

T  
631.36  
C216



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

DISEÑO DE UNA SECADORA DE ARROZ TIPO COLUMNA

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentado por:

EDISON ROBERTO CANDELARIO VERA

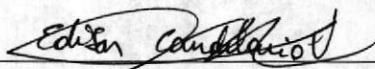
Guayaquil - Ecuador

1995

## DECLARACION EXPRESA

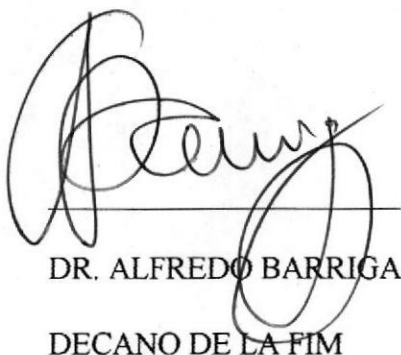
"La responsabilidad por los hechos, ideas, y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL)

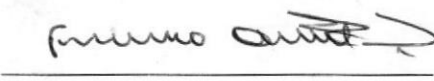


---


EDISON ROBERTO CANDELARIO VERA




DR. ALFREDO BARRIGA  
DECANO DE LA FIM



ING. FRANCISCO ANDRADE  
DIRECTOR DE TESIS



ING. EDMUNDO VILLACIS  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



ING. MARCO TULIO MEJIA  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

## **AGRADECIMIENTO**

Al Ing. Francisco Andrade Sanchez , Director de Tesis ,  
por su ayuda y colaboración para la realización de este  
trabajo.

## RESUMEN

En el país se construyen muchos tipos de secadoras semiautomáticas de arroz, en las cuales el grano permanece estático durante el proceso de secado. Estas presentan limitaciones en el producto final, es decir, el grano debido al recalentamiento presenta un secado irregular y de mala calidad.

La secadora tipo columna con flujo continuo de grano controlado por una esclusa en la descarga, permite un secado uniforme y de calidad, logrado en varias pasadas en una operación automática y su diseño beneficia tanto al pequeño como al gran productor. Entre los elementos que constituyen el sistema de secado tenemos: la secadora tipo columna, la cual esta constituida por tres volúmenes: uno superior o de almacenamiento, uno intermedio o de secamiento y otro inferior o de descarga, así como un silo receptor con una esclusa en su descarga, un sistema de transporte neumático desde el silo hacia la secadora y otro desde la secadora hacia el silo, dos separadores de grano, un equipo de combustión que produce el aire caliente y cuyo quemador utiliza diesel, los cuales serán determinados en el diseño general.

Se realiza un análisis económico para evaluar la aplicación del sistema de secado, así como un programa por computadora que facilite su diseño. En base a lo anterior se puede diseñar plantas de secamiento para cualquier capacidad y tipo de grano, dependiendo de la necesidad del productor.

## INDICE GENERAL

	PAG.
RESUMEN .....	V
INDICE GENERAL .....	VI
INDICE DE FIGURAS .....	X
INDICE DE TABLAS .....	XII
NOMENCLATURA .....	XIII
INTRODUCCION .....	XVII

### CAPITULO 1 : FUNDAMENTOS DEL SECADO

1.1. Propiedades físico - químicas del grano de arroz .....	19
1.2. Dinámica del secado .....	20
1.3. Problemas particulares en el secado .....	26
1.4. Conservación de los granos .....	26

### CAPITULO 2 : EL SISTEMA DE SECADO

2.1. Definición .....	30
2.2. Elementos constitutivos .....	31
2.2.1. La estructura de la secadora .....	31
2.2.2. El quemador y la cámara de combustión .....	33
2.2.3. El transporte neumático .....	37

2.2.4. La esclusa de descarga .....	44
2.2.5. El silo de recepción .....	55
2.2.6. Los ciclones separadores de grano .....	55
2.2.7. Los ventiladores del sistema de secado .....	61
2.2.8. Los controles del secado .....	63
2.3. Parámetros del secado .....	64
2.3.1. Capacidad de evaporación del sistema .....	64
2.3.2. Tiempo de secado .....	65
2.3.3. Rendimiento del sistema .....	65
2.3.4. Temperatura del aire de secado .....	66
2.3.5. Consumo de combustible .....	66
2.3.6. Consumo específico de energía eléctrica .....	67

### CAPITULO 3 : DISEÑO DEL SISTEMA DE SECADO

3.1. Diseño de la estructura de la secadora .....	69
3.1.1. Determinación del volumen de secado .....	70
3.1.1.1. Determinación del flujo de aire necesario para el proceso .....	71
3.1.1.2. Determinación de la energía calorífica requerida en base a las condiciones del grano .....	73
3.1.1.3. Determinación de la presión estática requerida por el ventilador .....	74

3.1.1.4. Selección del ventilador .....	79
3.1.2. Determinación del volumen de almacenamiento .....	80
3.1.2.1. Determinación de la sección transversal .....	80
3.1.2.2. Determinación de la altura necesaria para acumular el grano .....	80
3.1.3. Determinación de la tolva de descarga .....	83
3.2. Selección del quemador .....	83
3.2.1. Determinación de la temperatura de mezcla .....	84
3.2.2. Determinación de la cámara de combustión .....	87
3.3. Selección del silo receptor .....	92
3.4. Selección del sistema de transporte neumático .....	93
3.4.1. Determinación de las dimensiones del sistema de transporte neumático desde el silo hacia la secadora .....	93
3.4.1.1. Caída de presión en el ducto .....	93
3.4.1.2. Selección del ciclón separador de grano en la secadora .....	97
3.4.1.3. Selección del ventilador .....	99
3.4.2. Determinación de las dimensiones del sistema de transporte neumático desde la secadora hacia el silo .....	99
3.4.2.1. Caída de presión en el ducto .....	99
3.4.2.2. Selección del ciclón separador de grano en el silo .....	103
3.4.2.3. Selección del ventilador .....	105
3.5. Diseño de la esclusa .....	105
3.5.1. Determinación del volumen de descarga , revolución del rotor,	

caudal y capacidad de grano .....	106
3.5.2. Termo-deformación del rotor .....	108
3.5.3. Determinación del eje del rotor .....	109

#### CAPITULO 4 : ANALISIS ECONOMICO

4.1. Análisis de costo de la secadora .....	115
4.2. Comparación de costos con la secadora importada .....	118

#### CAPITULO 5 : ELABORACION DEL PROGRAMA DE COMPUTADORA

##### EN LENGUAJE BASIC PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE SECADO

5.1. Variables determinadas por el programa .....	119
5.2. Fórmulas especificadas del programa .....	127
5.3. Codificación del programa .....	128
5.4. Datos de entrada .....	142
5.5. Datos de salida .....	142
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	152
APENDICES .....	157
BIBLIOGRAFIA .....	199

## INDICE DE FIGURAS

	<b>PAG.</b>
1.1 Curva de equilibrio higroscópico aire-grano de arroz .....	22
1.2 Comportamiento de la humedad del arroz durante el secado en una instalación tipo columna (+) y lechos constituidos por dos columnas en serie(.) .....	25
1.3 Influencia de la temperatura y la humedad relativa del grano sobre el tiempo de almacenaje sin necesidad de aireación .....	29
2.1 Contenedor de columna con paredes planas .....	32
2.2 Esquema de un generador de aire caliente de fuego directo .....	35
2.3 Esquema de un generador de aire caliente de fuego indirecto .....	35
2.4 Esquema de los tipos de transporte .....	39
2.5 Comportamiento del flujo de producto en ductos .....	40
2.6 Esclusas con entrada de tipo redonda y rectangular .....	47
2.7 Tipos de rotores para esclusas .....	53
2.8 Tipos de sellos para esclusas .....	54
2.9 Dimensiones de un ciclón estándar .....	57
2.10 Curvas de eficiencia versus tamaño de partícula .....	57
3.1 Análisis matemático y distribución de momento y torque sobre el eje .....	114
5.1 Diagrama de flujo explicativo del calculo de la columna secadora .....	127
A.1 Diagrama de Moody .....	159
A.2 Carta psicrométrica .....	160
A.3 Fricción del aire en ductos rectos para volúmenes de 1000 a	

100000 cfm .....	161
A.4 Coeficiente modificador de perdidas .....	162
A.5 Perdidas de presión a través de un lecho de cereal .....	163
A.6 Emisividad del vapor de agua para un sistema hipotético a 1 atmósfera de presión y 0 presión parcial .....	164
A.7 Medida experimental de la emisividad del bióxido de carbono a 1 atmósfera de presión total .....	165
A.8 Factor $C_p$ para corregir la emisividad del vapor de agua a valores de $p$ y $p_t$ diferentes a 0 y 1 atmósfera .....	166
A.9 Factor $C_p$ para corregir la emisividad del $CO_2$ a 1 atmósfera de presión total a la emisividad de $p_t$ atmósferas .....	167
A.10 Factor de corrección asociado con mezclas de vapor de agua y bióxido de carbono .....	168
A.11 Factor de temperatura $F_t$ , como función de la temperatura en grados Fahrenheit .....	169
A.12 Numero medio de Nusselt con respecto a la longitud de tubo para gases en flujo laminar .....	170
C.1 Velocidades de transporte .....	185

## INDICE DE TABLAS

	<b>PAG.</b>
2.1 Dimensiones del ciclón estándar .....	56
A.1 Equivalencia circular de ductos rectangulares con igual capacidad y fricción .....	171
A.2 Perdida de presión en un codo rectangular .....	172
A.3 Reganancia de presión estática por expansión .....	172
A.4 Perdidas de presión por contracciones .....	174
A.5 Tipos de esclusas para sistemas de transporte neumático .....	175
A.6 Ajustes para desplazamiento y rotación .....	176
A.7 Fuerza de sujeción típica para tornillos prisioneros .....	177
A.8 Dimensiones del chavetero en el eje .....	178
A.9 Dimensiones recomendadas para la camara de combustion .....	179
C.1 Densidad del arroz y sus productos .....	186

## NOMENCLATURA

A : Area

C : Coeficiente de arrastre

$C_d$  : coeficiente de perdidas por cambio de sección

D : diámetro

$d_i$  : diámetro equivalente a la entrada

dir : dilatación radial

$D_b$  : Diámetro del cuerpo del ciclón

$D_e$  : Diámetro de descarga del gas en el ciclón

$d_H$  : diámetro de los agujeros de la lamina

$d_o$  : diámetro equivalente a la salida

$D_s$  : Diámetro del sólido

$D_{sc}$  : Diámetro depositado con un 50% de eficiencia

$D_t$  : Diámetro de tubería

$f_G$  : Factor de fricción para ventilación

$f_s$  : Factor de fricción sólido

G : gasto de combustible

g : Aceleración de la gravedad

$g_c$  : Constante dimensional

h : coeficiente convectivo

H : Altura

$h_A$  : entalpia del aire a temperatura ambiente

$h_B$  : entalpia del aire a la temperatura de secado

$h_L$  : coeficiente de fricción por cada 100 pies de tubería

HP : Caballos de fuerza

$H_v$  : numero de cabezales de velocidad

K : constante

L : constante

lb : Libra

$L_b$  : Longitud del cuerpo del ciclón

$L_c$  : Longitud del cono del ciclón

$L_H$  : Longitud horizontal del ducto

$L_V$  : Longitud vertical del ducto

m : flujo de grano

N : velocidad de rotación del ventilador

$N_e$  : Numero efectivo de vueltas del flujo en el ciclón

P : potencia

$p_v$  : Presión de velocidad

q : energía calorifica

Q : Caudal

R : Razón de flujos

$R_e$  : Numero de Reynolds

V : velocidad

$V_f$  : Velocidad con que flota el sólido

$V_G$  : Velocidad del gas de transporte

$V_i$  : Velocidad de entrada al ciclón

$VP_i$  : presión de velocidad a la entrada

$VP_o$  : presión de velocidad a la salida

$V_r$  : Velocidad relativa entre gas y sólido

$V_s$  : velocidad de saltación del sólido en el ciclón

$V_{sh}$  : Velocidad del sólido horizontal

$V_{sv}$  : Velocidad del sólido vertical

$V_t$  : Velocidad terminal que permite a una partícula depositarse en un tiempo  $\Delta t$

$W$  : Ancho

$\Delta P$  : Caída de presión

$\Delta t$  : Tiempo de permanencia del gas en el vórtice exterior

$\Delta T$  : elevación de temperatura

$\eta$  : Eficiencia

$\rho_D$  : Densidad del gas de secado

$\rho_G$  : Densidad del gas de transporte

$\rho_s$  : Densidad del sólido

$\rho_{dG}$  : Densidad del gas disperso

$\rho_{ds}$  : Densidad del sólido disperso

$\rho_v$  : Densidad del gas saturado

$\pi$  : 3.1416

$\psi$  : función representativa en el ciclón

$\theta$  : ángulo

$\mu_G$  : Viscosidad del gas de transporte

$\mathcal{V}_z$  : Velocidad de rotación del rotor

$w$  : peso

" de H<sub>2</sub>O : Pulgadas de agua

## INTRODUCCION

Al secar arroz es importante guardar ciertas consideraciones que van a mejorar la calidad del grano y que sin duda pueden significar un mayor rendimiento en el proceso industrial. De hecho los sistemas de secado pueden continuamente ser mejorados en base a estudios y resultados anteriores que se apeguen a las normas y controles existentes.

El sistema tradicional de secado consiste en someter al producto a la acción de una corriente de aire caliente que atraviesa la masa de granos. Si es logrado en una pasada, puede presentar un secado irregular y un alto numero de granos partidos en la molienda, así como la perdida en la producción por la carga y descarga del grano.

La calidad del producto puede mejorarse con la recirculación hacia una cámara secadora para finalmente ser enviado al almacén. Esto requiere un sistema automático, lo que trae el problema de relacionar sus dimensiones con la producción en cosecha.

El diseño de un sistema de secado de grano de tipo automático con paradas solo en la carga y descarga del producto, entendiéndose que la masa de grano que se ha descargado es la de un pequeño almacén, tiene como objetivo resolver el problema expuesto anteriormente.

χ En el presente trabajo se realiza el análisis y selección de los transportadores y equipos de descarga a utilizar, del quemador y el equipo de generación del gas de

secado, del separador de grano y todos los equipos adicionales que componen el sistema.

Se tiene además la seguridad de recuperar el capital invertido en la adquisición del sistema, basado en un análisis económico del mismo, así como de demostrar que el sistema construido en el medio representa una ventaja económica considerable comparado con el sistema importado.

Si se desea, se puede rediseñar el sistema con la ayuda de un programa por computadora, y que esta en relación con la necesidad de cada productor, lo que sin duda permite mejorar la calidad de grano que es de consumo elevado en nuestro medio y que puede competir ampliamente con otros mercados por su mejor calidad.

## CAPITULO I

### FUNDAMENTOS DEL SECADO

#### 1.1. Propiedades físico - químicas del grano de arroz

Los granos después de cosechados, continúan viviendo y, como todos los organismos vivos, respiran. A través del proceso respiratorio los granos están sujetos a pequeñas pero continuas transformaciones. La alteración química mas importante es aquella que involucra la respiración de los granos húmedos.

La respiración en condiciones aeróbicas (en presencia de oxígeno libre) es el proceso por el cual las células vivas del vegetal, a través del oxígeno atmosférico, oxidan los carbohidratos y grasas, produciendo anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y liberando energía en forma de calor.

Si la intensidad de la respiración es muy grande, los granos absorberán la humedad y la temperatura aumentará. Considerando las condiciones ambientales, la respiración del grano aumentará considerablemente, por lo que se hace evidente establecer condiciones en las cuales los granos puedan respirar lo menos posible .

Para granos crudos provenientes de la cosecha y que son almacenados a baja temperatura (32 °F), la respiración es reducida y a una temperatura de almacenaje mas alta (86 °F), la respiración es aun insignificante siempre y

cuando la humedad del grano sea suficientemente baja. Esto puede verse en la fig. 1.1.

## 1.2. Dinámica del secado

El secado artificial de los productos agrícolas en particular de los cereales (especialmente maíz, arroz, trigo y sorgo), consiste en una rápida eliminación del contenido de agua en exceso que nos garantice una sana conservación.

La humedad de cosecha del maíz y el arroz, puede variar de un mínimo del 17-18 % a un máximo del 33-35% según la condición climática y el estado de maduración del producto. La reducción de humedad para llegar al límite de seguridad se la fija sobre el 13-14% y de allí la necesidad de minimizar la pérdida cuantitativa y cualitativa, protegiendo durante el periodo de almacenamiento al germen de ataques de microorganismos e impidiendo la degradación de sus componentes químicos.

Para los cereales mencionados se propone un proceso de secado artificial y no natural, ya que la radiación solar en el periodo de maduración y cosecha no produce la evaporación del exceso de agua contenida en el grano. Tal efecto radiante se logra mediante un calentamiento del aire en el ambiente y con un apropiado sistema de secado se podrá reducir su humedad relativa que equivale a un aumento de su poder evaporativo. El grado de aprovechamiento de este último punto esta en relación a la condición de humedad del producto y desaparece cuando ocurre el equilibrio higroscópico entre el aire del ambiente y

el cereal, y no existe entonces paso de agua bajo forma de vapor desde el cereal al aire. De aquí la necesidad del secado artificial que esta en capacidad de lograr la evaporación de agua en el germen con el correspondiente paso de agua hacia el aire.

En el diagrama propio de equilibrio higroscópico (fig. 1.1) puede verse si hay la posibilidad de que el secado sea con o sin calentamiento artificial del aire. En el mismo gráfico se observa que para aire ambiente a 65% de humedad relativa (valor bajo el cual no se desarrollan microorganismos y son bloqueadas las actividades de las enzimas) y a 20 °C de temperatura, la humedad de equilibrio del arroz es del 13%, es decir, con estas características se puede almacenar con simple ventilación (es decir sin necesidad de calentamiento del aire) y se lo lleva a la condición de conservación como los demás cereales.

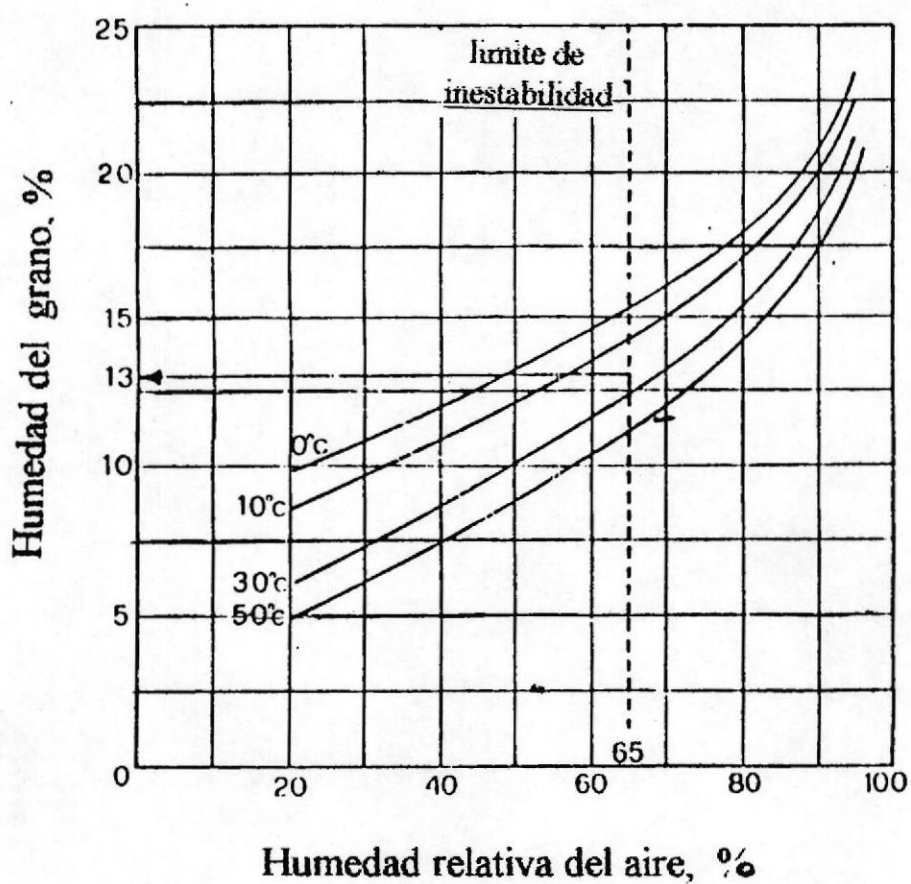


Figura 1.1 Curva de equilibrio higroscópico aire-grano de arroz (ref. 6, pág. 11)

De la misma curva se puede notar que a la par con la humedad relativa del aire, la humedad de equilibrio del arroz aumenta al disminuir la temperatura; así con aire ambiente siempre al 65% de humedad, se puede conservar el producto al 15,5% de humedad cuando el aire está a una temperatura de cerca de 0 °C. En otras palabras, con el enfriamiento se puede conservar cereales a humedades elevadas sin que se presenten fenómenos de degradación de sus sustancias.

Es por otra parte evidente que no siendo fácilmente realizable la condición física del aire del citado ejemplo en la estación de cosecha del arroz, se debe llegar a una oportuna instalación para lograr el calentamiento del aire, realizando así un secado propio y veraz. Un eventual uso del aire ambiente tendrá valores del orden de 0.8 - 1.0 pie<sup>3</sup>/min por pie<sup>3</sup> de grano, también interesa ventilar el silo de depósito mientras espera para entrar en el proceso de secado.

Pasando ahora a la dinámica del secado, la evaporación del agua del germen se logra haciendo pasar a través de ésta, una masa de aire caliente (basado en que su porosidad puede llegar hasta un 40%), que provee en la primera fase del proceso, la eliminación de agua de la capa externa, o bien de aquella proveniente del exterior bajo forma de lluvia, rocío o niebla y que está presente en la superficie del grano. En la segunda fase, el flujo de calor va a eliminar el agua contenida en la capa externa o cascarilla del grano.

En el secado interesa la tercera fase del proceso, es decir, aquella sustancia constitutiva del germen cuya eliminación ocurre a temperatura notablemente superior y es parte de la sustancia orgánica misma.

En segundo lugar la evaporación del agua procedente de la capa interna hacia la externa del germen se presenta en condición siempre mas difícil con el consiguiente y lógico aumento del tiempo de secado y menor aprovechamiento del poder evaporativo del aire caliente.

A tal fenómeno en el arroz se le atribuye la disminución de la conductividad interna del cereal al proceder el secado con la parte externa protegida del grano (la cascarilla) y se desprende gradualmente de la parte interna de éste, ya que va seguido por la eliminación de la molécula de agua en la misma.

Todo esto puede observarse en el gráfico de la fig. 1.2 relativo a dos diversos tipos de instalación, y es donde ocurre la mayor velocidad de disminución de la humedad del grano. Se halla en la primera hora y media de secado (de 3 a 5 puntos después de la humedad inicial), mientras el moderamiento mas corto se tendrá en relación a la humedad mas baja con tiempos de cerca de una hora y media para eliminar el ultimo punto de humedad.

De aquí la importancia para el arroz de una subdivisión del proceso en varios intervalos a fin de lograr una disminución del tiempo de secado y del aumento del rendimiento térmico de la instalación. En efecto, el fenómeno del reposo del producto en silos que sigue a la interrupción de la exposición en aire caliente es

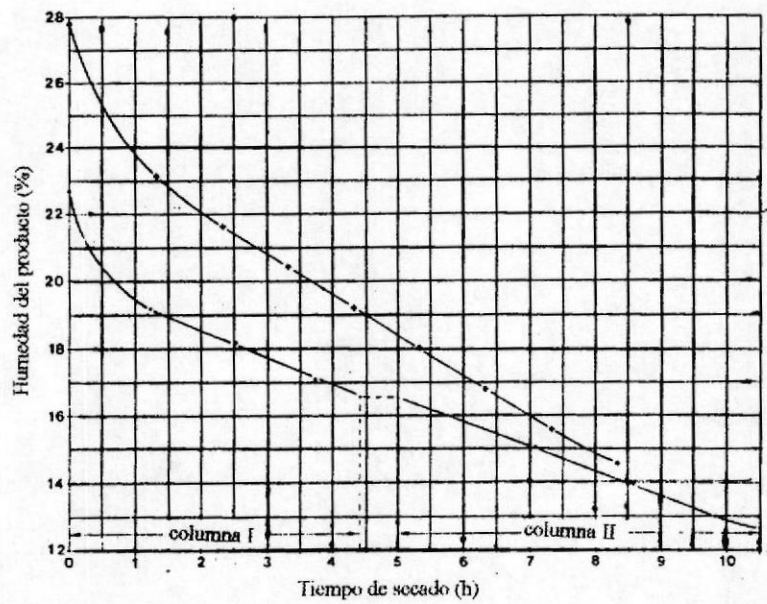


Figura 1.2 Comportamiento de la humedad del arroz durante el secado en una instalación tipo columna zigzag (+) y en lechos constituidos por dos columnas en serie (.) (ref. 6, pág. 12).

consecuente a la difusión del agua liberada contra la capa externa del germen con la consiguiente restauración del contacto cascarilla-grano y el paso de agua de la capa mas húmeda a aquella mas seca, rindiendo aun mas uniformemente la humedad de la masa a secar, debida a la homogeneidad alcanzada durante el reposo. Todo esto es realizable en la instalación que se establezca, y el producto puede descansar en los silos de 5 a 10 horas y en mas de una ocasión con una reducción del tiempo de secado del orden del 10-20%, mientras el rendimiento térmico se puede elevar de 5-10%.

### **1.3. Problemas particulares en el secado**

El arroz es un cereal muy susceptible a ser dañado, por falta de aireación o por secado con alta temperatura. Resultan degradaciones o alteraciones químicas (carbohidratos, grasas, proteínas y vitaminas) y baja la calidad de transformación en la piladora (alto numero de granos partidos). La temperatura del aire de secado no puede pasar los 38-40 °C. Por consiguiente, la necesidad de calor para evaporar el agua resulta muy alta.

