ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

“Mejoramiento de una Secadora por Tandas de una Piladora de Arroz”

TESIS DE GRADO

Previo la obtención del Título de**:**

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Franklin Javier Chippe Villacrés

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año:2008

AGRADECIMIENTO

Todo esfuerzo y meta conseguida a lo largo de mi carrera se la debo a Jehová Dios por haberme permitido la existencia. A mi padre porque ha sido y es la mejor guía y apoyo a través de toda mi vida; a mi madre por enseñarme el equilibrio en la vida y el ser perseverante, sin descuidar las cosas más importantes de la vida; a mis hermanos que me permitieron aprender a solucionar los problemas en equipo; y a mi esposa por el apoyo incondicional durante toda mi carrera.

DEDICATORIA

A mis padres

A mis hermanos

A mi esposa

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

_____	_____
Ing. Francisco Andrade S. DECANO DE LA FIMCP PRESIDENTE	Ing. Ignacio Wiesner F. DIRECTOR DE TESIS
_____	_____
Ing. Marcos Buestan B. VOCAL	Ing. Francisco Andrade S. VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

_____

Franklin Javier Chippe Villacrés

RESUMEN

El presente trabajo trató en mejorar el sistema de secado de una piladora de arroz por medio de optimizar las secadoras de tandas con equipos de mayor eficiencia, bajos costos de operación y consumo de energía.

El trabajo empieza con la descripción de la piladora y el proceso de secado del arroz. Se evalúan los equipos que posee la planta por medio de métodos directos e indirectos de medición para determinar la eficiencia de los equipos y su consumo energético. Con las mediciones realizadas se determinaron los índices de trabajo de la secadora de tandas y después se realizo un análisis de costos de producción y sus deficiencias técnicas con respecto a índices internacionales

Para determinar las acciones de mejoramiento se analizaron los sistemas de secado aplicables a las condiciones locales considerando que el grano a secar es arroz en cáscara, el cual es susceptible al maltrato mecánico, temperatura y velocidad de secado, pues fácilmente puede romperse, restando valor comercial al producto terminado. Al seleccionar el sistema y la secadora viable se considerarán como parámetros de selección: la fácil mecanización y la operación. Se selecciona una secadora de tandas con piso inclinado y de varios compartimientos para incrementar la cantidad de granos

secos por día, considerando que el secado será lento y a baja temperatura. para garantizar bajos porcentajes de granos partidos.

Los cambios realizados han logrado resultados espectaculares y que se resumen en los siguientes: Se dedujo en 47% el consumo eléctrico como consecuencia de reducir la cantidad de ventiladores usados y se elevo la eficiencia del ventilador de 55% a 61%,además se redujo a 77% el costo de operación por tonelada y se aumento en 2% la cantidad de granos enteros en la pilada.

INDICE GENERAL

RESUMEN……..II

INDICE GENERAL……III

ABREVIATURAS……..IV

INDICE DE FIGURAS……...V

INDICE DE TABLAS……..…VI

INDICE DE PLANOS……...VII

INTRODUCCIÓN……..……..1

CAPITULO 1

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA……...3

1.1 Descripción y operación de la piladora……...3

1.2 Evaluación de secadoras usadas……8

1.3 Evaluación de los costos de producción……..19

1.4 Sistema de secado viables y selección……20

1.5 Secadora de piso inclinado por tandas……..…25

CAPITULO 2

SOLUCIÓN DEL PROBLEMA……30

2.1 Equipos necesarios para el secado en piso inclinado……30

2.2 Cálculos del ventilador requerido……...33

2.3 Cálculos del generador de calor……38

2.4 Construcción, montaje y funcionamiento del secador……39

CAPITULO 3

EVALUACIÓN ENERGÉTICA Y ECONÓMICA DE LA SECADORA……..46

3.1 Evaluación de eficiencia de la secadora……...46
3.2 Evaluación económica del proceso……..52
3.3 Cálculo de la recuperación de la inversión……...55

CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES……59

4.1 Conclusiones……59

4.2 Recomendaciones……..59

APENDICES

BIBLIOGRAFIA

ABREVIATURA

GLP	Gas licuado de petróleo
Ton	Toneladas métricas
Hp	Caballos de fuerza
RPM	Revoluciones por minuto
Volt	Voltios
A	Amperios
m	Metros
mmH_2O	Milímetros de columna de agua
ºC	Grados centígrados
hr	Horas
AV	Área descarga del ventilador
η	Eficiencia mecánica
ahp	Potencia aerodinámica
bhp	Potencia mecánica o potencia al freno
cfm	Pies cúbicos por minuto
TP	Presión total
SP	Presión estática
VP	Presión dinámica
V	Velocidad de descarga
Σ	Sumatoria
I	Corriente
cosφ	Factor de potencia
kg	Kilogramos
$\dot{m}_f$	Flujo másico
Q	Calor
PCS_{GLP}	Poder calorífico GLP
Kcal	Kilo calorías
W_f	Masa de granos húmedos

W_{H_2O}	Masa de agua
Kwh	Kilovatios hora
υ	Volumen de aire específico
T_a	Temperatura aire caliente
T_g	Temperatura aire a la salida del grano
t	Tiempo
h_{fg}	Calor latente de vaporización
DM	Masa de granos secos
M_o	Humedad inicial del grano
M_s	Humedad final
in WC	Pulgadas de columna de agua
$\dot{m}_{aire}$	Flujo másico aire
T_{amb}	Temperatura ambiente

INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1 Isotermas del arroz……. 5
Figura 1.2 Vaciado secadora……... 6
Figura 1.3 Traslado del grano……. 7
Figura 1.4 Ventilador y quemador de GLP……... 7
Figura 1.5 Tubo de Pitot y Manómetro en granos……... 9
Figura 1.6 Tubo de Pitot y Manómetro en ventilador…….. 9
Figura 1.7 Equipo de clasificación alveolar……. 10
Figura 1.8 Puntos de medición para secadora de paradas……. 11
Figura 1.9 Resistencia de las semillas al paso del aire……..…….. 15
Figura 1.10 Secadora de tandas inclinadas o albercas……... 22
Figura 1.11 Secadora de flujo continuo…….. 24
Figura 1.12 Velocidad de secado en arroz……..… 29
Figura 2.1 Equipo de prelimpieza…….. 41
Figura 2.2 Componentes de secadora de tandas inclinadas……. 42
Figura 2.3 Ventilador y generador de calor……... 45

INDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Mediciones obtenidas en secadora……12
Tabla 2. Costos de operación secadora……...20
Tabla 3. Tabla de mediciones…….…...…47
Tabla 4. Kilovatios necesarios para procesar 17.000 ton……..53
Tabla 5. Resumen de costos de operación de secadora inclinada…….……...54
Tabla 6. Análisis de costos……57

SIMBOLOGIA

GLP	Gas licuado de petróleo
Ton	Toneladas métricas
Hp	Caballos de fuerza
RPM	Revoluciones por minuto
Volt	Voltios
A	Amperios
m	Metros
mmH_2O	Milímetros de columna de agua
ºC	Grados centígrados
hr	Horas
AV	Area descarga del ventilador
η	Eficiencia mecánica
ahp	Potencia aerodinámica
bhp	Potencia mecánica o potencia al freno
cfm	Pies cúbicos por minuto
TP	Presión total
SP	Presión estática
VP	Presión dinámica
V	Velocidad de descarga
Σ	Sumatoria
I	Corriente
cosφ	Factor de potencia
kg	Kilogramos
$\dot{m}_f$	Flujo másico
Q	Calor
PCS_{GLP}	Poder calorífico GLP
Kcal	Kilo calorías
W_f	Masa de granos húmedos
W_{H_2O}	Masa de agua
Kwh	Kilovatios hora
υ	Volumen de aire específico
T_a	Temperatura aire caliente
T_g	Temperatura aire a la salida del grano
t	Tiempo
h_{fg}	Calor latente de vaporización
DM	Masa de granos secos
M_o	Humedad inicial del grano
M_s	Humedad final
in WC	Pulgadas de columna de agua

$\dot{m}_{aire}$	Flujo másico aire
T_{amb}	Temperatura ambiente

INTRODUCCIÓN

En la era de globalización que vive el mundo, donde la competitividad se ha transformado en un elemento clave para poder sobrevivir de manera duradera y estable en cualquier mercado de producción o de prestación de servicios, es indispensable mejorar la capacidad de competir. Por lo tanto es necesario desarrollar y aplicar mejores procesos de producción y de bajos costos de operación.

Ecuador es un país consumidor de energía proveniente de fuentes no renovables como el petróleo y sus derivados. Sin embargo el consumo masivo de petróleo en el mundo ha ocasionado que los costos de sus derivados aumenten. A pesar que Ecuador es productor de petróleo depende de combustibles que no se producen internamente como es el caso del gas licuado de petróleo. Este combustible es masivamente usado en hogares e industrias y en especial en la agroindustria. Por muchos años los gobiernos locales han subsidiado el costo del gas, pero debido diversos factores este subsidio ha disminuido para la agroindustria, lo cual ha ocasionado que las piladores aumenten los costos de producción en el secado de arroz.

Esta situación hace que se retome el uso de combustibles renovables como la biomasa. Ecuador, país tradicionalmente agrícola y productor de arroz

tiene la posibilidad de utilizar la cascarilla de arroz como combustible y reemplazar el uso del gas. La utilización de la cascarilla como combustible para el secado de arroz es muy rentable, debido a que la cascarilla de arroz se la considera un desecho y de fácil obtención para la piladora.

En este trabajo se considera la cascarilla de arroz como el combustible a usar para una secadora de tandas, la cual se mecanizará para reducir significativamente costos de operación y producción.

CAPÍTULO 1

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y Operación de la Piladora

La piladora Imperial es una empresa dedicada a la comercialización de arroz pilado ubicada en la provincia del Guayas en el cantón Alfredo Baquerizo Moreno.

El proceso de la planta empieza con la compra de arroz en cáscara a agricultores de diferentes zonas. Este producto llega a la planta con impurezas y humedad. La humedad del grano es el factor de mayor importancia que debe ser controlado después de la cosecha, pues a mayor humedad del grano, mayor generación de calor. Pocas horas después de la cosecha la temperatura del grano empieza a

aumentar, lo cual favorece al desarrollo de hongos y la proliferación de bacterias que inician procesos de descomposición.

El calentamiento del grano propicia los cambios de color en el arroz de forma tal que la calidad final se demerita. Para mantener las propiedades y la calidad del grano para procesarlo, es necesario bajar la humedad del grano, la temperatura, eliminar insectos, bajar contenidos de impurezas y materiales extraños.

Para que los granos puedan conservarse en buenas condiciones, es necesario reducir su humedad hasta un nivel seguro, en el cual el grano tenga una baja tasa de respiración que no favorezca el desarrollo de hongos. Usualmente la humedad segura del arroz en cascara se encuentra alrededor de 12.5% a 13.5% de humedad.

El contenido de humedad de equilibrio del arroz, en determinadas condiciones de temperatura y humedad del ambiente se representan en gráficas isotermas que son simplemente curvas que relacionan el contenido de humedad de equilibrio del arroz con la humedad relativa del aire, a temperatura constante. En la figura 1.1 se representa una grafica isoterma de arroz en cascara.

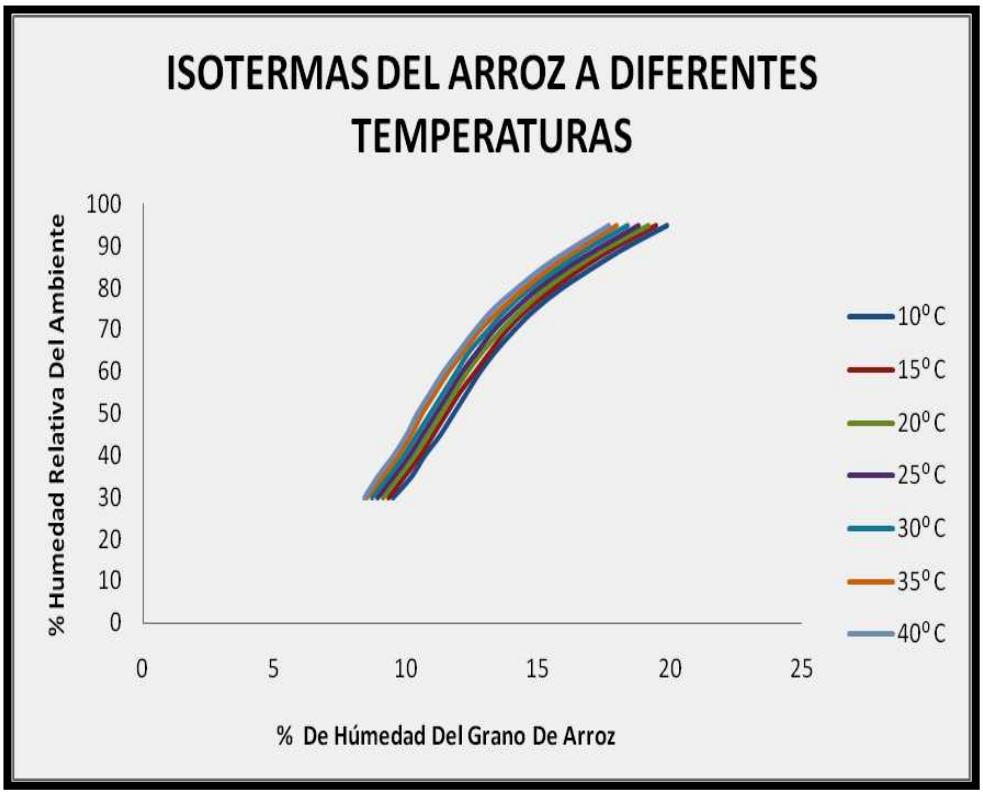


FIGURA 1.1. ISOTERMAS DEL ARROZ

Para realizar las operaciones de adecuación del arroz en cáscara, la planta cuenta con una recepción de granos, secadoras de tandas y bodegas para almacenar y airear el grano seco.

