que se abastecerá al horno de cascarilla. Se ha considerado un tiempo aproximado de 2 minutos, los mismos que pueden ser regulables para evitar que el sistema sea ineficiente.

Si se sabe que 111.6 [kg] se descargan en una hora, en dos minutos se descargan 3.72 [kg], obteniéndose el siguiente volumen.

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{3.72 [kg]}{100 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]} = 0.0372 [m^3]$$

El sistema está compuesto de 6 paletas, las cuales serán descargadas una a una en intervalos de 2 minutos. En la Figura 4.16 se muestra un esquema representativo de cómo opera el sistema.

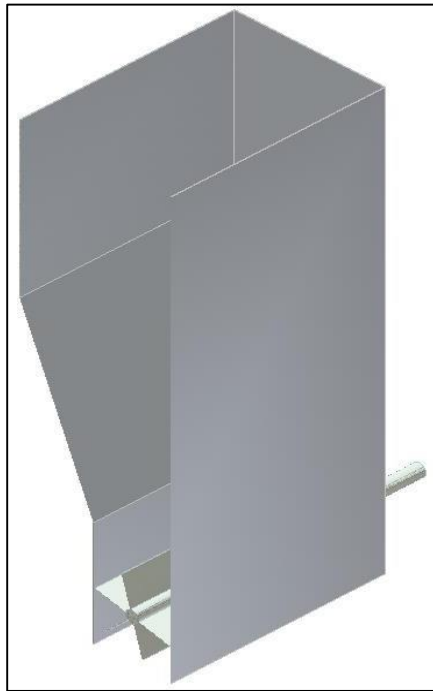


Fig. 4.16 Sistema de Paletas para Descarga de Cascarilla

#### 4.2.4 Flujo de Aire Requerido.

Se deberá garantizar un abastecimiento adecuado de aire hacia la cámara de combustión, para producir una mezcla homogénea en

conjunto con la cantidad de cascarilla suministrada al hogar. Esta mezcla es muy importante ya que de ella dependerá lograr las máximas temperaturas de la llama, sacando la mayor eficiencia del horno.

Como se ha visto en los diferentes tipos de horno visitados, el flujo de aire es de tiro natural y como no existe una relación aire - cascarilla ideal se asume una relación aire-combustible para leña debido a que tienen propiedades similares, la misma que está en el orden 1.6 a 2 (referencia 4). Utilizando la formula de flujo volumétrico para el aire:

$$Q_a = \frac{\Phi * m_c * m_{a/c}}{\rho}$$

Asumiendo una relación aire - combustible (  $\Phi$  ) igual a 1.8 y obteniendo la densidad del aire a temperatura ambiente 30 °C. En la práctica debido a que no hay una mezcla perfecta del aire con el combustible y por falta de tiempo para que se realice una combustión perfecta es necesario suministrar aire en exceso del teórico.

Para efectos de cálculo se utiliza el valor teórico de la mezcla aire - combustible (referencia 4) que es de 4.83 Kg de aire / Kg de combustible.

Al reemplazar de la formula anterior queda

$$Q_a = \frac{1.8 * 111.6 \left[ \frac{Kg}{h} \right] * 4.83 \left[ \frac{Kg \text{ de aire}}{Kg \text{ de combustible}} \right]}{1.151 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]}$$

$$Q_a = 843 \left[ \frac{m^3}{h} \right] = 496.17 [CFM]$$

Para el análisis de transporte de partículas suspendidas, se utiliza el “Manual Práctico de Ventilación Industrial Salvador Escoda S. A” (referencia 12).

Donde se define a la presión dinámica en [mm c.d.a] como:

$$P_d = \frac{V_c^2 \left[ \frac{m}{s} \right]}{16.3}$$

Donde la velocidad en el conducto ( $V_c$ ), la misma que es la encargada de evitar que las partículas sólidas en suspensión sedimenten y queden depositadas dentro del ducto. Para este tipo de material  $V_c$  está en el orden de 18-20 [m/s]. Para este caso se utiliza un conducto de 5” diámetro (0.127m). Reemplazando en la formula anterior queda:

$$P_d = \frac{20^2 \left[ \frac{m}{s} \right]}{16.3} = 24.54 [mm \text{ c. d. a}]$$

$$P_d = 240.74 \text{ [Pa]}$$

Esta presión ( $P_d$ ) sumada a la Presión Estática ( $P_e$ ) que el aire produce en todas direcciones dentro del conducto o recinto, dan la Presión Total ( $P_t$ ), lo que constituye la Ecuación de Bernoulli, fundamental en el estudio de los fluidos (aire) en movimiento:

$$P_t = P_e + P_d \quad (4.10)$$

- **Caída de Presión Ducto**

Para calcular la Presión Estática ( $P_e$ ), producida por las pérdidas de fricción en el ducto de la tubería utilizaremos la figura A2, y con los datos de caudal, velocidad y diámetro del Ducto, se obtiene la caída de presión dentro del mismo.

$$P_L = 40 \left[ \frac{Pa}{m} \right]$$

- **Caída de Presión Entrada Conducto**

Esta viene dada por la formula

$$P_c = n * P_d$$

Donde  $n$  es un coeficiente determinado experimentalmente, de acuerdo a la forma y dimensiones de las restricciones. Así se tiene que para una entrada acampana, como se muestra en la figura 4.17.



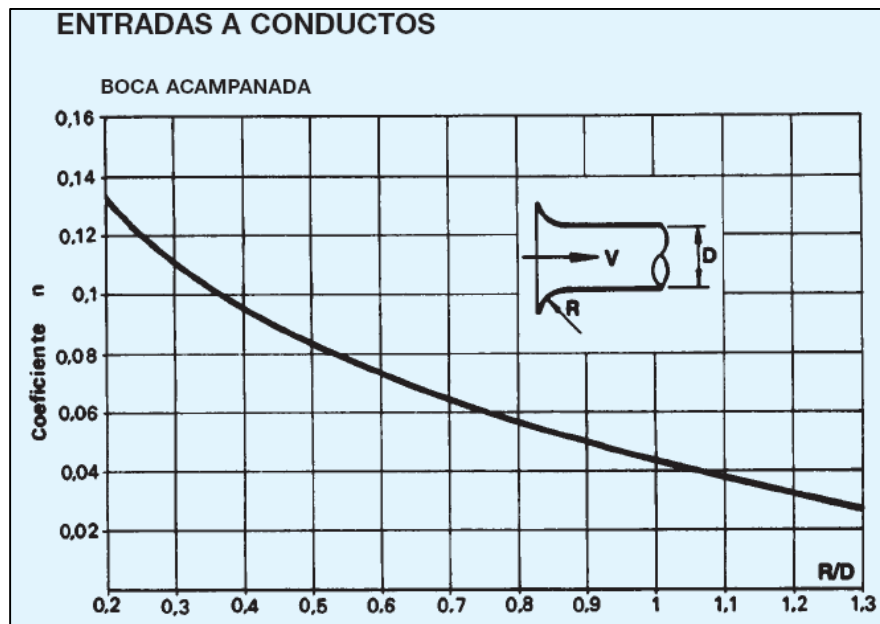


Fig. 4.17 Cálculo de coeficiente n.

Con los datos  $R = 50$  [mm] y  $D = 127$  [mm],  $R/D = 0.4$ , por lo que de acuerdo a la tabla  $n = 0.095$ .

$$P_c = 0.095 * 240.74 \text{ [Pa]}$$

$$P_c = 22.87 \text{ [Pa]}$$

Entonces la suma de las caídas de presión estática es:

$$P_e = P_L + P_c$$

$$P_e = 40 \left[ \frac{\text{Pa}}{\text{m}} \right] + 22.87 \text{ [Pa]}$$

$$P_e = 62.87 \text{ [Pa]}$$

Reemplazando en la ecuación (4.10)

$$P_t = 62.87 [Pa] + 240.74 [Pa]$$

$$P_t = 303.61 [Pa]$$

#### 4.2.4.1 Potencia del Motor Ventilador de Cenizas.

La Potencia del motor eléctrico, viene determinado por la siguiente fórmula:

$$\varphi = \frac{Q * P_t}{\eta}$$

Donde:

$$\varphi = \frac{0.234 \left[ \frac{m^3}{s} \right] * 303.61 [Pa]}{0.52}$$

$$\varphi = 136.6 [Watts]$$

$$\varphi = 0.15 k[watts] \cong 0.25 [HP]$$

#### 4.2.4.2 Selección del ventilador de Cenizas.

Se escoge un ventilador Centrifugo que satisfaga las siguientes características.

$$Q_a = 496.17 [CFM]$$

$$P_t = 303.61 [Pa]$$

$$\varphi = 0.25 [HP]$$

En la figura 4.18 se muestra un esquema similar a lo planteado en este diseño



Fig. 4.18 Esquema de soplador de cenizas

#### 4.2.5 Flujo de gases en la Chimenea.

Es muy importante determinar la sección transversal de la chimenea ya que esto dependerá que los gases calientes escapen rápidamente haciendo menos eficiente al sistema si este es demasiado grande y a

su vez se podría perder área de flujo en la resistencia que oponen las paredes, si es demasiado pequeña. Por lo que de forma experimental se ha considerado que la salida de gases a través de las chimeneas este en un rango de velocidades de 0.4 a 1 [m/seg]. Esto según P. Verhaart (referencia 4).

Para determinar el caudal de gases que pasaran por la chimenea se asume que la temperatura promedio con las que salen los gases es 200° C, el flujo volumétrico de los gases se expresa:

$$Q_g = \left( \frac{273 + T_g}{273 + T_a} \right) * Q_a$$

$$Q_g = \left( \frac{273 + 200}{273 + 30} \right) * 843 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

$$Q_g = 1316 \left[ \frac{m^3}{h} \right] = 0.366 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

Se sabe que el flujo volumétrico se puede expresar de acuerdo al diámetro de la chimenea.

$$Q_g = V * A_{chimenea}$$

$$Q_g = V * \frac{\pi * d^2}{4}$$

Donde al despejar el diámetro queda:

$$d = \sqrt{\frac{4 * Q_g}{V * \pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0.366 \frac{m^3}{s}}{1 \frac{m}{s} * \pi}} = 0.68 [m]$$

$$d = 68 [cm]$$

Basándose en la tabla de correjimiento de sección circular a rectangular que nos indica la relación entre diámetro equivalente y los lados que conforman una sección rectangular Fig. A1, la sección transversal de la chimenea será de 0.6 x 0.65 [m].

#### **4.2.6 Tiro Natural de la chimenea.**

Está definido como tiro por unidad de longitud, el mismo depende principalmente de la densidad de los gases de combustión así como de la temperatura del aire a condiciones del ambiente.

Temperatura Ambiente °C	Temperatura promedio de gases en la chimenea °C			
	150	200	250	300
20	3,6	4,5	5,2	5,9
21	3,4	4,3	5	5,5
22	3,2	4,1	4,8	5,3
23	3	3,9	4,6	5,2
24	2,8	3,7	4,4	5

Tabla 4.4 Tiro estático específico para flujo de gases.

Asumiendo temperatura ambiente de 30° C y temperatura de gases de combustión de 200° C. por medio de la tabla 4.3 se obtiene el tiro estático específico de flujo de los gases de la combustión que es de 4.1 [Pa/m].

$$\frac{\nabla P}{h} = T$$

$$\frac{\nabla P}{h} = 4.1 \left[ \frac{Pa}{m} \right]$$

En base a los diferentes hornos analizados en la sección 4.2.3, se tiene que las longitudes de las chimeneas para potencias de horno

cercanas a 483.47 [Kw] se encuentran entre 3 – 4 m de longitud, por lo que se asumirá una longitud intermedia de 3.5m.

En donde la presión de la chimenea es:

$$\frac{\nabla P}{h} = 4.1 \left[ \frac{Pa}{m} \right] * 3.5 [m]$$

$$\nabla P = 14.35 [Pa]$$

La chimenea debe ser construida con acero SAE 1015 de 4 mm de espesor.

#### **4.2.7 Selección de tornillo transportador.**

Para el diseño del tornillo sin fin, será basado en la norma CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers Association) y en base al catalogo Martin, Material Handling Products Catalog MHC-2005 se seleccionara los componentes del tornillo.

Para calcular la cantidad de ceniza a remover se sabe que el porcentaje de ceniza es del el 20% en la cascarilla de arroz. En base a esta asunción se toma el valor de cascarilla que necesita el horno por hora multiplicado por un valor de sobredimensionamiento para prever posibles incrementos de ceniza. Del resultado de la ecuación (4.9) se tiene:

$$m_c = 111.6 \left[ \frac{Kg}{h} \right] * 0.2 * 6 = 133.92 \left[ \frac{Kg}{h} \right] \cong 150 \left[ \frac{Kg}{h} \right]$$

Entonces la cantidad de ceniza a remover es:

$$m_{cz} = 150 \left[ \frac{Kg}{h} \right]$$

En base al catalogo Martin se define el tipo de material a transportar.

Se selecciona Ceniza negra molida (Ash, Black Ground) que es la que más se asemeja a la cascarilla de arroz combustionada. De la tabla 1-2 MARTIN, ubicada en anexos se toma los siguientes datos:

<b>Material</b>	Ceniza negra molida
<b>Densidad (Lb/ft<sup>3</sup>)</b>	105
<b>Código de Material</b>	B <sub>6</sub> -35
<b>Selección de rodamiento</b>	L-S-B
<b>Series de componente</b>	1
<b>Factor de Material (Fm)</b>	2
<b>Carga de Artesa</b>	30 <sup>a</sup>

Tabla 4.5 Características del Material.

La capacidad requerida (C) se la calcula en función de la masa de ceniza y la densidad.



$$C = \frac{150 \left[ \frac{Kg}{h} \right] * \frac{2.2}{1} \left[ \frac{lb}{Kg} \right]}{105 \left[ \frac{lb}{ft^3} \right]} = 3.15 \left[ \frac{ft^3}{h} \right]$$

Para ver el significado del código de material se usa la tabla 1-1

MARTIN, donde se obtiene lo siguiente:

<b>Clase</b>	<b>Características del material</b>	<b>Designación de código</b>
<b>Tamaño</b>	Fino. Malla N° 6 (0,132 in) y por debajo	B <sub>6</sub>
<b>Fluidez</b>	Fluido Promedio	3
<b>Abrasividad</b>	Abrasividad Media	5

Tabla 4.6 Significado de código de material

La selección del rodamiento se escoge rodamiento de bola estándar como indica tabla 1-11 MARTIN.

La carga de artesa se selecciona en base a la capacidad de pies cúbicos por hora que debe arrojar el tornillo transportador, tabla 1-6 MARTIN. Se observa que un transportador de 4 in puede transportar 53 pies cúbicos por hora a 130 rpm, por lo tanto a 1 rpm un helicoidal de 4 in transportara 0.41 pies cúbicos, en base a esto se calcula la velocidad del transportador.

- **Velocidad del transportador**

Para transportadores helicoidales con helicoidales que tengan espirales de paso estándar, la velocidad del transportador se calcula por la siguiente fórmula:

$$N = \frac{\text{Capacidad Requerida} \left[ \frac{ft^3}{h} \right]}{\text{Pies cúbicos por hora a 1 revolución por minuto}}$$

$$N = \frac{3.15 \left[ \frac{ft^3}{h} \right]}{0.41 \frac{ft^3}{h} \text{ rpm}} = 7.68 \cong 8 \text{ rpm}$$

Con la información anterior y en base a las tablas 1-12 a 1-17 MARTIN se procede a calcular los HP requeridos por mi transportador.

#### 4.2.7.1 Cálculo de potencia requerida

Los Hp requeridos para operar un transportador helicoidal horizontal está basado en la instalación adecuada, en relación a la alimentación regular y uniforme al transportador y a otros criterios de diseño. La potencia del transportador debe superar la fricción del transportador en vacío y los HP para transportar el material a una velocidad específica.

$$HP_f = \frac{L * N * F_d * f_b}{1000000} \text{ (HP para manejar un transportador vacio)}$$

$$HP_m = \frac{C * L * W * F_f * F_m * F_p}{1000000} \text{ (HP para mover el material)}$$

$$TOTAL HP = \frac{(HP_f + HP_m) * F_o}{e}$$

Donde las variables a utilizar son:

**L**= Largo total del transportador [ft]

**N**= Velocidad de operación [rpm]

**F<sub>d</sub>**= Factor de diámetro de transportador

**f<sub>b</sub>**= Factor de buje para colgante

**C**= Capacidad requerida [ft<sup>3</sup>/h]

**W**= Peso del material [lb/ft<sup>3</sup>]

**f<sub>f</sub>**= Factor de helicoide

**F<sub>m</sub>**= Factor de material

**F<sub>p</sub>**= Factor de paleta

**F<sub>o</sub>**= Factor de sobrecarga

**e**= Eficiencia de transmisión

Al reemplazar queda:

$$HP_f = \frac{4.92 [ft] * 8[rpm] * 12 * 1}{1000000} = 4.73 \times 10^{-4}$$

$$HP_m = \frac{3.15 \left[\frac{ft^3}{h}\right] * 4.92 [ft] * 105 \left[\frac{lb}{ft^3}\right] * 1 * 2 * 1}{1000000} = 3.26 \times 10^{-3}$$

$$TOTAL HP = \frac{(4.73 \times 10^{-4} + 3.26 \times 10^{-3}) * 3}{0.95} = 0.01 [HP]$$

Se escoge un motor AGMA clase 3 de ¼ HP.

Las dimensiones del tornillo transportador se muestran en la tabla B14. Vale mencionar que el diámetro del eje es de 1 in y el paso es estándar. La designación del tamaño es 4H206 y el espesor de 4 mm. Tal como se muestra en el Plano C10.

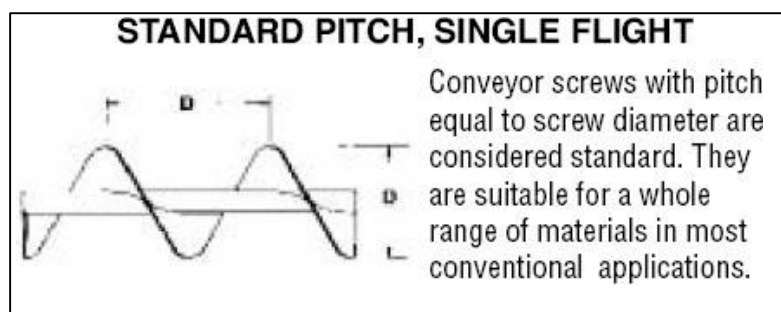


Fig. 4.19 Helicoide sencillo de paso estándar

Con esto se puede obtener el número de hélices que requiere el tornillo transportador.

$$\# \text{ Hélices} = \frac{\text{Longitud Tornillo}}{\text{Paso}}$$

$$\# \text{ Hélices} = \frac{59.05 \text{ [in]}}{4 \text{ [in]}} = 14.76 \cong 15 \text{ hélices}$$

#### 4.2.7.2 Selección de artesa

Las artesas estándares de los transportadores tienen un cuerpo de acero de forma de U con cejas formadas o hechas de hierro doblado (en ángulo) en su parte superior y cejas perforadas con platina en las puntas.

En la página H-54 MARTIN se selecciona una artesa con ceja de ángulo de 12 [cal.] de espesor, Numero de parte 4CTA12, esta hoja técnica proporciona las medidas necesarias para su construcción.

- **Tapa de artesa**

Las tapas de artesa son de exterior sin pie que se usan para apoyar chumaceras en tapa y cubiertas cuando no se requiere de ningún soporte para artesa. De la pagina

H-64 MARTIN se escoge el numero de parte 4TE2 con chumacera de bola de 1 [in].

- **Patrones de tornillos**

Las tapas de artesa van empernadas a el cuerpo con 6 tornillos de 3/8 [in], tal como muestra la pagina H-40 MARTIN y la configuración de perforado de los agujeros.

### 4.3 Diseño del intercambiador de calor

Para realizar el diseño del intercambiador de calor primero se necesita calcular el flujo másico de aire requerido por la cámara de secado.

#### 4.3.1 Determinación del flujo de aire de la cámara de secado

Para determinar el flujo de aire requerida por la cámara de secado se utiliza la siguiente fórmula:

$$m_{AIRE} = \frac{\text{Cantidad de H}_2\text{O a evaporar}}{\text{Cantidad de H}_2\text{O absorbida}}$$

- **Cantidad de H<sub>2</sub>O a evaporar**

Para determinar el contenido de agua a evaporar realizamos un análisis termodinámico del proceso. Se sabe que el arroz tiene un contenido inicial de humedad del 24%, y lo que se quiere es llevarlo a

una humedad relativa de 12% que es ideal para el almacenamiento. Sin embargo no es recomendable hacer esta baja de una humedad en una sola pasada, ya que el grano tiende a presentar fisuras, y se recomienda por norma no bajar más de 6 grados por pasada ya que se tiene problemas durante el pilado. Es por esta razón que se realizan 2 pasadas, una de 24% a 18% y la otra de 18% a 12% de humedad.

### Primera pasada

Durante la primera pasada, el arroz se encuentra con un 24% de humedad, entonces el 76% o 0.76 unidades están secas. A la masa final desconocida se le asigna el valor X. Entonces se cumple que:

	Masa H <sub>2</sub> O	+	Masa seca	=	Masa Total
Inicial	0.24	+	0.76	=	1
Final	0.18 X	+	0.76	=	X

De donde se despeja la ecuación:

$x - 0.18x = 0.76$ , despejando "x" queda:

X= 0.9268 Unidades de masa.

Entonces, se han eliminado 0.0732 unidades de agua.

Para una capacidad de secado de arroz de 2.7 ton/h (0.75 Kg/s) la capacidad de H<sub>2</sub>O a evaporar será:

*Cantidad de H<sub>2</sub>O a evaporar*

$$= \text{Capacidad de secar} * \text{Unidades de H}_2\text{O}$$

$$\text{Cantidad de H}_2\text{O a evaporar} = 0.75 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right] * 0.0732 [\text{Unidades de H}_2\text{O}]$$

$$\text{Cantidad de H}_2\text{O a evaporar} = 0.055 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \text{ H}_2\text{O} \right]$$

### **Segunda pasada**

Aplicado el mismo criterio anterior se cumple que:

	Masa H <sub>2</sub> O	+	Masa seca	=	Masa Total
Inicial	0.18	+	0.82	=	1
Final	0.12 X	+	0.82	=	X

De donde se obtiene la ecuación:

$$x - 0.12x = 0.82, \text{ despejando "x" queda}$$

$$X = 0.9318 \text{ Unidades de masa}$$



Entonces, se han eliminado 0.06818 unidades de agua

Para una capacidad de secado de arroz de 2.7 ton/h (0.75 Kg/s) la capacidad de H<sub>2</sub>O a evaporar será:

$$\text{Cantidad de H}_2\text{O a evaporar} = 0.051 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \text{H}_2\text{O} \right]$$

- **Cantidad de H<sub>2</sub>O absorbida**

Se escoge una temperatura promedio de 30 °C y una humedad relativa de 90%, utilizando la carta psicrométrica se tiene:

Punto A

- Temperatura ambiente = 30 °C
- Humedad relativa = 90%

Punto B

Se recomienda que la temperatura a la salida del grano sea unos 10 °C por encima de la temperatura ambiente promedio. Para evitar rajaduras y cambios químicos en el grano, se considera:

- Temperatura de calentamiento= 40°C

- Humedad relativa(según grafico psicrométrico) = 52%

### Punto C

A partir del punto B se traza una paralela a la temperatura del bulbo húmedo de la carta psicrométrica hasta llegar a la curva de saturación (figura A5).

Trazando horizontales desde los puntos A y B se determina la relación de humedad.

Contenido de Humedad en A:  $C_{HA} = 0.0245$  [Kg/Kg de aire seco]

Contenido de Humedad en C:  $C_{HC} = 0.0284$  [Kg/Kg de aire seco]

Cantidad de H<sub>2</sub>O absorbida=  $C_{HC} - C_{HA}$

Cantidad de H<sub>2</sub>O absorbida =  $0.0284 - 0.0245$

Cantidad de H<sub>2</sub>O absorbida =  $0.0039$  [Kg/Kg de aire seco]

A partir de estos valores se puede hallar el flujo másico del aire:

$$\dot{m}_{AIRE} = \frac{0.055 \left[ \frac{Kg}{s} H_2O \right]}{0.0039 \left[ \frac{Kg}{Kg} aire seco \right]}$$

$$\dot{m}_{AIRE} = 14.10 \left[ \frac{Kg}{s} \right]$$

### 4.3.2 Análisis de transferencia de calor

Para el análisis de transferencia de calor se realiza un estudio de energía y de masa.

Se asumirán las siguientes temperaturas iniciales:

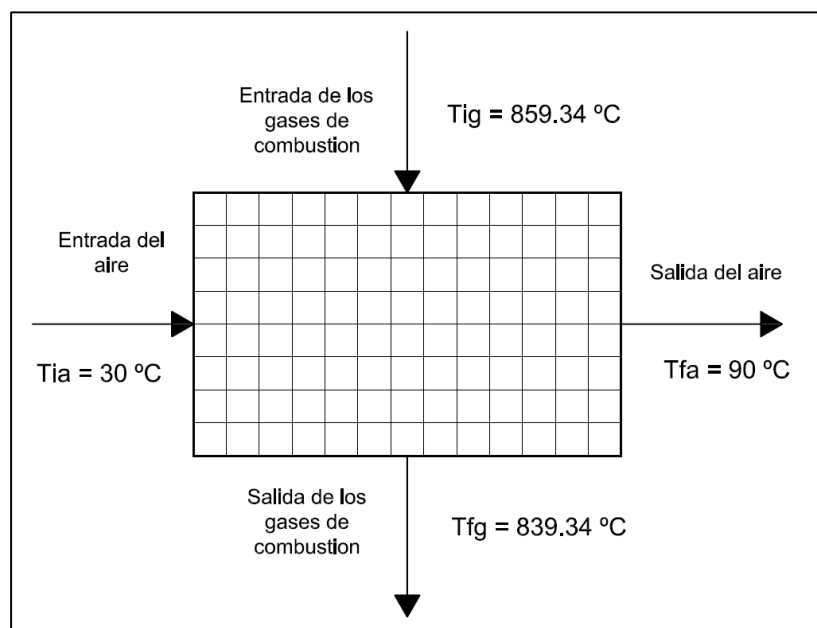


Figura 4.20 Balance de energía

Donde:

$T_{ia}$ : Temperatura inicial del aire

$T_{fa}$ : Temperatura final del aire

$T_{ig}$ : Temperatura inicial del gas

$T_{fg}$ : Temperatura final del gas

Se asume una diferencia de temperatura de 20°C a la salida de los gases. A partir de estos datos se sacara la temperatura media y se interpolara el calor específico, viscosidad, número de Prandtl, etc.

	AIRE			GASES DE COMBUSTION		
Temperatura Media	$T_m$	333	° K	$T_m$	1122.34	° K
Calor Especifico	$C_{pa}$	1.008	KJ/Kg °K	$C_{pg}$	1.163	KJ/Kg °K
Viscosidad	$\mu_a$	$200.2 \times 10^{-7}$	N*S/m <sup>2</sup>	$\mu_g$	$449.6 \times 10^{-7}$	N*S/m <sup>2</sup>
Numero de Prandtl	Pr	0.702	-	Pr	0.728	-
Conductividad Térmica	$K_a$	$28.742 \times 10^{-3}$	W/m ° K	$K_g$	$71.6 \times 10^{-3}$	W/m ° K

Tabla 4.7 Datos de variables a utilizar

A partir de aquí se realiza un análisis termodinámico para calcular el calor que necesita el aire para elevar su temperatura de 30°C a 90 °C

$$Q_{AIRE} = m_{AIRE} * C_{pa} * \Delta T_a$$

$$Q_{AIRE} = 14.10 \left[ \frac{Kg}{s} \right] * 1.008 \left[ \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ K} \right] * 60 [^\circ K]$$

$$Q_{AIRE} = 852.768 \left[ \frac{KJ}{s} \right]$$

Haciendo un balance energético se puede calcular el flujo másico del gas.

$$Q_{AIRE} = Q_{GAS}$$

$$\dot{m}_{AIRE} * C_{pa} * \Delta T_a = \dot{m}_{GAS} * C_{pg} * \Delta T_g$$

$$\dot{m}_{GAS} = \frac{\dot{m}_{AIRE} * C_{pa} * \Delta T_a}{C_{pg} * \Delta T_g}$$

$$\dot{m}_{GAS} = \frac{14.10 \left[ \frac{Kg}{s} \right] * 1.008 \left[ \frac{KJ}{Kg \cdot K} \right] * 60 [^{\circ}K]}{1.163 \left[ \frac{KJ}{Kg \cdot ^{\circ}K} \right] * 20 [^{\circ}K]} = 36.68 \left[ \frac{Kg}{s} \right]$$

A partir de aquí se realiza un prediseño del intercambiador de calor.

#### 4.3.3 Prediseño del intercambiador de calor

Se emplea el método LMTD (Diferencia de Temperaturas Media Logarítmica) y a partir de la fórmula de transferencia de calor se definen las medidas que tiene el intercambiador de calor y el tipo de material a utilizar.

$$Q = F * U * A * \Delta T_{lm} \quad (4.4)$$

- **Factor de corrección (F)**

Las fórmulas a utilizar se aplican a flujos en contra flujo, debido a que el flujo cruzado, se tiene que multiplicar por un factor de corrección que modifique dicha fórmula.

Se realiza dicho cálculo en base a la figura 4.21 (referencia 9).

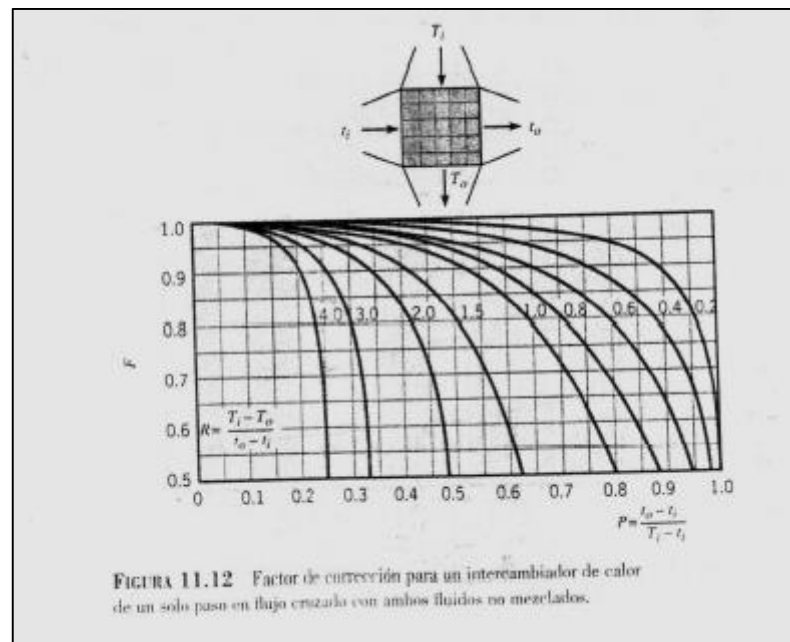


Figura 4.21 Factor de corrección para un intercambiador de calor.

Para poder utilizar la figura anterior se necesita calcular las variables P y R.

$$P = \frac{T_{fa} - T_{ia}}{T_{ig} - T_{ia}} = \frac{90 - 30}{859.34 - 30} = 0.07$$

$$R = \frac{T_{ig} - T_{fg}}{T_{fa} - T_{ia}} = \frac{859.34 - 839.34}{90 - 30} = 0.33$$

Interceptando estos datos en la figura anterior, se tiene  $F=1$ .

- **Coefficiente Global de Transferencia (U)**

En primera instancia se asumirá un coeficiente de transferencia de calor para luego calcular el real, en base a la tabla 11.2 de Incropera se ven los distintos valores de U.

Combinación de fluidos	$U(\text{W/m}^2 \cdot \text{K})$
Agua con agua	850-1700
Agua con aceite	110-350
Condensador de vapor (agua en tubos)	1000-6000
Condensador de amoníaco (agua en tubos)	800-1400
Condensador de alcohol (agua en tubos)	250-700
Intercambiador de calor de tubos con aletas (agua en tubos, aire en flujo cruzado)	25-50

Tabla 4.8 Valores del coeficiente de transferencia global

Se escoge el Intercambiador de calor de tubos, aire en flujo cruzado, con un valor medio de  $U = 40 \text{ [W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K]}$

Diferencia de Temperaturas, Media Logarítmica ( $\Delta T_{lm}$ )

En base a la formula 11.15 de Incropera se obtiene:

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (4.5)$$

La figura 4.22 muestra la distribución de la temperatura, donde se sacará las variables  $\Delta T_1$  y  $\Delta T_2$ .

