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

M. Espinosa L.(1),
Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1977. (1)
Maestría en Ingeniería Agrícola EEUU, Universidad Missouri-Columbia, 1981. (1)
Diplomado en Riego y Drenaje, Universidad Utah, 1994. (1)
Maestría en Administración de Empresas, Universidad Nacional Autónoma de Honduras, 1995. (1)
Diplomado en Control de Calidad, Universidad Católica de Honduras, 1996. (1)
Profesor de la FIMCP – ESPOL desde 1977. (1)
mespino@espol.edu.ec

D. Moyano C,(2), F. Aguilar C.(3), M. Cardenas J.(4),
Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (2)(3) (4)
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) (2)(3) (4)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral (2)(3) (4)
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador (2)(3) (4)
danmoya@hotmail.com (2), nochifrank19@hotmail.com (3) migueltronic_@hotmail.com(4)

Resumen

La mayoría de los pequeños agricultores se ven forzados a la venta anticipada de sus cosechas ya que no cuentan con los mecanismos para realizar un buen secado, limpieza y almacenamiento de granos.

Esta problemática induce a que los pequeños agricultores vendan sus cosechas con alta impureza y humedad; por lo cual son penalizados, principalmente por los centros de acopio donde reciben la gramínea solamente con un 5% de impurezas y 20 % humedad, lo que conlleva a una reducción en los ingresos para el agricultor sin contar que corren el riesgo de ser afectado por hongos, bacterias, o plagas que puedan dañar el grano.

El propósito principal de este trabajo es proveer a los agricultores de una herramienta que les ayude a cumplir las normas de calidad, de manera que pueda bajar la humedad del producto a un costo mínimo, utilizando combustible barato como la cascarilla de arroz. Esto permitirá almacenar y vender su producto en temporadas donde el arroz se comercializarlo a buenos precios.

El proyecto consta de cuatro puntos principales: La recepción del producto, Diseño de la cámara del secado, Diseño del horno, Diseño del intercambiador de calor. Al final se realizara un análisis económico donde se evalúa la aplicación del sistema de secado.
.

Palabras Claves: *Secadora Tandas, Cascarilla de arroz, Pequeño Agricultor.*

Abstract

The most of small farmers are forced to sell their crops in advance because they do not have the mechanisms to make a good drying, cleaning and storage of grain.

This problem leads to small farmers sell their crops with high impurity and moisture so they are penalized, mainly due to collection centers where they receive the grain with only a 5% impurities and 20% humidity, which leads to reduction in income for farmers without running the risk of being infected by fungi, bacteria, or insect that may damage the grain.

The main purpose of this paper is provide to farmers with a tool for helping them to meet the standards of quality, so you can decrease the humidity of the product at minimal cost, using cheap fuel like rice husk. This will allow you to store and sell the product, in times where the rice reaches good prices.

The project consists of four main points: The reception of the product, design of the drying chamber, furnace

design, and heat exchanger design. Finally, it will do an economic analysis which assesses the implementation of the drying system.

Keywords*:* Dryer runs, rice hulls, small farmers.

1. 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 si se considera la superficie cosechada.

En nuestro 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 de depende mucho del factor climático, lo cual es una desventaja principalmente en la temporada invernal debido a las lluvias frecuentes.

2. Fundamentos de Secado de Granos.

2.1 Planteamiento y justificación del problema durante el secado.

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).

3. Secador Utilizado.

El secador de lecho fijo o de capa estacionaria se componen de cuatro elementos principales que se observan en la figura 3.1: sistema de calentamiento del aire, ventilador, cámara de distribución del aire y cámara de secado.

En nuestro 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.

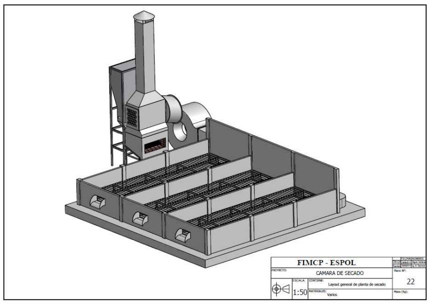

Figura 3.1 Esquema del secador de lecho fijo

4. Recepción y Limpieza del Arroz

La limpieza es una operación clave en el acondicionamiento del grano y en la obtención de mayor eficiencia de los equipos, y esto se traduce en mejor rendimiento en secado, mejor conservación del grano durante el almacenaje y mayor rendimiento en el descascarado

4.1 Capacidad de limpieza.

Para obtener la capacidad de limpieza de nuestro sistema nos centraremos principalmente en los capacidad de cosecha del pequeño agricultor para ello citaremos 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".