### **1.4. Conservación de los granos**

Durante el almacenaje, los granos están sometidos a un proceso continuo de perdida de peso y de descomposición. El fenómeno se debe en parte a la respiración de los granos y en parte al ataque de los microorganismos.

Desde el primer punto de vista, hay que recordar que cada grano dentro del producto que se cosecha, seca y almacena es un ser que vive. Como tal hay que considerarlo y tratarlo, o sea que los granos interesan como semilla, como empleo alimenticio o como utilización industrial. Respectivamente en los tres casos, las características más importantes son el poder alimenticio, el poder germinativo y la condición de acaparar otros compuestos. Para cada una de estas características corresponden diferentes procesos de secado y de conservación.

Los granos en efecto, no pueden normalmente ser conservados en las condiciones de cosecha. A través del secado son llevados a un estado de reducida actividad biológica. Esto es importante y a pesar de todas las precauciones tomadas, el peso de un producto almacenado se reduce del 3 al 5% por año. La razón de esta pérdida se la atribuye de manera predominante a la respiración de los granos .

Para una correcta conservación de los granos se consideran tres factores: oxigenación, temperatura y humedad. La oxigenación resulta el parámetro menos importante si la conservación del producto se mira como proyección del problema de secado. Insuflando oxígeno, se mantiene constante la temperatura de los silos, pero los granos tienen una intensa actividad biológica y pierden peso. Por otra parte, en los silos de cerramiento hermético o con atmósfera inerte, se obtuvieron resultados alternativamente positivos y negativos y en este momento esta solución es aconsejable solo para un eventual empleo de los granos como alimento para animales.

Hay que considerar además la temperatura y la humedad. Su influencia sobre la conservación de los granos está indicada en la fig. 1.3. Sobre el gráfico se muestra la influencia de la temperatura y de la humedad relativa sobre el tiempo durante el cual el producto puede conservarse sin necesidad de aireación. Las curvas fueron obtenidas teniendo en cuenta un límite superior de pérdida de peso a causa de la actividad biológica.

Además, con el aumento de la temperatura y la humedad relativa, nacen pronto fenómenos colaterales, tales como la fermentación del producto, el desarrollo de hongos y el calentamiento. De la observación de la fig. 1.3, se pueden ver con claridad los límites a los cuales hay que llegar a secar el producto, según las condiciones del ambiente, para garantizar un tiempo de conservación largo y seguro.

Cuando un grano no se ha secado hasta un porcentaje correcto de humedad, pueden desarrollarse fermentaciones. Estas provocan el calentamiento del grano, que causa a su vez un aumento de la respiración.

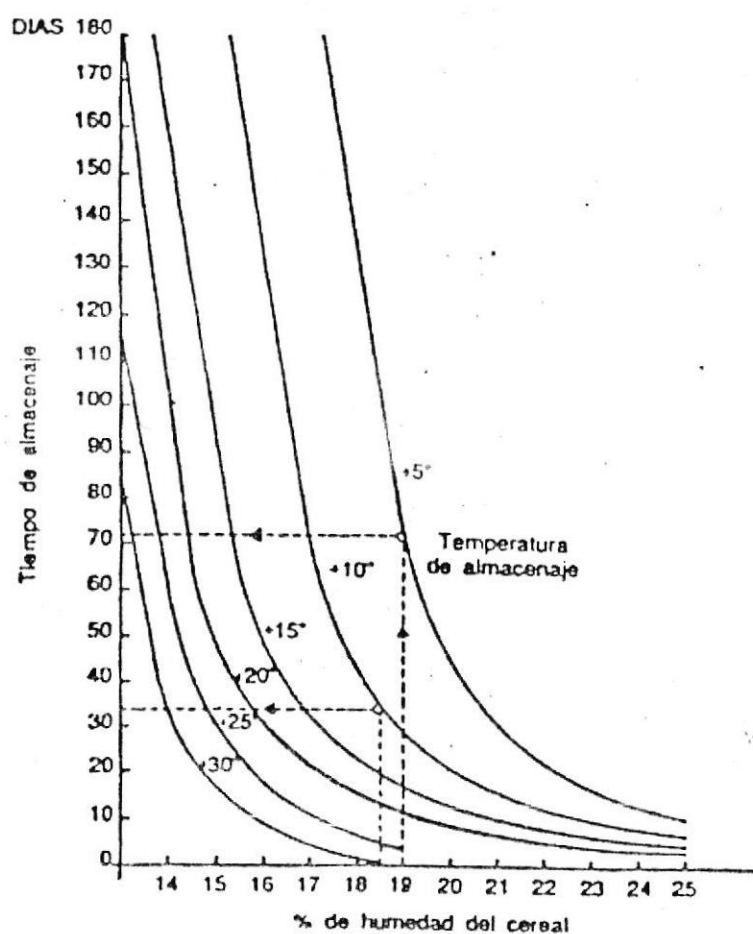


Figura 1.3 Influencia de la temperatura y de la humedad relativa del grano sobre el tiempo de almacenaje sin necesidad de aireación (ref. 7, pág. 37)

## CAPITULO II

### EL SISTEMA DE SECADO

#### 2.1. Definición

El sistema de secado es el conjunto de elementos que contribuyen a reducir el contenido de humedad del grano durante todo un proceso. Estos elementos son: la estructura de la secadora, el quemador, los ventiladores, los transportadores y elevadores, los equipos de descarga, y los almacenes (si fueran parte del proceso).

Por la *ref. 5, pp.17-18* se sabe que el contenido de humedad del arroz crudo acabado de cosechar está entre el 20 y 24%. En tales condiciones, si este es almacenado, perdería su valor en pocos días tomando una coloración amarillenta para deteriorarse por completo en poco tiempo.

El secado de arroz solar puede ocasionar que en horas ardientes, el grano se seque demasiado rápido, se reseque y como consecuencia, los granos se quiebren.

Este mismo problema se presenta en la secadora si utiliza aire demasiado caliente y se trata de disminuir la humedad del grano de un solo paso .

El arroz crudo debe rebajarse al secarlo hasta :

12-13% de humedad para almacenaje de varios meses .

13-14% de humedad para elaboración de molinera dentro de dos meses .

14-15% de humedad para arroz de siembra .

Si la humedad al secarlo va desde un 20% o mas hasta llegar a un 13% de humedad, en ningún caso debe hacerse de una sola vez, sino que debe realizarse en varios pasos porque de otro modo se producen grietas que conducen a la rotura del grano .

Se ha podido demostrar que se puede secar sin peligro bajando al 18-19% de humedad en el primer paso, mientras en el segundo solo debe sustraerse aproximadamente el 3 % de agua y en el tercero un poco mas o un poco menos que el 2 %. Estas indicaciones no son una regla, por lo que se puede realizar el secado en varias pasadas.

## **2.2. Elementos constitutivos.**

### **2.2.1. La estructura de la secadora**

La secadora de columna simplemente vertical de forma paralelepípeda (fig 2.1) esta constituida de cinco secciones: una central para aire caliente alimentada desde la base y cuatro laterales, compuestas cada una de dos paredes planas agujereadas verticales y paralelas entre si conteniendo el producto a secar en una capa de hasta 2 pies y esta última es atravesada por la corriente de aire caliente que humedece la pared

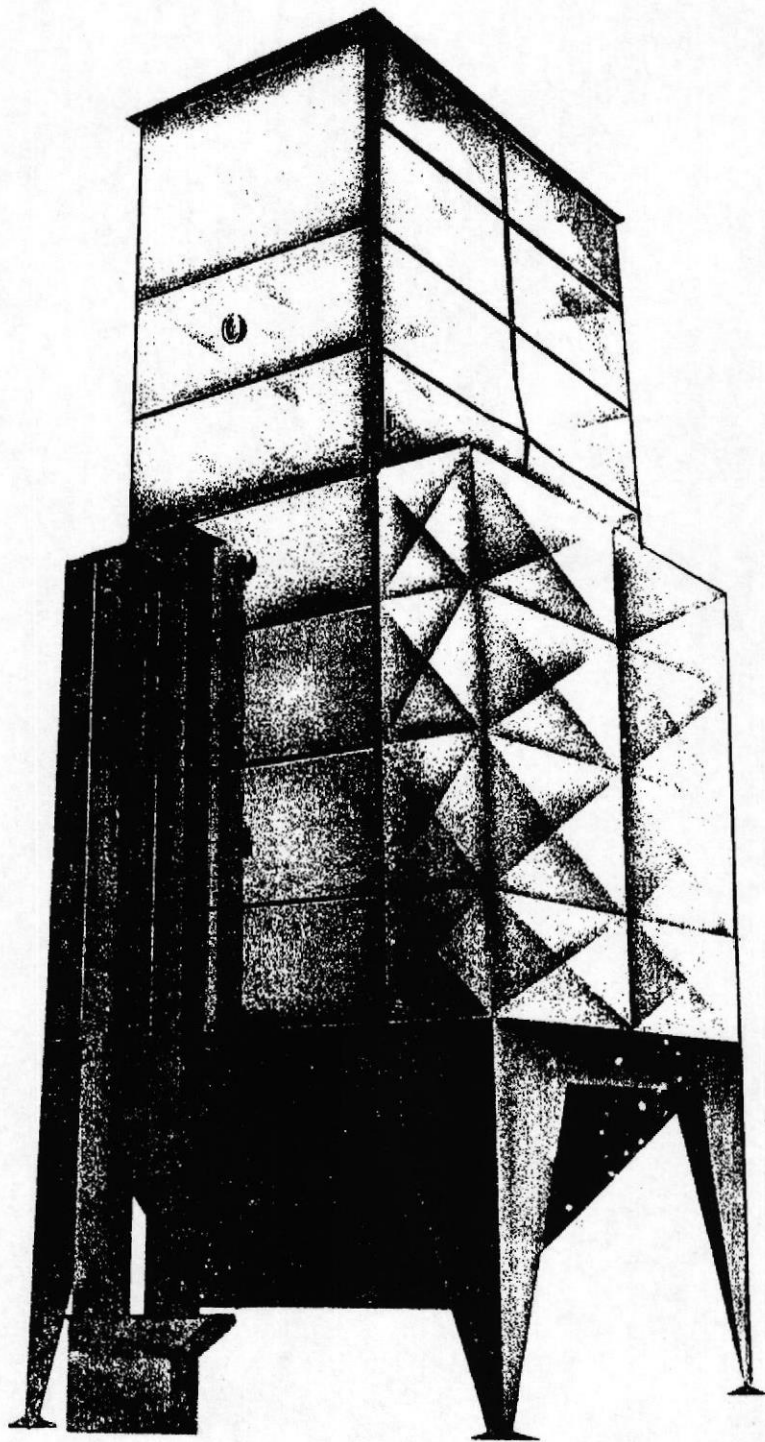


Figura 2.1 Contenedor de columna con paredes planas.

externa de la columna. El cereal desciende lentamente por gravedad con velocidad regulable a la descarga y el producto es dirigido al elevador que lo envía nuevamente a la columna para volver al ciclo (sistema de reciclaje). Luego de una serie de ciclos se llega a la humedad de conservación, y el cereal es definitivamente descargado y enviado al almacén.

Tal solución que recae en los secadores de tipo discontinuo, grano continuo, con flujo por gravedad, prevé generalmente la disposición en paralelo de mas columnas (cercano a 4) y esta sobretodo indicada para el secado del arroz en instalaciones de pequeña / media capacidad (valores de 100 - 120 ton de arroz crudo en las 24 horas por columna.

### **2.2.2. El quemador y la cámara de combustión**

El equipo de calentamiento comprende la fuente de calor (quemador y horno) y la fuente de aire a presión (ventilador). Para desarrollar calor se emplean los combustibles, los cuales se combinan con el oxígeno, y el aire se insufla siempre en exceso respecto a lo teórico. El poder calorífico de un combustible es la cantidad de calor obtenida con la combustión. El PCS (poder calorífico superior) corresponde al calor máximo de combustión (calor neto mas calor latente del vapor de agua contenido en el gas de combustión) y en las secadoras hay que considerar el PCI, por cuanto el calor latente no es recuperable .

Los quemadores son de pulverización neumática (mas empleada) o mecánica para combustibles líquidos, y de inyección para gases. En los quemadores a gas, la pulverización del combustible es de tipo mecánico y si se aumenta la misma, la presión del combustible puede aumentar (8-12 bar) y en el tipo de aceite combustible podemos tener presiones mayores (sobre 20 bar) por lo que se debe calentar el fluido a casi 120 °C para tenerlo menos denso.

El calentamiento del fluido secador puede lograrse directa o indirectamente. En el primer caso (fig. 2.2) los productos de la combustión oportunamente mezclados con el aire ambiente para reducir la temperatura, son aspirados por el ventilador centrífugo y enviados a través del producto contenido en el cuerpo secador. En la otra solución (fig. 2.3) en vez de que el aire ambiente este mezclado con los gases productos de la combustión se los hace pasar a través de un intercambiador de calor.

El calentamiento directo resulta mas económico por el rendimiento térmico mas elevado (0,95-0,98) contra el indirecto (0,85-0,90 del precalentador). El primero requiere todavía mayor atención para garantizar una perfecta combustión así como también en lo referente a la salubridad del ambiente. Obviamente en su aplicación no es recomendable para casos de productos que sean destinados para consumo

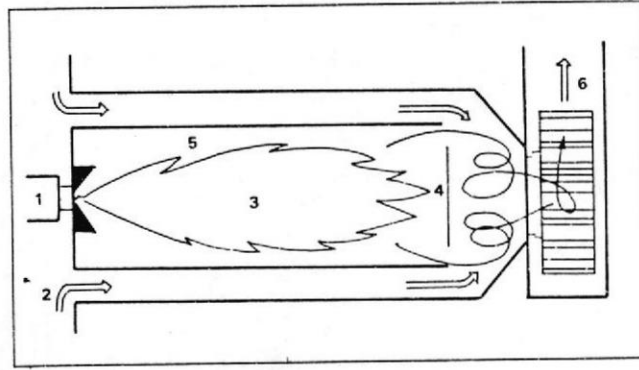


Figura 2.2 Esquema de un generador de aire caliente de fuego directo: 1. quemador, 2. entrada del aire ambiente, 3. llama, 4. producto de la combustión mezclado con aire ambiente, 5. cámara de combustión, 6. ventilador centrífugo.

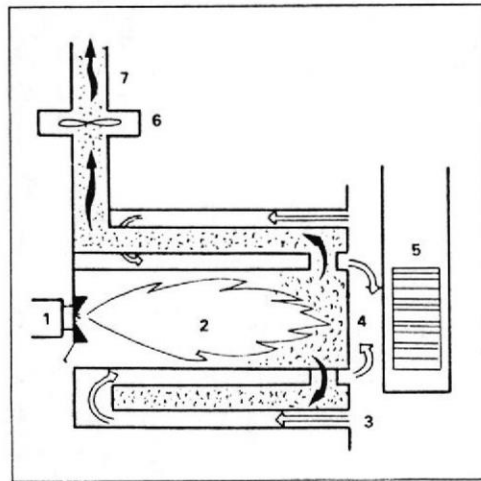


Figura 2.3 Esquema de un generador de aire caliente a fuego indirecto con un paso de ida y retorno del aire en el intercambiador de calor: 1. quemador, 2. llama, 3. entrada del aire ambiente, 4. salida de aire ambiente, 5. ventilador centrífugo, 6. ventilador axial de extracción de humos, 7. camino.

humano (frutas a secar tal como la ciruela), ya que ocurren alteraciones en las propiedades orgánicas. Para el arroz viene generalmente establecido el sistema directo por la presencia de una capa protectora constituida por la cascarilla, mientras que el maíz a veces (siempre en el caso de resultados como semilla) están presentes los precalentadores de aire.

El grupo que compone el quemador generalmente viene equipado con un termostato el cual garantiza una temperatura constante del aire de secado a la entrada del silo secador a un nivel preestablecido. La cámara de combustión debe soportar temperaturas del orden de los 1000 °C y esta dimensionada sobre una base de 1 pie<sup>3</sup> por 22480 Btu/h de potencia térmica y está a veces totalmente revestido de material refractario y emplea aceros inoxidables en el caso de utilizar combustibles con contenido de azufre.

Como combustibles aplicados a sistemas de secado, se utilizan gases y aceites aunque este último presenta todavía una menor regularidad de funcionamiento con depósitos e incrustaciones de residuos combustibles. En el calentamiento indirecto está visto que el recurso del aceite combustible es consecuente con una economía que compensa el menor rendimiento respecto al fuego directo. En algunos sistemas de secado puede ya venir instalado con gas líquido (butano) y en fase gaseosa (butano, propano o gas natural), otros tipos de sistemas dan una

simplificación del aparato de combustión con la ausencia de combustibles sólidos, por tal motivo y por lo indicado en el calentamiento directo, en los sistemas de secado no parece tener objeto esta última alternativa y es menos costosa en consideración sobretodo con el hecho de que la fase de secado en términos energéticos incide con cerca del 60% en la producción del cereal.

### **2.2.3. El transporte neumático**

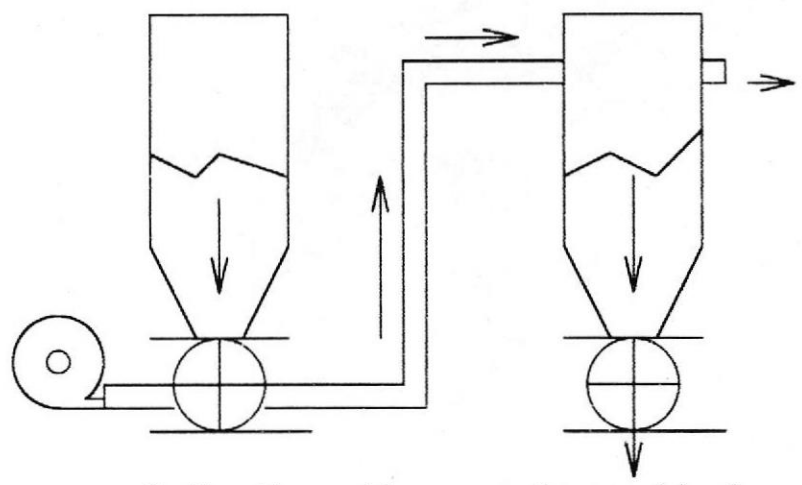
El transporte neumático se lo define como un método de transporte continuo y flexible de productos granulares o harinosos a través de una corriente de aire en aspiración o presión. Consiste de un ducto donde el producto es transportado por la fuerza aerodinámica de un flujo de aire de suficiente velocidad. Involucra características del producto, relación aire producto, distancia, caudal del producto y velocidad. según la *ref. 7* son necesarios de 15 a 30 m/s para mantener el producto en suspensión. Las partes del transportador neumático son: ventilador centrífugo, ductos, ciclones de separación y rotor de separación del producto.

Los sistemas básicos de transporte se ilustran en la fig. 2.4. El sistema por aspiración se utiliza cuando hay que transportar un producto de varias fuentes hasta un único punto de llegada. El sistema doble (aspiración-presión) tiene las ventajas de los dos sistemas originarios: una carga fácil y libre de polvo y después una presión que permite largas

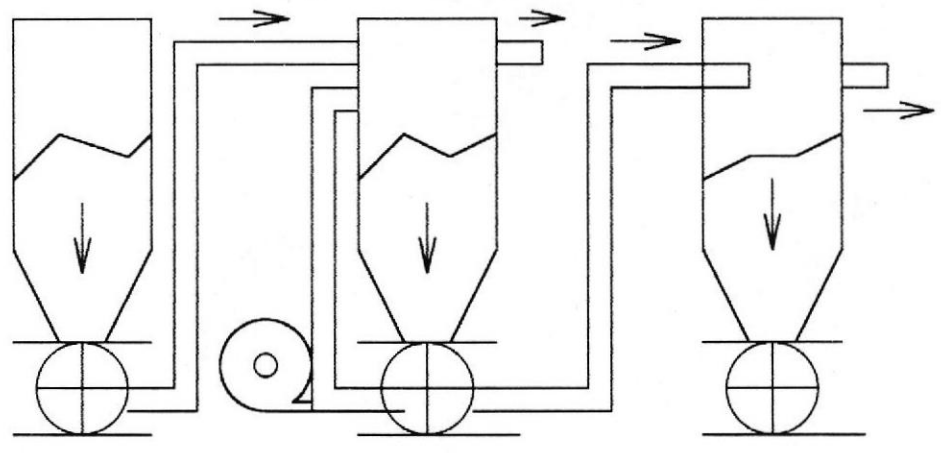
distancias. En efecto la ventaja de la aspiración es la ausencia de polvo y la de la presión, el largo de los puntos a donde se puede llegar.

Según la relación masa de producto/masa de aire, el sistema neumático puede ser diluido, medio o denso. En el primero (fig. 2.5) la mezcla es una verdadera suspensión: las características son poco producto, presión limitada y altas velocidades (normalmente en el sistema con aspiración). En el tipo denso casi todo el espacio está ocupado por el producto que no está más en suspensión y las ventajas son altas capacidades y limitada velocidad del producto (1-10 m/s). Requiere de otro lado altas presiones, esto es, costos elevados y distancias de transportes no excesivas.

### 1. Presión positiva



### 2. Presión positiva y negativa combinada



### 3. Presión negativa

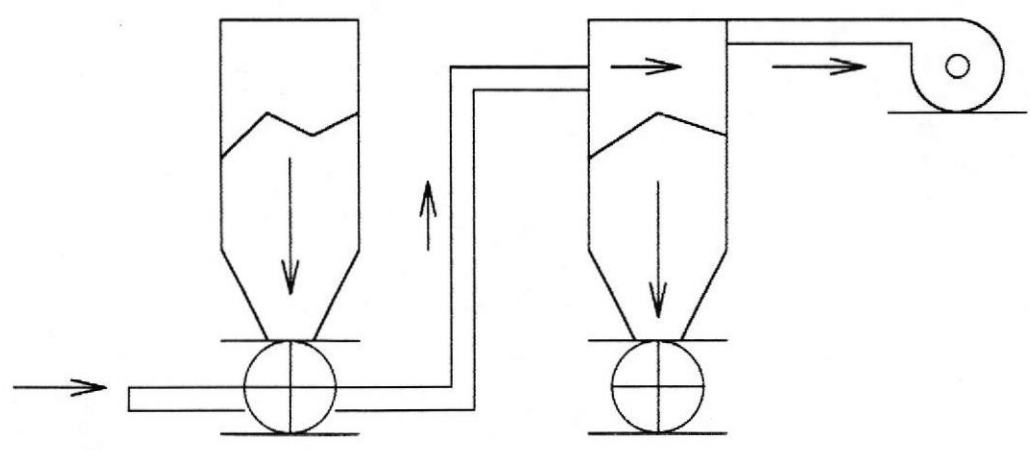
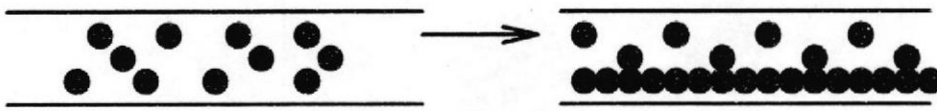
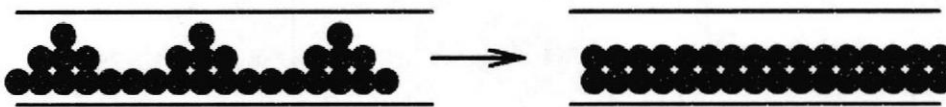


Figura 2.4 Esquema de los tipos de transporte.

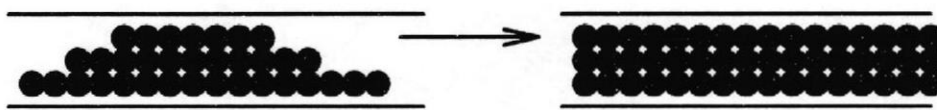
a. flujo homogéneo



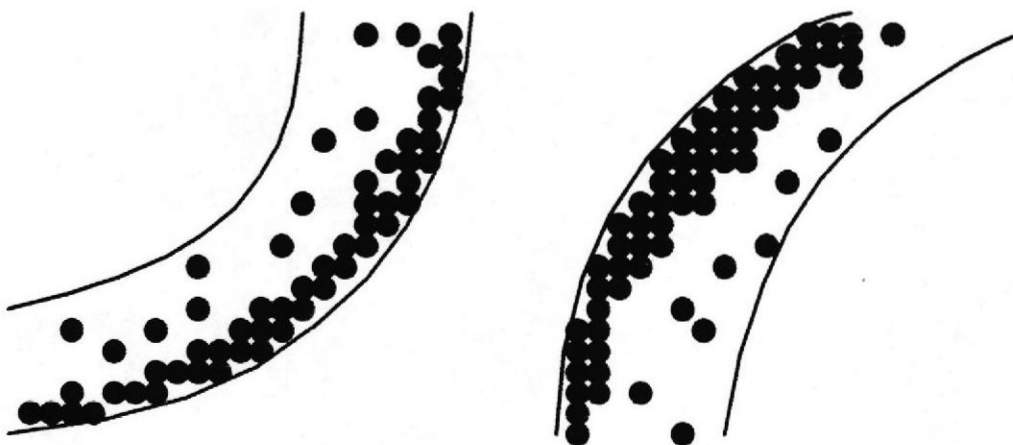
b. flujo en dunas



c. flujo de masa



1. Suspensión aire/producto en ductos rectos



2. Suspensión aire/producto en ductos curvos o codos a 90 grados

Figura 2.5 Comportamiento del flujo de producto en ductos.

La presión necesaria depende de la distancia de transporte (aumenta exponencialmente). Presiones normales varían de 4 a 40" de H<sub>2</sub>O (1-100 Kpa). La presión aumenta con la presencia de curvas o codos (fig. 2.5).

La carga y la descarga del transporte neumático se efectúan a través de rotores y venturis, que permiten operar con diferentes presiones de uno y otro lado. La separación producto/aire se efectúa con ciclones los cuales serán analizados posteriormente.