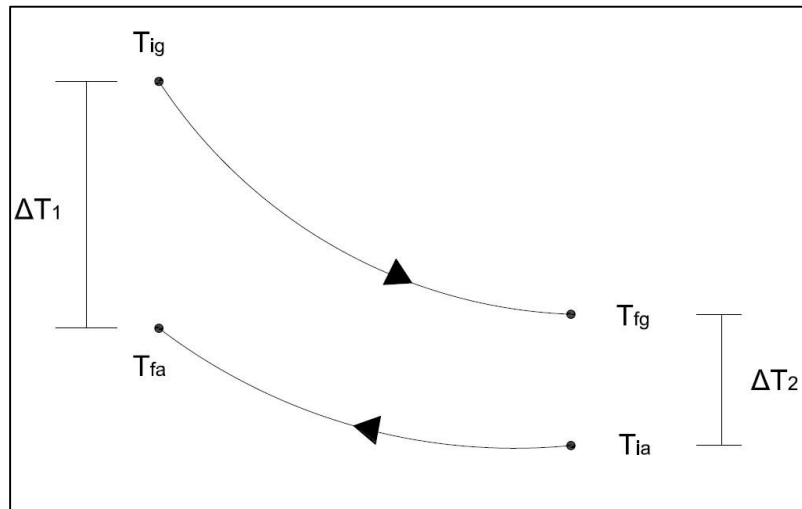


Fig. 4.22 Distribución de temperatura en flujo cruzado

$$\Delta T_1 = T_{ig} - T_{fa} = 1132.34 - 363 = 769.34 \text{ } ^\circ K$$

$$\Delta T_2 = T_{fg} - T_{ia} = 1112.34 - 303 = 809.34 \text{ } ^\circ K$$

Reemplazando en la ecuación 4.5, queda:

$$\Delta T_{lm} = \frac{769.34 - 809.34}{\ln \left( \frac{769.34}{809.34} \right)} = 789.17 \text{ } [^\circ K]$$

Ya obteniendo todos estos valores, de la ecuación 4.4 se puede despejar el área y saber el área de contacto que va a necesitar mi intercambiador de calor.



$$A = \frac{Q}{F * U * \Delta T_{lm}} = \frac{852.768 \left[ \frac{KJ}{s} \right]}{1 * 40 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right] * 789.17 [^\circ K]} = 27.01 [m^2]$$

Ya obtenido el área de contacto voy a asumir el diámetro de tubería a utilizar y la longitud del mismo para calcular el número de tubos a utilizar mediante la fórmula.

$$A = N * \pi * D_e * L$$

Donde:

N= Número de tubos

D<sub>e</sub>= Diámetro exterior de la tubería

L= Longitud del tubo

Se selecciona una tubería para vapor cedula 40 ASTM A 53 GR B de las siguientes dimensiones:

D <sub>nominal</sub>	D <sub>ext</sub> (mm)	e(mm)
3"	88,9	5,49

Tabla 4.9 Dimensiones de tubería intercambiador de calor

Y asumiendo una longitud de 1.5 metro de longitud de tubería se obtiene lo siguiente:

$$N = \frac{27.01 [m^2]}{\pi * 0.0889[m] * 1.5[m]} = 64.47 \text{ tubos} \approx 65 \text{ tubos}$$

El número de tubos es muy grande, considerando que es un valor de prueba. Se calcula el valor de Coeficiente de transferencia Global real.

$$U_{real} = \frac{1}{\sum R_{TERMICAS}} \quad (4.5)$$

Donde las resistencias térmicas son:

$$R_{TERMICAS} = R_{cv_{aire}} + Fouling_{int} + R_{cond} + Fouling_{ext} + R_{cv_{gas}}$$

El fouling interno que produce el aire se lo desprecia al ser de un valor casi nulo, y se procede a calcular cada una de las resistencias antes expuestas.

- **Resistencia de convección del aire ( $R_{cv_{aire}}$ )**

$$R_{cv_{aire}} = \frac{1}{h_i} \quad (4.6) \quad y$$

$$h_i = \frac{Nu * K_a}{D_i} \quad (4.7)$$

Donde

$h_i$  = coeficiente de convección interno

$Nu$  = Numero de Nusselt

$K_a$  = Conductividad térmica del aire

$D_i$  = Diámetro interno de tubería

Usando la ecuación de Dittus-Boelter se calcula el número de Nusselt

$$Nu_D = 0.023 * Re_D^{\frac{4}{5}} * Pr^n \quad \begin{cases} n = 0.3 & \text{Si el fluido se enfria} \\ n = 0.4 & \text{Si el fluido se calienta} \end{cases}$$

Ahora se tiene que comprobar si el número de Reynolds es turbulento o laminar para comprobar si se puede utilizar esta ecuación. Utilizando la formula de Reynolds para un tubo circular se tiene:

$$Re_D = \frac{4 \left( \frac{m}{N} \right)}{\pi * D_i * \mu_a}$$

$$Re_D = \frac{4 \left( \frac{14.10 \left[ \frac{Kg}{s} \right]}{65} \right)}{\pi * 77.92 \times 10^{-3} [m] * 200.2 \times 10^{-7} \left[ \frac{Ns}{m^2} \right]} = 177052.8$$

Debido a que se obtiene un número de Reynolds mayor a 2300, se puede utilizar la ecuación de Dittus-Boelter para calcular el valor de Nusselt.

$$Nu_D = 0.023 * 177052.8^{\frac{4}{5}} * 0.702^{0.4} = 338.44$$

Reemplazando estos valores en  $h_i$  se obtiene:

$$h_i = \frac{338.44 * 28.742 \times 10^{-3} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]}{77.92 \times 10^{-3} [m]} = 124.84 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

Al reemplazar en la ecuación 4.6, se tiene:

$$R_{cv_{aire}} = \frac{1}{124.84} = 0.008 \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$$

- **Resistencia de conducción ( $R_{cond}$ )**

Para el cálculo de la resistencia entre la tubería de aire y el gas, se utiliza la siguiente ecuación:

$$R_{cond} = \frac{\ln \left( \frac{D_{ext}}{D_i} \right) * \left( \frac{D_i}{2} \right)}{K_{mat}}$$

La conductividad térmica del material ( $K_{mat}$ ) es la del acero al carbón y se la calcula a 800 °K que es la temperatura que tendrá el acero al

estar en contacto y al estar expuesto a la radiación con las llamas.

$$K_{\text{mat}} = 39.2 \text{ [W/m}^2\text{K]}.$$

$$R_{\text{cond}} = \frac{\ln\left(\frac{88.9}{77.92}\right) * \left(\frac{77.92 \times 10^{-3}}{2}\right)}{39.2} = 0.001 \left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$$

- **Fouling Externo ( $Fouling_{\text{ext}}$ )**

Según el libro Heat Exchangers Selection, Rating and Thermal Design de Sadik Kakaç y Hongtan Liu Capitulo 5 (referencia 10) se aproximan los gases de combustión de la cascarilla de arroz a los gases de combustión del carbón (COAL FLUE GAS), donde:

$$Fouling_{\text{ext}} = 0.0018 \left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$$

- **Resistencia de convección del gas ( $Rcv_{\text{gas}}$ )**

Para calcular la resistencia de convección del gas se usan las mismas fórmulas utilizadas en la del aire; para esto se debe realizar un análisis previo de la velocidad a la que viajan los gases.

$$Rcv_{\text{gas}} = \frac{1}{h_{\text{ext}}} \quad (4.8)$$

$$h_o = \frac{N_u * K_{gas}}{D_{ext}} \quad (4.9)$$

Como se desea conocer el coeficiente promedio de transferencia de calor para todo el haz de tubos, para un flujo de aire a través de tubos compuestos de 10 o más líneas se tiene la formula de Grimison para el valor de Nusselt.

$$Nu_D = 1.13 * C_1 * Re_{D,max}^m * Pr^{1/3} \quad (4.10) \quad y$$

$$Re_D = \frac{\rho * V_{max} * D_{ext}}{\mu_{gas}} \quad (4.11)$$

Para calcular el número de Reynolds se tiene que calcular la velocidad a la que pasan los gases a través del banco de tubos. Aquí hay que analizar la sección A1 o A2 y determinar dónde se origina la velocidad máxima. Tal como se muestra en la Fig. 4.23.

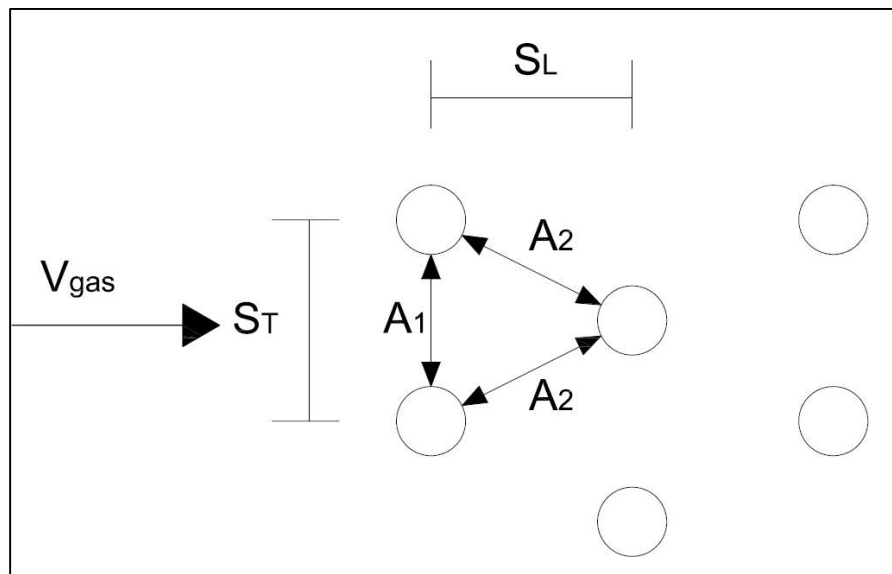


Fig. 4.23 Arreglo de tubos en un banco

Se debe recalcar que los modelos de Banco de Tubos poseerán un arreglo escalonado para una mayor eficiencia al momento de transferir calor, además el espaciado transversal ( $S_T$ ), y longitudinal ( $S_L$ ) de los tubos se dan de acuerdo al mínimo especificado por Norma TEMA, 9na edición\*, la cual indica:

“Los tubos estarán espaciados de centro a centro una distancia mínima de 1,25 veces el diámetro exterior del tubo. Cuando los diámetros de los tubos son de 5/8" (15,9 mm) o menos y las juntas tubo-placas tubulares son solamente expandibles, la mínima distancia de centro a centro puede ser reducido a 1,20 veces el diámetro exterior”

Entonces:

$$S_T = S_L = 1.25 * D_{ext}$$

$$S_T = S_L = 1.25 * 88.9 = 111.13 [mm] = 0.111 [m]$$

Para saber en qué plano se da la máxima velocidad se utiliza la siguiente expresión, de aquí  $V_{max}$  ocurre en  $A_2$  si:

$$S_D = [S_L^2 + \left(\frac{S_T}{2}\right)^2]^{1/2} < \frac{S_T + D}{2}$$

Reemplazando valores queda  $S_D = 124.24 < 100.013$  por lo que  $V_{max}$  se da en  $A_1$ . Sabiendo esto se puede utilizar la fórmula de  $V_{max}$  en  $A_1$ ,

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} V_g \quad (4.12)$$

Primero se calcula la velocidad con que suben los gases.

#### 4.3.4 Cálculo de la velocidad de los gases

Para el cálculo de la velocidad de los gases se utilizará el flujo másico del gas anteriormente hallado y el área transversal de los tubos.



$$\dot{m}_{GAS} = \rho * A * V_g$$

Donde el área transversal de los tubos es:

$$A = S_T * N * L = 0.111 [m] * 65 * 1.5 [m] = 10.83 [m^2]$$

La densidad del gas se toma a la temperatura inicial, reemplazando estos valores en la formula anterior, queda:

$$V_g = \frac{36.68 \left[ \frac{Kg}{s} \right]}{0.3081 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] * 10.83 [m^2]} = 11 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Por la ecuación 4.12:

$$V_{max} = \frac{0.111[m] * 11 \left[ \frac{m}{s} \right]}{0.111[m] - 0.089[m]} = 55.5 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Retornando a la formula de Reynolds, ecuación 4.11 y la de Nusselt, ecuación 4.10 se obtiene:

$$Re_D = \frac{0.316 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] * 55.5 \left[ \frac{m}{s} \right] * 0.089 [m]}{449.6 \times 10^{-7} \left[ \frac{Ns}{m^2} \right]} = 34717.13$$

$$Nu_D = 1.13 * C_1 * Re_{D,max}^m * Pr^{1/3},$$

Para esto se debe calcular la constante  $C_1$  y  $m$  de la ecuación anterior.

**TABLA 7.5** Constantes de las ecuaciones 7.61 y 7.63 para el flujo de aire sobre un banco de tubos de 10 o más líneas [20]

$S_T/D$	$S_T/D$							
	1.25		1.5		2.0		3.0	
	$C_1$	$m$	$C_1$	$m$	$C_1$	$m$	$C_1$	$m$
<b>Alineado</b>								
1.25	0.348	0.592	0.275	0.608	0.100	0.704	0.0633	0.752
1.50	0.367	0.586	0.250	0.620	0.101	0.702	0.0678	0.744
2.00	0.418	0.570	0.299	0.602	0.229	0.632	0.198	0.648
3.00	0.290	0.601	0.357	0.584	0.374	0.581	0.286	0.608
<b>Escalonado</b>								
0.600	—	—	—	—	—	—	0.213	0.636
0.900	—	—	—	—	0.446	0.571	0.401	0.581
1.000	—	—	0.497	0.558	—	—	—	—
1.125	—	—	—	—	0.478	0.565	0.518	0.560
1.250	0.518	0.556	0.505	0.554	0.519	0.556	0.522	0.562
1.500	0.451	0.568	0.460	0.562	0.452	0.568	0.488	0.568
2.000	0.404	0.572	0.416	0.568	0.482	0.556	0.449	0.570
3.000	0.310	0.592	0.356	0.580	0.440	0.562	0.428	0.574

Tabla 4.10 Constantes de la ecuación de Nusselt.

$$S_T/D = S_L/D = 1.25$$

Utilizando la tabla 4.10,  $C_1 = 0.518$  y  $m = 0.556$ , reemplazando en la ecuación 4.10 se tiene:

$$Nu_D = 1.13 * 0.518 * 34717.131^{0.556} * 0.728^{1/3}$$

$$Nu_D = 176.20$$

Ahora se puede calcular el coeficiente convectivo interno, ecuación 4.7.

$$h_o = \frac{176.20 * 71.6 \times 10^{-3} \left[ \frac{W}{m^{\circ}K} \right]}{0.089[m]} = 141.75 \left[ \frac{W}{m^2 \circ K} \right]$$

Reemplazando en la ecuación 4.8 queda:

$$Rcv_{gas} = \frac{1}{141.75 \left[ \frac{W}{m^2 \circ K} \right]} = 0.007 \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$$

Habiendo calculado todas las resistencias térmicas se hace la sumatoria de las mismas:

$$\sum R_{TERMICAS} = Rcv_{aire} + Fouling_{int} + R_{cond} + Fouling_{ext} + Rcv_{gas}$$

$$\sum R_{TERMICAS} = 0.008 + 0 + 0.001 + 0.0018 + 0.007$$

$$\sum R_{TERMICAS} = 0.0178 \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$$

Y reemplazando en la formula de  $U_{real}$ , ecuación 4.5, queda:

$$U_{real} = \frac{1}{0.0178 \left[ \frac{m^2 \cdot K}{W} \right]} = 56.2 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

De aquí se procede a iterar hasta que el valor  $U_{teorico}$  se aproxime al  $U_{real}$ , los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.11:

# PRUEBA	$U_{TEORICO}$ [W/m <sup>2</sup> °K]	$U_{REAL}$ [W/m <sup>2</sup> °K]	# TUBOS
1	40	56,2	65
2	56,2	70,13	46
3	70,13	79,68	37
4	79,68	85,09	33
5	85,09	88,16	31
6	88,16	89,81	30
7	89,81	89,81	30

Tabla 4.11. Iteración de los Coeficientes de Transferencia

En base a estos resultados se obtiene que el sistema de tubos será conformado por 30 tubos al que se añade un factor de seguridad del 30% por evitar posibles incrustaciones y taponamientos que se van originar por el hollín. Al final el sistema constará de 39 tubos de 3 pulgadas de diámetro con una longitud de 1.5 metros de longitud.

## 4.4 Cálculo y selección del ventilador

### 4.4.1 Cálculo del flujo de aire necesario para el proceso

En la sección 4.3 se calculó el flujo másico de aire necesario para el sistema, ahora se hallará el caudal de aire.

$$\dot{Q}_{AIRE} = \frac{\dot{m}_{AIRE}}{\rho_{AIRE @ 40^{\circ}C}}$$

$$\dot{Q}_{AIRE} = \frac{14.10 \left[ \frac{Kg}{s} \right]}{1.1181 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]} = 12.61 \left[ \frac{m^3}{s} \right] = 755.08 \left[ \frac{m^3}{min} \right]$$

$$= 26719.08 \left[ \frac{ft^3}{min} \right]$$

### Selección de reducción de área para conducto de ventilación

Para poder definir el conducto de ventilación se usará la fórmula del caudal, que relaciona el área transversal y la velocidad.

$$Q = V * A$$

Donde  $A = 72 \text{ m}^2$  que es la suma del área de cada cámara, entonces:

$$V = \frac{12.61 \left[ \frac{m^3}{s} \right]}{72 \left[ m^2 \right]} = 0.175 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Sin embargo en esta ecuación no está incluida el área de ducto que también puede afectar la velocidad. Se sabe que los valores de

velocidad para este tipo de cámara deben fluctuar entre 6 y 9 m/s, por lo que se asume una velocidad de 9 m/s.

En base a esta velocidad y caudal calculado se determinan las secciones del ducto, que tendrá un diseño como se muestra en la figura 4.24.

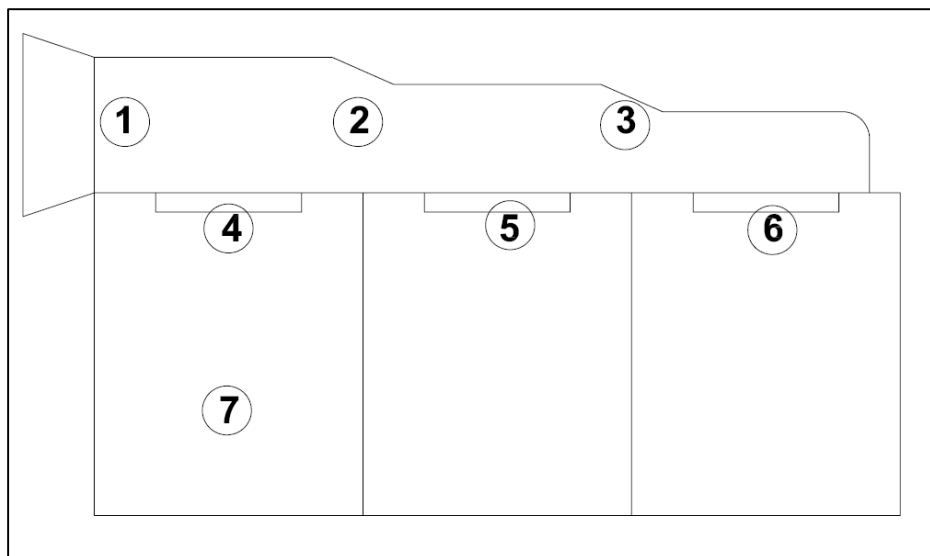


Figura 4.24 Croquis de distribución de aire

- **Sección 1- 2**

Se asume una velocidad de 9 m/s en la entrada del conducto 1-2 y con el caudal conocido se calcula el área. Se define como caudal total al caudal del aire para fines de escritura.

$$A_1 = \frac{Q_T}{V} = \frac{12.61 \left[ \frac{m^3}{s} \right]}{9 \left[ \frac{m}{s} \right]} = 1.40 [m^2]$$

Basándose en la tabla de corrección de sección circular a rectangular que indica la relación entre diámetro equivalente y los lados que conforman una sección rectangular figura A1 del apéndice.

$$A = 1.40 [m^2]$$

$$d_{eq\ 1-2} = 1.34 [m]$$

Utilizando la tabla se tiene que los lados de la sección rectangular para ducto 1-2 son:

$$a = 1 \text{ m}$$

$$b = 1.4 \text{ m}$$

- **Sección 2 - 3**

La velocidad se mantiene constante y el caudal en la sección 2-3 es las dos terceras partes del caudal total, así:

$$Q_{2-3} = \frac{2}{3} Q_T = 8.40 \left[ \frac{m^3}{s} \right] = 17784.92 \left[ \frac{ft^3}{min} \right]$$

Entonces el área 2 queda:

$$A_2 = \frac{Q_{2-3}}{V} = \frac{8.40 \left[ \frac{m^3}{s} \right]}{9 \left[ \frac{m}{s} \right]} = 0.94 [m^2]$$

Donde el diámetro equivalente 2-3

$$d_{eq\ 2-3} = 1.1 [m]$$

Utilizando la fig. A1 se tiene que los lados de la sección rectangular para ducto 2-3 son:

$$a = 1 \text{ m}$$

$$b = 0.94 \text{ m}$$

- **Sección 3-4**

Con la velocidad constante y el caudal en la sección 3-4 que es un tercio del caudal total, así:

$$Q_{3-4} = \frac{1}{3} Q_T = 4.20 \left[ \frac{m^3}{s} \right] = 8892.5 \left[ \frac{ft^3}{min} \right]$$

Entonces el área 2 queda:

$$A_1 = \frac{Q_{3-4}}{V} = \frac{4.20 \left[ \frac{m^3}{s} \right]}{9 \left[ \frac{m}{s} \right]} = 0.47 [m^2]$$

Donde el diámetro equivalente 3-4 es:

$$d_{eq\ 3-4} = 0.8 [m]$$

Utilizando la fig. A1 se tiene que los lados de la sección rectangular para ducto 2-3 son:

$$a = 1 \text{ m}$$

$$b = 0.47 \text{ m.}$$



#### 4.4.2 Pérdidas de presión del sistema

El ventilador a seleccionar debe vencer todas las pérdidas existentes en el sistema de modo que el aire caliente pueda la columna de grano de arroz para reducir la humedad del mismo. Estas pérdidas son las sumas de las siguientes caídas de presión.

##### 1. Caída de presión en el Acople Ventilador-Ducto

Para determinar el área de salida del ventilador, se analizará la tabla de ventiladores centrífugos y en base a lo que se tiene en el medio asumimos Área entrada= 1.92 [m<sup>2</sup>]

Donde

$$d_{acople} = 1.56 [m] = 5.12 [ft]$$

$$\text{Salida: } 1[m] \times 1.4 [m], d_{eq\ 1-2} = 1.34 [m] = 4.4 [ft]$$

La longitud del acople es 0,60 [m]

$$\mathbf{Angulo} = \mathbf{\tan^{-1} \left( \frac{d_{entrada} - d_{salida}}{2 * l} \right)}$$

$$Angulo = \tan^{-1} \left( \frac{1.56 [m] - 1.34[m]}{2 * 0.6 [m]} \right)$$

$$\theta = 10.4^{\circ}$$

Por la tabla A.2 se tiene que la perdida a un ángulo de 10° es de 0.06.

- **Presión a la velocidad de entrada**

$$P_{Ve} = \left( \frac{Q_T * 4}{\pi * d_{acople}^2 * 4005} \right)^2$$

$$P_{Ve} = \left( \frac{26719.08 * 4}{\pi * 5.12^2 * 4005} \right)^2 = 0.105 \text{ in de } H_2O$$

- **Presión a la velocidad de salida**

$$P_{Vs} = \left( \frac{Q_T * 4}{\pi * d_{eq1-2}^2 * 4005} \right)^2$$

$$P_{Vs} = \left( \frac{26719.08 * 4}{\pi * 4.4^2 * 4005} \right)^2 = 0.193 \text{ in de } H_2O$$

$$P_{Acople} = (0.193 - 0.105) * (1 + 0.06) = 0.093 \text{ in de } H_2O$$

## 2. Caída de presión en el Ducto1-2

Para efectos de cálculos se asumirá que la velocidad del aire en el ducto permanecerá constante. Al utilizar el caudal de la sección 1-2 y la velocidad del aire en el ducto, se calcula la caída de presión en este por medio de la figura A2.

$$Q_T = 12.61 \left[ \frac{m^3}{s} \right] \text{ y } V = 9 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$P_{1-2} = 0.5 \left[ \frac{Pa}{m} \right] * L$$

Como la longitud del ducto es de 2.7 [m], la pérdida de presión en el tramo 1-2 queda:

$$P_{1-2} = 0.5 \frac{Pa}{m} * 2.7[m] = 1.35[Pa] = 0.004 \text{ in de } H_2O$$

### 3. Caída de presión por Acople Ducto 2-3

$$Entrada = 1[m] * 1.4[m] = d_{eq\ 1-2} = 1.34 [m] = 4.4 [ft]$$

$$Salida = 1[m] * 0.94[m] = d_{eq\ 2-3} = 1.1 [m] = 3.6[ft]$$

La longitud del acople es 0,90 [m]

$$Angulo = \tan^{-1} \left( \frac{d_{entrada} - d_{salida}}{l} \right)$$

$$Angulo = \tan^{-1} \left( \frac{1.34 [m] - 1.10[m]}{0.90[m]} \right)$$

$$\theta = 15^\circ$$

Por la tabla A.2 se tiene que la perdida a un ángulo de 15° es de 0.08.

- **Presión a la velocidad de entrada**

$$P_{Ve} = \left( \frac{Q_{2-3} * 4}{\pi * d_{entrada}^2 * 4005} \right)^2$$

$$P_{Ve} = \left( \frac{17784.92 * 4}{\pi * 4.4^2 * 4005} \right)^2 = 0.08 \text{ in de } H_2O$$

- **Presión a la velocidad de salida**

$$P_{VS} = \left( \frac{Q_{2-3} * 4}{\pi * d_{salida}^2 * 4005} \right)^2$$

$$P_{VS} = \left( \frac{17784.92 * 4}{\pi * 3.6^2 * 4005} \right)^2 = 0.19 \text{ in de } H_2O$$

$$P_{Acople 2} = (0.19 - 0.08) * (1 + 0.08) = 0.12 \text{ in de } H_2O$$

#### 4. Caída de presión en el Ducto 2-3

Al utilizar el caudal de la sección 2-3 y la velocidad del aire en el ducto, se calcula la caída de presión en este por medio de la figura A2.

$$Q_{2-3} = 8.40 \left[ \frac{m^3}{s} \right] \text{ y } V = 9 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$P_{2-3} = 0.83 \left[ \frac{Pa}{m} \right] * L$$

Como la longitud del ducto es de 2.2 [m], la pérdida de presión en el tramo 2-3 queda:

$$P_{2-3} = 0.83 \left[ \frac{Pa}{m} \right] * 2.2[m] = 1.83[Pa] = 0,007 \text{ in de } H_2O$$

### 5. Caída de presión por Acople Ducto 3-4

$$Entrada = 1[m] * 0.94[m] = d_{eq\ 2-3} = 1.1 [m] = 3.6[ft]$$

$$Salida = 1[m] * 0.47[m] = d_{eq\ 3-4} = 0.8 [m] = 2.6[ft]$$

La longitud del acople es 0,90 [m]

$$Angulo = \tan^{-1} \left( \frac{d_{entrada} - d_{salida}}{l} \right)$$

$$Angulo = \tan^{-1} \left( \frac{1.1 [m] - 0.8[m]}{0.90[m]} \right)$$

$$\theta = 18^{\circ}$$

Por la tabla A.2 se tiene que la pérdida a un ángulo de 20° es de 0.1.

- **Presión a la velocidad de entrada**

$$P_{Ve} = \left( \frac{Q_{3-4} * 4}{\pi * d_{entrada}^2 * 4005} \right)^2$$

$$P_{Ve} = \left( \frac{8892.5}{\pi * 3.6^2 * 4005} \right)^2 = 0.05 \text{ in de } H_2O$$

- **Presión a la velocidad de salida**

$$P_{Vs} = \left( \frac{Q_{3-4} * 4}{\pi * d_{salida}^2 * 4005} \right)^2$$

$$P_{VS} = \left( \frac{8892.5 * 4}{\pi * 2.6^2 * 4005} \right)^2 = 0.17 \text{ in de } H_2O$$

$$P_{Acople 3} = (0.17 - 0.05) * (1 + 0.1) = 0.13 \text{ in de } H_2O$$

## 6. Caída de presión en el Ducto 3 - 4

Al utilizar el caudal de la sección 3-4 y la velocidad del aire en el ducto, se calcula la caída de presión en este por medio de la figura A2.

$$Q_{3-4} = 4.20 \left[ \frac{m^3}{s} \right] \text{ y } V = 9 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$P_{3-4} = 0.97 \left[ \frac{Pa}{m} \right] * L$$

Como la longitud del ducto es de 2.3 [m], la pérdida de presión en el tramo 3-4 queda:

$$P_{3-4} = 0.97 \left[ \frac{Pa}{m} \right] * 2.3[m] = 2.2[Pa] = 0,008 \text{ in de } H_2O$$

## 7. Caída de presión por la expansión Ducto- Cámara (4).

Para hallar la caída de presión del Ducto - Cámara se debe encontrar el diámetro equivalente de la cámara que tiene 24 [m<sup>2</sup>], para ello se utiliza la fórmula de Eusbscher.

$$d_0 = 1.3 \sqrt[8]{\frac{(a * b)^5}{(a + b)^2}}$$

$$d_0 = 1.3 \sqrt[8]{\frac{(3 * 8)^5}{(3 + 8)^2}} = 5.2 [m]$$

De la sección anterior se tiene:

$$d_{eq\ 1-2} = 1.34 [m]$$

Al dividir queda lo siguiente:

$$\frac{d_0}{d_{eq\ 1-2}} = 3.88$$

Debido a que en el sistema la longitud de entrada de la cámara es mínima y el ángulo es abrupto se ocupará el valor crítico de la tabla.

Por la figura A3 se tiene:

$$R = 0.25 \text{ (reganancia)}$$

- **Presión a la velocidad de entrada**

$$P_{Ve} = \left( \frac{Q_{1-2} * 4}{\pi * d_{entrada}^2 * 4005} \right)^2$$

$$P_{Ve} = \left( \frac{26719.08 * 4}{\pi * 4.4^2 * 4005} \right)^2 = 0.192 \text{ in de } H_2O$$

- **Presión a la velocidad de salida**

$$P_{VS} = \left( \frac{Q_{1-2} * 4}{\pi * d_o^2 * 4005} \right)^2$$

$$P_{VS} = \left( \frac{26719.08 * 4}{\pi * 17.06^2 * 4005} \right)^2 = 0.0008 \text{ in de } H_2O$$

$$PDI = 0.25(0.0008 - 0.193) = -0.048 \text{ in de } H_2O$$

### 8. Caída de presión por la expansión Ducto- Cámara (5).

Utilizando la formula de Eusbscher

$$d_0 = 1.3 \sqrt[8]{\frac{(3 * 8)^5}{(3 + 8)^2}} = 5.2 \text{ [m]}$$

De la sección anterior se tiene

$$d_{eq\ 2-3} = 1.1 \text{ [m]}$$

Al dividir queda lo siguiente

$$\frac{d_0}{d_{eq\ 2-3}} = 4.73$$

Igual que en el caso anterior la reganancia es igual a 0.25.

- **Presión a la velocidad de entrada**

$$P_{Ve} = \left( \frac{Q_{2-3} * 4}{\pi * d_{entrada}^2 * 4005} \right)^2$$



$$P_{Ve} = \left( \frac{17784.92 * 4}{\pi * 3.6^2 * 4005} \right)^2 = 0.19 \text{ in de } H_2O$$

- **Presión a la velocidad de salida**

$$P_{VS} = \left( \frac{Q_{2-3} * 4}{\pi * d_0^2 * 4005} \right)^2$$

$$P_{VS} = \left( \frac{17784.92 * 4}{\pi * 17.06^2 * 4005} \right)^2 = 0.00038 \text{ in de } H_2O$$

$$PDI = 0.25(0.00038 - 0.19) = -0.047 \text{ in de } H_2O$$

### 9. Caída de presión por la expansión Ducto- Cámara (6).

Utilizando la formula de Eusbscher

$$d_0 = 1.3 \sqrt[8]{\frac{(3 * 8)^5}{(3 + 8)^2}} = 5.2 \text{ [m]}$$

De la sección anterior se tiene:

$$d_{eq\ 3-4} = 0.8 \text{ [m]}$$

Al dividir queda lo siguiente

$$\frac{d_0}{d_{eq\ 2-3}} = 6.5$$

Igual que en el caso anterior la reganancia es igual a 0.25.

- **Presión a la velocidad de entrada**

$$P_{Ve} = \left( \frac{Q_{3-4} * 4}{\pi * d_{entrada}^2 * 4005} \right)^2$$

$$P_{Ve} = \left( \frac{8892.5 * 4}{\pi * 2.6^2 * 4005} \right)^2 = 0.175 \text{ in de } H_2O$$

- **Presión a la velocidad de salida**

$$P_{Vs} = \left( \frac{Q_{2-3} * 4}{\pi * d_0^2 * 4005} \right)^2$$

$$P_{Vs} = \left( \frac{8892.5 * 4}{\pi * 17.06^2 * 4005} \right)^2 = 0.00009 \text{ in de } H_2O$$

$$PDI = 0.25(0.00009 - 0.175) = -0.044 \text{ in de } H_2O$$

## 10. Caída de presión en la Cámara.

Conociendo el caudal y la velocidad en la cámara se tiene:

$$\dot{Q}_{3-4} = 4.20 \left[ \frac{m^3}{s} \right] \text{ y } V = 9 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$P_{3-4} = 0.97 \left[ \frac{Pa}{m} \right] * L$$

Como la longitud del ducto es de 2.3 [m], la pérdida de presión en el tramo 3-4 queda:

$$P_{3-4} = 0.97 \frac{Pa}{m} * 8[m] = 7.76 [Pa] = 0,031 \text{ in de } H_2O$$

Se asume la misma caída de presión para las tres cámaras, ya que en la sección 3-4 es el punto crítico.

