

Escuela Superior Politécnica del Litoral

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

Diseño y Construcción de una Secadora
de Arroz por Lote

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del título de:

INGENIERO MECANICO

Presentado por:

JOSE HORACIO PANCHANO ORDOÑEZ

Guayaquil - Ecuador

1.994

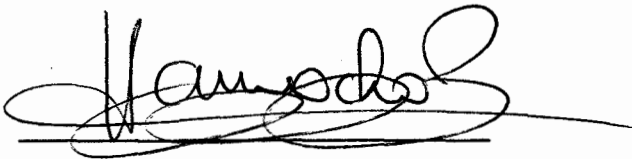
" Tribunal de Grado "



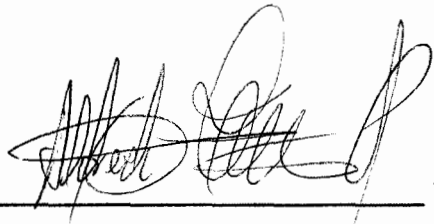
Dr. Alfredo Barriga
Decano de FIM



Ing. Francisco Andrade
Director de Tesis



Ing. Federico Camacho
Miembro del Tribunal.



Ing. Alfredo Torres
Miembro del Tribunal.

R E S U M E N .

Considerando que nuestro país es eminentemente agrícola se ha hecho un estudio concerniente al proceso de secado de arroz por lote para lograr una mayor eficiencia en el secado de esta gramínea.

Esta tesis se basa en el diseño de una secadora de arroz para una capacidad de 200 qq durante 14 horas, la cual está constituida por elementos principales tales como: cámara de combustión, ventilador y quemador, y por elementos secundario como: difusor y cama donde se localiza el arroz.

Para la construcción de la secadora se seleccionó la capacidad del quemador, tipo de combustible que deberá usar y se calibró el quemador para que trabaje en su punto óptimo. Con respecto a la cámara de combustión se seleccionó el tipo de material y el tamaño más apropiado para que pueda trabajar el quemador en perfectas condiciones, se seleccionó el tipo de ventilador que se debería de utilizar y la capacidad del mismo.

Se midió la temperatura del aire a la salida del ventilador y se verificó que se encuentra la temperatura entre los valores establecidos para su normal funcionamiento del secador.

INDICE GENERAL

	pág.
RESUMEN	V
INDICE GENERAL.....	VI
INDICE DE FIGURAS.....	VIII
INDICE DE TABLAS.....	X
INTRODUCCION.....	XII
 Capitulo # 1	
EL GRANO DE ARROZ	14
1.1.- Respiración del grano.....	14
1.2.- Propiedades específicas del grano.....	15
1.3.- Contenido de humedad.....	16
1.4.- Humedad del grano que se debe secar para obtener óptimo resultado en el secado.....	18
1.5.- Limpieza preliminar del arroz.....	22
1.6.- Enemigos principales del arroz.....	25
 Capitulo # 2	
EL SECADO.....	28
2.1.- Proceso de secado.....	28
2.2.- Secado mecánico.....	29
2.3.- Secado por evaporación.....	30
2.4.- Método de secado.....	31
 Capitulo # 3	
CLASIFICACION DE VENTILADORES.....	35
3.1.- Ventiladores centrífugos.....	35
3.2.- Ventiladores de flujo axial.....	39

Capitulo # 4

FACTORES TECNICOS PARA EL SECADO.....	41
4.1.- Humedad relativa de la atmósfera.....	41
4.2.- Calentamiento del aire.....	44
4.3.- Volumen del aire.....	48
4.4.- Presión estática.....	48
4.5.- Altura de la columna de arroz.....	50
4.6.- Gráfica psicrométrica.....	52

Capitulo # 5

CALCULOS REPRESENTATIVOS.....	54
5.1.- Determinación de la cantidad de agua eliminada..	54
5.2.- Determinación de la cantidad de flujo másico....	57
5.3.- Determinación de la presión estática de la columna de arroz.....	61
5.4.- Determinación de la capacidad del quemador.....	64
5.5.- Determinación de la presión estática en el difusor.....	66
5.6.- Determinación de la cama.....	70
5.6.1.- Dimensionamiento de la cama.....	70
5.6.2.- Presión estática en la cama.....	71
5.7.- Determinación de la potencia.....	75
5.8.- Determinación de la temperatura de la mezcla....	75
5.9.- Determinación de la cámara de combustión y del ducto donde el aire de secado.....	81

Capitulo # 6

SELECCION DEL EQUIPO Y EL SISTEMA EXPERIMENTAL.....	96
6.1.- Selección del quemador.....	96
6.2.- Selección del ventilador.....	96
6.3.- Selección de los materiales de la cámara de combustión.....	98
6.4.- Calibración del quemador.....	99
6.5.- Medición de la temperatura de salida.....	105
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	106
APENDICE.....	110
BIBLIOGRAFIA.....	149

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
5.1 Carta Psicrométrica	59
5.2 Resistencia de los granos y semillas al paso del aire.....	63
5.3 Coeficiente de presión para difusores planos ...	67
5.4 Valores de eficiencia para difusores planos	69
5.5 Factor multiplicador	74
5.6 Emisividad del dióxido de carbono a 1 atm	85
5.7 Emisividad del vapor de agua a 1 atm	86
5.8 Corrección de emisividad del gas debido a la superposición de espectral del vapor de agua y del dióxido de carbono.....	87
5.9 Factor de temperatura, como factor de la tempera- tura en °F.....	88
5.10 Número medio de Nusselt con respecto a la longui- tud del tubo, para flujo laminar.....	92
1 Dimensionamiento de la secadora de arroz	95
APENDICE D	
D.1 Medición de temperatura, presión estática y dinámica.....	120

APENDICE F

F.1	Quemador de diesel (apagado).....	135
F.2	Quemador de diesel (encendido).....	136
F.3	Intercambiador de calor (vista frontal)	137
F.4	Intercambiador de calor (vista posterior)	138
F.5	Ventilador centrífugo (vista frontal).....	139
F.6	Ventilador centrífugo (vista lateral).....	140
F.7	Secadora de arroz.....	141

APENDICE G

G.1	Analizador de Fyrite de bacharach.....	144
G.2	Analizador de Fyrite de bacharach con la regla de cálculo.....	145
G.3	Toma de muestra y medición de temperatura de los gases productos de la combustión.....	146
G.4	Medición de la temperatura de los gases de combustión.....	147
G.5	Aparatos de mediciones.....	148

I N D I C E D E T A B L A S .

	Pag.
5.1 Humedad promedio del arroz durante el transcurso del año	55
5.2 Valor máximo de la humedad para distintos granos durante largo periodo de almacenaje.....	56
5.3 Temperatura máxima de secado para diversos productos.....	60
 APENDICE A	
A-1 Valores de equilibrio entre la humedad relativa del aire y el producto a secar hasta un determinado porcentaje de humedad.....	112
A-2 Valores promedios de temperatura y humedad relativa del medio ambiente.....	113
A-3 Equivalencia de % de humedad entre base seca y base humedad de un grano.....	114
 APENDICE B	
B-1 Temperatura de secamiento máximo recomendadas.....	116
 APENDICE D	
D-1 Datos de la posición N# 1.....	121
D-2 Datos de la posición N# 2.....	122

	Pag.
D-3 Datos de la posición N# 3.....	123
D-4 Datos de la posición N# 4.....	124
D-5 Datos de la posición N# 5.....	125
D-6 Datos de la posición N# 6.....	126
D-7 Datos de la posición N# 7.....	127
D-8 Datos de la posición N# 8.....	128
D-9 Datos de la posición N# 9.....	129
D-10 Datos de la posición N# 10.....	130
D-11 Datos de la posición N# 11.....	131
D-12 Tabla de resultados.....	132

APENDICE E

E-1 Dimensiones recomendadas para la cámara de combustión.....	133
--	-----

APENDICE G

G-1 Porcentaje de CO ₂ y O ₂ de los gases de la combustión.....	143
---	-----

INTRODUCCION.

Desde hace mucho tiempo se ha venido estudiando el proceso del secado del arroz y otros granos mediante la inyección de aire atmosférico a una determinada temperatura y humedad a través de una masa de granos en un receptáculo apropiado para este proceso.

Aunque actualmente con los adelantos modernos de la ciencia y de la técnica se puede controlar fácilmente los distintos elementos que se requieren para secar el grano, adecuadamente, es indispensable tener ciertos conocimientos básicos y técnicos.

Este secado deberá llevarse a efecto siguiendo las normas y experiencias dictadas por expertos en la materia.

Las normas y bases para los distintos sistemas que existen para secar el arroz son las mismas y estas no cambian.

Lo que cambia son los métodos que se emplean para aplicarlas. Los secadores podrán ser manuales, semiautomáticos y automáticos. Sea un sistema u otro, es el aire atmosférico el que se utiliza para evaporar la humedad del grano.

En esta tesis trataremos de explicar, de la manera más sencilla, los factores básicos, las normas y las limitaciones que deben tenerse en cuenta para el secado

adecuado del arroz.

Conociendo estas normas y limitaciones podrán evitarse pérdidas económicas considerables.

También podrán conocerse errores que se cometen durante el proceso del acondicionamiento del grano y las consecuencia que dichos errores pudieran causar.

Para la redacción de esta tesis se ha tenido en cuenta los estudios, experiencias, indicaciones y recomendaciones que se han recopilado de diferentes fuentes que están listadas en la bibliografía .

Esta tesis está compuesta de diferentes capítulos los cuales se detallan a continuación: El capítulo #1 se trata de los aspectos del grano de arroz, en el capítulo # 2 trata sobre el secado y los diferentes métodos para el proceso de secado, en el capítulo #3 está basado en la clasificación de los diferentes tipos de ventiladores, en el capítulo # 4 se debe a los factores técnicos que hay que tener presente cuando se trata sobre el proceso de secado, en el capítulo #5 en las determinaciones de los diferentes cálculos representativos que se debe tener para la selección de los componentes que forman el equipo, y por último en el capítulo # 6 se clasifican y calibran algunos de los diferentes componentes de la secadora.

Capitulo # 1

EL GRANO DE ARROZ.

1.1.- Respiración del grano.

Grano Humedo.

Los granos respiran como los humanos, tomando oxígeno de la atmósfera, y mediante ello, descomponen los hidratos de carbono generándose anhídrido carbónico, vapor acuoso, y calor.

Mientras más alto sea el contenido de humedad en el grano, mayor será la respiración, los granos absorberán más humedad y subirá más la temperatura de los mismos.

Cuando la temperatura del ambiente sea baja, o cuando el contenido de humedad del grano sea bajo; la respiración del grano disminuirá, manteniéndose el grano fresco.

Los granos con alto contenido de humedad, se calientan rápidamente, llegando " arder " en un corto tiempo. Los granos quemados se van manchando y la calidad de los mismos se irá deteriorando.

Generalmente, los granos con más del 20 % de humedad deberán secarse parcialmente, antes de las 24 horas de cosechado.

Grano seco.

Cuando el grano tiene bajo contenido de humedad, la respiración es prácticamente insignificante, a no ser que la temperatura ambiente sea muy alta.

Limitando el contenido de humedad, se disminuye la actividad biológica del grano ocasionando la reducción del ataque de hongos y de insectos, los cuales son los dos mayores enemigos del grano almacenado. Generalmente, el contenido de humedad deberá ser menor del 15 %.

Cuando los granos se van a almacenar por más de 1 mes, es siempre conveniente el verificar la temperatura del grano periódicamente.

Si el grano tiene alta temperatura, deberá ser aeriado mediante ventiladores pasandolo de un silo a otro.

1.2. Propiedades específica del grano.

Los granos son organismos biológicos que, están constituidos por material que tiene vida, cuya característica principal es su metabolismo

Se entiende por metabolismo al conjunto de procesos físicos y químicos dentro de un organismo, mediante los cuales se producen, mantienen y se transforman

en protoplasma (sustancia compleja considerada como básica para la vida de las células vegetales y animales), mediante lo cual se produce la energía requerida para el funcionamiento de dicho organismo.

Ello significa, que al igual que sucede con los animales, existe respiración.

En las plantas vivientes, la materia seca y muerta de las mismas es asimilada como nutrientes durante la etapa de crecimiento .

Este proceso no ocurre en el caso de los granos; lo que significa que la materia muerta se pierde.

Esta pérdida es más severa mientras más intensa sea la respiración.

Si la intensidad de la respiración es muy grande, los granos absorberán humedad y la temperatura aumentará.

Considerando las condiciones ambientales, la respiración del grano, aumentará considerablemente, por lo que se hace evidente que se debe establecer condiciones en las cuales los granos puedan respirar lo menos posible.

1.3. Contenido de Humedad.

La mayoría de los granos, suelen estar maduros cuando

el contenido de humedad es del 35%. Sin embargo, el secar un grano que tenga una humedad de 35% hasta dejarlo con una humedad en que pueda almacenarse sin riesgo alguno, lo cual está entre el 12% y 13% de humedad, para la mayoría de los granos, significaría el tener que removerle una gran cantidad de agua.

Mientras mayor sea el contenido de humedad, mayor será el costo de secado.

Cuando el contenido de humedad es alto, el grano va perdiendo humedad rápidamente por la espiga, por lo cual resulta más económico y práctico el dejarlo en el campo hasta que tenga el contenido de humedad deseado.

El cosechar el grano con alto contenido de humedad así como el de cosechar el grano cuando su contenido de humedad es muy bajo, puede ocasionar grandes pérdidas.

Se ha podido comprobar en estudios efectuados en el secado del arroz, que los mejores resultados se obtienen cuando el arroz se corta a un contenido de humedad entre el 20% y el 25% y se seca artificialmente hasta una humedad entre el 12% y 13%.

Al igual pasa en la mayoría de los granos y las

el contenido de humedad es del 35%. Sin embargo, el secar un grano que tenga una humedad de 35% hasta dejarlo con una humedad en que pueda almacenarse sin riesgo alguno, lo cual está entre el 12% y 13% de humedad, para la mayoría de los granos, significaría el tener que removerle una gran cantidad de agua.

Mientras mayor sea el contenido de humedad, mayor será el costo de secado.

Cuando el contenido de humedad es alto, el grano va perdiendo humedad rápidamente por la espiga, por lo cual resulta más económico y práctico el dejarlo en el campo hasta que tenga el contenido de humedad deseado.

El cosechar el grano con alto contenido de humedad así como el de cosechar el grano cuando su contenido de humedad es muy bajo, puede ocasionar grandes pérdidas.