Conforme a lo estipulado anteriormente el sistema Pre-limpieza 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 pudieran pre-limpiar en una hora).

4.1.1 Esquema de Planta Prelimpieza. El sistema está compuesto por una tolva receptora, dos elevadores de cangilones y un pre-limpiador, considerando que uno de los principales factores en la realización de esta tesis es el factor económico, no se contará 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 4.1.

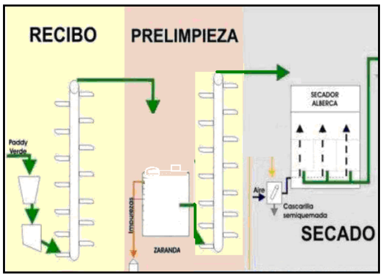

Figura 4.1 Esquema de sistema de prelimpieza

4.2 Tolvas de recepción.

4.2.1Tolva de recepción de Arroz en cascara y Cascarilla de Arroz. Esta tolva es donde se recibe el arroz en cáscara proveniente del campo, este 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 será fabricada con hormigón y estará incrustada en el piso para que los vehículos que traen el arroz del campo lo puedan descargar con facilidad.

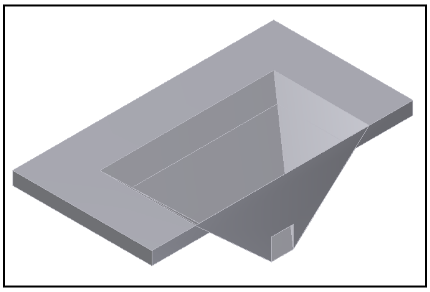

Figura 4.2 Tolva de concreto a nivel del piso.

Aplicando la fórmula para pirámide truncada tenemos:

$$V = \frac{h}{3}\left(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 * A_2}\right)$$
$$V = 4.84 [m^3]$$

Teniendo en cuenta que:

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

Densidad del arroz en cascara $\rho = 629.24 \left[\frac{Kg}{m^3}\right]$.

$$M = 629.24 \left[\frac{Kg}{m^3}\right] * 4.84 [m^3]$$
$$M = 3045.52 [Kg]$$
$$M = 3.046 [Ton]$$

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

4.3 Elevador de cangilones.

En la planta secadora se utilizan dos elevadores de cangilones, uno para trasladar el arroz en cascara de la tolva de recepción a nivel del piso hacia la maquina pre limpiadora 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.

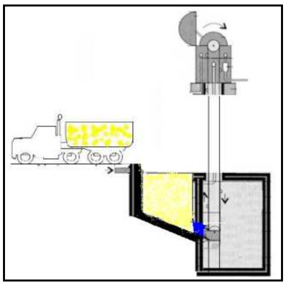

Figura 4.3 Elevadores de cangilones.

4.3.1 Elevador de cangilones para arroz en cascara. Para el diseño del elevador de cangilones se va a utilizar el manual MARTIN y selecciona un cangilón de banda de la serie B64-141 el cual tendria una capacidad real de transporte de 6 [Ton/Hr], utiliza cangilones tipo AA, dimensiones (6 x 4) [in] y un espaciamiento de 13 [in] entre cangilon y cangilon.

4.4 Maquina pre-limpiadora de arroz.

Son utilizadas para clasificar el arroz de las impurezas producto de su producción y cosecha. Para la selección se utilizara una marca Alemana muy utilizada en nuestro medio por su calidad y eficiencia ella es SCHULE modelo GTR 15

Figura 4.4 Maquina pre limpiadora SCHULE

.

5. Diseño del Sistema de Secado

5.1 Calculo y diseño estructural de cámara.

Como se definió previamente en el sección 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 ºC.

Figura 5.1 Cámara de Secado.

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. Cada cámara tendrá una puerta en la descarga del grano, la misma que debe ser bien aislada y con un buen ajuste de hermeticidad.