Para bajar la humedad del grano se utilizan secadoras de tandas, las cuales consisten en una estructura de cemento con piso falso construido con madera y yute. Sobre este piso falso se coloca el

grano húmedo el cual puede llegar del campo con una humedad del 22% al 30% en base seca.

La operación de llenado y vaciado de las secadoras se lo efectúa manualmente como se muestran en las figuras 1.2 y 1.3. Una vez depositado el grano se procede al secado por medio de forzar aire caliente atreves del grano por medio de ventiladores centrífugos de diferentes capacidades.

Para calentar el aire se combustiona GLP directamente a la entrada del ventilador como se muestra en la figura 1.4, hasta alcanzar una temperatura de 38º a 40º C.

FIGURA 1.2. VACIADO SECADORA

FIGURA 1.3. TRASLADO DEL GRANO

FIGURA 1.4. VENTILADOR Y QUEMADOR DE GLP

1.2 EVALUACION DE SECADORAS USADAS

La piladora cuenta con nueve secadoras capaces de secar 24 ton cada una. Cada secadora tiene un ventilador de 30 hp acoplado al espacio libre del piso falso por medio de una campana difusora que permite distribuir mejor el flujo de aire por la secadora. Para evaluar las secadoras realizamos mediciones de temperatura, caudal de aire, caída de presión, consumo de energía, tiempo de secado y análisis de granos partidos.

Las mediciones de temperaturas las realizamos con termómetros digitales colocados a la salida del ventilador y a la entrada del piso falso.

Para medir el caudal de aire que el ventilador está produciendo usamos un método indirecto. Con la ayuda de un tubo de pitot y un manómetro digital medimos la caída de presión en el fondo de la cama de granos como se muestra en la figura 1.5 y con la ayuda de las GRAFICAS DE C.K. SHEDD determinamos el caudal de aire por metro cuadrado que está atravesando el grano. El valor obtenido lo multiplicamos por el área de la secadora y obtenemos los metros cúbicos por minuto que produce el ventilador.

FIGURA 1.5. TUBO DE PITOT Y MANÓMETRO EN GRANOS

Para medir la caída de presión total del ventilador usamos un tubo de pitot colocado a la descarga de ventilador y determinamos la caída de presión total que produce el ventilador como se muestra en la figura 1.6.

FIGURA 1.6. TUBO DE PITOT Y MANÓMETRO EN VENTILADOR

Con la ayuda de un amperímetro medimos los amperios consumidos por el motor del ventilador y calculamos la potencia al freno consumida.

Con estas mediciones determinamos la eficiencia mecánica del ventilador. Finalmente evaluamos el secado por medio del consumo de energía, tiempo de secado y análisis de granos partidos en la pilada mediante clasificación alveolar como se muestra en la figura 1.7.

FIGURA 1.7. EQUIPO DE CLASIFICACIÓN ALVEOLAR

Con los resultados obtenidos elaboramos una tabla de resultados en la cual se especifica las lecturas tomadas con los equipos y métodos descritos.

En la figura 1.8 se muestra los puntos de medición de la secadora y en la tabla I las lecturas.

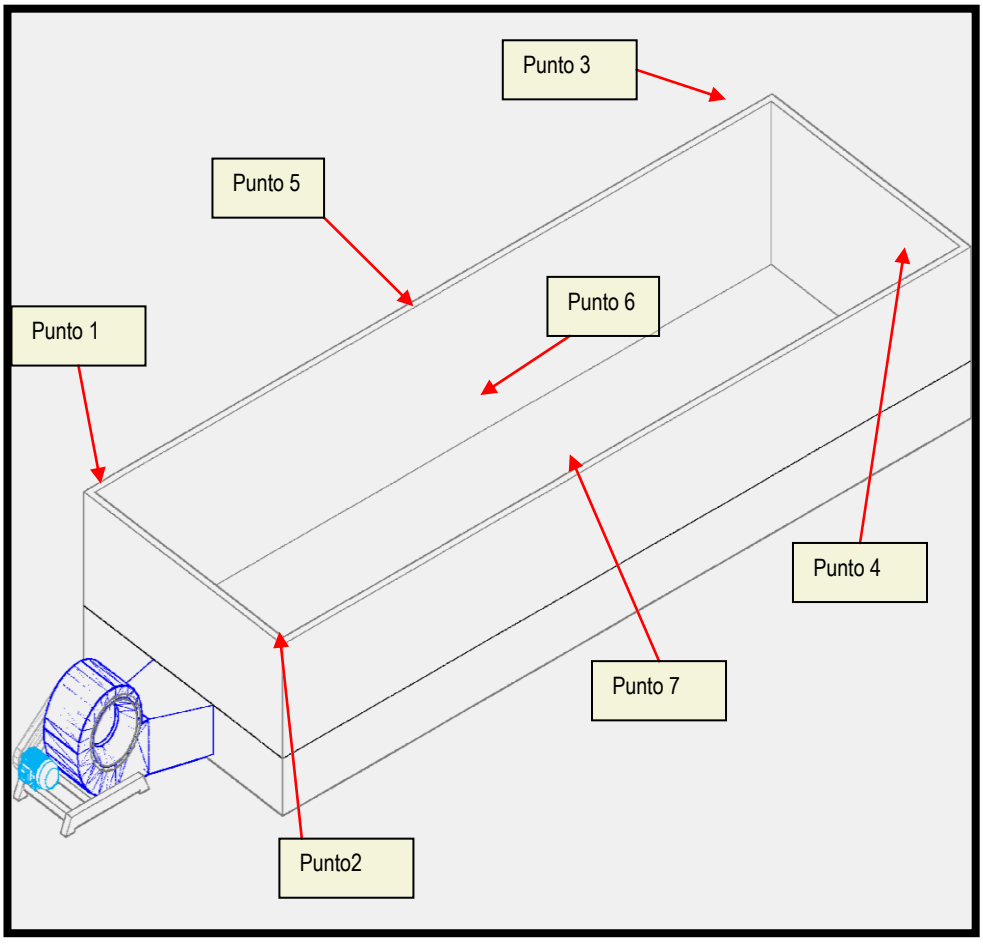


FIGURA 1.8. PUNTOS DE MEDICIÓN PARA SECADORA DE PARADAS

TABLA 1

MEDICIONES OBTENIDAS EN SECADORA

<table>
<tr><td colspan="2">Dimensiones del secador</td><td colspan="2">Placa del motor</td><td colspan="2" rowspan="2">Lecturas con tubo y manguera conectados a manómetro</td></tr>
<tr><td>Largo</td><td>14.95 m</td><td>Hp</td><td>30 hp</td></tr>
<tr><td>Ancho</td><td>3 m</td><td>RPM</td><td>1765 r.p.m</td><td colspan="2" rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Alto</td><td>0.65 m</td><td>Volt</td><td>220 V</td></tr>
<tr><td>Alto piso falso</td><td>1 m</td><td>Amp</td><td>75.4 A</td><td>Punto 1</td><td>32.51 mmH_2O</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Temperatura al interior del piso falso
40ºC</td><td>η 100%</td><td>91.1</td><td>Punto 2</td><td>26.16 mmH_2O</td></tr>
<tr><td>Cos φ</td><td>0.84</td><td>Punto 3</td><td>51.31 mmH_2O</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Temperatura del grano durante el secado
28.2ºC</td><td colspan="2">Lectura con multímetro motor</td><td>Punto 4</td><td>49.28 mmH_2O</td></tr>
<tr><td>Volt</td><td>224 V</td><td>Punto 5</td><td>43.69 mmH_2O</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Temperatura del grano al final del secado
39.1ºC</td><td>Amp</td><td>71.7 A</td><td>Punto 6</td><td>40.89 mmH_2O</td></tr>
<tr><td>Tiempo de secado</td><td>30 hr</td><td>Punto 7</td><td>47.75 mmH_2O</td></tr>
<tr><td colspan="2">Humedad relativa
74.6 %</td><td>Área descarga ventilador (AV)</td><td>0.66 m^2</td><td colspan="2">Presión estática en el ducto de entrad y salida ventilador
141.48 mmH_2O</td></tr>
</table>

Mediante las mediciones obtenidas se determina la eficiencia mecánica del sistema de aire o ventilador mediante la expresión:

$$\eta = \frac{ahp}{bhp}$$

Donde:

ahp = Potencia aerodinámica (hp)

bhp = Potencia mecánica o potencia al freno (hp)

La potencia aerodinámica se define como:

$$ahp = \frac{cfm\ x\ TP}{6356}$$

Donde:

cfm = Flujo de aire (pie^3/min)

TP = Presión total (pulgadas de columna de agua, in WC)

$$TP = SP + VP$$

Donde:

SP = Presión estática (in WC)

VP = Presión dinámica (in WC)

$$VP = \left(\frac{V}{4005}\right)^2$$

Donde:

V = Velocidad de descarga del ventilador (pie/min)

$(para\ densidad\ \ de\ aire\ standard\ 0.075\ lbm/pie3)$

$$V = \frac{cfm}{AV}$$

Para la obtención del flujo de aire del ventilador usaremos el método indirecto. El promedio de la caída de presión en los siete puntos de medición es:

$$\overline{SP} = \frac{\sum_{i=1}^{n} SP_i}{n}$$

$$\overline{SP} = \frac{1.28 + 1.03 + 2.02 + 1.94 + 1.72 + 1.61 + 1.88}{7}$$

$$\overline{SP} = 41.15\ mmH_2O$$

Con este valor consultamos las gráficas de Shedd tomando en cuenta que la tabla consultada es para una profundidad de granos de 1 m. Por lo tanto la caída de presión por m será 41.15 / 0.65 = 63.31 mmH_2O / m.

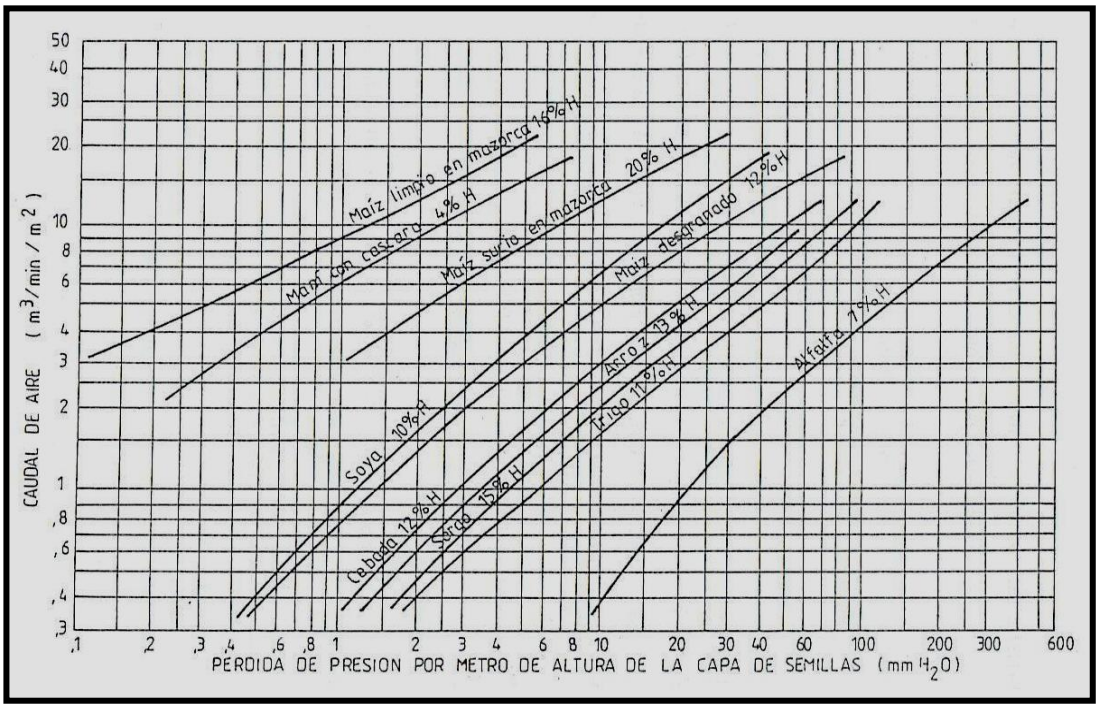


FIGURA 1.9. RESISTENCIA DE LAS SEMILLAS AL PASO DEL AIRE (GRÁFICAS DE SHEDD)