Se ha podido comprobar en estudios efectuados en el secado del arroz, que los mejores resultados se obtienen cuando el arroz se corta a un contenido de humedad entre el 20% y el 25% y se seca artificialmente hasta una humedad entre el 12% y 13%.

Al igual pasa en la mayoría de los granos y las

pérdidas se podrán observar, ya sea, por motivo de grano dejado de cosechar por diversos motivos; o por dañarse la calidad de los mismos posteriormente durante su procesamiento, tal como sucede en el arroz.

- 1.4. Humedad del grano que se debe secar para obtener óptimo resultado en el secado.

El arroz, suele estar listo para que sea cosechado cuando éste se encuentre con un contenido de humedad de aproximadamente 35 %. El cual puede ser llevado a una humedad de 13 % en que puede almacenarse sin riesgo alguno, para un largo tiempo.

Esto significaría tener que remover una gran cantidad de agua lo que ocasionaría que el costo de producción de secado de arroz sea más alto, resulta más económico y práctico dejar el arroz en el campo hasta que tenga un contenido de humedad aproximadamente de 20 %.

Porque se ha podido comprobar que el mejor resultado para el proceso de secado se obtiene cuando el arroz se corta con un contenido de humedad de el 20% y se seca artificialmente hasta una humedad entre el 12% y el 13%.

Son varios los factores por lo cuales es más conveniente el cortar el arroz a determinado grado de humedad en lugar de dejarlo en el campo. Los principales factores son los siguiente:

- 1.-Cuando el arroz está muy seco el grano se desprende fácilmente de la espiga, ocasionando pérdida en el rendimiento.
- 2.-Tanto las aves como otros animales ocasionan mayores pérdidas cuando el arroz está seco en la espiga.
- 3.-Cuando el arroz está seco, se pierde mayor cantidad de grano durante el corte y trilla de la cosecha.
- 4.-Los cambios bruscos de temperatura y humedad de la atmósfera ocasiona que el grano sufra unos cambios físicos y químicos bruscos.

Ello ocasionan que el grano se debilite. Generalmente el grano se quiebra dentro de la cáscara y otras veces se debilita, al extremo, de que quiebran muy fácilmente durante la molinaria. A ello suelen llamarsele " arroz quebrado por el sol " , que viene hacer lo mismo que lo denominado "arroz sobre-secado"

Cuando se corta el arroz con un contenido de humedad alrededor de un 20%, los costos por motivos de

secado serán mayores que cuando se deja secar el arroz en el campo, pero estos serán mucho menores que las pérdidas ocasionales por los factores enumerados anteriormente. Estos factores y otros secundarios, han llevado a la mayoría de los productores industriales del arroz a la conclusión de que:

Cortando el arroz a su debido tiempo, y secándolo artificialmente representa una inmensa economía, pudiéndose obtener mayores rendimientos en todo los sentidos y evitándose, con ello, el correr grandes riesgos durante la cosecha.

El grano de arroz está compuesto principalmente de carbohidratos, los cuales constituye el 90% del grano. El resto del grano está compuesto de albúminas y vitaminas. Todo ello, está envuelto en una corteza o cáscara compuesta principalmente de celulosa y silica. La cáscara del arroz no tiene valor alimenticio alguno y suele usarse, finalmente molida y en pequeñas cantidades de material de relleno en los piensos balanceado, estopas de aluminio y como elemento constitutivo de carbón activado.

La cáscara del arroz es relativamente impermeable al agua pero ello no evita que el arroz, como la mayoría

secado serán mayores que cuando se deja secar el arroz en el campo, pero estos serán mucho menores que las pérdidas ocasionales por los factores enumerados anteriormente. Estos factores y otros secundarios, han llevado a la mayoría de los productores industriales del arroz a la conclusión de que:

Cortando el arroz a su debido tiempo, y secándolo artificialmente representa una inmensa economía, pudiéndose obtener mayores rendimientos en todo los sentidos y evitándose, con ello, el correr grandes riesgos durante la cosecha.

El grano de arroz está compuesto principalmente de carbohidratos, los cuales constituye el 90% del grano. El resto del grano está compuesto de albúminas y vitaminas. Todo ello, está envuelto en una corteza o cáscara compuesta principalmente de celulosa y silica. La cáscara del arroz no tiene valor alimenticio alguno y suele usarse, finalmente molida y en pequeñas cantidades de material de relleno en los piensos balanceado, estopas de aluminio y como elemento constitutivo de carbón activado.

La cáscara del arroz es relativamente impermeable al agua pero ello no evita que el arroz, como la mayoría

de los demás granos, sea un material altamente hidrosópico. Existen dos tipos de humedades en el arroz:

Humedad externa.

Que es la que existe en la superficie del grano y que puede eliminarse fácilmente.

Humedad interna.

Es la que existe en el interior del grano y su movimiento hacia la superficie del grano hasta su evaporación, suele ser un proceso bastante lento.

El arroz puede clasificarse de la siguiente manera, de acuerdo con su contenido de humedad.

Arroz:

seco	: 12% al 14%
De humedad baja	: 15% al 17%
De humedad media	: 18% al 20%
De humedad alta	: 21% al 25%.

El arroz húmedo pierde alrededor de 1.22% de peso como promedio por cada 1% que pierda de humedad. Ello significa, por ejemplo, que cien kilogramos de arroz en cáscara recibidos del campo con una humedad de 25%, al ser secado hasta dejarlo con una humedad del 13%, pierde alrededor de unos 14 kilogramos de peso en forma de agua.

Ya sea cuando el arroz sea secado por el sol en el campo, o cuando sea secado artificialmente en el secador, siempre sufrirá una merma considerable en peso.

En ambos casos, la merma es motivada por la pérdida de humedad en la forma de agua que se va evaporando.

El método que se utiliza para rebajar la humedad externa e interna del grano, es el de pasar el arroz a través de cierta cantidad de aire seco. La humedad se elimina mediante el proceso de evaporación.

Mientras más seco esté el aire, éste captará mayor humedad del grano.

1.5. Limpieza preliminar del arroz.

Generalmente no se le suele dar mucha importancia a la limpieza preliminar, o prelimpieza, del arroz húmedo; sin embargo, ello es uno de los factores de mayor importancia para el secado efectivo, acondicionamiento y almacenaje del grano.

Esta importancia se refiere tanto a la economía en el proceso de secado y almacenaje, como para evitar que los desperdicios biológicos y elementos extraños ocasionen el deterioro del grano durante su almacenamiento.

Cuando se recibe el arroz húmedo del campo, éstos suelen traer una gran cantidad de materias extrañas, tales como:

Espigas de arroz, desperdicios biológicos, insectos, arroz de granos vacíos o arroz vano y otros.

La prelimpieza, a la cual llamamos "basura original" sin contar el porcentaje de basura secundaria que se obtienen en las limpiadoras preliminares de los molinos.

Esta basura secundaria y más pequeña que la anterior, consiste de paja, materiales biológicos seco, pedazos de tallos, arroz vano, tierra y semillas extrañas y suele ser entre el 0.7% y 1.3%. Podemos decir que la totalidad de basura en el arroz fluctúa entre 1.2% y 2.8% de toda la cantidad de arroz a secar.

Toda esta basura que viene en el arroz, suele contener humedades altas, dando lugar a lecturas erróneas en los comprobadores de humedad y por consiguiente a ajustes erróneos en la temperatura del aire empleado para secar el arroz. Al mismo tiempo, para quitarle la humedad a esta basura secundaria, se necesita usar aire caliente a temperaturas más altas que las que se requieren normalmente para secar el arroz. Ello encarece el proceso de secado al tener

que calentar más dicho aire.

Como se vera más adelante, cuando se mencionen de presiones estáticas, mientras más basura tenga el arroz mayor resistencia le brindara la columna de arroz al aire que se usa para su secado. Debido a ello, mayor sera el volumen del aire que se requerirá para secar el arroz y mayor será el costo del proceso de secado.

La basura es también el foco principal de hongos y bacterias que se producen en el arroz almacenado, lo que deterioran la calidad del grano.

Lo ideal sería el poder limpiar el arroz humedo de todas las impurezas que trae del campo ante de comenzar el proceso de secado, pero ello suele ser muchas veces oneroso. Por ello se considera indispensable la limpieza preliminar de la mayor cantidad posible de basura original.

Esta limpieza preliminar deberá efectuarse dos veces: Primero, al recibir el arroz húmedo y, segundo, al terminar de secar el arroz y antes de enviarlo al almacen.

Esta preliimpieza debe de hacerse en esta forma debido a que durante la primera liempieza es difícil de

eliminar muchas impurezas cuando están húmedas, pudiéndose eliminar fácilmente cuando están secas.

1.6. Enemigos principales del arroz .

Los enemigos principales del arroz almacenado son:

a.- El moho.

b.- Los insectos.

El medio ambiente apropiado donde se desarrollan los hongos e insectos del arroz es aquel que tiene :

1.- Alimentos.

2.- Temperatura alta.

3.- Oxígeno.

4.- Humedad.

- Alimentos.

Los hidratos de carbono o carbohidratos contenidos en el grano, es la fuente de alimento para los enemigos mencionados.

Estos no podrán ser eliminado de manera que hablaremos de los otros tres elementos.

- Temperatura.

Como hemos explicado anteriormente, mientras más alta sea la temperatura, más rápido será el crecimiento del moho y mayor será la actividad de los insectos.

También hemos podido explicar, que los granos son organismos con vida, y que respiran a igual que los humanos; tomando oxígeno de la atmósfera y despidiendo anhídrido carbónico.

Mientras más alto sea el contenido de humedad el grano más rápido será el proceso de respiración y el calor despedido por el grano aumentará la temperatura del grano almacenado para evitar que el grano adquiera gran temperatura, y para mantener la respiración del grano en el más bajo nivel posible, se deberá rebajar su contenido de humedad a los límites fijado, que en la mayoría de los granos es: entre 12% y 14% de humedad.

Ello viene hacer similar a lo que nos sucede a los humanos cuando corremos.

Mientras más corremos o mayor actividad física desarrollamos; más rápidamente respiraremos y más cantidad de calor desprenderemos.

El grano con un alto contenido de humedad, se

calentará, y en definitiva se " ardera", sino se le inyecta suficiente cantidad de aire seco dentro de un tiempo limitado de acuerdo con su humedad.

- Oxígeno.

Tantos los moho como los insectos, requieren oxígenos para vivir y crecer.

Es posible eliminar el abastecimiento de oxígeno, pero ello sería un proceso más delicado y costoso.

- Humedad.

La alternativa que nos queda es la de limitar la humedad del grano lo suficiente para reducir el enmohecimiento y los insectos.

Ello es una alternativa práctica y una forma fácil de acondicionar el grano para su almacenaje.

El crecimiento de moho e insectos se puede disminuir notablemente y se puede estabilizar cuando el contenido de humedad es menor de: 15%.

Capitulo # 2

EL SECADO

El secado industrial comprende un conjunto de materias muy amplias; muchas industrias tienen sus propios métodos de secado, utilizando instalaciones desarrolladas para cubrir sus necesidades particulares. No obstante éstas instalaciones están lejos de utilizar con el mejor rendimiento el calor y la alimentación del aire.

Para aplicar nuevos métodos de secado, hay que aprender primero de la experiencia, particularmente con los productos naturales. La calidad está enormemente influenciada por el proceso de secado por aire y sol que tienden a fijar el standard.

No obstante, con métodos industriales de secado, siempre se mejora la homogeneidad del producto y se pueden obtener standards de calidad más elevada.

2.1. Proceso de secado.

Los procesos tradicionales empleado para el secado de materiales tales como madera, pieles, o cosechas, implican una exposición a la atmósfera, lo suficientemente larga, para acercarse al estado de equilibrio higrométrico. Este método, aunque satisfactorio en algunos climas, están evidentemente

a la merced del medio ambiente; en las aplicaciones industriales el secado implica la aceleración y control del proceso natural.

Para asegurar una economía máxima en el proceso de secado, este termina cuando el contenido de humedad (particularmente cuando la sustancia es de estructura fibrosa) es, el deseado.

El proceso de secado no puede acelerarse demasiado, ya que los granos se deterioran. Este deterioro puede provenir de un exceso de calor del grano, o de una evaporación excesivamente rápida del interior perjudicando a la fibra cuando el vapor de agua tiende a escapar, o de un secado demasiado rápido de la superficie exterior, mientras que, en el interior aún está húmedo. En el último caso el deterioro es debido al cambio de dimensiones entre el estado húmedo y el seco, generalmente sufriendo una extracción y rotura las caras externas.

La velocidad, las temperaturas admisibles, así como los contenidos de humedad deseados durante el secado, vienen determinados por la experiencia y confirmados por la experiencia en cada producto particular.

2.2. Secado mecánico.

La humedad en la superficie es eliminada económicamente por medios mecánicos, antes de que comience la etapa de secado propiamente dicha. Tales métodos incluyen:

- Sedimentación en cubas de deposición con una posterior decantación del exceso de líquido,
- Filtración o drenaje por gravedad sobre soportes poroso o perforados,
- Centrifugado dentro de recipientes en rotación, éste método es un proceso de drenaje en el cual se incrementa la fuerza de gravedad actuando sobre el líquido,
- Presión mecánica por cilindros u otros similares, se expulsa el exceso de agua de materiales comprensibles por reducción de volumen.

2.3. Secado por evaporación.

El proceso de secado tratado aquí consiste en la evaporación de una superficie y/o del interior de la sustancia a secar y eliminación del vapor de la superficie mediante un flujo continuo de aire. La evaporación se acelera elevando la temperatura de la sustancia; el límite máximo viene fijado por el coste del calor requerido o por la posibilidad ya mencionada del peligro existente de una evaporación

demasiado rápida o por excesiva temperatura.

Excepto bajo condiciones de ebullición, la evaporación tiene lugar solamente en las superficies húmedas en donde el líquido está en contacto con el aire. La evaporación cesa cuando el aire llega a su punto de saturación. Para asegurar un secado rápido, la sustancia a secar se deja en bandejas u otra forma cualquiera, que presente a la atmósfera el área máxima posible y mantenga un continuo movimiento de aire sobre la superficie a fin de eliminar el vapor producido y evitar una saturación local.

2.4. Método de secado.

La principal función del técnico en ventilación, en las aplicaciones de secado, es la inyección y distribución de la cantidad de aire preciso a la temperatura correcta, humedad y velocidad sobre la superficie del material a secar.