En el transporte neumático la energía requerida es de 2-3 veces a la de los transportadores de correa.

El sólido puede ser considerado aerodinámico y esto deriva una velocidad de suspensión. De Gasterstadt (*ref. 10, Sec. 24, 6-11*), la velocidad con que flota el sólido es:

$$V_f = \sqrt{\frac{4g \rho_s D_s}{3 C \rho_G}} \quad (2-1)$$

donde:

$g$  : aceleración de la gravedad

$\rho_s$  : densidad del sólido

$D_s$  : diámetro equivalente del grano

$C$  : coeficiente de arrastre

$\rho_G$  : densidad del gas de transporte

El coeficiente de arrastre varia con el numero de Reynolds, pero para aplicaciones de transporte típicas, un valor de 0.5 puede ser usualmente justificado.

Aunque en una tubería vertical, la velocidad relativa  $V_r$  entre el sólido y el gas es igual a la velocidad con que flota el sólido, esto no es cierto en una tubería horizontal. De Gasterstadt, para tubería horizontal se tiene:

$$V_r = V_f (0.18 + 6.50 * 10^{-5} V_G) \quad (2-2)$$

$V_G$  : pie/min

De Jorgensen, las velocidades horizontal y vertical del sólido son:

$$V_{sh} = V_G - V_r \quad (2-3)$$

$$V_{sv} = V_G - V_f \quad (2-4)$$

La caída de presión total en tubería horizontal puede ser considerada como la suma de las siguientes caídas de presiones individuales, [Mehta, Smith y Comings, *Ind. Eng. Chem.*, 49, 986-992 (1957)]:

1. Para la aceleración del gas hasta la velocidad de transporte.

$$\Delta P_{a,G} = \frac{\rho_{dG} V_G^2}{2g_c} \quad (2-5)$$

$\rho_{dG}$  : densidad del gas disperso

$$\rho_{dG} = \frac{\text{peso del gas}}{\text{unidad de volumen de tubería}}$$

$g_c$  : factor de conversión

2. Para la aceleración de partículas sólidas.

$$\Delta P_{a,s} = \frac{\rho_{ds} V_{hs}^2}{g_c} \quad (2-6)$$

$\rho_{ds}$ : densidad del sólido disperso

$$\rho_{ds} = \frac{\text{peso de los sólidos}}{\text{unidad de volumen de tubería}}$$

3. Por la fricción entre gas y la pared de tubería.

$$\Delta P_{f,G} = \frac{4f_G L_H \rho_{dG} V_G^2}{2g_c D_t} \quad (2-7)$$

$f_G$  : factor de fricción de ventilación y se lo obtiene gráficamente del Diagrama de Moody (fig. A.1).

$$Re = \frac{D_t V_G \rho_G}{\mu_G}$$

Re : Numero de Reynolds

$D_t$  : diámetro de tubería

$\mu_G$  : viscosidad del gas de transporte

4. Por la fricción combinada entre partículas y pared de tubería, entre gas y partículas y entre partículas, asumiendo que esta fricción puede ser expresada por un tipo de ecuación de factor de fricción.

$$\Delta P_{f,s} = \frac{4f_s L_H \rho_{ds} V_{sh}^2}{2g_c D_t} \quad (2-8)$$

$$f_s = \frac{3 \rho_G D_t C (V_G - V_{sh})^2}{8 \rho_s D_s V_{sh}^2} \quad (2-9)$$

$f_s$  : factor de fricción entre sólidos y pared de tubería

$L_H$  : longitud horizontal de tubería

La caída de presión total en tubería vertical puede ser considerada como la suma de las siguientes caídas de presiones individuales:

1. Para la aceleración del gas hasta la velocidad de transporte, ec. (2-5)
2. Para la aceleración de partículas sólidas, ec. (2-6)
3. Por la fricción entre gas y la pared tubería, ec. (2-7)
4. Por la fricción combinada entre partículas y pared de tubería, y como, ecs. (2-8) y (2-9).
5. Para soporte de la columna de gas.

$$\Delta P_{h,G} = \frac{\rho_{dG} g L_V}{g_c} \quad (2-10)$$

$L_V$  : longitud vertical de tubería

6. Para soporte de sólidos.

$$\Delta P_{h,s} = \frac{\rho_{ds} g L_V}{g_c} \quad (2-11)$$

Además tenemos que considerar la caída de presión en los codos:

7. El efecto que produce al cambiar la dirección del flujo.

$$\Delta P_{el} = \frac{(f m_s V_s^2 / gr)(\pi r / 2)}{69.2 m_g} = \pi f R p_v \quad (2-12)$$

$f$  : factor de fricción del grano con la superficie del codo

$m_s$  : flujo de sólido

$m_g$  : flujo de gas

$r$  : radio de curvatura

$p_v$  : presión de velocidad a través de los codos

$R$  : flujo de sólido/flujo de gas

$p_v = p_{v1} + p_{v2}$ , asumiendo un codo para cada dirección (90° entre si).

$$p_{v1} = \frac{0.5 * ((V_{sh} + 0.80 * V_{sh}))^2}{4005^2} \quad (2-13)$$

$$p_{v2} = \frac{0.5 * ((V_{sv} + 0.80 * V_{sv}))^2}{4005^2} \quad (2-14)$$

#### 2.2.4. La esclusa de descarga

La esclusa de descarga alimenta al sistema de transporte neumático y juntos se complementan para lograr llevar sólidos con un flujo constante de grano entre diversos puntos del sistema.

La característica principal que debe tener una esclusa es la disminución de la diferencia de presión estática entre la entrada y la salida, ya que al incrementar la presión en el sistema de transporte neumático, el aire transportado escaparía a través de la esclusa en la dirección donde la presión estática es mas baja .

No hay que tomar en cuenta la diferencia de presión o las pérdidas ya que la esclusa no estaría localizada directamente en contacto con el sistema de transporte de aire. Si la esclusa es utilizada como un alimentador volumétrico depende de cuatro factores:

1. El volumen entregado por la esclusa en una vuelta permitirá determinar su descarga.
2. Si se incrementan las revoluciones de giro, se disminuye el tiempo para que se llene el compartimiento de la esclusa.
3. Considerando la densidad del producto. Un material podría alimentar la esclusa por el simple efecto de la gravedad.
4. La eficiencia volumétrica de una esclusa, que es la razón entre el volumen calculado y el descargado.

Los factores que afectan la eficiencia volumétrica son:

- Pérdida de aire
- El diseño del rotor
- El equipo que esta sobre la esclusa y su flujo característico
- La pérdida de la velocidad de aire transportado

La esclusa mas común es de acuerdo a la caída del producto. El producto es entregado al rotor, que al dar la vuelta, ingresa a la carcaza interior y

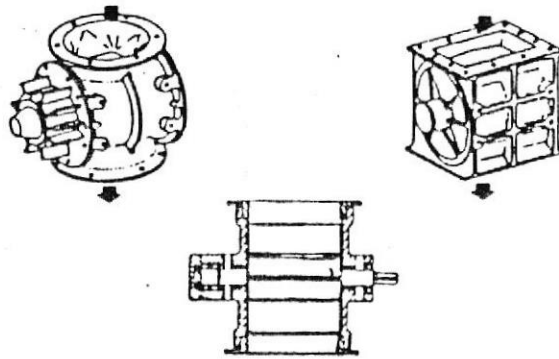


Figura 2.6 Esclusas con entrada de tipo redonda y rectangular

para luego ser desalojado por la salida de la esclusa. La caída del producto puede ser a través de entradas redondeadas o cuadradas .

Las carcazas y paletas de válvulas rotatorias son usualmente de fundición de hierro, acero inoxidable o también de aluminio aleado .

Otra desventaja podría ser el desgaste extremo que podría sufrir cuando trabaje con materiales pesados que sean solamente medianamente abrasivos y con temperaturas mayores a los 100 °F (38 °C). Otro caso es el polvo muy fino en la cual una tolerancia estrecha entre rotor y carcasa no asegura un control completo de producto el cual puede variar de 0.003 a 0.01 plgs o mayores cuando las temperaturas son elevadas .

La función del rotor es la de proporcionar un sellado para evitar la turbulencia formada por el aire que fluye debido a la diferencia de presión entre la entrada y la salida de la esclusa.

El numero de paletas en el rotor es muy crítico en la cantidad de aire que se pierde a través de la válvula rotatoria. El numero mínimo de paletas que el aire debe pasar antes de escapar, la diferencia de presión a través de la esclusa y la tolerancia que tenga, determinará la perdida de aire a través de la válvula rotatoria. Entre los tipos de rotor tenemos:

Rotor de final abierto

- es el mas común

- alta eficiencia volumétrica por tanto utilizado para materiales abrasivos
- se pueden utilizar sellos para disminuir las pérdidas de presión
- para altas temperaturas la dilatación es un factor de importancia

#### Rotor de final cerrado

- efectivo para evitar acumulación de sólidos en la superficie del rotor
- adecuado para materiales semiabrasivos

#### Rotor de desplazamiento reducido

- acorta la capacidad de alimentación volumétrica

#### Rotor ajustable

- es el más resistente al desgaste
- fácil de cambiar sin tener que reemplazar el rotor completo
- el desgaste no es uniforme y esto permite el escape de aire por camino que ofrezca menor resistencia
- puede presentarse una continua descalibración

#### Rotor flexible

- aplicable donde no se quiere que el material se corte y sea suficiente para disminuir las pérdidas excesivas de aire

- puede ser aplicado para diferencias de presiones menores a 3 psi

#### Rotor fijo

- útil para eliminar obstáculos en el camino del rotor causado por materiales como azúcar, leche en polvo y otros materiales que tienden a pegarse en la carcasa y filos de la paleta
- se lo utiliza en plásticos y resinas

#### **Tipos de sello del eje**

Las funciones del sello del eje de la esclusa son prevenir las pérdidas de aire o gas desde la esclusa y prevenir que el material ingrese al interior de los cojinetes de la esclusa. Los tipos de sellos son los siguientes:

#### Retenedor de doble ceja flexible

- utilizado para diferencia de presiones de 3 psi
- aplicable a temperaturas no mayores a 200 °F (93 °C)

#### Sello de paquete

- aplicable para altas temperaturas ya que están fabricados con asbesto impregnado con teflón
- de fácil reemplazo

### Sello insertable en el eje

- similar a un manguito y consiste de teflón insertado alrededor del eje, el cual hace sello con otros que son de sección transversal cuadrada, proporcionando un cuádruple sellado interior y exterior.
- el teflón insertado no puede ser reconstruido
- su aplicación es limitada para casos que no excedan a 200 °F (93 ° C) .

### Sello con purga de aire

- esta constituido de teflón insertado alrededor del eje el cual esta alojado en un lugar o cavidad con un collar ajustado de acero, permitiéndole al teflón insertado rotar con el eje. El teflón insertado hace el sello y una purga de aire permitirá que este expulse al material lejos de la cavidad del sello.
- la desventaja consiste en que la purga de aire requiere de aire presurizado que debería estar seco y limpio y si no es buena la purga causara mas problemas que soluciones.
- este sello se utiliza para incrementar la vida útil cuando el material es abrasivo.

### **Tipos de rodamiento para el eje**

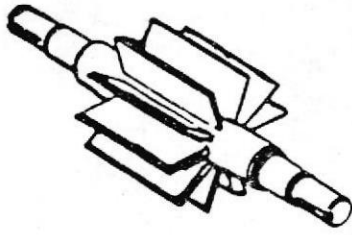
La función de los rodamientos en el eje del rotor es de proporcionar un soporte a las cargas axiales y radiales. Las cargas radiales se deben a la

presión del aire y al paso del material cuando la válvula gira. Las cargas axiales se deben al torque del motor y al peso del material.

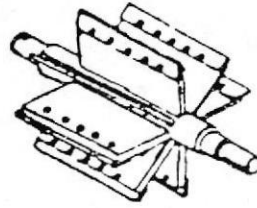
Se conoce que las cargas en los rodamientos pueden excederse entre si de una tonelada; mientras que para conservar la tolerancia entre rotor, carcasa y paletas laterales, la carga esta en un rango de 3 a 10 mil toneladas.

El diseño de rodamientos para una esclusa difiere muy poco a la de otros equipos debido a que trabaja a bajas revoluciones (5-35 RPM). Un ligero movimiento del eje, radial o axial, dentro del rodamiento podría causar un contacto entre metal y metal, debido a la disminución de la tolerancia.

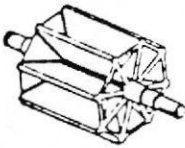
- para un rotor flexible el sello es de fabrica y los rodamientos de bolas van a los lados con su respectiva lubricación y es capaz de absorber deflexiones.
- el rodamiento de rodillos se utiliza para trabajo pesado y cuando se tienen cargas en diferentes direcciones los cuales absorben las cargas axiales y radiales del rotor. El tapón es firmemente ajustado precargando al rodamiento a fin de evitar el movimiento axial del rotor debido al desgaste de los rodamientos .
- un rodamiento de bolas sellado puede absorber cargas radiales , mientras permite una pequeña fluctuación axial que podría ser el resultado de una expansión térmica o una contracción de la válvula rotatoria .



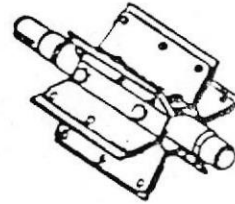
Rotor Fijo



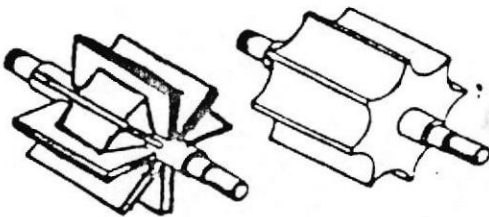
Rotor ajustable



Rotor de final cerrado



Rotor flexible

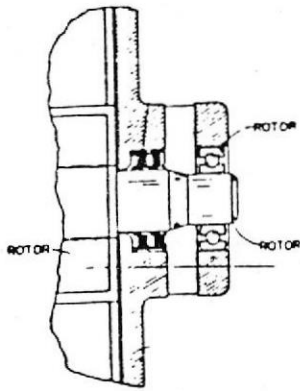


Rotor de desplazamiento

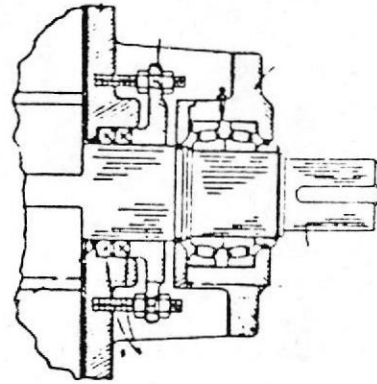


Rotor de final abierto

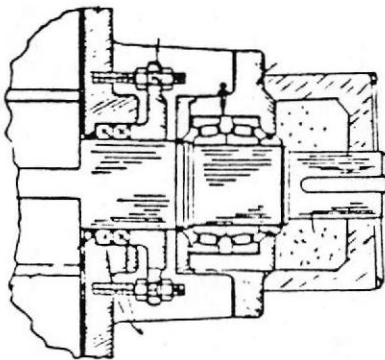
Figura 2.7 Tipos de rotores para esclusas



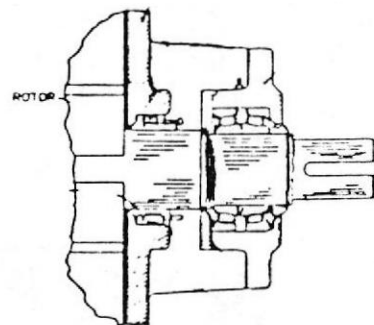
Retenedor de doble ceja



Sello de paquete



Sello insertable en el eje



Sello con purga de aire

Figura 2.8 Tipos de sellos para esclusas

### **2.2.5. El silo de recepción**

Permite la acumulación del producto seco que puede estar contenido en amplios locales con funciones de almacén. Por ser el que almacena el arroz húmedo, este es en general de forma cilíndrica con paredes onduladas en laminas de zinc, provista en particular de un sistema de ventilación y descarga automática. Están unidos al secador con un transportador para la carga desde lo alto, mientras el producto descargado con el mismo transportador es enviado para la carga automática en el proceso de secado. A fin de obtener una economía en la instalación, es en general recomendable disponerlos en serie y en parejas a modo de requerir solo una unidad de carga y de descarga coordinada entre los dos cuerpos. En cuanto a la capacidad, puede variar de alguna centena (100-200) y algún diezmileno de quintal (también 30.000), dependiendo de la potencia del sistema y de las características y cantidad de los diversos cereales que el sistema debe tratar.

### **2.2.6. Los ciclones separadores de grano**

El tipo de equipo colector de partículas mas ampliamente usado es el ciclón, en el cual el gas cargado entra tangencialmente a una cámara cilíndrica o cónica a uno o mas puntos y la deja a través de una abertura central (fig. 2.6). Las partículas por propiedad de la inercia tenderán a moverse hacia la pared exterior del separador y luego serán llevadas

Tabla 2.1 Dimensiones del ciclón estándar

	Tipos de ciclones					
	Alta eficiencia		Convencional		Baja eficiencia	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Diámetro del cuerpo D/D	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Altura de la entrada H/D	0,5	0,44	0,5	0,5	0,75	0,8
Anchura de la entrada W/D	0,2	0,21	0,25	0,25	0,375	0,35
Diámetro de salida del gas, $D_e/D$	0,5	0,4	0,5	0,5	0,75	0,75
Longitud del vórtice S/D	0,5	0,5	0,625	0,6	0,875	0,85
Longitud del cuerpo $L_b/D$	1,5	1,4	2.0	1,75	1,5	1,7
Longitud del cono $L_c/D$	2,5	2,5	2.0	2.0	2,5	2.0
Diámetro de salida del sólido, $D_d/D$	0.375	0.4	0.25	0.40	0.375	0,4

Referencia 4

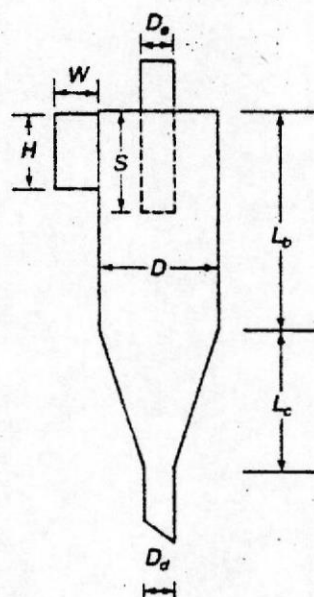


Figura 2.9 Dimensiones de un ciclón estándar (ref. 4, pág. 109)

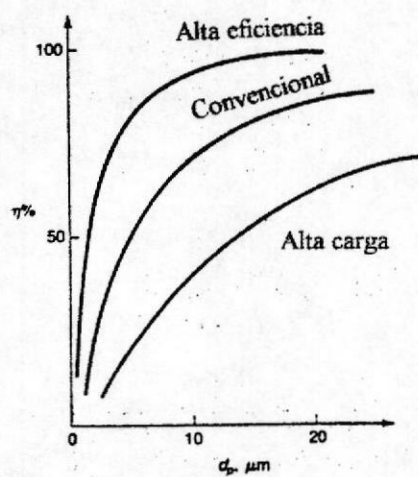


Figura 2.10 Curvas de eficiencia versus tamaño de partícula (ref. 4, pág. 107)

hasta el acumulador. Un ciclón es esencialmente una cámara de asentamiento en la cual la aceleración gravitacional es reemplazada por la aceleración centrífuga. Para condiciones de operación comúnmente empleadas, la fuerza de separación o aceleración centrífuga puede variar desde 5 veces la gravedad en diámetros muy grandes (ciclones de baja resistencia) hasta 2500 veces la gravedad en los muy pequeños (de alta resistencia).

En el pasado, se consideraban como colectores de baja eficiencia. Como quiera, la eficiencia varía con el tamaño de la partícula y con el diseño del ciclón. Durante la década de los 70's, los trabajos sobre diseño avanzado de ciclones han mejorado las características de los mismos.

Algunas literaturas afirman que para partículas mayores a 5 micrones se tiene una eficiencia del 98%. En general, mientras la eficiencia aumenta, los costos de operación aumentan (principalmente por las altas caídas de presión requeridas). Por lo tanto, hay tres categorías de ciclones disponibles: de alta eficiencia, convencional y de baja eficiencia. Las curvas de eficiencia generalizadas para estos tres tipos de ciclones son presentadas en la figura (2.7).

Ventajas de los ciclones:

1. Bajo costo capital
2. Habilidad para operar a altas temperaturas

3. Requerimientos de mantenimiento bajos porque no hay partes móviles.

Desventajas de los ciclones:

1. Bajas eficiencias (especialmente para partículas muy pequeñas)
2. Altos costos de operación (debido a la caída de presión)

Trabajos extensos han sido hechos para determinar experimentalmente de que manera las dimensiones de los ciclones afectan sus características. Todas las dimensiones fueron relacionadas con el diámetro del cuerpo del ciclón para que sus resultados puedan ser aplicados en forma general. La tabla 2.1 resume las dimensiones de los ciclones estándar para los tres tipos previamente mencionados. La figura 2.6 ilustra las varias dimensiones usadas en la tabla 2.1. Las relaciones del ciclón (*ref. 4, Sec.4, 110-117*) son:

El número de revoluciones  $N_e$  del gas en el vórtice externo puede ser aproximado por la siguiente relación :

$$N_e = \frac{1}{H} \left[ L_b + \frac{L_c}{2} \right] \quad (2-15)$$

Para que las partículas sean depositadas en el colector, estas deben chocar con la pared dentro de una cantidad de tiempo que el gas viaja en el vórtice exterior. Este tiempo de permanencia del gas en el vórtice exterior es :

$$\Delta t = \frac{\pi D N e}{V_i} \quad (2.16)$$

La velocidad terminal es lograda cuando la fuerza de arrastre iguala a la fuerza centrífuga. La velocidad terminal que justo permitirá a una partícula depositarse en un tiempo  $\Delta t$  es:

$$V_i = \frac{W}{\Delta t} \quad (2.17)$$

Debido a que la eficiencia varia con el tamaño de la partícula, se desarrollo un relación semiempírica para calcular un "diámetro cortado al 50%"  $d_{sc}$ , que es el diámetro de las partículas depositadas con el 50% de eficiencia, es decir:

$$D_{sc} = \frac{9 \mu_G W}{2 \pi N e V_i (\rho_s - \rho_G)} \quad (2.18)$$

La eficiencia de colección para cualquier tamaño de partícula esta dada por:

$$\eta = \frac{1}{1 + (D_{sc} * D_s)^2} \quad (2.19)$$

La existencia de una "velocidad de saltación" en el ciclón explica porque se observo algunas veces una disminución en la eficiencia de colección con un incremento en la velocidad de entrada. La relación para la velocidad de saltación es :

$$V_s = 2.055 \psi \left[ \frac{(W/D)^{0.4}}{1 - (W/D)^{0.333}} \right] D^{0.067} V_i^{0.667} \quad (2.20)$$

La función  $\psi$  en la ec (2.20) esta dada por:

$$\psi = \left[ \frac{4g\mu_G(\rho_s - \rho_G)}{3\rho_G^2} \right]^{0.333} \quad (2-21)$$

De acuerdo al modelo de saltación, la máxima eficiencia de colección ocurre a  $V_i = 1.25V_s$ , con recirculación de partículas a velocidades de entrada mas altas. Generalmente, la velocidad de entrada al ciclón debería ser desde 50 hasta 100 pies/seg.

La otra consideración importante para ciclones además de la eficiencia es la caída de presión. Generalmente las altas eficiencias son obtenidas a altas velocidades, lo que aumenta la caída de presión. Si esta se expresa en cabezal de velocidad de entrada, tendremos:

$$H_v = \frac{KHW}{D_e^2} \quad (2-22)$$

Para ciclones con entrada tangencial se recomienda un valor de  $K = 16$ .

El numero de cabezales de velocidad calculado de la ec. (2.22) puede ser convertido a una caída de presión estática como sigue:

$$\Delta P_e = \frac{1}{2} \rho_G V_i^2 H_v \quad (2-23)$$

El rango de caídas de presión en ciclones esta entre 0.5 y 10 cabezales de velocidad (250 a 4000 Pa o de 1 a 16" de agua).

### 2.2.7. Los ventiladores del sistema de secado

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

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

- Centrífugos
- Axiales

Los ventiladores centrífugos pueden ser :

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

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

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

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

#### **2.2.8. Los controles del secado**

Los controles más comunes de las secadoras son:

- Voltímetro, para medir la constancia de la tensión eléctrica. Eventualmente, montar un estabilizador.
- Varios termómetros y termostatos de seguridad.
- Medidor de humedad, de tipo continuo para las grandes instalaciones.
- Medidores de vueltas del ventilador y de horas de funcionamiento.

La selección de las secadoras depende de:

- Tipo y humedad de los granos
- Condiciones climáticas

- Superficie y producción
- Capacidad diaria de secado necesaria.
- Provisiones de desarrollo, capitales y edificios disponibles, etc.

### 2.3. Parámetros del secado

Los parámetros que intervienen en un proceso de secado y que lo identifican como tal e inciden en el resultado económico de su operación son varios, como se detalla a continuación.

#### 2.3.1. Capacidad de evaporación del sistema

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

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

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

Por medio de la carta psicrométrica (ver fig. A.2) se puede notar que un aumento de la temperatura del aire incrementa también su capacidad

absorbente, con la consecuente disminución de su humedad relativa (punto B) para luego llegar hasta el punto de máxima capacidad de absorción de agua (punto C) con la correspondiente disminución de su temperatura.

### **2.3.2. Tiempo de secado**

El tiempo de secado es relativo, además de la capacidad de evaporación del sistema, al tipo y a la humedad inicial del producto y teniendo presente que la evaporación del agua no es lineal, ocurre mas rápido a la humedad elevada y algo lento en la proximidad de los límites de conservación y en el arroz puede ser de 3-4 puntos/h al inicio contra casi 1 punto/h en la fase final.