### 11. Caída de presión en las Láminas Perforadas.

Las láminas perforadas que se usan y que se encuentran en forma comercial en el medio tienen las siguientes características:

#### Relación entre Área laminada y Área perforada:

$$\frac{A_H}{A_L} = 0.35$$

El diámetro de los agujeros es de 2 [mm], que es el diámetro mínimo para que el grano de arroz no pase. Y la velocidad es de 0.175 [m/s] = 0,574[ft/seg.]

Al obtener el número de Reynolds se tiene:

$$Re = \frac{V * d_H}{\nu * \frac{A_H}{A_L}}$$

$$Re = \frac{0.175 \frac{m}{s} * 0.002[m]}{1.593 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s} * 0.35} = 62.8$$

Como el número de Reynolds se encuentra entre  $60 < Re < 1000$  se tiene:

$$C'_d = \frac{6}{Re^{0.33}}$$

$$C'_d = \frac{6}{62.8^{0.33}} = 1.53$$

Se asume un área perforada del 35% del área total de la plancha, por la figura A3, se tiene que  $\frac{C_d}{C'_d} = 5$

Entonces:

$$C_d = 7.65$$

Entonces la caída de presión viene expresada por la siguiente fórmula:

$$P_{LP} = \frac{C_d * \rho_d * V^2}{2 * 32.2 * 5.19}$$

$$P_{LP} = \frac{7.65 * 0.064 * 0.57^2}{2 * 32.2 * 5.19} = 0.00048 \text{ in de } H_2O$$

## 12. Caída de presión a través de la columna de Grano.

Utilizando la velocidad a la salida de la cámara (entrada de la columna de grano) que es de  $0,175 \text{ [m/s]} = 34.44 \text{ [ft/s]}$  y la figura A4 se extrapola la curva de arroz la cual se encuentra a una humedad relativa del 13%.

$$\frac{P_{cg}}{\text{pie}} = 0.9 \text{ in de } H_2O$$

Al realizar la corrección ya que la columna de arroz ingresa al 24% de humedad se tiene:

$$\frac{P_{cg}}{\rho_{ie}} = 0.9 \text{ in de } H_2O * 0.7 = 0.63 \text{ in de } H_2O$$

Siendo la máxima altura de granos  $0.47 \text{ [m]} = 1.54 \text{ [ft]}$  se obtiene:

$$P_{cg} = 0.63 \text{ in de } H_2O * 1.54 \text{ [ft]} = 0.97 \text{ in de } H_2O$$

La presión estática total es la suma de todas las presiones anteriores.

$$\begin{aligned} \Delta P_S &= 0.093 + 0.04 + 0.12 + 0.007 + 0.13 + 0.008 - 0.048 - 0.047 \\ &\quad - 0.044 + (3 * 0.031) + 0.00048 + 0.97 \\ \Delta P_S &= 1.32 \text{ in de } H_2O \end{aligned}$$

Se asume un 30% adicional en el valor total de las perdidas por caída de presión correspondientes al intercambiador de calor.

$$\Delta P_S = 1.32 \text{ in de } H_2O * 1.3 = 1.72 \text{ in de } H_2O$$

#### 4.4.3 Cálculo de potencia del motor eléctrico

La Potencia del motor eléctrico, expresada en watts, viene determinada por la siguiente fórmula:

$$\varphi = \frac{Q * P_S}{\eta}$$

Donde:

$$\varphi = \frac{12.61 \left[\frac{m^3}{s}\right] * 398.54[Pa]}{0.52}$$

$$\varphi = 9665 [Watts]$$

$$\varphi = 9.16 k[watts] \cong 12.96 [HP]$$

#### 4.4.3 Selección del ventilador

Se escoge un ventilador Centrífugo que satisfaga las siguientes características:

$$Q = 12.61 \left[\frac{m^3}{s}\right] \cong 27000 [cfm]$$

$$\Delta P_s = 1.72 \text{ in de } H_2O$$

$$\varphi = 9.16 k[watts] \cong 12.96 [HP]$$

# **CAPÍTULO 5**

## **5. ANÁLISIS ECONÓMICO**

### **5.1 Costo de materiales**

Se ha considerado que los materiales a ocuparse para la elaboración de este proyecto sean de fácil adquisición en el mercado nacional y así facilitar su construcción y abaratar su costo.

A continuación se muestra una tabla esquemática en la cual se detalla la cantidad de material a ocuparse con sus respectivos precios

ANÁLISIS DE PRECIOS		MES Junio				
OBRA Proyecto de Graduación		EMPRESA OFERENTE CONSTRUCCIONES FMD				
RUBRO 1	CAMARA DE SECADO ESTRUCTURA METALICA	UNID	Unid	CANT	3,00	
DESCRIPCIÓN		UNID	CANT	P.UNIT	PARC	
MÁQUINAS Y EQUIPOS	1	Máquina de soldar de corriente continua (SMAW)	día	5,00	25,20	126,00
	2	Cortadora	día	5,00	2,46	12,32
	3	Herramientas varias	día	5,00	2,24	11,20
					<b>A</b>	<b>149,52</b>
MATERIALES	1	Tubería cuadrada 60 x 3mm de 6m	Unid	11,00	23,52	258,72
	2	Varilla redonda de 10 mm x 12m	Unid	16,00	7,50	120,06
	3	Plancha de aluminio perforada 1x2 m x 2mm	Unid	12,00	92,83	1113,91
	4	Disco de corte 1/16"	unid	8,00	2,91	23,30
	5	Electrodos E6011	Kg	15,00	4,03	60,48
	6	Anticorrosivo	galón	2,00	19,71	39,42
	7	Pintura esmalte	galón	2,00	16,80	33,60
	8	Tiñer	galón	3,00	6,05	18,14
	9	Disco de desbaste 1/4"	unid	4,00	3,58	14,34
					<b>B</b>	<b>1681,97</b>
MANO DE OBRA	1	Soldador calificado en proceso SMAW	hora	40,00	5,60	224,00
	2	Ayudante de soldador	hora	56,00	3,75	210,11
					<b>C</b>	<b>434,11</b>
			A	149,52		
D COSTO DIRECTO (A + B + C)			B	1681,97		
			C	434,11		
F COSTO TOTAL DIRECTO DEL RUBRO			2265,60			
					<b>G</b>	<b>6796,81</b>
<b>G PRECIO FINAL DE VENTA DEL RUBRO</b>					<b>6796,81</b>	

Tabla 5.1 Costos de cámara de secado estructura metálica



ANÁLISIS DE PRECIOS		MES Junio				
OBRA Proyecto de Graduación		EMPRESA OFERENTE CONSTRUCCIONES FMD				
RUBRO 2	CAMARA DE SECADO OBRA CIVIL	UNID	Unid	CANT	1,00	
DESCRIPCIÓN		UNID	CANT	P.UNIT	PARC	
MATERIALES	1	Varilla redonda de 10 mm x 12m	Unid	43,00	7,50	322,67
	2	Varilla redonda de 8 mm x 12m	Unid	93,00	5,54	515,59
	3	Bloques de 10 cm	Unid	950,00	0,24	223,44
	4	Funda de cemento	Unid	190,00	7,62	1447,04
	5	Pintura esmalte	galón	12,00	16,80	201,60
	6	Tiñer	galón	6,00	6,05	36,29
	7	Carbonato	Funda	2,00	12,88	25,76
	8	Resina	galón	4,00	12,10	48,38
	9	Alambre de amarre	lb	50,00	1,11	55,44
	10	Tabla de encofrado de 6 ml	Unid	70,00	2,02	141,12
	11	Clavo de acero 2 1/2"	lb	40,00	1,01	40,32
	12	Lastre fino	m3	9,00	30,24	272,16
	13	Grava de río N° 5	m3	4,00	25,20	100,80
	14	Arena de río	m3	4,00	25,20	100,80
					<b>A</b>	<b>3531,42</b>
MANO DE OBRA	1	Trabajo de albañilería, pegado de bloque	m2	88,00	3,53	310,46
	2	Trabajo de albañilería, fundida de losa	m3	10,00	134,96	1349,60
	3	Trabajo de albañilería, columna	Unid	16,00	60,03	960,51
	4	Trabajo de albañilería, enlucido de pared	m2	88,00	3,53	310,46
	5	Trabajo de pintura de pared	m2	88,00	1,68	147,84
					<b>B</b>	<b>3078,88</b>
D COSTO DIRECTO (A + B)		A	3531,42			
		B	3078,88			
F COSTO TOTAL DIRECTO DEL RUBRO			6610,30			
<b>G PRECIO FINAL DE VENTA DEL RUBRO</b>					<b>6610,30</b>	

Tabla 5.2 Costos de cámara de secado obra Civil

ANÁLISIS DE PRECIOS		MES Junio				
OBRA Proyecto de Graduación		EMPRESA OFERENTE CONSTRUCCIONES FMD				
RUBRO 3	DUCTO DE VENTILACION Y ACOPLE DE VENTILADOR	UNID	Glb	CANT	1,00	
DESCRIPCIÓN		UNID	CANT	P.UNIT	PARC	
EQUIPO	1	Ventilador GREENHECK SWB 27000 CFM	Glb	1	6310,08	6310,08
					A	6310,08
MATERIALES	1	Kilos de ducto galvanizado aislado con lana de vidrio	Kg	280	5,2976	1483,33
					B	1483,33
MANO DE OBRA	1	Trabajo de ensamble e instalacion en campo	Glb	1	280	280
					C	280,00
D COSTO DIRECTO (A + B )		A	6310,08			
		B	1483,33			
		C	280,00			
F COSTO TOTAL DIRECTO DEL RUBRO		8073,41				
G PRECIO FINAL DE VENTA DEL RUBRO		8073,41				

TABLA 5.3 Costos de ducto de ventilación y acople de ventilador

ANÁLISIS DE PRECIOS		MES Junio				
OBRA Proyecto de Graduación		EMPRESA OFERENTE CONSTRUCCIONES FMD				
RUBRO 4	ESTRUCTURA DE HORNO, CHIMENEA E INTERCAMBIADOR DE CALOR	UNID	Unid	CANT	1,00	
DESCRIPCIÓN		UNID	CANT	P.UNIT	PARC	
MÁQUINAS Y EQUIPOS	1	Motor AGMA clase 3 de ¼ HP (8 rpm)	unid	1,00	112,00	112,00
	2	Tornillo sin fin COD. 4H206 MARTIN	unid	1,00	3119,20	3119,20
	3	Oxicorte	Glb	1,00	324,80	324,80
	4	Máquina de soldar de corriente continua (SMAW)	día	20,00	25,20	504,00
	5	Maquina fresadora o Taladro industrial	Glb	1,00	672,00	672,00
				<b>A</b>	<b>4732,00</b>	
MATERIALES	1	Plancha de acero ASTM-A36 1,22x2,44 m x 9mm (	Unid	4,00	329,50	1318,02
	2	Plancha de acero ASTM-A36 1,22x2,44 m x 3mm (	Unid	2,00	78,39	156,78
	3	Plancha de acero ASTM-A36 1,22x2,44 m x 4mm (	Unid	4,00	140,00	560,00
	4	Plancha de acero ASTM-A36 1,22x2,44 m x 6mm (	Unid	4,00	148,43	593,73
	5	Angulo 60 x 6mm de 6m	Unid	4,00	69,44	277,76
	6	Plancha de acero ASTM-A36 1,22x2,44 m x 12mm	Unid	1,00	305,76	305,76
	7	Ladrillo refractario 230 x 114 x 64 mm (1300°C)	Unid	205,00	4,79	982,69
	8	Ladrillo aislante 230 x 114 x 64 mm (1300°C)	Unid	142,00	1,93	273,55
	9	Mortero seco	Funda	5,00	27,72	138,60
	10	Disco de corte 1/16"	unid	8,00	2,91	23,30
	11	Disco de desbaste 1/4"	unid	8,00	3,58	28,67
	12	Anticorrosivo	galón	5,00	19,71	98,56
	12	Pintura esmalte	galón	5,00	16,80	84,00
	13	Electrodos E7018	Kg	45,00	4,03	181,44
13	Electrodos E6011	Kg	25,00	4,03	100,80	
14	Tuberia para vapor (ASTM A53 cedula 40) Diametro	Unid	12,00	131,31	1575,71	
				<b>B</b>	<b>6699,36</b>	
MANO DE OBRERA	1	Soldador calificado en proceso SMAW	hora	120,00	5,60	672,00
	2	Soldador calificado en proceso SMAW	hora	120,00	5,60	672,00
	5	Ayudante de soldador	hora	130,00	3,75	487,76
				<b>C</b>	<b>1831,76</b>	
		A	4732,00			
D COSTO DIRECTO (A + B + C)		B	6699,36			
		C	1831,76			
F COSTO TOTAL DIRECTO DEL RUBRO		13263,12				
G PRECIO FINAL DE VENTA DEL RUBRO		13263,12				

Tabla 5.4 Costos de estructura de horno, chimenea e intercambiador de calor

ANÁLISIS DE PRECIOS			MES Junio			
OBRA Proyecto de Graduación			EMPRESA OFERENTE CONSTRUCCIONES FMD			
RUBRO	TOLVAS DE RECEPCION DE ARROZ Y CASCARILLA		UNID	Glb	CANT	1,00
			UNID	CANT	P.UNIT	PARC
MÁQUINAS Y EQUIPOS	1	Maquina de prelimpieza SCHULE GTR	Glb	1,00	8344,00	8344,00
	2	Tolva de almacenamiento de arroz en cascara	Glb	1,00	1344,00	1344,00
	3	Tolva de almacenamiento de cascarilla de arroz	Glb	1,00	1097,60	1097,60
	4	Elevador de Cangilones	Glb	2,00	2800,00	5600,00
				A		16385,60
	F	COSTO TOTAL DIRECTO DEL RUBRO			16385,60	
	G	PRECIO FINAL DE VENTA DEL RUBRO				16385,60

TABLA 5.5 Costos de tolvas de recepción de arroz y cascarilla

Con los rubros anteriores se obtiene el costo total del sistema.

ANÁLISIS DE PRECIOS			MES Junio			
OBRA Proyecto de Graduación			EMPRESA OFERENTE CONSTRUCCIONES FMD			
RUBRO	COSTO TOTAL		UNID	Glb	CANT	1
			DESCRIPCIÓN			COSTOS
PLANTA DE SECADO	1	Rubro 1				6796,81
	2	Rubro 2				6610,30
	3	Rubro 3				8073,41
	4	Rubro 4				13263,12
	5	Rubro 5				16385,60
			COSTO TOTAL			\$ 51129,23

TABLA 5.6 Costo total de planta de secado

## 5.2 Comparación de costos de nuestro sistema con los tradicionales

En el mercado existen varios proveedores que fabrican y realizan el montaje de estos sistemas, haciendo una comparación de costos se nota una mínima diferencia entre el sistema propuesto y los tradicionales.

ANÁLISIS DE PRECIOS		MES Junio		
OBRA Proyecto de Graduación		EMPRESA OFERENTE CONSTRUCCIONES FMD		
RUBRO 7	COMPARACION DE COSTOS DE NUESTRO SISTEMA CON LOS EXISTENTES EN EL MERCADO			
DESCRIPCIÓN		EVARIST	TALLERES MONTOYA	SISTEMA FMD
MÁQUINAS Y EQUIPOS	1 HORNO	16500,00	15000,00	13263,12
	2 VENTILADOR	8500,00	7800,00	8073,41
	3 ELEVADOR DE CANGILONES	2800,00	2600,00	2800,00
	4 3 CAMARAS	17400,00	14400,00	13407,11
	5 MAQUINA PRELIMPIEZA	9500,00	9200,00	8344,00
	6 2 TOLVAS DE RECEPCIÓN	5300,00	4900,00	5241,60
F COSTO TOTAL		60000,00	53900,00	51129,23

TABLA 5.7 Comparación de costos entre el sistema propuesto y los tradicionales

La ventaja fundamental entre el sistema propuesto y los tradicionales consiste en la disminución de las pérdidas de calor tanto en el plenum como en los ductos, lo que lo hace más eficiente y por lo tanto disminuye sus costos de operación y mantenimiento.

# CAPÍTULO 6

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

- Con este sistema el agricultor podrá tener la opción de disminuir el porcentaje de humedad de la gramínea ya sea para almacenarlo o comercializarlo a un mejor precio y obtener mayor ganancia.
- Al utilizar un combustible barato (cascarilla de arroz), se disminuye el costo de secado y se ayuda a disminuir el impacto ambiental que tendría el botar la cascarilla de arroz a los ríos, como actualmente sucede en algunas plantas de pilado.

- Como el sistema es construido en el medio, los costos de fabricación del mismo son menores de lo que costarían sistemas importados; además, de que los materiales utilizados son de fácil adquisición en el medio.
- Debido a que una reducción brusca de la humedad en el grano provoca daños en el mismo. En el sistema se considera una reducción en 2 etapas, las mismas que permiten una mejor calidad del grano, en caso de utilizarlo como semilla o mayor tiempo de almacenamiento para su consumo.
- El calor excesivo no acelera el proceso de secado, más bien, produce rajaduras en el grano; Es por este motivo que la temperatura en el plenum del sistema de secado no debe exceder de los 60°C, ya que en caso contrario se tendría una temperatura del grano en la parte superior de la cámara por encima de los 15°C de la temperatura respecto al ambiente, lo que provocaría daños en el producto y desperdicio de energía.
- Al utilizar el intercambiador de calor se elimina la contaminación de olores en los granos durante el proceso de secado, mejorando así su calidad, presentación y aceptación en el mercado del producto.

- Para evitar demasiadas pérdidas de energía en el ducto de ventilación se usa lana de vidrio como aislante, lo cual evita que existan pérdidas de calor altas a través de las paredes.
- La parrilla utilizada es el sistema más eficiente para la quema de este tipo de combustible ya que al tener un grado de inclinación de 40° permite que la cascarilla circule y alcance a quemarse en su totalidad y al mismo tiempo facilita la recolección de las cenizas por medio del tornillo sin fin.
- El sistema diseñado para alimentar al horno con cascarilla es el más apropiado, dado que, la válvula de exclusiva, con intervalos pequeños de tiempo garantiza una quema completa y mejor aprovechamiento del combustible.

## **6.2 Recomendaciones**

- Se recomienda realizar un mantenimiento periódico cada 2 meses, que consiste en una limpieza completa del sistema e inspecciones visuales de cada componente para verificar su correcto funcionamiento y evitar posibles daños.



- Se recomienda colocar una termocupla en cada plenum para así monitorear la temperatura de secado que no debe exceder los 60 grados centígrados.
- Al recibir el producto del campo se debe verificar el porcentaje de humedad del arroz cuando llegue a la planta, ya que esto permitirá saber cuántas etapas de secado se realizaran al producto.
- Sugerir la creación de políticas al gobierno para que a través del ministerio de agricultura se de incentivos para el uso de sistemas más eficientes que ayuden a reducir costos y aumentar la calidad del producto.
- Se recomienda que el sistema sea monitoreado mediante controles electromecánicos, con el apoyo de un software para garantizar su independencia en la operación de secado.

# APÉNDICES

APÉNDICE A  
TABLAS Y DIAGRAMAS

# A.1 Tabla de Merma durante el Secado

% de humedad en el grano	Porcentajes de mermas cuando el grano se seca a:																	
	9 %	9,5%	10 %	10,5%	11 %	11,5%	12 %	12,5%	13 %	13,5%	14 %	14,5%	15 %	15,5%	16 %	16,5%	17 %	
12,0	3,29	2,76	2,22	1,67	1,12	0,56	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12,5	3,84	3,31	2,78	2,23	1,68	1,13	0,57	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13,0	4,39	3,87	3,33	2,79	2,25	1,69	1,14	0,57	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13,5	4,94	4,42	3,89	3,35	2,81	2,26	1,70	1,14	0,57	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14,0	5,49	4,97	4,44	3,91	3,37	2,82	2,27	1,71	1,15	0,58	—	—	—	—	—	—	—	—
14,5	6,04	5,52	5,00	4,47	3,93	3,39	2,84	2,29	1,72	1,16	0,58	—	—	—	—	—	—	—
15,0	6,59	6,08	5,55	5,03	4,49	3,95	3,41	2,86	2,30	1,73	1,16	0,58	—	—	—	—	—	—
15,5	7,14	6,63	6,11	5,58	5,05	4,52	3,98	3,43	2,87	2,31	1,74	1,17	0,59	—	—	—	—	—
16,0	7,69	7,18	6,67	6,14	5,61	5,08	4,54	4,00	3,45	2,89	2,33	1,75	1,18	0,59	—	—	—	—
16,5	8,23	7,63	7,22	6,70	6,18	5,64	5,11	4,57	4,02	3,47	2,91	2,34	1,76	1,18	0,59	—	—	—
17,0	8,78	8,29	7,78	7,26	6,74	6,21	5,68	5,14	4,60	4,05	3,49	2,92	2,35	1,77	1,19	0,60	—	—
17,5	9,33	8,84	8,33	7,82	7,30	6,77	6,25	5,71	5,17	4,62	4,07	3,51	2,94	2,37	1,20	0,60	—	—
18,0	9,88	9,39	8,89	8,38	7,86	7,34	6,82	6,29	5,74	5,20	4,65	4,09	3,53	2,96	2,38	1,21	0,61	—
18,5	10,43	9,94	9,44	8,94	8,42	7,90	7,38	6,86	6,32	5,78	5,23	4,68	4,12	3,55	2,97	2,39	1,21	0,61
19,0	10,98	10,50	10,00	9,49	8,98	8,47	7,95	7,43	6,89	6,36	5,81	5,26	4,70	4,14	3,57	2,99	2,41	0,62
19,5	11,53	11,05	10,55	10,05	9,54	9,03	8,52	8,00	7,47	6,94	6,40	5,84	5,29	4,73	4,16	3,59	3,01	0,63
20,0	12,08	11,60	11,11	10,61	10,11	9,60	9,09	8,57	8,04	7,51	6,98	6,43	5,88	5,32	4,76	4,19	3,61	0,64
20,5	12,63	12,15	11,66	11,17	10,67	10,16	9,66	9,14	8,62	8,09	7,56	7,01	6,47	5,91	5,35	4,79	4,22	0,65
21,0	13,18	12,71	12,22	11,73	11,23	10,72	10,22	9,71	9,19	8,67	8,14	7,60	7,06	6,51	5,95	5,39	4,82	0,66
21,5	13,72	13,26	12,78	12,29	11,79	11,29	10,79	10,29	9,77	9,25	8,72	8,18	7,64	7,10	6,54	5,98	5,42	0,67
22,0	14,27	13,81	13,33	12,84	12,35	11,85	11,36	10,86	10,34	9,83	9,30	8,77	8,23	7,69	7,14	6,58	6,02	0,68
22,5	14,82	14,36	13,89	13,40	12,91	12,42	11,93	11,43	10,91	10,40	9,88	9,35	8,82	8,28	7,73	7,18	6,63	0,69
23,0	15,37	14,92	14,44	13,96	13,48	12,98	12,50	12,00	11,49	10,98	10,47	9,94	9,41	8,87	8,33	7,78	7,23	0,70
23,5	15,92	15,47	15,00	14,52	14,04	13,55	13,06	12,57	12,06	11,56	11,05	10,52	10,00	9,46	8,92	8,38	7,83	0,71
24,0	16,47	16,02	15,55	15,08	14,60	14,11	13,63	13,14	12,64	12,14	11,63	11,10	10,58	10,05	9,52	8,98	8,43	0,72
24,5	17,02	16,57	16,11	15,64	15,16	14,68	14,20	13,72	13,21	12,72	12,21	11,69	11,17	10,65	10,11	9,58	9,04	0,73
25,0	17,57	17,13	16,66	16,20	15,72	15,24	14,77	14,29	13,79	13,29	12,79	12,27	11,76	11,24	10,71	10,17	9,64	0,74
25,5	18,12	17,68	17,22	16,75	16,28	15,81	15,34	14,86	14,36	13,87	13,37	12,86	12,35	11,83	11,30	10,77	10,24	0,75
26,0	18,67	18,23	17,78	17,31	16,84	16,37	15,90	15,43	14,94	14,45	13,96	13,47	12,94	12,42	11,90	11,37	10,84	0,76
26,5	19,21	18,78	18,33	17,87	17,41	16,93	16,47	16,00	15,51	15,03	14,54	14,03	13,52	13,01	12,49	11,97	11,45	0,77
27,0	19,76	19,34	18,89	18,43	17,97	17,50	17,04	16,57	16,09	15,61	15,12	14,61	14,11	13,60	13,09	12,57	12,05	0,78
27,5	20,31	19,89	19,44	18,99	18,53	18,06	17,61	17,14	16,66	16,18	15,70	15,20	14,70	14,20	13,68	13,17	12,65	0,79
28,0	20,86	20,44	20,00	19,55	19,09	18,63	18,18	17,72	17,23	16,76	16,28	15,78	15,29	14,79	14,28	13,76	13,25	0,80
28,5	21,41	20,99	20,55	20,11	19,65	19,14	18,74	18,29	17,81	17,34	16,86	16,37	15,88	15,38	14,87	14,36	13,86	0,81
29,0	21,96	21,54	21,11	20,66	20,21	19,76	19,31	18,86	18,38	17,92	17,44	16,95	16,46	15,97	15,47	14,96	14,46	0,82
29,5	22,51	22,10	21,66	21,22	20,77	20,32	19,88	19,43	18,96	18,50	18,03	17,53	17,05	16,56	16,06	15,56	15,06	0,83
30,0	23,06	22,65	22,22	21,78	21,34	20,89	20,45	20,00	19,53	19,07	18,61	18,12	17,64	17,15	16,66	16,16	15,66	0,84
30,5	23,61	23,20	22,77	22,34	21,90	21,45	21,02	20,57	20,11	19,65	19,19	18,70	18,23	17,74	17,25	16,76	16,27	0,85
31,0	24,16	23,76	23,33	22,90	22,46	22,01	21,58	21,14	20,68	20,23	19,77	19,29	18,82	18,34	17,85	17,36	16,87	0,86
31,5	24,70	24,31	23,89	23,46	23,02	22,58	22,15	21,72	21,26	20,81	20,35	19,87	19,40	18,93	18,44	17,95	17,47	0,87
32,0	25,25	24,86	24,44	24,01	23,58	23,14	22,72	22,29	21,83	21,39	20,93	20,46	19,99	19,52	19,04	18,55	18,07	0,88
32,5	25,80	25,42	25,00	24,57	24,14	23,71	23,29	22,86	22,40	21,96	21,51	21,04	20,58	20,11	19,63	19,15	18,68	0,89
33,0	26,35	25,97	25,55	25,13	24,71	24,27	23,86	23,43	22,98	22,54	22,10	21,63	21,17	20,70	20,23	19,75	19,28	0,90
33,5	26,90	26,52	26,11	25,69	25,27	24,84	24,42	24,00	23,55	23,12	22,68	22,21	21,76	21,29	20,82	20,35	19,88	0,91
34,0	27,45	27,07	26,66	26,25	25,83	25,40	24,99	24,57	24,13	23,70	23,26	22,79	22,34	21,88	21,42	20,95	20,48	0,92
34,5	28,00	27,62	27,22	26,81	26,39	25,97	25,56	25,15	24,70	24,28	23,84	23,38	22,93	22,48	22,01	21,55	21,09	0,93
35,0	28,55	28,18	27,77	27,37	26,95	26,53	26,13	25,72	25,28	24,85	24,42	23,96	23,52	23,07	22,61	22,14	21,69	0,94
35,5	29,10	28,73	28,33	27,92	27,51	27,10	26,70	26,29	25,85	25,43	25,00	24,55	24,11	23,66	23,20	22,74	22,29	0,95
36,0	29,65	29,28	28,89	28,48	28,07	27,66	27,26	26,86	26,43	26,01	25,59	25,13	24,70	24,25	23,80	23,34	22,89	0,96

Cuadro 3. Mermas de secado

**Importante:** no hay que incurrir en el error en que caen algunas personas, que calculan la merma restando simplemente las humedades inicial y final; pues el valor que se obtiene es siempre menor que el real.