Según la gráfica para arroz en cascara con 13% de humedad se obtiene un valor aproximado de 10.67 $m^3/min/m^2$. Entonces el flujo de aire del ventilador será el producto de 10.67 $m^3/min/m^2$ por el área del secador 14.95 m x 3 m:

Flujo de aire ventilador= 478.62 m^3/min (16.889,38 cfm)

Entonces:

$$V = \frac{16.889,38}{7.05} = 2.395,66\ ft/min$$

$$VP = \left(\frac{2.395,66}{4005}\right)^2 = 0.36\ in\ WC$$

$$TP = 5.57 + 0.36 = 5.93\ in\ WC$$

$$ahp = \frac{16.889,38\ x\ 5.93}{6356} = 15.76\ hp$$

Para obtener la potencia al freno del motor usamos la siguiente expresión:

$$bhp = \frac{\sqrt{3}xVxIxcos\varphi x\eta}{746}$$

Donde:

V = Voltaje medido en voltios (V)

I = Corriente medida en amperios (A)

$cos\varphi$ = Factor de potencia motor

η = Eficiencia mecánica motor

$$bhp = \frac{\sqrt{3}x224x71.7x0.84x0.911}{746} = 28.54\ hp$$

Con esto resultados tenemos que la eficiencia mecánica del sistema de aire o ventilador es:

$$\eta = \frac{15.76}{28.54} x100 = 55\%$$

Otro parámetro a considerar es el consumo específico de energía para determinar la eficiencia de la secadora, la cual es la relación entre las Kilocalorías mínimas necesarias para evaporar el agua de una masa determinada de granos y la cantidad de Kilocalorías realmente consumidas.

La secadora analizada consumió 20 cilindros de 15 kg en un tiempo de 30 horas y bajó la humedad inicial del grano de 24% a 10%.

Consumo de combustible:

$$\dot{m}_f = 10\ kg/hr$$

Donde:

$\dot{m}_f$ = Flujo másico (kg/hr)

Entonces el consumo energético:

$$\dot{Q} = \dot{m}_f\ x\ PCS_{GLP}$$

Q = calor (Kcal/ hr)

PCS_{GLP} = Poder calorífico de gas licuado de petróleo

$$\dot{Q} = 10\ x\ 12.052{,}00 = 120.520\ \frac{kcal}{hr}$$

Para calcular el poder de evaporación de la secadora tenemos que determinar la cantidad de agua evaporada por el tiempo que duró el secado 30 horas. El agua evaporada del grano se calcula de la siguiente forma:

$$W_f = W_i\left(\frac{100 - h_i}{100 - h_f}\right)$$

$$W_f = 24\left(\frac{100 - 24}{100 - 10}\right) = 20.27\ ton$$

$$W_{H_2O} = 24 - 20.27 = 3.73\ ton$$

Entonces el poder de evaporación de la secadora es de $124.33\frac{kg_{h_2o}}{hr}$

Dividiendo el consumo energético por el poder de evaporación:

$$\frac{120.520\ \frac{kcal}{hr}}{124.33\frac{kg_{h_2o}}{hr}} = 969.35\frac{kcal}{kg_{h_2o}}$$

Si consideramos que el calor necesario para evaporar 1 kg de agua es de 600 kcal la eficiencia de la secadora es:

$$\eta = \frac{600}{969.35}\ x\ 100 = 61.9\ \%$$

1.3 EVALUACIÓN DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN

La piladora utiliza mano de obra para la carga y descarga de sus secadoras y su producción anual de arroz en cascara sobrepasa las 17.000 ton. El costo por llenado y descarga por tonelada de las secadoras es de 3.14 $/ton, dando un costo total por manipuleo de $ 53.428, 57. Para calcular el costo anual por consumo de combustible asumimos un promedio de humedad de 24% en base húmeda en el arroz a la entrada de la planta. Este promedio lo tomamos considerando que el arroz en cascara puede llegar a la planta con humedades diferentes dependiendo de la temporada de cosecha. De esta forma la planta utiliza 212.500 kg de GLP. El costo del kg de GLP para consumo agrícola es de 0.33 $/kg, de esta forma el costo por consumo de combustible es de $ 70.125,00. A estos costos debemos sumar el costo de energía eléctrica consumida en un año. Para cada secadora obtuvimos un consumo de 701 Kwh por tanda de 24 ton cada una. Para las 17.000 ton de arroz en cascara que se procesan tendremos un consumo anual de 496.541,67 Kwh,

el costo del Kwh es de 0.08 $/Kwh. Entonces el costo por consumo eléctrico es de $ 39.723,33.

TABLA 2

COSTOS OPERACIÓN PILADORA

Resumen de costos de producción en secadoras de la piladora imperial para un año	
Costo por mano de obra	$ 53.428, 57
Costo por consumo de combustible	$ 70.125,00
Costo por consumo eléctrico	$ 39.723,33
Costo total	$ 163.276,00

En resumen el costo de secar una tonelada de arroz en cascara es de 9.6 $/ton.

1.4 SELECCIÓN DE SISTEMA DE SECADO VIABLE

Las secadoras de granos pueden considerarse sistemas de aire especializados, que succionan aire de un espacio abierto y lo descargan, después de cumplir su función de remover y transportar humedad, en otro espacio abierto.

Una secadora de granos está formada por los siguientes elementos principales:

- Entrada de aire
- Ventilador
- Quemador
- Conductos de aire
- Compuertas
- Cámaras
- Recipiente para grano
- Equipos para cargue y descargue de grano;

Estos elementos se pueden identificar en las figuras siguientes que corresponden a secadoras de alberca y a secadoras de torre de flujo continuo.

Secadoras de Tandas Inclinadas o Albercas

El diseño de las secadoras de alberca evolucionó en Colombia a partir de las secadoras de sacos que introdujo, hacia 1948, la empresa Lister, fabricante Inglés de motores Diesel. Su principio de funcionamiento se basa en el principio de secado por tandas en lecho inclinado para facilitar su mecanización al momento de cargar y descargar la secadora. A su vez compartir un solo equipo de aire y generación de calor para optimizar los tiempos de secado mediante obtener un proceso continuo de carga y descarga de la secadora sin tener que parar los equipos de ventilación y generación de calor.

De manera simplificada, los elementos principales que forman una secadora de albercas se ilustran en la figura 1.10.

Secadoras de Flujo Continuo

Las secadoras de flujo continuo, conocidas como de columna o de torre, fueron desarrolladas en los Estados Unidos para atender las necesidades de secado artificial que introdujo la utilización masiva de cosechadoras combinadas, durante la Segunda Guerra mundial y en los años siguientes.

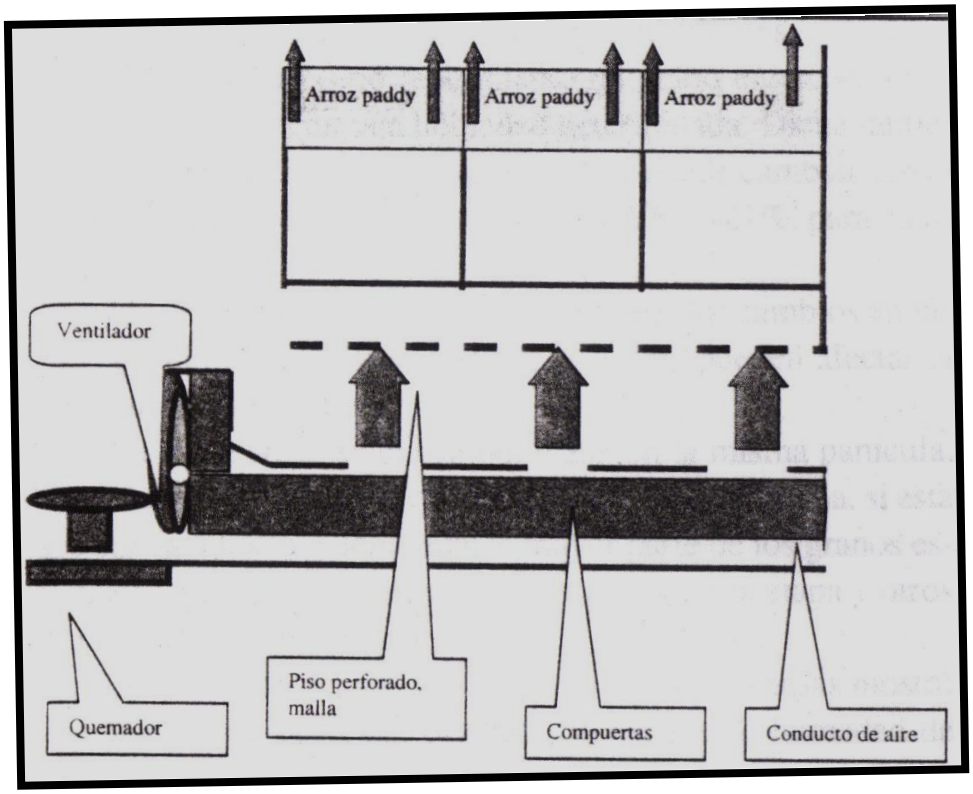


FIGURA 1.10. SECADORA DE TANDAS INCLINADAS O ALBERCAS

- Recipiente de granos y un tanque de reserva superior. La capacidad de estos recipientes puede oscilar entre 10 y 100 toneladas.

- Quemador de combustible equipado con control de temperatura. Y termostatos limitadores de temperatura. Estos deben ser dos, colocados en los conductos de aire frío (salida de aire a la atmósfera) y de aire caliente. El termostato del lado de aire frío se debe graduar aproximadamente 40 °C y el del lado caliente a aproximadamente 60°C. Si cualquiera de los dos termostatos detecta sobrecalentamiento en el conducto, el circuito eléctrico debe desconectar los motores de los ventiladores y del quemador.

- Ventiladores centrífugos o axiales.
- Mecanismo de descarga de grano velocidad variable
- Sección de enfriamiento, generalmente se utiliza aire ambiente y se ajusta por medio de compuerta desde el exterior.

Estos elementos se ilustran en la figura 1.11.

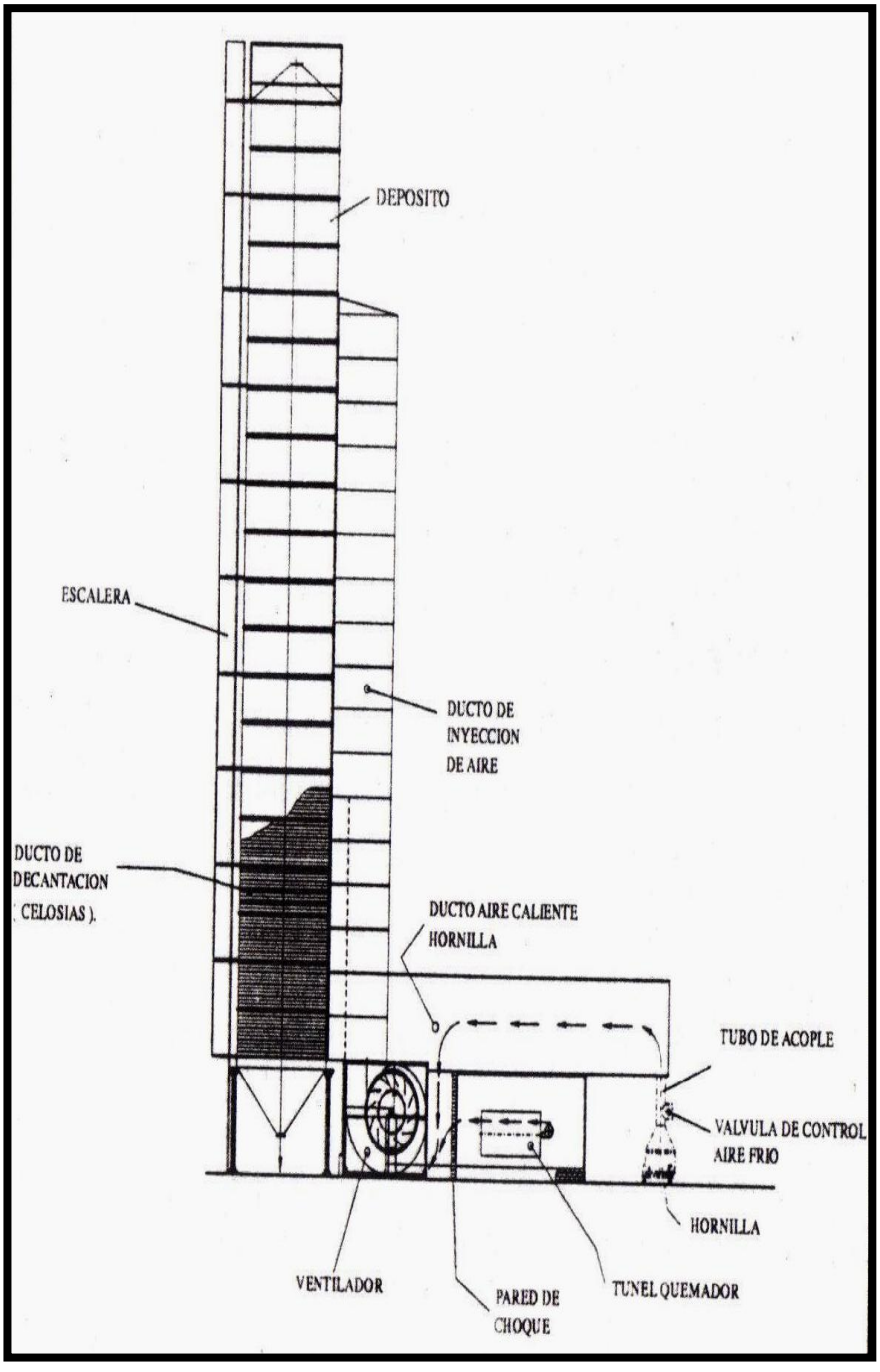


FIGURA 1.11. SECADORA DE FLUJO CONTINUO

1.5 SECADORA DE PISO INCLINADO POR TANDAS

Este tipo de secadoras también denominadas albercas utilizan pisos de malla perforada, para forzar aire a través de capas de grano, de espesor que oscila entre 60 y 150 cm. Las albercas son adecuadas para manejar cantidades pequeñas o medianas de arroz en cascara. Este sistema ha tenido bastante aceptación en países como Colombia, pues tiende a partir menos granos en comparación a otros sistemas mecanizados.