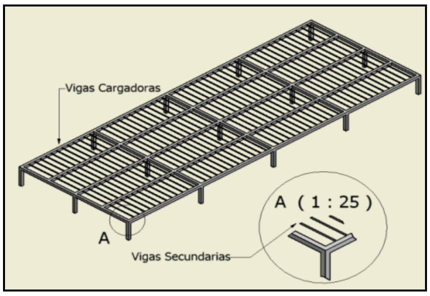

Fig. 5.2 Diseño de forma estructural de cámara de secado

.

5.1.1Prediseño 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.

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

La separación entre cada viga secundaria es de 15 cm a partir del centro de cada una

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

De donde se obtiene:

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

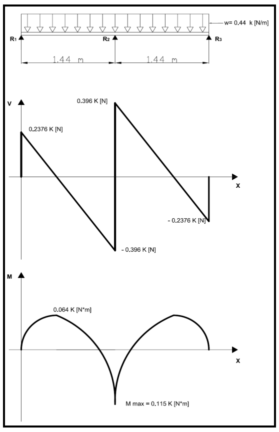

Fig. 5.3 Grafico de esfuerzo cortante y momento flector para la viga secundaria

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

$$S = \frac{M_{max}}{\phi\ F_y}$$

ϕ = Factor de resistencia que es de 0.90 para vigas

Reemplazando queda:

$$S = \frac{M_{max}}{\phi\ F_y} = \frac{0.115\ K\ [N * m]}{0.90 * 248\ M\ [Pa]} = 5.15x10^{-7}[m^3] = 0.52\ [cm^3]$$

Al reemplazar en la formula de modulo de sección y despejar el diámetro nos queda:

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

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

5.1.3 Modelado en SAP 2000. Al modelar con las medidas previamente calculadas se ratifica que satisfacen a la carga de peso de arroz en cascara y que el diseño es seguro, quedando el siguiente grafico.

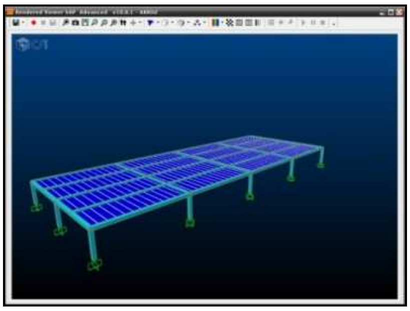

Fig. 5.4 Dibujo de estructura de cámara de secado modelado en SAP-2000.

5.1.4 Selección de láminas perforadas entre arroz y aire caliente. La cámara de secado debe tener el piso falso de plancha metálica perforada, 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.

5.2 Diseño del horno de quemado de cascarilla de arroz.

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

5.2.1 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 oxigeno los elementos combustibles, tanto sólido como gaseoso y está dada por la siguiente expresión:

$$V_{cc} = V_g + V_{cz}$$

$$V_g = 600\left[\frac{cm^3}{kw}\right] * 483.47\ Kw$$
$$V_g = 290082\ cm^3$$

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

$$V_{cz} = \frac{111.6\left[\frac{Kg}{h}\right] * 0.5[h]}{2.27x10^{-3}\left[\frac{Kg}{cm^3}\right]} = 24581.5\ [cm^3]$$

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

$$V_{cc} = 290082\ cm^3 + 24581.5 cm^3$$
$$V_{cc} = 314663.5\ [cm^3] = 0.32\ [m^3]$$

5.2.2 Diseño de forma del horno. Siguiendo las recomendaciones de la sección 5.2.1, a continuación se muestra un esquema representativo del horno.

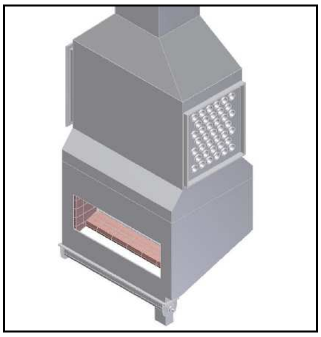

Fig. 5.5 Diseño representativo del horno

5.2.3 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. Se recomienda una inclinación que varía de 45^o a 50^o, y los escalones deben ser paralelos entre si y en forma horizontal (Fig. 5.8). La separación entre cada escalón no debe ser menor de 3 cm.