Los principales métodos de poner en contacto la cantidad de aire y la sustancia a secar, desde este punto de vista puede clasificarse como:

-Cobertizos de secado o desvanes.

Locales conteniendo cantidades relativamente importantes de productos amontonados, colgados o en guirnaldas, para períodos de secado relativamente largos. Los edificios protegen del tiempo y aíslan del calor cuando se eleva la temperatura para acelerar el secado.

El movimiento de aire se logra a través de ventiladores.

-Secado en hornadas.

La sustancia húmeda se esparce sobre bandejas o sostenida en batidores dentro de un horno donde permanece hasta el secado completo. Debe preverse una ventilación suficiente para mantener el contenido de humedad relativamente bajo, y usar un sistema de circulación de aire para incrementar el movimiento del mismo sobre el producto.

-Secadores por transportador.

Aquí la materia húmeda se transporta de forma continúa o intermitente a lo largo de un túnel, al final del cual sale ya seca. El flujo de aire, a través del túnel, va en sentido opuesto a la materia (disposición contracorriente) o en el mismo sentido (disposición con la corriente).

La circulación del aire puede ser dividida en varias secciones a fin de controlar mejor el secado de una etapa a otra.

-Secado por aire a través.

Aquí el aire pasa a través del lecho del grano poroso sostenido por una plancha perforada de un modo directo. Esto puede hacerse en hornadas como en los secadores de lúpulo, en granos ensacados, o el material puede ser transportado continuamente con un transportador o tambor rotativo.

-Secadores rotativos.

Aquí la materia es invertida dentro de un largo tambor rotativo para que una vez dentro éste, en íntimo contacto con el flujo de aire a través del tambor, mientras que se desplaza de la entrada a la salida del mismo.

-Secado por pulverización.

Se usan para producir polvos a partir de soluciones o lodos, las cuales se inyectan a través de toberas en forma de un fino pulverizado dentro del secador.

La evaporación de las finas gotas de líquido es rápida y el polvo, una vez seco, abandona por vía

neumática la zona de secado para ser recogido en saco de filtrado, ciclones o cámaras de separación.

-Secadores instantáneos.

Pequeñas partículas, tales como cristales son secadas rápidamente, inyectándolas dentro de lo que es un sistema neumático de transporte, utilizando aire a temperatura elevada.

Capitulo # 3

CLASIFICACION DE VENTILADORES

Un ventilador se define como una máquina propulsora de aire en forma continua por acción aerodinámica (Ref.2).

Compresores a pistón máquinas de desplazamiento positivo en general no se clasifican como ventiladores.

Hay dos tipos básicos de ventiladores: centrífugos y axiales.

3.1. Ventiladores Centrífugos.

El ventilador centrífugo está formado por un impulsor el cual gira dentro de una carcasa en forma de voluta.

El impulsor tiene un número determinado de hojas o placas alrededor de su periferia, similar a una rueda hidráulica o ruedas de paletas de un barco de río. La carcasa tiene una entrada en el eje de la rueda y una salida perpendicular a este.

Cuando el impulsor gira, la hélice en su periferia despiden el aire por centrifugación en la dirección de rotación. El aire así despedido entra en la voluta y es forzado hacia la salida tan pronto como abandona la hélice, al mismo tiempo el aire es

aspirado a la entrada para reemplazar al que ya ha sido despedido. El aire entra en forma axial, gira en ángulo recto a través de las aletas y es despedido en forma radial. La finalidad de la carcasa es de convertir la presión estática en presión dinámica desarrollada en la extremidad de las paletas.

Existen variantes de esta forma fundamental. Tres tipos diferentes de hélices son utilizadas.

- Hélices radiales rectas;
- Hélices curvadas hacia adelante;
- Hélices curvadas hacia atrás.

La forma de las hélices influyen en la fuerza ejercida sobre el aire y sobre la proporción de energía convertida en velocidad.

El rendimiento de los ventiladores centrífugos es limitado, debido a que la dirección del aire impulsado cambia en 90 grados. Esto provoca pérdidas de energía debido al choque y a los remolinos.

Además el rendimiento aerodinámico de la voluta es generalmente bajo. Los rendimientos de los ventiladores se encuentran entre un 45% a un 75% según el tipo que sea (Ref. 2).

- Hélices radiales rectas.

Los ventiladores con paletas radiales son denominados de paletas.

Este tipo es de la forma más simple y el más antiguo. Llevan un cierto número de paletas planas sostenidas mediante unos brazos que vienen del eje central. Las paletas van desde el eje al centro exterior. Su anchura axial se afila hacia el centro.

Generalmente éstos ventiladores son voluminoso comparados con su capacidad. su rendimiento no es muy elevado y son destinados a presiones moderadas.

Una de sus características es que los materiales que se encuentran en el flujo de aire no se adhieren a las palas. Son de auto-limpieza, lo cual es una ventaja en el caso de que el aire estuviese cargado de polvo.

- Hélices curvado hacia adelante.

Los más altos rendimientos se obtienen cuando los álabes tienen la superficie curvada. Una forma muy corriente de la curvatura de los álabes, es tener el lado concavo en el sentido de rotación. Los álabes de este tipo tienen poca altura radial y son

generalmente numerosos. Los ventiladores así contruidos son conocidos como multipalas. Los álabes van montados entre anillos laterales colocados en los brazos de una estrella o en plato sólido montado sobre un árbol.

El álabe curvado hacia adelante tiene el efecto de cuchara en el aire. La velocidad del aire saliendo de este tipo es más grande que en otros. En consecuencia este diseño mueva más aire que otros para un diametro y velocidad dados. En otras palabras para una capacidad dada, el ventilador con álabes curvadas hacia adelante es más pequeño y gira más lentamente.

- Hélices curvadas hacia atrás.

Los mejores rendimientos en ventiladores centrífugos se obtienen cuando los álabes son curvados hacia atrás. Estos tienen el lado convexo en el sentido de la rotación. Esta forma favorece el flujo de aire a través de los álabes, reduciendo el choque y las pérdidas por remolinos.

Estos ventiladores actúan a mayores velocidades tangenciales que los otros tipos. Los álabes son más largos radialmente que los de tipo curvado hacia adelante y por lo general más pesados,

mientras que los impulsores están fuertemente reforzados con anillos y se precisa de árboles de secciones mayores.

El volumen de aire para un diametro dado de rueda es menor que en el caso de los álabes curvados hacia adelante, no obstante, el rendimiento es algo mayor.

3.2.- Ventiladores de flujo axial.

Un rápido incremento en el empleo de los ventiladores de flujo axial se ha puesto de manifiesto en estos últimos años. Esto se debe a su rendimiento, a su poco tamaño y su simplicidad de instalación. Estos ventiladores comprenden un impulsor o impulsores, con álabe de sección de ala de avión rodando dentro de una carcasa cilíndrica.

El flujo de aire a través de ventilador es prácticamente paralelo al eje del impulsor. Un rendimiento total comprendido entre un 70% a un 80% es muy corriente, y los grandes ventiladores contruidos para aplicaciones especiales pueden alcanzar rendimiento hasta del 90% (Ref.2).

El paso directo de aire a través, permite al ventilador ser montado directamente en conductos

rectos. El sistema de conducción es más simple que el caso de los ventiladores centrífugos, los cuales requieren conexiones a 90 grados.

Además no ocupan espacio en el suelo, el tamaño de un ventilador de tipo axial es menor que el de un ventilador de tipo centrífugo, para el mismo efecto útil.

La característica principal de estos aparatos es la forma de las palas ventiladoras, las cuales tienen una inclinación con relación a su eje de manera que al girar el mismo efectúan un movimiento en forma de helice o tornillo, con lo cual el aire se ve obligado a pasar a través de las misma adquiriendo la velocidad de que dichas palas le transmiten.

Capitulo # 4

FACTORES TECNICOS PARA EL SECADO

4.1. Humedad relativa de la atmósfera.

La Humedad relativa de la atmósfera, es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire atmosférico, expresada en porcentajes de la máxima cantidad que dicho aire pudiera contener a la misma temperatura (Ref.1).

Realmente, ello es una proporción y se expresa en porcentaje de la máxima cantidad de vapor acuoso que dicho aire pudiera contener cuando a la misma temperatura llega al punto de saturación cuando ese aire llega al punto de saturación, se origina la lluvia y la humedad relativa es de 100%.

La forma más sencilla de medir la humedad relativa del aire es mediante un " Psicrómetro giratorio o de honda " .

Este consiste de dos termómetro de temperatura en que unos de ellos contiene un pañito en forma de media en unos de los extremos. El pañito se humedese con agua destilada y se gira los termómetros de manera que se puede evaporar la humedad que contiene el pañito. Según se vaya evaporando la humedad el

termómetro se irá enfriando. Mientras más agua se evapora, más se enfriará el termómetro y más baja será la humedad. Mediante la lectura de los dos termómetros, el seco y el húmedo, podrá determinarse la humedad relativa.

Si no existe evaporación, ello quiere decir que la humedad relativa es del 100%.

Termómetro seco: indica la temperatura normal del medio ambiente.

Termómetro húmedo: indica la evaporación que sucederá, veamos un ejemplo práctico: En un día de que exista cierta cantidad de aire seco, el sudor de nuestro cuerpo se evapora rápidamente, sea, que apenas sudamos y nos sentimos fresco. Por el contrario en un día de verano sin aire, el sudor de nuestro cuerpo no se evapora, el aire no se lleva el calor del cuerpo y nos sentimos sofocado. Esto es importante recordar, pues ello nos ayudará a entender el proceso de secado.

Hemos dicho anteriormente, que mientras más baja sea la humedad relativa del aire, más rápidamente se podrá evaporar la humedad del arroz.

Y mientras más alta sea la humedad relativa del aire,

más lenta sera dicha evaporación.

También hemos dicho, que el arroz es un material higroscópico y que tiene la propiedad de absorber humedad rápidamente.

Debido a ello pudiera suceder que si la humedad del aire es alta el arroz pudiera absorber cierta cantidad de humedad de dicho aire y por consiguiente en lugar de evaporar la humedad que contenga el grano de aire aumentará el contenido de humedad del grano.

En lugar de estarlo secando, lo estaremos mojando.

Por estudios efectuados, se ha podido comprobar que existe una relación de equilibrio entre la humedad relativa del aire atmosférico y el contenido de humedad de los granos (ver tabla A-1) .

A determinada humedad relativa de la atmósfera, el contenido de humedad del grano estará en equilibrio con la misma y a ello se le denomina como Puntos de equilibrio.

Cuando el arroz contiene 13.2% de humedad, está en equilibrio con la humedad relativa de la atmósfera cuando esta es de 70%.

De igual forma, si la humedad relativa de la

atmósfera es de 90% y ese aire se le inyecta a un arroz con 17.6% de humedad, el arroz no se podrá secar debido a que está en equilibrio con la humedad relativa de ese aire. También sucedería que si un arroz tubiera 14% de humedad y le inyectamos aire que tuviera 90% de humedad relativa, en lugar de secar el arroz, le aumentaríamos su contenido de humedad. Es por ello, que tanto para secar el arroz con aire natural, es de suma importancia el conocer la humedad relativa que contiene el aire de la atmósfera. A determinadas horas del día, en distintos lugares y países, ver Tabla A-2 donde se encuentran los valores de humedad relativa promedio de los meses de la ciudad de Guayaquil en los dos últimos años.

Es prácticamente imposible el secar y aeriar el arroz con aire natural de la atmósfera y para ello se tiene que acondicionar el aire, bajándole la humedad relativa que contiene. Ello se logra, calentando dicho aire lo suficiente para bajar su humedad.

1.2. Calentamiento del aire.

Calentando el aire de secado, se logra dos cosas.

1. Baja la humedad relativa del aire para que dicho aire pueda evaporar rápidamente la humedad externa del arroz, es decir, la humedad que contiene la

parte superficial del grano.

2. Se incrementa la presión de vapor de grano, y de ésta manera, la humedad interna del grano se moverá hacia la superficie y podrá evaporarse fácilmente.

Cuando el aire se calienta, su volumen se incrementa.

La cantidad de vapor de agua que el aire contiene seguirá siendo la misma, pero debido a la expansión del volumen, dicha cantidad de vapor de agua será un porcentaje menor del volumen total del aire.

El nuevo aire, podrá aguantar mayor cantidad de vapor de agua y por consiguiente, podrá absorber más humedad.

Un pequeño aumento en la temperatura del aire, será la suficiente para disminuir la humedad relativa lo indispensable para que el aire pueda evaporar gran cantidad de humedad del grano.

→ Si tenemos, por ejemplo 1 pie cúbico de aire con una temperatura 60 °F y con 50% de humedad relativa, y calentamos éste aire hasta que tenga 80 °F, el pie cubico se incrementará y su volumen será mayor, tal como se expresó anteriormente.

El nuevo aire tendrá solamente 25% de humedad relativa, por lo que será un aire mucho más seco y podrá captar una mayor cantidad de vapor de agua. En este caso, el aumento de 20 °F, disminuirá la humedad relativa hasta un 25%.

De acuerdo con la tabla de equilibrio, el aire tendrá una humedad relativa muy baja para secar el arroz.

El Sobre-Secar el grano causará daños de diversa naturaleza:

1. Daña la calidad del grano.
2. Causa determinados cambios químicos en el grano, dando lugar a que el grano se quiebre.
3. Mata el germen del grano, dando lugar a que el arroz no pueda usarse como semilla.
4. Se fijan las capas superficiales al grano dando lugar en que sea necesario pulirlo más para blanquearlo. Ello ocasionará una disminución en el rendimiento del molino.
- ⇒ 5. Debido a mayor pérdida de humedad, habrá una mayor pérdida innecesaria de peso.
- ⇒ 6. Encarecerá el proceso de secado.

7. Disminuirá la capacidad de digestión de los problema del arroz.

Algunos productos soportan mayores temperatura que otros, sin que ésto dañe la calidad de los mismos (ver Tabla B-1).

En Texas, Estados Unidos de América, el máximo que se recomienda son: 95 °F de acuerdo con las condiciones climatológicas de dicha región.

Se ha podido comprobar que en las situaciones más adversas, lo máximo que se debe que calentar el aire, para que la humedad relativa sea la apropiada para no sobre-secar el grano, es de 14 °F por arriba de la temperatura ambiente.

Generalmente calentando el aire de secado unos pocos grados arriba de la temperatura ambiente, bajara la humedad relativa del aire considerablemente.