Depende además de la condición del aire ambiente durante el año, esto significa que la operación del sistema puede ser dividida en partes de tal manera que se ahorre al mismo tiempo en el consumo de combustible.

### **2.3.3. Rendimiento del sistema**

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

Depende además de la característica del sistema, del tiempo de secado y en particular de la humedad inicial del producto y de la condición del

aire ambiente. Puede variar de cualquier centena a cualquier milenio de quintales al día, y en algunos casos también decenas de miles cuando están presentes mas contenedores en paralelo.

#### **2.3.4. Temperatura del aire de secado**

Además del tipo de sistema depende principalmente de dos factores, o bien del tipo y del tenor inicial de humedad del producto o de su destino.

La temperatura que puede soportar el cereal disminuye al aumentar su contenido de humedad, una excesiva y rápida evaporación del agua superficial puede provocar lesiones en el germen del arroz con la repercusión negativa al procesarlo industrialmente.

En el arroz, sea este para alimento o para uso en la semilla, la temperatura máxima es del orden de los 38-40 °C, en tales condiciones no altera ni las características orgánicas ni la capacidad germinativa.

#### **2.3.5. Consumo de combustible**

Son dos los parámetros que relacionan a la potencia del sistema y sus niveles de funcionamiento.

Para un mismo secador ambos influyen notablemente en la condición del aire de secado (si la temperatura es baja y la humedad relativa es alta, mayor es el gasto térmico para llegar a la temperatura de secado),

mientras el segundo parámetro y de modo determinante es la condición inicial de humedad del producto (a mayor humedad, mayor consumo de combustible).

En términos numéricos el consumo horario de combustible puede variar de un mínimo de 0.4-0.55 lb/min (secador estático) aun máximo de 11-13 lb/min (contenedores de columna con recuperador de calor). El nivel de característica del sistema viene dado por la potencia térmica instalada sobre la base en Btu/h desarrollada por el quemador, esto se obtiene simplemente multiplicando los mencionados lb/min por el poder calorífico inferior del combustible que para el diesel esta sobre los 18500 Btu/lb.

### **2.3.6. Consumo específico de energía eléctrica**

Este se refiere a la acción del quemador con su equipo de ventilación, del equipo de descarga y circulación del producto y de los órganos de pulida.

Para los cereales se puede asumir un valor comprendido entre 0.8-0.9 y 2,5 kW-h por quintal de producto seco.

Generalmente los sistemas reportan la potencia instalada para el funcionamiento del secador, esto depende obviamente del tipo y sobretodo de las dimensiones del contenedor pudiendo variar de 5-6 hasta los 90-100 kW. En los secadores de columna cilíndrica de tipo

móvil, aparte del ventilador para el transporte, del generador eléctrico para el funcionamiento del quemador, viene además con el acoplamiento para la descarga del grano de no menos de 30 KW.

## CAPITULO III

### DISEÑO DEL SISTEMA DE SECADO

#### 3.1. Diseño de la estructura de la secadora

La secadora será diseñada para un rendimiento de 2.6 ton/h de arroz con reducción de humedad del 22 al 13%, en tres pasos, utilizando temperatura de secado de 34 °C.

Para esto, se necesita conocer en cada paso de grano por la secadora lo siguiente:

- Flujo y contenido de humedad del grano que viene desde el silo.
- Flujo y contenido de humedad del grano en la parte superior del volumen de secamiento.
- Flujo y contenido de humedad del grano en la parte inferior de la sección de secamiento.

Todos estos valores deben provocar:

- Velocidades constantes de las esclusas que están en la descarga del silo y secadora, de tal manera que se produzca una operación continua en el todo el proceso de secado.
- Un rendimiento calculado igual al asumido.

Ahora el problema es determinar los valores anteriores. Para ello se sabe que el caudal de aire será el mismo en las 3 pasadas del grano por la secadora y además empezamos con un flujo de grano desde el silo de 0 lbs/min, el mismo que se lo va incrementando hasta que provoque la reducción de humedad y el rendimiento deseado. En base a esto se determinan todos los parámetros involucrados en el proceso de secado.

### 3.1.1. Determinación del volumen de secado

Para determinar el volumen de secado se hace un análisis termodinámico del proceso. Para el primer paso, el arroz entra a la secadora con un contenido de humedad del 22% y sale con 18.95%. Si al principio el 22% está húmedo, entonces el 78% o 0.78 unidades están secas y permanecen así durante el primer paso. A la masa final desconocida se le asigna el valor X. Entonces se cumple que:

	masa de agua	+	masa seca	=	masa total
Inicial	0.22	+	0.78	=	1
Final	0.1895X	+	0.78	=	X

Luego, las unidades de masa total para la primera pasada será:

$$X = 0.962368$$

Entonces, se han de haber eliminado 0.037632 unidades de agua.

Para un flujo de grano desde el silo de 7.053 ton/h (235.10 lb/min), la cantidad de agua a evaporar será:

$$235.10 * 0.037632 = 8.85 \text{ lb/min}$$

### 3.1.1.1. Determinación del flujo de aire necesario para el proceso

Tenemos una temperatura ambiente de 26 °C con una humedad relativa de 80%. Con la fig (A.2), ubicamos los siguientes puntos:

Punto A:

- Temperatura ambiente = 26 °C (78.8 °F)
- Humedad relativa = 80 %

Punto B:

Para prevenir cambios químicos en el germen del grano, es recomendable llevar la temperatura de secado 8 °C sobre la temperatura ambiente.

- Temperatura de calentamiento = 34 °C (93.2 °F)
- Humedad relativa = 50 %

Nuestra temperatura de calentamiento esta por debajo del limite recomendado para secado (38-40°C), con lo que evitamos cambios químicos en el grano.

Punto C:

Este punto se obtiene partiendo desde el punto B, con una diagonal paralela a la temperatura del bulbo húmedo de la carta psicrométrica hasta llegar a la curva de saturación.

Con los puntos A y B se determina 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 absorbida = 0.0205 - 0.0170

= 0.0035 Lb/Lb de aire seco

La masa de aire será :

$$\frac{8.85 \text{ Lb agua / min}}{0.0035 \text{ Lb agua / Lb aire}} = 2527.775 \text{ Lb / min}$$

La densidad del aire a 34 °C (93.2 ° F) es 0.072 Lb/pie<sup>3</sup>

Luego, el flujo másico será:

$$\frac{2527.775 \text{ Lb / min}}{0.072 \text{ Lb / pie}^3} = 35107.98 \text{ pie}^3 / \text{min}$$

El valor de flujo de grano en la descarga será:

$$235.10 - 8.85 = 226.25 \text{ lb/min}$$

El área de secamiento se basa en el caudal y la velocidad de aire a través de la columna de grano.

$$\text{area} = \frac{35107.98 \text{ cfm}}{100 \text{ fpm}} = 351.08 \text{ pie}^2$$

Las dimensiones para una lamina perforada si consideramos para el plano de secado una relación de altura/base de 3, será:

$$\text{altura} = 16.23 \text{ pies}$$

$$\text{base} = 5.41 \text{ pies}$$

El espesor de las columnas de grano es 1 pie, y las de aire saturado serán de 1.80 pies.

### **3.1.1.2. Determinación de la energía calorífica requerida en base a las condiciones del grano**

La energía calorífica requerida se refiere a la cantidad de calor entregado por el quemador al aire de secamiento. Esta es determinada en base a los valores de entalpía del aire para cada punto de la fig A.2.

$$h_A = 41.1 \text{ Btu/lb}$$

$$h_B = 37.6 \text{ Btu/lb}$$

$$h_{BA} = 41.1 - 37.6 = 3.5 \text{ Btu / lb}$$

$$q = 3.5 \text{ Btu/lb} * 2527.775 \text{ lb/min} * 60 \text{ min/hr}$$

$$q = 530832.5 \text{ Btu/hr.}$$

### 3.1.1.3. Determinación de la presión estática requerida por el ventilador

El ventilador debe vencer todas las pérdidas para hacer circular el aire caliente. Estas pérdidas son la suma de las siguientes caídas de presión :

#### 1. Caída de presión por el acople entre ventilador-ducto

Se asumen las dimensiones del acople, y con la Tabla A.1 tenemos:

Entrada,  $39.25" \times 35.25"$ ,  $d_i = 41.40" = 3.45$  pies

Salida,  $2.70 \times 2.70 \text{ pie}^2$ ,  $d_o = 3.06$  pies

Longitud del acople del ventilador es 3.60 pies.

Por la contracción, Tabla A.4 se tiene:

Para una longitud del acople de 3.60 pies se tiene:

$$\text{ángulo} = \tan^{-1} \left( \frac{3.45 - 3.06}{3.60 * 2} \right) = 3.10^\circ$$

$$VP_i = \left( \frac{Q * 4}{\pi * d_i^2 * 4005} \right)^2 = 0.88" \text{ de H}_2\text{O}$$

$$VP_o = \left( \frac{Q * 4}{\pi * d_o^2 * 4005} \right)^2 = 1.42" \text{ de H}_2\text{O}$$

$$L = 0.05$$

$$P_{DI} = (1.42 - 0.88) * (1 + 0.05) = 0.541" \text{ de H}_2\text{O}$$

## 2. Caída de presión en el ducto

Con los datos de:

$Q = 35108 \text{ pie}^3/\text{min}$ ,  $V = 4773.88 \text{ pie}/\text{min}$  y por la fig. A.3 se tiene:

$$\frac{h_L}{100} = 0.61" \text{ de H}_2\text{O}$$

$$\Delta P_{HD} = \frac{3.70 \text{ pies} * 0.61" \text{ de H}_2\text{O}}{100} = 0.0226" \text{ de H}_2\text{O}$$

## 3. Caída de presión en el codo

Para una velocidad de  $4773.88 \text{ pie}/\text{min}$  se tiene:

$$P_V = \left( \frac{4773.88}{4005} \right)^2 = 1.42" \text{ de H}_2\text{O}$$

Para un codo con las siguientes características:

$$\frac{R}{D} = 0.5, \quad \frac{W}{D} = 1 \text{ y por la tabla A.2 se tiene:}$$

$$\Delta P_C = 1.05 * 1.42 = 1.49" \text{ de H}_2\text{O}$$

## 4. Caída de presión por la expansión entre ducto y cámara

Para la sección transversal de la cámara, el diámetro que provoca una fricción equivalente (tabla A.1) es:

Sección de la cámara de  $5.41 \text{ pies} \times 5.41 \text{ pies}$ ,  $d_o = 6.00 \text{ pies}$

Por la fig. 6-14, la relación  $d_o/d_i = 1.96$ ,  $R_s = 0.416$

$$VP_i = \left( \frac{Q * 4}{\pi * d_i^2 * 4005} \right)^2 = 1.42" \text{ de H}_2\text{O}$$

$$VP_o = \left( \frac{Q * 4}{\pi * d_o^2 * 4005} \right)^2 = 0.096" \text{ de H}_2\text{O}$$

$$\Delta P_{DP} = 0.416 * (0.096 - 1.42) = - 0.55" \text{ de H}_2\text{O}$$

### 5. Caída de presión en la cámara

Con los datos de  $Q = 35108 \text{ pie}^3/\text{min}$  y  $V = 1242 \text{ pie}/\text{min}$  y utilizando la fig. A.3 se tiene:

$$\frac{h_L}{100} = 0.021" \text{ de H}_2\text{O}$$

La altura de la cámara es de 16.23 pies.

$$\Delta P_P = \frac{16.23 \text{ pies} * 0.021" \text{ de H}_2\text{O}}{100} = 0.00341" \text{ de H}_2\text{O}$$

### 6. Caída de presión en las laminas perforadas

Las laminas perforadas tendrán las siguientes características:

- una relación  $\frac{A_H}{A_L} = 0.36$
- $d_H = 0.079"$  (aproximadamente 2 mm, para que el grano no pase)
- $V = 100 \text{ pie}/\text{min}$  (1.67 pies/seg)

#### Caída de presión en la primera lamina

$$Re = \frac{V * d_H * A_L / A_H}{\nu_D}$$

$$Re = \frac{1.67 * 0.079}{12 * 0.36 * 1.77 * 10^{-4}} = 172.4$$

Como el numero de Reynolds es  $60 < Re < 1000$  entonces, se tiene :

$$c_d' = \frac{6}{Re^{0.33}}$$

$$c_d' = \frac{6}{172.4^{0.33}} = 1.10$$

y por la fig. A.4 tenemos que  $\frac{C_d}{c_d'} = 5$ , entonces:

$$c_d = 1.10 * 5 = 5.50$$

$$\Delta P_{LD} = \frac{C_d * \rho_D * V_D^2}{2 * 32.2 * 5.196}$$

$$\Delta P_{LD} = \frac{5.50 * 0.072 * 1.67^2}{2 * 32.2 * 5.196} = 0.00328'' \text{ de H}_2\text{O}$$

#### Caída de presión en la segunda lamina

Por toda esta lamina el aire sale saturado, pero el aire absorbe un pequeño porcentaje de agua que no varia significativamente sus propiedades por lo que se considera que el fluido es específicamente aire, es decir, las propiedades del aire cambian a los siguientes valores:

$$\text{Temperatura} = 77.5 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$v_v = 1.68 * 10^{-4} \text{ pie}^2/\text{seg}$$

$$\rho_v = 0.0743 \text{ lb/pie}^3$$

con lo que los nuevos valores serán:

$$Re = 181.87, C_d' = 1.08, C_d = 5.39$$

$$\Delta P_{LV} = \frac{C_d * \rho_v * V_v^2}{2 * 32.2 * 5.196}$$

$$\Delta P_{LV} = \frac{5.39 * 0.0743 * 1.67^2}{2 * 32.2 * 5.196} = 0.00332" \text{ de H}_2\text{O}$$

7. Caída de presión a través de la columna de grano

$$V = 100 \text{ pie/min}$$

Por la fig. A.5 extrapolamos la curva del arroz a 13% de humedad.

$$\Delta P_B/\text{pie} = 3" \text{ de H}_2\text{O}$$

Pero por ser una columna de humedad mayor al 13% se tiene:

$$\Delta P_B/\text{pie} = 3 * 0.8 = 2.4" \text{ de H}_2\text{O}$$

Para un espesor de columna de 1 pie se tiene :

$$\Delta P_B = 2.4 * 1 = 2.4" \text{ de H}_2\text{O}$$

8. Caída de presión para la columna de aire saturado

Con los datos de:

$$Q = 8777 \text{ pie}^3/\text{min} \text{ y } V = 116 \text{ pie/min, y con la fig. A.3}$$

tenemos:

$$\frac{h_L}{D} = 0.01" \text{ de H}_2\text{O}$$

$$\Delta P_{cv} = \frac{1.80 \text{ pies} * 0.01" \text{ de H}_2\text{O}}{100} = 0.00018" \text{ de H}_2\text{O}$$

9. Caída de presión por el cambio de sección en la descarga del aire saturado

Con la tabla A.1, determinamos los diámetros equivalentes:

Para 5.41 pies \* 16.23 pies,  $d_{LD} = 9.8$  pies

Para 5.41 pies x 3.24 pies,  $d_{OV} = 4.50$  pies

La relación de áreas es  $\left(\frac{4.50}{9.8}\right)^2 = 0.21$

Por la tabla A.4 se tiene  $K = 0.456$ , y por tanto:

$$VP_i = \left(\frac{Q}{\pi * d_{LD}^2 * 4005}\right)^2 = 0.00084" \text{ de H}_2\text{O}$$

$$VP_o = \left(\frac{Q}{\pi * d_{OV}^2 * 4005}\right)^2 = 0.019" \text{ de H}_2\text{O}$$

$$\Delta P_{CS} = (VP_o - VP_i) + K * VP_o = 0.0181" \text{ de H}_2\text{O}$$

#### 10. Caída de presión en los desviadores de aire

En este caso la relación  $A_H/A_L$  es mucho mayor que en los agujeros anteriores, con lo que el coeficiente de perdidas (que es directamente proporcional a la caída de presión) disminuye. Para propósitos de calculo se asume despreciable:

$$\Delta P_L = 0$$

La presión estática total es la suma de las presiones anteriores:

$$\begin{aligned} \Delta P_s &= 0.541 + 0.0226 + 1.49 - 0.55 + 0.00341 + 0.00328 \\ &\quad + 0.00332 + 2.4 + 0.00018 + 0.0181 + 0.00 \\ &= 3.93" \text{ de H}_2\text{O} \end{aligned}$$

#### 3.1.1.4. Selección del ventilador

Se escoge un ventilador con las siguientes características:

$$Q = 36000 \text{ cfm}$$

$$\Delta P_{\text{estática}} = 4.00" \text{ de H}_2\text{O}$$

$$P_{\text{absorbida}} = 30 \text{ HP}$$

$$P_{\text{instalada}} = 40 \text{ HP}$$

#### 3.1.2. Determinación del volumen de almacenamiento

El volumen de almacenamiento de diseño para acumular el grano en todo el proceso de secamiento y para determinarlo, es necesario hallar la sección transversal y la altura que alcanza la columna de grano.

##### 3.1.2.1. Determinación de la sección transversal

La sección transversal es cuadrada y comprende las secciones transversales de todas las columnas de grano y la sección transversal de la cámara, tal que:

$$A = 7.41 \text{ pies} * 7.41 \text{ pies}$$

##### 3.1.2.2. Determinación de la altura necesaria para acumular el grano

Del análisis del proceso de secado tenemos:

1. En el primer paso la acumulación ocurre mientras no se alcancen los valores que provocan flujos constantes de grano.

2. En el segundo paso ocurre lo mismo que en el primero, pero además existe otra acumulación durante toda el segundo paso provocado por la rotación constante de la esclusa.
3. En el tercer paso ocurre exactamente el mismo proceso que en el segundo paso.

Con una capacidad de 2.6 ton/h, el análisis se determinara para una operación de la esclusa del silo de 20 horas, de tal manera que la capacidad del silo será:

$$m = 2.6 * 20 = 52.0 \text{ tons}$$

El tiempo que demora en vaciar el silo el grano desde 22 hasta 18.95% es:

$$\frac{52 \text{ ton}}{7.053 \text{ ton/h}} = 7.37 \text{ horas}$$

La masa del silo al 18.95% será:

$$7.37 \text{ horas} * 6.79 \text{ ton / h} = 50.04 \text{ tons}$$

El tiempo que demora el silo en vaciar el grano desde el 18.95% al 15.96% es:

$$\frac{50.04 \text{ ton}}{7.53 \text{ ton/h}} = 6.64 \text{ horas}$$

La masa del silo al 15.96 % será:

$$6.64 \text{ horas} * 7.19 \text{ ton/h} = 47.80 \text{ tons}$$

El tiempo que demora el silo en vaciar el grano desde el 15.96% al 13.03% es:

$$\frac{47.80 \text{ ton}}{8.00 \text{ ton/h}} = 5.98 \text{ horas}$$

La masa del grano en el silo al 13.03 % será:

$$5.98 \text{ horas} * 7.61 \text{ ton/h} = 45.49 \text{ tons}$$

El tiempo total será:

$$7.37 + 6.64 + 5.98 = 20.00 \text{ horas}$$

Es decir, un silo de 52.0 ton de arroz al 22 % de contenido de humedad, necesita 20 horas para vaciarse hasta 13.03 %, lo que da un tiempo de secado de:

$$20 \text{ hr} + 1.53 \text{ hr} = 21 \text{ hr y } 32 \text{ min}$$

Tiempo que se utilizara para operar diariamente el sistema.

Para determinar la altura de llenado, hallamos el volumen acumulado en todo el proceso para luego dividirlo entre la sección transversal mediante la ejecución del programa, lo que nos da:

Altura de llenado es 5.23 pies.

### 3.1.3. Determinación de la tolva de descarga

Esta tolva incluye el ducto por donde pasa el aire de secado, por lo cual sus dimensiones aumentarían al aumentar la capacidad de la planta, tal que no se produzcan pérdidas significativas de presión debido a expansiones o contracciones bruscas.

La dimensión de la tolva se considerará de:

$$W = 7.41 \text{ pies}$$

$$H = 7.41 \text{ pies}$$

El claro bajo la tolva debe incluir a la esclusa y al ducto, y se la asume igual al claro bajo el silo. Pero si al aumentar la capacidad del sistema de secado, también aumentan el diámetro del ducto y la altura de la esclusa, entonces es necesario hacer una cimentación especial que permita agrandar el claro.

$$\text{altura de la esclusa} + \text{altura del ducto} = 3.28 \text{ pies}$$

### 3.2. Selección del quemador

El consumo de combustible se lo determina en función de la energía requerida para calentar el aire en el proceso de secado.

$$G = 530832.5 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} * \frac{\text{lb}}{18500\text{Btu}} * \frac{\text{pie}^3}{0.85*62.4\text{lb}} * \frac{1\text{m}^3}{3.28^3 \text{pie}^3} * \frac{1000\text{lt}}{1\text{m}^3} * \frac{1\text{gal}}{4\text{lt}}$$

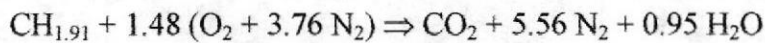
$$G = 3.84 \text{ gal/h}$$

La selección es un quemador a diesel con una boquilla de 4.0 gal/h de consumo de combustible y una cámara de combustión (o horno) que será determinada posteriormente.

### 3.2.1. Determinación de la temperatura de mezcla

Para diesel utilizando una relación  $\frac{y}{x} = 1.91$  se obtiene la siguiente

ecuación estequiométrica.



Los componentes resultantes son :

$$\text{CO}_2 = 13.3 \%$$

$$\text{N}_2 = 74.1 \%$$

$$\text{H}_2\text{O} = 12.6 \%$$

con calores específicos medios de 0.309 ; 0.298 ; 0.600 Btu/lb-°F

respectivamente entre 0 y 3400 °F con lo que se tiene:

$$c_p = 0.309 * 0.133 + 0.298 * 0.741 + 0.600 * 0.126$$

$$c_p = 0.338 \text{ Btu / lb-}^\circ\text{F}$$

PCI : Poder calorífico inferior del diesel

$$\text{PCI} = 18500$$

$c_p$  : conductividad térmica

$$\eta = \frac{(12 + 32) + 5.56 * 28 + 0.95 * (2 + 12)}{12 + 1.91}$$

$$= 15.58 \text{ lb de producto / lb de combustible}$$

Una elevación de temperatura de :

$$\Delta T = \frac{PCI}{c_p * \eta}$$

$$\Delta T = \frac{18500}{0.324 * 15.58} = 3664.88$$

Temperatura inicial de la combustión ( $T_{eg}$ )

$$T_{eg} = (3664.88 + 79) ^\circ F = 3743.88 ^\circ F$$

Para el calculo de la cantidad de flujo másico de los gases de combustión, se determina como sigue:

De la ecuación estequiométrica podemos encontrar la relación aire combustible teórico:

$$\begin{aligned} r_{a/c} &= \frac{1.48 \text{ mol O}_2}{1 \text{ mol CH}_{1.91}} * \frac{32 \text{ lb O}_2}{1 \text{ mol O}_2} * \frac{1 \text{ mol CH}_{1.91}}{13.91 \text{ lb CH}_{1.91}} * \frac{4.31 \text{ lb aire}}{1 \text{ lb O}_2} \\ &= 14.67 \text{ lbm aire / lbm comb} \end{aligned}$$

Cuando no se tiene datos estequiométricos de las composiciones del aire de la combustión, podemos decir o dar una aproximación de:

$$(r_{a/c})_{esteq} = 15$$

$$\frac{(r_{a/c})_{real}}{(r_{a/c})_{esteq}} = 1 + EA$$

$$r_{a/c})_{real} = (r_{a/c})_{esteq} (1 + EA)$$

$$\begin{aligned} m_{aire} &= m_{comb} * (r_{a/c})_{real} \\ &= m_{comb} * (r_{a/c})_{esteq} (1 + EA) \end{aligned}$$

Para aceite combustible, el porcentaje EA esta en el rango de un 5-20%.