Un trabajo de investigación aplicada, realizada por la Federación Nacional de Arroceros de Colombia, presenta las siguientes conclusiones y sugerencias, para el mejor diseño y operación de secadoras tipo albercas.

- El tiempo de secado depende principalmente de las condiciones ambientales, de la temperatura del aire de secado y del volumen de aire aplicado por una determinada cantidad de grano.

- Como norma general se recomienda que el volumen de aire no sea inferior a aproximadamente 14 M3/Min por tonelada de grano.

- En el caso de que con un mismo túnel, se abastezca de aire a varios compartimientos, las velocidades del aire en los túneles, especialmente en el tramo entre la descarga del ventilador y la primera puerta, deben mantenerse inferiores a 600 metros por minuto, con el fin de disminuir las diferencias entre la cantidad de aire que recibe el primer compartimiento y los siguientes.

- Para controlar la velocidad del aire y al mismo tiempo insuflar alto volumen en el grano, es necesario utilizar conductos de mayor tamaño que los utilizados tradicionalmente.

- El manejo del aire en todo el sistema debe ser delicado, se debe evitar las contracciones o expansiones abruptas, las curvas demasiado fuertes, las puertas innecesarias etc.

- El mantener una temperatura de secado relativamente constante es de mucha importancia en horas de la noche, cuando la temperatura ambiente desciende y la humedad relativa del ambiente aumenta. El descenso de temperatura reduce la capacidad efectiva de secado y fomenta la aparición de fisuras en el arroz que se encuentre relativamente seco, al rehumedecerlo.

- Aéreas reducidas para desfogue del aire que ya ha atravesado el grano, introducen resistencia adicional de importancia al ventilador y, además, dificultan la evacuación del aire húmedo. Las áreas libres entre los aleros de los techos y las paredes de las albercas deben equivaler por lo menos al 30% del área de pisos perforados de los compartimientos. Es conveniente construir sobre techos, que faciliten la salida del aire cargado de humedad a la atmósfera y evitar su condensación en los techos.

- Las albercas inclinadas se construyen generalmente con pendientes que varían entre 32° y 35°. Mientras las primeras tienen mayor tendencia a necesitar ayuda

de mano de obra para su descargue total, las de mayor pendiente (34-35%), tienen tendencia a fluidizar el grano y sufrir algún rodado espontáneo de arroz, cuando reciben demasiado aire por efecto del cierre de las compuertas de varios compartimientos. La pendiente recomendable, que equilibra problemas y ventajas puede ser de 33 o 34°.

- La alimentación de las albercas, preferiblemente debe hacerse desde un transportador de banda con ayuda de una vagoneta de descarga que pueda colocarse en cualquier sitio de la alberca, para conseguir llenarla de manera uniforme. En caso de que se utilicen transportadores sinfín o de arrastre para llenar las albercas, dentro de lo posible se debe instalar una descarga cada metro.

Debe resaltarse que la inclinación de aproximadamente 33° de los pisos perforados permite que las operaciones de llenado y descarga se hagan de manera mecanizadas, con muy poca necesidad de utilizar mano de obra.

La pérdida de humedad en las capas de arroz difiere de manera importante de acuerdo con la profundidad y con el tiempo de secado. En la figura 1.12 se ilustra el avance del proceso.

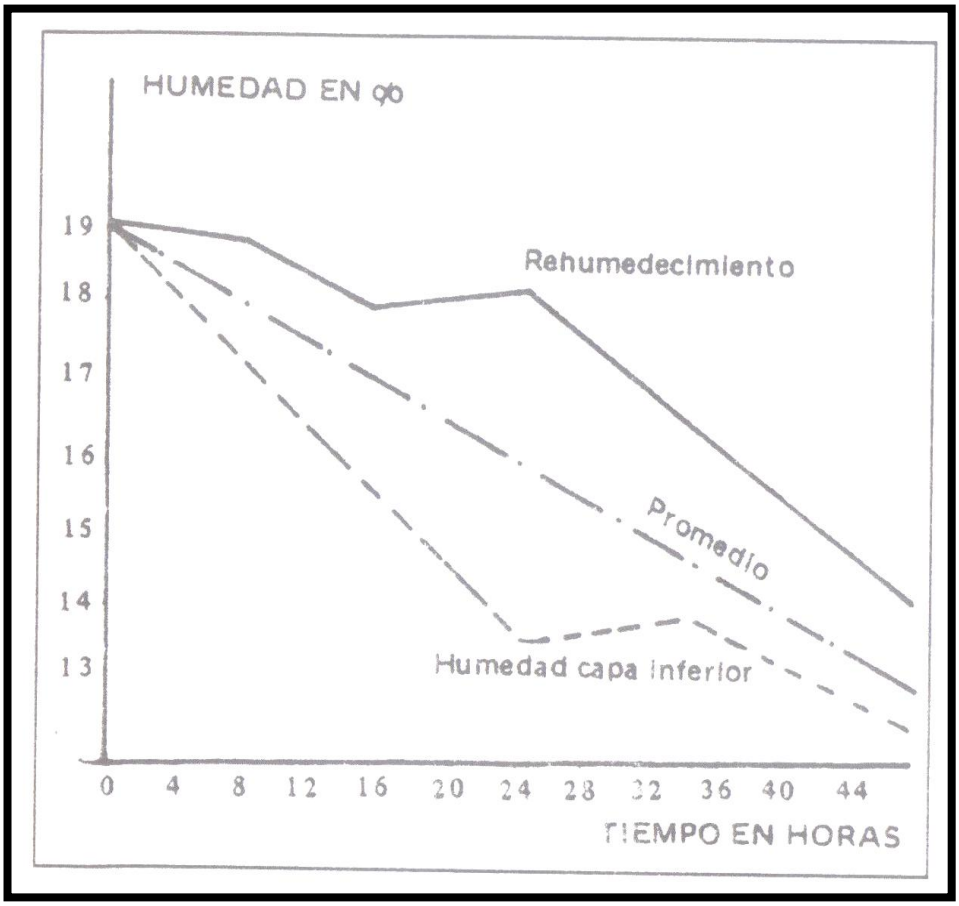


FIGURA 1.12. VELOCIDAD DE SECADO EN ARROZ

Al finalizar el proceso, inevitablemente, se presentan diferencias de humedad entre el arroz situado en la parte superior e inferior. Esta diferencia es normalmente 1.5 a 2 % de humedad en el grano.

CAPÍTULO 2

2. SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

2.1 Equipos necesarios para el secado en piso inclinado

Para determinar los equipos necesarios debemos considerar la cantidad de granos que la secadora debe procesar por día. La piladora procesa 17000 toneladas de arroz en cascara por año. Sin embargo el flujo de arroz que puede recibir en un día de cosecha es de 60 ton por día. Con ese flujo debemos dimensionar la secadora considerando que debemos de limpiar el arroz húmedo antes de secar. Esta labor de prelimpieza tiene por objeto principal remover las impurezas grandes, algo de grano partido, de polvo e impurezas livianas. Generalmente la pre limpieza se efectúa en línea con el

recibo de grano, por esa razón su capacidad debe ser suficiente para que no afecte la velocidad de recibo. Si consideramos que la piladora recibe 60 ton en un día, calculamos la capacidad de la pre limpia de tal forma que pueda limpiar esa masa en un tiempo no mayor a tres horas, pues el arroz llega generalmente a la piladora en las últimas horas de la tarde y solo se dispone de cuatro a seis horas del día para recibir el arroz en cáscara, limpiarlo y depositarlo en la secadora.

Por esa razón seleccionamos una prelimpia de 20 ton/hora que pueda retirar un promedio de 3%-4% de impurezas. Conociendo la capacidad de la prelimpia podemos determinar la capacidad del elevador de carga y descarga de la prelimpia.

El elevador de descarga de la prelimpia dirige el arroz hacia una banda transportadora con vagoneta de descarga para depositar el arroz en las bandejas inclinadas. Estas bandejas inclinadas son construidas estructuralmente en concreto y su piso falso será de plancha perforada sostenida por una retícula metálica construida de perfiles de acero laminado en 2 mm de espesor. La perforación de la plancha será de huecos de Φ=2.5mm para que la resistencia al flujo de aire de secado se despreciable.

El aire de secado será proporcionado por un ventilador radial doble oído de álabes aerodinámicos curveados hacia atrás y para la generación de calor el ventilador debe ser acoplado a un horno quemador de cascarilla de arroz de fuego indirecto.

Estos dos equipos deben seleccionarse cuidadosamente pues serán los que determinen la alta eficiencia en la secadora y el considerable ahorro de energía. Finalmente la descarga de la secadora se efectuará por bandas transportadoras y elevador que depositarán el arroz a una tolva para su pilada.

La dimensión de la secadora estará estrechamente relacionada con el flujo de arroz que ingrese a la piladora, como hemos mencionado la piladora debe procesar 60 ton/día.

Sin embargo los mejores resultados en reducción de granos partidos en la pilada se consiguen con un secado lento y a baja temperatura. Un tiempo aconsejable de secado para este tipo de secadora es de 72 horas, lo cual significa que necesitaremos una estructura que pueda soportar y secar 192 ton en 72 horas, pero que a su vez permita recibir 60 ton por día. Para lograr esto se dimensiona una

secadora que esté dividida en ocho secciones de 24 ton de capacidad cada una y que comportan un ducto con compuertas para la distribución independiente del aire de secado para cada sección. Esta distribución permite manejar un flujo diario de 60 ton por día teniendo un 20 % de capacidad adicional para eventualidades.

2.2 CÁLCULO DEL VENTILADOR REQUERIDO

Unos de los componentes fundamentales para la secadora es el ventilador, pues es el que forzará el aire caliente atreves del grano para remover la humedad del mismo. Para su selección hay que conocer cuanta masa de aire de mover y a qué presión debe operar para vencer la resistencia al aire del sistema de secado. Adicionalmente este equipo debe soportar trabajar con temperaturas de 27º a 45ºC. Para determinar el caudal de aire a mover, se tiene que conocer los parámetros necesarios para la secadora.

La masa de arroz a secar es de 192 ton, la humedad inicial promedio es 24% en base húmeda, la temperatura del aire de secado debe fluctuar en 38ºC y el tiempo de secado 72 horas. La humedad relativa del aire ambiente es aproximadamente 74.6% y la temperatura 27ºC.

Para determinar la cantidad de aire requerido nos valemos de la ecuación de equilibrio de calor para procesos de secado de granos:

$$\frac{cfm\ x\ 60}{\upsilon}(c_a)(T_a - T_g)t = h_{fg}DM(M_o - M_e)$$

Donde:

cfm = Flujo de aire de secado (pie^3/min)

υ = Volumen de aire específico (ft^3/lb)

T_a = Temperatura aire caliente (ºF)

T_g = Temperatura del aire a la salida del grano (ºF)

t = Tiempo en horas

h_{fg} = Calor latente de vaporización (Btu/lb)

$DM(M_o - M_e)$ = Cantidad de agua a evaporar en la masa de granos (lb)

Por psicrometría se obtine el valor del volumen específico del aire calentado de 27ºC con 74,6 % de humedad; a 38ºC y 40% en un proceso de relación de humedad y de temperatura o punto de rocio constante. De la carta psicométrica el valor υ=14.5 ft^3/lb.