Siguiendo éstas normas, se podrán obtener muy buenos resultados en el secado del arroz en silos. Estas han sido experimentadas durante varios años en diversas zonas de los Estados Unidos y América Latina, aunque teóricamente, como se podrá apreciar, lo máximo que deberá de incrementarse la temperatura del aire, 14 °F por arriba de la temperatura del aire del ambiente, de acuerdo con las condiciones

climatológicas que suelen existir y para que el aire después de calentado no tenga más de 37.8°C. (100° F).

Se concluye que en la práctica, lo máximo que habrá que calentar el aire será 7 °C (12 °F). por arriba de la temperatura ambiente, lo que es lo mas recomendable.

4.3. Volumen de Aire.

La cantidad o proporción de aire que se utiliza para secar el arroz y que se mueve alrededor del grano húmedo, para evaporar la humedad, es también uno de los factores de mayor importancia que debemos de tener en consideración. Mientras más aire de secado se mueva alrededor del grano, más humedad se podrá evaporar y más rápidamente se podrá secar el grano.

4.4. Presión estática.

La Presión estática, es otro de los factores de importancia que se tiene que tener en consideración para el secado del grano. Mientras mayor sea la presión estática, mayor fuerza necesitará el ventilador o abanico para forzar la cantidad mínima de aire requerida a través del grano.

Mientras mas altura tenga la columna de arroz, mayor presión estática existirá y, debido a esa

resistencia, menor volumen de aire se le podrá suministrar al grano y más lento será el secado.

Debido a ello, es más conveniente el secar el grano a menor altura lográndose así un mayor volumen de aire y un secado más rápido.

Existen varios instrumentos para medir la presión estática. El más simple y comun es el "Manometro de Tubo en forma de U".

Todos los cálculos suelen hacerse a base de arroz relativamente limpio. Cuando el arroz contiene excesiva cantidad de granos descascarados y partidos, así como tierra, piedras, semillas extrañas, etc., la presión estática será mayor y ello reducirá la cantidad de aire que se suministra.

Por ello, es de gran importancia la distribución dentro del silo de las pequeñas partículas que contenga el arroz. Si éstas no se distribuyen, se formarán colchones de pequeñas partículas en determinadas partes del silo.

Ello reducirá el volumen de aire en dichas partes y dará lugar a que esas porciones de arroz no se sequen de manera adecuada.

Actualmente existen equipos para poder distribuir el

arroz en el silo, evitándose, de éste modo, que se formen dichos colchones.

Las presiones estáticas varían de acuerdo con el producto (ver Fig 5.2).

Por ejemplo, en similares condiciones, el maíz presenta menor presión estática que el arroz. Esto se debe a que el tamaño del grano es mayor y existe mayor cantidad de "espacio libre" entre los granos.

4.5. Altura de la columna de arroz.

Considerando la altura de la columna de arroz: la cantidad mínima de aire, la presión estática y los diversos factores que pudieran aumentar la presión estática, se han efectuado diversos estudios y experimentos con la finalidad de determinar la altura máxima a la que se debe secar el arroz para obtener los mejores resultados con una mayor economía.

En algunas zonas de los Estados Unidos, cuando el arroz de la parte superior tiene un contenido de 15% de humedad, se recomienda el apagar el quemador y seguir secando con aire natural, siempre y cuando, la humedad relativa de la atmósfera lo permita.

En climas tropicales, en que la humedad relativa suele ser alta, ésta norma no es aconsejable y resulta difícil el poder aplicarse.

Por lo general, el equipo de suministrar aire en los silos de secado, está capacitado para, poder secar eficientemente determinada cantidad de arroz, a determinada altura, dentro de ciertos límites de seguridad.

Suelen presentarse dos casos típicos en el proceso de secado.

1. Que se desea secar más arroz en los silos existentes, y para ello se le suele incrementar la columna de arroz.
2. Que se desea secar más rápidamente, y para lo cual se suele aumentar la temperatura al aire de secado, creyéndose que con ello se podrá secar más rápidamente. Ambas soluciones se apartan de la realidad.

En el primer caso, cuando aumentamos la altura, se incrementa la presión estática, debido a ello, es muy posible que el equipo de suministro de aire no tenga la capacidad suficiente para suministrar la cantidad mínima de aire que se requiere. Esto

traerá, como consecuencia, que al ser menor el volumen de aire, el secado sea más lento, pudiendo dar lugar a que el arroz en la parte superior del silo pueda "arder" y se dañe la calidad del mismo.

En el segundo caso, cuando se aumenta la temperatura del aire de secado, disminuye la humedad relativa más de lo necesario, lo cual causará que el aire no seque al grano, tal como se lo mencionó anteriormente.

En ambos casos se incrementa los costos de producción.

4.6. Gráfica psicrométrica.

Mediante el uso de la gráfica psicrométrica (fig 5.1) se pueden resolver múltiples problemas técnicos relativos al secado de arroz.

Para simplificar éste tipo de gráfica, hemos suprimido varias escalas de menos uso en los problemas que se suelen presentar, durante el secado y al mismo tiempo, se ha añadido escala equivalentes entre los grados de temperatura, tenemos algunas definiciones importantes tales como:

1. Temperatura de termómetro de bulbo seco.

Es la temperatura del aire en el medio ambiente, medido con un termómetro de bulbo seco.

2. Temperatura del termómetro del bulbo húmedo.

Es la temperatura registrada por el termómetro de bulbo húmedo del psicrómetro. Sirve para indicar la cantidad de evaporación que tendrá lugar en el medio ambiente.

3. Humedad relativa.

Es la proporción que existe entre el vapor acuoso existente en el aire y el vapor acuoso que el aire pudiera contener cuando está saturado a una misma temperatura.

4. Temperatura de condensación o saturación.

Es la temperatura a que comenzará la condensación o saturación de la humedad cuando el aire es enfriado.

5. Depresión del termómetro húmedo.

Indica la cantidad de evaporación de humedad que está sucediendo, ello indica la mayor o menor secado que está ocurriendo.

Capitulo # 5

CALCULOS REPRESENTATIVOS

5.1. Determinación de la cantidad de agua eliminada.

Considerese que el arroz se encuentre a un contenido de humedad del 20% (ver tabla 5.1) y se requiere secar hasta un contenido de humedad de un 13%. (ver tabla 5.2).

Ho (humedad inicial del grano de arroz) = 20 %.

Hf (humedad final del grano de arroz) = 13 %.

	%	Unidad de H ₂ O+unidad de m.s. = unidades totales		
Inicial	20	0,20	0,80	1
Final	13	0,13X	0,80	X

(tomada de Ref.4).

Si en un principio el 20% de la unidad está húmedo el 80% restante ó 0.8 unidades deben ser materia seca que permanece constante en todo el proceso de secamiento. A la masa final desconocida se le asigna el valor X. Entonces la línea inferior de la tabla expresa las relaciones de masa en trminos de X.

$$0,13X + 0.80 = X$$

TABLA N # 5.1

Humedad promedio del arroz durante el transcurso del año.

MES	HUMEDAD
ENERO	24 %
FEBRERO	24 %
MARZO	23 %
ABRIL	22 %
MAYO	22 %
JUNIO	20 %
JULIO	20 %
AGOSTO	21 %
SEPTIEMBRE	21.5 %
OCTUBRE	21 %
NOVIEMBRE	21 %
DICIEMBRE	22 %

(Tomada de Ref.11).

TABLA N# 5.2

Valor máximo de la humedad para distintos granos durante período largos de almacenaje.

PRODUCTO	TENOR DE HUMEDAD
TRIGO	12 %
AVENA	13 %
CEBADA	13 %
SORGO	12 %
MAIZ	13 %
SOJA	11 %
ARROZ EN CASCARA	13 %

(Tomada de Ref.11).

$X = 0,9195402$ unidades.

Si la masa final del cultivo es de 0.9195402 unidades, entonces se deben de haber eliminado 0.0805 unidades de agua, como se muestra en el siguiente cuadro.

	%	Unidad de H2O + unidades de m.s. = unidades totales		
Inicial	20	0,20	0,80	1
Final	13	0,12	0,80	0,92

0,0805

0,0805

Por lo tanto la cantidad de agua que se va a evaporar por los 200 qq de arroz a secar sera :

$$200 \text{ qq} = 22.000 \text{ lbs} \times 0,0805 = 1771 \text{ lbs de agua.}$$

Como se quiere secar las 200 qq en 14 hrs entonces
 $1.771 \text{ lb de agua} / 14 \text{ hrs} = 126.5 \text{ lbs de agua} / \text{hrs.}$

Por lo tanto es preciso evaporar.

$$\dot{m} = 2.1 \text{ Lb} / \text{min}$$

Determinación de la cantidad de flujo másico.

Con una temperatura ambiente promedio de :

$$T_a = 26 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (} 79 \text{ }^\circ\text{F)}.$$

y con una humedad relativa de :

$$\text{H.R} = 80 \% .$$

Las condiciones atmosférica (punto A) para el caso de cálculo, será ubicado en la carta Psicrometrica con la temperatura de $26 \text{ }^\circ\text{C}$ ($79 \text{ }^\circ\text{F}$) y la humedad relativa de $80 \% \text{ H.R}$.

Por norma y recomendaciones se deberá aumentar la temperatura del aire $8 \text{ }^\circ\text{C}$ sobre las condiciones atmosféricas, entonces encontramos a que temperatura el aire entrará a secar el grano (punto B.).

Por la tabla 5.3, sabemos que la temperatura máxima que se debe calentar el aire atmosférico para secar arroz es de $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ($104 \text{ }^\circ\text{F}$), entonces estamos calentando el aire a valores de temperatura aceptables.

Y para encontrar las condiciones de salida del aire después de pasar a través de los granos de arroz (punto C), en la carta Psicrométrica se debe partir del punto B, con una diagonal paralela a la temperatura del bulbo húmedo de la carta psicrométrica hasta llegar a la curva de saturación.

TABLA N# 5.3

Temperatura máxima de secado para diversos productos.

Producto y destino	Temperatura (°F)
CERIALES:	
Maiz - semilla.....	111
- almidon.....	131
- alimentación animal.....	180
Arroz con cascara hasta 20 % de humedad....	111
- más de 20 % de humedad...	104
Sorgo - semilla.....	111
- almidon.....	140
- alimentación animal	180
Panizo- semilla.....	111
- alimentación.....	149
Trigo - semilla hasta 24 % de humedad.....	120
- semilla con más de 24 % de humedad.	111
- molienda.....	151
LEGUMINOSAS	
Poroto- semilla.....	97
- alimentación animal.....	113
Soja - semillas.....	100
- agroindustria.....	118
Mani - semilla.....	99

(tomada de Ref.11).

Con los puntos A y C en la gráfica Psicrométrica se podrá encontrar la cantidad de agua absorbida por el aire.

Contenido de humedad en A = 0,0170 Lb/Lb de aire seco.

Contenido de humedad en C = 0,0205 Lb/Lb de aire seco.

Cantidad de agua absorvidad = 0,0205 - 0,0170
= 0,0035 Lb/Lb de aire seco.

2.1 Lb de agua / mim.

0,0035 Lb/Lb de aire seco.

====> 600 lb de aire / mim.

la densidad del aire (@a):

@a = 0.07 Lb / pie³

Volumen = Masa / Densidad.

Por lo tanto la cantidad de flujo másico será :

Q = 8.571 CFM

.- Determinación de la presión estática de la columna de arroz.

Considerando que en 200 qq de arroz, se ocupa un espacio de 556 pies cúbico.

Por lo cual las dimensiones del lecho en la cual se depositan los granos de arroz son las siguiente:

Asumiendo.

Altura del lecho: 2 pies.

Area del lecho : 278 pies.

Como el ventiladore tienen una capacidad de 8.571 CFM, por lo tanto podemos calcular la velocidad del aire con que va a travesar la columna del grano de arroz.

$$V = 8.571 \text{ CFM} / 278 \text{ pies}^2 .$$

$$V = 30.8 \text{ pies/min.}$$

Con este valor de velocidad del flujo de aire dentro del lecho, se puede encontrar en el gráfico 5.2 de la curva de arroz de 13 % de humedad.

$$\text{Caida de presión/pies} = 0.65 \text{ pulg de H}_2\text{O/pies.}$$

$$= 0.65 \times 0.8 = 0.52 \text{ pulg de H}_2\text{O/pies.}$$

$$\text{Caida de presión} = 0.52 \text{ pulg de H}_2\text{O} / \text{pies} * 2 \text{ pies}$$

Por lo tanto la presión estática necesaria para

vencer la altura de la columna de arroz sera:

PS (presión estática de la columna de arroz)

$$Ps = 1.04 \text{ pulg de H}_2\text{O}$$

5.4. Determinación de la capacidad del quemador.

Con los puntos A y B encontrados en la carta Psicrométrica.

Podemos encontrar su correspondiente entalpía.

ha (entalpía del punto A).

hb (entalpía del punto B).

$$ha = 38,2 \text{ BTU / Lb.}$$

$$hb = 41,9 \text{ BTU / Lb.}$$

dh (diferencia de entalpía).

$$dh = 41,9 - 38,2 = 3,7 \text{ BTU / Lb.}$$

$$q = 3,7 \text{ BTU / Lb} * 600 \text{ Lb / min.}$$

Por lo tanto la capacidad del quemador sera:

$$q = 133.200 \text{ BTU / Hr.}$$

Por valores obtenido en la tabla D-12, se escogio una caída de presión de 2.4 pulg de H₂O, que representa

la caída de presión más aproximadamente cercana a la caída de presión obtenida por cálculos anteriores y ésta tendrá un flujo de aire de 10.104 CFM.

Ya que en los cálculos obtenido, son para un tiempo de secado determinado se obtuvo una caída de presión de 1.04 pulg de H₂O en la columna de arroz y un flujo de aire de 8.571 CFM, ahora con los datos experimentales se deberá entonces evaluar el tiempo de duración del proceso de secado para unas nuevas condiciones de presión y flujo.