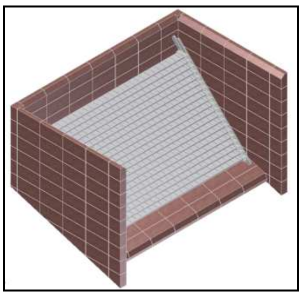

Fig. 5.6 Posición de la parrilla.

5.2.4 Dimensionamiento del Hogar. En vista de que existen hornos que operan con el mismo sistema de quema de cascarilla de arroz (Tabla5.1), las dimensiones finales del horno dependerán de estos.

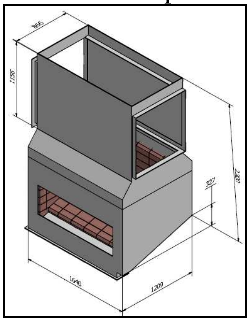

Fig. 5.7 Medidas exteriores del horno

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.

5.2.5 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.

El volumen de la tolva es:

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

El sistema está compuesto de 6 paletas, las cuales serán descargadas una a una en intervalos de 2 minutos.

5.3 Diseño del intercambiador de calor

5.3.1 Determinación del flujo de aire de la cámara de secado. Para determinar el contenido de agua a evaporar realizamos un análisis termodinámico del proceso. Sabemos 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 hacemos 2 pasadas una de 24% a 18% y la otra de 18% a 12% de humedad.

Primera pasada

Si decimos que al principio el 24% esta húmedo, entonces el 76% o 0.76 unidades están secas. A la masa final desconocida se le asigna el valor X. Entonces se cumple que:

$$H_2O\ a\ evaporar = Capacid\ de\ secar * Unids\ H_2O$$

$$H_2O \ a \ evaporar = 0.055 \left[\frac{Kg}{s} \ H_2O\right]$$

Cantidad de H_2O absorbida.

Se escoge una temperatura promedio de 30 ºC y una humedad relativa de 90%, ayudándonos de la carta psicrometrica tenemos

H2O absorbida = 0.0039 [Kg/Kg de aire seco]

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

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

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

5.3.2 Análisis de transferencia de calor. Para el análisis de transferencia de calor se realizara un análisis de energía y de masa.

Definiremos las temperaturas iníciales:

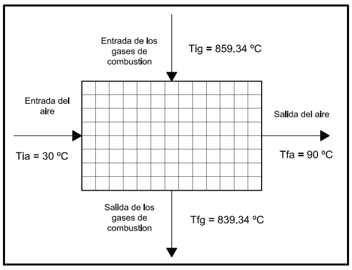

Figura 5.8 Balance de energía

Donde se asume una diferencia de temperatura de 20ºC 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.

Q_{AIRE} = EMBED Equation.3 $_{AIRE} * C_{pa} * \Delta T_a$

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

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

Haciendo un balance energético puedo calcular el flujo másico del gas.

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

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

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

5.3.3 Prediseño del intercambiador de calor. Se va a emplear el método LMTD (Diferencia de Temperaturas Media Logarítmica) y a partir de la formula de transferencia de calor vamos a definir las medidas que va a tener nuestro intercambiador de calor y el tipo de material a utilizar.

$$Q = F * U * A * \Delta T_{lm}$$

Donde F=1.

Tabla 5.1 Valores del coeficiente de transferencia global

TABLA 11.2 Valores representativos del coeficiente global de transferencia de calor

Combinación de fluidos	U(W/m² · K)
Agua con agua	850-1700
Agua con aceite	110-350
Condensador de vapor (agua en tubos)	1000-6000
Condensador de amoniaco (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

Nosotros vamos a escoger el Intercambiador de calor de tubos, aire en flujo cruzado, con un valor medio de U= 40 [W/m^2 ^{0}K]

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

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

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

Donde:

N= Numero de tubos, D_e= Diámetro exterior de la tubería, L= Longitud del tubo

Se utiliza una tubería para vapor cedula 40 ASTM A 53 GR B de las siguientes dimensiones: Dnominal 3", Dext 88.9mm, esp 5,94mm y asumiendo una longitud de 1.5 metro de longitud de tubería nos queda:

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

El número de tubos es muy grande, considerando que es un valor de prueba. Ahora vamos a calcular el valor de Coeficiente de transferencia Global real.

$$U_{real} = \frac{1}{\sum R_{TERMICAS}}$$

Donde las resistencias térmicas son:

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

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

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

Y reemplazando en la formula de U_{real},

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

A partir de aquí se va a iterar hasta aproximar el $U_{teorico}$ al U_{real}, los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 5.2. Iteración de los Coeficientes de Transferencia

# PRUEBA	$U_{TEORICO}$ [W/m^2 °K]	U_{REAL} [W/m^2 °K]	# TUBOS
1	40	56,2	65
2	85,09	88,16	31
3	88,16	89,81	30
4	89,81	89,81	30

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

5.4 Cálculo y selección del ventilador

5.4.1 Calculo del flujo de aire necesario para el proceso. En la sección 5.3 calculamos el flujo másico de aire necesario para el sistema, ahora sacaremos el caudal de aire.

EMBED Equation.3 $$\dot{V}_{AIRE} = \frac{\dot{m}_{AIRE}}{\rho_{AIRE\,@40°C}}$$

EMBED Equation.3 $$\dot{V}_{AIRE} = \frac{14.10\left[\frac{Kg}{s}\right]}{1.1181\left[\frac{Kg}{m^3}\right]} = 12.61\left[\frac{m^3}{s}\right]$$

Utilizando la fórmula del caudal que relaciona al área transversal y a la velocidad.

$$Q = V * A$$

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 determinamos las secciones del ducto, que tendrá un diseño como se muestra en la Fig. 5.9.

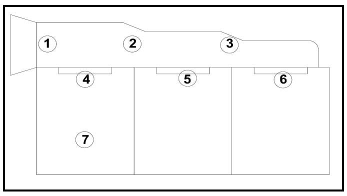

Figura 5.9 Croquis de distribución de aire

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

La presión estática total es la suma de todas las presiones anteriores.

$$\Delta P_s = 1.32\ in\ de\ H_2O$$

Se asume un 30% adicional en el valor total de las perdidas por caída de presión correspondientes al intercambiador de calor.

$$\Delta P_s = 1.32\ in\ de\ H_2O * 1.3 = 1.72\ in\ de\ H_2O$$

5.4.3 Cálculo de potencia del motor eléctrico. La Potencia del motor eléctrico, expresada en watts, donde:

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

$$\varphi = \frac{12.61\left[\frac{m^3}{s}\right] * 398.54[Pa]}{0.52} = 9665\,[Watts]$$

$$\varphi = 12.96\,[HP]$$

5.4.4 Selección del ventilador. Se escoge un ventilador Centrífugo que satisfaga las siguientes características:

EMBED Equation.3 $$\dot{V} = 12.61\left[\frac{m^3}{s}\right]$$

$$\Delta P_s = 1.72\ in\ de\ H_2O$$

$$\varphi = 9.16\ k[watts] \cong 12.96\,[HP]$$

6. ANÁLISIS ECONÓMICO.

6.1 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. Así se tiene que para el Rubro 1 se considera costos de cámara de secado estructura metálica, rubro 2, cámara de secado obra civil, rubro 3, costos de ducto de ventilación y acople de ventilador, rubro 4, costos de estructura de horno, chimenea e intercambiador de calor, rubro 5, costos de tolvas de recepción de arroz y cascarilla. Con los rubros anteriores se obtiene el costo total del sistema.

Tabla 6.1 Costo total de planta de secado

		ANÁLISIS DE PRECIOS	MES Junio
		OBRA Proyecto de Graduación	EMPRESA OFERENTE CONSTRUCCIONES FMD
RUBRO 6		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

6.2 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.

Tabla 6.2 Comparación de costos 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

7. Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones.

- 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.

- 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 60ºC, ya que en caso contrario se tendría una temperatura del grano en la parte superior de la cámara por encima de los 15ºC de la temperatura respecto al ambiente, lo que provocaría daños en el producto y desperdicio de energía.

- 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 40º 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.

7.2 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.

- 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.

8. Referencias.

[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]. 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.

[4]. 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.

[5]. 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.

[6]. ESPINOSA MARCELO LUNA. Notas de clase “Secado y almacenamiento de granos”, ESPOL, Guayaquil-Ecuador, 2009.

[7]. INCROPERA FRANK P. Fundamentos de Transferencia de Calor, cuarta edición, Prentice Hall, 1999.

[8]. CANDELARIO EDISON R. “Diseño de una secadora de arroz tipo columna”, Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, ESPOL, Guayaquil-Ecuador, 1995.