TABLA A2: PERDIDAS DE PRESION POR CONTRACCIONES

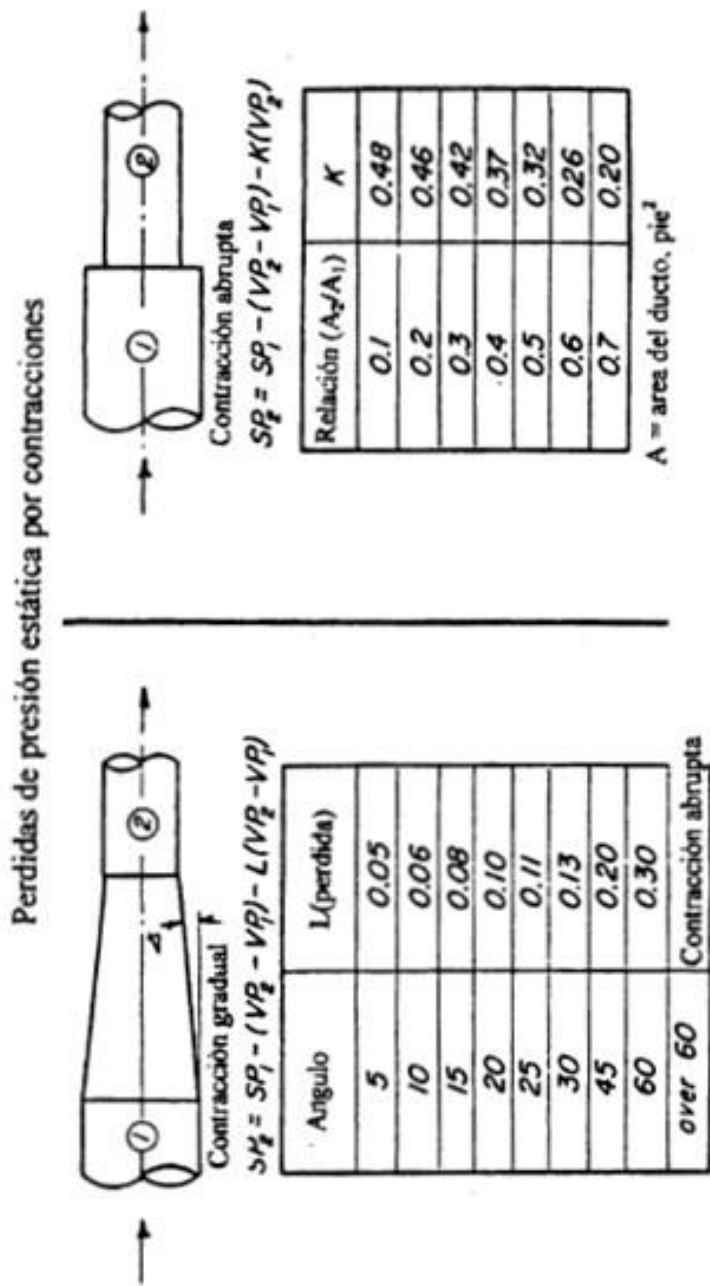


Figura A.1 Diámetro Equivalente

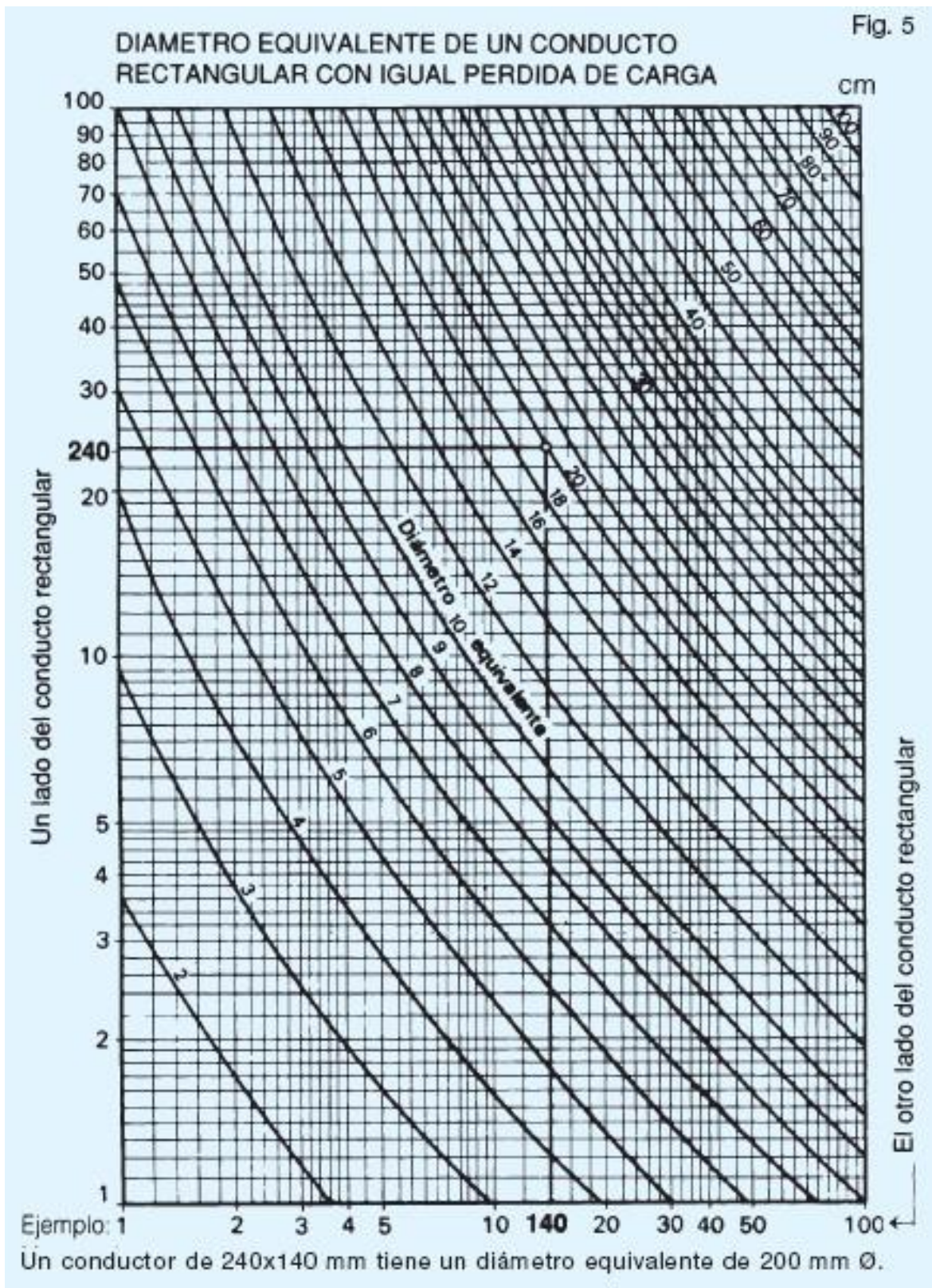




Figura A.2 Pérdida de Carga en Ductos

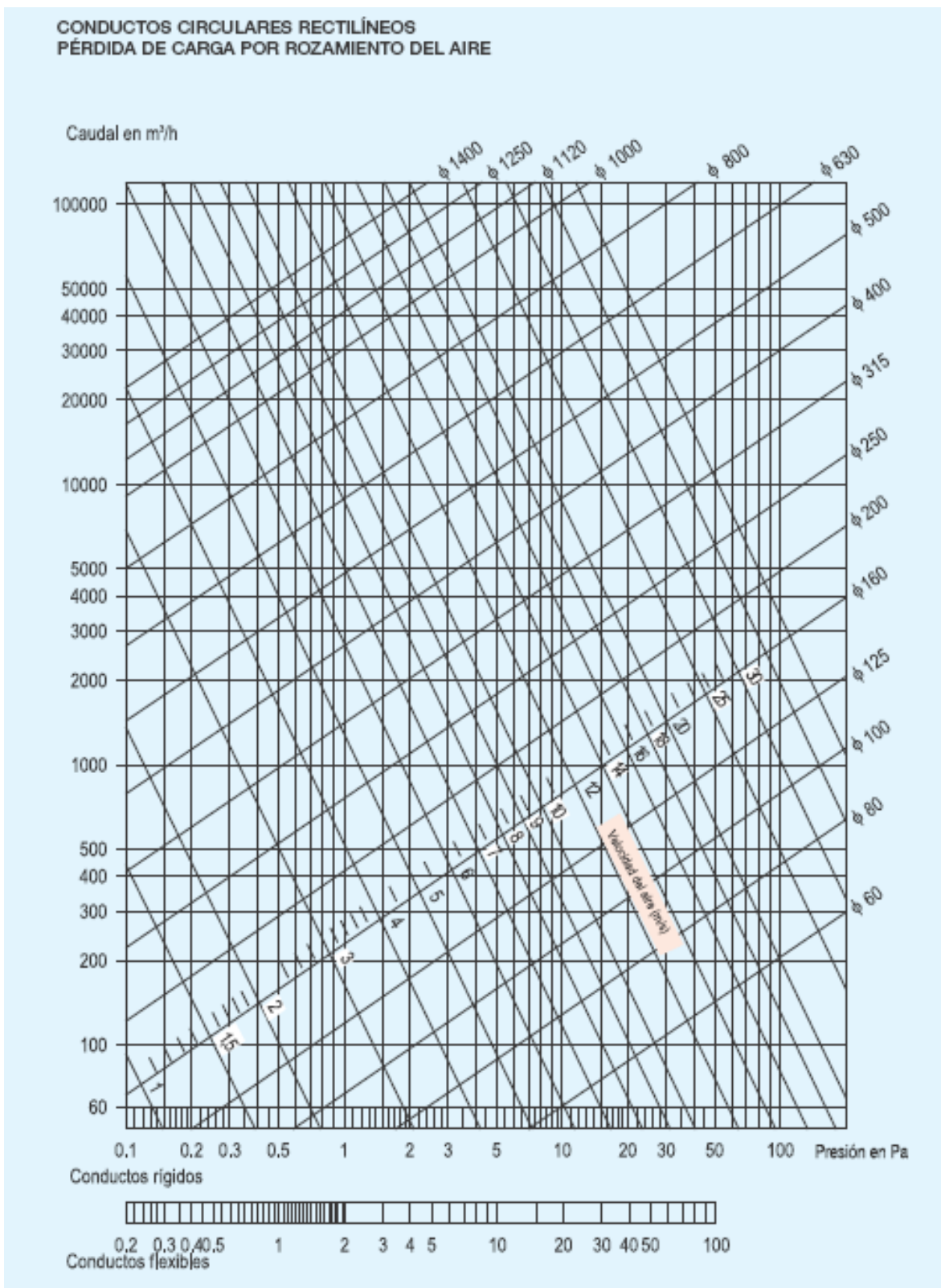


Figura A3. Coeficiente modificador de pérdidas.

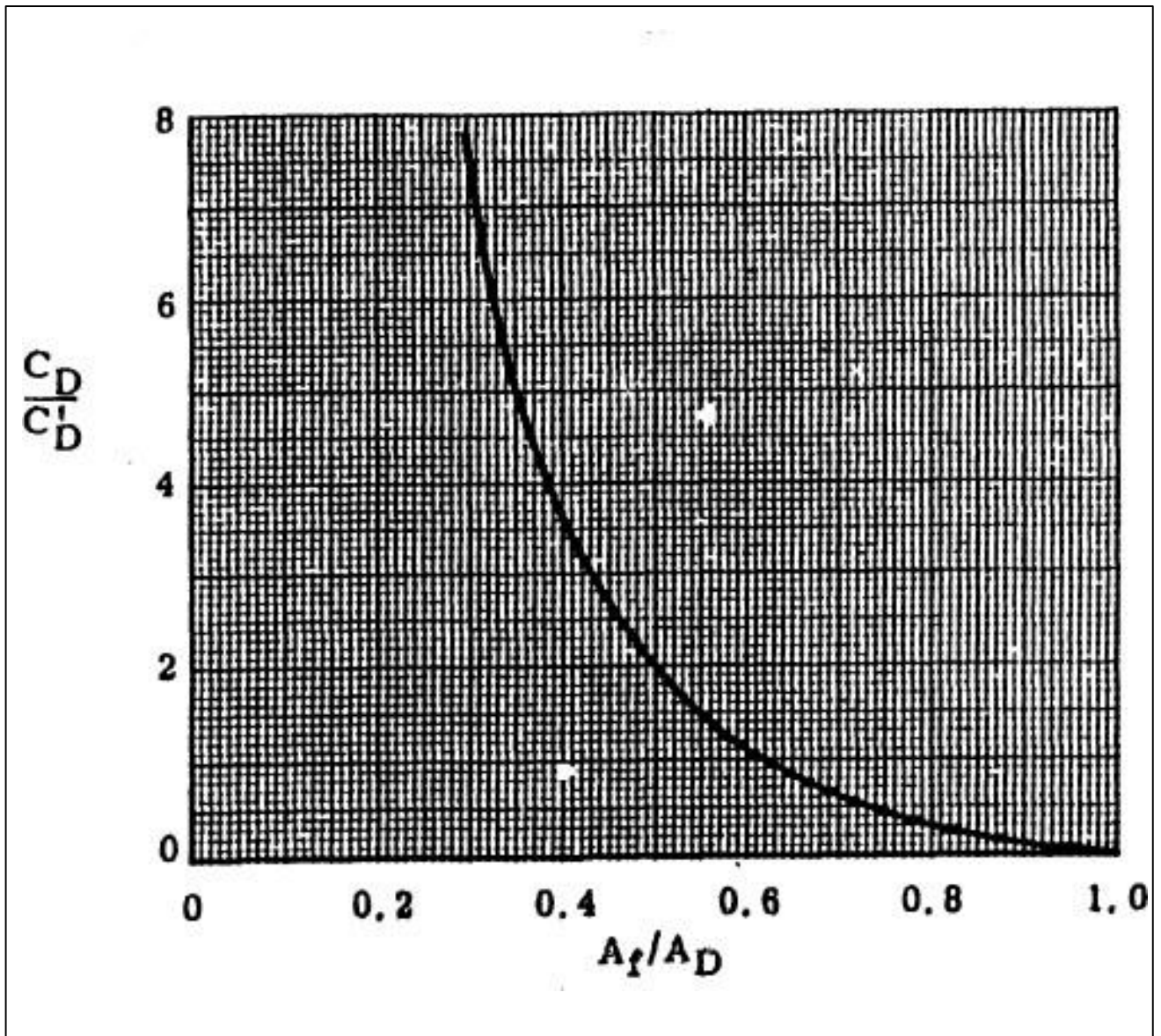
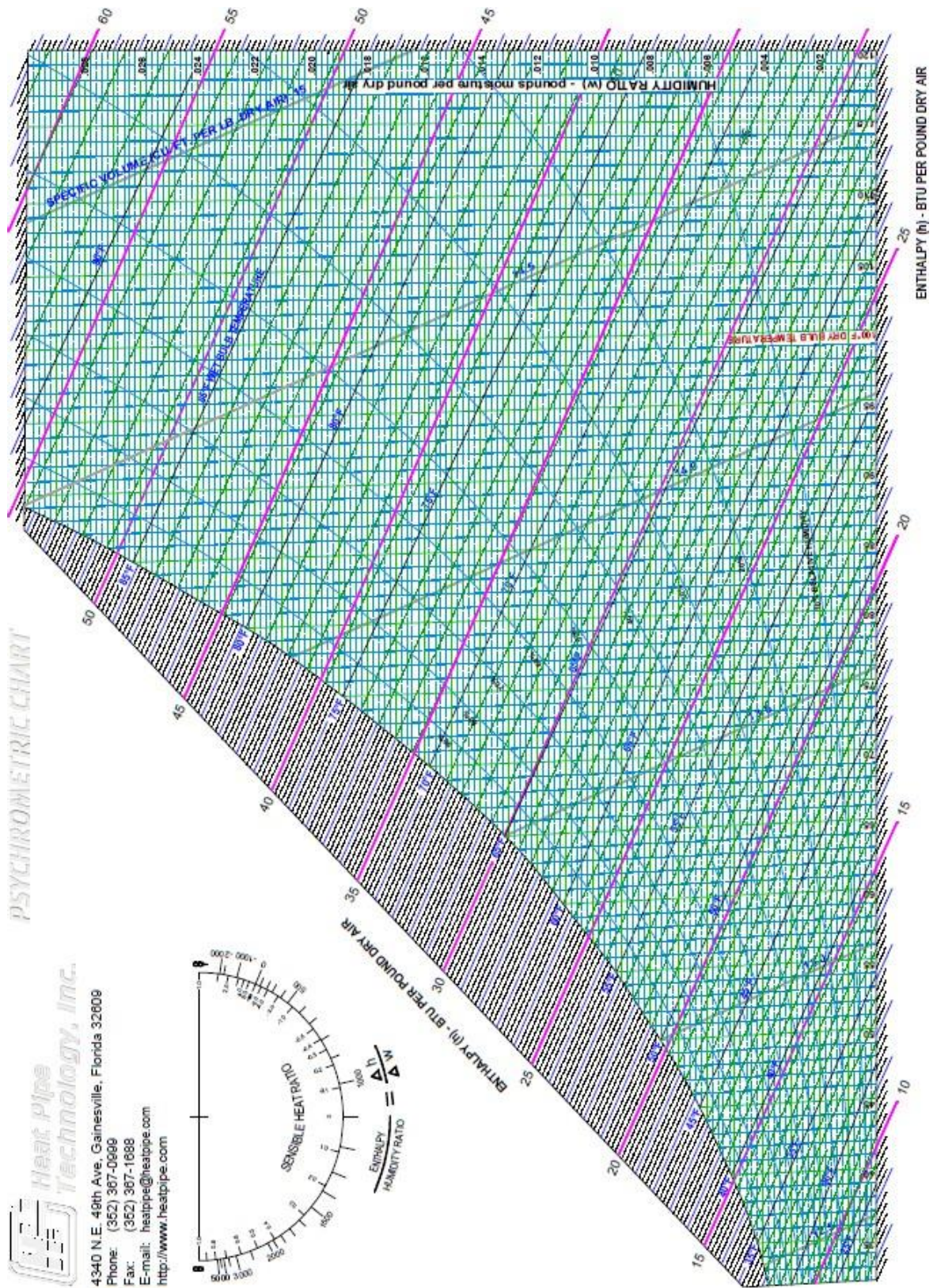






Figura A5. Carta Psicrométrica




## **APÉNDICE B**

**TABLAS DE SELECCIÓN DE ELEVADOR DE CANGILONES,  
TORNILLO SIN FIN Y MAQUINA PRELIMPIEZA**



TABLA B.1 MATERIALES



# Materials Table

Material	Density LBS/FT <sup>3</sup>	Material Code	Recommended Elevator Series*	Material	Density LBS/FT <sup>3</sup>	Material Code	Recommended Elevator Series*
Alfalfa Meal	14-22	B6-45WY	F, H	Feldspar, Powder	100	A200-36	F, H
Almonds, Broken	27-30	C½-35Q	C, F, H	Flaxseed	43-45	B6-35X	E
Almonds, Whole Shelled	28-30	C½-35Q	F	Flaxseed Cake (Linseed Cake)	48-50	D7-45W	C
Alum, Fine	45-50	B6-35U	A, F	Flaxseed Meal (Linseed Meal)	25-45	B6-45W	A, C
Alum, Lumpy	50-60	B6-25	A, F	Fuller's Earth, Dry, Raw	30-40	A40-25	B, D
Alumina	55-65	B6-27MY	G	Fuller's Earth, Oily, Spent	60-65	C½-450W	B, D
Aluminum Chips, Dry	7-15	E-45V	F	Glass, Batch	80-100	C½-37	B, D
Aluminum Oxide	60-120	A100-17M	F	Granite, Fine	80-90	C½-27	F
Ashes, Coal, Dry — 3"	35-40	D3-46T	C	Gypsum, Calcined	55-60	B6-35U	A, C, F, H
Asphalt, Crushed — ½"	45	C½-45	A, C, F	Gypsum, Calcined, Powdered	60-80	A100-35U	A, F
Bakelite, Fine	30-45	B6-25	F	Gypsum, Raw — 1"	70-80	D3-25	F
Baking Powder	40-55	A100-35	F	Hops, Spent, Dry	35	D3-35	A, C
Bauxite, Crushed — 3"	75-85	D3-36	A, C, F	Hops, Spent, Wet	50-55	D3-45V	A, C
Beans, Castor, Whole Shelled	36	C½-15W	A, C, F, H	Ice, Crushed	35-45	D3-35Q	A, C
Beans, Navy, Dry	48	C½-15	A, C, F, H	Ilmenite Ore	140-160	D3-37	A, C, F, G
Bentonite, Crude	34-40	D3-45X	A, C	Lime, Ground, Unslaked	60-65	B6-35U	A, C, F, G
Bentonite — 100 Mesh	50-60	A100-25MX	A, C	Lime, Hydrated	40	B6-35LM	F
Boneblack	20-25	A100-25Y	F	Lime, Pebble	53-56	C½-25HU	A, F
Bonemeal	50-60	B6-35	A, C	Limestone, Agricultural	68	B6-35	A, C, F, H
Bones, Crushed	35-50	D3-45	A, C, F, H	Limestone, Crushed	65-90	DX-36	F, H
Bones, Ground	50	B6-35	A, C, F, H	Malt, Dry, Ground	20-30	B6-35NP	A, C
Borax, Fine	45-55	B6-25T	A, C	Malt, Meal	36-40	B6-25P	A, C
Bran, Rice-Rye-Wheat	16-20	B6-35NY	A, C	Malt, Dry Whole	20-30	C½-35N	A, C
Brewer's Grain, spent, dry	14-30	C½-45	A, C	Marble, Crushed	80-95	B6-37	F
Brewer's Grain, spent, wet	55-60	C½-45T	A, C	Milk, Malted	27-30	A40-45PX	A
Buckwheat	37-42	B6-25N	E	Oats	26	C½-25MN	E
Calcium Oxide (See Lime, unslaked)	—	—	—	Oats, Rolled	19-24	C½-35NY	A, C
Cast Iron, Chips	130-200	C½-45	F	Oxalic Acid Crystals — Ethane Diacid Crystals	60	B6-35QS	B, D
Cement, Clinker	75-95	D3-36	A, F	Phosphate Rock, Broken	75-85	DX-36	A, C, F, H
Cement, Portland	94	A100-26M	A, F	Phosphate Rock, Pulverized	60	B6-36	A, C, F, H
Chalk, Crushed	75-95	D3-25	A, F	Potash (Muriate) Dry	70	B6-37	A, C, F
Chalk, Pulverized	67-75	A100-25MX	A, F	Pumice — ½"	42-48	B6-46	F
Charcoal, Lumps	18-28	D3-45Q	F	Rice, Bran	20	B6-35NY	E
Cinders, Coal	40	D3-36T	A, F	Rice, Grits	42-45	B6-35P	A, C
Clay, Brick, Dry, Fines	100-120	C½-36	B	Rice, Hulled	45-49	C½-25P	E
Coal, Anthracite, Sized — ¼"	49-61	C½-25	A, F	Rye	42-46	B6-15N	E
Coal, Bituminous, Mined, Slack	43-50	C½-45T	A, F	Salt Cake, Dry Coarse	65	B6-36TU	A, C, F, H
Coffee, Green Bean	25-32	C½-25PO	A, F	Salt, Dry Fine	70-80	B6-36TU	F, H
Coffee, Roasted Bean	20-30	C½-25PO	A, F	Sand Dry Bank (Damp)	110-130	B6-47	B, G
Coke, Breze	25-35	C½-37	B, D	Sand Dry Bank (Dry)	90-110	B6-37	B, G
Coke, Loose	23-35	D7-37	D	Sand Foundry (Shake Out)	90-100	D3-37Z	B, G
Coke, Petrol, Calcined	35-45	D7-37	D	Shale, Crushed	65-90	C½-36	B, H
Copra, Cake, Ground	40-45	B6-45HW	A, C, F, G	Slag, Blast Furnace Crushed	130-180	D3-37Y	F
Copra, Cake, Lumpy	25-30	D3-35HW	A, C, F	Slate, Crushed — ½"	80-90	C½-36	F
Copra, Lumpy	22	E-35HW	A, C, F	Soda Ash, Heavy	55-65	B6-36	A, C
Copra, Meal	40-45	B6-35HW	A, C, F, G	Soda Ash, Light	20-35	A40-36Y	F, H
Cork, Granulated	12-15	C½-35JY	F, H	Sodium Phosphate	50-60	A-35	A, F
Corn, Cracked	40-50	B6-25P	F, H	Soybean, Cake	40-43	D3-35W	C
Corn Germ	21	B6-35PY	A, C	Soybean, Cracked	30-40	C½-36NW	A
Corn Grits	40-45	B6-35P	A, C	Soybean, Flake, Raw	18-25	C½-35Y	A, C
Coriander	32-40	B6-35P	A, C	Soybean, Flour	27-30	A40-35Mn	B, D
Corn Shelled	45	C½-25	E	Soybean Meal, Cold	40	B6-35	A, C
Corn Sugar	30-35	B6-35PU	A, C	Soybean Meal, Hot	40	B6-35T	A, C
Cottonseed, Cake, Lumpy	40-45	D7-45HW	A, C	Soybeans, Whole	45-50	C½-26NW	E
Cottonseed, Dry, Delinted	22-40	C½-25X	B, D	Sugar Beet, Pulp, Dry	12-15	C½-26	F, H
Cottonseed, Dry, Not Delinted	18-25	C½-45XY	B, D	Sugar Beet, Pulp, Wet	25-45	C½-35X	F, H
Cottonseed, Hulls	12	B6-35Y	F, G	Sugar, Raw	55-65	B6-35PX	A, C
Cottonseed, Meal, Extracted	35-40	B6-45HW	A, C	Trisodium Phosphate, Granular	60	B6-36	A, F
Cottonseed, Meats, Dry	40	B6-35HW	A, C	Wheat	45-48	C½-25N	E
Distiller's Grain, Spent Dry	30	B6-35	A, C	Wheat, Cracked	40-45	B6-25N	A, C
Dolomite, Crushed	60-100	C½-36	A, F	Wheat, Germ	18, 28	B6-25	A, C
Ebonite, Crushed	63-70	C½-35	F	Wood Chips, Screened	10-30	D3-45VY	B, D
Feldspar, Ground	65-80	A100-37	A, C, F,				

\*Elevator Series Designation  
A = Series 100 Chain  
B = Series 100 Belt  
C = Series 200 Chain

D = Series 200 Belt  
E = Series 500 Belt  
F = Series 700 Chain

G = Series 700 Belt  
H = Series 800 Chain

Tabla B.2 Propiedades y Códigos de Descripción según Martin

Material Classification Code Chart			
Major Class	Material Characteristics Included		Code Description
Density	Bulk Density, Loose		Actual Lbs/CF
Size	Very Fine	No. 200 Sieve (.0029") and Under No. 100 Sieve (.0059") and Under No. 40 Sieve (.016") and Under	A <sub>200</sub> A <sub>100</sub> A <sub>40</sub>
	Fine	No. 6 Sieve (.132") and Under	B <sub>6</sub>
	Granular	½" and Under (6 Sieve to ½")	C <sub>½</sub>
		3" and Under (½ to 3") 7" and Under (3" to 7")	D <sub>3</sub> D <sub>7</sub>
	Lumpy	16" and Under (0" to 16") Over 16" To Be Specified X = Actual Maximum Size	D <sub>16</sub> D <sub>x</sub>
Irregular	Stringy, Fibrous, Cylindrical, Slabs, Etc.	E	
Flowability	Very Free Flowing	1	
	Free Flowing	2	
	Average Flowability	3	
	Sluggish	4	
Abrasive	Mildly Abrasive	5	
	Moderately Abrasive	6	
	Extremely Abrasive	7	
Miscellaneous Properties or Hazards	Builds Up and Hardens	F	
	Generates Static Electricity	G	
	Decomposes — Deteriorates in Storage	H	
	Flammability	J	
	Becomes Plastic or Tends to Soften	K	
	Very Dusty	L	
	Aerates and Becomes a Fluid	M	
	Explosiveness	N	
	Stickiness — Adhesion	O	
	Contaminable, Affecting Use	P	
	Degradable, Affecting Use	Q	
	Gives Off Harmful or Toxic Gas or Fumes	R	
	Highly Corrosive	S	
	Mildly Corrosive	T	
	Hygroscopic	U	
	Interlocks, Mats or Agglomerates	V	
Oils Present	W		
Very Light and Fluffy — May Be Windswept	Y		
Elevated Temperature	Z		

Tabla B.3 Especificaciones de elevador de cangilones serie 100 de banda.



**Series 100 Belt (Series 200 is for Head Take-up)**

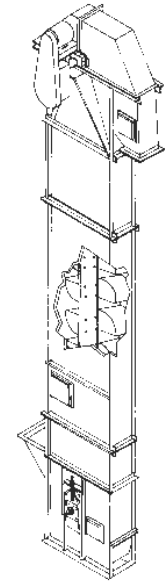
Centrifugal discharge belt type elevators handle a variety of relatively free-flowing dry materials with small to medium lump sizes that are mildly, moderately or extremely abrasive.

**Buckets**

Capacities listed are for style "AA" buckets. Style "A", "AA-RB" and "Salem" can be furnished. Style "C" may also be used to handle wet or sticky materials. Consult the factory for a specific recommendation.

**Belt**

Centrifugal discharge belt type elevators are furnished with 100% polyester carcass PVC belting or rubber covered ply belts specifically designed for elevator service. Many other types of belts and covers are available.



**#100 Belt Centrifugal Discharge Bucket Elevator**

ELEVATOR Number	CAPACITY Max. C.F.H.	BUCKETS				BELT		MAX. LUMP SIZE		NOM. CASING SIZE		HEAD PULLEY		BOOT PULLEY	
		Width	Proj.	Depth	Spacing	Width	F.P.M.	100%	10%	Width	Depth	Diameter	RPM	Diameter	Shaft Dia.
B43-139	95	4	2-3/4	8	8	5	140	1/4	1	8	18	8.00	62.9	8.00	1.5000
B64-141	293	6	4	4.25	13	7	235	1/4	2-1/2	11-3/4	35	20.00	43.8	16.00	1.5000
B64-140	324	6	4	4.25	13	7	260	1/2	2-1/2	11-3/4	39	24.00	40.5	16.00	1.5000
B85-142	543	8	5	5.5	16	9	230	3/4	3	13-3/4	39	20.00	42.9	14.00	2.0000
B85-143	591	8	5	5.5	16	9	250	3/4	3	13-3/4	42	24.00	39	16.00	2.0000
B106-144	911	10	6	6.25	16	11	225	1	3-1/2	15-3/4	42	20.00	41.9	16.00	2.0000
B106-145	1,013	10	6	6.25	16	11	250	1	3-1/2	15-3/4	48	24.00	39	20.00	2.0000
B127-146	1,425	12	7	7.25	18	13	250	1-1/4	4	17-3/4	48	24.00	39	20.00	2.4375
B127-147	1,596	12	7	7.25	18	13	280	1-1/4	4	17-3/4	54	30.00	35.1	24.00	2.4375
B147-148	1,691	14	7	7.25	18	15	245	1-1/4	4	19-3/4	48	24.00	38.2	20.00	2.4375
B147-149	1,932	14	7	7.25	18	15	280	1-1/4	4	19-3/4	54	30.00	35.1	24.00	2.4375
B168-150	2,550	16	8	8.5	18	17	250	1-1/2	4-1/2	22-3/4	48	24.00	39	20.00	2.4375
B168-152	2,856	16	8	8.5	18	17	280	1-1/2	4-1/2	22-3/4	54	30.00	35.1	24.00	2.4375
B188-160	2,925	18	8	8.5	18	19	250	1-1/2	4-1/2	24-3/4	48	24.00	39	20.00	2.4375
B208-164	3,150	20	8	8.5	18	21	250	1-1/2	4-1/2	26-3/4	48	24.00	39	20.00	2.4375
B188-162	3,276	18	8	8.5	18	19	280	1-1/2	4-1/2	24-3/4	54	30.00	35.1	24.00	2.4375
B208-166	3,528	20	8	8.5	18	21	280	1-1/2	4-1/2	26-3/4	54	30.00	35.1	24.00	2.4375
B127-146S	4,489	12	7	7.25	16	24	350	1-1/4	4	28	66	42.00	31.5	30.00	2.4375
B248-168	4,788	24	8	8.5	18	25	280	1-1/2	4-1/2	30-3/4	54	30.00	35.1	24.00	2.4375
B2410-170	6,636	24	10	10.5	18	25	280	1-1/2	4-1/2	30-3/4	60	30.00	35.1	24.00	2.4375

All Dimensions in inches.  
 Max. CFH capacity is at 75% bucket load.  
 Consult *Martin* for head shaft size and horsepower requirements.


Tabla B.4 Potencia demandada por el transportador de cangilones.

<h1 style="margin: 0;">Buckets and Chain</h1>											
<p><b>Style AA</b></p> <p>Ductile iron buckets for general use with most types of relatively free flowing material in centrifugal discharge elevators. Can be mounted on chain or belt and furnished in various plastic materials.</p>		Bucket Size			Weight Lbs.	Capacity cu. ft. X—X					
		A	B	C							
		4	2 $\frac{1}{4}$	3	1.0	.01					
		6	4	4 $\frac{1}{4}$	2.7	.03					
		8	5	5 $\frac{1}{2}$	4.8	.07					
		10	6	6 $\frac{1}{4}$	7.7	.12					
		12	7	7 $\frac{1}{4}$	12.0	.19					
14	7	7 $\frac{1}{4}$	13.9	.23							
16	8	8 $\frac{1}{2}$	21.8	.34							
<p><b>Style C</b></p> <p>Fabricated buckets are used in centrifugal discharge elevators to handle materials that tend to pack or stick, such as sugar, clay, salt or wet grains.</p>		Bucket Size			Weight Lbs.	Capacity cu. ft. X—X					
		A	B	C							
		6	4 $\frac{1}{2}$	4	2.0	.026					
		8	4 $\frac{1}{2}$	4	2.8	.035					
		10	5	4	4.0	.052					
		12	5	4	4.8	.061					
		14	7	5 $\frac{1}{2}$	8.5	.138					
16	7	5 $\frac{1}{2}$	10.5	.158							
<p><b>Continuous</b></p> <p>Medium front non-overlapping fabricated steel buckets are used in continuous discharge elevators for general service. Heavier gauges should be used when handling abrasive materials. Available fabricated from various materials. High front continuous buckets are available also. Plastic buckets available in most sizes.</p>		Bucket Size			Weight Lbs.			Capacity cu. ft. X—X			
		A	B	C	12 Ga.	10 Ga.	$\frac{3}{16}$ "		$\frac{1}{4}$ "		
		8	5	7 $\frac{1}{4}$	5.1	6.3	8.7	—	.070		
		10	5	7 $\frac{1}{4}$	5.9	7.4	10.2	—	.090		
		10	7	11 $\frac{1}{2}$	9.3	11.9	16.5	—	.180		
		12	7	11 $\frac{1}{2}$	10.4	13.4	18.6	—	.218		
		14	7	11 $\frac{1}{2}$	11.6	14.9	20.7	—	.253		
		12	8	11 $\frac{1}{2}$	11.2	14.4	20.0	26.1	.275		
		14	8	11 $\frac{1}{2}$	12.4	16.0	22.2	29.1	.325		
		16	8	11 $\frac{1}{2}$	13.7	17.6	24.5	32.0	.375		
18	8	11 $\frac{1}{2}$	14.9	19.2	26.7	35.0	.420				
<p><b>AC Welded Steel</b></p> <p>High front for greater capacity. Hooded back for closer spacing. Typical in cement, gypsum powder or other powdery materials. Venting available for clean filling and discharge. Mounted on chain or belt.</p>		Bucket Size, Inches			Weight			Cap. Cu. Feet*			
		L Length	P Proj.	D Depth	3/16" Steel	1/4" Steel	Fitted to Line X-X	Fitted to Line X-Y			
		12	8	8 $\frac{1}{2}$	18.25	24.30	.231	.303			
		14	8	8 $\frac{1}{2}$	20.30	27.00	.271	.356			
		16	8	8 $\frac{1}{2}$	22.48	29.98	.311	.408			
		18	10	10 $\frac{1}{2}$	31.15	38.95	.488	.691			
		20	10	10 $\frac{1}{2}$	33.68	42.10	.542	.768			
		24	10	10 $\frac{1}{2}$	39.67	52.69	.651	.921			
		27	12	12 $\frac{1}{2}$	53.84	71.46	1.072	1.474			
		*Weights do not include bolt reinforcing plates. Bolt reinforcing plates are recommended if less than 8 bolts are used. Vent holes in bottom are optional in style "AC" buckets.									
<p><b>SC Welded Steel</b></p> <p>Mounted between two strands of chain. Suitable for the heaviest materials. Designed for super capacity elevators. Typical in asphalt and concrete applications. Design offers increased capacity.</p>		Bucket Size, Inches			Weight				Cap. Cu. Feet*		
		L Length	P Proj.	D Depth	A Inches	10 Gauge Steel	3/16" Steel	1/4" Steel	5/16" Steel	Fitted to Line X-X	Fitted to Line X-Y
		12	8 $\frac{1}{2}$	11 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	22	29	39	49	.35	.54
		14	8 $\frac{1}{2}$	11 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	23	31	41	51	.41	.63
		16	8 $\frac{1}{2}$	11 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	25	34	45	56	.46	.72
		16	12	17 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	43	58	76	95	1.11	1.55
		18	8 $\frac{1}{2}$	11 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	27	36	48	60	.52	.81
		20	8 $\frac{1}{2}$	11 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	29	39	52	65	.58	.90
		20	12	17 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	49	67	88	110	1.40	1.94
		24	12	17 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	55	75	104	130	1.68	2.33
30	12	17 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	65	88	117	146	2.11	2.91		
36	12	17 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	73	99	132	165	2.53	3.49		
*Note: Actual capacity depends on angle of repose of material handled and inclination of elevator.											
<p><b>Chain</b></p> <p>Combination chains, C-, have cast block links and steel connecting side bars. All steel (steel knuckle), SS, are fabricated of steel. Attachments are available either on the connecting side bars or block link.</p>	Chain No.	Pitch in Inches	Average Ultimate Strength Lbs.	Rated Working Value Lbs.	Wt. Per Ft. Lbs Attachment Every Other Pitch	Attachment Number	Dimension in Inches				
	C-977	2.308	11,000	1830	2.2	K-1	Pin Diameter	Side Bar	Barrel or Knuckle Dia.		
	C-188	2.609	14,000	1950	4.8	K-2	$\frac{7}{16}$	$\frac{3}{16} \times \frac{7}{16}$	$\frac{7}{8}$		
	C-102B	4.0	24,000	4000	7.8	K-2	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8} \times \frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{32}$		
	C-110	6.0	24,000	4000	7.3	K-2	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8} \times \frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{16}$		
	C-111	4.76	36,000	5,950	10.7	K-2	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8} \times \frac{3}{4}$	1 $\frac{1}{32}$		
	SS-102B	4.0	40,000	6,290	9.0	K-2	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8} \times \frac{1}{2}$	1		
	SS-110	6.0	40,000	6,290	8.6	K-2	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8} \times \frac{3}{4}$	1 $\frac{1}{4}$		

NOTE: All dimensions are inside to inside of bucket.