La formula para calcular el tiempo de secado es:

$$t(\text{dias}) = \frac{20 \times \text{Reducción de \% de humedad (base de materia seca)}}{(\text{volumen de aire que se suministra por unidad de volumen de arroz}) \times \text{Depresión del termometro hum.}}$$

$$\text{reducción de \% de Humedad} = 25 - 14.9 = 10.1\%$$

$$\text{Volmen de arroz} = 445 \text{ Bushel.}$$

$$\text{olumen de aire} = 10.104 \text{ CFM.}$$

$$\text{epresión de Term Hum.} = 93 - 77.5 = 15.5 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$t(\text{dias}) = \frac{20 \times 10.1}{10.104 / 445 \times 15.5}$$

$$= 13.8 \text{ hrs}$$

$$t = 13,8 \text{ hrs.}$$

5.5. Determinación de la presión estática en el difusor.

El difusor tiene las siguientes características asumidas.

$$W1(\text{lado donde va conectado el ventilador}) = 1.3 \text{ pies}$$

$$W2(\text{lado donde va conectado a la cama}) = 2.13 \text{ pies}$$

$$L(\text{longitud perpendicular}) = 1.64 \text{ pies.}$$

$$h(\text{altura}) = 1.56 \text{ pies.}$$

$$Q = 10.104 \text{ CFM.}$$

A1, A2. (áreas transversales a la entrada y salida del difusor respectivamente).

$$A1 = 1.56 * 1.3 \implies A1 = 2,044 \text{ pies}^2.$$

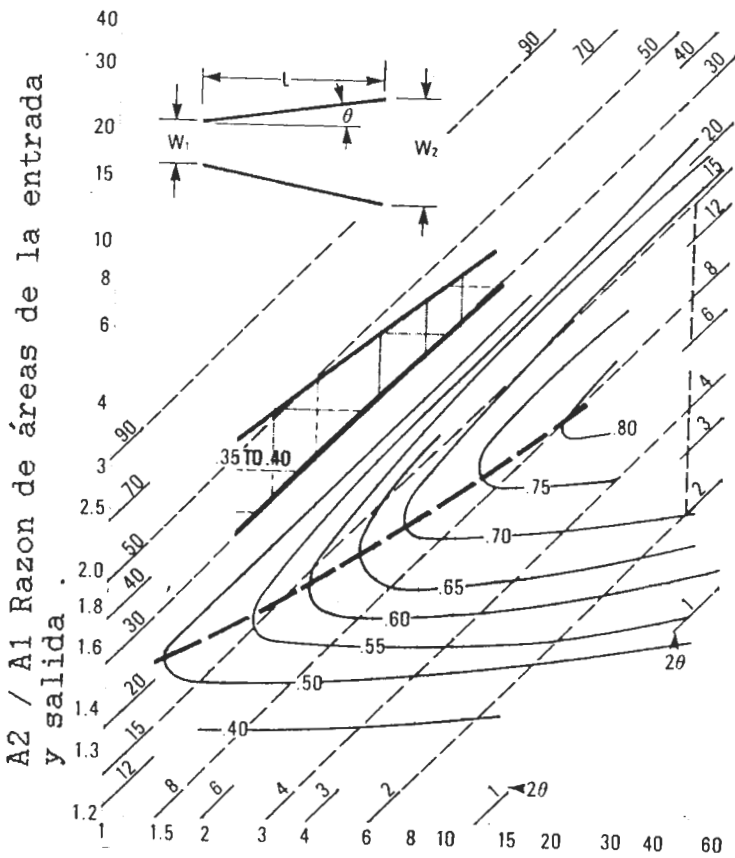
$$A2 = 1.56 * 2.13 \implies A2 = 3.32 \text{ pies}^2.$$

$$\frac{A2}{A1} = \frac{3.32}{2.044} = 1,62.$$

$$\frac{L}{W1} = \frac{1.64}{1.3} = 1,25.$$

Por lo tanto nos dirigimos a la fig 5.3 entonces

Fig. 5.3 Coeficiente de presión para difusores



L/W relación entre el largo y el ancho de la entrada del difusor.

(tomada de Ref. 13).

encontramos el coeficiente K_r .

$$K_r = 0,38.$$

También nos dirigimos a la fig. 5.4 entonces encontramos el parámetro n .

$$n = 0,80.$$

$$P_v = @ \left(V / 1097 \right)^2 \quad \left(\text{pulg de H}_2\text{O} \right).$$

P_v (presión dinámica).

$V_{1,2}$ (velocidad del flujo de aire de la entrada y salida del difusor respectivamente).

@ (densidad del aire).

$$V = Q / A.$$

$$V_1 = Q / A_1.$$

$$= 10.104 \text{ CFM} / 2,044 \text{ pies}^2.$$

$$V_1 = 4.943 \text{ pies} / \text{min}.$$

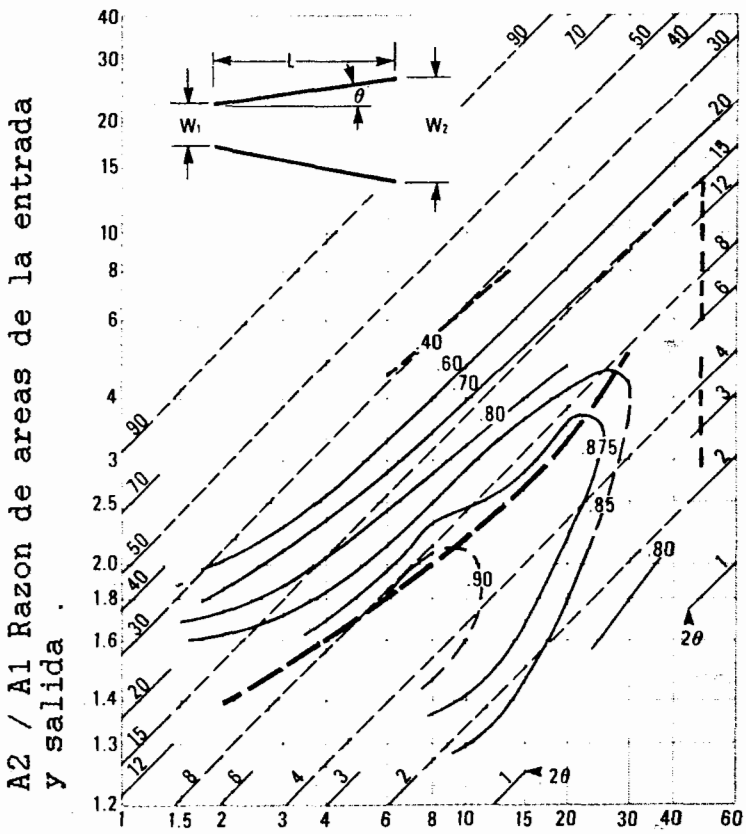
$$@ = 0,071 \text{ lb} / \text{pies}^3.$$

$$P_{v1} = 0,071 \left(4.943 / 1.097 \right)^2.$$

$$P_{v1} = 1.44 \text{ pulg de H}_2\text{O}.$$

$$V_2 = Q / A_2.$$

Fig. 5.4 Valores de eficiencia para difusores planos.



L/W relación entre el largo y el ancho de la entrada del difusor.

(tomada de Ref. 13).

$$= 10.104 \text{ CFM} / 3.32 \text{ pies}^2.$$

$$V2 = 3.043 \text{ pies} / \text{min.}$$

$$Pv2 = 0,071 (3.043 / 1.097)^2.$$

$$Pv2 = 0,55 \text{ pulg de H}_2\text{O}.$$

P_{sr} (caída de presión estática en el difusor)

$$P_{sr} = K_r * P_{v1}$$

$$= 0.38 * 1.44$$

$$P_{sr} = 0.55 \text{ pulg de H}_2\text{O}.$$

5.6. Determinación de la cama.

La cama es el lugar donde se deposita los granos de arroz para proceder con el proceso del secado, la cual se debe saber sus dimensiones y su caída de presión.

5.6.1. Dimensionamiento de la cama.

Acorde con el Ministerio de Agricultura, se sabe que en 200 qq de arroz paddy el volumen necesario que se necesitará será de: 556 pies cubico.

Considerando la altura asumida anteriormente, en la cual se asumió un lecho de 2 pies, por lo tanto podemos determinar las dimensiones de la base de la

cama.

Largo = 42.4 pies

Ancho = 5.56 pies

5.6.2. Presión estática en la cama.

El área del lecho en donde vamos a depositar el arroz es de:

$A = 278 \text{ pies}^2$.

El lecho esta conformado de lámina de acero dulce, con orificios de diámetro de 0.007 pie (2 mm) (para evitar que el grano lo propase).

Se escogió una lámina en el mercado cuyas características son:

largo = 0.15 pies

ancho = 0.12 pies

d (diámetro de los orificios) = 0.007 pies

números de orificio = 132

A_d (área total) = $0.15 * 0.12$

$A_d = 0.018 \text{ pies}^2$.

A_f (área que ocupa todos los orificio).

$$A_f = 132 * 3.14 * (0.007)^2 / 4$$

$$A_f = 0.005 \text{ pies}^2.$$

$$A_f / A_d = 0.28$$

$$A_d / A_f = 3.54$$

V_d (velocidad del aire antes de cruzar los orificios que contiene el lecho) = Q / A

A (área transversal del lecho)

$$= 10.104 \text{ CFM} / 278 \text{ pies}^2$$

$$V_d = 0.6 \text{ pies} / \text{seg.}$$

v (viscosidad dinámica del aire)

R_d (número de reynolds)

$$R_d = V_d * d * (A_d / A_f) / v \quad (\text{Ref. 14}).$$

$$= 0.6 * 0.007 * 3.54 / (0.174 \cdot 10^{-3}).$$

$$R_d = 86.3$$

como $60 < R_d < 1.000$

entonces:

$$C_d = 6 / R_d^{0.33} \quad (\text{Ref. 14}).$$

C_d (coeficiente modificador de pérdidas)

5.7.- Determinación de la potencia.

Pst (presión estática total).

$$Pst = PS + Psr + DP$$

$$Pst = 1.04 + 0.55 + 0.0012 = 1.6 \text{ pulg de agua.}$$

$$Pst = 2.4 \text{ pulg de H}_2\text{O (experimental)}$$

$$\text{Potencia} = K * CFM * Pst / 33.000 * n$$

$$K \text{ (constante)} = 5.2$$

$$n \text{ (eficiencia)} = 0.5$$

$$\text{Potencia} = 5.2 * 10.104 * 2.4 / 33.000 * 0.5$$

$$\text{Potencia} = 7.6 \text{ HP}$$

5.8.- Determinación de la temperatura de la mezcla.

Temperatura de llama.

Los factores que influyen a la temperatura de la llama son:

- Poder calórico efectivo del combustible.
- Cantidad de gas líquido diluyente (usualmente N) que entre con el oxígeno.
- Temperatura del combustible y del aire dentro de

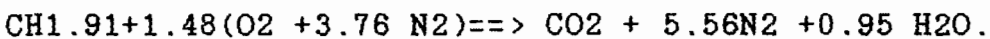
la combustión.

- La velocidad a la cual la reacción tiene lugar.

Se puede determinar una temperatura de llama ideal asumiendo:

1. Oxidación completa por la adicción de aire estequeométrico.
2. Mezcla perfecta.
3. Combustión instantanea tal que no ocurre perdidas de calor a los alrededores durante la combustión.

Para diesel utilizando con una relación $Y/X = 1.91$ se obtiene la siguiente ecuación estequeométrica:



Teniendo los productos un 20.3 % de CO_2 , 71.8% N_2 Y 7.9 % H_2O (porcentajes gravimétricos) con calores específicos medios de 0.309, 0.298 y 0.600 BTU/LB °F respectivamente entre 0 y 3400 °F lo que da un

$$c_p = 0.324 \text{ btu/lb } ^\circ\text{F}.$$

Los únicos que radian apreciablemente calor son los que tienen 3 o más átomos de moléculas tales como dióxido de carbono (CO_2), vapor de agua (H_2O),

los hidrocarburos dióxido de azufre (SO_2), el monóxido de carbono (CO).

Los gases di-atómico como el O_2, N_2 (y su mezcla, aire) y H_2 no muestra banda de absorción en aquellas regiones de longitud de onda de importancia de aplicación práctica en la industria. una elevación de temperatura de :

PCS (poder calórico superior del diesel) = 19.589
15.58 lb de productos / lb de combustible.

$$dt = 19.589 / 0.324 * \underline{15.58}$$

$$dt = 3.880.6 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$teg = 3.880.6 + 79 = 3.960 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$teg(\text{Temp inicial de la combustión}) = 3.960 \text{ } ^\circ\text{F}.$$

Cálculo de la cantidad de flujo másico de los gases de la combustión .

De la ecuación estequímica podemos encontrar la relación aire combustible teórico.

$$r_{a/c} = 29 * 1.48 * (1 + 3.76) / (12 * 1 + 1.9 * 1)$$

$$r_{a/c} = 14.69.$$

cuando no hay datos estequímicos de las

composiciones del aire de la combustión podemos decir o dar una aproximación de que:

$$(r \text{ a/c})_{\text{eteq}} = 15.$$

$$(r \text{ a/c})_{\text{real}} / (r \text{ a/c})_{\text{eteq}} = 1 + EA.$$

$$(r \text{ a/c})_{\text{real}} = (r \text{ a/c})_{\text{eteq}} (1 + EA).$$

m_{comb} (masa del combustible)

$$m_{\text{aire}} \text{ (masa de aire)} = m_{\text{comb}} * (r \text{ a/c})_{\text{real}}.$$

$$m_{\text{aire}} = m_{\text{comb}} * (r \text{ a/c})_{\text{eteq}} (1 + EA).$$

(Para aceite combustible el % EA esta entre un rango de un 5 - 20 %).

Para cálculo de diseño considero % EA = 15%

m_{gases} (masa de los gases de la combustión)

$$m_{\text{gases}} = m_{\text{aire}} + m_{\text{comb}}.$$

como para nuestro diseño de la cámara de combustión se va a utilizar un quemador que consuma 1.00 gal/hr (ver apendice C) .

Con este valor nosotros podemos calcular el flujo de combustible.

$$m_{\text{comb}} = 1.00 \text{ gal/hr} * 4 \text{ lit/lgal} * m^3 / 1000 \text{ lt} * (3.28 \text{ ft/m})^3 * 0.5 * 62.4 \text{ lb/ft}^3.$$

$$m_{\text{comb}} = 7.42 \text{ lb/hr.}$$

$$m_{\text{gases}} = m_{\text{comb}} * (r \text{ a/c})_{\text{eteq}} (1 + 0.15) + m_{\text{comb}}.$$

$$= m_{\text{comb}} (1 + (r \text{ a/c})_{\text{eteq}} (1.15)).$$

$$= m_{\text{comb}} (1 + 17.25).$$

$$= 7.42 * 18.25$$

$$m_{\text{gases}} = 135.4 \text{ lb/hr.}$$

Cálculo de la temperatura de salida de los gases de la combustión.