Para obtener el calor latente de vaporización de la humedad del grano se considera que el calor requerido para evaporar una libra de agua del grano es función del contenido de humedad del grano y la temperatura en la cual ocurre la evaporación. Para propósitos de cálculo se considera el calor latente de vaporización h_{fg}= 1200 Btu/lb.

La temperatura T_a representa la temperatura del plenum o temperatura del aire caliente T_a = 38ºC (100.4ºF).

La temperatura T_g representa la temperatura del aire a la salida del grano, la cual será la temperatura se saturación del aire o temperatura de bulbo húmedo pues se considera un proceso adiabático T_g=79.2ºF.

Finalmente la cantidad de humedad a remover expresada en la relación $DM(M_o - M_e)$, es la cantidad de agua a evaporar en la masa de granos. Para nuestro caso se secará 192 ton de granos de 24% a 10% de humedad en base húmeda. Es decir se removerá $DM(M_o - M_e)$ = 65,706.67 lb de agua.

Entonces:

$$\frac{cfm\ x\ 60}{14.5}(0{,}24)(100.4-79.2)72 = 1200x65{,}706.67$$

$$cfm = 52{,}014.91$$

A este valor hay que agregar un 15%, pues se considera que existe la posibilidad de que el grano sobrepase la humedad promedio y que pueden existir perdidas de aire en el sistema por compuertas mal cerradas. Entonces el ventilador deberá producir un flujo de 1,695.13 m^3/min (59,817.14 ft^3/min) .

Para determinar la caída de presión que debe vencer el ventilador en el sistema se considera que 192 ton estarán distribuidas en las secciones de las albercas. Toda la secadora estará compuesta de ocho secciones de 32.4 m^2 cada una, lo cual significa un área de 259.2 m^2 para 1,695.13 m^3/min.

Con estos datos se verifica en la gráfica de Shedd la resistencia del grano con la relación 6.56 m^3/min/m y se obtiene un valor de 33.32 mm H_2O por cada m de profundidad. Si se tiene 192 ton en un área de 259.2 m^2 y un peso específico del grano de 0.580 ton/m^3 entonces la profundidad del grano será 1.28 m. Entonces

multiplicando 33.32 mm H_2O/m X 1.28 m y se obtiene una resistencia de 42.65 mm H_2O (1.68 in WC).

La resistencia del sistema generador de calor puede alcanzar 2.3 in WC según mediciones experimentales realizadas en quemadores de cascara de arroz de diferentes fabricantes.

Finalmente la resistencia del ducto de aire es despreciable, pues su dimensión es de 2 X 2 X 18 m, lo que hace que la resistencia al movimiento de aire se despreciable en comparación a los dos valores mencionados antes.

Con los valores calculados de caudal de aire y presión estática requeridos consultamos tablas de fabricantes de ventiladores. El ventilador debe producir un volumen de aire medio, presión estática media y una alta eficiencia. Su construcción debe ser económica y su acople al sistema de secado sencillo. De esta forma se selecciona un ventilador centrífugo aerodinámico de doble entrada y doble ancho.

Según tablas de fabricantes (Apéndice A1) se elige un ventilador de 60 in de diámetro de rotor, que rotará a 554 r.p.m para producir un volumen de aire de 60,000.00 cfm a 4 in WC de presión estática y un consumo de 46.3 bhp.

2.3 CÁLCULO DEL GENERADOR DE CALOR

Para determinar el generador apropiado para la secadora se debe considerar que el combustible a usar será la cascara de arroz. La utilización de cáscara como combustible permitirá un ahorro significativo, pues la cáscara se considera un desecho. Además posee un poder calorífico semejante a la madera de 13.500 btu/kg (3.401,73 kcal/kg).

Para determinar la dimensión del horno quemador de cascara de arroz se calcula el calor que debe entregar al aire de secado. Para esto se utiliza la expresión:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{aire}\ c_p\ (T_a - T_{amb})$$

Donde:

$\dot{m}_{aire}$ = Flujo másico (lb/hr)

$$\dot{m}_{aire} = \frac{60{,}000\ \frac{ft^3}{min}}{13.9\frac{ft^3}{lb}} 60\frac{min}{hr} = 258{,}992.81\frac{lb}{hr}$$

Entonces:

$$\dot{Q} = 258{,}992.81\frac{lb}{hr}\ \ 0.24\frac{Btu}{lb\,^\circ R}\ (19.8^\circ R)$$

$$\dot{Q} = 1\acute{}230{,}733.83\frac{Btu}{hr}$$

Con este valor se consulta los equipos disponibles en el mercado (Apendice A2 y A3) y se selecciona un generador de calor que produzca 1´200,000 a 1´800.000 btu/hr con un consumo aproximado de 120 kg/hr de cascara de arroz.

2.4 CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y FUNCIONAMIENTO DEL SECADOR

Como se mencionó en capítulos anteriores, el proceso empieza con la recepción del grano. Para esto se dimensiona y construye una tolva de recepción, donde se depositarán los granos que llegan del

campo. La dimensión de la tolva es de 6 X 3 m y la profundidad de 3 m para tener 45º de inclinación en sus tres caras.

Es importante conservar esta inclinación para asegurar que todo el grano, incluyendo las impurezas, pueda alimentar fácilmente el elevador que descarga la tolva y a su vez carga la prelimpia. Este elevador de 3 hp y 30 ton/hr, dirige el flujo hacia una prelimpia de granos, equipo compuesto de zarandas oscilantes y cámaras de succión.

Este equipo reducirá las impurezas desde un promedio de 4% a 1.5%, por medio de cribar el grano en planchas perforadas de huecos alargados de 4 X 20 mm para retirar la impurezas mayores y de 1.5 X 15 mm para retirar la impurezas menores. En cambio las impurezas livianas y el polvo son retiradas por una corriente de aire que atraviesa el grano a la entrada y a la salida de la máquina.

Para mantener limpias las perforaciones de las cribas, se utilizan bolas de caucho que rebotan entre la criba y una malla inferior abierta. Para accionar las zarandas la máquina usa un motor de 2 hp y para el succionador un motor de 5 hp.

La capacidad de limpieza es de 20 ton/hr con granos de 4% de impurezas, su capacidad de limpieza puede disminuir si el grano entra con mayor impureza.

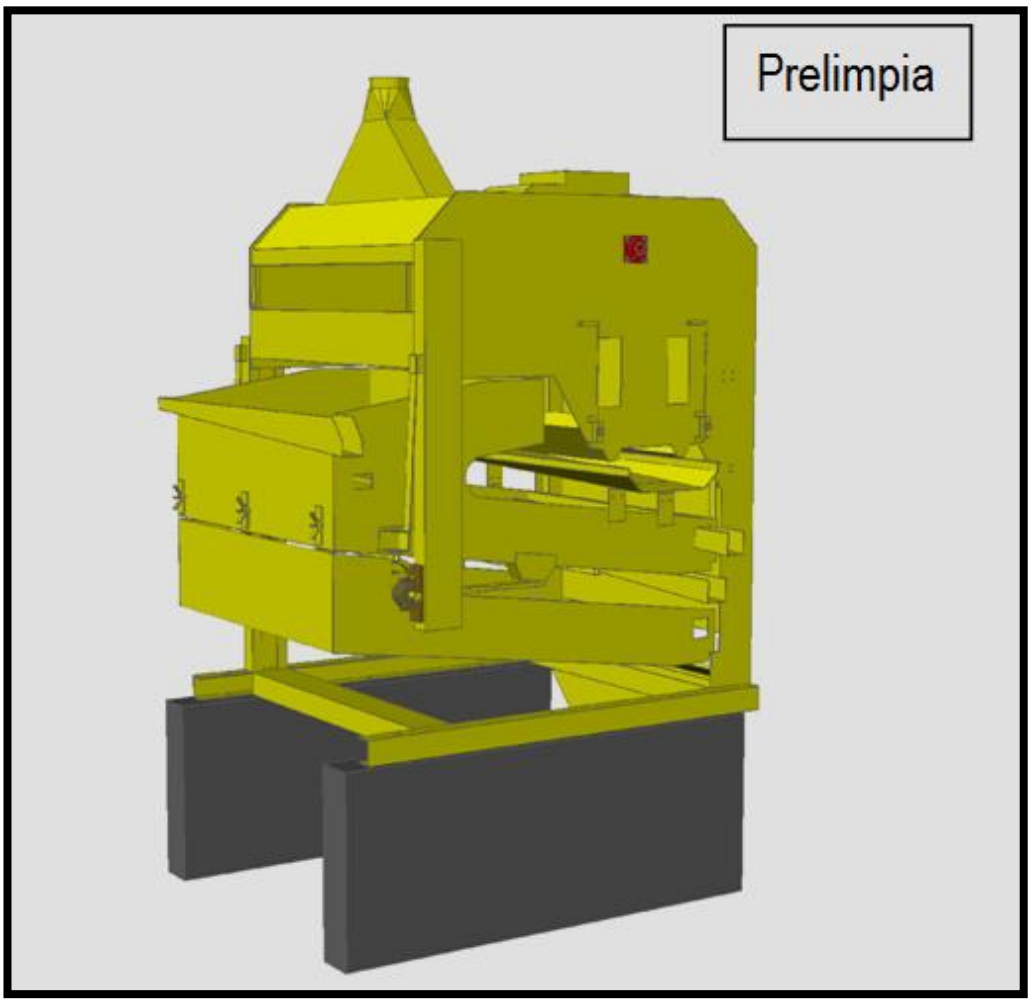


FIGURA 2.1. EQUIPO DE PRELIMPIEZA

Una vez que el grano pasa la prelimpia, es receptado por otro elevador que dirige el grano hacia una banda transportadora con vagoneta de descarga. Esta banda con su vagoneta permitirá descargar el grano en diferentes puntos de la secadora. Para

asegurar la carga en la banda se selecciona una banda transportadora de rodillos portantes inclinados a 20 º. La capacidad de la banda es de 40 ton/hr, su longitud de 22 m y es accionada por un motor reductor de 2 hp.

El grano se deposita en la secadora, que es una estructura construida de hormigón y bloques.

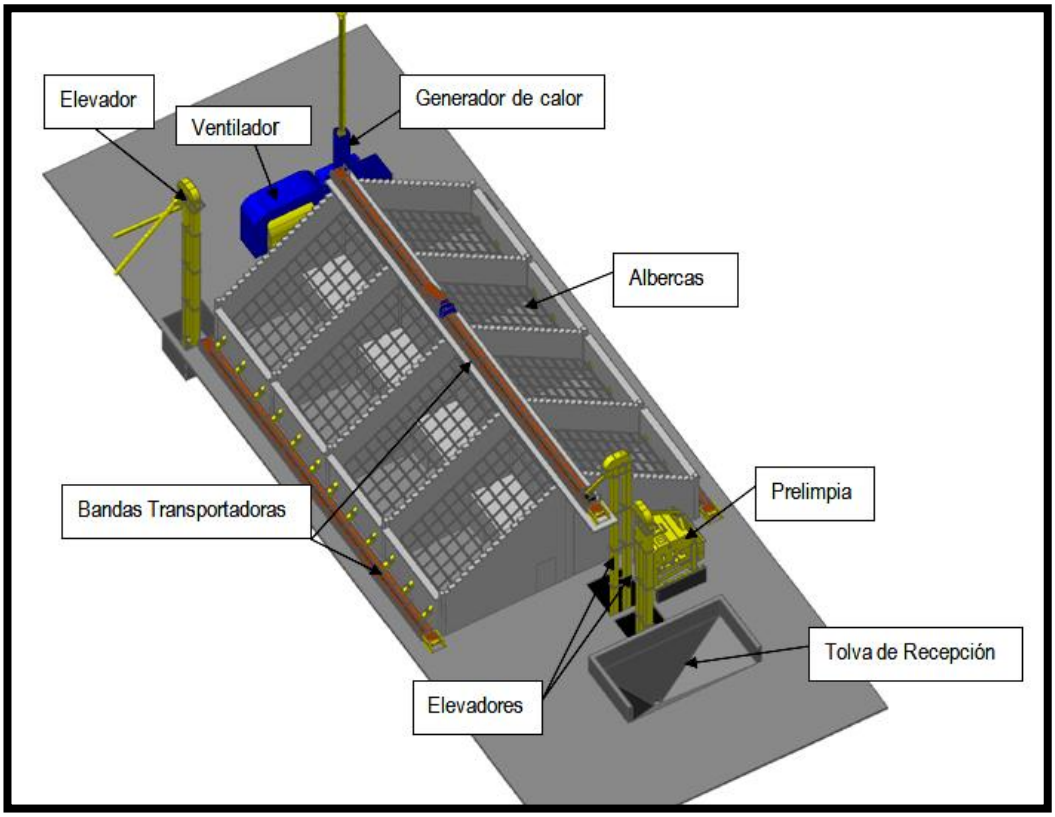


FIGURA 2.2. COMPONENTES DE SECADORA DE TANDAS INCLINADAS

La estructura está compuesta de ocho compartimientos inclinados a 34º de 4.5m de ancho, 7.2 m de largo y 1.4 m de profundidad para 24 ton de capacidad. El piso falso o plenum es construido de estructura metálica y planchas perforadas Φ= 2.5 mm y e=1.4 mm.