Tabla B.5 Cangilones y Cadena



## Descarga Centrífuga de Banda

### Series 100

Caballos de Fuerza*													No. de Elevador
No. de Elevador	Densidad de Material (Libras por Pies Cúbicos)												
	35			50			75			100			
	Centros Pies	Diámetro de Eje de Cabeza	HP	Centros Pies	Diámetro de Eje de Cabeza	HP	Centros Pies	Diámetro de Eje de Cabeza	HP	Centros Pies	Diámetro de Eje de Cabeza	HP	
B43-139	0-100	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1	0-100	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1	0-100	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1	0-80	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1	B43-139
										81-100	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	
B64-140 y B64-141	0-80	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1	0-66	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1	0-44	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1	0-33	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1	B64-140 y B64-141
										81-100	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	
										81-100	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	2	
										89-100	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	3	
B85-142 y B85-143	0-42	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1	0-33	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1	0-33	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	0-25	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	B85-142 y B85-143
										43-71	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	
										72-95	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	2	
										96-100	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	3	
B106-144 y B106-145	0-25	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1	0-24	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	0-20	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	0-30	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	3	B106-144 y B106-145
										26-42	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	
										43-57	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	2	
										58-85	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	3	
										86-100	3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	5	
B127-146S Alternado	0-27	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	5	0-34	3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	0-30	3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	10	0-35	3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	15	B127-146S Alternado
										28-44	3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	
										45-66	3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	10	
										67-89	4 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	15	
										90-100	4 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	15	
B127-146 y B127-147	0-35	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	2	0-34	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	3	0-25	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	3	0-31	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	5	B127-146 y B127-147
										36-53	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	3	
										54-89	3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	5	
										90-100	3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	
B147-148 B147-149	0-27	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	3	0-20	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	5	0-17	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	5	0-15	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	5	B147-148 B147-149
										28-45	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	3	
										46-75	3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	5	
										76-100	3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	
										76-100	3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	
B168-150 B168-152	0-28	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	5	0-28	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	5	0-35	3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	0-29	3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	10	B168-150 B168-152
										29-51	3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	5	
										52-76	3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	
										77-100	4 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	10	
										92-100	4 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	20	

\*Basado en un cangilón lleno al 100%

\*Para dimensiones nominales vea la página H-131.

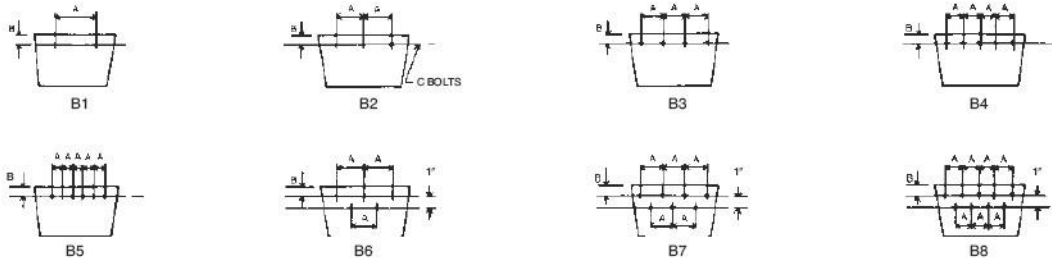


Tabla B.6 Perforación de cangilón (Banda)



## Bucket Punching (Belt)

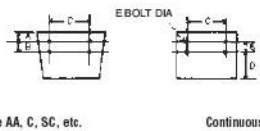
CEMA Standard (Formerly P1 thru P9)



Bucket Length	Salem and Other Similar Light Buckets				M.I. & Steel Buckets Style A, AA, AA-RB, B, C, etc.				Continuous Buckets			
	Punch	A	B	C*	Punch	A	B	C*	Punch	A	B	C*
6	B-1	4 $\frac{3}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{1}{4}$	B-1	4- $\frac{3}{8}$	1	$\frac{1}{4}$	—	—	—	—
8	B-2	3 $\frac{1}{8}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{8}$	B-6	3	$\frac{7}{8}$	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{8}$	B-6	3	DEPTH 2 B = 1	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{8}$
10	B-2	4 $\frac{1}{8}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{8}$	B-6	3 $\frac{1}{2}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{8}$	B-6	3 $\frac{1}{2}$		$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{8}$
12	B-3	3 $\frac{3}{8}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{8}$	B-6	4 $\frac{1}{2}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{8}$	B-6	4 $\frac{1}{2}$		$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{8}$
14	B-4	3	$\frac{7}{8}$	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{8}$	B-7	4	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{8}$	B-7	4		$\frac{3}{8}$
16	B-5	2 $\frac{1}{2}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{8}$	B-7	4 $\frac{1}{2}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{8}$	B-7	4 $\frac{1}{2}$		$\frac{3}{8}$
18	—	—	—	—	—	—	—	—	B-7	5	$\frac{3}{8}$	

\*C = Bolt Diameter. See Chart on Page H-140.

### Bucket Punching — Chain



Chain Number	Attachment Number	A	B	C	D	E
C-977	K-1	1	—	3	—	$\frac{3}{8}$
C-188	K-2	1	1 $\frac{1}{4}$	4 $\frac{1}{8}$	2 $\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$
C-102B	K-2	$\frac{3}{4}$	1 $\frac{1}{4}$	5 $\frac{1}{8}$	2	$\frac{3}{8}$
C-110	K-2	$\frac{7}{8}$	1 $\frac{1}{4}$	5 $\frac{1}{8}$	3 $\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$
C-111	K-2	$\frac{3}{4}$	2 $\frac{1}{8}$	6 $\frac{1}{8}$	2 $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$
SS-102B	K-2	$\frac{3}{4}$	1 $\frac{1}{4}$	5 $\frac{1}{8}$	2	$\frac{3}{8}$
SS-110	K-2	$\frac{7}{8}$	1 $\frac{1}{4}$	5 $\frac{1}{8}$	3 $\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$

Bucket Size	High Speed Grain			
	Punch	A	B	C
7 x 5	B2	2 $\frac{1}{8}$	1 $\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
9 x 5	B2	3 $\frac{1}{8}$	1 $\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
9 x 6	B2	3 $\frac{3}{8}$	2	$\frac{1}{4}$
11 x 6	B3	3	2	$\frac{1}{4}$
12 x 6	B3	3 $\frac{3}{8}$	2	$\frac{1}{4}$
14 x 7	B4	3	2	$\frac{3}{8}$

Consult *Martin* for "AC" and "SC" Bucket Punching.



#### Platforms

Head section service platforms are of structural steel, angle hand rails and heavy non-skid grating. The platform mounts securely to the elevator head section. Various sizes and configurations are available. Rest platforms are also available and required at 30' intervals.

#### Ladders/Safety Cages

Ladders with safety cages are available. They are constructed of heavy gauge steel and sized to provide easy access to platforms. Ladders with safety cage are easily bolted to the elevator casings.

Figura B.1 Dimensiones de elevadores de cangilones

# Bucket Elevator Dimensions

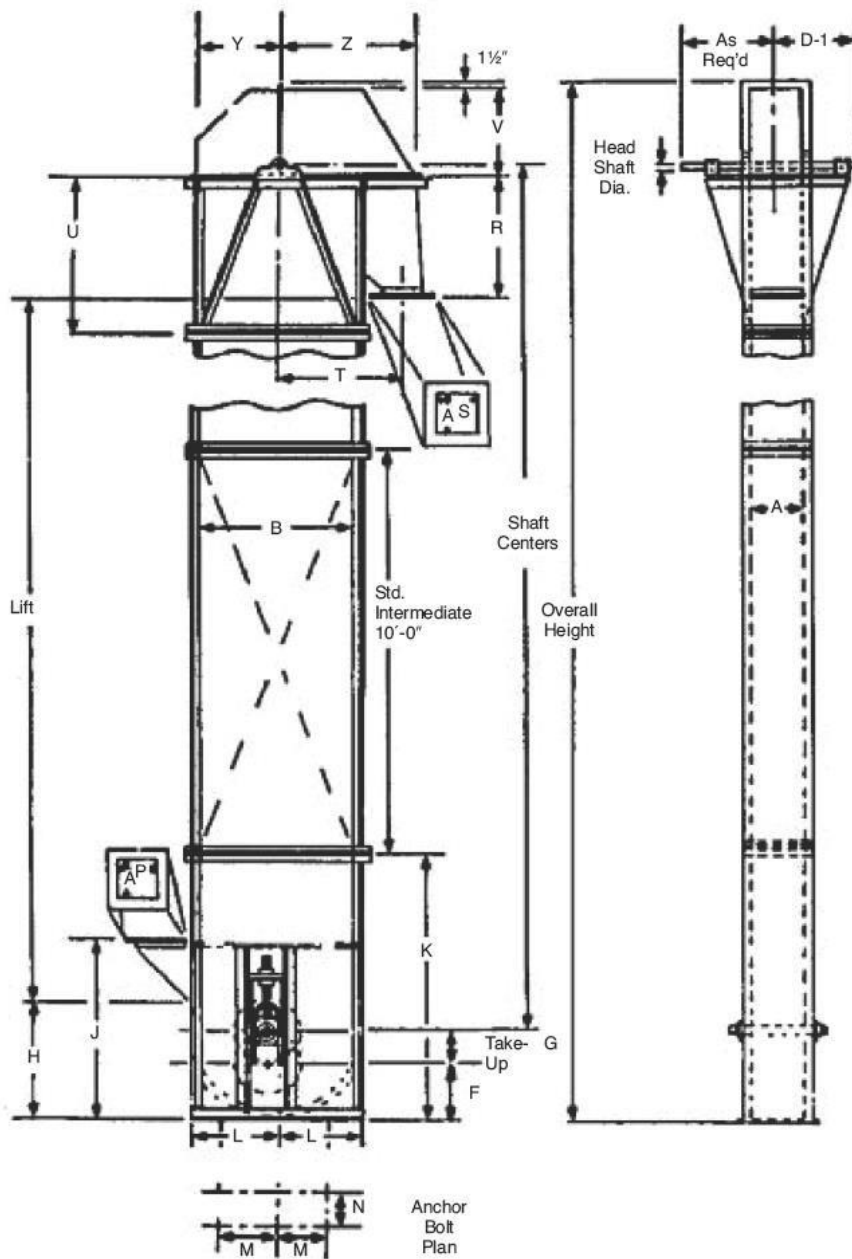
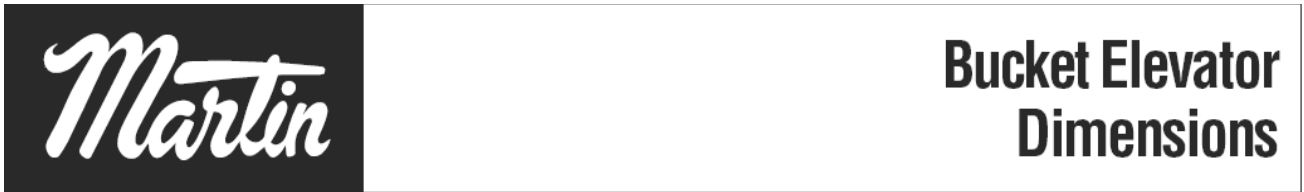


Tabla B.7 Dimensiones de elevadores de cangilones



100 & 700 Belt & Chain

Elevator Number Chain	Elevator Number Belt	Elevator Number Belt	Elevator Number Chain	Dimensions <sup>®</sup> (In Inches)																			
				Casing		Boot										Head							
				A	B	F	G	H	J	K	L	M	N	P	R	S	T	U	V	Y	Z	D-1 <sup>®</sup>	
C43-101		B43-139		8	18	9	6	27¼	36¾	42	9	6	10	6	15	8	17½	36	14	9	20¼	13	
C64-102				9¾	35	13	9	26½	43	72	17½	14½	13½	13	29¾	10	28½	42	19½	17½	30½	13	
		B64-140		11¼	39	14	9	26½	43	72	19½	16½	15½	13	31½	10	30½	42	21½	19½	32½	14	
C85-103		B64-141		11¼	35	13	9	26½	43	72	17½	14½	15½	13	29¾	10	28½	42	19½	17½	30½	14	
C85-104	B85-790		C85-766	11¼	39	14	9	26½	43	72	19½	16½	15½	13	31½	10	30½	42	21½	19½	32½	14	
C85-105			C85-767	11¼	39	14	9	26½	43	72	19½	16½	15½	13	31½	10	30½	42	21½	19½	32½	14	
C85-107					11¼	42	16	9	32½	50	72	21	18	15½	13	32¾	10	33¾	42	24	21	36¾	14½
C85-108				11¼	42	16	9	32½	50	72	21	18	15½	13	32¾	10	33¾	42	24	21	36¾	14½	
	B105-791	B85-142	C105-768 C105-769	13¾	39	14	9	26½	43	72	19½	16½	17½	13	31½	10	30½	42	21½	19½	32½	15	
C106-110				13¾	42	16	9	32½	50	72	21	18	17½	13	32¾	10	33¾	42	24	21	36¾	15½	
C106-111		B85-143		13¾	42	16	9	32½	50	72	21	18	17½	13	32¾	10	33¾	42	24	21	36¾	15½	
C106-112				13¾	48	19	9	40½	60	72	24	21	17½	15	35¾	13	36½	48	27½	24	40%	16	
C106-113	B107-792		C107-770	13¾	48	19	9	40½	60	72	24	21	17½	15	35¾	13	36½	48	27½	24	40%	16	
C106-116			C107-771	13¾	48	19	9	40½	60	72	24	21	17½	15	35¾	13	36½	48	27½	24	40%	16	
		B106-144		15¼	42	16	9	32½	50	72	21	18	19½	13	32¾	10	33¾	42	24	21	36¾	17	
C127-117	B127-793 B128-795		C127-772	15¼	48	19	9	40½	60	72	24	21	19½	15	35¾	13	36½	48	27½	24	40%	17	
C127-119			B106-145	C127-773	15¼	48	19	9	40½	60	72	24	21	19½	15	35¾	13	36½	48	27½	24	40%	17
C127-120				C128-776	15¼	48	19	9	40½	60	72	24	21	19½	15	35¾	13	36½	48	27½	24	40%	17
C127-122			C128-777	15¼	54	21	10	39	60½	72	27	24	19½	17	38¾	17	41½	48	31	27	45	18¼	
		B127-146S		28	64	26	10	29¾	60½	72	32	29	30½	26¼	36	17	46½	48	36½	32	53	24	
C147-123	B147-794 B148-796		C147-774	17¾	48	19	10	40½	60	72	24	21	21½	15	35¾	13	36½	48	27½	24	40%	18	
C147-124			B127-146	C147-775	17¾	48	19	10	40½	60	72	24	21	21½	15	35¾	13	36½	48	27½	24	40%	18
C147-126				C148-778	17¾	48	19	10	40½	60	72	24	21	21½	15	35¾	13	36½	48	27½	24	40%	18
C147-127			C148-779	17¾	48	19	10	40½	60	72	24	21	21½	15	35¾	13	36½	48	27½	24	40%	18	
C147-128		B127-147		17¾	54	21	10	39	60½	72	27	24	21½	17	38¾	17	41½	48	31	27	45	19¼	
C147-130				17¾	54	21	10	39	60½	72	27	24	21½	17	38¾	17	41½	48	31	27	45	19¼	
C168-131	B168-797		C168-780	19¾	48	20	10	40½	60	72	24	21	23½	15	35¾	13	36½	48	27½	24	40%	19	
C168-132			B147-148	C168-781	19¾	48	20	10	40½	60	72	24	21	23½	15	35¾	13	36½	48	27½	24	40%	19
C168-133					19¾	48	20	10	40½	60	72	24	21	23½	15	35¾	13	36½	48	27½	24	40%	19
C168-134		B147-149		19¾	54	21	10	39	60½	72	27	24	23½	17	38¾	17	41½	48	31	27	45	20	
	B188-798		C188-782	22¾	48	19	10	40½	60	72	24	21	26½	15	35¾	13	36½	48	27½	24	40%	21	
			B168-150	C188-783	22¾	48	19	10	40½	60	72	24	21	26½	15	35¾	13	36½	48	27½	24	40%	21
		B168-152		22¾	54	21	10	39	60½	72	27	24	26½	17	38¾	17	41½	48	31	27	45	22	

<sup>1</sup>NOT certified for construction.  
<sup>2</sup>Normal maximum for largest headshaft listed.  
 For units not shown, contact *Martin*.

Figura B.2 Características técnicas de maquina prelimpiadora.



## GTR Fine Cleaners



Type <sup>1</sup>	Capacity			Screen m <sup>2</sup>	Motors		Aspiration m <sup>3</sup> /h	Dyn. Loads		Weight net t	Weight gross t	Volume m <sup>3</sup>
	Paddy t/h	Seed grain t/h	Wheat (ind. clean.) t/h		Feed Screen			P <sub>H</sub> +/- N	P <sub>V</sub> +/- N			
					kW	kW						
GTR 12	1,5	2,5	5,0	3	1,1 <sup>2</sup>	1,5	4200	200	1000	1,3	1,5	9
GTR 14	3,0	5,0	12,0	7	1,1 <sup>2</sup>	2,2	8200	300	1600	1,9	2,3	13
GTR 15	4,5	7,5	20,0	10	1,1 <sup>2</sup>	3,0	9800	700	1200	2,1	2,5	15
GTR 16	7,0	10,0	25,0	15	1,1 <sup>2</sup>	4,0	11000 <sup>3</sup>	1100	2450	2,7	3,2	21
GTR 17	12,0	20,0	30,0	18	1,1 <sup>2</sup>	5,5	11000 <sup>3</sup>	1850	2750	2,8	3,3	24
GTR 18	15,0	25,0	45,0	24	1,1 <sup>2</sup>	5,5	11000 <sup>3</sup>	2400	3600	3,5	4,0	28
GTR 19	30,0	45,0	80,0	38	1,5	11,0	3000 <sup>4</sup>	1600	7500	8,0	8,5	39

The capacity depends on the waste quantity and the moisture content

<sup>1</sup> other types on request

<sup>2</sup> optional

<sup>3</sup> can be delivered with closed circuit re-circulating pre- and after suction system reducing necessary air volume for aspiration to approx. 20 %

<sup>4</sup> with re-circulation as standard

The screens can be utilized for scalping, fine cleaning or grading according to requirement. Screen cleaning is achieved with the well proven "rubber ball system". Both screen boats are oscillated via a central eccentric system producing a 100 pct balanced motion. The drive can be supplied either with manual or frequency control unit.





Tabla B.8 Características del Material a Transportar a través del Tornillo

<h2 style="margin: 0;">Table 1-2</h2> <h3 style="margin: 0;">Material Characteristics</h3>	
--	--

Material	Weight lbs. per cu. ft.	Intermediate Material Code	Bearing Selection	Component Series	Mat'l Factor Fm	Trough Loading
Adipic Acid	45	A 100-35	S	2	.5	30A
Alfalfa Meal	14-22	B6-45WY	H	2	.6	30A
Alfalfa Pellets	41-43	C¼-25	H	2	.5	45
Alfalfa Seed	6 10-15	B6-15N	L-S-B	1	.4	45
Almonds, Broken	27-30	C¼-35Q	H	2	.9	30A
Almonds, Whole Shelled	28-30	C¼-35Q	H	2	.9	30A
Alum, Fine	45-50	B6-35U	L-S-B	1	.6	30A
Alum, Lumpy	50-60	B6-25	L-S	2	1.4	45
Alumina	55-65	B6-27MY	H	3	1.8	15
Alumina, Fine	35	A100-27MY	H	3	1.6	15
Alumina Sized Or Briquette	65	D3-37	H	3	2.0	15
Aluminate Gel (Aluminate Hydroxide)	45	B6-35	H	2	1.7	30A
Aluminum Chips, Dry	7-15	E-45V	H	2	1.2	30A
Aluminum Chips, Oily	7-15	E-45V	H	2	.8	30A
Aluminum Hydrate	13-20	C¼-35	L-S-B	1	1.4	30A
Aluminum Ore (See Bauxite)	—	—	—	—	—	—
Aluminum Oxide	60-120	A100-17M	H	3	1.8	15
Aluminum Silicate (Andalusite)	49	C¼-35S	L-S	3	.8	30A
Aluminum Sulfate	45-58	C¼-25	L-S-B	1	1.0	45
Ammonium Chloride, Crystalline	45-52	A100-45FRS	L-S	3	.7	30A
Ammonium Nitrate	45-62	A40-35NTU	H	3	1.3	30A
Ammonium Sulfate	45-58	C¼-35FOTU	L-S	1	1.0	30A
Antimony Powder	—	A100-35	H	2	1.6	30A
Apple Pomace, Dry	15	C¼-45Y	H	2	1.0	30A
Arsenate Of Lead (See Lead Arsenate)	—	—	—	—	—	—
Arsenic Oxide (Arsenolite)	100-120	A100-35R	L-S-B	—	—	30A
Arsenic Pulverized	30	A100-25R	H	2	.8	45
Asbestos — Rock (Ore)	81	D3-37R	H	3	1.2	15
Asbestos — Shredded	20-40	E-46XY	H	2	1.0	30B
Ash, Black Ground	105	B6-35	L-S-B	1	2.0	30A
Ashes, Coal, Dry — ½"	35-45	C¼-46TY	H	3	3.0	30B
Ashes, Coal, Dry — 3"	35-40	D3-46T	H	3	2.5	30B
Ashes, Coal, Wet — ½"	45-50	C¼-46T	H	3	3.0	30B
Ashes, Coal, Wet — 3"	45-50	D3-46T	H	3	4.0	30B
Ashes, Fly (See Fly Ash)	—	—	—	—	—	—
Asphalt, Crushed — ½"	45	C¼-45	H	2	2.0	30A
Bagasse	7-10	E-45RVXY	L-S-B	2	1.5	30A
Bakelite, Fine	30-45	B6-25	L-S-B	1	1.4	45
Baking Powder	40-55	A100-35	S	1	.6	30A
Baking Soda (Sodium Bicarbonate)	40-55	A100-25	S	1	.6	45
Barite (Barium Sulfate) + ½" — 3"	120-180	D3-36	H	3	2.6	30B
Barite, Powder	120-180	A100-35X	H	2	2.0	30A
Barium Carbonate	72	A100-45R	H	2	1.6	30A
Bark, Wood, Refuse	10-20	E-45TVY	H	3	2.0	30A
Barley, Fine, Ground	24-38	B6-35	L-S-B	1	.4	30A
Barley, Malted	31	C¼-35	L-S-B	1	.4	30A
Barley, Meal	28	C¼-35	L-S-B	1	.4	30A
Barley, Whole	36-48	B6-25N	L-S-B	1	.5	45
Basalt	80-105	B6-27	H	3	1.8	15
Bauxite, Dry, Ground	68	B6-25	H	2	1.8	45
Bauxite, Crushed — 3"	75-85	D3-36	H	3	2.5	30B
Beans, Castor, Meal	35-40	B6-35W	L-S-B	1	.8	30A
Beans, Castor, Whole Shelled	36	C¼-15W	L-S-B	1	.5	45
Beans, Navy, Dry	48	C¼-15	L-S-B	1	.5	45
Beans, Navy, Steeped	60	C¼-25	L-S-B	1	.8	45

Tabla B.9 Clasificación del Material a Transportar a través del Tornillo

<h2 style="margin: 0;">Table 1-1 Material Classification Code Chart</h2>	
--	---

Major Class	Material Characteristics Included	Code Designation
Density	Bulk Density, Loose	Actual Lbs/PC
Size	Very Fine      No. 200 Sieve (.0029") And Under No. 100 Sieve (.0059") And Under No. 40 Sieve (.016") And Under	A <sub>200</sub> A <sub>100</sub> A <sub>40</sub>
	<b>Fine</b> <b>No. 6 Sieve (.132") And Under</b>	<b>B<sub>6</sub></b>
	Granular        ½" And Under (6 Sieve to ½") 3" And Under (½ to 3") 7" And Under (3" to 7")	C <sub>½</sub> D <sub>3</sub> D <sub>7</sub>
	Lumpy            16" And Under (0" to 16") Over 16" To Be Specified X=Actual Maximum Size	D <sub>16</sub> D <sub>X</sub>
	Irregular        Stringy, Fibrous, Cylindrical, Slabs, Etc.	E
Flowability	Very Free Flowing	1
	Free Flowing	2
	<b>Average Flowability</b>	<b>3</b>
	Sluggish	4
Abrasiveness	<b>Mildly Abrasive</b>	<b>5</b>
	Moderately Abrasive	6
	Extremely Abrasive	7
Miscellaneous Properties Or Hazards	Builds Up and Hardens Generates Static Electricity Decomposes — Deteriorates in Storage Flammability Becomes Plastic or Tends to Soften Very Dusty Aerates and Becomes a Fluid Explosiveness Stickiness — Adhesion Contaminable, Affecting Use Degradable, Affecting Use Gives Off Harmful or Toxic Gas or Fumes Highly Corrosive Mildly Corrosive Hygroscopic Interlocks, Mats or Agglomerates Oils Present Packs Under Pressure Very Light and Fluffy — May Be Windswept Elevated Temperature	F G H J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

Tabla B.10 Selección de Rodamiento del Tornillo Sin Fin



The selection of bearing material for intermediate hangers is based on experience together with a knowledge of the characteristics of the material to be conveyed. By referring to the material characteristic tables, page H-8 thru H-16 the intermediate hanger bearing selection can be made by viewing the Bearing Selection column. The bearing selection will be made from one of the following types: B, L, S, H. The various bearing types available in the above categories can be selected from the following table.

Table 1-11

Hanger Bearing Selection				
Bearing Component Groups	Bearing Types	Recommended Coupling Shaft Material Δ	Max. Recommended Operating Temperature	F <sub>b</sub>
B	Ball	Standard	180°F	1.0
L	Bronze	Standard	300°F	
S	<i>Martin</i> Bronze*	Standard	850°F	2.0
	Graphite Bronze	Standard	500°F	
	Oil Impreg. Bronze	Standard	200°F	
	Oil Impreg. Wood	Standard	160°F	
	Nylatron	Standard	250°F	
	Nylon	Standard	160°F	
	Teflon	Standard	250°F	
	UHMW	Standard	225°F	
	Melamine (MCB)	Standard	250°F	
	Ertalyte® Quadrent	Standard	200°F	
Urethane	Standard	200°F		
H	<i>Martin</i> Hard Iron*	Hardened	500°F	3.4
	Hard Iron	Hardened	500°F	4.4
	Hard Surfaced	Hardened or Special	500°F	
	Stellite	Special	500°F	
Ceramic	Special	1,000°F		

\*Sintered Metal. Self-lubricating.

Δ OTHER TYPES OF COUPLING SHAFT MATERIALS

Various alloys, stainless steel, and other types of shafting can be furnished as required.



Tabla B.11 Capacidad de Transporte de Ceniza del Tornillo Sin Fin



## Capacity Table

### Horizontal Screw Conveyors

(Consult Factory for Inclined Conveyors)

Table 1-6

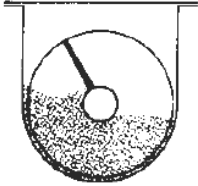
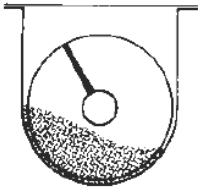
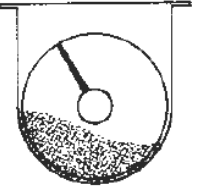
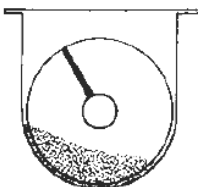
	Trough Loading	Screw Dia. Inch	Capacity Cubic Feet Per Hour (Full Pitch)		Max. RPM
			At One RPM	At Max RPM	
<b>45%</b>		4	0.62	114	184
		6	2.23	368	165
		9	8.20	1270	155
		10	11.40	1710	150
		12	19.40	2820	145
		14	31.20	4370	140
		16	46.70	6060	130
		18	67.60	8120	120
		20	93.70	10300	110
		24	164.00	16400	100
		30	323.00	29070	90
<b>30% A</b>		4	0.41	53	130
		6	1.49	180	120
		9	5.45	545	100
		10	7.57	720	95
		12	12.90	1160	90
		14	20.80	1770	85
		16	31.20	2500	80
		18	45.00	3380	75
		20	62.80	4370	70
		24	109.00	7100	65
		30	216.00	12960	60
<b>30% B</b>		4	0.41	29	72
		6	1.49	90	60
		9	5.45	300	55
		10	7.60	418	55
		12	12.90	645	50
		14	20.80	1040	50
		16	31.20	1400	45
		18	45.00	2025	45
		20	62.80	2500	40
		24	109.00	4360	40
		30	216.00	7560	35
<b>15%</b>		4	0.21	15	72
		6	0.75	45	60
		9	2.72	150	55
		10	3.80	210	55
		12	6.40	325	50
		14	10.40	520	50
		16	15.60	700	45
		18	22.50	1010	45
		20	31.20	1250	40
		24	54.60	2180	40
		30	108.00	3780	35

Tabla B.12 Potencia Requerida del Tornillo Sin Fin.

# Horsepower Requirements



## Horizontal Screw Conveyors

\*Consult Factory for Inclined Conveyors or Screw Feeders

The horsepower required to operate a horizontal screw conveyor is based on proper installation, uniform and regular feed rate to the conveyor and other design criteria as determined in this book.

The horsepower requirement is the total of the horsepower to overcome friction ( $HP_f$ ) and the horsepower to transport the material at the specified rate ( $HP_m$ ) multiplied by the overload factor  $F_o$  and divided by the total drive efficiency  $e$ , or:

$$HP_f = \frac{LN F_d f_b}{1,000,000} = \text{(Horsepower to run an empty conveyor)}$$

$$HP_m = \frac{CLW F_f F_m F_p}{1,000,000} = \text{(Horsepower to move the material)}$$

$$\text{Total HP} = \frac{(HP_f + HP_m) F_o}{e}$$

The following factors determine the horsepower requirement of a screw conveyor operating under the foregoing conditions.

- L = Total length of conveyor, feet
- N = Operating speed, RPM (revolutions per minute)
- $F_d$  = Conveyor diameter factor (See Table 1-12)
- $F_b$  = Hanger bearing factor (See Table 1-13)
- C = Capacity in cubic feet per hour
- W = Weight of material, lbs. per cubic foot
- $F_f$  = Flight factor (See Table 1-14)
- $F_m$  = Material factor (See Table 1-2)
- $F_p$  = Paddle factor, when required. (See Table 1-15)
- $F_o$  = Overload factor (See Table 1-16)
- e = Drive efficiency (See Table 1-17)

Table 1-12

Conveyor Diameter Factor, $F_d$			
Screw Diameter Inches	Factor $F_d$	Screw Diameter Inches	Factor $F_d$
4	12.0	14	78.0
6	18.0	16	106.0
9	31.0	18	135.0
10	37.0	20	165.0
12	55.0	24	235.0
		30	300

Table 1-13

Hanger Bearing Factor $F_b$		
Bearing Type		Hanger Bearing Factor $F_b$
B	Ball	1.0
L	<i>Martin</i> Bronze	2.0
S	*Graphite Bronze *Melamine *Oil Impreg. Bronze *Oil Impreg. Wood *Nylatron *Nylon *Teflon *UHMW *Ertalyte® *Urethane	2.0
	* <i>Martin</i> Hard Iron	3.4
H	*Hard Surfaced *Stellite *Ceramic	4.4

\*Non lubricated bearings, or bearings not additionally lubricated.

Tabla B.13 Factor de Potencia del Tornillo Sin Fin.