Por balance de energía se tiene:

$$q_{\text{gases}} = q_{\text{aire}}.$$

$$q_{\text{aire}} = 138.502 \text{ btu / hr.}$$

$$q_{\text{gases}} = m_{\text{g}} * c_{\text{pg}} * (t_{\text{eg}} - t_{\text{sg}}).$$

$$m_{\text{g}} * c_{\text{pg}} * (t_{\text{eg}} - t_{\text{sg}}) = 138.502 \text{ btu/hr.}$$

$$t_{\text{eg}} = 3.960 \text{ } ^\circ\text{F.}$$

$$c_{\text{pg}} = 0.324 \text{ btu / lb } ^\circ\text{F.}$$

$$m_{\text{g}} = 135.4 \text{ lb / hr.}$$

$$t_{\text{sg}} = t_{\text{eg}} - q_{\text{aire}} / c_{\text{pg}} * m_{\text{g}}$$

$$= 3.960 - (138.502 / (0.324 * 135.4)).$$

tsg (Temp de salida de los gases de la combustión)

$$tsg = 803 \text{ } ^\circ\text{F.}$$

Cálculo de la temperatura de la mezcla que se dirige al lecho en donde se encuentra el arroz.

Por balance de energía se tiene:

$$q \text{ aire} + q \text{ gases} = q \text{ mezcla.}$$

$$ma * cpa * tsa + mg * cpg * tsg = mm * cpm * tm.$$

$$mm(\text{masa de la mezcla}) = ma + mg.$$

$$= 45.468 + 135.4$$

$$mm = 45.603.4 \text{ lb / hr.}$$

Por lo tanto el 99% es del aire y el 1 % es de los gases de la combustión por lo tanto se puede considerar el calor específico de la mezcla igual al calor específico del aire.

$$cpm (\text{calor específico de la mezcla}) = 0.24 \text{ btu/ lb } ^\circ\text{F.}$$

entonces:

$$45.468 * 0.24 * 93 + 135.4 * 0.324 * 803 = 45.604.3 * 0.24 * tm.$$

tm (temperatura de la mezcla)

$$tm = 96 \text{ } ^\circ\text{F.}$$

5.9. Determinación de la cámara de combustión y del ducto donde pasa el aire de secado.

T1 (temperatura promedio del aire que pasa en la región anular).

$$T1 = (tsa + tea) / 2$$

$$T1 = (93 + 79) / 2$$

$$T1 = 86 \text{ } ^\circ\text{F.}$$

T2 (Temperatura promedio de los gases de la combustión).

$$T2 = (Teg + Tsg) / 2$$

$$T2 = (3.960 + 803) / 2$$

$$T2 = 2.382 \text{ } ^\circ\text{F.}$$

Asumiendo resistencia de conducción despreciable del tubo interior del intercambiador de calor.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{ho+hro} + \frac{1}{hi+hri}}$$

ho = coeficiente convectivo en el tubo interior del intercambiador de calor.

h_{ro} = coeficiente de radiación en el tubo interior del intercambiador de calor

h_i = coeficiente convectivo en la parte anular del intercambiador de calor.

h_{ri} = coeficiente de radiación en la parte anular del intercambiador de calor.

Considerando la longitud de la llama del quemador igual a $l = 4$ pies debido a datos obtenidos por los distribuidores de los quemadores recomiendan, que a esa longitud sea la cámara de combustión.

Por esta razón se considera la longitud de la cámara de combustión de:

l (longitud de la cámara de combustión) = 4 pies.

El intercambiador de calor está constituido por dos tubos cilíndrico concntricos, por lo tanto se asume sus diámetros como:

d_i (diámetro interior) = 4 pulg.

d_e (diámetro exterior) = 20 pulg.

L (longitud media de la trayectoria radiante en varias forma de gas)

$$L = 3.4 * \text{volumen} / \text{area de la superficie.}$$

$$\text{volumen} = 3.14 * di^2 / 4 * l.$$

$$\text{area de la superficie} = 3.14 * di * l$$

$$L = 0.85 * di.$$

$$L = 0.85 * 4/12.$$

$$L = 0.28 \text{ pies.}$$

Teniendo los productos de la combustión los siguientes componentes.

20,3 % de CO₂ , 71,8 % de N₂ Y 7.9 % DE H₂O.

asumiendo que la cámara de combustión esta a presión atmosférica.

Por los tanto las presiones parciales de cada componente sería:

$$PCO_2 = 0.203 \text{ atm.}$$

$$PH_2O = 0.079 \text{ atm.}$$

$$PCO_2 * L = 0.203 * 0.28.$$

$$PCO_2 * L = 0.056 \text{ atm} * \text{pies.}$$

$$PH_2O * L = 0.022 \text{ atm} * \text{pies.}$$

Por lo tanto la emisivilidad de CO₂ Y H₂O se encuentran tabulado en la Fig. 5.6 y Fig.5.7, respectivamente.

$$E_{CO_2} = 0.0475.$$

$$E_{H_2O} = 0.01.$$

$$P_w / P_w + P_c = 0.079 / 0.079 + 0.203$$

$$P_w / P_w + P_c = 0.28.$$

$$P_{cL} + P_{wL} = 0.056 + 0.022$$

$$P_{cL} + P_{wL} = 0.078 \text{ atm*pies}$$

entonces de la Fig. 5.8.

$$dE \text{ (corrección para la emisivilidad del gas)} = 0$$

E_{gas} (emisivilidad del gas).

$$E_{gas} = E_{CO_2} + E_{H_2O} - dE.$$

$$= 0.0475 + 0.01 - 0$$

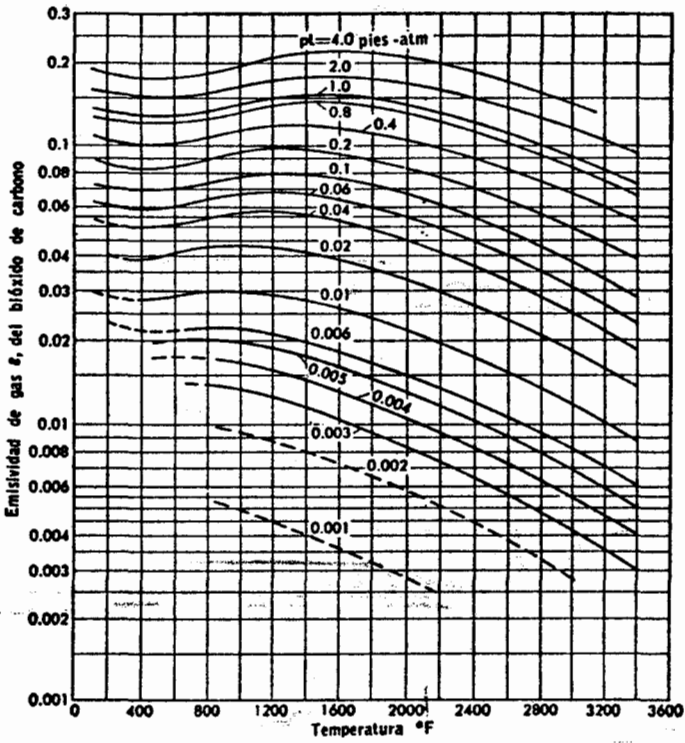
$$E_{gas} = 0.0575.$$

Asumiendo, temperatura del tubo interior a $T_S = 1.500 \text{ } ^\circ\text{F}$

Cálculo de hro.

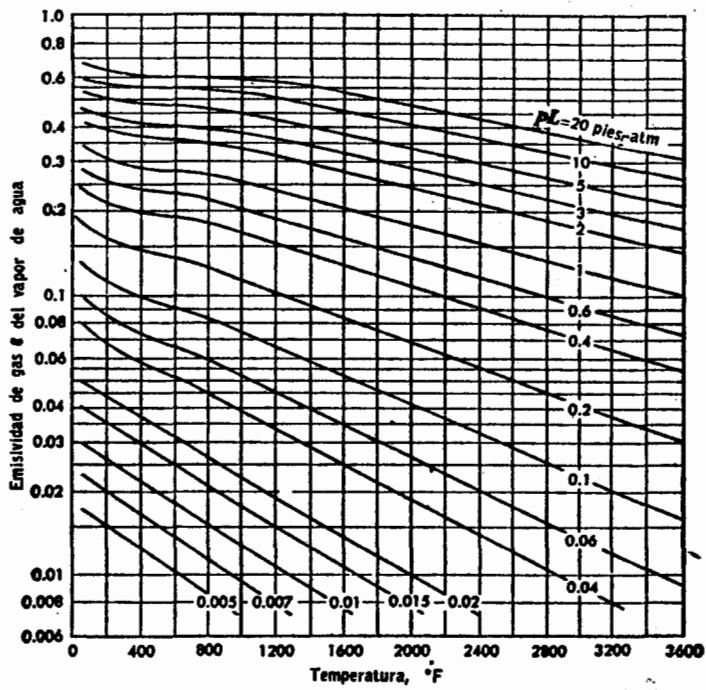
De la fig. 5.9 se obtiene:

Fig. 5.6 Emisividad del dióxido de carbono a 1 atm.



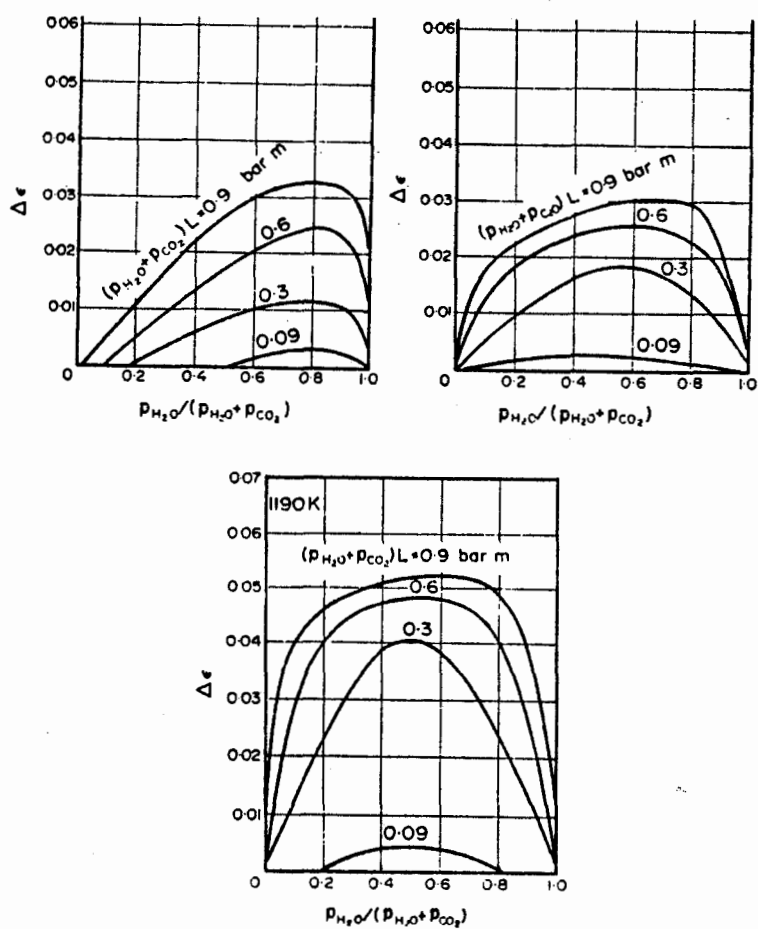
(tomada Ref. 9).

Fig. 5.7 Emisividad del vapor de agua a 1 atm.



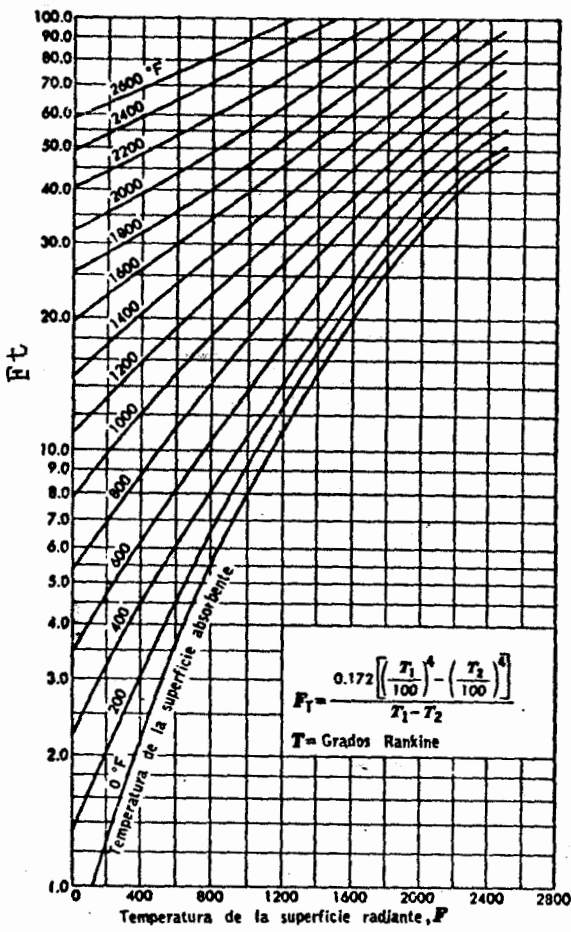
(tomada de Ref. 9).

Fig. 5.8 Corrección de emisividad del gas debido a la superposición de espectral del vapor de agua y el dióxido de carbono.



(tomada de Ref. 9).

Fig. 5.9 Factor de temperatura, como factor de la temperatura en °F.



(tomada de Ref. 9).

Fto (factor de temperatura en la parte del tubo interior) = 90.

$$hro = E_{gas} * Fto.$$

$$= 0.0575 * 90.$$

$$hro = 5.2 \text{ btu / hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Cálculo de hri.

Fti (factor de temperatura entre el tubo interior y exterior) = 18.

$$E \text{ (emisivilidad del tubo de acero) } = 0.8.$$

$$hri = E * Fti.$$

$$= 0.8 * 18$$

Cálculo de hi.