Por la ref. 12, se asume % EA = 15 %

$$m_{gases} = m_{aire} + m_{comb}$$

Para un quemador de 4 gal / hora

$$m_{\text{comb}} = \frac{4 \text{ gal}}{\text{h}} * \frac{4 \text{ lt}}{\text{gal}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}} * \frac{(3.28 \text{ pie})^3}{\text{m}^3} * \frac{0.85 * 62.4 \text{ lb}}{\text{pie}^3}$$

$$= 29.95 \text{ lb / hr}$$

$$m_{\text{gases}} = m_{\text{comb}} * (r_{\text{a/c}})_{\text{esteq}} (1 + 0.15) + m_{\text{comb}}$$

$$= m_{\text{comb}} * (1 + (r_{\text{a/c}})_{\text{esteq}} * 1.15)$$

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

$$= m_{\text{comb}} * 18.25$$

$$= 29.95 * 18.25$$

$$= 546.66 \text{ lb / hr}$$

Por balance de energía se tiene :

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

Determinación de la capacidad del quemador:

$$q = m_f * \text{PCI}$$

$m_f$ : flujo másico de combustible

$$q = \frac{4 \text{ gal}}{\text{h}} * \frac{4 \text{ lt}}{\text{gal}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}} * \frac{(3.28 \text{ pie})^3}{\text{m}^3} * \frac{0.85 * 62.4 \text{ lb}}{\text{pie}^3} * \frac{18500 \text{ Btu}}{\text{hr}}$$

$$= 554009 \text{ Btu / h}$$

$T_{\text{sg}}$  : Temperatura de salida de los gases de combustión

$$q_{\text{gases}} = m_g * c_{\text{pg}} * (T_{\text{eg}} - T_{\text{sg}})$$

$$c_{\text{pg}} = 0.324 \text{ Btu / lb-}^\circ\text{F}$$

$$T_{\text{eg}} = 3959.6 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_{\text{sg}} = T_{\text{eg}} - \frac{q_{\text{aire}}}{c_{\text{pg}} * m_g}$$

$$= 3743.88 - \frac{554009}{0.324 * 546.66} = 615.96$$

Para el ventilador de 36000 pic<sup>3</sup>/min se tiene 2593.7 lb/min o 155623 lb/h de mezcla.

$$m_{\text{aire}} = 155063 \text{ lb/hr}$$

$$m_{\text{gas}} = 546.66 \text{ lb/hr}$$

$$m_{\text{mezcla}} = 155610 \text{ lb/hr}$$

$$Q_{\text{aire}} + Q_{\text{gases}} = Q_{\text{mezcla}}$$

$$m_a * c_{pa} * T_{sa} + m_g * c_{pg} * t_{sg} = m_m + c_{pm} + T_m$$

$$T_m = \frac{155063 * 0.24 * 93.2 + 546.66 * 0.324 * 615.96}{155610 * 0.24}$$

$$T_m = 95.80 \text{ } ^\circ\text{F}$$

### 3.2.2. Determinación de la cámara de combustión

El intercambiador de calor esta constituido por dos tubos concéntricos :

$T_1$  : temperatura promedio del aire que pasa en la región anular

$$T_1 = \frac{T_{sa} + T_{ea}}{2} = \frac{93.2 + 78.8}{2} = 86 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$T_2$  : temperatura promedio de los gases de combustión

$$T_2 = \frac{T_{eg} + T_{sg}}{2} = \frac{3743.88 + 615.96}{2} = 2180 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Asumiendo resistencia de conducción despreciable del tubo interior, tenemos :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o + h_{ro}} + \frac{1}{h_i + h_{ri}}}$$

$h_o$  : coeficiente convectivo en el interior del intercambiador de calor

$h_{ro}$  : coeficiente radiativo en el interior del intercambiador de calor

$h_{ri}$  : coeficiente convectivo en la parte anular del intercambiador de calor

$h_{ri}$  : coeficiente radiativo en la parte anular del intercambiador de calor

$l$  : longitud de llama

Considerando la longitud de la llama del quemador igual a 6.5 pies (recomendado por el fabricante para desarrollar la llama y humos), la longitud del intercambiador también será de 6.5 pies.

Asumo los diámetros tal que :

$$d_{int} = 20 \text{ plgs}$$

$$d_{ext} = 50 \text{ plgs}$$

$L$  : longitud media de la trayectoria radiante en varias formas de gas :

$$L = \frac{3.4 \text{ volumen}}{\text{area de superficie}}$$

$$\text{volumen} = \frac{\pi * d_{int}^2}{4 l}$$

$$\text{área de superficie} = \pi * d_{int} * l$$

$$L = 0.85 * d_{int} = 0.85 * 20/12$$

$$= 1.416 \text{ pies}$$

A continuación se determinan las presiones parciales de los gases, para ello iniciamos asumiendo que el intercambiador de calor esta a la presión atmosférica y teniendo los productos de la combustión los siguientes componentes :

$$\text{CO}_2 = 20.3 \%$$

$$\text{N}_2 = 71.8 \%$$

$$\text{H}_2\text{O} = 7.9 \%$$

$p$  : presión parcial

$$p_{\text{CO}_2} = 0.203 \text{ atm}$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = 0.079 \text{ atm}$$

$$p_{\text{CO}_2} * L = 0.203 * 1.416 = 0.288 \text{ atm - pie}$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} * L = 0.079 * 1.416 = 0.112 \text{ atm - pie}$$

Por lo tanto la emisividad del  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  se encuentran en las figs. A.6,

A.7, A.8 y A.9.

$$\epsilon_{\text{CO}_2} = 0.08$$

$$\epsilon_{\text{H}_2\text{O}} = 0.035 \text{ y } \frac{p + p_w}{2} = \frac{1 + 0.079}{2} = 0.54, \quad c_p = 1.1, \quad \epsilon_{\text{H}_2\text{O}} = 0.0385$$

Por la fig. A.10.

$d\epsilon$  (corrección para la emisividad del gas)

$$d\epsilon = 0$$

$\epsilon_g$  (emisividad del gas)

$$\epsilon_g = \epsilon_{\text{CO}_2} + \epsilon_{\text{H}_2\text{O}} - d\epsilon$$

$$= 0.08 + 0.0385 - 0 = 0.1185$$

Asumiendo que la temperatura del tubo interior esta a  $T_s = 1000 \text{ }^\circ\text{F}$ .

Por la fig A.11 obtengo el factor de temperatura de tubo interior :

Para los valores :  $T = 2180 \text{ }^\circ\text{F}$  y  $T_s = 1000 \text{ }^\circ\text{F}$

Se tiene que  $F_{to} = 62$ , por lo tanto el coeficiente radiativo será :

$$h_{ro} = \epsilon_g * F_{to} = 0.1185 * 62 = 7.35 \text{ Btu / hr-pie}^2 \text{ - }^\circ\text{F}$$

Igualmente para la región anular :

Para  $T = 86 \text{ }^\circ\text{F}$  y  $T_s = 1000 \text{ }^\circ\text{F}$  se tiene que  $F_{ii} = 8.5$

La emisividad del acero es 0.8

$$h_{ri} = \epsilon_{\text{tubo}} * F_{ii} = 0.8 * 8.5 = 6.8 \text{ Btu/hr-pie}^2 \text{ - }^\circ\text{F}$$

El valor se  $h_i$  se calcula como sigue :

$D_{hl}$  : diámetro hidráulico de la cámara de combustión

$$D_{hl} = \frac{50 - 20}{12} = 2.5$$

$A_1$  : área transversal de la cámara de combustión

$$A_1 = \frac{\pi}{4} [d_{\text{ext}}^2 - d_{\text{int}}^2] = \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{50}{12} \right)^2 - \left( \frac{20}{12} \right)^2 \right] = 11.45 \text{ pies}^2$$

$$V = \frac{36000 \text{ pie}^3 / \text{min}}{11.45 \text{ pie}^2} = 52.40 \text{ pie / seg}$$

$$Re = \frac{V * D_{hl}}{\nu} = \frac{52.40 * 2.5}{1.768 * 10^{-4}} = 7.4 * 10^5$$

$C$  : constante (= 0.020)

$D_h$  : diámetro hidráulico

$k_b$  : conductividad del aire a  $T_b = 86 \text{ }^\circ\text{F}$

$$k_b = 0.0151$$

$$h_i = C * k_b * Re^{0.8} * Pr^{0.33} * \left(\frac{T_1}{T_s}\right)^{0.575} * \frac{1}{D_h}$$

$$= 0.02 * 0.0151 * (7.4 * 10^5)^{0.8} * 0.72^{0.33} * \left(\frac{86}{1600}\right)^{0.575} * \frac{1}{2.5} = 1.05 \text{ Btu/h-pie}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

el valor de  $h_o$  se obtiene a continuación :

$$m_{\text{gas}} = 546.66 \text{ lb/hr} = 0.15 \text{ lb/seg}$$

Asumiendo propiedades del gas iguales a la del aire, ya que son parecidas a las del nitrógeno que es el que tiene mayor porcentaje, se

$$\text{tiene: } \rho_{\text{gas}} = 0.0139 \text{ lb/pie}^3$$

$$A_2 = \frac{\pi * d_{\text{int}}^2}{4} = \frac{\pi * 20^2}{4 * 12} = 2.18 \text{ pies}^2$$

$v_2$  : velocidad del gas

$$v_2 = \frac{m_{\text{gas}}}{\rho_{\text{gas}} * A_2} = \frac{0.15}{0.0139 * 2.18} = 4.95 \text{ pie/s}$$

$$Re = \frac{v_2 D_{h2}}{\nu_2}$$

$D_{h2}$  : Diámetro hidráulico en el tubo interior

$\nu_2$  : viscosidad cinemática de los gases

$$Re = \frac{4.95 * 20}{12 * 2.662 * 10^{-3}} = 3100 \text{ y } Pr = 0.761$$

$$\left(\frac{Re * Pr * d_{\text{int}}}{l}\right) * 10^{-2} = \left(\frac{3100 * 0.761 * 20}{12 * 7}\right) * 10^{-2} = 5.6$$

Del gráfico A.12 para temperatura constante de la pared, se tiene :

$$Nu_{A.12} = 20$$

$$Nu = Nu_{A.12} * \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^n$$

$$n = 0.25 \text{ para calefacción y } Nu = 20 * \left( \frac{2180}{1600} \right)^{0.21} = 21.61$$

$$h_o = \frac{Nu * k_b}{D_{h2}} = \frac{21.61 * 0.0502 * 12}{20} = 0.65$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{0.65 + 7.35} + \frac{1}{1.05 + 6.80}}$$

$$A_2 = \frac{Q}{U dt} = \frac{554009}{7.71 (2180 - 86)} = 34.32 \text{ pies}^2$$

$$\pi * d_{int} * l = 34.32 \text{ pies}^2$$

$$d_{int} = \frac{34.32}{\pi * 6.5} = 1.68 \text{ pies} = 20.12 \text{ plgs}$$

Entonces se puede seleccionar una cámara de combustión de las siguientes características :

Diámetro interior = 20 plgs

Diámetro exterior = 50 plgs

Longitud = 84 plgs

### 3.3. Selección del silo receptor

La capacidad necesaria para 20 horas de operación es:

$$\text{Capacidad} = \frac{2.6 * 20 * 43.1}{31.17} = 71.90 \text{ TM}$$

El silo receptor una vez instalado tiene las siguientes propiedades:

capacidad = 73 TM

diámetro = 15.00 pies

altura total = 30.00 pies y altura bajo el silo = 3.28 pies

### 3.4. Selección del sistema de transporte neumático

Se selecciona un sistema de presión que consiste de: ventilador centrífugo, ductos, ciclones de separación y rotor de separación del producto, el cual será determinado en el diseño de la esclusa.

Para el sistema de secado existen dos sistemas de transporte neumático: uno desde el silo hacia la secadora y otro desde la secadora hacia el silo.

#### 3.4.1. Determinación de las dimensiones del sistema de transporte neumático desde el silo hacia la secadora

Las dimensiones para este sistema son: el diámetro del ducto, caudal y caída de presión total silo-secadora, la cual es la suma de la caída de presión en el ducto incluyendo codos y en el ciclón separador de grano.

##### 3.4.1.1. Caída de presión en el ducto

Utilizando las ecs. 2-1 a 2-14 y con los valores que intervienen en la caída de presión en todo el ducto, se determina el sistema.

$$D_s = 0.0128 \text{ pies y } C = 0.5$$

$V_g = 5000 \text{ pie/min}$ , que asegura un transporte seguro del grano para valores de densidad entre 25 y 75 lb/pie<sup>3</sup>.

$$V_r = 60 * \left( \frac{4 * 32.2 * 35.36 * 0.0128}{3 * 0.5 * 0.0741} \right)^{1/2}$$

$$= 1373.89 \text{ pie/min}$$

$$V_r = 1373.89 (0.18 + 6.50 * 10^{-5} * 5000) = 693.81 \text{ pie/min}$$

$$V_{sh} = 5000 - 693.81 = 4306.19 \text{ pie/min} = 71.77 \text{ pies / seg}$$

$$V_{sv} = 5000 - 1373.89 = 3626.12 \text{ pie/min} = 60.44 \text{ pies/seg}$$

$$\rho_{ds} = \frac{266.69 * 4}{\pi * \left(\frac{14}{12}\right)^2 * 4306.19} = 5.70 * 10^{-2} \text{ lb / pie}^2$$

$$\rho_{dG} = 7.41 * 10^{-2} \text{ lb / pie}^3$$

$$L_H = 15.94 \text{ pies}$$

$$L_V = 39.31 \text{ pies}$$

Para el tramo horizontal se tiene:

1. Caída de presión para la aceleración del gas

$$\Delta P_{aG} = \frac{7.41 * 10^{-2} * 83.33^2}{2 * 32.17 * 5.196} = 1.54 \text{ " de H}_2\text{O}$$

2. Caída de presión para la aceleración de partículas sólidas

$$\Delta P_{as} = \frac{5.70 * 10^{-2} * 71.77^2}{32.17 * 5.196} = 1.76 \text{ " de H}_2\text{O}$$

3. Caída de presión por fricción entre el gas y pared de la tubería

$$Re = \frac{(14/12) * 83.33 * 0.0741}{1.248 * 10^{-5}} = 577585$$

Para un acero comercial de rugosidad 0.006", con diámetro de 14", la rugosidad relativa es 0.00043 y por fig. A.1 tenemos que  $f_G = 0.0043$

$$\Delta P_{f,G} = \frac{4 * 0.0043 * 15.94 * 7.41 * 10^{-2} * 83.33^2}{2 * 32.17 * 14/12 * 5.196}$$

$$= 0.40" \text{ de H}_2\text{O}$$

4. Caída de presión por fricción entre partículas y pared de tubería

$$f_s = \frac{3 * 0.0741 * 14/12 * 0.5 * (83.33 - 71.77)^2}{8 * 35.36 * 0.0128 * 71.77^2}$$

$$= 0.001$$

$$\Delta P_{f,s} = \frac{4 * 0.001 * 15.94 * 0.0570 * 71.77^2}{2 * 32.17 * 14/12 * 5.196}$$

$$= 0.050" \text{ de H}_2\text{O}$$

La caída de presión en el tramo horizontal es

$$\Delta P_{t,h} = 1.54 + 1.76 + 0.40 + 0.050 = 3.75" \text{ de H}_2\text{O}$$

Ahora para el tramo vertical se tiene:

1. Caída de presión para la aceleración del gas

$$\Delta P_{a,G} = \frac{7.41 * 10^{-2} * 83.33^2}{2 * 32.17 * 5.196} = 1.54" \text{ de H}_2\text{O}$$

2. Caída de presión para la aceleración de partículas sólidas

$$\Delta P_{a,s} = \frac{6.77 * 10^{-2} * 60.44^2}{32.17 * 5.196} = 1.48" \text{ de H}_2\text{O}$$

3. Caída de presión por la fricción entre el gas y la pared de la tubería

Por tener  $V_g = 5000$  pie/min y  $D = 14$ " entonces  $Re = 577585$

y  $f_G = 0.0043$

$$\Delta P_{f,G} = \frac{4 * 0.0043 * 39.31 * 7.41 * 10^{-2} * 83.33^2}{2 * 32.17 * 14 / 12 * 5.196}$$

$$= 0.88" \text{ de } H_2O$$

4. Caída de presión por fricción entre partículas y pared de tubería

$$f_s = \frac{3 * 0.0741 * 14 / 12 * 0.5 * (83.33 - 60.44)^2}{8 * 35.36 * 0.0128 * 60.44^2}$$

$$= 0.005$$

$$\Delta P_{f,s} = \frac{4 * 0.005 * 39.31 * 0.0677 * 60.44^2}{2 * 32.17 * 14 / 12 * 5.196}$$

$$= 0.51" \text{ de } H_2O$$

5. Caída de presión por soporte de la columna de gas

$$\Delta P_{h,G} = \frac{7.41 * 10^{-2} * 32.2 * 39.31}{32.17 * 5.196} = 0.56" \text{ de } H_2O$$

6. Caída de presión por soporte de sólidos

$$\Delta P_{h,s} = \frac{6.77 * 10^{-2} * 32.2 * 39.31}{32.17 * 5.196} = 0.51" \text{ de } H_2O$$

La caída de presión en tubería vertical:

$$\Delta P_{tv} = 1.54 + 1.48 + 0.88 + 0.51 + 0.56 + 0.51 = 5.49" \text{ de H}_2\text{O}$$

### 7. Caída de presión en los codos

$$p_{v1} = 0.25 * (4306.19 + 0.80 * 4306.19)^2 / 4005^2 = 0.94" \text{ de H}_2\text{O}$$

$$p_{v2} = 0.25 * (3626.12 + 0.80 * 3626.12)^2 / 4005^2 = 0.66" \text{ de H}_2\text{O}$$

$$p_v = 0.94 + 0.66 = 1.60" \text{ de H}_2\text{O}$$

$$m_G = 396.16 \text{ lb/min}$$

$$\Delta P_{el} = \pi * 0.40 * 0.66 * 1.60 = 1.33" \text{ de H}_2\text{O}$$

La caída de presión total en tubería será:

$$\Delta P_{pt} = 3.75 + 5.49 + 1.33 = 10.57" \text{ de H}_2\text{O}$$

#### 3.4.1.2. Selección del ciclón separador de grano en la secadora

Se elige un ciclón de baja eficiencia que utiliza grandes cantidades de material (columna 5 de la tabla 2.0) y utilizando las ecs. 2-15 a 2-23, las características para este ciclón son:

$$D = 30.21", H = 22.66", W = 11.33", De = 22.66", S = 26.44"$$

$$Lb = 45.32", Lc = 75.53", Dd = 11.33"$$

$$Ne = \frac{1}{11.33} \left[ 45.32 + \frac{75.53}{2} \right] = 3.67$$

$$\Delta t = 2 \pi * 15.10 * 3.67 / 50 = 0.58 \text{ seg.}$$

$$Vt = 11.33 / 0.58 = 1.63 \text{ pie/seg}$$

$$d_{sc} = \left[ \frac{9 * 1.25 * 10^{-5} * 11.33}{2 * \pi * 3.67 * 50 * (35.36 - 0.0741)} \right] = 0.000051"$$

Para el caso de partículas de igual diámetro, la eficiencia de colección es:

$$\eta = \frac{1}{1 + (51 * 10^{-5} / 0.0128 * 12)^2} = 1$$

$$\psi = \left[ \frac{4 * 32.2 * 1.248 * 10^{-5} (35.36 - 0.0741)}{3 * 0.0741^2} \right]^{0.333} = 1.51$$

$$V_s = 2.055 * 1.51 \left[ \frac{(0.375)^{0.4}}{1 - (0.375)^{0.333}} \right] 30.21^{0.067} 50^{0.667} = 128.31 \text{ pie / seg}$$

Con la velocidad de saltación mayor a la de entrada, se logra evitar la recirculación innecesaria del grano.

$$V_i = 50 \text{ pies / seg}$$

$$H_v = \frac{16 * 22.66 * 11.33}{22.66^2} = 8$$

$$\Delta P_c = \frac{1}{2} * 0.0741 * 50^2 * 8 = 4.43" \text{ de H}_2\text{O}$$

Para el caso de la entrada al ciclón esta requiere un acople cuya longitud fue considerada en el transporte neumático como una tubería de 14".

$$\text{Sección de descarga, } d_o = 16.7"$$

Por la fig. 6-14, la relación  $d_o/d_i = 1.2$ ,  $\theta = 3.5^\circ$ ,  $R_s = 0.92$

$$VP_i = \left( \frac{Q * 4}{\pi * d_i^2 * 4005} \right)^2 = 1.56$$

$$\Delta P_{ex} = (1 - 0.92) * 1.56 = 0.125" \text{ de H}_2\text{O}$$

### 3.4.1.3. Selección del ventilador

La caída de presión total silo-secadora con un factor de seguridad de 1.3 es :

$$\Delta P_t = (10.57 + 4.43 + 0.125) * 1.3 = 15.13 * 1.3 = 19.66" \text{ de H}_2\text{O}$$

$$Q = 5345.08 / (60 * 3.28^3) = 2.52 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\text{cabezal} = 19.66 * 66 / 3.28 = 395.67 \text{ m}$$

$$nq = 3600 * 2.52^{0.5} / 395.67^{0.75} = 64.48$$

Se escoge un ventilador centrífugo con los siguientes valores:

$$Q = 5350 \text{ pie}^3 / \text{min}$$

$$\Delta P = 22" \text{ de H}_2\text{O}$$

$$P_{\text{absorbida}} = 29 \text{ HP}$$

$$P_{\text{instalada}} = 40 \text{ HP}$$

$$\eta = 0.725$$

### 3.4.2. Determinación de las dimensiones del sistema de transporte neumático desde la secadora hacia el silo

Son los mismos elementos anteriores pero con otros valores, los cuales serán determinados como sigue.

#### 3.4.2.1. Caída de presión en el ducto

Estos valores difieren del anterior solo en el hecho de que la esclusa descarga grano con otro valor de humedad y flujo de grano (ecs. 2-1 a 2-14).

$$D_s = 0.0128 \text{ pies}$$

$$C = 0.5$$

$$V_g = 5000 \text{ pie/min}$$

$$V_f = 60 * \left( \frac{4 * 32.2 * 37.39 * 0.0128}{3 * 0.5 * 0.0741} \right)^{1/2}$$

$$= 1413.19 \text{ pie/min}$$

$$V_r = 1413.19 ( 0.18 + 6.50 * 10^{-5} * 5000 ) = 713.66 \text{ pie/min}$$

$$V_{sh} = 5000 - 713.66 = 4286.34 \text{ pie/min} = 71.44 \text{ pies / seg}$$

$$V_{sv} = 5000 - 1413.19 = 3586.81 \text{ pie/min} = 59.78 \text{ pies / seg}$$

$$\rho_{ds} = 253.76 / (\pi/4 * (14/12)^2 * 4286.34) = 5.54 * 10^{-2} \text{ lb/pie}^3$$

$$\rho_{dG} = 7.41 * 10^{-2} \text{ lb / pie}^3$$

$$L_{II} = 15.94 \text{ pies}$$

$$L_V = 34.24 \text{ pies}$$

Para el tramo horizontal se tiene:

1. Caída de presión para la aceleración del gas

$$\Delta P_{a,G} = \frac{7.41 * 10^{-2} * 83.33^2}{2 * 32.17 * 5.196} = 1.54 \text{ " de H}_2\text{O}$$

2. Caída de presión para la aceleración de partículas sólidas

$$\Delta P_{a,s} = \frac{5.54 * 10^{-2} * 71.44^2}{32.17 * 5.196} = 1.68 \text{ " de H}_2\text{O}$$

3. Caída de presión por la fricción entre el gas y la pared de la tubería

Por tener  $V_g = 5000 \text{ pie/min}$  y  $D = 14''$  entonces  $Re = 577585$

$$\text{y } f_G = 0.0043$$

$$\Delta P_{f,G} = \frac{4 * 0.0043 * 15.94 * 7.41 * 10^{-2} * 83.33^2}{2 * 32.17 * 14 / 12 * 5.196}$$

$$= 0.40" \text{ de H}_2\text{O}$$

4. Caída de presión por fricción entre partículas y pared de tubería

$$f_s = \frac{3 * 0.0741 * 14 / 12 * 0.5 * (83.33 - 71.44)^2}{8 * 37.39 * 0.0128 * 71.44^2}$$

$$= 0.001$$

$$\Delta P_{f,s} = \frac{4 * 0.001 * 15.94 * 0.0554 * 71.44^2}{2 * 32.17 * 14 / 12 * 5.196}$$

$$= 0.048" \text{ de H}_2\text{O}$$

La caída de presión en el tramo horizontal es:

$$\Delta P_{t,h} = 1.54 + 1.69 + 0.40 + 0.048 = 3.68" \text{ de H}_2\text{O}$$

Para el tramo vertical se tiene:

1. Caída de presión para la aceleración del gas

$$\Delta P_{a,G} = \frac{7.41 * 10^{-2} * 83.33^2}{2 * 32.17 * 5.196} = 1.54" \text{ de H}_2\text{O}$$

2. Caída de presión para la aceleración de partículas sólidas

$$\Delta P_{a,s} = \frac{6.62 * 10^{-2} * 59.78^2}{32.17 * 5.196} = 1.41" \text{ de H}_2\text{O}$$

3. Caída de presión por la fricción entre el gas y la pared de la tubería

Por tener  $V_g = 5000$  pie/min y  $D = 14$ " entonces  $Re = 577585$  y  $f_G = 0.0043$

$$\Delta P_{f,G} = \frac{4 * 0.0043 * 34.24 * 7.41 * 10^{-2} * 83.33^2}{2 * 32.17 * 14 / 12 * 5.196}$$

$$= 0.77" \text{ de H}_2\text{O}$$

4. Caída de presión por fricción entre partículas y pared de tubería

$$f_s = \frac{3 * 0.0741 * 14 / 12 * 0.5 * (83.33 - 59.78)^2}{8 * 37.39 * 0.0128 * 59.78^2}$$

$$= 0.005$$

$$\Delta P_{f,s} = \frac{4 * 0.005 * 34.24 * 0.0662 * 59.78^2}{2 * 32.17 * 14 / 12 * 5.196}$$

$$= 0.44" \text{ de H}_2\text{O}$$

5. Caída de presión por soporte de la columna de gas

$$\Delta P_{h,G} = \frac{7.41 * 10^{-2} * 32.2 * 34.24}{32.17 * 5.196} = 0.49" \text{ de H}_2\text{O}$$

6. Caída de presión por soporte de sólidos

$$\Delta P_{h,s} = \frac{6.62 * 10^{-2} * 32.2 * 34.24}{32.17 * 5.196} = 0.44" \text{ de H}_2\text{O}$$

La caída de presión en tubería vertical :

$$\Delta P_{t,v} = 1.54 + 1.41 + 0.77 + 0.44 + 0.49 + 0.44 = 5.09" \text{ de H}_2\text{O}$$

7. Caída de presión en los codos

$$p_{v1} = \frac{0.5 * (4286.34 + 0.80 * 4286.34)^2}{4005^2} = 0.93" \text{ de H}_2\text{O}$$

$$p_{v2} = \frac{0.5 * (3586.81 + 0.80 * 3586.81)^2}{4005^2} = 0.65" \text{ de H}_2\text{O}$$

$$p_v = 0.93 + 0.65 = 1.58" \text{ de H}_2\text{O}$$

$$m_G = 396.16 \text{ lb/min}$$

$$\Delta P_{el} = \pi * 0.40 * 0.65 * 1.58 = 1.27" \text{ de H}_2\text{O}$$

La caída de presión total en tubería será :

$$\Delta P_{pt} = 3.68 + 5.09 + 1.27 = 10.04" \text{ de H}_2\text{O}$$

### 3.4.2.2. Selección del ciclón separador de grano en la secadora

Se elige también un ciclón de baja eficiencia que utiliza grandes cantidades de material (columna 5 de la tabla 2.0 y ecs. 2-15 a 2-23).