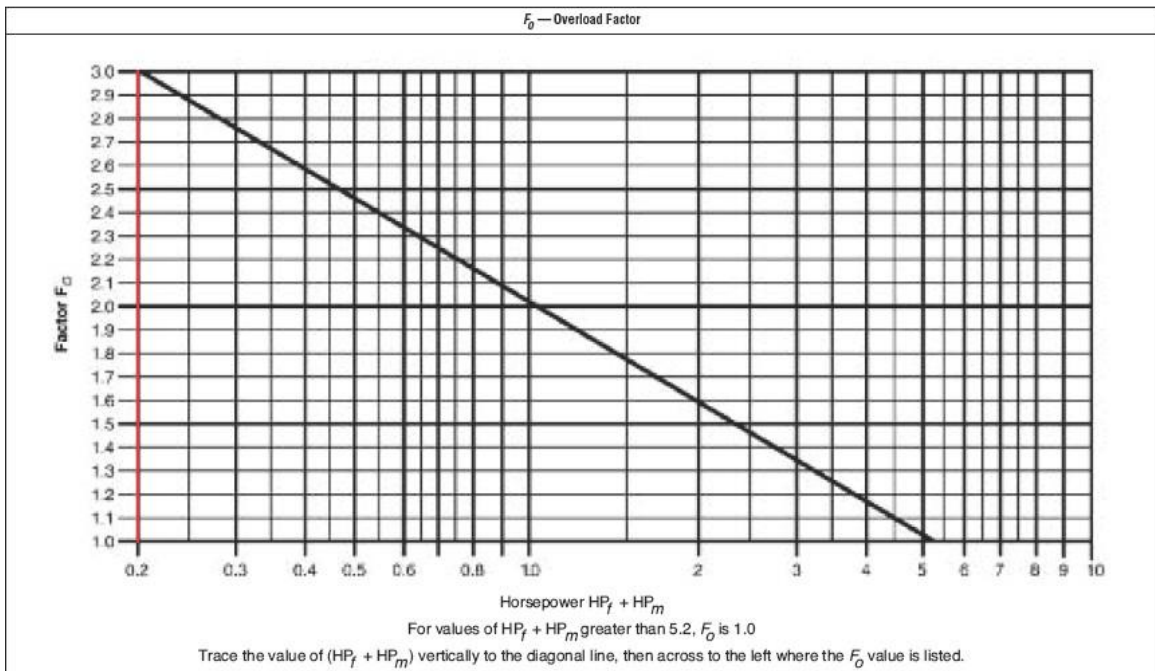
**Table 1-14**  
Flight Factor,  $F_f$

Flight Type	$F_f$ Factor for Percent Conveyor Loading			
	15%	30%	45%	95%
Standard	1.0	1.0	1.0	1.0
Cut Flight	1.10	1.15	1.20	1.3
Cut & Folded Flight	N.R.*	1.50	1.70	2.20
Ribbon Flight	1.05	1.14	1.20	—
*Not Recommended				

**Table 1-15**

Paddle Factor $F_p$					
Standard Paddles per Pitch, Paddles Set at 45° Reverse Pitch					
Number of Paddles per Pitch	0	1	2	3	4
Paddle Factor — $F_p$	1.0	1.29	1.58	1.87	2.16

**Table 1-16**



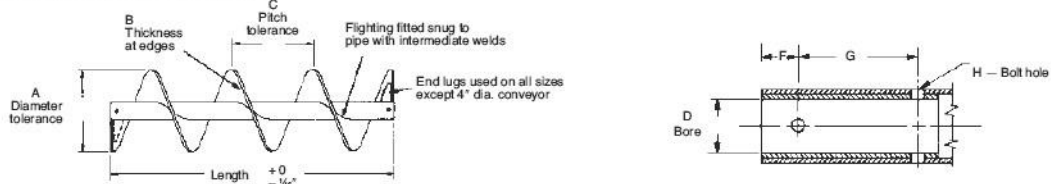
**Table 1-17**

e Drive Efficiency Factor				
Screw Drive or Shaft Mount w/ V-Belt Drive	V-Belt to Helical Gear and Coupling	Gearmotor w/ Coupling	Gearmotor w/ Chain Drive	Worm Gear
.88	.87	.95	.87	Consult Manufacturer

Tabla B.14 Selección del Tornillo Sin Fin.



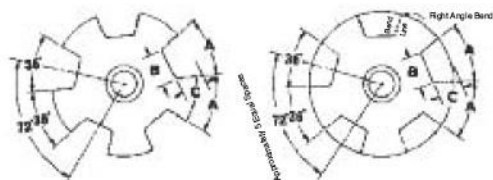
Helicoid Screw Conveyors



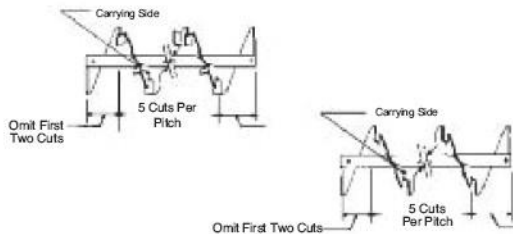
Listed Screw Diameter and Pitch	Coupling Diameter	Size Designation	Pipe Size Schedule 40	Length Feet and Inches	A		B		C		D		F	G	H
					Diameter Tolerance		Thickness		Pitch Tolerance		Bushing Bore Inside Diameter				
					Plus	Minus	Inner Edge	Outer Edge	Plus	Minus	Minimum	Maximum			
4	1	4H206	1½	9-10½	⅜	¼	⅜	⅜	⅜	¼	1.005	1.016	⅜	2	⅜
6	1½	6H304	2	9-10	⅜	⅜	¼	⅜	⅜	¼	1.505	1.516	¼	3	⅜
6	1½	6H308	2	9-10	⅜	⅜	¼	¼	¾	¼	1.505	1.516	¼	3	⅜
6	1½	6H312	2	9-10	⅜	⅜	¾	¾	¾	¼	1.505	1.516	¼	3	⅜
9	1½	9H306	2	9-10	⅜	⅜	⅜	⅜	¾	¼	1.505	1.516	¼	3	⅜
9	1½	9H312	2	9-10	⅜	⅜	¾	¾	¾	¼	1.505	1.516	¼	3	⅜
9	2	9H406	2½	9-10	⅜	⅜	⅜	⅜	¾	¼	2.005	2.016	¼	3	⅜
9	2	9H412	2½	9-10	⅜	¼	¾	¾	¾	¼	2.005	2.016	¼	3	⅜
9	2	9H414	2½	9-10	⅜	¼	⅜	⅜	¾	¼	2.005	2.016	¼	3	⅜
10	1½	10H306	2	9-10	⅜	⅜	⅜	⅜	¾	¼	1.505	1.516	¼	3	⅜
10	2	10H412	2½	9-10	⅜	¼	¾	¾	¾	¼	2.005	2.016	¼	3	⅜
12	2	12H408	2½	11-10	⅜	⅜	¼	¼	1	¼	2.005	2.016	¼	3	⅜
12	2	12H412	2½	11-10	⅜	⅜	¾	¾	1	¼	2.005	2.016	¼	3	⅜
12	2½	12H508	3	11-9	⅜	⅜	¼	¼	1	¼	2.443	2.458	⅜	3	⅜
12	2½	12H512	3	11-9	⅜	⅜	¾	¾	1	¼	2.443	2.458	⅜	3	⅜
12	3	12H614	3½	11-9	⅜	¾	⅜	⅜	1	¼	3.005	3.025	1	3	⅜
14	2½	14H508	3	11-9	⅜	⅜	¼	¼	1	¼	2.443	2.458	⅜	3	⅜
14	3	14H614	3½	11-9	⅜	¾	⅜	⅜	1	¼	3.005	3.025	1	3	⅜
16	3	16H610	3½	11-9	⅜	¾	⅜	⅜	1½	¼	3.005	3.025	1	3	⅜
16	3	16H614	4	11-9	⅜	¾	⅜	⅜	1½	¼	3.005	3.025	1	3	⅜

NOTE: All dimensions in inches.

Cut Flight/Cut & Folded Flight Conveyors



Depth of cut "C" is one half the flight width for normal maximum pipe size. Lengths "A" and "B" are calculated from the developed O.D. for standard pitch.



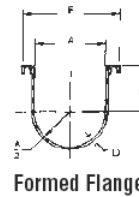
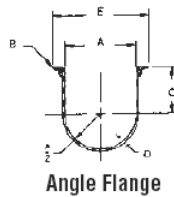
Screw Diameter	A	B	C
4	1¾	1	¾
6	2	1½	¾
9	3	2½	1½
10	3¾	2¼	1¾
12	4	2¾	2
14	4¾	3¾	2½
16	5¼	3¾	3
18	6	3¾	3¾
20	6¾	4¼	3¾
24	7¾	4¾	4¾

Tabla B.15 Artesa

# Standard Conveyor Trough



Standard conveyor troughs have a U-shaped steel body with angle iron top flanges or formed top flanges and jig drilled end flanges.



Conveyor Diameter	D Trough Thick.	Angle Flanged Part Number	Angle Flanged Trough				Formed Flanged Trough ▲				A	B	C	E	F	
			Weight		Weight		Part Number	Weight								
			10' Length	5' Length	12' Length	6' Length		10' Length	5' Length	12' Length						6' Length
4	16 GA.	4CTA16	53	29	—	—	4CTF16	41	23	—	—	5	1¼	3%	7%	7¼
4	14	4CTA14	60	33	—	—	4CTF14	50	28	—	—				7½	7¼
4	12	4CTA12	78	42	—	—	4CTF12	70	38	—	—				7¾	7¼
6	16 GA.	6CTA16	67	44	—	—	6CTF16	55	32	—	—	7	1¼	4%	9%	9½
6	14	6CTA14	78	49	—	—	6CTF14	67	38	—	—				9%	9½
6	12	6CTA12	101	60	—	—	6CTF12	91	50	—	—				9%	9½
6	10	6CTA10	123	73	—	—	6CTF10	117	64	—	—				9%	9½
6	¾	6CTA7	164	86	—	—	6CTF7	150	79	—	—				9%	9½
9	16 GA.	9CTA16	113	66	—	—	9CTF16	83	51	—	—	10	1½	6%	13%	13¼
9	14	9CTA14	127	73	—	—	9CTF14	99	59	—	—				13%	13¼
9	12	9CTA12	156	87	—	—	9CTF12	132	75	—	—				13%	13¼
9	10	9CTA10	176	102	—	—	9CTF10	164	91	—	—				13%	13¼
9	¾	9CTA7	230	124	—	—	9CTF7	214	116	—	—				13%	13¼
9	¼	9CTA3	286	152	—	—	9CTF3	276	147	—	—	13%	13¼			
10	16 GA.	10CTA16	118	69	—	—	10CTF16	88	54	—	—	11	1½	6%	14%	14¼
10	14	10CTA14	133	76	—	—	10CTF14	105	62	—	—				14%	14¼
10	12	10CTA12	164	92	—	—	10CTF12	140	80	—	—				14%	14¼
10	10	10CTA10	178	102	—	—	10CTF10	167	91	—	—				14%	14¼
10	¾	10CTA7	233	131	—	—	10CTF7	217	123	—	—				14%	14¼
10	¼	10CTA3	306	163	—	—	10CTF3	296	158	—	—				14%	14¼
12	12 GA.	12CTA12	197	113	236	135	12CTF12	164	95	197	114	13	2	7%	17%	17½
12	10	12CTA10	234	133	281	160	12CTF10	187	117	224	140				17%	17½
12	¾	12CTA7	294	164	353	197	12CTF7	272	150	326	180				17%	17½
12	¼	12CTA3	372	203	446	244	12CTF3	357	194	428	233				17%	17½
14	12 GA.	14CTA12	214	121	257	145	14CTF12	183	102	219	122	15	2	9¼	19%	19%
14	10	14CTA10	258	143	309	172	14CTF10	207	127	248	152				19%	19%
14	¾	14CTA7	328	180	394	216	14CTF7	304	168	365	202				19%	19%
14	¼	14CTA3	418	224	501	269	14CTF3	403	215	483	258				19%	19%
16	12 GA.	16CTA12	238	133	285	160	16CTF12	206	107	247	128	17	2	10%	21%	21%
16	10	16CTA10	288	159	345	191	16CTF10	234	144	281	173				21%	21%
16	¾	16CTA7	368	200	442	240	16CTF7	345	188	414	226				21%	21%
16	¼	16CTA3	471	243	565	291	16CTF3	455	228	546	273				21%	21%
18	12 GA.	18CTA12	252	159	302	191	18CTF12	240	133	288	160	19	2½	12%	24%	24¼
18	10	18CTA10	353	170	423	204	18CTF10	269	165	323	198				24%	24¼
18	¾	18CTA7	444	243	533	291	18CTF7	394	217	473	260				24%	24¼
18	¼	18CTA3	559	298	671	358	18CTF3	520	275	624	330				24%	24¼
20	10 GA.	20CTA10	383	228	460	274	20CTF10	296	190	355	228	21	2½	13½	26%	26½
20	¾	20CTA7	484	271	581	325	20CTF7	434	247	521	296				26%	26½
20	¼	20CTA3	612	334	734	401	20CTF3	573	315	687	378				26%	26½
24	10 GA.	24CTA10	443	255	531	306	24CTF10	384	227	461	272	25	2½	16½	30%	30½
24	¾	24CTA7	563	319	676	383	24CTF7	514	293	617	352				30%	30½
24	¼	24CTA3	717	363	860	435	24CTF3	678	339	813	406				30%	30½

□ Standard Gauge  
Bolt Patterns  
Page H-42

All troughs available in other materials such as stainless, aluminum, abrasion resistant, etc.

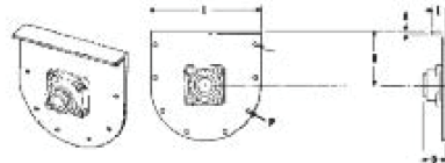
▲ Double formed flange standard on all sizes through 10 ga.

Tabla B.16 Tapa de artesa

# Trough Ends

## Outside Less Feet

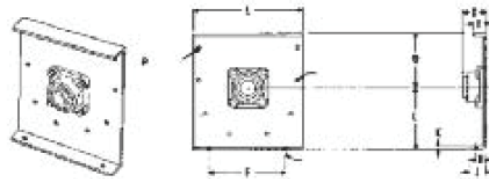
Outside trough ends less feet are used to support end bearing and cover when no trough support is required. Drilling for bronze bearing or flanged ball bearing is standard.



Conveyor Diameter	Shaft Diameter	▲ Part Number	B	D			E	K	L	N	Weight	P Slot
				Friction Bearing	Ball Bearing	Roller Bearing						
4	1	4TE2-*	3%	2%	1%	1%	1/4	8%	3/8	3	7/8 x 3/8	
6	1 1/2	6TE3-*	4%	3%	2%	3%	1/2	10%	3/4	4	7/8 x 3/8	
9	1 1/2 2	9TE3-*	6%	3%	2%	3%	1%	13%	3/4	9	7/8 x 3/8	
		9TE4-*	6%	4%	2%	3%	1%	13%	3/4	9	7/8 x 3/8	
10	1 1/2 2	10TE3-*	6%	3%	2%	3%	1%	14%	3/4	11	7/8 x 3/8	
		10TE4-*	6%	4%	2%	3%	1%	14%	3/4	11	7/8 x 3/8	
12	2 2 1/2 3	12TE4-*	7%	4%	2%	3%	2	17%	3/4	20	7/8 x 1 1/8	
		12TE5-*	7%	5%	2%	4%	2	17%	3/4	20	7/8 x 1 1/8	
		12TE6-*	7%	6%	3%	4%	2	17%	3/4	20	7/8 x 1 1/8	
14	2 1/2 3	14TE5-*	9%	5%	2%	4%	2	19%	3/4	35	7/8 x 1 1/8	
		14TE6-*	9%	5%	3%	4%	2	19%	3/4	35	7/8 x 1 1/8	
16	3	16TE6-*	10%	6%	3%	5	2 1/2	21%	3/4	42	1 1/8 x 1 3/8	
18	3 3 1/2	18TE6-*	12%	6%	3%	5	2 1/2	24%	3/4	60	1 1/8 x 1 3/8	
		18TE7-*	12%	7%	4%	5 1/2	2 1/2	24%	3/4	60	1 1/8 x 1 3/8	
20	3 3 1/2	20TE6-*	13%	6%	3%	5 1/2	2 1/2	26%	3/4	90	1 1/8 x 1 3/8	
		20TE7-*	13%	7%	4%	5 1/2	2 1/2	26%	3/4	90	1 1/8 x 1 3/8	
24	3 1/2	24TE7-*	16 1/2	7%	4%	5	2 1/2	30%	3/4	120	1 1/8 x 1 3/8	

## Outside With Feet

Outside trough ends with feet are used to support end bearing, cover and trough. Drilling for bronze bearing or flanged ball bearing is standard.



Conveyor Diameter	Shaft Diameter	▲ Part Number	B	C	D			E	F	H	J	K	L	M	N	Weight	P Slot
					Friction Bearing	Ball Bearing	Roller Bearing										
4	1	4TEF2-*	3%	4%	2 1/2	1%	—	1 1/2	5%	1	1%	3/4	8 1/2	3/4	3/4	4	7/8 x 3/8
6	1 1/2	6TEF3-*	4%	5%	3 1/2	2%	3 1/2	1 1/2	8%	1	1%	3/4	10%	3/4	3/4	7	7/8 x 3/8
9	1 1/2 2	9TEF3-*	6%	7%	3 1/2	2%	3 1/2	1%	9%	1 1/2	2%	3/4	13%	3/4	3/4	12	7/8 x 3/8
		9TEF4-*	6%	7%	4 1/2	2%	3 1/2	1%	9%	1 1/2	2%	3/4	13%	3/4	3/4	12	7/8 x 3/8
10	1 1/2 2	10TEF3-*	6%	8%	3 1/2	2%	3 1/2	1%	9 1/2	1%	2%	3/4	14%	3/4	3/4	14	7/8 x 3/8
		10TEF4-*	6%	8%	4 1/2	2%	3 1/2	1%	9 1/2	1%	2%	3/4	14%	3/4	3/4	14	7/8 x 3/8
12	2 2 1/2 3	12TEF4-*	7%	9%	5	2%	3%	2	12 1/4	1%	2%	3/4	17%	3/4	3/4	23	7/8 x 1 1/8
		12TEF5-*	7%	9%	5 1/2	2%	4%	2	12 1/4	1%	2%	3/4	17%	3/4	3/4	23	7/8 x 1 1/8
		12TEF6-*	7%	9%	5%	3%	4 1/2	2	12 1/4	1%	2%	3/4	17%	3/4	3/4	23	7/8 x 1 1/8
14	2 1/2 3	14TEF5-*	9%	10 1/2	5 1/2	2%	4%	2	13 1/2	1%	2%	3/4	19%	3/4	3/4	38	7/8 x 1 1/8
		14TEF6-*	9%	10 1/2	5%	3%	4 1/2	2	13 1/2	1%	2%	3/4	19%	3/4	3/4	38	7/8 x 1 1/8
16	3	16TEF6-*	10%	12	5 1/2	3%	5	2 1/2	14%	2	3 1/4	3/4	21%	3/4	3/4	45	1 1/8 x 1 3/8
18	3 3 1/2	18TEF6-*	12%	13%	5 1/2	3%	5	2 1/2	16	2	3 1/4	3/4	24%	3/4	3/4	67	1 1/8 x 1 3/8
		18TEF7-*	12%	13%	6 1/2	4%	5 1/2	2 1/2	16	2	3 1/4	3/4	24%	3/4	3/4	67	1 1/8 x 1 3/8
20	3 3 1/2	20TEF6-*	13%	15	5%	3%	5 1/2	2 1/2	19%	2 1/4	3%	3/4	26%	3/4	3/4	120	1 1/8 x 1 3/8
		20TEF7-*	13%	15	7	4%	5%	2 1/2	19%	2 1/4	3%	3/4	26%	3/4	3/4	120	1 1/8 x 1 3/8
24	3 1/2	24TEF7-*	16 1/2	18 1/2	7	4%	5%	2 1/2	20	2 1/4	4%	3/4	30%	3/4	3/4	162	1 1/8 x 1 3/8

▲ Can be furnished with CSP, CSW, or CSFP seals

--BB Ball Bearing  
--BR Bronze Bearing

--RB Roller Bearing  
--P Less Bearing



Tabla B.17 Características Técnicas del Ventilador



Printed Date: 6/5/2010

Job: Miguel 05-06-10 (practica)

Product Type: Fan

Mark: VENTILADOR CENTRIFUGO

**ENGINEERING DATA**

Approx. Fan Weight (lb)	Max. T Motor Frame Size
1,170	180

\*\*Fan weight is without accessories.

Drive Type
Variable

**CONFIGURATION**

Arrangement	Rotation	Discharge Position
10	CW	TH

**INSTALLATION**

Air Stream Temp. (F)
70

**MOTOR SPECS**

Size (kW)	RPM	V/C/P	Enclosure	Motor Frame Size
15	1725	460/60/3	IP55	160

# SWB Backward Inclined Centrifugal Utility Fan

Tag VENTILADOR CENTRIFUGO

**STANDARD CONSTRUCTION FEATURES**

HOUSING: Heavy gauge steel housing with Lock-seam construction • Unit support angles with prepunched mounting holes • Adjustable motor plate • Corrosion resistant fasteners • Entire unit is phosphatized and coated.  
 BEARINGS, SHAFT, AND WHEEL: Heavy duty lubricatable, self-aligning ball bearing pillow blocks • Polished, solid steel shafts • Backward inclined fan wheel (Fans with EXP. motors include: aluminum wheel, aluminum rub ring, and shaft seal)

**SELECTED OPTIONS & ACCESSORIES**

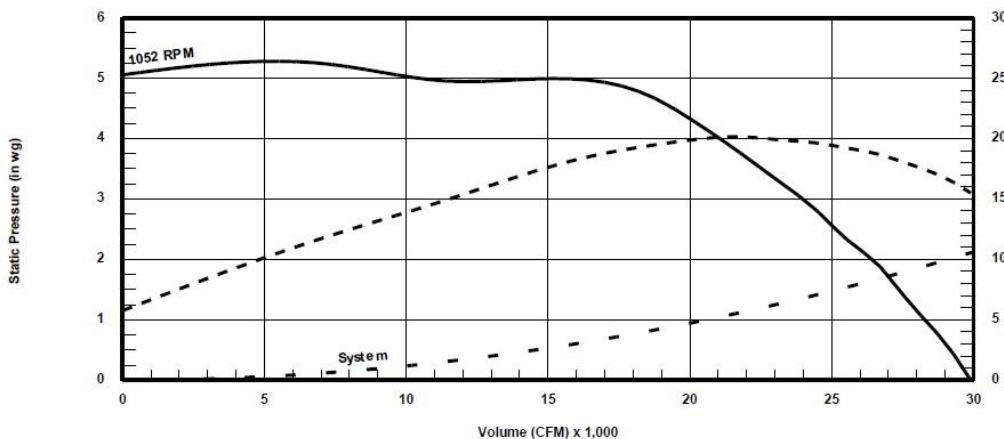
Steel Wheel Construction  
 Class F Motor Insulation  
 Permactector - Standard Coating on Entire Fan  
 Two Groove Pulley and Belt System

**PERFORMANCE** Elevation ft = 0

Qty.	Model	Volume (CFM)	SP (in wg)	TS (ft/min)	OV (ft/min)	FRPM	Operating Power (hp)	SE %
1	SWB-M236-15KW	27,000	1.72	10,053	3,659	1,052	18.49	40

**SOUND**

Inlet Sound Power by Octave Band								LwA	dBA	Noise Criteria	Sones
62.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000				
94	96	97	92	88	84	79	73	94	83	79	39



— RPM Curve  
 - - - System Curve  
 - · - Brake Power Curve  
 Do not select to the left of this surge curve



Figura B.4 Conjunto Motor- Ventilador

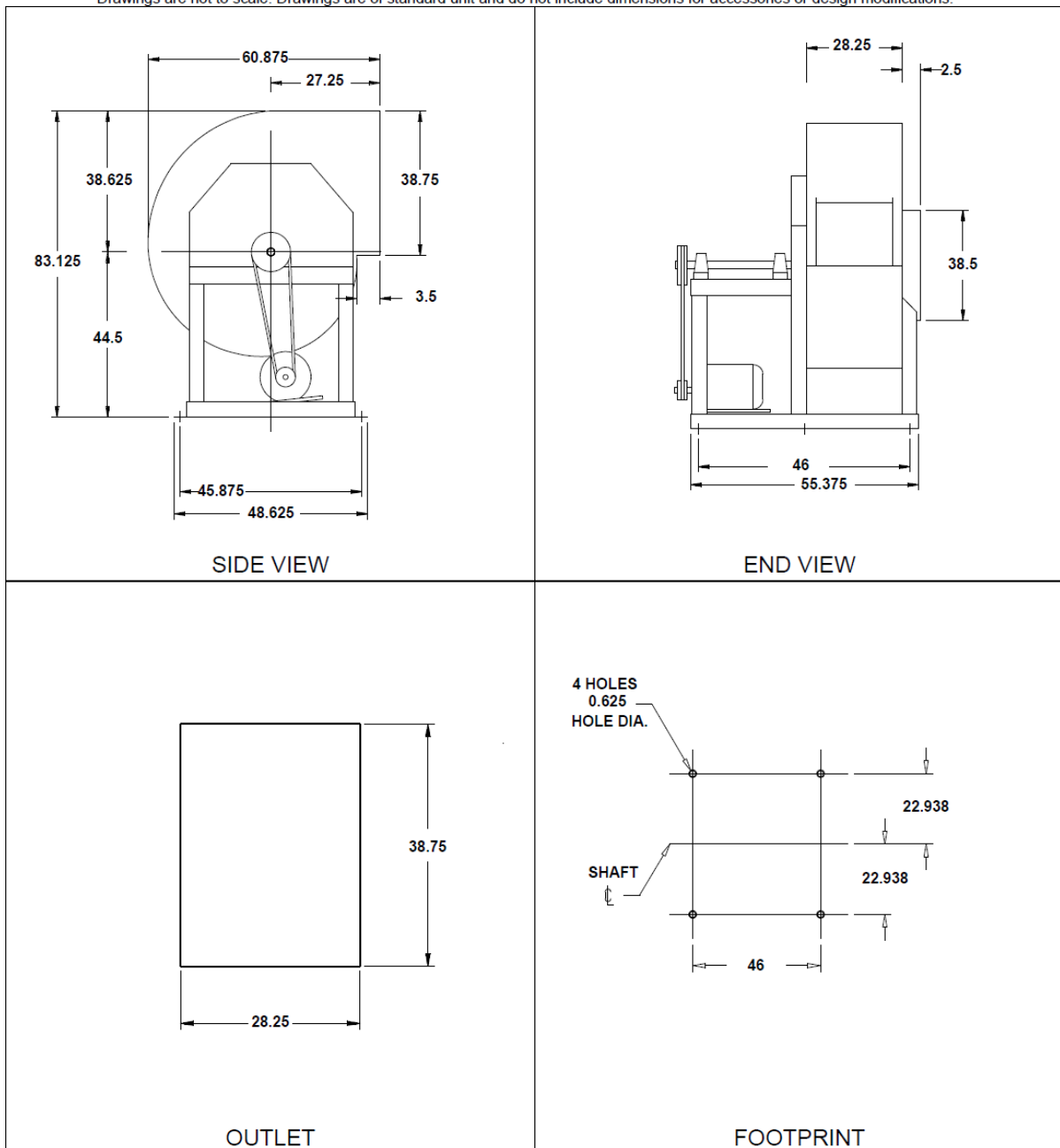


Printed Date: 6/5/2010  
 Job: Miguel 05-06-10 (practica)  
 Product Type: Fan  
 Mark: VENTILADOR CENTRIFUGO

Size: 36  
 Arrangement: 10

# SWB Backward Inclined Centrifugal Utility Fan

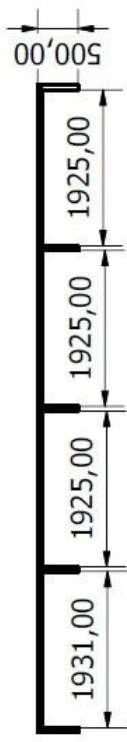
NOTES: All dimensions shown are in units of inches.  
 Drawings are not to scale. Drawings are of standard unit and do not include dimensions for accessories or design modifications.



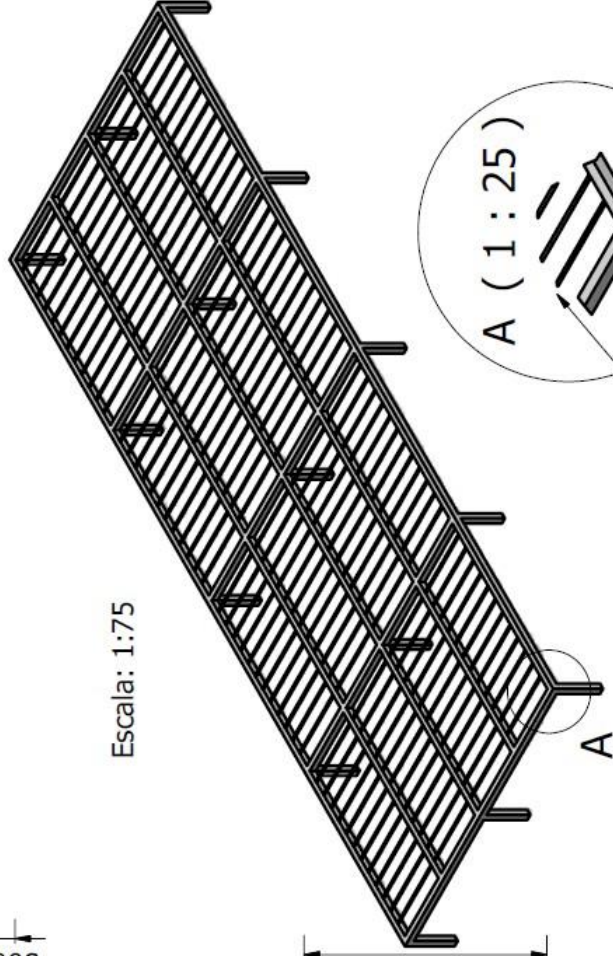


## **APENDICE C.**

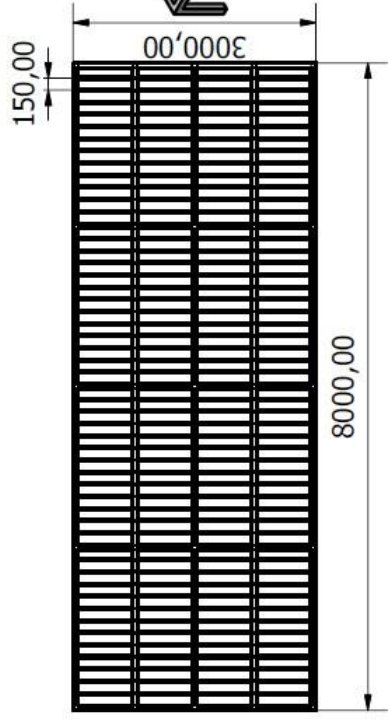
### **PLANOS.**



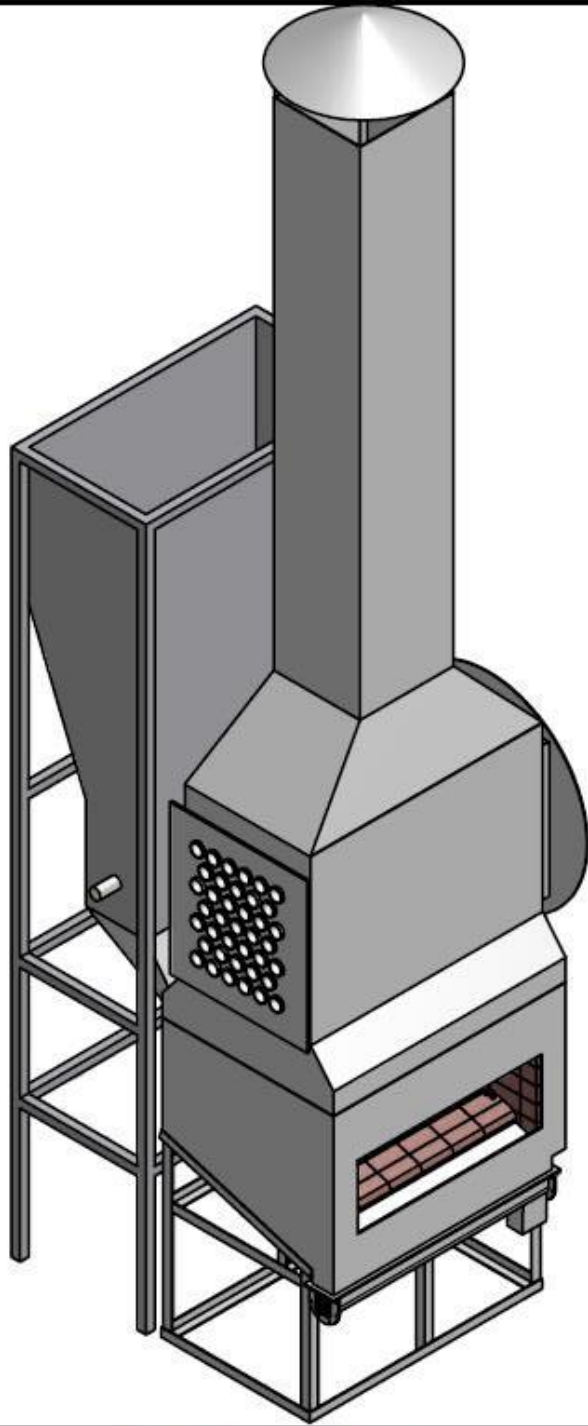
Escala: 1:75

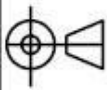


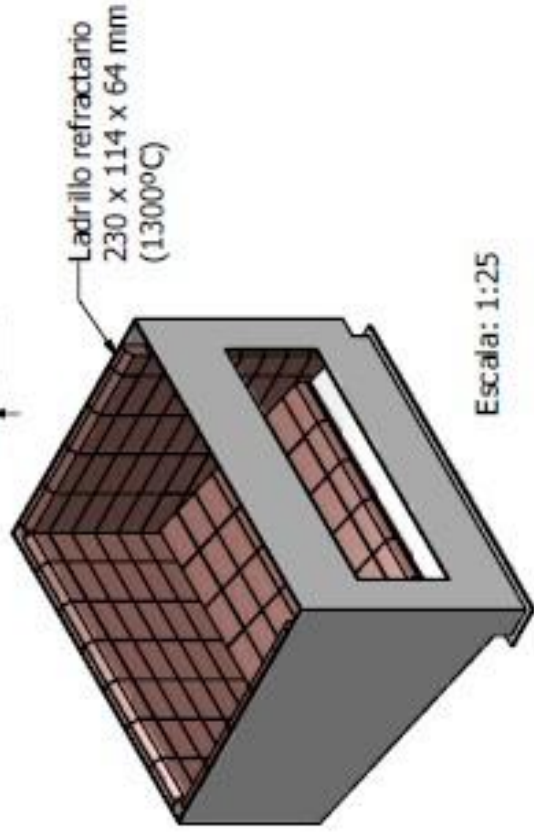
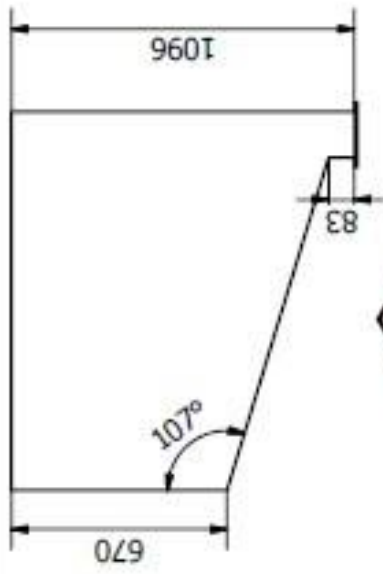
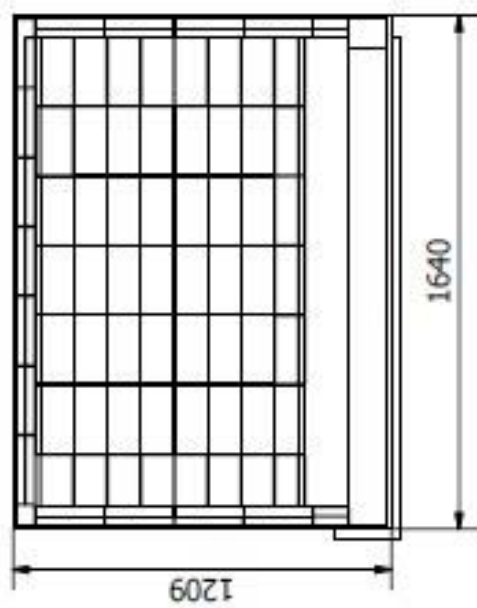
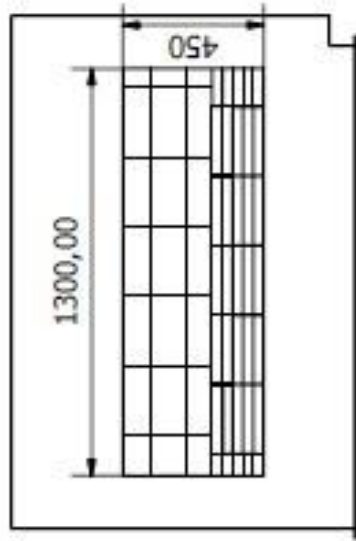
Varilla redonda lisa de  $\varnothing 18$  mm