Dh1 (diámetro hidráulico del intercambiador de calor)

$$Dh1 = 20 - 4 = 16 / 12$$

$$Dh1 = 1,33 \text{ pies.}$$

A1 (área transversal del intercambiador de calor).

$$A1 = 3.14 * (de^2 - di^2) / 4.$$

$$A1 = 2.1 \text{ pies}^2.$$

$$V = Q1 / A1$$

$$= 10104 / 2.1$$

$$V = 80.2 \text{ pies/seg.}$$

$$Re = V * Dh1 / \nu$$

$$= 80.2 * 1.33 / (0.17^{(-3)}).$$

$$Re = 627.373$$

$$C (\text{ constante }) = 0.02.$$

$$Kb (\text{ conductividad del aire a temp } T_b).$$

$$\begin{aligned} hi &= C * Kb * Re^{0.8} * Pr^{0.33} * (T1/TS)^{0.575} / Dh \\ &= 0.02 * 0.015 * (627.373)^{0.8} * (0.72)^{0.33} * \\ &\quad (86/1500)^{0.575} / 1.3 . \end{aligned}$$

$$hi = 1,74 \text{ btu / hr pies}^2 \text{ } ^\circ\text{F.}$$

cálculo de ho.

$$m_{gas} = 135.4 \text{ lb/hr.}$$

$$m_{gas} = 0.038 \text{ lb/seg.}$$

$$\rho_{gas} = 0.015 \text{ lb/pies}^3.$$

$$A2 = 3.14 * di^2 / 4.$$

$$= 3.14 * (4 / 12)^2 / 4$$

$$A2 = 0.087 \text{ pies}^2.$$

$$V2(\text{velocidad de de los gases}) = m_{\text{gas}} / (\rho_{\text{gas}} * A2).$$

$$= 0.038 / 0.015 * 0.087.$$

$$V2 = 29.1 \text{ pies/seg.}$$

$$Re = V2 * Dh2 / \nu.$$

Dh2 (diámetro hidráulico del tubo interior)

ν (viscosidad dinámica de los gases)

$$Re = 29.1 * 0.33 / (2.28^{(-3)}).$$

$$Re = 4254.4.$$

Pr (número de Prandtl)

$$(Re * Pr * di / l)^{(-2)} = 2.65$$

del gráfico 5.10

$$Nu_{\text{fig5.10}} = 12$$

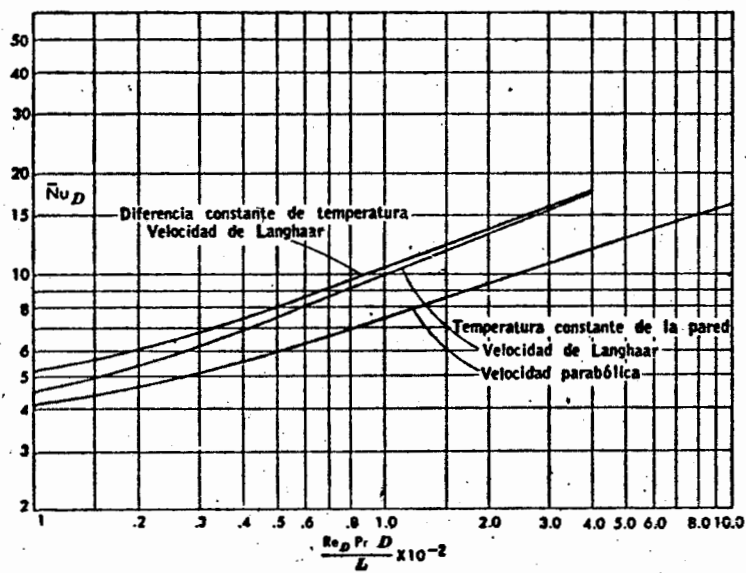
Nu (número de Nusselt).

$$Nu = Nu_{\text{fig5.10}} * (T2 / TS)^n.$$

$$n (\text{constante}) = 0.25$$

$$= 12 * (2.382 / 1.500)^{0.25}.$$

Fig. 5.10 Número de nusselt con respecto a la longitud, para flujo laminar.



(tomada de Ref. 9)

$$Nu = 13.5.$$

$$h_o = Nu * K_b / Dh^2.$$

$$= 13.5 * 0.0475 / 0.33$$

$$h_o = 1,94 \text{ btu /hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}.$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{1,94 + 5.2} + \frac{1}{1,74 + 14,4}}$$

$$U = 4,95$$

$$A_2 = Q / (U * dt)$$

$$= 138.502 / 4,95 * (2.382-86)$$

$$A_2 = 12 \text{ pie}^2$$

$$\pi * d_i * l = 12$$

$$d_i = 11.2 / (\pi * 4).$$

$$d_i = 0.9 \text{ pies}$$

$$d_i = 10.7 \text{ pulg.}$$

Comparando con la tabla E-1, recomendadas por los distribuidores de quemadores, se puede seleccionar una cámara de combustión de las siguiente medidas.

Diámetro interio = 10.7 pulg

Diámetro exterior= 20 pulg

Longitud = 48 pulg

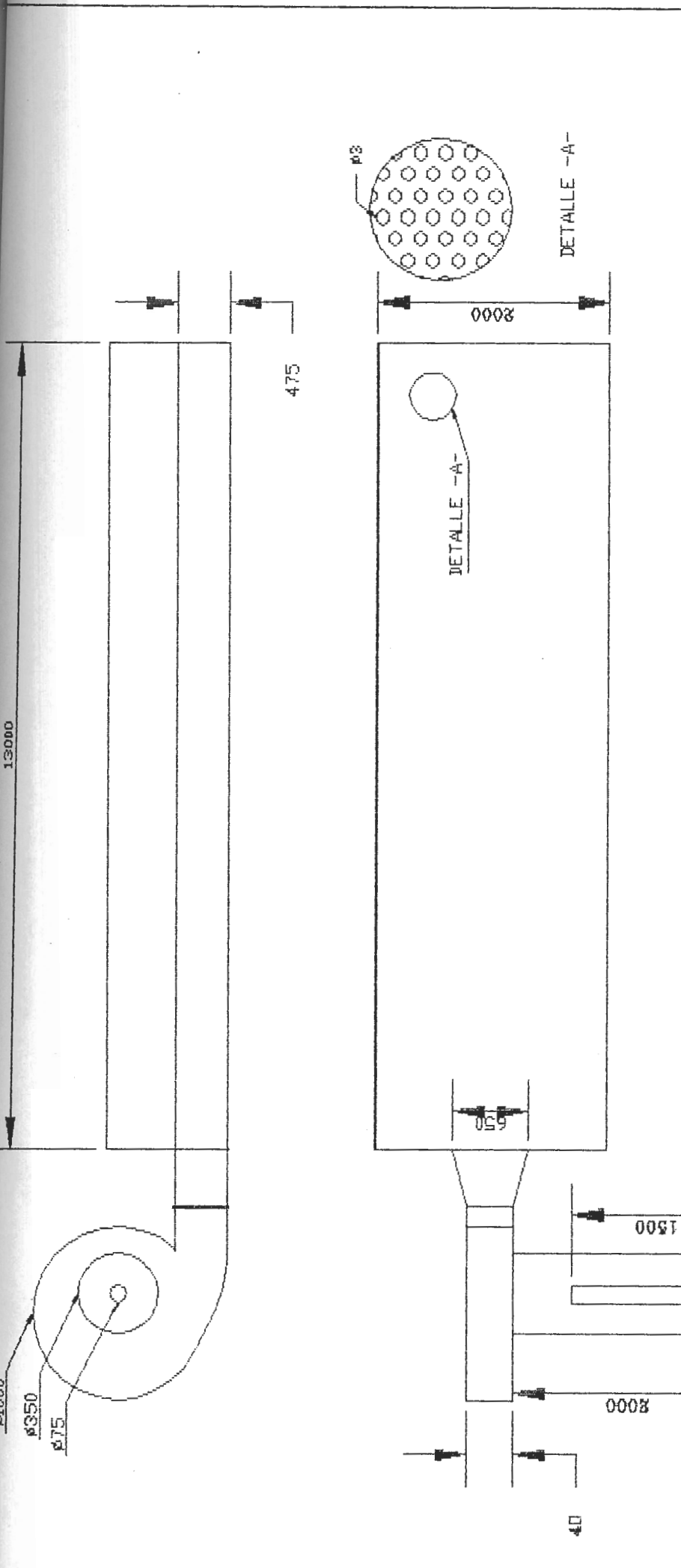
Pero como también podría tabajar el quemador con un diámetro menor dependiendo la boquilla y el angulo de tiro, por lo tánto también aumenta la longitud de la llama. Además, para que disminuya el calor en la parte exterior de la cámara de combustión hemos diseñado nuestra cámara con las siguientes característica.

Diámetro exterior = 28 pulg. ≈ 71.12

Diámetro interior = 6 pulg. ≈ 15.24

longitud = 59 pulg. ≈ 149.86

En la figura # 1 se observa el esquema de como están conectados todas las partes que forman la secadora de Arroz.



TOLERANCIA		PESO		<h1>Secadora de Arroz</h1>		ESCALA	
						FACULTAD DE INGENIERIA	
				FECHA NOMBRE J. Panchano O. Ing. P. Andrade			
				DIB			
				REV.			
				APRO.			
				<h1>ESPOL</h1>			
						EDU	



Capitulo # 6

SELECCION DE EQUIPO Y EL SISTEMA EXPERIMENTAL

6.1. Selección del quemador.

Existen diferentes tipos de quemadores en el mercado de los cuales citamos los siguiente:

a) Gas.

b) Diesel.

La selección de un quemador de tipo de diesel es debido a que el diesel tiene algunas características entre ellas su poder calórico, costo, y manipulación así mismo tiene factores en contra tales como producción de hollín durante la combustión y hedores.

Estos factores en contran se pueden aceptar debido a la relación entre aire y combustible que contiene la mezcla que pasa a través de los granos de arroz, en una relación de un 99% de aire y 1% de combustible.

Son por éstas razones por lo que seleccionó un quemador de diesel (ver fig F-1).

6.2. Selección del Ventilador.

Los ventiladores son los mecanismos principales de

las secadoras de cultivos, ya que es esencial el movimiento del aire a través del cultivo almacenado.

La presión necesaria para forzar el aire a través de los cultivos almacenados.

En las secadoras de cultivos se usan ventiladores de flujo axial y centrífugo.

Hablando de los ventiladores centrífugos combados hacia atrás (ver Fig. F-5), el aire llevado hasta el centro del ventilador y despues se fuerza en la espiral circundante por fuerza centrifuga. Estos ventiladores son relativamente silenciosos, tienen alta eficiencia y no consumen potencia excesiva.

Los ventiladores de flujo áxial circulan el aire paralelo a su flecha motriz .

Este tipo de ventiladores por lo general son menos costosos, más compactos y más ruidosos que los ventiladores centrífugos.

Por los tanto la selección del tipo de ventilador se debe a los diferentes parámetro que tiene a favor un ventilador centrífugo con respecto a un ventilador áxial para el secado, las cuales se resumen a continuación.

- más silencioso,
- tiene mayor eficiencia
- presión necesaria para forzar el aire al través de los ductos agrícolas a ser secados.

6.3. Selección de los materiales de la cámara de Combustión.

El intercambiador de calor (Fig F-3) está constituida por dos tubos concéntricos en el cual el tubo interior es el lugar donde se produce la combustión, es decir, donde esta colocado el quemador, este tubo tiene las siguientes características:

Es un tubo sin costura , resistente a alta temperatura y de 6" de diámetro, cedula 40.

El tubo exterior sirve para formar una sección angular que permite el paso del aire atmosférico y se caliente para que éste aire sea usado para el secado, por lo tanto éste tubo exterior está contituido por una lámina de acero de 0.007 pies (2 mm) de espesor que se encuentra en el mercado.

Existen 4 pedazos de plancha que son utilizados como sosten entre el tubo interior y el tubo exterior y sirven además como aletas para mejorar la transferencia de calor , estos pedazos están

constituidos por lámina de acero de 0.007 pies (2 mm) de espesor.

6.4. Calibración del quemador.

Para determinar la eficiencia de combustión es necesario analizar los gases de escape, para lo cual se dispone de equipos tales como:

- Equipo de absorción químicos (Fyrite, Orsat).
- Equipos electroquímicos (Analizador de O₂ que utiliza celda de zirconio).

Tradicionalmente el aparato de Orsat ha sido el instrumento standard utilizado. Este instrumento analiza el CO₂,CO,O₂ y H₂. La composición obtenida es sobre una base de gas seco,aunque en la práctica se haya hecho en presencia de agua.

El metodo consiste en hacer pasar la muestra sucesivamente a través de una serie de absorbentes líquidos que separan componentes específicos. Se mide el volumen del gas, antes y después de cada pasada de absorción y la disminución en el volumen del gas representa la cantidad del constituyente presente en la mezcla.

El analizador de fyrite de CO₂ (Fig G-1) , con este aparato puede efectuar la absorción de una muestra de la combustión .

La lectura (ver Fig G-3) que se toma con el analizador de Fyrite de Bacharach nos indicará si el exceso de aire con el que trabaja el quemador es el correcto ó no.

El % de CO₂ en conjunto con la temperatura de los gases nos permitirá determinar la eficiencia de la combustión haciendo de una regla de cálculo especial.

Los pasos a seguir para efectuar una correcta medición de CO₂ con el aparato de Fyrite son los siguientes:

- 1) Tomar la muestra en el mismo sitio en que hemos tomado la temperatura de los gases de combustión.
- 2) Poner en funcionamiento el quemador de combustible y dejarlo funcionar unos 5 minutos ante de iniciar la prueba.
- 3) Introducir el tubo de toma de muestras situado en unos de los extremos de la manguera de caucho aspirador en el orificio del conducto de humos.

En otro extremo se coloca sobre la válvula del indicador de CO₂ Fyrite y se mantiene en la posición apretada. A continuación se debe bombear 18 veces la pera aspiradora (de caucho), para luego soltar el extremo del tubo de aspiración conectado a la válvula de Fyrite.

4) Invertir 2 veces el Fyrite, para que la muestra de gas borbotee a través del reactivo.

5) Volver el aparato en la misma posición normal y mantenerlo vertical. Luego en la escala se leerá la indicación correspondiente al nivel del líquido.

La interpretación de los resultados de una combustión debe ser siempre el alcanzar el máximo % de CO₂ compatible con una tabla de comparación.

Las cuasas de un bajo porcentaje de CO₂ es indicativo de algunas de las siguientes condiciones que deberán corregirse:

- a) Exceso de aire en la combustión.
- b) Cámara de combustión inapropiada ó defectuoso.
- c) Filtración de aire.
- d) Mala pulverización del combustible.

- e) Boquilla gastada, destruida ó incorrecta.
- f) Defectos en el ventilador y en el conducto de aire.
- g) Presión incorrecta del combustible.

Los dos factores que determinan la pérdida de calor en los gases de escape son:

- a) El porcentaje de CO₂ ó por exceso de aire; y
- b) La temperatura de los gases.