Las características para este ciclón son:

$$D = 30.21", H = 22.66", W = 11.33", D_e = 22.66", S = 26.44"$$

$$L_b = 45.32", L_c = 75.53", D_d = 11.33"$$

$$Ne = \frac{1}{11.33} \left[ 45.32 + \frac{75.53}{2} \right] = 3.67$$

$$\Delta t = 2 \pi * 15.11 * 3.67/50 = 0.58 \text{ seg.}$$

$$V_t = 11.33/0.58 = 1.63 \text{ pies/seg}$$

$$d_{sc} = \left[ \frac{9 * 1.25 * 10^{-5} * 11.33}{2 * \pi * 3.67 * 50 * (37.39 - 0.0741)} \right] = 0.000049''$$

Para el caso de partículas de igual forma , la eficiencia de colección es:

$$\eta = \frac{1}{1 + (4.97 * 10^{-5} / 0.0128 * 12)^2} = 1$$

$$\psi = \left[ \frac{4 * 32.2 * 1.248 * 10^{-5} (37.39 - 0.0741)}{3 * 0.0741^2} \right]^{0.333} = 1.54$$

$$V_s = 2.055 * 1.54 \left[ \frac{(0.375)^{0.4}}{1 - (0.375)^{0.333}} \right] 30.21^{0.067} 50^{0.667} = 130.75 \text{ pie / seg}$$

$$H_v = \frac{16 * 22.66 * 11.33}{22.66^2} = 8$$

$$\Delta P_c = \frac{1}{2} * 0.0741 * 50^2 * 8 = 4.43'' \text{ de H}_2\text{O}$$

Para el caso del acople con tubería de 14":

Sección de descarga,  $d_o = 16.7''$

Por la fig. 6-14, la relación  $d_o/d_i = 1.2$  ,  $\theta = 3.5^\circ$  ,  $Re = 0.92$

$$VP_i = \left( \frac{Q * 4}{\pi * d_t^2 * 4005} \right)^2 = 1.56$$

$$\Delta P_{ex} = (1 - 0.92) * 1.56 = 0.124'' \text{ de H}_2\text{O}$$

### 3.4.2.3. Selección del ventilador

La caída de presión total secadora-silo con un factor de seguridad de 1.3 es :

$$\Delta P_t = (10.04 + 4.43 + 0.125) * 1.3 = 14.59 * 1.3 = 18.97'' \text{ de H}_2\text{O}$$

$$\text{caudal} = 5345 / (60 * 3.28^3) = 2.52 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\text{cabezal} = 18.97 * 66 / 3.28 = 381.62 \text{ m}$$

$$n_q = 3600 * 2.52^{0.5} / 381.62^{0.75} = 66.25$$

Se escoge el mismo ventilador anterior, es decir:

$$Q = 5350 \text{ pie}^3/\text{min}$$

$$\Delta P = 22'' \text{ de H}_2\text{O}$$

$$P_{\text{abs}} = 29 \text{ HP}$$

$$P_{\text{inst}} = 40 \text{ HP}$$

$$\eta = 0.725$$

### 3.5. Diseño de la esclusa

En la tabla A.5 se presenta una tabla con diferentes capacidades volumétricas las cuales pueden ser fabricadas en nuestro medio. La esclusa a seleccionar debe cumplir con las siguientes características :

- Exclusa a presión positiva
- Exclusa de servicio ligero: hasta 3 psi en el sistema.
- Para material de: Buena fluidez

Corrosivo

Variación de su temperatura

No contaminación

Producto delicado

Densidad de 37.39 lb/pie<sup>3</sup>

- El rotor debe ser de final cerrado para transportar material abrasivo.
- Como la esclusa es construida en nuestro medio, se requiere de sellos muy sencillos , como los de doble ceja en las caras laterales del rotor y tapas, que al estar en contacto no permiten las perdidas de aire.
- Este tipo de esclusa no utiliza rodamientos, sino cojinetes de deslizamiento de bronce para evitar el desgaste.

Para los cálculos posteriores se consideran las propiedades de un acero comercial, y así dejar la opción de utilizar otro material con mejores características que permita obtener buenos resultados.

### **3.5.1. Determinación del volumen de descarga, revolución del rotor, caudal y capacidad de grano.**

Considerando la velocidad de rotación de la esclusa entre 5 y 35 rpm, se determina el volumen de la misma. Para un valor de 26 rpm en la esclusa bajo el silo se tiene:

$$\text{volumen} = \frac{235.10}{26 * 31.17} = 0.290 \text{ pies}^3$$

En base a esto se determina las velocidad de rotación de la esclusa bajo la secadora :

$$\text{velocidad} = \frac{226.25}{33.28 * 0.290} = 23.4 \text{ rpm}$$

Pero se considera una velocidad del rotor de 23 rpm bajo la secadora.

Si observamos cuidadosamente los resultados, podemos determinar por la tabla A.5 que la esclusa mas indicada será la MPSA-28/22 de la cual se proporciona información muy importante para obtener los primeros parámetros para el diseño.

Un dato que no esta incluido en este cuadro, pero que es característico del fabricante son los 8 canales que posee el rotor, dato que servirá para determinar la capacidad de desalojo en una vuelta.

El volumen del rotor de una esclusa MPSA-28/22 es de  $0.30 \text{ pie}^3$  ( $8.50 \text{ dm}^3$ ) y para una velocidad de rotación menor a 30 rpm su rendimiento es elevado, por tanto, para una capacidad real de desalojo de  $0.29 \text{ pie}^3$  tendremos una diferencia en volumen, pero hay que considerar que la esclusa no se llena completamente.

Estas velocidades de rotación en ambas esclusas deben mantenerse constantes en todo el proceso de secado.

Para condiciones de máxima capacidad se tiene bajo el silo un valor de  $266.67 \text{ lb/min}$  o un caudal de grano de  $7.54 \text{ pie}^3/\text{min}$  y bajo la secadora un valor de  $253.76 \text{ lb/min}$  o  $6.79 \text{ pie}^3/\text{min}$ .

La versatilidad de esta esclusa esta dada en función de las revoluciones a la que gira. Si se desea rediseñar el sistema y el flujo de producto, se podrá aumentar las revoluciones hasta un valor no mayor a 60 RPM, ya que para revoluciones mayores de giro, la eficiencia de la esclusa decae.

Esto se explica porque el tiempo de llenado de los canales se reduce y por consiguiente el volumen entregado en las líneas de transporte es menor.

### 3.5.2. Termo-deformación del rotor

Este efecto en los materiales es importante para poder definir las tolerancias entre la carcaza y el rotor, por consiguiente, es preciso establecer el modelo matemático y las restricciones para el calculo correspondiente.

Consideraciones:

1. El modelo matemático no considera los efectos producidos por la dilatación que lo acompaña y solo se toma en cuenta la dilatación radial.

2. El material es acero, y por la ref. 1 se tiene:

$$E \text{ (modulo de elasticidad)} = 29.81 * 10^6 \text{ lb/plg}^2$$

$$C_{dir} \text{ (coeficiente de dilatación radial)} = 11 * 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$$

3. La variación de temperatura es:

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

Una vez establecidas estas consideraciones procederemos a calcular la dilatación radial por la formula de la ref. 1:

dir : dilatación radial

$$\text{dir} = D_{\text{rotor}} * \Delta T * C_{\text{dir}}$$

$$\text{dir} = 11.02 * 20 * 11 \times 10^{-6}$$

$$\text{dir} = 0.003 \text{ plg (0.07 mm)}$$

### 3.5.3. Determinación del eje del rotor

Para definir el diámetro del eje es necesario un modelo matemático que considere todos los factores y datos proporcionados por el fabricante en los folletos de presentación. El gráfico 3.1 muestra el modelo que se utilizará y la distribución resultante.

Peso = Peso del arroz + peso del rotor

$$W = W_a + W_r$$

$$W_a = 37.39 \text{ lb/pie}^3 * 0.29/2 \text{ pie}^3 = 5.42 \text{ lb}$$

$$W_r = 154 \text{ lbs}$$

$$W = 159.42$$

T=Torque producido

P = Potencia del motor de la esclusa

$$V_r = \text{rpm}$$

$$T = 63000 \frac{P}{V_r} \text{ (ref. 14)}$$

Del fabricante se conoce que: P = 0,55 KW

$$0,55 \text{ KW} = 0,74 \text{ HP}$$

$$T = 63000 * \frac{0.74}{23} = 2027 \text{ lb} - \text{plg}$$

$$T = 2027 \text{ lb} - \text{plg}$$

Haciendo un corte en el eje para determinar el momento flector se obtiene lo siguiente:

Smo : sumatoria de momentos en el punto (o).

$$Smo = 0$$

$$M + 159.42/2 * X = 0$$

$$M = - 79.71 X$$

Para  $X = L / 2$  : El momento es máximo

$$M = 79.71 \text{ lb} * 12.62/2 \text{ plg} = 503 \text{ lb-plg}$$

$$M = 503 \text{ lb-plg}$$

En cualquier eje rotatorio cargado por momentos estacionarios de flexión y torsión actuarán esfuerzos por flexión completamente invertida, debido a la rotación del árbol, pero el esfuerzo torsional permanece estable.

Usando la relación de Goodman modificada se tiene:

$$D = \left( \frac{32n}{\pi} \left( \left( \frac{M}{S_e} \right)^2 + \left( \frac{T}{S_{ut}} \right)^2 \right)^{1/2} \right)^{1/3}$$

D : diámetro del eje.

n : factor de seguridad, se asume 3.5

$S_e$  : limite de resistencia a la fatiga

$S_{ut}$  : para acero AISI 1011 = 49500 lb/plg<sup>2</sup>

$M$  = Momento flector aplicado en el eje = 503 lb - plg

$T$  = Torque efectuado por el eje = 2027 lb - plg

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S_u$$

$k_a$  : factor de superficie es 0.9 para un  $S_{ut} = 49500$  lb/plg<sup>2</sup> y un acabado superficial del tipo maquinado.

$k_b$  : factor de tamaño ( $= 0.869D^{-0.097}$ ;  $0.3$  plg  $< D < 10$  plg), y se asume el promedio para diseñar con cierto margen de seguridad,  $k_b = 0.84$

$k_c$  : factor de carga = 0.577 (debido a la torsión).

$k_d$  : factor de temperatura, para  $T < 100$  °C vale 1.02

$k_e$  : factor de efectos diversos se asume 1 por considerarlos poco influyentes en el resultado del diseño.

$S_e = 0.504 S_{ut}$ , cuando  $S_{ut} < 200$  kpsi.

$$S_e = 0.9 * 0.84 * 0.577 * 1.02 * 1.0 * 0.504 * 49500 = 11184.27 \text{ lb / plg}^2$$

Considerando la concentración de esfuerzos por las cuñas, la ecuación del diámetro se modifica:

$$D = \left( \frac{32n}{\pi} \left( \left( k_f \frac{M}{S_e} \right)^2 + \left( k_{ts} \frac{T}{S_{ut}} \right)^2 \right)^{1/2} \right)^{1/3}$$

Para canales cortados con fresa común (ref. 14) se tienen los valores de:

$k_f$  : concentrador para flexión = 2.14

$k_{ts}$  : concentrador para torsión = 2.62

Consideraciones del fabricante:

$$n = 3.5$$

$$D = 1.64 \text{ plg}$$

Por la ref. 1 se utiliza cojinetes para obtener un apriete con deslizamiento.

Esto se puede ver en la tabla A.6 y ubicamos el punto de ajuste que requerimos. Este ajuste es el de rotación de precisión (RC3) que nos da el mas estrecho posible para lograr un movimiento libre, este se usa en trabajos de precisión, donde hay velocidad baja y precisión ligera entre muñón y cojinete.

EJE:

$$D = 1.64 \text{ pulg}$$

Intervalos de tamaños

Ajuste	1.19 a 1.97 pulg	
RC3	Eje :	Aguj :
	-1.0 * 10 <sup>-3</sup>	+ 1.0 * 10 <sup>-3</sup>
	-1.6 * 10 <sup>-3</sup>	+ 0.0 * 10 <sup>-3</sup>

EJE:

$$D = 1.64 \begin{array}{l} -0.0010 \\ \text{plg} \\ -0.0016 \end{array}$$

AGUJ :

$$D = 1.64 \begin{array}{l} +0.001 \\ \text{plg} \\ +0.000 \end{array}$$

Para definir el ajuste del bocín con la tapa se escogió el FN1 de impulsión ligera, donde se requiere bajas presiones de ensamble y

montajes mas o menos permanentes, adecuada en el caso de secciones delgadas o de gran longitud, o en elementos de hierro fundido.

BOCÍN:

Diámetro Interno = 1.64 plg

Diámetro Externo = 1.966 plg

Intervalos de tamaños

Ajuste 1.58 a 1.97 pulg

FN1	Eje :	+ 1.4 * 10 <sup>-3</sup>	Aguj :	+ 0.6 * 10 <sup>-3</sup>
		+ 0.0 * 10 <sup>-3</sup>		+ 0.0 * 10 <sup>-3</sup>

Diámetro Interno : 1.64	+0.001	plg
	+0.000	

Diámetro Externo : 1.967	+0.0014	plg
	+0.0010	

TAPA :

Diámetro Interno: 1.967	+0.0006	plg
	+0.0000	

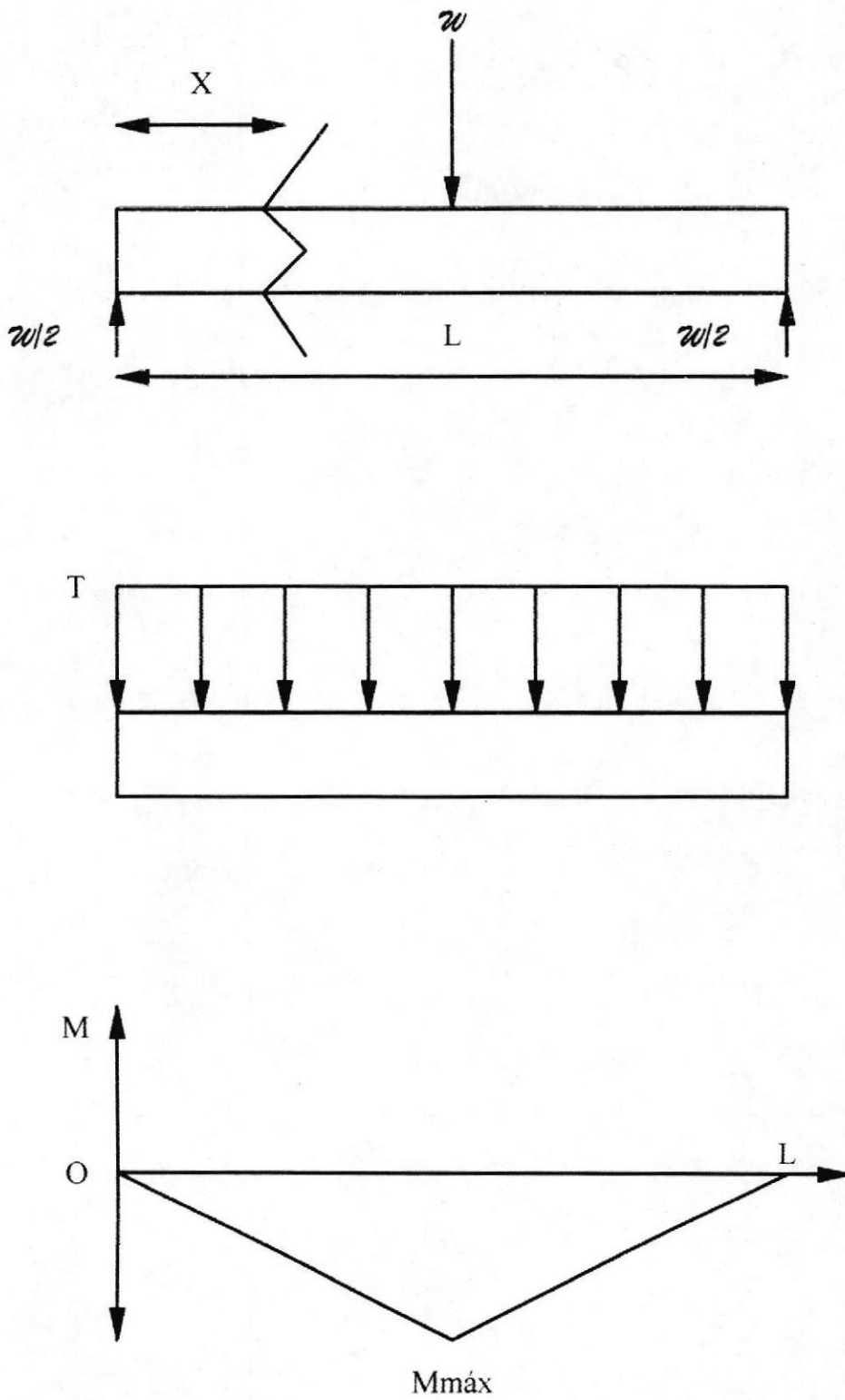


Figura 3.1 Análisis matemático y distribución de momento y torque sobre el eje.

## CAPITULO IV

### ANALISIS ECONOMICO

#### 4.1. Análisis de costo de la secadora

Los materiales y equipos necesarios para construir el sistema de secado fueron cotizados el 20 de septiembre de 1995 y sus valores se muestran como sigue:

#### SISTEMA DE SECADO

#### MATERIALES:

60 unidades de plancha negra de 1.22 x 2.44 x 2 mm

20 unidades de plancha negra de 1.22 x 2.44 x 1 mm

33 unidades de plancha negra perforada de 1 x 2 x 2 mm x  $\phi$ 2 mm

3 cajas de electrodos de soldadura AGA6011.

20 galones de pintura común

10 galones de pintura anticorrosiva epóxica sintética

8 perfiles U de 100 x 50 x 3

40 perfiles L de 2 x 2 x 1/4

Total de materiales:	21'654.400
Mano de obra :	24'902.560
Valor del sistema de secado sin equipos:	46'556.960

## EQUIPOS:

Ventilador centrífugo

Caudal : 17 m<sup>3</sup>/s ( 36000 CFM)

Presión : 100 mm de H<sub>2</sub>O ( 4.00" de H<sub>2</sub>O )

Potencia absorbida : 30 HP

Potencia instalada : 40 HP

Valor sin motor : 30'580.000

Valor con motor : 33'080.000

Quemador:

Combustible : diesel

Gasto : 4 gal / h

Valor del equipo : 3'019.165

Silo de recepción:

Capacidad : 73 TM.

Valor del silo : 29'500.000 sucres

Transportador neumático:

2 ventiladores centrífugos :

Caudal : 9100 m<sup>3</sup>/h ( 5350 CFM )

Presión : 560 mm H<sub>2</sub>O ( 22" de H<sub>2</sub>O )

Potencia absorbida : 29 HP

Potencia instalada : 40 HP

Valor con motor : 23'760.000

Esclusa dosificadora:

Materiales para una esclusa :

Acero 705 de 2" x 22" para fabricar el eje.

Bronce fosfórico de 2" x 150 mm para fabricar el bocín

Acero 1040 de 5½" x 250 mm para fabricar el rotor sin las paletas.

Platinas de 12 mm x 90 mm x 2000 mm para fabricar las bases de la carcaza.

2 bridas de ¾" x 400 mm y 2 bridas de 5½ x 75 mm para fabricar las 2 tapas.

pernos de 12 mm x 30 mm

empaques de 1/8" x 1mm x 1 mm

Total de materiales :	2'701.995
Mano de obra :	7'298.005
Total de fabricación para una esclusa sin motor :	10'000.000
Total de fabricación para una esclusa sin motor :	20'000.000
Valor por 2 motorreductores de 1.34 HP.	5'350.760
Total de la esclusa:	25'350.760 sucres

El valor total del sistema de secado será 161'266.885 sucres y considerando un

10 % por imprevistos, lo que da un valor final de:

Valor total del sistema de secado es 177'393.573 sucres.

#### 4.2. Comparación de costos con la secadora importada

El sistema de secado importado esta cotizado en sucres con un cambio del dólar de 2652 sucres. Los valores se detallan a continuación:

Valor de la secadora (incluida en la estructura):	79'547.344,15
Valor de la estructura con lo básico:	172'352.579,00
Valor del silo:	29'500.000,00
Valor del sinfín:	13'257.890,69
Valor del sistema sin motores:	215'110.469,69
Valor total por motores	11'563.549,00

Lo que da un valor total de 226'674.018 sucres.

Con un 10% por imprevistos para el montaje se tiene 249'341.420, o un sistema que es 41% mas caro (71'947.847 sucres de diferencia).

## CAPITULO V

### ELABORACION DEL PROGRAMA DE COMPUTADORA EN LENGUAJE BASIC PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE SECADO

#### 5.1. Variables determinadas por el programa

XI, YI, ZI, XO, YO, ZO, XE, YE, ZE: 9 puntos ubicados sobre los ejes X,Y,Z y que determinan la cuarta parte del volumen de los cuerpos piramidales I,O y E, que contienen el grano en la tolva.

aa, Ban: señales que pueden ser 1 o 0.

Add: area ducto-distribuidor en la tolva.

Angfd: ángulo del acople del ventilador de secado con la horizontal.

Angt: Ángulo del la tolva con la horizontal.

C: coeficiente de arrastre para transporte neumático.

Ca, Cc: cantidad de agua que posee el aire ambiente y saturado..

Cd, Cdi: coeficientes de perdidas a la salida y entrada de una contracción.

Con: consumo de combustible

D: profundidad de la columna de grano.

Db: diámetro del silo.

Dc, Ddcy: diámetro del cuerpo y de la descarga de sólido en el ciclón.

Ddg, Ddgv: densidad del gas dispersos horizontal y verticalmente.

Dds, Ddsv: densidad de sólidos dispersos horizontal y verticalmente.

Ddu: diámetro equivalente del ducto de secado.

Dec: decremento con que disminuye la humedad.

Decy: diámetro del ducto de descarga del gas.

Dgi: densidad del gas.

Dift: tiempo en que se produce la recolección del sólido en el ciclón.

Dlh: diámetro equivalente del un plano de secado.

Dple: diámetro equivalente de la cámara.

Ds: diámetro del sólido.

Dsal: diámetro equivalente a la salida del gas saturado.

Dsc: diámetro de un sólido recogido con el 50% de eficiencia.

Dsi, Dso: densidades del sólido al inicio y final del proceso.

Dsi1, Dsi2, Dsi3: densidad del sólido a la entrada de la columna en los 3 pasos.

Dso1, Dso2, Dso3: densidad del sólido a la salida de la columna en los 3 pasos.

Dst: densidad del sólido para el paso en que el sistema de transporte es exigido.

Dt: diámetro del ducto de transporte neumático.

Ff: factor de fricción por deslizamiento del sólido en acero.

Fg: factor de fricción para ventilación en transporte.

Fp: fracción de pérdida de presión de velocidad.

FSac: factor de seguridad para la altura de llenado.

Fsh, Fsv: factor de fricción grano-pared de tubería horizontal y vertical.

H: altura de los planos de secamiento.

Ha: humedad relativa del aire a temperatura ambiente.

Hac: altura de llenado.

Hbi: altura del silo.

Hco: altura del cono distribuidor de grano.

Hcy: altura a la entrada del ciclón.

He: altura del rectángulo por donde escapa el gas saturado.

Hfdu: factor de fricción por cada 100 pies de tubería para el ducto de secado.

Hfp: factor de fricción por cada 100 pies de tubería para la cámara.

Hfv: factor de fricción por cada 100 pies de tubería en columna de gas saturado.

Hi1, Hi2, Hi3: humedades a la entrada de la columna en los 3 pasos.

Ho1, Ho2, Ho3: humedades a la salida de la columna en los 3 pasos.

Hp1, Hp2, Hp3: incremento de altura promedio de llenado al final de cada paso.

Hr: humedad relativa del aire a la temperatura ambiente.

Ht: altura de la tolva.

Htcy: altura del ciclón.

Hv: número de cabezales de velocidad para el ciclón.

Inc: incremento con que aumenta el flujo de grano.

K: rugosidad del tubo de transporte neumático.

Kcs: coeficiente de pérdidas de presión para la salida del gas saturado.

Kd: rugosidad relativa del ducto de transporte neumático.

Klt: factor de conversión.

Lbcy, Lccy: longitud del cuerpo y el cono del ciclón.

Ld: lado ducto de secado.

Lex: longitud del acople a la entrada del ciclón.

Lh, Lv: longitud horizontal y vertical de tubería de transporte neumático.

Lme: lado mayor de la esclusa.

Mae: masa de agua evaporada en la columna.

Mb1, Mb2, Mb3: flujo de grano desde el silo para los tres pasos.

Mbi1, Mbi2, Mbi3: masa de grano en el silo antes de entrar en la columna, en cada paso.

Mbk1, Mb2, Mb3: masa de grano acumulada por diferencia de flujos en cada paso.

Mbo1, Mbo2, Mbo3: masa de grano en el silo al salir de la columna, en cada paso.

Mbt1, Mbt2, Mbt3: masa de las columnas de grano en cada paso.

Mc: flujo de grano en la salida de la columna una vez encendido el quemador.

Md1, Md2, Md3: flujos de grano en la salida de la columna en los 3 pasos.

Ms1, Ms2, Ms3: flujo de grano al ingresar a la parte de secamiento en cada paso.

N: velocidad de rotación del ventilador de secado.

Nch, Ncv: numero de codos horizontales y verticales.

Ne: numero de vueltas que toma el flujo al recorrer la longitud de vórtice.

No: eficiencia de colección del ciclón.

Nq: parámetro representativo para la eficiencia de los ventiladores centrífugos.

Pag, Pagv: presión horizontal y vertical para la aceleración del gas.

Pas, Pasv: presión horizontal y vertical para la aceleración del sólido.

Pb: presión a través de la columna de grano.

Pcs: presión a través de la columna de gas saturado.