Para dirigir el aire de secado a los compartimientos se construye internamente un ducto de 2 X 2 m con compuertas de 1 X 2 m para cada compartimiento. Las compuertas se abren y cierran por la parte exterior de la secadora. Esto permite la operación continua de la secadora sin tener que parar el ventilador y el generador para abrir o cerrar las compuertas cuando una sección de la secadora está lista para descargarse o cargarse.

Cuando la secadora tiene un compartimiento lleno se puede arrancar el ventilador y el generador de calor. Estos dos equipos trabajan conjuntamente acoplados por medio de un ducto de aire. El aire del ambiente es forzado a través de los tubos de transferencia de calor del generador, que elevan 11ºC la temperatura del aire.

El generador u horno quemador de cascarilla puede regular la temperatura por medio de disminuir la alimentación de cascarilla a la parrilla de combustión por medio de un variador de frecuencia. El horno opera por medio de un motor reductor de 0.5 hp para la alimentación de la cascarilla, un soplador de 1 hp para el aire de combustión y un soplador de 2 hp que desaloja la ceniza producida por la combustión.

El ventilador acoplado al quemador de cascarilla es accionado por medio de un motor eléctrico de 50 hp acoplado por poleas y bandas.

A medida que se van llenando los demás compartimientos se van abriendo las compuertas correspondientes. De esa forma cada compartimiento tendrá un tiempo máximo de secado de 72 horas, y manteniendo un flujo de secado de 60 ton/día.

Cuando un compartimiento ya se ha secado se descarga por medio de tres bandas transportadoras laterales de 2 y 1 hp que dirigen el grano a un elevador de 3hp para ser depositado en un granero para su reposo y después ser pilado.

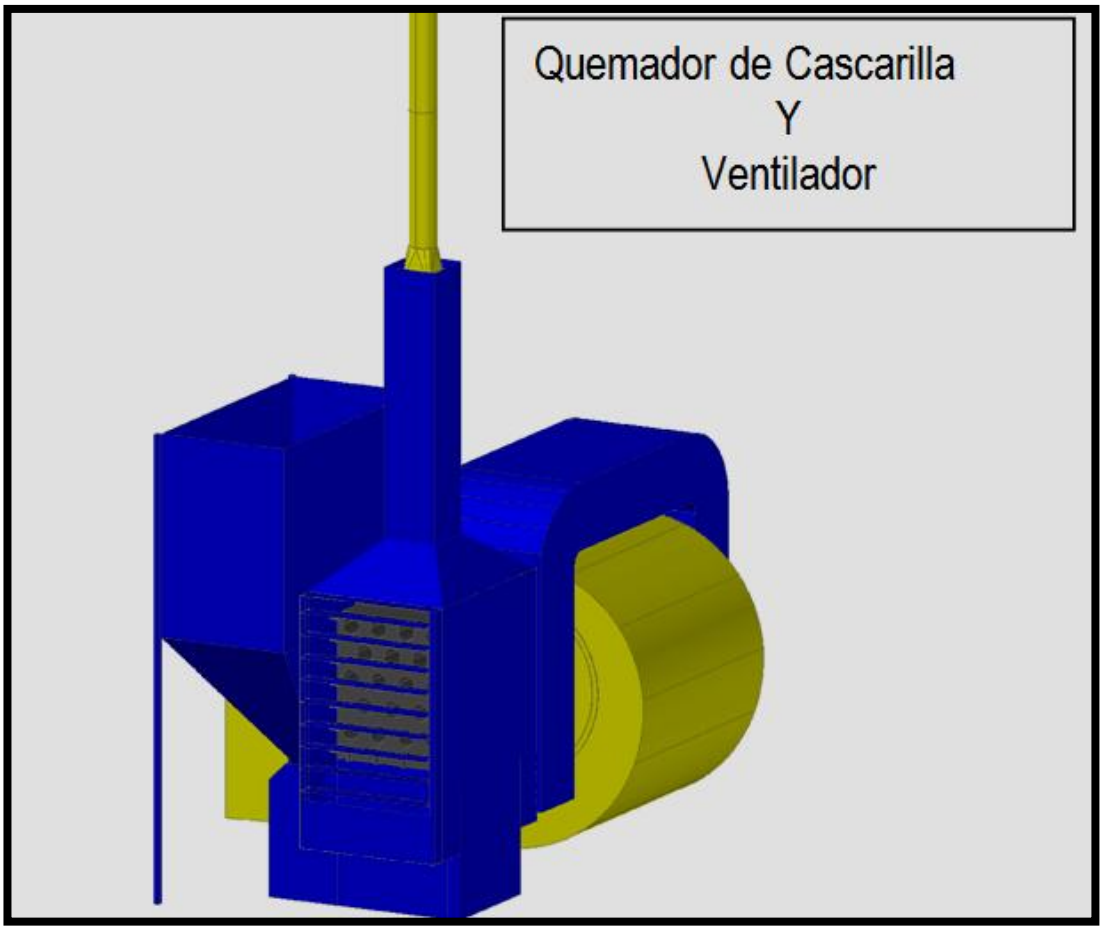


FIGURA 2.3. VENTILADOR Y GENERADOR DE CALOR

CAPÍTULO 3

3. EVALUACIÓN ENERGÉTICA Y ECONÓMICA DE LA SECADORA

3.1 Evaluación de la Eficiencia de la secadora

Para la evaluación de la secadora se recurre al método descrito en el capítulo 1, se mide temperatura, caudal de aire, caída de presión, consumo de energía, tiempo de secado y análisis de granos partidos. En la tabla 3.1 se detalla las mediciones

DESARROLLAR MAS ESTA PARTE PARA LLENAR ESTA HOJA

TABLA 3

TABLA DE MEDICIONES

<table>
<tr><td colspan="2">Dimensiones del secador</td><td colspan="2">Placa del motor</td><td colspan="2" rowspan="2">Lecturas con tubo y manguera conectados a manómetro, hincados en el grano (13% wb) hasta el fondo, varios sitios</td></tr>
<tr><td>Largo</td><td>59.04 ft</td><td>Hp</td><td>50 hp</td></tr>
<tr><td>Ancho</td><td>47.23 ft</td><td>RPM</td><td>1770 r.p.m</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Alto</td><td>3.94 ft</td><td>Volt</td><td>220 V</td><td>Bandeja 1</td><td>1.21 in WC</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>Amp</td><td>122 A</td><td>Bandeja 2</td><td>1.28 in WC</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Temperatura al interior del ducto 39.2ºC</td><td>η 100%</td><td>92.5</td><td>Bandeja 3</td><td>1.30 in WC</td></tr>
<tr><td>Cos φ</td><td>0.86</td><td>Bandeja 4</td><td>1.20 in WC</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Temperatura del grano durante el secado 28.2ºC</td><td colspan="2">Lectura con multímetro motor</td><td>Bandeja 5</td><td>1.21 in WC</td></tr>
<tr><td>Volt</td><td>230 V</td><td>Bandeja 6</td><td>1.24 in WC</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Temperatura del grano al final del secado 38.2ºC</td><td>Amp</td><td>98 A</td><td>Bandeja 7</td><td>1.23 in WC</td></tr>
<tr><td>Tiempo de secado</td><td>72 h</td><td>Bandeja 8</td><td>1.21 in WC</td></tr>
<tr><td colspan="2">Humedad relativa 73.2 %</td><td>Área descarga ventilador OA</td><td>37.24 ft^2</td><td colspan="2">Presión estática en el ducto de entrad y salida ventilador 3.12. in WC</td></tr>
</table>

Para la obtención del flujo de aire del ventilador usaremos el método indirecto. El promedio de la caída de presión en los ocho compartimientos es:

$$\overline{SP} = \frac{\sum_{i=1}^{n} SP_i}{n}$$

$$\overline{SP} = \frac{1.21 + 1.28 + 1.30 + 1.20 + 1.21 + 1.24 + 1.23 + 1.21}{8} = 1.24$$

Con este valor consultamos las tablas de Shedd tomando en cuenta que la tabla consultada es para una profundidad de granos de 1 ft. Por lo tanto la caída de presión por ft será 1.24 / 3.94 = 0.31 in WC / ft. Según la tabla tenemos un valor aproximado de 18 cfm/ft^2. El área del secador es 2.788,46 ft^2, multiplicado por 18 cfm/ft^2 tenemos un flujo de aire de 50.192,27 cfm.

Entonces:

$$V = \frac{50.192,27}{37.24} = 1.347,81\ ft/min$$

$$VP = \left(\frac{1.347,81}{4005}\right)^2 = 0.11\ in\ WC$$

$$TP = 3.12 + 0.11 = 3.23\ in\ WC$$

$$ahp = \frac{50.192{,}27\ x\ 3.23}{6356} = 25.51\ hp$$

Para obtener la potencia al freno del motor usamos la siguiente expresión:

$$bhp = \frac{\sqrt{3}xVxIxcos\varphi x\eta}{746}$$

$$bhp = \frac{\sqrt{3}x230x98x0.86x0.925}{746} = 41.63\ hp$$

Con esto resultados tenemos que la eficiencia mecánica del sistema de aire o ventilador es:

$$\eta = \frac{25.51}{41.63}x100 = 61\%$$

El consumo específico de energía del generador de calor lo determinamos por medio del consumo de cascarilla de arroz combustionada.

Consumo de cascarilla:

$$\dot{m}_f = 117\ kg/hr$$

Entonces el consumo energético:

$$\dot{Q} = \dot{m}_f\ x\ PCS_{cascarilla}$$

$$\dot{Q} = 117\ x\ 3.401{,}73 = 398.002{,}41\ \frac{kcal}{hr}$$

Para calcular el poder de evaporación de la secadora tenemos que determinar la cantidad de agua evaporada por el tiempo que duró el secado 72 horas. El agua evaporada del grano se calcula de la siguiente forma:

$$W_f = 192\ \left(\frac{100-24}{100-10}\right) = 162.13\ ton$$

$$W_{H_2O} = 192 - 162.13 = 29.87\ ton$$

Entonces el poder de evaporación de la secadora es de $414.81 \frac{kg_{h_2o}}{hr}$

Dividiendo el consumo energético por el poder de evaporación:

$$\frac{398.002{,}41\ \frac{kcal}{hr}}{414.81 \frac{kg_{h_2o}}{hr}} = 959.47 \frac{kcal}{kg_{h_2o}}$$

Si consideramos que el calor necesario para evaporar 1 kg de agua es de 600 kcal la eficiencia de la secadora es:

$$\eta = \frac{600}{959.47}\ x\ 100 = 62.3\ \%$$

Finalmente evaluamos el generador de calor por medio de la expresión:

$$\eta_{gen} = \frac{\dot{Q}_{salida}}{\dot{Q}_{entrada}} x100$$

Donde:

$$\dot{Q}_{entrada} = \dot{m}_f \; x \; PCS_{cascarilla} = 398.002{,}41 \; \frac{kcal}{hr} \; (1'579.500 \; \frac{Btu}{hr})$$

$$\dot{Q}_{salida} = \dot{m}_{aire} \; c_p \; (T_a - T_{amb})$$

Donde:

$$\dot{m}_{aire} = \frac{50{,}192{,}27 \; \frac{ft^3}{min}}{13.9 \frac{ft^3}{lb}} 60 \frac{min}{hr} = 216{,}657.28 \frac{lb}{hr}$$

Entonces:

$$\dot{Q}_{salida} = 216{,}657.28 \frac{lb}{hr} \; \; 0.24 \frac{Btu}{lb\,°R} \; (21.96°R)$$

$$\dot{Q}_{salida} = 1\acute{}141.870{,}53\frac{Btu}{hr}$$

Entonces:

$$\eta_{gen} = \frac{1\acute{}141.870{,}53}{1'579.500{,}00} x100 = 72\%$$

3.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROCESO

Para evaluar este proceso de secado debemos determinar los costos de operación de la secadora para un año de operación, la cual secará 17.000 ton.

Esta masa de granos pasará por los respectivos equipos de elevación, transporte, limpieza y secado. El costo de operación de estos equipos se lo determina por el consumo eléctrico, el consumo de combustible, costo de operadores y mantenimiento.

El costo de consumo eléctrico lo determinamos por los kilovatios horas consumidos al procesar 17.000 ton en un año.