Esta pérdida determina a su vez el rendimiento ó eficiencia de la combustión.

La regla de cálculo Bacharach (ver fig G-2) proporciona un sistema simple rápido para determinar este rendimiento o eficiencia.

La regla dispone de 2 cursores, el primero de ellos, en al parte superior, debe colocarse con la flecha situada sobre la temperatura neta de los gases.

El segundo cursor se coloca de forma qu el % de CO₂ indicado por el fyrite aparezca en el centro de la casilla correspondiente al tipo de combustible usado.

En la escala en negro ubicada por debajo de la

escala leeremos, en el punto que coincide con la temperatura neta de los gases, el % de pérdidas en los gases de escape. Restando esta cifra de 100 tendremos la eficiencia de la combustión.

Todas las tomas de muestra de gases de escape deberán hacerse en el punto más cercano posible a la cámara de combustión, para de esta manera reducir el riesgo de que infiltraciones de aire que diluyan la muestra de gas y se introduzcan errores en el análisis.

Por una serie de motivos, se ha impuesto actualmente el encendido automático, pero por descuido en el mantenimiento puede provocar un mal funcionamiento del mismo. Para evitar que esto ocurra debe vigilarse:

- Que los electrodos de encendido se encuentran perfectamente limpios, libre de suciedad y de humedad.
- Que se mantengan las distancias recomendadas por el fabricante entre los electrodos y entre estos y la boquilla.
- Comprobar periódicamente el transformador de encendido.

- Comprobar el buen estado de las conexiones que enlazan eléctricos y transformador.

La regulación y control manual presenta una gran falta de precisión, y un alto costo de explotación y la posibilidad de errores del operador.

Para obtener un máximo rendimiento en la cámara de combustión se deben tener en cuenta los siguientes factores:

a) El exceso de aire en la cámara de combustión se debe mantener al mínimo de acuerdo con la combustión completa. Cuando la combustión se realiza con el menor exceso de aire, ocurre fundamentalmente:

- Disminución de las pérdidas de calor sensible en los gases de combustión.

- Disminución de la corrosión sulfúrica en las partes finales por menor oxígeno libres en los gases de combustión.

b) La ceniza no debe contener materia combustible sin quemar.

c) Los gases de escape de la combustión no debe contener gases combustible sin quemar.

6.5. Medición de la temperatura de salida.

La medición de la temperatura de salida del aire se efectuó a 13 pies (4 metros), de la salida del ventilador centrífugo (ver fig D-1)

En este punto, el aire atmosférico ya a recorrido el intercambiador de calor, se ha mezclado con los gases de la combustión y traspasado el ventilador, entonces se produce la mezcla aire-combustible, la cual se va a dirigir a la cama en donde se encuentra el arroz a secar.

Por las recomendaciones dadas para la temperatura que deberá tener la mezcla, se podrá decir que el proceso de secado sera aceptable, dado que los valores obtenidos de la temperatura se encuentran dentro del rango recomendado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones:

1. Por los valores obtenidos experimentalmente de temperatura, flujo de aire y de presión estática se puede concluir que la secadora podría secar los 200 qg de arroz en las 14 horas.
2. Toda la energía que contienen los gases producto de la combustión es recuperada cuando se mezclan el aire y los gases productos de la combustión.
3. El quemador está trabajando alrededor de un 3 % por debajo de su capacidad total, un 0.14 % de calor se escapa al ambiente por el ventilador y un 0.13% de calor se escapa al ambiente por el tubo exterior del intercambiador de calor.
4. El valor medido de la temperatura del aire a la salida de la secadora, se encuentra a un 3 % de la temperatura de diseño para el proceso de secado.
5. El ventilador centrífugo de la secadora genera 0.5 pulg. de H₂O de presión estática más de la que es necesaria para vencer la resistencia de la

columna de arroz.

6. Las dimensiones y el tipo, del tubo interior del intercambiador de calor, son apropiadas para que el quemador pueda producir correctamente la combustión.
7. El tamaño y el espesor, del tubo exterior del intercambiador de calor, son seleccionados para que las paredes del tubo no logre elevadas temperaturas, por lo que evitaría posibles accidentes.
8. Al cambiar de boquilla al quemador para disminuir su capacidad a valores no recomendado por los fabricante, el quemador sufrirá una disminución de su eficiencia.
9. La duración del tiempo de secado está determinado por diversos factores tales como: Flujo de aire, altura de la columna de arroz, cantidad de arroz, condiciones ambientales del medio, cantidad de humedad a evaporar y capacidad del quemador.
10. No es necesario personal calificado para el funcionamiento de la secadora.

Recomendaciones:

1. Diseñar el lecho donde se deposita el producto, de forma rectangular, y que el lado más pequeño se encuentre perpendicular al flujo de aire que sale el ventilador.
2. Colocar un medidor de temperatura a la salida del ventilador para verificar si la temperatura del aire se encuentra entre valores que no pueda producir daño al grano de arroz.
3. Trabajar con quemadores apropiados.
4. Al cambiar de boquilla al quemador para aumentar o disminuir su capacidad, se deberá colocar las partes que son removidas en las posiciones recomendadas por el fabricante.
5. Se deber colocar una trampa en el extremo del tubo interior del intercambiador de calor para que la llama del quemador no llegue a destruir los alabes del ventilador.
6. Inspeccionar periódicamente las conecciones eléctricas y los equipos de la secadora.
7. Apagar el quemador si las condiciones atmosférica lo permite durante el secado.

8. Verificar periódicamente durante el secado, la humedad y temperatura que tiene el producto en diferentes puntos de la columna de arroz.
9. Los granos de arroz deben estar lo más limpio posible antes de realizar el secado.
10. Al finalizar el trabajo del equipo, apagar el quemador y dejar el ventilador encendido aproximadamente 5 minutos.

A P P E N D I C E S

APENDICE A

CONDICIONES AMBIENTALES

En este apéndice se ha incluido las condiciones de equilibrio entre los diferentes tipos de granos a secar y el aire del medio ambiente.

Además condiciones climatológica de la ciudad de guayaquil de los dos últimos años.

TABLA A-1

Valores de equilibrio entre la humedad relativa del aire y el producto a secar hasta un determinado porcentaje de humedad.

Humedad relativa	Porcentaje de humedad del grano.				
	Arroz	Maiz desgr.	Trigo	Sorgo	Frijol
15%	5.6%	6.4%	6.4%	6.4%	---
30%	7.9%	8.4%	8.5%	8.6%	6.2%
45%	9.8%	10.5%	10.5%	10.5%	7.4%
55%	11.1%	12.1%	11.8%	11.5%	8.9%
60%	11.8%	12.9%	12.5%	12.0%	9.7%
65%	12.5%	13.5%	13.2%	13.0%	10.8%
70%	13.2%	14.1%	13.9%	14.1%	12.0%
75%	14.0%	14.8%	14.6%	15.2%	13.2%
80%	14.8%	15.5%	15.3%	16.3%	14.4%
90%	17.6%	19.1%	20.1%	18.8%	18.5%

(tomada de Ref.1).

TABLA A-2

Valores promedio de temperatura y humedad relativa del medio ambiente.

	Año 1.992		Año 1.993	
	Humedad(%)	Temp.(C)	Humedad(%)	Temp.(C)
Febrero	80	26.9	83	25.8
Marzo	83	27.1	79	26.9
Abril	80	27.7	78	27.0
Mayo	79	27.5	77	26.6
Junio	76	25.9	76	25.6
Julio	75	24.3	76	24.6
	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	79.3	26.6	78.2	26.1

De dichos datos. Podemos concluir que las condiciones ambientales promedio de los meses de mayor humedad la ciudad de Guayaquil sería de 79 °F (26 °C) con una humedad relativa de 80 %.

Tabla A-3 Equivalencia % de humedad entre base seca y base humedad de un grano

Porcentaje Base humedad	Porcentaje base seca
35 %	53.8 %
34 %	51.5 %
33 %	49.3 %
32 %	47.1 %
31 %	44.9 %
30 %	42.9 %
29 %	40.8 %
28 %	38.9 %
27 %	37.0 %
26 %	35.1 %
25 %	33.3 %
24 %	31.6 %
23 %	29.9 %
22 %	28.2 %
21 %	26.6 %
20 %	25.0 %
19 %	23.5 %
18 %	21.9 %
17 %	20.5 %
16 %	19.0 %
15 %	17.6 %
14 %	16.3 %
13 %	14.9 %
12 %	13.6 %
11 %	12.4 %

(tomada de Ref. 1).

APENDICE B

TEMPERATURAS MAXIMAS

En este apéndice se proporciona una tabla de la máxima temperatura que puede proporcionarle al aire para que éste no destruya la estructura del grano.

TABLA B-1

Temperatura de secamiento máximas recomendadas

Clase de grano	Humedad,% en B.H.	Temperatura(°F)
Maíz de semilla	más de 25%	90-110
Maíz de semilla	menos de 25 %	110-120
Maíz de alimentación	más de 25 %	120-175
Maíz de alimentación	menos de 25 %	130-180
Maíz comercial	para molienda humedad	130-135
Granos Pequeños	semilla	120
Granos pequeños	comercial	180
Frijol de soya	semilla	110
Frijol de soya	comercial	180
Pastula	alimentación	150

(tomada de Ref. 3)

Fig. D.1 Medición de temperatura, presión
estática y dinámica.



APENDICE C

ENERGIA DISPONIBLE

Como en el mercado la capacidad de un quemador se lo conoce por galones/horas , es por esa razón se calcula la cantidad de energía que contiene un galon de diesel.

GE (gravedad especifica del diesel) = 0.85

PCI(Poder calorifico inferior del diesel)

PCI = 18.500 BTU / LB.

mf (flujo masico de combustible)

EQC (energía química del combustible)

EQC = mf * PCI

$$= 1 \text{ gal/hr} * 4 \text{ litros/1gal} * \text{m}^3 / 1000\text{lt} * \\ (3.28 \text{ ft/m})^3 * 0,85 * 62.4 \text{ lb} / \text{ft}^3 * 18.500 \\ \text{btu/lb.}$$

Por tanto 1 galon de diesel = 138.502 BTU.

Entonces la capacidad del quemador en termino de

APENDICE D

VALORES EXPERIMENTALES DE TEMPERATURA Y PRESION

Para obtener éstos valores experimentales se utilizó un cilindro con 1,8 pies (0.61 metros) de diámetro y 16 pies (5 metros) de largo, un extremo del cilindro se conecto a la salida del ventilador centrífugo y el otro extremo se colocó una tapa para extrangular poco a poco al flujo de aire, las mediciones se realizó a 13 pies (4 metros) de la salida del ventilador.

TABLA D-1

Datos de la posición N# 1

Posición (cm)	Pv (in de H2O)			Tm (°C)	Pe (in de H2O)	Ta (°C)	Abertura (cm)
	A	B	C				
30	0.08	0.08	0.08				
25	0.09	0.08	0.07	42.0			
20	0.09	0.08	0.07	42.0	7.3	26.5	1
15	0.10	0.09	0.08	41.8			
10	0.11	0.09	0.09	41.8			
5	0.12	0.10	0.10	41.0			

TABLA D-2

Datos de la posición N# 2

Posición (cm)	Pv (in de H2O)			Tm (°C)	Pe (in de H2O)	Ta (°C)	Abertura (cm)
	A	B	C				
30	0.19	0.18	0.18				
25	0.20	0.19	0.20	38.0			
20	0.18	0.19	0.19	38.5	5.9	26	3
15	0.19	0.19	0.19	38.0			
10	0.20	0.18	0.18	37.5			
5	0.19	0.18	0.17	37.0			

TABLA D-5

Datos de la posición N# 5

Posición (cm)	Pv (in de H2O)			Tm (°C)	Pe (in de H2O)	Ta (°C)	Abertura (cm)
	A	B	C				
30	0.47	0.47	0.47				
25	0.45	0.45	0.44	36.0			
20	0.44	0.44	0.42	36.5	3.5	28	6.5
15	0.42	0.42	0.41	36.0			
10	0.40	0.40	0.39	35.5			
5	0.39	0.38	0.40	35.0			

TABLA D-6

Datos de la posición N# 6

Posición (cm)	Pv (in de H2O)			Tm (°C)	Pe (in de H2O)	Ta (°C)	Abertura (cm)
	A	B	C				
30	0.54	0.54	0.53				
25	0.53	0.52	0.53	34.5			
20	0.52	0.52	0.51	34.0	3.15	27	8
15	0.50	0.51	0.50	34.0			
10	0.50	0.50	0.48	34.0			
5	0.48	0.49	0.47	33.5			

TABLA D-7

Datos de la posición N# 7

Posición (cm)	Pv (in de H2O)			Tm (°C)	Pe (in de H2O)	Ta (°C)	Abertura (cm)
	A	B	C				
30	0.59	0.56	0.57				
25	0.55	0.59	0.58	33.9			
20	0.58	0.58	0.59	33.8	2.56	26	10
15	0.56	0.57	0.57	33.2			
10	0.57	0.59	0.60	33.2			
5	0.55	0.54	0.55	33.0			

TABLA D-8

Datos de la posición N# 8

Posición (cm)	Pv (in de H2O)			Tm (°C)	Pe (in de H2O)	Ta (°C)	Abertura (cm)
	A	B	C				
30	0.62	0.61	0.62				
25	0.61	0.61	0.61	34.0			
20	0.60	0.59	0.58	34.0	2.4	27	12
15	0.59	0.57	0.57	33.5			
10	0.57	0.56	0.56	33.5			
5	0.56	0.54	0.54	33.0			

TABLA D-9

Datos de la posición N# 9

Posición (cm)	Pv (in de H2O)			Tm (°C)	Pe (in de H2O)	Ta (°C)	Abertura (cm)
	A	B	C				
30	0.69	0.69	0.68				
25	0.72	0.69	0.70	33.5			
20	0.69	0.70	0.70	33.5	1.77	26	14
15	0.68	0.74	0.68	33.5			
10	0.71	0.72	0.65	33.0			
5	0.67	0.65	0.60	32.0			

TABLA D-10

Datos de la posición N# 10

Posición (cm)	Pv (in de H2O)			Tm (°C)	Pe (in de H2O)	Ta (°C)	Abertura (cm)
	A	B	C				
30	0.80	0.80	0.77				
25	0.83	0.83	0.80	32			
20	0.85	0.83	0.80	32	1.3	26	18
15	0.83	0.83	0.80	32			
10	0.80	0.82	0.75	32			
5	0.76	0.75	0.68	33			