Pcv: presión para vencer la contracción a la salida del gas saturado.

Pcy: presión a través del ciclón.

Pd: presión para vencer la fricción en el ducto de secado.

Pdp: presión por la expansión ducto - cámara.

Ped: presión a través del codo en la tolva.

Pelb: presión a través de los codos en transporte neumático.

Pexcy: presión en el acople del ciclón.

Pfd: presión en el acople del ventilador de secado.

Pfg, Pfgv: presión por la fricción del gas con la pared de tubería en la dirección horizontal y vertical.

Pfs, Pfsv: presión por la fricción del grano con la pared de tubería en la dirección horizontal y vertical.

Phg: presión por soporte de gas en el ducto vertical de transporte.

Phs: presión por soporte de sólidos en el ducto vertical de transporte.

Phd: presión a través de la primera lamina perforada.

Phv: presión a través de la segunda lamina perforada.

Pp: presión a lo largo de la cámara.

Psd: presión en el camino del gas de secado.

Ptt: presión total por transporte neumático.

Pve: presión de velocidad promedio por codos en transporte neumático.

Pve1, Pve2: presión de velocidad promedio en el codo horizontal y vertical.

Qd, Qsi: caudales del gas de secado en diferentes unidades.

Qt: caudal del gas de transporte.

Rath: relación de áreas total a agujero para una lamina perforada.

Rdcs: relación de áreas para la salida del gas saturado.

Rddp: relación de diámetros para la expansión en la cámara.

Rdfd: relación de diámetros para el acople del ventilador de secado.

Re: numero de Reynolds para el gas de transporte.

Rm: relación de flujos sólido a gas para el transporte.

Rscy: reganancia estática para el acople del ciclón.

Rsp: reganancia estática en la cámara.

Si: función representativa del sólido.

Scy: longitud del vórtice del ciclón.

T1, T2, T3: tiempo que emplea el grano en pasar a lo largo del plano de secado.

Ta1, Ta2, Ta3: tiempo que emplea el grano en atravesar al inicio los incrementos de altura promedio de llenado del paso anterior.

Tb1, Tb2, Tb3: tiempo que emplea el silo en descargarse en cada paso.

Tco1, Tco2, Tco3: tiempo que emplea el grano en pasar a lo largo del cono distribuidor en cada paso.

Td, Tdi: temperaturas del gas de secado en diferentes unidades.

Tgi: temperatura del aire ambiente.

Tr1, Tr2, Tr3: tiempo de retención mínimo del grano en la columna en cada paso.

Tt: tiempo total que el silo emplea en vaciarse.

Tt1, Tt2, Tt3: tiempo promedio que emplea el grano en pasar por la tolva.

Tvi: temperatura del gas saturado.

Udi: viscosidad absoluta del gas de secado.

Ugi: viscosidad absoluta del aire ambiente.

Uvi: viscosidad absoluta del gas saturado.

Va: señal que puede ser 1 o 0.

Vas1, Vas2, Vas3: velocidad del grano en el volumen de almacenamiento en cada paso.

Vcy: velocidad a la entrada del ciclón.

Vdu: velocidad en el ducto de secado.

Veol, Veo2: velocidades a la salida de los codos de transporte.

Vg: velocidad del gas de transporte.

Vo0, Vo1, Vo2: volúmenes de los cuerpos que contienen al grano en la tolva.

Vol1, Vol2, Vol3: volumen acumulado de grano en cada paso.

Vobk1, Vobk2, Vobk3: volumen acumulado de grano por diferencia de flujos en cada paso.

Volceb: volumen para cargar la columna.

Vol: volumen de la esclusa.

Vold: volumen que ocupa el ducto y desviador en la tolva y que interrumpe la columna de grano.

Volplan: volumen de grano en la tolva para igual ancho de columna de grano.

Voltol: volumen de grano en la tolva.

Vom: volumen del cono distribuidor de grano.

Vomn: volumen de grano que rodea al cono distribuidor.

Von: volumen del cuerpo formado la sección de llenado y altura del cono.

$V_p$ : velocidad del gas de secado a lo largo de la cámara.

$V_{p1}$ ,  $V_{p2}$ ,  $V_{p3}$ : velocidad promedio del grano en la columna de grano.

$V_{pc1}$ ,  $V_{pc2}$ ,  $V_{pc3}$ : velocidad promedio a lo largo del cono distribuidor.

$V_{Pi}$ : presión de velocidad a la entrada de una expansión o contracción.

$V_{Po}$ : presión de velocidad a la salida de una expansión o contracción.

$V_{pt1}$ ,  $V_{pt2}$ ,  $V_{pt3}$ : velocidad promedio del grano en la tolva.

$V_{rh}$ ,  $V_{rv}$ : velocidad relativa horizontal y vertical entre gas y grano.

$V_{salt}$ : velocidad de saltación de los sólidos.

$V_{ro1}$ ,  $V_{ro2}$ ,  $V_{ro3}$ : velocidad de rotación de la esclusa bajo la secadora en cada paso.

$V_{si1}$ ,  $V_{si2}$ ,  $V_{si3}$ : velocidad del grano en la parte inferior de la columna de grano en cada paso.

$V_{sit1}$ ,  $V_{sit2}$ ,  $V_{sit3}$ : velocidad del grano en la parte inferior de la tolva en cada paso.

$V_{ss1}$ ,  $V_{ss2}$ ,  $V_{ss3}$ : velocidad superior de sólido en la sección de secado en cada paso.

$W$ : ancho de los planos de secado.

$W_{rcy}$ : ancho recomendado para la entrada del ciclón.

$W_t$ : ancho de la tolva.

$X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ : unidad de masa final del grano en cada paso.

$X$ : longitud del acople del ventilador de secado

$Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$ : unidad de agua eliminada en cada paso.

$Y$ : la mitad de la diferencia de diámetros equivalentes en el acople.

## 5.2. Fórmulas especificadas del programa

Las fórmulas especificadas del programa corresponden al capítulo 2 y 3.

Se muestra a continuación un diagrama de flujo, el mismo que explica el calculo de la columna secadora y sus resultados serán datos que permitirán determinar los elementos complementarios que componen el sistema de secado.

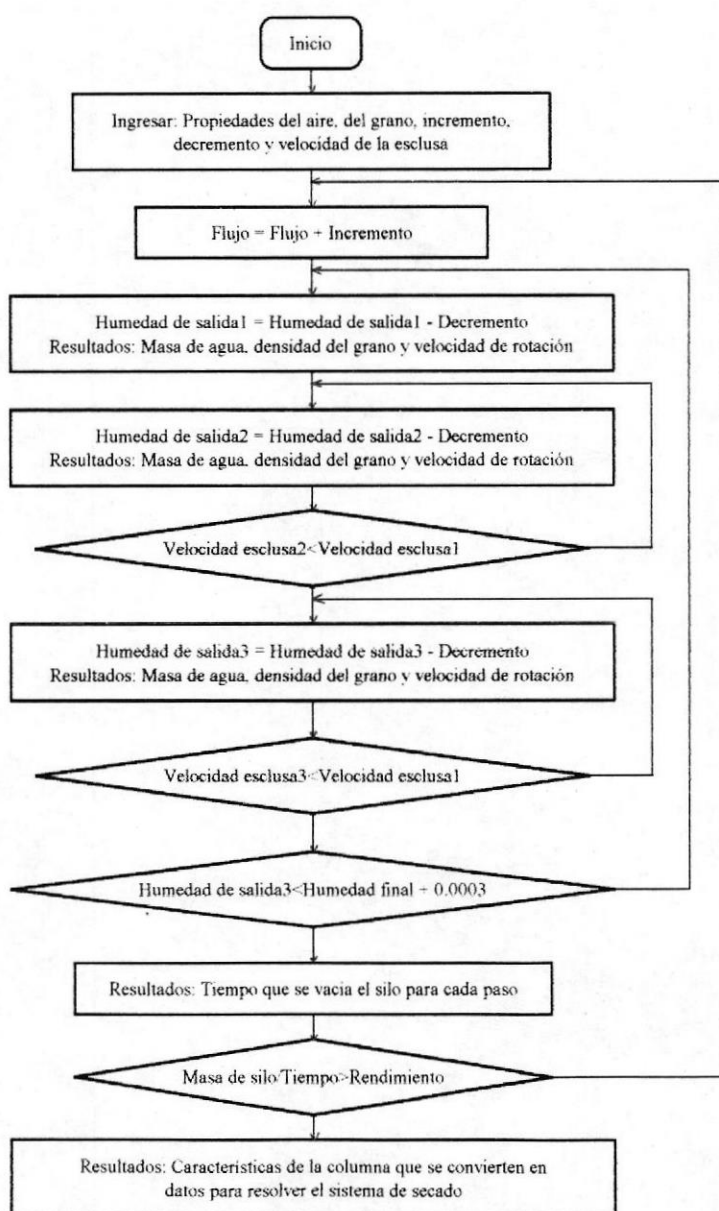


Figura 5.1 Diagrama de flujo explicativo del cálculo de la columna secadora

### 5.3. Codificación del programa

```

CLS
PRINT "CALCULO DE UN SISTEMA DE SECADO DE GRANO QUE UTILIZA UNA
SECADORA "
PRINT ""
PRINT "DE COLUMNA Y TRANSPORTADORES NEUMATICOS PARA CIRCULAR EL
PRODUCTO"
PRINT ""
INPUT "Ingrese el rendimiento deseado para la planta en tons/hora"; Ren
INPUT "Ingrese la humedad porcentual del arroz húmedo"; Hi
INPUT "Ingrese la densidad del arroz húmedo en lb/pie3"; Dsi
INPUT "Ingrese la humedad porcentual del arroz seco"; Ho
INPUT "Ingrese la densidad del arroz seco en lb/pie3"; Dso
INPUT "Ingrese el tiempo en horas que trabaja la esclusa bajo el silo"; Ts
Mbt = Ren * Ts * 43.1 / Dsi
PRINT "Para este rendimiento se necesita un silo de"; Mbt; "TM"
PRINT "Para un silo de fondo cónico de capacidad mayor o igual a"; Mbt; "TM : Ingrese "
INPUT "El diámetro del silo en pies"; Db
INPUT "La altura total o de llenado del silo en pies"; Hbi
INPUT "Ingrese la velocidad de rotación en rpm para la esclusa bajo el silo"; wb
INPUT "Ingrese el valor de flujo de grano en lbs/min con que empieza a iterar"; Msl
INPUT "Ingrese el decremento con que disminuye la humedad"; Dec
INPUT "Ingrese el Incremento con que aumenta el flujo de grano"; Inc
INPUT "Ingrese la temperatura del aire ambiente en grados centigrados"; Tg
INPUT "Ingrese la humedad relativa porcentual del aire ambiente"; Hr
INPUT "Ingrese la temperatura del aire de secado en grados centigrados"; Td
PRINT ""
PRINT ""
INPUT "presione enter para continuar"; WWW
INPUT "Ingrese la velocidad del aire a través del lecho en fpm"; Vd
INPUT "Ingrese la relación alto/ancho para los planos de secado"; Rel
INPUT "Ingrese la profundidad de la columna de grano en pies"; D
Tgi = 9 * Tg / 5 + 32
PRINT "La temperatura del aire ambiente de"; Tgi; "F y"; Hr; "% H.R. es el PUNTO A"
Tdi = 9 * Td / 5 + 32
PRINT "La temperatura del aire de secado de"; Tdi; "F es el PUNTO B"
PRINT "Usando la carta psicrométrica : Ingrese la temperatura de saturación"
INPUT "del aire de secado en grados Fahrenheit o PUNTO C"; Tv
PRINT "Usando la tabla psicrométrica : Ingrese la cantidad de agua a evaporar"
INPUT "en lb/lb de aire para el PUNTO C"; Cc
PRINT "Usando la tabla psicrométrica : Ingrese la cantidad de agua a evaporar"
INPUT "en lb/lb de aire para el PUNTO A"; Ca
PRINT "Usando la tabla psicrométrica : Ingrese la entalpia del aire en Btu/lb"
INPUT "para el PUNTO B"; Hb
PRINT "Usando la tabla psicrométrica : Ingrese la entalpia del aire en Btu/hr"
INPUT "para el PUNTO A"; Ha
INPUT "Ingrese el diámetro del grano en pies"; Ds
INPUT "Ingrese la velocidad del aire de transporte neumático en fpm"; Vg
FSac = 1.5; Klt = 60 / (100 * 20); Hi = Hi / 100
Ho = Ho / 100; Dec = Dec / 100
Dg = ((Tgi - 32) * (.071 - .081) / (100 - 32)) + .081
Ug = ((Tgi - 32) * (1.285 - 1.165) * 10 ^ -5 / (100 - 32)) + 1.165 * 10 ^ -5
Dd = ((Tdi - 32) * (.071 - .081) / (100 - 32)) + .081
Ud = ((Tdi - 32) * (1.285 - 1.165) * 10 ^ -5 / (100 - 32)) + 1.165 * 10 ^ -5

```

```

Dv = ((Tv - 32) * (.071 - .081) / (100 - 32)) + .081
Uv = ((Tv - 32) * (1.285 - 1.165) * 10 ^ -5 / (100 - 32)) + 1.165 * 10 ^ -5
Vgs = Vg
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
INPUT "presione enter para continuar"; WWW
PRINT "PROPIEDADES DEL AIRE AMBIENTE"
PRINT ""
PRINT "La temperatura es"; Tgi; "F"
PRINT "La densidad es"; Dg; "lbm/pie3"
PRINT "La viscosidad absoluta es"; Ug; "lbm/pie-seg"
PRINT ""
PRINT "PROPIEDADES DEL AIRE DE SECADO"
PRINT ""
PRINT "La temperatura es"; Tdi; "F"
PRINT "La densidad es"; Dd; "lbm/pie3"
PRINT "La viscosidad absoluta es"; Ud; "lbm/pie-seg"
PRINT ""
PRINT "PROPIEDADES DEL AIRE SATURADO"
PRINT ""
PRINT "La temperatura es"; Tv; "F"
PRINT "La densidad es"; Dv; "lbm/pie3"
PRINT "La viscosidad absoluta es"; Uv; "lbm/pie-seg"
PRINT " "
PRINT "ITERANDO EL FLUJO DE GRANO : "
PRINT ""
DO

Ms1 = Ms1 + Inc
PRINT Ms1; "lbs/min"
Ho1 = Hi

DO

Ho1 = Ho1 - Dec: Vol = Ms1 / (Dsi * wb)
X1 = (1 - Hi) / (1 - Ho1): Y1 = 1 - X1
Mae = Ms1 * Y1: Md1 = Ms1 - Mae
Dso1 = (Ho1 - Hi) / (Ho - Hi) * (Dso - Dsi) + Dsi
Vro1 = Md1 / (Vol * Dso1): Hi2 = Ho1: Ho2 = Hi2

DO

Ho2 = Ho2 - Dec: X2 = (1 - Hi2) / (1 - Ho2)
Y2 = 1 - X2: Ms2 = Mae / Y2: Md2 = Ms2 - Mae
Dsi2 = (Hi2 - Hi) / (Ho - Hi) * (Dso - Dsi) + Dsi
Dso2 = (Ho2 - Hi) / (Ho - Hi) * (Dso - Dsi) + Dsi
Vro2 = Md2 / (Vol * Dso2)

LOOP UNTIL Vro2 < Vro1

Hi3 = Ho2

```

$$Ho3 = Hi3$$

DO

$$\begin{aligned} Ho3 &= Ho3 - Dec: X3 = (1 - Hi3) / (1 - Ho3) \\ Y3 &= 1 - X3: Ms3 = Mae / Y3: Md3 = Ms3 - Mae \\ Dsi3 &= (Hi3 - Hi) / (Ho - Hi) * (Dso - Dsi) + Dsi \\ Dso3 &= (Ho3 - Hi) / (Ho - Hi) * (Dso - Dsi) + Dsi \\ Vro3 &= Md3 / (Vol * Dso3) \end{aligned}$$

LOOP UNTIL Vro3 < Vro1

LOOP UNTIL Ho3 < Ho + .0003

$$\begin{aligned} Mbi1 &= Ren * Ts: Tb1 = Mbi1 / (Ms1 * Klt): Mbo1 = Tb1 * Md1 * Klt \\ Mb2 &= wb * Vol * Dsi2 * Klt: Mb3 = wb * Vol * Dsi3 * Klt \\ Mbi2 &= Mbo1: Tb2 = Mbi2 / Mb2: Mbo2 = Tb2 * (Md2 * Klt) \\ Mbi3 &= Mbo2: Tb3 = Mbi3 / Mb3: Tt = Tb1 + Tb2 + Tb3 \end{aligned}$$

LOOP UNTIL (Mbi1 / Tt) > Ren

PRINT ""

PRINT ""

INPUT "presione enter para continuar"; WWW

PRINT "El volumen de la esclusa es", Vol; " pie<sup>3</sup>"

INPUT "Ingrese el lado mayor de la entrada a la esclusa en pies"; Lme

$$\begin{aligned} QD &= Mae / ((Cc - Ca) * Dd): Mb1 = Ms1 * Klt \\ W &= (QD / (Vd * 4) / Rel) ^ .5: Ld = W / 2: H = QD / (Vd * 4) / W: Wt = W + 2 * D \\ Vss1 &= Ms1 / (Dsi * 4 * W * D): Vsi1 = Md1 / (Dso1 * 4 * W * D) \\ Vp1 &= .5 * (Vss1 + Vsi1): T1 = H / Vp1: Vsit1 = Md1 / (Dso1 * Lme ^ 2) \\ Vpt1 &= .5 * (Vsi1 + Vsit1) \\ Tt1 &= Ld * 1.866 / Vsi1 + (Ht - Ld * 1.866) / Vpt1 \\ Mc &= Vro1 * Vol * Dsi: Hco = W / 5: Vas1 = Ms1 / (Dsi * Wt ^ 2) \\ Vpco1 &= .5 * (Vas1 + Vss1): Tco1 = Hco / Vpco1 \\ Mret1 &= (T1 + Tt1 + Tco1) * (Ms1 - Mc) \\ Volret1 &= Mret1 / Dsi: Voll1 = Volret1 \\ Hp1 &= Voll1 / Wt ^ 2: Ta1 = Hp1 / Vas1 \\ Tr1 &= T1 + Tt1 + Tco1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vss2 &= Ms2 / (Dsi2 * 4 * W * D) \\ Vsi2 &= Md2 / (Dso2 * 4 * W * D): Vp2 = .5 * (Vss2 + Vsi2) \\ T2 &= H / Vp2: Vsit2 = Md2 / (Dso2 * Lme ^ 2) \\ Vpt2 &= .5 * (Vsi2 + Vsit2) \\ Tt2 &= Ld * 1.866 / Vsi2 + (Ht - Ld * 1.866) / Vpt2 \\ Vas2 &= Ms2 / (Dsi2 * Wt ^ 2): Vpco2 = .5 * (Vas2 + Vss2) \\ Tco2 &= Hco / Vpco2 \\ Mret2 &= (T2 + Tt2 + Tco2 + Ta1) * (Mb2 / Klt - Ms1) \\ Volret2 &= Mret2 / Dsi2 \\ Mbt2 &= 4 * W * H * D * Dsi2 / (100 * 20) \\ XI &= W / 2 ^ .5: YI = W / 2 ^ .5 \\ Vom &= XI * YI * Hco / 6 \\ Von &= Wt * Wt * Hco: Vomn = Von - 4 * Vom \\ Mbk2 &= ((Mbi2 - Mbt2) * 60 - (Vomn * Dsi - Mret1) * Klt) * (Mb2 / Klt - Ms2) / Mb2 \end{aligned}$$

```

Volbk2 = Mb2 / Dsi2: Vol2 = Volret2 + Volbk2
Hp2 = Vol2 / Wt ^ 2: Ta2 = Hp2 / Vas2
Tr2 = T1 + Tt1 + Tco2 + Ta1

Vss3 = Ms3 / (Dsi3 * 4 * W * D)
Vsi3 = Md3 / (Dso3 * 4 * W * D): Vp3 = .5 * (Vss3 + Vsi3)
T3 = H / Vp3: Mbo3 = Tb3 * (Md3 * Klt)
Vsit3 = Md3 / (Dso3 * Lme ^ 2): Vpt3 = .5 * (Vsi3 + Vsit3)
Tt3 = Ld * 1.866 / Vsi3 + (Ht - Ld * 1.866) / Vpt3
Vas3 = Ms3 / (Dso3 * Wt ^ 2): Vpco3 = .5 * (Vas3 + Vss3)
Tco3 = Hco / Vpco3
Mret3 = (T3 + Tt3 + Tco3 + Ta1 + Ta2) * (Mb3 / Klt - Ms2)
Volret3 = Mret3 / Dsi3
Mbt3 = 4 * W * H * D * Dsi3 / (100 * 20)
Mbk3 = ((Mbi3 - Mbt2) * 60 - (Vomn * Dsi2 - Vret1 * Dsi2 - Mret2) * Klt) * (Mb3 / Klt - Ms3) /
Mb3
Volbk3 = Mb3 / Dsi3: Vol3 = Volret3 + Volbk3
Hp3 = Vol3 / Wt ^ 2: Ta3 = Hp3 / Vas3
Tr3 = T1 + Tt1 + Tco3 + Ta1 + Ta2
Volall = Vol1 + Vol2 + Vol3
Hac = FSac * Volall / (W + 2 * D) ^ 2
Con = (Hb - Ha) * (Mae / (Cc - Ca)) * 60 / (1 * 4 * 3.28 ^ 3 * .85 * 62.4 * 18500 / 1000)
Angt = ATN((Wt - Ld - Ld * .866) / ((Wt - Lme) / 2)) * 180 / 3.1416
Volplan = (D * W + D ^ 2) * (Ld + Ld * .866)
ZI = W / 2 * TAN(Angt * 3.1416 / 180)
Vo0 = XI * YI * ZI / 6
Ht = Wt: XO = Wt / 2 ^ .5: YO = Wt / 2 ^ .5
ZO = Ht / 2 * TAN(Angt * 3.1416 / 180)
Vo1 = XO * YO * ZO / 6
XE = Lme / 2 ^ .5: YE = Lme / 2 ^ .5
ZE = Lme / 2 * TAN(Angt * 3.1416 / 180)
Vo2 = XE * YE * ZE / 6
Add = Ld * Ld + (Ld * Ld * .866) / 2
Vold = Add * D
Vold = 4 * Volplan + 4 * Vo1 - 4 * Vo2 - 4 * Vo0 - Vold
Volceb = Vold + Vomn + 4 * W * H * D
Mce = Volceb * Dsi / (100 * 20)
PRINT ""
PRINT "El ángulo de la tolva es"; Angt; "grados"
PRINT "El volumen de los 4 espacios planos es"; 4 * Volplan; "pie³"
PRINT "El volumen de la pirámide grande interior es"; 4 * Vo0; "pie³"
PRINT "El volumen de la pirámide grande exterior es"; 4 * Vo1; "pie³"
PRINT "El volumen de la pirámide pequeña es"; 4 * Vo2; "pie³"
PRINT "El volumen del espacio de ducto es"; Vold; "pie³"
PRINT "El volumen de la tolva es"; Vold; "pie³"
PRINT "El volumen de grano que rodea al cono en la torre es"; Vomn; "pie³"
PRINT "El volumen acumulado en las 4 columnas de grano es"; 4 * W * H * D; "pie³"
PRINT "El volumen para cargar la columna es"; Volceb; "pie³"
PRINT "El tiempo para cargar la columna es"; Mce / ((Ms1 * Klt)); "horas"
PRINT ""
PRINT "      RESULTADOS DE LA PRIMERA PASADA"
PRINT ""
PRINT "El caudal es"; QD; "cfm"
PRINT "La densidad del grano cambia desde"; Dsi; "a"; Dso1; "lb/pie³"
PRINT "El flujo de grano desde el silo es"; Mb1 / Klt; "lbs/min o"; Mb1; "tons/hora"