TABLA 4

KILOVATIOSHORA NECESARIOS PARA PROCESAR 17.000 TON

Equipo	Horas	Kw	Kwhr
Elevador #1 20 ton/hr	850	2.2	1870
Prelimpia 20 ton/hr	850	5.2	4420
Elevador #2 20 ton/hr	850	2.2	1870
Banda con vagoneta 20 ton/hr	850	1.5	1275
Banda descarga lateral #1 30 ton/hr	283	1.5	425
Banda descarga lateral #2 30 ton/hr	283	1.5	425
Banda transversal #3 30 ton/hr	283	1	283
Quemador	6375	2.61	16.639
Ventilador	6375	37	235.875
Total kilovatioshora consumidos en año			263.082

Conociendo el valor total de kilovatioshora a consumir determinamos el costo en energía eléctrica a razón de 0.08 $/Kwhr tenemos un costo de $ 21.046,56 para un año de operación.

El costo de mano obra lo calculamos por dos operadores para dos turnos, pues la secada es un proceso de 24 horas.

El costo por los dos operadores es de $ 6.000,00 para un año de operación y el costo de tres estibadores para bajar la carga de los camiones es de $ 9.000,00.

El costo de mantenimiento por lubricación de chumaceras, cadenas, limpieza y reparaciones menores por desgaste de tuberías es de $ 1.200.00.

Finalmente el costo por combustible usado es $ 0, pues las cascarilla es un desecho de las piladoras y solo se usará la cuarta parte de lo que produce la piladora.

TABLA 5

RESUMEN DE COSTOS DE OPERACIÓN DE LA SECADORA

Costo por mano de obra	**$ 15.000,00**
Costo por consumo de combustible	**$ 0**
Costo por consumo eléctrico	**$ 21.046,56**
Costo por mantenimiento	**$ 1.200,00**
Costo total	**$ 37.246,56**

En resumen el costo de secar una tonelada de arroz en cascara en la secadora de tandas inclinadas es de 2.19 $/ton.

3.3 CÁLCULO DE LA RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Para analizar si el proyecto será rentable para la empresa se realizó un flujo de caja a partir de los datos que se proporcionó.

El valor de las ventas se lo calculó tomando en cuenta un crecimiento del 1% mensual y con un precio promedio de $28 el quintal de arroz.

La inversión total de la empresa será de $150.000 de los cuales el 60% será financiado con un préstamo con una tasa de interés del 8%.

Calculado el flujo de caja se obtuvo que, para un periodo de siete meses, las cifras son positivas; esto quiere decir que en cada periodo los ingresos de efectivo son mayores a los egresos o salidas de efectivo.

La tasa de descuento se definió en base al porcentaje de interés que actualmente están pagando los bancos por ahorrar dinero en los mismos, que se encuentra en alrededor del 12% anual, lo que en meses representa el 1%.

Nos basamos en este valor porque de esta forma podremos analizar si es más rentable para la empresa invertir en el proyecto, o mantener el dinero en los bancos.

Para calcular en cuanto tiempo se recuperara la inversión realizada se utilizara el método del valor presente.

Como el dinero tiene un valor en el tiempo, mediante este método se procederá a conocer cuál será el valor de cada uno de los Flujos Netos Efectivos en el periodo cero, periodo en el que se realiza la inversión.

Este método consiste en llevar los valores de los flujos de efectivo pronosticados a dólares de hoy y, para lograr este objetivo, es necesario descontar cada uno de los flujos a su tasa de descuento (1%).

$$\left[31{,}399.46 \div (1.01)^{1}\right] + \left[31{,}398.48 \div (1.01)^{2}\right] + \left[31{,}630.34 \div (1.01)^{3}\right] + \left[31{,}863.37 \div (1.01)^{4}\right] + \left[32{,}097.55 \div (1.12)^{5}\right] = 153728.2616$$

Con el cálculo realizado se obtuvo que la empresa recuperara su inversión en un periodo de cinco meses.

	0	1	2	3	4	5
Ventas		501,760.00	501,760.00	504,268.80	506,790.14	509,324.09
C. Variables		454,717.64	454,717.64	456,991.23	459,276.18	461,572.56
C. Fijos		1,200.00	1,200.00	1,200.00	1,200.00	1,200.00
Gts. Administrativos		3,600.00	3,600.00	3,600.00	3,600.00	3,600.00
Dep. Obras Físicas		82.50	82.50	82.50	82.50	82.50
Dep. maq.		837.50	837.50	837.50	837.50	837.50
Amort. Intangibles		-	-	-	-	-
Intereses **1%**		604.80	506.49	407.20	306.91	205.63
Ut. Bruta		40,717.56	40,815.87	41,150.37	41,487.05	41,825.91
Impuesto	**1%**	407.18	408.16	411.50	414.87	418.26
Ut. Neta		40,310.39	40,407.71	40,738.87	41,072.18	41,407.65
Dep. O.F.		82.50	82.50	82.50	82.50	82.50
Dep. maq.		837.50	837.50	837.50	837.50	837.50
Amort. Int.		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
Obra física	-49,500.00	-	-	-	-	-
Maquinaria	-100,500.00	-	-	-	-	-
V. desecho						
Préstamo(Sobre Inv) **60%**	60,480.00					
Amort. Deuda		-9,830.93	-9,929.23	-10,028.53	-10,128.81	-10,230.10
Flujo de caja	-89,520.00	31,399.46	31,398.48	31,630.34	31,863.37	32,097.55

VAN	**63,572.54**	**31088.57497**	**30779.80358**	**30700.10065**	**30620.06799**	**30539.7144**
TIR	23%					153728.2616

Además el **VAN** calculado para los siete meses es positivo. Esto nos deja ver que el proyecto generará, según los pronósticos realizados, un incremento en la riqueza de la empresa de $ 63,572.54, lo que prueba que se trata de un proyecto sumamente rentable para la misma.

La TIR o Tasa Interna de Retorno nos produce un valor del 23%. El que este valor sea mayor en un 22% al porcentaje de interés que pagan los bancos por ahorrar el dinero, deja ver que realizar el proyecto será en un 22% más rentable para los inversionistas que tener el dinero ahorrado en el banco.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Después de haber realizado las mejoras en los equipos de secado en la piladora Imperial se tienen las siguientes conclusiones:

- Las mejoras en la secadora redujeron considerablemente el costo de producción de 9.6 $/ton a 2.19 $/ton.
- La eficiencia de ventilador aumento de 55% a 61%.
- El ahorro de energía fue considerable al reducir el consumo eléctrico en 47%.
- Se aumento el porcentaje de granos enteros en la pilada de 90% a 92%.

4.2 Recomendaciones

- Analizar la posibilidad de incorporar una secadora de flujo continuo del producto al inicio del proceso para acelerar el tiempo de secado

y combinarla con una secadora de tandas inclinadas para terminar el proceso sin deteriorar el grano

- Evitar fuga de aire en compuertas de ventilación y descarga de granos.
- Mejorar el sistema de control de temperatura del generador de calor para que no baje la temperatura del aire de secado durante las noches.

APENDICE A: TABLA DE VELOCIDADES

Performance Data

Wheel Diameter = 60.00 in.
Outlet Area = 37.24 sq. ft. inside
Maximum BHP = 287. x (RPM/1000)³
Tip Speed, fpm = 15.7 x RPM

Class I	RPM 741
Class II	RPM 965
Class III	RPM 1215

Size
6000 DIDW
Design 5010 Centrifugal Airfoil Fans

Volume	O.Vel	1/4"SP		3/8"SP		1/2"SP		5/8"SP		3/4"SP		7/8"SP		1"SP		1-1/4"SP		1-1/2"SP		1-3/4"SP	
CFM	FPM	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
30000	805	194	2.0	210	2.6	225	3.2	239	3.8	252	4.5	265	5.1	278	5.8	302	7.2				
32000	859	202	2.2	218	2.9	232	3.5	246	4.2	259	4.9	271	5.5	283	6.2	306	7.7	329	9.2		
36000	966	219	2.8	234	3.5	247	4.2	260	5.0	272	5.7	284	6.5	295	7.2	317	8.8	338	10.4	358	12.1
40000	1074	237	3.5	251	4.3	264	5.0	276	5.9	287	6.7	298	7.5	309	8.4	329	10.0	349	11.7	368	13.5
44000	1181	255	4.3	268	5.1	280	6.0	292	6.9	303	7.7	313	8.7	323	9.6	343	11.4	361	13.2	379	15.1
48000	1288	273	5.3	286	6.2	297	7.1	308	8.0	319	9.0	329	9.9	338	10.9	357	12.9	375	14.9	392	16.9
52000	1396	292	6.4	304	7.3	315	8.3	325	9.3	335	10.3	345	11.3	354	12.4	372	14.5	389	16.7	405	18.9
56000	1503	311	7.6	322	8.7	332	9.7	342	10.8	352	11.8	361	12.9	370	14.0	387	16.3	404	18.6	419	21.0
60000	1610	331	9.1	341	10.2	350	11.3	360	12.4	369	13.5	378	14.7	387	15.8	403	18.2	419	20.7	434	23.2
65000	1745	355	11.1	364	12.3	373	13.5	382	14.7	391	15.9	400	17.1	408	18.4	424	20.9	439	23.5	453	26.2
70000	1879	380	13.5	388	14.8	397	16.0	405	17.3	413	18.6	421	19.9	429	21.2	445	23.9	459	26.7	473	29.5
75000	2013	404	16.2	412	17.5	420	18.9	428	20.3	436	21.7	444	23.1	451	24.5	466	27.3	480	30.2	493	33.1
80000	2147	429	19.2	437	20.7	444	22.1	452	23.6	459	25.1	466	26.6	473	28.0	487	31.0	501	34.1	514	37.2
85000	2281	454	22.6	461	24.2	468	25.8	475	27.3	482	28.9	489	30.5	496	32.0	509	35.2	523	38.4	535	41.6
90000	2416	479	26.4	486	28.1	493	29.8	499	31.4	506	33.1	512	34.7	519	36.4	532	39.7	544	43.0	556	46.4
95000	2550	505	30.7	511	32.4	517	34.2	523	36.0	530	37.7	536	39.4	542	41.2	554	44.7	566	48.2	578	51.7
100000	2684	530	35.4	536	37.2	542	39.1	548	40.9	554	42.8	560	44.6	565	46.4	577	50.1	589	53.8	600	57.5
110000	2952	580	46.3	586	48.3	591	50.3	597	52.3	602	54.4	608	56.4	613	58.4	624	62.4	634	66.5	645	70.5
120000	3221	631	59.2	636	61.4	641	63.6	646	65.9	651	68.0	656	70.2	661	72.5	671	76.9	681	81.2	690	85.7
130000	3489	682	74.4	687	76.9	692	79.2	696	81.6	701	84.1	705	86.4	710	88.8	719	93.6	728	98.3	737	103.1
140000	3758	733	92.1	738	94.7	742	97.3	746	99.8	750	102.4	755	105.1	759	107.6	767	112.7	776	117.8	784	123.0
150000	4026	784	112.5	789	115.3	793	118.1	797	120.7	800	123.5	804	126.3	808	129.1	816	134.5	824	140.1	832	145.5
160000	4294	836	135.7	840	138.6	843	141.7	847	144.6	851	147.4	854	150.4	858	153.3	866	159.2	873	165.0	880	171.0
170000	4563	887	161.9	891	165.1	894	168.3	898	171.5	901	174.5	905	177.5	908	180.6	915	187.0	922	193.1	929	199.3
180000	4831	938	191.4	942	194.7	945	198.1	949	201.5	952	204.8	955	208.0	958	211.2	965	217.8	971	224.5	978	230.9
190000	5099	990	224.4	993	227.8	996	231.3	1000	234.9	1003	238.5	1006	241.9	1009	245.3	1015	252.1	1021	259.2	1027	266.1