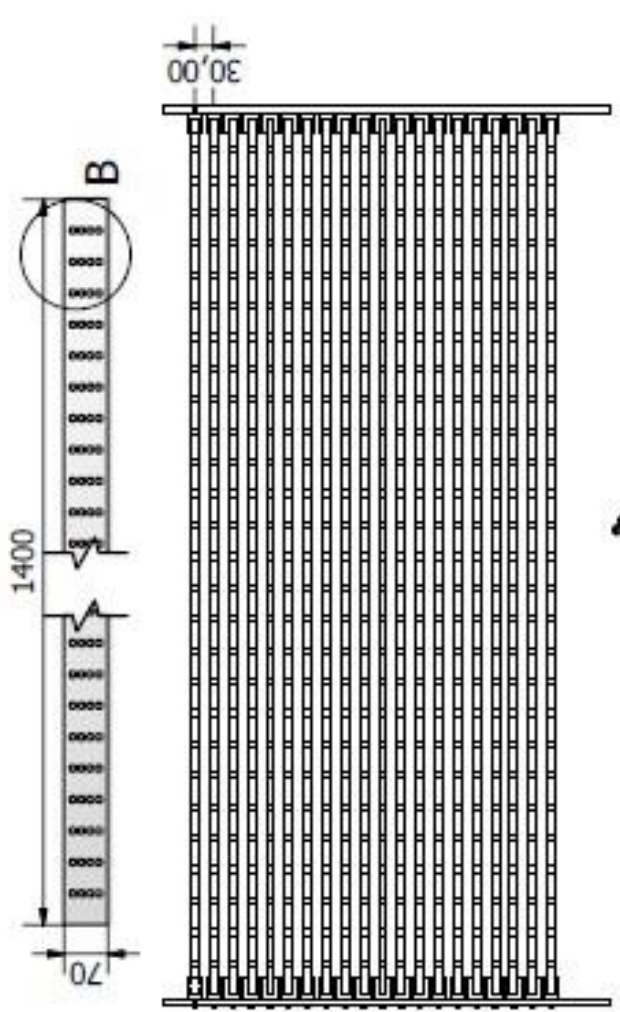
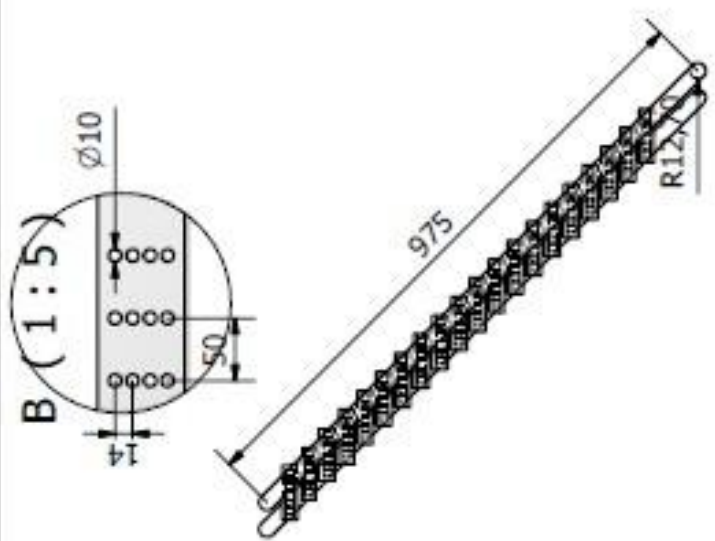
<b>FIMCP - ESPOL</b>		FECHA	NOMBRE
PROYECTO: CAMARA DE SECADO		Dibujó	Miguel Carabias
ESCALA: 1:50		Revisó	J. M. Espinosa
CONTIENE: Estructura Metálica de camara de secado		Plano No: 1	
MATERIALES: Tubo estructural cuadrado 50x50x2 mm		Masa (Kg):	



		FECHA	NOMBRE
		Dibujó 29/06/2010	Miguel Cardenas
		Revisó 29/06/2010	Ing. M. Espinoza
<p align="center"><b>FIMCP - ESPOL</b></p>		<p align="center">CAMARA DE SECADO</p>	
PROYECTO:		Plano N°:	
ESCALA:		2	
CONTIENE:		Masa (Kg):	
1:30		Horno de quemado de cascarilla de arroz	
		MATERIALES:	

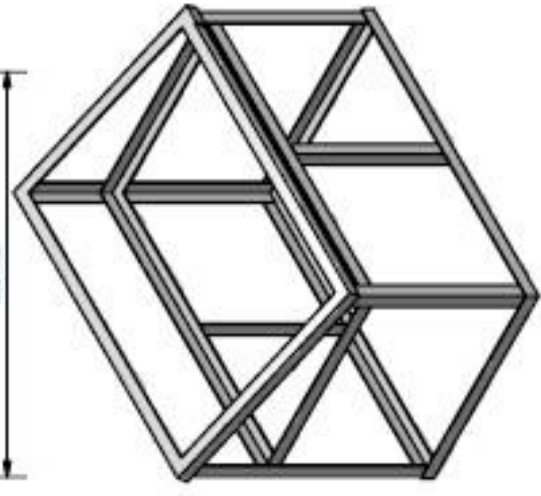
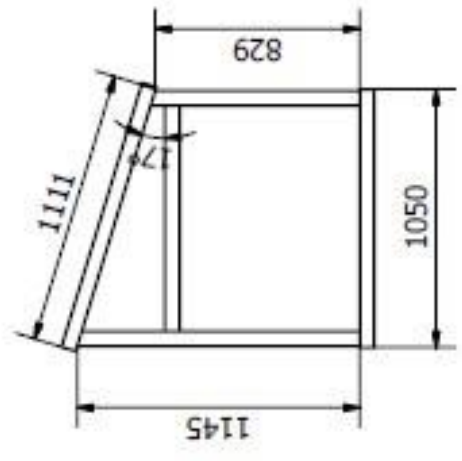
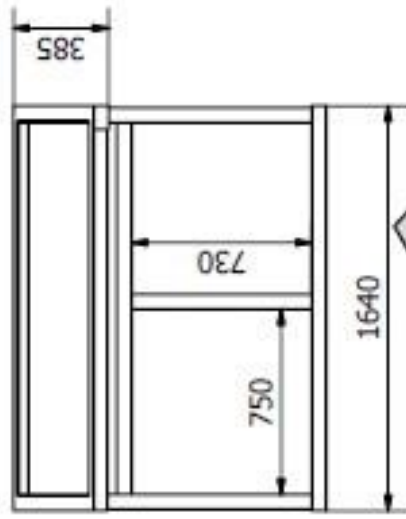


<b>FIMCP - ESPOL</b>		<small>SECCION PROMOCION</small> <small>Dibujado por: Oscar Miguel Contreras</small> <small>Revisado por: Oscar Miguel Contreras</small>	
PROYECTO:		Plano No:	
<b>CAMARA DE SECADO</b>		<b>3</b>	
ESCALA:	CONTIENE:	Masa (Kg):	
<b>1:20</b>	Cubierta de hormo + Ladrillo refractario		
	MATERIALES: Plancha de acero ASTM-A36 1,2x2x2,44 m x 4mm (3/16")		

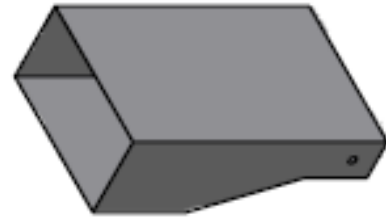
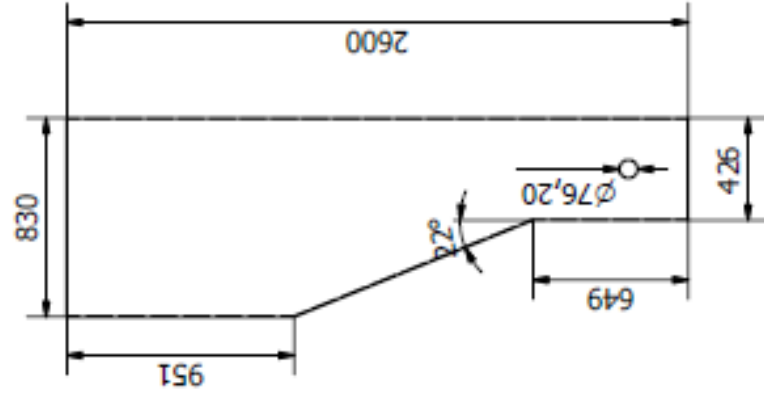
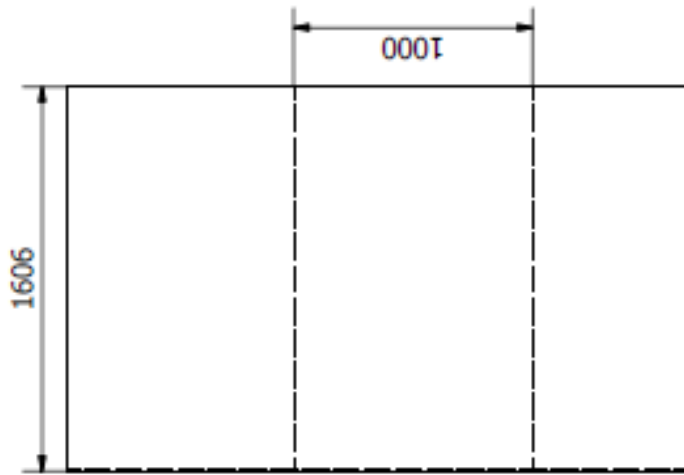


Escala: 1:20

<b>FIMCP - ESPOL</b>		FECHA NOMINADA:	
		Dibujado	Revisado
PROYECTO:		Plano No: <b>4</b>	
CONTIENE:		Parrilla	
ESCALA:	<b>1:10</b>	MATERIALES: Plancha de acero ASTM-A36 1,2x2,44 m x 1,2mm (1/2")	
		Masa (Kg):	



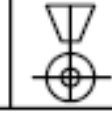
<b>FIMCP - ESPOL</b>		Escala: 1:25		Peso (Kg):	
PROYECTO:		CONTIENE:		Plano Nº:	
CAMARA DE SECADO		Estructura metálica del horno		5	
ESCALA:		MATERIALES:		Masa (Kg):	
1:25		Angulo 60 x 6mm			



# FIMCP - ESPOL

PROYECTO:

CAMARA DE SECADO



ESCALA:

1:25

CONTIENE:

Tolva Alimentadora del horno

MATERIALES: Plancha de acero ASTM-A36 1,22x2,44 m x 3mm (1/8")

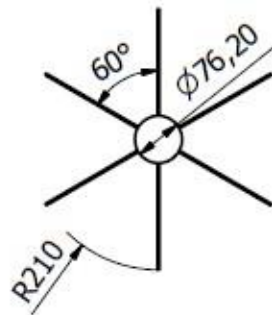
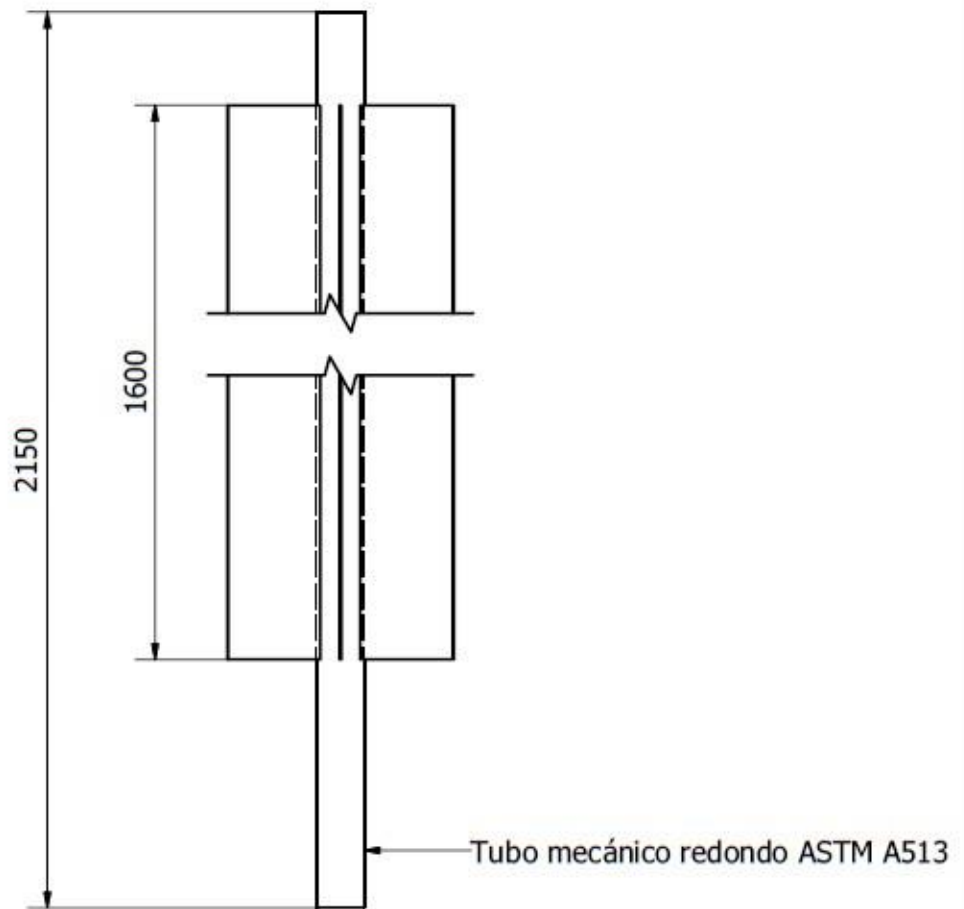
FECHA: 21/04/2016  
 DIBUJO DE: [illegible]  
 2.0000 2.0000 2.0000

Plano Nº:

6

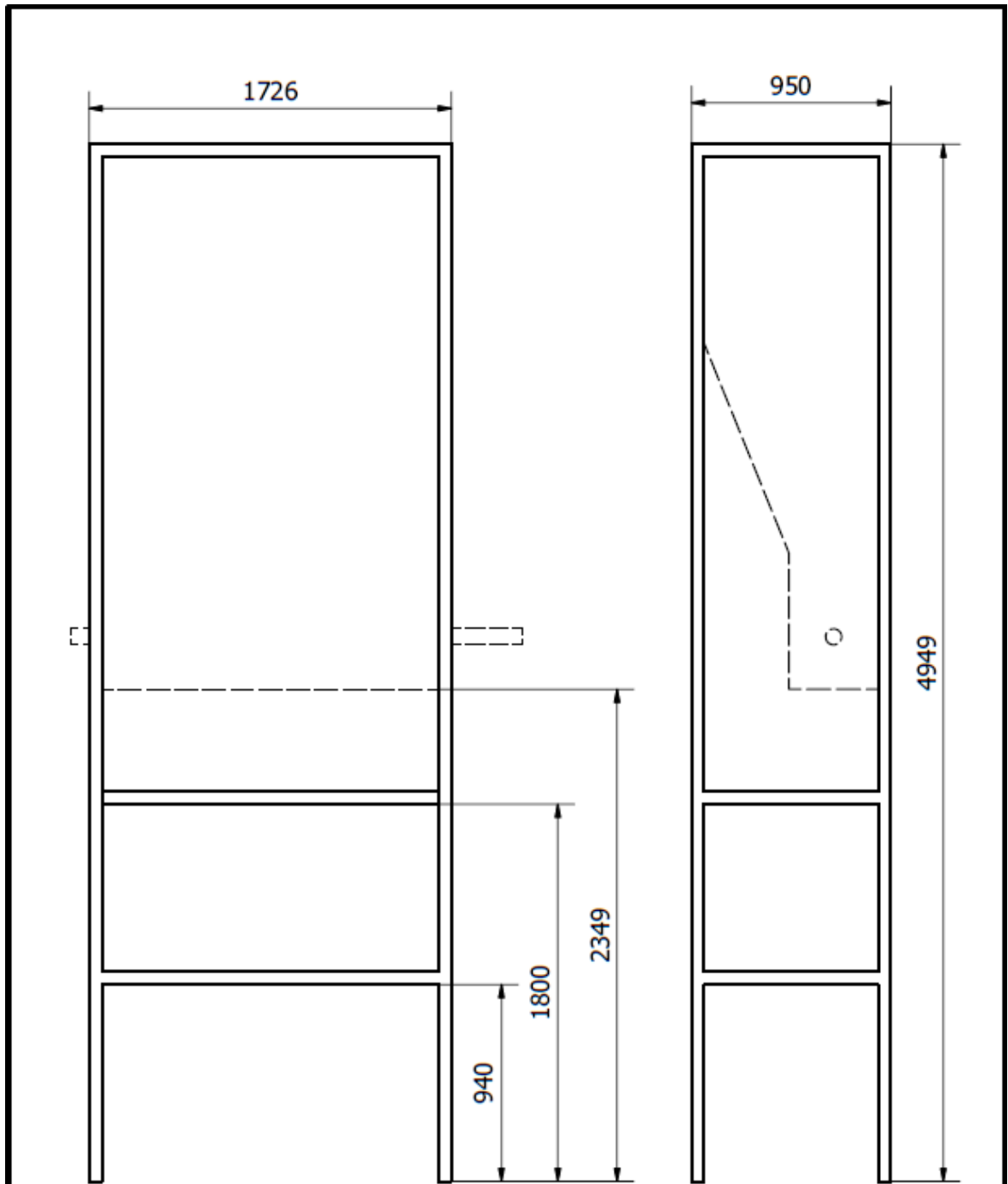
Masa (Kg):




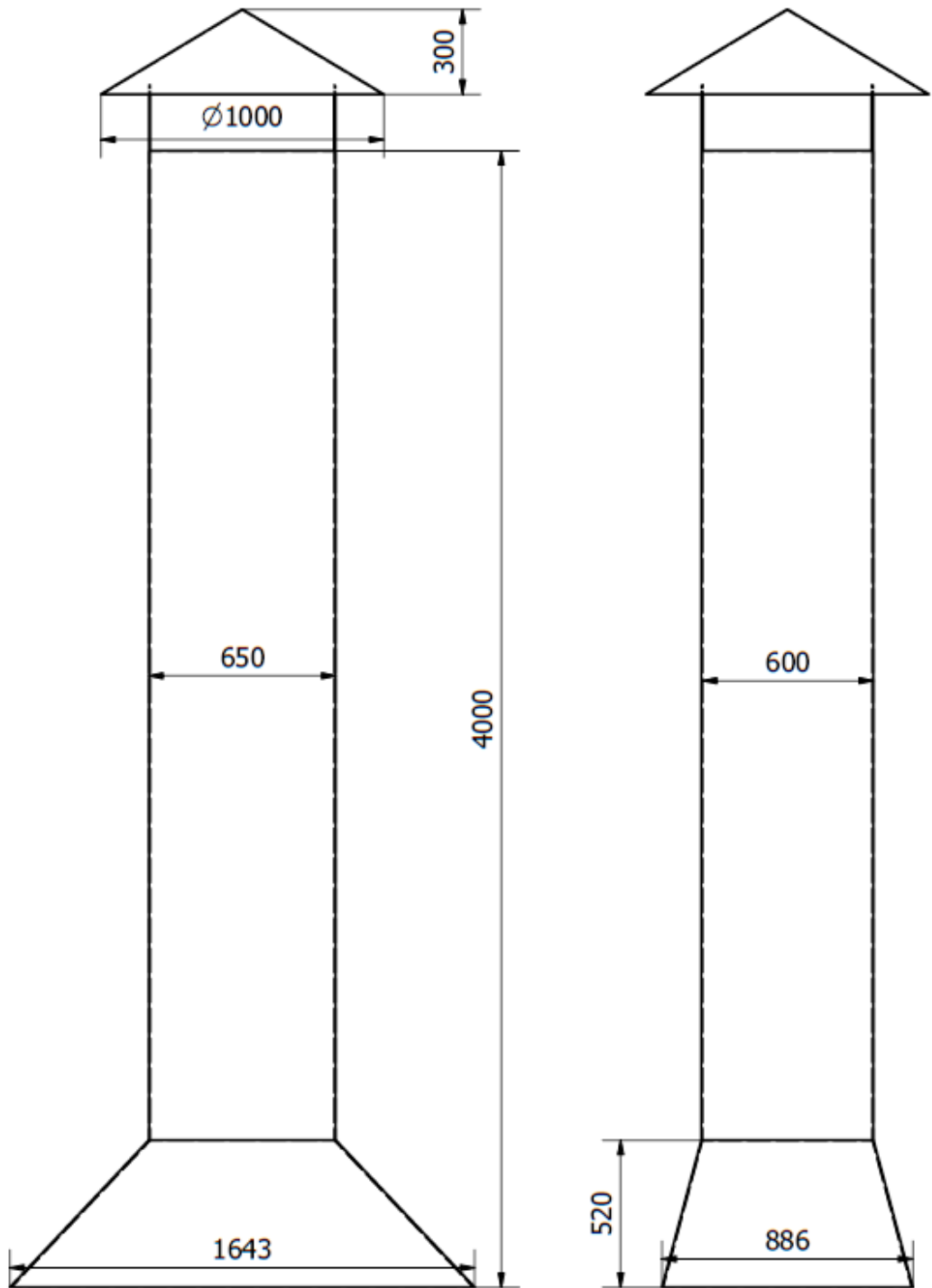



FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
Dibujó:		2016.01.01	Miguel Córdova
Revisó:		2016.02.01	Ing. M. Espinoza
PROYECTO:		CAMARA DE SECADO	
ESCALA:		Plano N°:	
1:10		7	
CONTIENE:		Masa (Kg):	
Sistema de paletas alimentadora horno			
MATERIALES:			
Plancha de acero ASTM-A36 1,22x2,44 m x 3mm (1/8")			

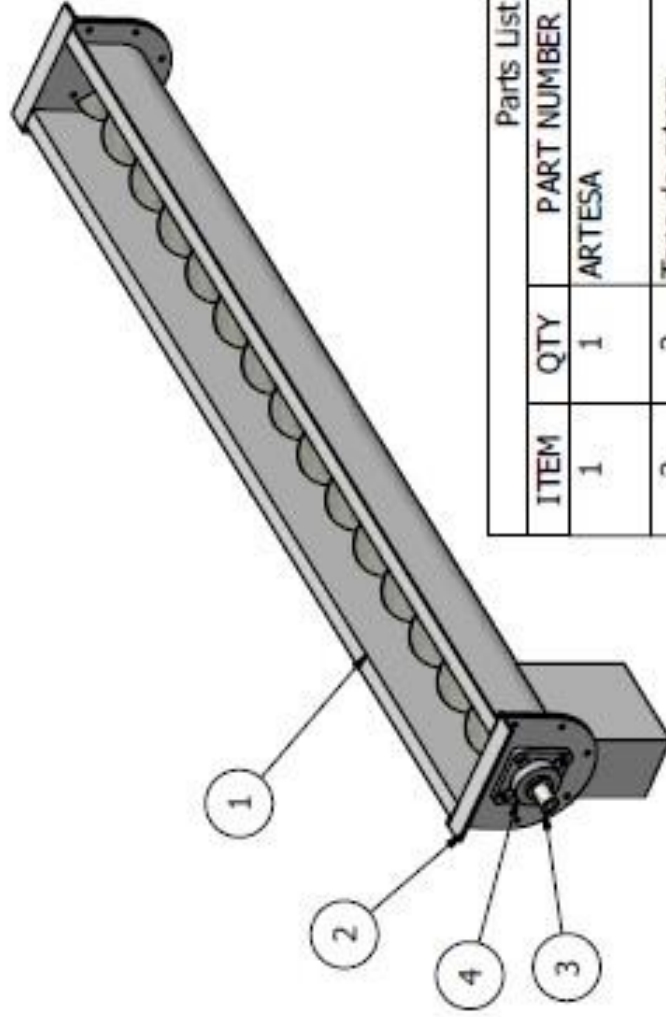
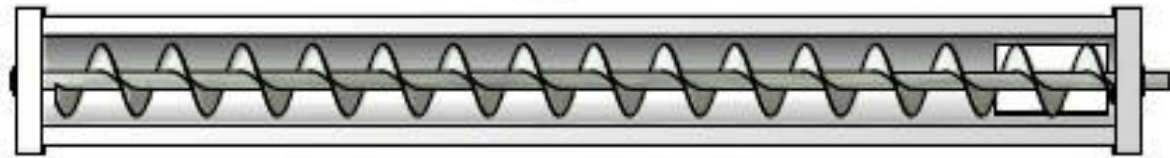




FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
		Dibujó	2006.02.10
PROYECTO:		Revisó	2006.02.10 Ing. M. Espinoza
CAMARA DE SECADO		Plano N°:	
	ESCALA:	CONTIENE:	8
	1:25	Estructura metálica de tolva alimentadora del horno	
MATERIALES:		Masa (Kg):	
Tubería cuadrada 60 x 3mm			

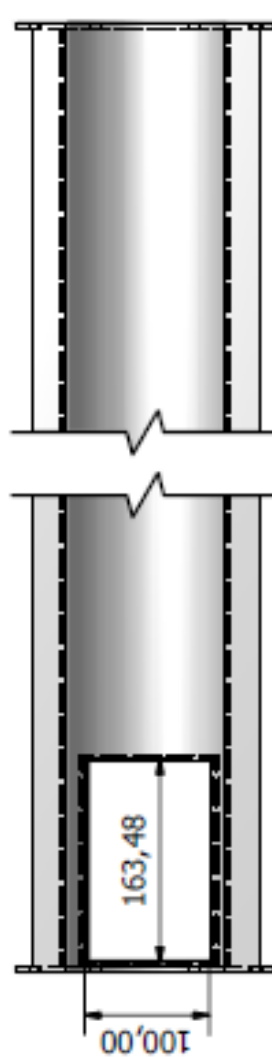
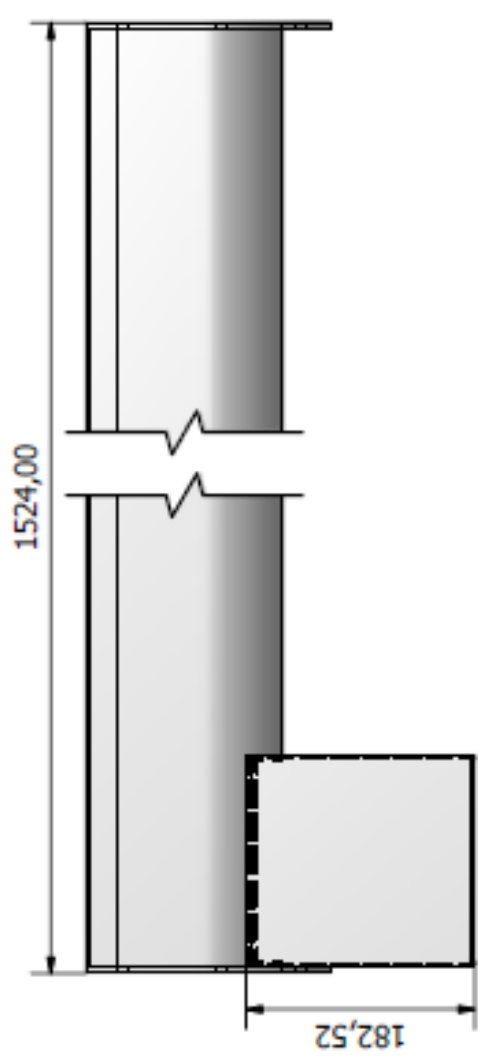
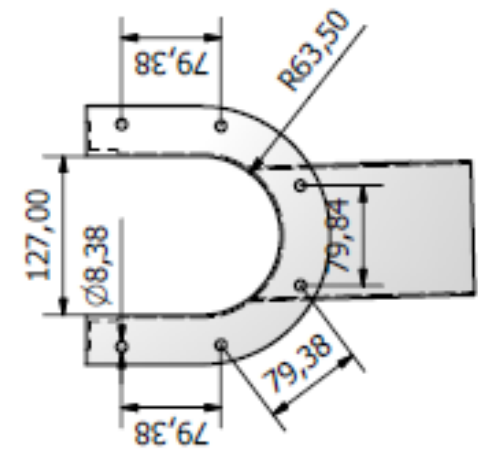


<b>FIMCP - ESPOL</b>		FECHA	NOMBRE
		Dibujó	2006.2010
PROYECTO:		Revisó	Ing. M. Espinoza
CAMARA DE SECADO		Plano N°:	
	ESCALA:	CONTIENE:	9
	1:20	Chimenea	
MATERIALES: Plancha de acero ASTM-A36 1,22x2,44 m x 4mm (3/16")		Masa (Kg):	