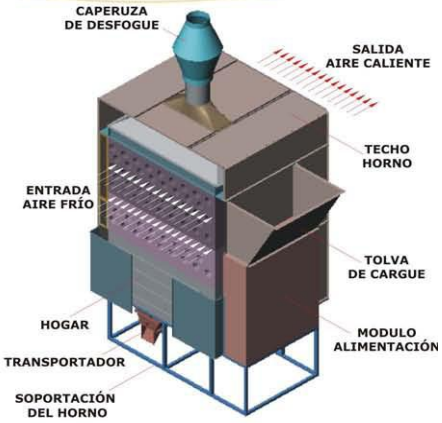
Volume	O.Vel	2"SP		2-1/2"SP		3"SP		3-1/2"SP		4"SP		4-1/2"SP		5"SP		5-1/2"SP		6"SP		6-1/2"SP	
CFM	FPM	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
40000	1074	386	15.4																		
44000	1181	396	17.1	430	21.1																
48000	1288	408	18.9	440	23.2	470	27.6														
52000	1396	421	21.0	451	25.5	480	30.1	508	34.9												
56000	1503	435	23.3	464	27.9	491	32.8	518	37.8	544	42.9	570	48.3								
60000	1610	449	25.7	477	30.6	503	35.7	529	40.9	554	46.3	578	51.8	602	57.5						
65000	1745	467	28.9	494	34.3	520	39.6	544	45.1	568	50.7	591	56.5	614	62.4	636	68.4	658	74.7		
70000	1879	487	32.3	512	38.2	537	44.0	560	49.7	583	55.6	605	61.6	627	67.8	648	74.1	669	80.5	690	87.1
75000	2013	506	36.1	531	42.3	555	48.6	577	54.7	599	60.9	621	67.2	642	73.6	662	80.1	682	86.7	701	93.5
80000	2147	527	40.3	551	46.7	574	53.5	595	60.1	617	66.6	637	73.2	657	79.8	677	86.6	696	93.5	715	100.6
85000	2281	547	44.9	570	51.6	593	58.6	614	65.6	634	72.7	654	79.6	674	86.6	693	93.6	711	100.8	730	108.2
90000	2416	568	49.9	591	56.9	612	64.1	633	71.5	653	79.0	672	86.5	691	93.8	709	101.2	727	108.6	745	116.2
95000	2550	589	55.3	612	62.7	632	70.1	652	77.7	672	85.6	690	93.5	709	101.4	726	109.2	744	117.0	761	124.8
100000	2684	611	61.2	632	68.9	653	76.6	672	84.5	691	92.6	709	100.9	727	109.3	744	117.6	761	125.8	778	133.9
110000	2952	655	74.6	675	82.8	695	91.2	713	99.7	731	108.3	748	117.1	765	126.2	782	135.2	798	144.4	813	153.5
120000	3221	700	90.0	719	98.9	737	107.9	755	117.0	772	126.3	788	135.6	805	145.0	820	154.7	836	164.6	851	174.5
130000	3489	746	107.9	764	117.4	781	127.0	798	136.7	814	146.5	830	156.4	845	166.5	860	176.8	875	187.0	889	197.4
140000	3758	792	128.1	809	138.3	825	148.6	841	158.9	857	169.3	872	179.8	887	190.5	901	201.4	915	212.1	929	223.1
150000	4026	840	151.0	855	161.9	870	172.8	886	183.8	901	194.9	915	205.9	929	217.2	943	228.7	957	240.0	970	251.7
160000	4294	887	176.7	902	188.5	916	200.2	931	211.7	945	223.4	959	235.2	972	246.9	986	258.8	999	270.9	1012	283.0
170000	4563	936	205.7	949	217.9	963	230.3	977	242.8	990	255.0	1003	267.3	1016	279.9	1029	292.2	1042	305.0	1054	317.5
180000	4831	984	237.6	997	250.6	1010	264.0	1023	276.8	1036	289.9	1048	302.9	1061	316.0	1073	329.1	1085	342.2	1097	355.5
190000	5099	1033	272.9	1046	287.0	1058	300.6	1070	314.5	1082	328.1	1094	341.9	1106	355.6	1117	369.4	1129	383.1	1141	397.1

Volume	O.Vel	7"SP		8"SP		9"SP		10"SP		11"SP		12"SP		14"SP		16"SP		18"SP		20"SP	
CFM	FPM	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
75000	2013	721	100.4	759	114.7																
80000	2147	734	107.8	770	122.3	805	137.5														
85000	2281	747	115.5	782	130.6	816	146.1	850	162.2												
90000	2416	762	123.7	796	139.5	829	155.4	861	171.8	893	188.8										
95000	2550	778	132.6	811	148.8	843	165.3	874	182.2	904	199.5	934	217.2								
100000	2684	794	142.0	826	158.7	857	175.8	887	193.1	917	210.9	946	228.9	1002	266.3						
110000	2952	829	162.6	859	180.4	888	198.4	917	216.7	945	235.5	972	254.7	1025	293.4	1077	334.2				
120000	3221	865	184.4	894	204.2	922	223.6	949	243.0	976	262.7	1002	282.8	1052	323.9	1101	366.0	1148	409.2	1195	454.2
130000	3489	904	208.1	931	229.7	958	251.1	984	272.3	1009	293.3	1034	314.1	1082	357.0	1128	401.1	1174	446.3		
140000	3758	943	234.2	969	256.8	995	280.0	1020	303.1	1044	325.7	1068	348.3	1114	393.5	1158	439.6	1202	486.5		
150000	4026	983	263.3	1009	286.8	1033	310.9	1057	335.4	1080	360.2	1103	385.0	1147	432.9	1190	481.2				
160000	4294	1024	295.3	1049	320.1	1073	345.0	1096	370.5	1118	396.6	1140	423.3	1183	475.0						
170000	4563	1066	330.6	1090	356.5	1113	382.6	1135	409.0	1157	435.9	1178	463.7								
180000	4831	1109	368.9	1132	396.1	1154	423.6	1175	451.0	1196	478.9										
190000	5099	1152	410.8	1174	439.0	1196	467.7														

Power rating (BHP) does not include drive losses. Performance ratings do not include the effects of appurtenances in the airstream. Performance shown is for installation type B-Free inlet, Ducted outlet. Belt drive above 300 BHP not recommended.

APENDICE B:HORNO DE CASCARILLA

Famag Ltda.
Fabrica de Maquinaria Agroindustrial



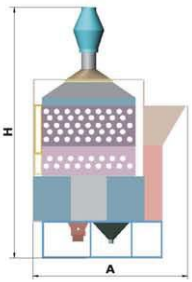
Horno que utiliza el poder calorífico de la combustión de la cascarilla del arroz en el proceso de secamiento en albercas o Torres.

La cascarilla seca y limpia puede ser alimentada manualmente o mecánicamente, cuenta con una tolva y un rotor, el cual permite que llegue al sistema de inyección una cantidad uniforme de cascarilla.

Al entrar al Hogar el producto se desliza, según la cantidad inyectada, por una parrilla, en donde la combustión es avivada por un ventilador externo. La llama calienta la tubería y las paredes del horno. El aire frío al pasar por el sistema se calienta por radiación, garantizando el no paso de ceniza al ventilador.

Para controlar el aumento o disminución de la temperatura final deseada, posee un tablero eléctrico con un variador electrónico, con el cual se regula manual o automáticamente el número de revoluciones en el motorreductor del sistema de inyección.

La ceniza quemada es evacuada por un transportador de paletas, posteriormente cae a un ventury donde una turbina la expulsa a pocos metros de ser empacada.

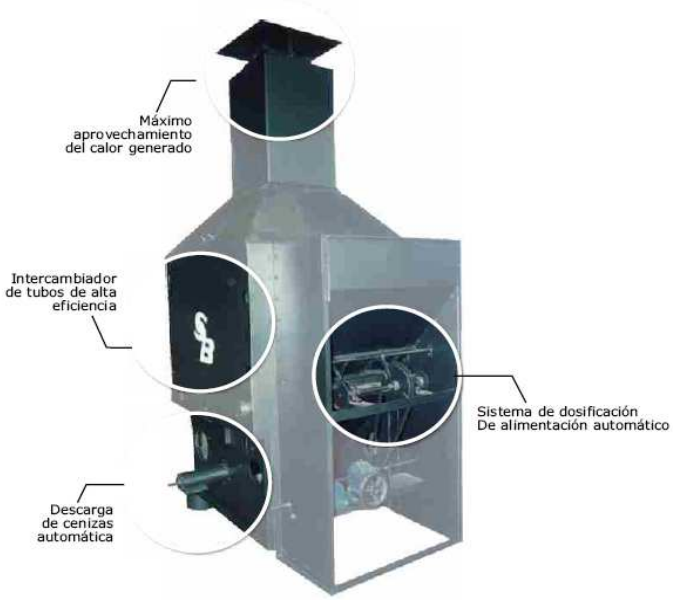


MODELO	H	B	A	CONSUMO DE CASCARILLA	MOTOR HP
D-51	5.10 mts	2.10 mts	2.8 mts	80 a 120 Kg/h	1 HP 36 RPM
D-52	5.10 mts	2.6 mts	2.8 mts	120 a 180 Kg/h	1 HP 36 RPM
D-53	7 mts	2.3 mts	4 mts	180 a 250 Kg/h	1 HP 36 RPM

Horno De Cascarilla

APENDICE C:HORNO QUEMADOR DE CASCARILLA”TEO II”

HORNO QUEMADOR DE CASCARILLA "TEO II"



EL HORNO QUEMADOR DE CASCARILLA "TEO II" SUPER BRIX, OFRECE LOS SIGUIENTES BENEFICIOS

Los nuevos hornos quemadores de cascarilla de arroz modelos TEO II LRC, fabricados por Super Brix, son el resultado exitoso de un proceso continuo de investigación tecnológica aplicada a la búsqueda de soluciones efectivas de utilización de los desechos de la agroindustria. La eficiente y regulada generación de calor, utilizando como único combustible desechos sólidos como la cascarilla de arroz para el secamiento del mismo, es un factor de ahorro y competitividad para la agroindustria.

El **TEO II LRC 1** incorpora un sistema de recuperación de calor y control de emisiones para acople con *secadora de tipo torre*, el cual provee máximo aprovechamiento del calor generado y optima recuperación de ceniza mediante un sistema ciclónico instalado en el ducto de transición a la secadora.

El **TEO II LRC 2** incorpora un sistema de recuperación de calor y control de emisiones para acople con *secadoras estacionarias* tipo alberca o piscina, el cual integra el sistema de ciclones de control de emisiones y recuperadores de calor.

Modelo	Calor generado (Kcal/h)	(Kcal/h)	Potencia (Kw)	Dimensiones (mm) L	W	H
TEO II L	375.000-450.000	1.500.000-1.800.000	1.2/0.9	1890	1460	3520
TEO II LRC 1-2	450.000-500.000	1.800.000-2.000.000	1.2/0.9	1900	2350	5360

CALIDAD DE PRODUCTO
No transmite contaminación al producto. El TEO II LRC funciona con un intercambiador de calor de tubos, lo que permite mantener el aire de secamiento aislado del área de combustión eliminando la posibilidad de contaminación de producto con cenizas y olores de combustión.

AHORRO DE COMBUSTIBLE
Por ser la cascarilla de arroz un desecho del procesamiento del mismo, no se requiere inversión en combustibles para su secamiento obteniendo considerables beneficios económicos.

FACILIDAD DE OPERACIÓN
Los Hornos TEO II LRC son equipos fácilmente automatizables y permiten obtener un proceso de secamiento eficiente y con temperaturas uniformes.

CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE
La utilización de la cascarilla de arroz como combustible representa un avance en las iniciativas de conservación del medio ambiente. Este modelo instalado con cualquiera de sus diseños opcionales cumple con las normas para emisiones de partículas al medio ambiente.

Super Brix

Tel.: 57-5- 343 5500 • Fax: 57-5- 343 5816
Barranquilla - Colombia
Versión 4
www.superbrix.com
info@superbrix.com

ICONTEC CERTIFICADO ISO 9001

NUESTRO LABORATORIO COMPLETAMENTE EQUIPADO, NOS PERMITE LLEVAR A CABO ENSAYOS CON LOS MAS DIVERSOS PRODUCTOS DETERMINANDO LA MAQUINA MAS IDÓNEA PARA CADA NECESIDAD.

BIBLIOGRAFIA

1. ALVARO CASTILLO NIÑO, Almacenamiento de Granos, Aspectos Técnicos y Económicos, Ediagro, 1984

2. ALVARO CASTILLO NIÑO, Molinería de arroz en los trópicos, Editor Ediagro 1999

3. CEMA, Belt Converyors for Bulk Materials, CEMA, 1997

4. CHAO JULIO, Pautas para el Diseño y Construcción de fogones eficientes para la combustión de cascarilla de arroz, 1987

5. CLAUS MARTIN BRAUNBECK, Development of a Rice Husk Furnace for Preheating of the Drying Air of a Low - Temperature Drying System, Hohenheim, 1998

6. DONALD B. BROOKER, Fred W. Bakker-Armena, Carl W. Hall Drying Cereal Grains, The Avi Publishing Company Inc., 1974

7. ESPINOZA MARCELO, Apuntes de clase “Secado y almacenamiento de granos” Termino I 1997

8. FRANK P. BLEIER. FAN HANDBOOK Selection, Application, and Design, McGraw-Hill, 1997

9. HUMBERTO GUTIERREZ PULIDO, Román de la Vara Salazar, Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma, Editorial McGraw-Hill, 2004

10. J. ROLDAN VILORIA, Manual del Electricista de Taller, Editorial Paraninfo, 2001

11. LOUIS A.ROBB, Diccionario para Ingenieros, Editor C.E.C.S.A., 1979

12. RAIMON A. Serway, Física, Editorial McGraw-Hill, 1992

13. ROBERT W. FOX, ALLAN T. McDonald, Introducción a la mecánica de fluídos, Editor McGraw-Hill, 1995

14. RULLI RULMECA, Bulk Handling, RULLI RULMECA, 1998

15. VIRGIL MORING FAIRES, Clifford Max Simmang, Termodinámica, Noriega Editores 1990

16. WOLFGANG MÜLLER, Electrotécnia de Potencia, Editorial Reverté S.A., 1985