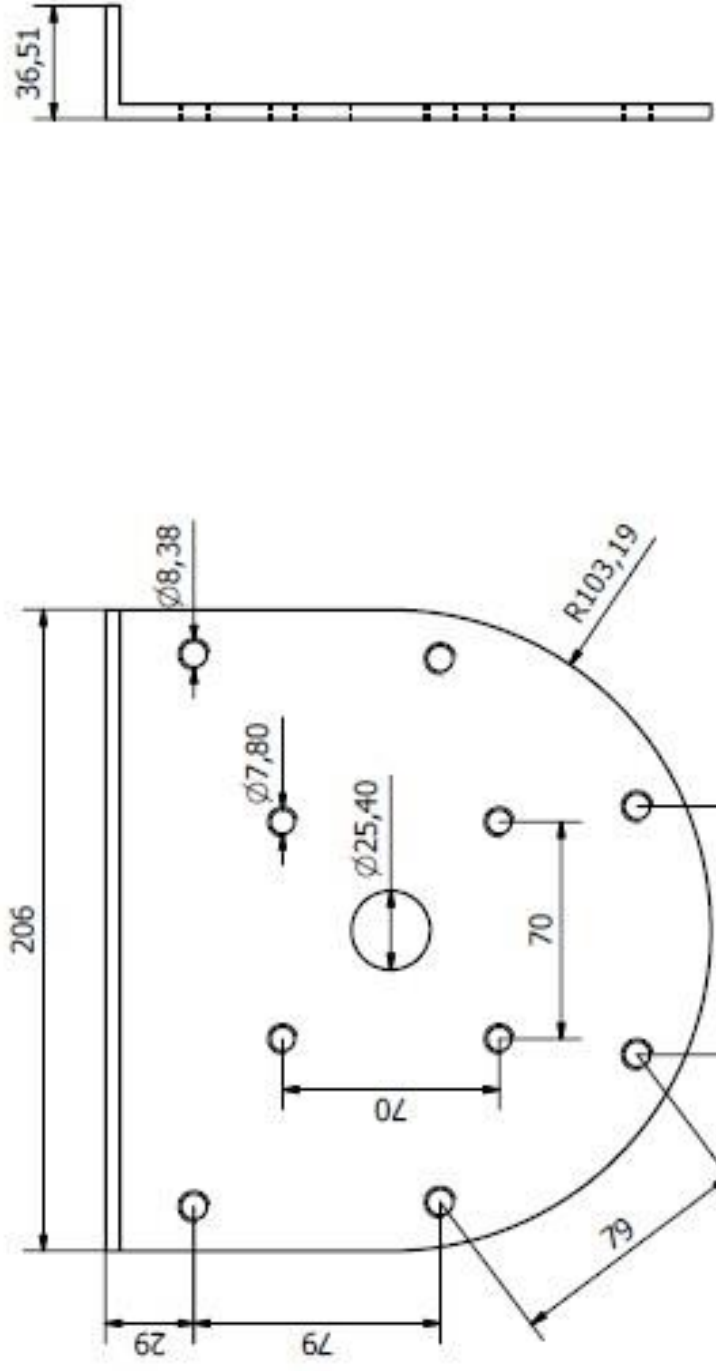


Parts List			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	ARTESA	Plancha galvanizada, espesor calibre 12
2	2	Tapa de artesa	Plancha galvanizada espesor calibre 12
3	1	Transportador helicoidal	Acero inoxidable, espesor 3/16 in
4	2	chumacera artesa	De bola de 1 in
<b>FIMCP - ESPOL</b>			
PROYECTO:		CAMARA DE SECADO	
ESCALA	CONTIENE	Plano N°:	
1:25	Tornillo Transportador	10	
MATERIALES		Masa (Kg):	
Plancha galvanizada calibre 12			

ESCALA: 1:25  
 Dibujo de detalle para el  
 Proyecto de la Cámara de Secado



<b>FIMCP - ESPOL</b> PROYECTO: CAMARA DE SECADO		FECHA: 10/04/2015 Dibujo de montaje y detalles Centro de Estudios y Proyectos
ESCALA: 1:5 	CONTENIDO: A1B1C1B	Plano Nº: 11 Masa (Kg):
MATERIALES: Plancha acero galvanizado calibre 12		



**FIMCP - ESPOL**

**CAMARA DE SECADO**

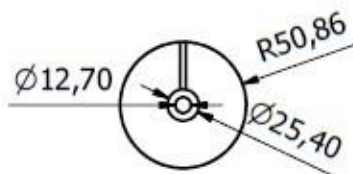
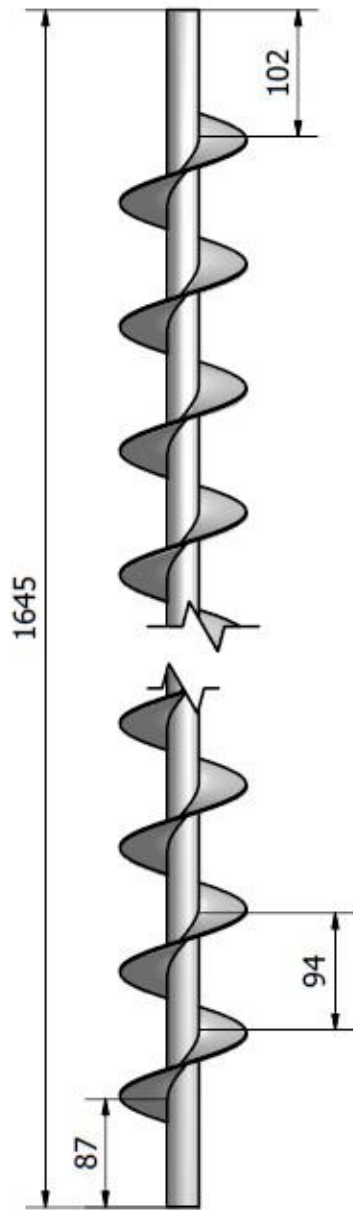
Tapa de Artesa

MATERIALES: Plancha acero galvanizado calibre 12

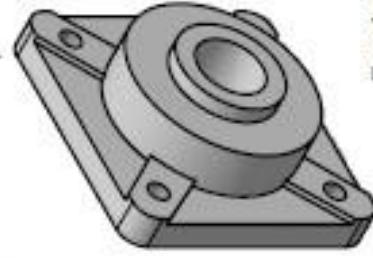
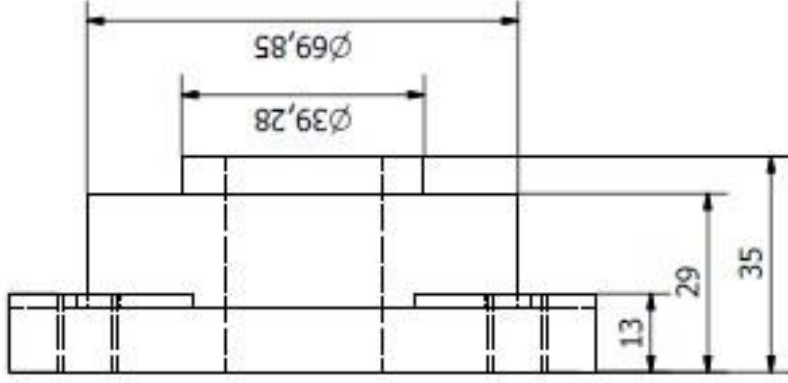
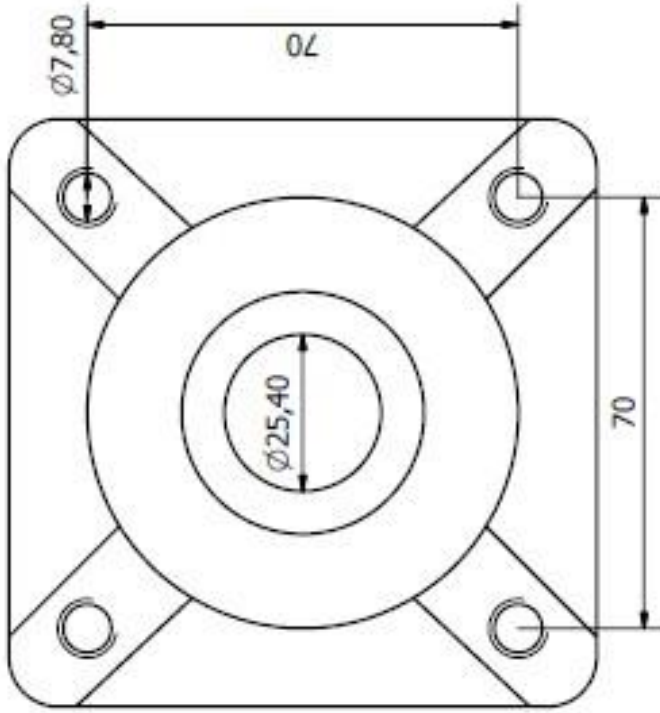
FECHA: 10/05/2018	PROYECTO:	PLANO Nº:	12
DISEÑO: S. MONTES	CONTIENE:	MATERIALES:	Masa (Kg):
REVISIÓN: S. MONTES	ESCALA:	1:2	



Escala 1:5

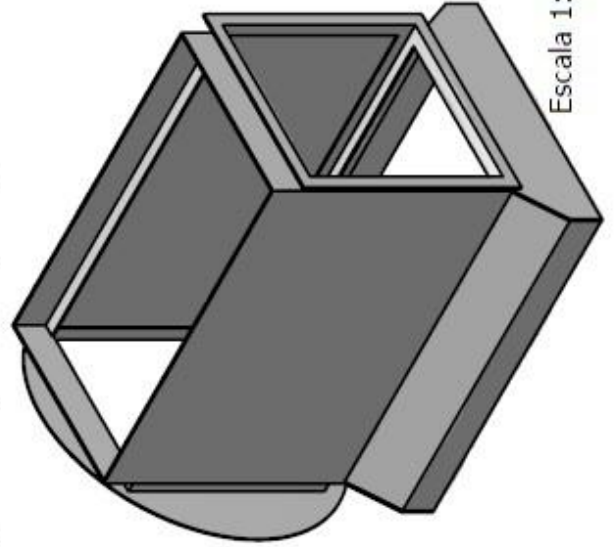
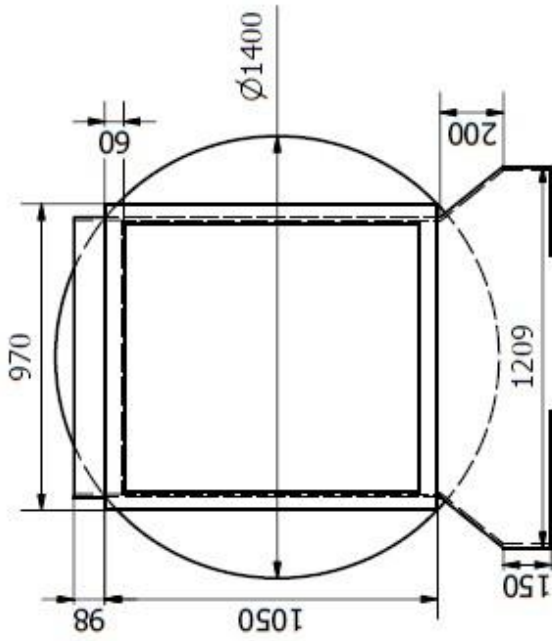


FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
		Dibujó	2006.2010
PROYECTO:		Revisó	28/06/2010 Ing. M. Espinoza
CAMARA DE SECADO		Plano N°:	
	ESCALA:	CONTIENE:	13
	1:5	Transportador helicoidal	
MATERIALES: Plancha acero Inoxidable ASTM-304 1,22X2,44 m x 2 mm		Masa (Kg):	

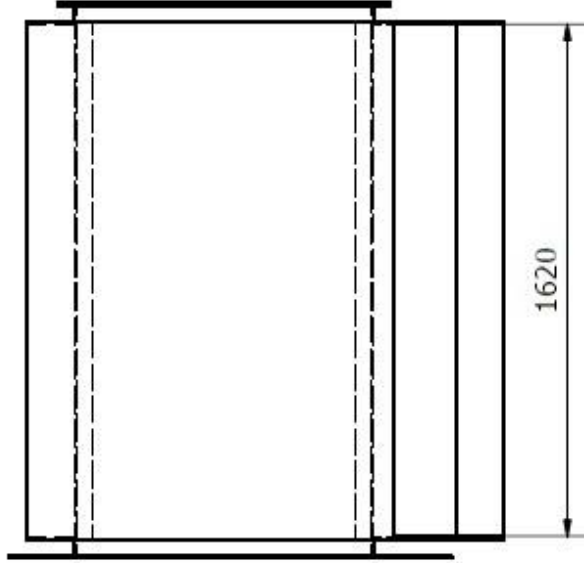


Escala 1:2

<b>FIMCP - ESPOL</b>		FECHA: 10/05/2018 Dibujo de instalación para revisión de obra y la época
PROYECTO:	<b>CAMARA DE SECADO</b>	Plano Nº:
	ESCALA:	<b>14</b>
	MONTENE:	Chumacera de antesa
	MATERIALES:	Chumacera de bola de 1 in
		Masa (Kg):

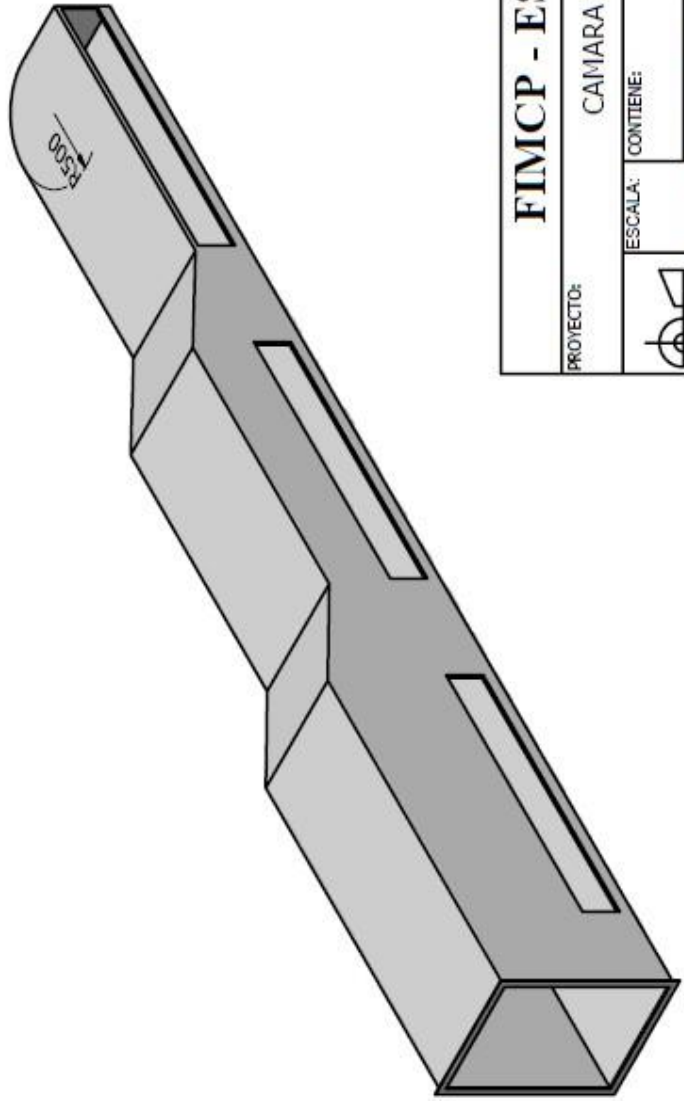
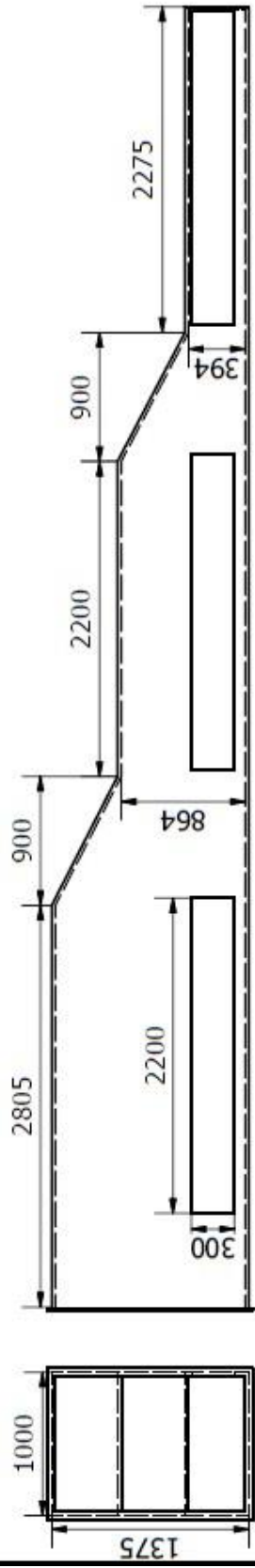


Escala 1:25

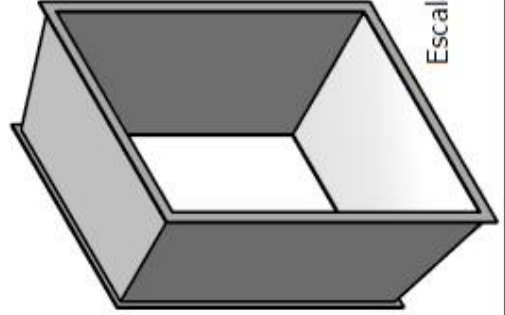
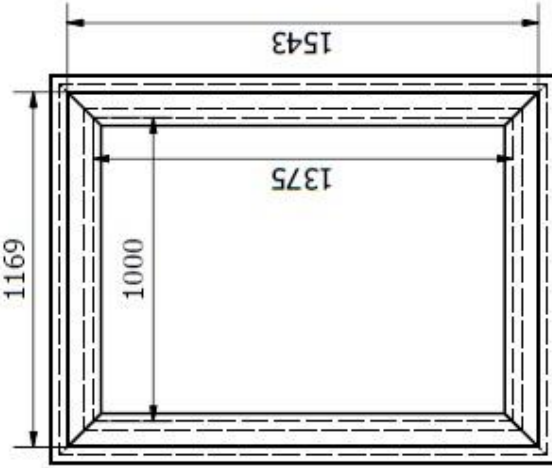


<b>FIMCP - ESPOL</b>		FECHA NOMBRE
PROYECTO:		Dibujó: S. Botello / Miguel Cordero
ESCALA: 1:20		Revisó: S. Botello / M. Espinoza
CONTIENE: CAMARA DE SECADO		Plano N°: 16
MATERIALES: Estructura de Intercambiador de calor		Masa (Kg):
MATERIALES: Plancha de acero ASTM-A36 1,22x2,44 m x 6mm (1/4")		



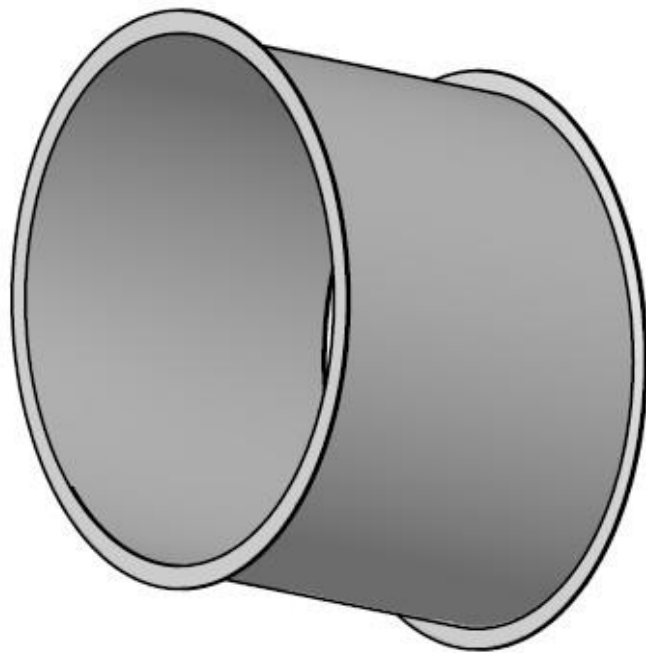
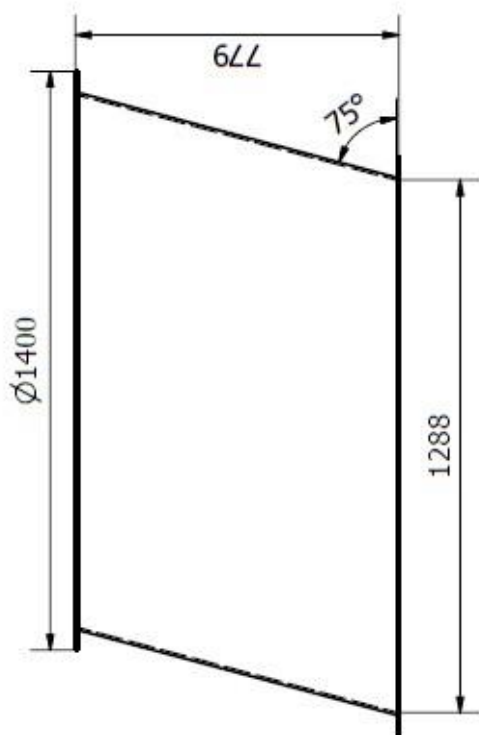


<b>FIMCP - ESPOL</b>		FECHA / NOMBRE
PROYECTO: CAMARA DE SECADO		Dibujó: 20/06/2010 Miguel Cerecedo
ESCALA: CONTIENE:		Revisó: 22/08/2010 Pp. M. Espinoza
CONTIENE: Ducto de ventilación		Plano N°:
MATERIALES: Plancha galvanizada de 0.7 mm de espesor, recubierta con lana de vidrio		17
ESCALA: 1:40		Massa (Kg):

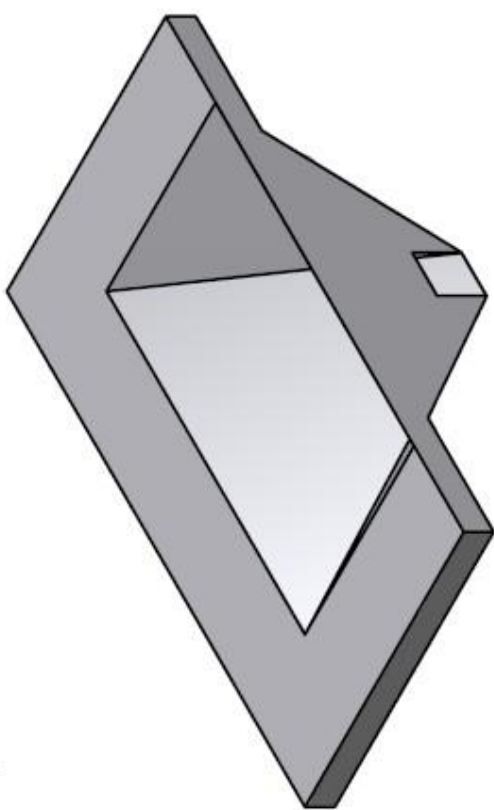
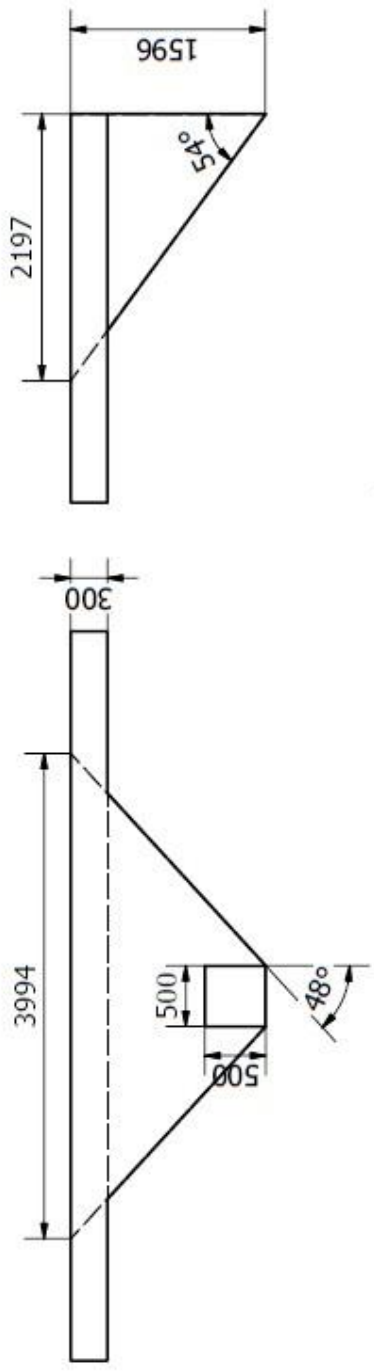



Escala 1:25

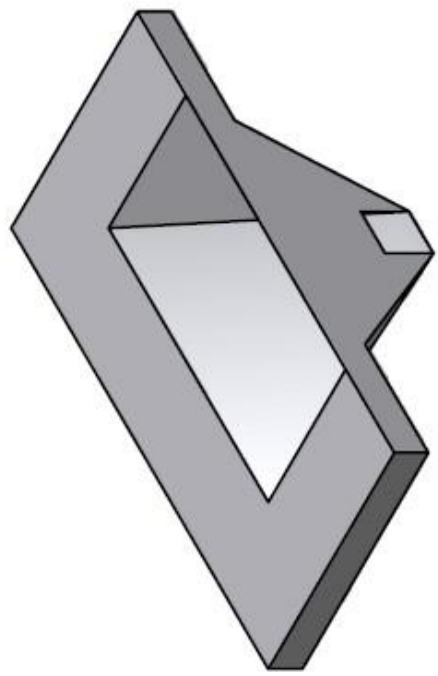
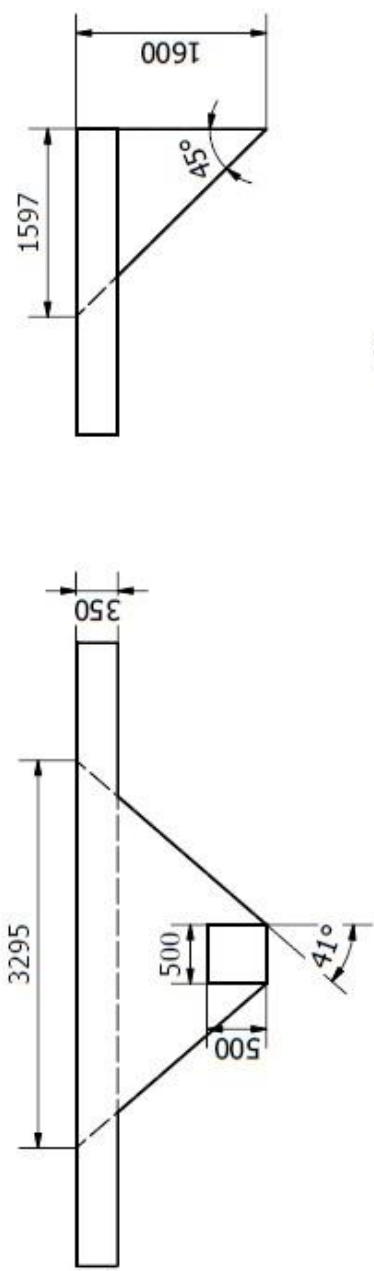
<b>FIMCP - ESPOL</b>		<b>FECHA</b>	<b>NOMBRE</b>
PROYECTO:		DIBUJO	23/08/2010 Miguel Ceballos
ESCALA:		REVISO	23/08/2010 Jg. M. Espinoza
CONTIENE:		Plano N°:	
1:20		18	
MATERIALES:		Masa (kg):	
Acople Ventilador y ducto de ventilación Plancha galvanizada de 0.7 mm de espesor, recubierta con lana de vidrio			



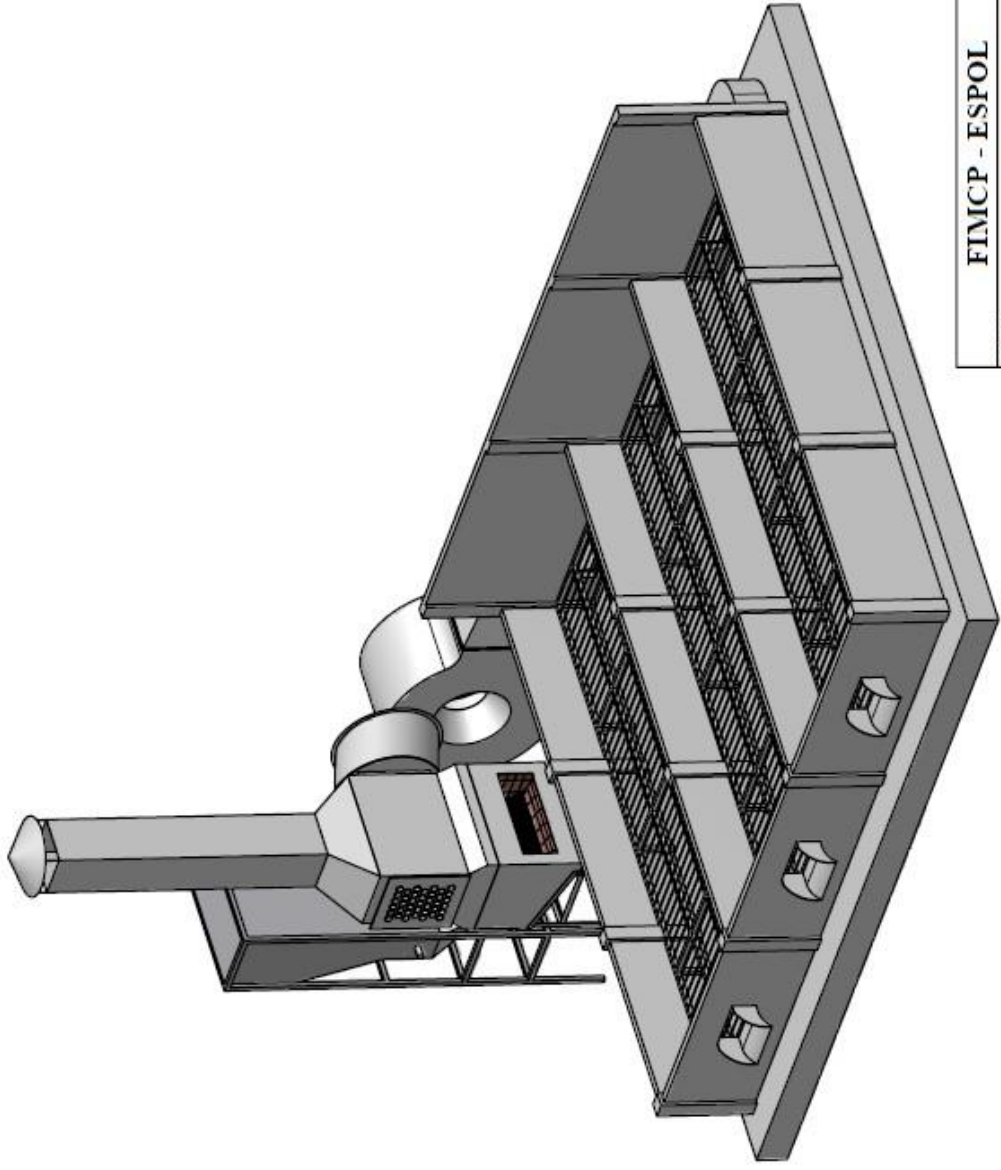
<b>FIMCP - ESPOL</b>		FECHA	NOMBRE
		Dibujó	20/05/2010 Miguel Cabrera
		Revisó	20/05/2010 Ing. M. Espinoza
PROYECTO:		Plano N°:	
CAMARA DE SECADO		19	
ESCALA:	CONTIENE:		
1:15	Acople horno con ventilador		
MATERIALES: plancha de acero ASTM-A36			
1,22X2,44m x4mm(3/16")			
		Masa (Kg):	



<b>FIMCP - ESPOL</b>		FECHA	NOMBRE
PROYECTO:		Dibujó	20/06/2010 Miguel Cervera
ESCALA:		Revisó	20/06/2010 Ing. M. Espinoza
CONTIENE:		Plano N°:	20
MATERIALES:		Masa (Kg):	
		CAMARA DE SECADO Tolva para arroz en cascara Hormigon armado	
1:50			



<b>FIMCP - ESPOL</b>		FECHA	NOMBRE
PROYECTO:		DIBUJO	23/03/2010
ESCALA:		REVISOR	Miguel Cervera
CONTIENE:		REVISOR	23/03/2010
MATERIALES:		Plano N°:	21
1:50		Masa (Kg):	
		TOLVA PARA CASCARILLA DE ARROZ Hormigon armado	



FECHA/NUMBRE:		2010/01/20	
PROYECTO:		FIMCP - ESPOL	
ESCALA:		CAMARA DE SECADO	
CONTIENE:		Layout general de planta de secado	
MATERIALES:		Varios	
Plano N°:		22	
Masa (Kg):			

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. MOTT ROBERT L. Diseño de Elementos de Maquinas, segunda edición, Prentice Hall, 1992.
2. ANDREW PYTEL & FERDINAND L SINGER. Resistencia de materiales, cuarta edición, Alfaomega, 2004.
3. SARZURI ALDO. Texto guía SAP 2000. Bolivia 2006.
4. CHAO JULIO F. “Pautas para el diseño y construcción de fogones eficientes para la combustión de cáscara de arroz”, Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, ESPOL, Guayaquil-Ecuador, 1987.
5. CHICAIZA MANUEL E. “Diseño de una secadora de arroz con intercambiador de calor para una piladora”, Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, ESPOL, Guayaquil-Ecuador, 2007.
6. LANDIRES CARLOS E. “Estudio de factibilidad del uso de la cascarilla de arroz como combustible para secado de arroz en Ecuador”, Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, ESPOL, Guayaquil-Ecuador, 1988.

7. MARTIN SPROCKET & GEAR. INC. Material Handling Products Catalog. Arlington Texas, 2005.

8. ESPINOSA MARCELO LUNA. Notas de clase "Secado y almacenamiento de granos", ESPOL, Guayaquil-Ecuador, 2009.

9. INCROPERA FRANK P. Fundamentos de Transferencia de Calor, cuarta edición, Prentice Hall, 1999.

10. SADIK KAKAÇ & HONGTAN LIU. Heat Exchangers Selection, Rating and Thermal Design, segunda edición, CRC Press, 2002.

11. CANDELARIO EDISON R. "Diseño de una secadora de arroz tipo columna", Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, ESPOL, Guayaquil-Ecuador, 1995.

12. ESCODA SALVADOR. "Manual práctico de ventilación industrial", segunda edición, Barcelona-España.