```

```

PRINT "El flujo de grano superior es"; Ms1; "lb / min o"; Ms1 * Klt; "tons/hora"
PRINT "El flujo de grano inferior es"; Md1; "lb/min o"; Md1 * Klt; "tons/hora"
PRINT ""
INPUT "presione enter para continuar"; WWW
PRINT "La velocidad de rotación de la esclusa bajo la secadora es"; Vro1; "rpm"
PRINT "La velocidad promedio del grano en la sección de secado es"; Vp1; "fpm"
PRINT "El tiempo de retención en la columna va de"; Tr1 / 60; "a"; (Tr1 + Ta1) / 60; "hr"
PRINT "El tiempo que demora en pasar todo el silo es"; Tb1; "horas"
PRINT "La masa del silo cambia desde"; Mbi1; "a"; Mbo1; "tons"
PRINT "El volumen acumulado de grano de"; Hi * 100; "% a"; Ho1 * 100; "% es"; Vol1; " pie3"
PRINT "Las dimensiones del plano de secado son"; W; "pies x"; H; "pies"
PRINT ""
PRINT "      RESULTADOS PARA LA SEGUNDA PASADA"
PRINT ""
PRINT "La densidad del grano cambia desde"; Dsi2; "a"; Dso2; " lb/pie3"
PRINT "El flujo de grano desde el silo es"; Mb2 / Klt; "lbs/min o"; Mb2; "tons/hora"
PRINT "El flujo de grano superior es"; Ms2; "lb/min o"; Ms2 * Klt; "tons/hora"
PRINT "El flujo de grano inferior es"; Md2; "lb/min o"; Md2 * Klt; "tons/hora"
PRINT "La velocidad de rotación de la esclusa bajo la secadora es"; Vro2; "rpm"
PRINT "La velocidad promedio del grano en la sección de secado es"; Vp2; "fpm"
PRINT "El tiempo de retención en la columna va de"; Tr2 / 60; "a"; (Tr2 + Ta2) / 60; "hr"
PRINT "El tiempo que demora en pasar todo el silo es"; Tb2; "horas"
PRINT "La masa del silo cambia desde"; Mbi2; "a"; Mbo2; "tons"
PRINT "El volumen acumulado de grano de"; Hi2 * 100; "% a"; Ho2 * 100; "% es"; Volret2; " pie3"
PRINT "El volumen acumulado por diferencia de flujos es"; Volbk2; " pie3"
PRINT "El volumen total acumulado en esta pasada es"; Vol2; " pie3"
PRINT ""
INPUT "presione enter para continuar"; WWW
PRINT ""
PRINT "      RESULTADOS PARA LA TERCERA PASADA"
PRINT ""
PRINT "La densidad del grano cambia desde"; Dsi3; "a"; Dso3; " lb/pie3"
PRINT "El flujo de grano desde el silo es"; Mb3 / Klt; "lbs/min o"; Mb3; "tons/hora"
PRINT "El flujo de grano superior es"; Ms3; "lb / min o"; Ms3 * Klt; "tons/hora"
PRINT "El flujo de grano inferior es"; Md3; "lb/min o"; Md3 * Klt; "tons/hora"
PRINT "La velocidad de rotación de la esclusa bajo la secadora es"; Vro3; "rpm"
PRINT "La velocidad promedio del grano en la sección de secado es"; Vp3; "fpm"
PRINT "El tiempo de retención en la columna va de"; Tr3 / 60; "a"; (Tr3 + Ta3) / 60; "hr"
PRINT "El tiempo que dura el proceso de secado es"; Ts + (Tr3 + Ta3) / 60; "hr"
PRINT "El tiempo que demora en pasar todo el silo es"; Tb3; "horas"
PRINT "La masa del silo cambia desde"; Mbi3; "a"; Mbo3; "tons"
PRINT "El volumen acumulado de grano de"; Hi3 * 100; "% a"; Ho3 * 100; "% es"; Volret2; " pie3"
PRINT "El volumen acumulado por diferencia de flujos es"; Volbk3; " pie3"
PRINT "El volumen total acumulado en esta pasada es"; Vol3; " pie3"
PRINT "El volumen total en las 3 pasadas es"; Volall; " pie3"
PRINT "La altura teórica de llenado es"; Hac / FSac; "pies"
PRINT "La altura de llenado con un F.S.="; FSac; "es"; Hac; "pies"
PRINT "el gasto del quemador es"; Con; "gal/h"
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
INPUT "presione enter para continuar"; WWW
Vg = Vgs: N = 3600: Hci = Wt / 4

```

Nch = 2: Ncv = 2: ess = 4 \* 3.28: Cl = 3.28: Qt2 = 0

DO

CONSTANTE = 0

IF CONSTANTE = 0 THEN

PRINT "CALCULO DESDE EL SILO HACIA LA SECADORA"

Dst = Dsi3

GOSUB Cyclon

GOSUB Variables1

GOSUB Transporte

GOSUB Printdryer

GOSUB Condición

END IF

LOOP UNTIL aa = 1 AND Nq >= 50 AND Nq <= 200 AND Ban = 1

DO

CONSTANTE = 1

IF CONSTANTE = 1 THEN

PRINT "CALCULO DESDE LA SECADORA HACIA EL SILO"

Dst = Dso

GOSUB Cyclon

GOSUB Variables2

GOSUB Transporte

GOSUB Printcyclon

GOSUB Condición

END IF

LOOP UNTIL aa = 1 AND Nq >= 50 AND Nq <= 200 AND Ban = 1

DO

GOSUB GasSecado

LOOP UNTIL Va = 0

END

Cyclon:

PRINT ""

PRINT "CAÍDA DE PRESIÓN ESTÁTICA EN EL CICLÓN"

PRINT ""

INPUT "Ingrese el diámetro interior de la tubería en pulgadas"; Dt

Wrcy = 0: Qt1 = 3.1416 \* (Dt / 12) ^ 2 \* Vg / 4

IF Qt2 = 0 THEN

Qt = Qt1

ELSE

Qt = Qt2

END IF

Vg = Qt \* 4 / (3.1416 \* (Dt / 12) ^ 2)

Wrcy = ((Vg \* 3.1416 / 4 \* Dt ^ 2 / (50 \* 60)) / 2) ^ .5

PRINT "Se tiene una relación altura de entrada/anchura de entrada = 2 para un "

PRINT "ciclón de baja eficiencia y además una velocidad del gas de 50 fps"

PRINT "Se recomienda un ancho de entrada al ciclón de"; Wrcy; "plgs"

INPUT "Ingrese el ancho y alto en pulgadas de la entrada al ciclón"; Wcy, Hcy

INPUT "Ingrese el diámetro equivalente del acople en pulgadas"; Dcyin

```

Vcy = Vg * 3.1416 * Dt ^ 2 / (60 * 4 * Wcy * Hcy)
Dc = Wcy / .375; Dec = .75 * Dc; Scy = .875 * Dc
Lbcy = 1.5 * Dc; Lccy = 2.5 * Dc; Ddc = .375 * Dc
Htcy = (Lbcy + Lccy) / 12; Ne = 1 / Hcy * (Lbcy + Lccy / 2)
Dift = 3.1416 * Dc * Ne / (Vcy * 12)
Dsc = (9 * Ug * Wcy / (2 * 3.1416 * Ne * Vcy * (Dst - Dg) * 12)) ^ .5
No = 1 / (1 + (Dsc / Ds) ^ 2); G = 32.2
Si = ((4 * G * Ug * (Dst - Dg)) / (3 * Dg ^ 2)) ^ .333
Vsalt = 2.055 * Si * (.375 ^ .4 / (1 - .375 ^ .333)) * Dc ^ .067 * Vcy ^ .667
Kcy = 16; Hv = Kcy * Hcy * Wcy / Dec ^ 2
Pcy = .5 * Dg * Vcy ^ 2 * Hv / 32.17 / 5.196
Lex = (Dcyin - Dt) / (2 * TAN(3.5 * 3.1416 / 180))
Rdcy = Dcyin / Dt

```

```

IF Rdcy < 1.25 THEN Rscy = .92
IF Rdcy <= 1.5 AND Rdcy >= 1.25 THEN Rscy = (.88 - .92) / (1.5 - 1.25) * (Rdcy - 1.25) + .92
IF Rdcy <= 1.75 AND Rdcy >= 1.5 THEN Rscy = (.5 - .88) / (1.75 - 1.5) * (Rdcy - 1.5) + .88
IF Rdcy <= 2 AND Rdcy >= 1.75 THEN Rscy = (.4 - .5) / (2 - 1.75) * (Rdcy - 1.75) + .5
IF Rdcy <= 2.5 AND Rdcy >= 2 THEN Rscy = (.75 - .4) / (2.5 - 2) * (Rdcy - 2) + .4
IF Rdcy > 2.5 THEN Rscy = 1

```

```

Pexcy = (1 - Rscy) * (Vg / 4005) ^ 2
PRINT ""
PRINT "CARACTERÍSTICAS DEL CICLÓN"
PRINT ""
PRINT "La velocidad de entrada al ciclón es"; Vcy; "pies/seg"
PRINT "El ancho de la entrada del ciclón es"; Wcy; "plgs"
PRINT "La altura de la entrada del ciclón es"; Hcy; "plgs"
PRINT "El diámetro del ciclón es"; Dc; "plgs"
PRINT "El diámetro de descarga de gas del ciclón es"; Dec; "plgs"
PRINT "La longitud del cuerpo del ciclón es"; Lbcy; "plgs"
PRINT "La longitud del vórtice del ciclón es"; Scy; "plgs"
PRINT "La longitud del cono del ciclón es"; Lccy; "plgs"
PRINT "El diámetro de descarga de grano del ciclón es"; Ddc; "plgs"
PRINT "El numero efectivo de vueltas es"; Ne
INPUT "presione enter para continuar"; WWW
PRINT "El tiempo de permanencia del gas es"; Dift; "seg"
PRINT "La eficiencia total de colección es"; No
PRINT "La función es"; Si
PRINT "La velocidad de saltación es"; Vsalt; "pies/seg"
PRINT "Presión a través del ciclón es"; Pcy; "plgs de agua"
PRINT "La relación de diámetro es"; Rdcy
PRINT "El ángulo de diseño es 3.5 grados"
PRINT "La longitud de la expansión es"; Lex / 12; "pies"
PRINT "Presión total en la expansión antes del ciclón es"; Pexcy; "plgs de agua"
PRINT ""
RETURN

```

Variables1:

```

Lms = W + 2 * D + 2 * (W / 3)
Hts = Hco + Hac + Hci + Htcy; Hti = Wt
Lh = Db / 2 + ess + Lms / 2 - Nch * (2 * (Dt / 12) + (Dt / 12) / 2) - Dc / 12
Htd = Hts + H + Hti + Cl
Lv = Htd - Ncv * (2 * (Dt / 12) + (Dt / 12) / 2)
Ms = Ms3

```

RETURN

Variables2:

$$Lms = W + 2 * D + 2 * (W / 3)$$

$$Lh = 0; Lv = 0$$

$$Lh = Db / 2 + ess + Lms / 2 - Nch * (2 * (Dt / 12) + (Dt / 12) / 2) - Dc / 12$$

$$Lv = Hbi + Htcy - Ncv * (2 * -(Dt / 12) + (Dt / 12) / 2)$$

$$Ms = Md3$$

RETURN

Transporte:

$$Vg = Vgs; Mg = Vg * Dg * (3.1416 / 4) * ((Dt / 12)) ^ 2$$

$$Rm = 0; Rm = Ms / Mg; c = .5; Ff = .4$$

$$Vf = 60 * (4 * 32.2 * Dst * Ds / (3 * .5 * Dg)) ^ .5$$

$$Vrv = Vf$$

$$Vrh = Vf * (.18 + .000065 * Vg)$$

$$Vsv = Vg - Vrv; Vsh = Vg - Vrh$$

$$Dds = Ms * 4 / (3.1416 * (Dt / 12) ^ 2 * Vsh)$$

$$Ddg = Dg$$

$$Ddsv = Ms * 4 / (3.1416 * (Dt / 12) ^ 2 * Vsv)$$

$$Ddgv = Dg$$

$$Veol = Vsh * .8; Veo2 = Vsv * .8$$

$$Vp1 = .5 * (Vsh + Veol); Vp2 = .5 * (Vsv + Veo2)$$

$$PVe1 = (Vp1 / 4005) ^ 2; PVe2 = (Vp2 / 4005) ^ 2$$

$$PVe = 0; PVe = PVe1 + PVe2; Pelb = 3.1416 * Ff * Rm * PVe$$

$$Vg = Vg / 60; Vsv = Vsv / 60; Vsh = Vsh / 60$$

$$Pag = Ddg * Vg ^ 2 / (2 * 32.17 * 5.196)$$

$$Pas = Dds * Vsh ^ 2 / (32.17 * 5.196)$$

$$Re = (Dt / 12) * Vg * Dg / U\mu; K = .0005; Kd = K / (Dt / 12); Landa = 0$$

DO

$$Landa = Landa + .0001; T1a = 1 / (Landa) ^ .5$$

$$T2a = -2 * (LOG(Kd / 3.7 + 2.51 / (Re * Landa ^ .5))) / LOG(10)$$

LOOP UNTIL T2a > T1a

$$Fg = Landa / 4$$

$$Pagv = Ddgv * Vg ^ 2 / (2 * 32.17 * 5.196)$$

$$Pasv = Ddsv * Vsv ^ 2 / (32.17 * 5.196)$$

$$Phg = Ddgv * 32.2 * Lv / (32.17 * 5.196)$$

$$Phs = Ddsv * 32.2 * Lv / (32.17 * 5.196)$$

$$Fsh = (3 * Dg * (Dt / 12) * c / (8 * Dst * Ds)) * ((Vg / Vsh) - 1) ^ 2$$

$$Fsv = (3 * Dg * (Dt / 12) * c / (8 * Dst * Ds)) * ((Vg / Vsv) - 1) ^ 2$$

$$Pfg = 4 * Fg * Lh * Ddg * Vg ^ 2 / (2 * 32.17 * (Dt / 12) * 5.196)$$

$$Pfs = 4 * Fsh * Lh * Dds * Vsh ^ 2 / (2 * 32.17 * (Dt / 12) * 5.196)$$

$$Pfgv = 4 * Fg * Lv * Ddgv * Vg ^ 2 / (2 * 32.27 * (Dt / 12) * 5.196)$$

$$Pfsv = 4 * Fsv * Lv * Ddsv * Vsv ^ 2 / (2 * 32.17 * (Dt / 12) * 5.196)$$

$$Ptt = Pag + Pas + Pfg + Pfs + Pagv + Pasv + Pfgv + Pfsv + Phg + Phs + Pelb + Pexcy + Pcy$$

$$Qtsi = Qt / (60 * 3.28 ^ 3)$$

$$Hsi = Ptt * 1.3 * 66 / 3.28$$

$$Nq = N * Qtsi ^ .5 / Hsi ^ .75$$

$$BHP = Qt * Ptt * 1.3 / (6356 * .65)$$

PRINT "La longitud horizontal de tubería es "; Lh - Lex / 12; "pies"

PRINT "La longitud vertical de tubería es "; Lv; "pies"

PRINT "La velocidad con que flotan los granos es"; Vf; "fpm"

PRINT "La velocidad del sólido horizontal es"; Vsh \* 60; "fpm"

PRINT "La velocidad del sólido vertical es"; Vsv \* 60; "fpm"

PRINT "El numero de Reynolds para Moody es"; Re

```

PRINT "La rugosidad relativa es"; Kd
PRINT "El factor de fricción para ventilación es"; Fg
PRINT "La densidad de sólidos dispersos horizontalmente es"; Dds; " lb/pie3"
PRINT "La densidad del gas disperso horizontalmente es"; Ddg; " lb/pie3"
PRINT "La densidad de sólidos dispersos verticalmente es"; Ddsv; " lb/pie3"
PRINT "La densidad del gas disperso verticalmente es"; Ddgv; " lb/pie3"
PRINT ""
PRINT ""
INPUT "presione enter para continuar"; WWW
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT "El factor de fricción horizontal entre grano y pared de tubo es"; Fsh
PRINT "El factor de fricción vertical entre grano y pared de tubo es"; Fsv
PRINT "Presión horizontal para acelerar el gas es "; Pag; "plgs de agua"
PRINT "Presión horizontal para acelerar el grano es "; Pas; "plgs de agua"
PRINT "Presión horizontal por fricción gas - tubería es "; Pfg; "plgs de agua"
PRINT "Presión horizontal por fricción grano - tubería es"; Pfs; "plgs de agua"
PRINT "Presión vertical para acelerar el gas es "; Pagv; "plgs de agua"
PRINT "Presión vertical para acelerar el grano es "; Pasv; "plgs de agua"
PRINT "Presión vertical por fricción gas - tubería es "; Pfgv; "plgs de agua"
PRINT "Presión vertical por fricción grano - tubería es "; Pfsv; "plgs de agua"
PRINT "Presión por soporte de la columna de gas es "; Phg; "plgs de agua"
PRINT "Presión por soporte de los sólidos es "; Phs; "plgs de agua"
PRINT "Presión por todos los codos es "; Pelb; "plgs de agua"
PRINT "El caudal es"; Qt; "CFM"
PRINT "El diámetro de tubería es"; Dt; "plgs"
PRINT "Presión total descarga de esclusa-destino es"; Ptt; "x 1.3 ="; Ptt * 1.3; "plgs de agua"
PRINT "Para la rotación de "; N; "rpm"; " el valor de Nq es "; Nq
PRINT "Para una eficiencia de 0.65 la potencia al freno es"; BHP; "HP"
Vg = Vgs
PRINT ""
RETURN

```

Printdryer:

```

PRINT "Se asume una distancia de separación entre silo y secadora de"; ess; "pies"
PRINT "Se asume (ancho plano secado/ancho columna saturada) de"; W / (W / 3)
PRINT "Se asume (alto plano secado/alto cono distribuidor) de"; W / Hco
PRINT ""
INPUT "presione enter para continuar"; WWW
PRINT "Se asume (ancho tolva/alto cima secadora) de"; Wt / Hci
PRINT "La altura del claro bajo la secadora es "; Cl; "pies"
PRINT "La altura de la tolva de descarga es "; Hti; "pies"
PRINT "La altura de la parte de secado es "; H; "pies"
PRINT "La altura del cono distribuidor es "; Hco; "pies"
PRINT "La altura de la columna de grano acumulado es"; Hac; "pies"
PRINT "La altura del techo es "; Hci; "pies"
PRINT "La altura de la torre de almacenamiento"; Hts - Htcy; "pies"
PRINT "La altura total de la secadora es "; Htd - Htcy; "pies"
PRINT "La altura del ciclón de la secadora es "; Htcy; "pies"
PRINT "La altura total hasta el ciclón es "; Htd; "pies"
RETURN

```

Printcyclon:

```

PRINT ""
INPUT "presione enter para continuar"; WWW
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT "La altura del claro bajo el silo es "; Cl; "pies"
PRINT "La altura total del silo es "; Hbi; "pies"
PRINT "La altura del ciclón del silo es "; Htcy; "pies"
PRINT "La altura total hasta el ciclón es "; Hbi + Htcy; "pies"
PRINT ""
PRINT ""
RETURN

```

Condicion:

```

IF Nq >= 50 AND Nq <= 200 THEN
  PRINT ""
  PRINT "SUGERENCIA :)"
  PRINT ""
  PRINT "Si tiene un caudal muy pequeño y una presión muy grande"
  PRINT "se le aconseja aumentar el diámetro de tubería y variar"
  PRINT "por décimas la velocidad del aire entre"; Vg; "y"; 1.1 * Vg; "fpm"
  PRINT "hasta tener un caudal para ventilador comercial de referencia"
  PRINT "digite el numero 0 para empezar el calculo de equilibrio"
  PRINT "caso contrario si esta de acuerdo con sus valores digite 1"
  INPUT "Ingrese el numero 0 o 1 según su decisión"; aa
  PRINT ""
  PRINT ""
  PRINT ""
  INPUT "presione enter para continuar"; WWW
  IF aa = 1 THEN
    Ban = 1
    PRINT ""
    PRINT "OK"
    PRINT ""
    ELSE
    Ban = 0
    PRINT "Se inicia el calculo nuevamente"
    END IF
  ELSE
    Ban = 0
    PRINT "Para este caso Nq esta fuera del rango entre 50 y 200"
    PRINT "Debe hacer el calculo otra vez"
  END IF
  IF Ban = 0 THEN
    INPUT "Ingrese el caudal deseado en CFM"; Qt2

    PRINT ""
  END IF
RETURN

```

GasSecado:

```

PRINT ""
PRINT "CAIDA DE PRESION ESTATICA EN EL CAMINO DE AIRE CALIENTE"
PRINT ""

```

```

PRINT ""
PRINT "Ingrese el diámetro equivalente de ducto para", Ld; "pies x"; Ld; "pies"
INPUT ; Ddu
PRINT ""
PRINT "Ingrese el diámetro equivalente de la cámara para"; W; "pies x"; W; "pies"
INPUT ; Dple
PRINT ""
Vp = QD * 4 / (3.1416 * Dple ^ 2); Vdu = QD * 4 / (3.1416 * Ddu ^ 2)
Fp = 1.05; Ped = Fp * (Vdu / 4005) ^ 2
PRINT "Para los siguientes datos:"
PRINT ""
PRINT "La velocidad del aire en el ducto de"; Vdu; "FPM y"
PRINT "El caudal de aire caliente en el ducto de"; QD; "CFM"
INPUT "Ingrese el factor de fricción en plgs de agua por cada 100 pies"; Hfdu
Ldu = Wt / 2; Pd = Hfdu * Ldu / 100
PRINT ""
PRINT "Para los siguientes datos:"
PRINT ""
PRINT "La velocidad del aire en la cámara de"; Vp; "FPM y"
PRINT "El caudal de aire caliente de la cámara de"; QD; "CFM"
INPUT "Ingrese el factor de fricción en plgs de agua por cada 100 pies"; Hfp
Pp = Hfp * H / 100
INPUT "presione enter para continuar"; WWW
PRINT ""
INPUT "Ingrese los lados en pulgadas de la descarga del ventilador"; s1, s2
INPUT "Ingrese el diámetro en pulgadas para la descarga del ventilador"; Dfo
Dfo = Dfo / 12; y = (Dfo - Ddu) / 2; X = 2 * (W / 3)
Rdfd = Ddu ^ 2 / Dfo ^ 2; Angfd = 0
Angfd = ATN(y / X) * 180 / 3.1416
VPi = (QD * 4 / (3.1416 * Dfo ^ 2)) ^ 2 / 4005 ^ 2
VPO = (QD * 4 / (3.1416 * Ddu ^ 2)) ^ 2 / 4005 ^ 2

IF Angfd < 5 THEN
Lfd = .05
Pfd = (VPO - VPi) + Lfd(VPO - VPi)
END IF

IF Angfd <= 10 AND Angfd >= 5 THEN
Lfd = (.06 - .05) / (10 - 5) * (Angfd - 5) + .05
Pfd = (VPO - VPi) + Lfd(VPO - VPi)
END IF

IF Angfd <= 15 AND Angfd >= 10 THEN
Lfd = (.08 - .06) / (15 - 10) * (Angfd - 10) + .06
Pfd = (VPO - VPi) + Lfd(VPO - VPi)
END IF

IF Angfd <= 20 AND Angfd >= 15 THEN
Lfd = (.1 - .08) / (20 - 15) * (Angfd - 15) + .08
Pfd = (VPO - VPi) + Lfd(VPO - VPi)
END IF

IF Angfd <= 25 AND Angfd >= 20 THEN
Lfd = (.11 - .1) / (25 - 20) * (Angfd - 20) + .1
Pfd = (VPO - VPi) + Lfd(VPO - VPi)

```

END IF

IF Angfd <= 30 AND Angfd >= 25 THEN  
 $Lfd = (.13 - .11) / (30 - 25) * (Angfd - 25) + .11$   
 $Pfd = (VPo - VPi) + Lfd(VPo - VPi)$   
 END IF

IF Angfd <= 45 AND Angfd >= 30 THEN  
 $Lfd = (.2 - .13) / (45 - 30) * (Angfd - 30) + .13$   
 $Pfd = (VPo - VPi) + Lfd(VPo - VPi)$   
 END IF

IF Angfd <= 60 AND Angfd >= 45 THEN  
 $Lfd = (.3 - .2) / (60 - 45) * (Angfd - 45) + .2$   
 $Pfd = (VPo - VPi) + Lfd(VPo - VPi)$   
 END IF

IF Angfd > 60 THEN

IF Rdfd < .1 THEN  
 $Kfd = 1$   
 $Pfd = (VPo - VPi) + Kfd * VPo$   
 END IF

IF Rdfd <= .2 AND Rdfd >= .1 THEN  
 $Kfd = (.46 - .48) / (.2 - .1) * (Rdfd - .1) + .48$   
 $Pfd = (VPo - VPi) + Kfd * VPo$   
 END IF

IF Rdfd <= .3 AND Rdfd >= .2 THEN  
 $Kfd = (.42 - .46) / (.3 - .2) * (Rdfd - .2) + .46$   
 $Pfd = (VPo - VPi) + Kfd * VPo$   
 END IF

IF Rdfd <= .4 AND Rdfd >= .3 THEN  
 $Kfd = (.37 - .42) / (.4 - .3) * (Rdfd - .3) + .42$   
 $Pfd = (VPo - VPi) + Kfd * VPo$   
 END IF

IF Rdfd <= .5 AND Rdfd >= .4 THEN  
 $Kfd = (.35 - .37) / (.5 - .4) * (Rdfd - .4) + .37$   
 $Pfd = (VPo - VPi) + Kfd * VPo$   
 END IF

IF Rdfd <= .6 AND Rdfd >= .5 THEN  
 $Kfd = (.26 - .32) / (.6 - .5) * (Rdfd - .5) + .32$   
 $Pfd = (VPo - VPi) + Kfd * VPo$   
 END IF

IF Rdfd <= .7 AND Rdfd >= .6 THEN  
 $Kfd = (.2 - .26) / (.7 - .6) * (Rdfd - .6) + .26$   
 $Pfd = (VPo - VPi) + Kfd * VPo$   
 END IF

IF Rdfd > .7 THEN

```

Kfd = .2
Pfd = (VPo - VPi) + Kfd * VPo
END IF

END IF

Rddp = 0
Rddp = Dple / Ddu

IF Rddp < 1.25 THEN Rsp = .77
IF Rddp <= 1.5 AND Rddp >= 1.25 THEN Rsp = (.62 - .77) / (1.5 - 1.25) * (Rddp - 1.25) + .77
IF Rddp <= 1.75 AND Rddp >= 1.5 THEN Rsp = (.5 - .62) / (1.75 - 1.5) * (Rddp - 1.5) + .62
IF Rddp <= 2 AND Rddp >= 1.75 THEN Rsp = (.4 - .5) / (2 - 1.75) * (Rddp - 1.75) + .5
IF Rddp <= 2.5 AND Rddp >= 2 THEN Rsp = (.25 - .4) / (2.5 - 2) * (Rddp - 2) + .4
IF Rddp > 2.5 THEN Rsp = 1

VPi = (QD * 4 / (3.1416 * Ddu ^ 2)) ^ 2 / 4005 ^ 2
VPo = (QD * 4 / (3.1416 * Dple ^ 2)) ^ 2 / 4005 ^ 2
Pdp = Rsp * (VPo - VPi)

Dhp = .079: Raht = .36: Rath = 1 / Raht
Reh1 = (Vd / 60) * Dhp / 12 * Rath * Dd / Ud
Cdi = 6 / (Reh1 ^ .33): Cd = 5 * Cdi
Phd = Cd * Dd * (Vd / 60) ^ 2 / (2 * 32.2 * 5.196)
Pb = 3 * .8 * D: Dhp = .079: Raht = .36: Rath = 1 / Raht
Reh2 = (Vd / 60) * Dhp / 12 * Rath * Dv / Uv
Cdi = 6 / (Reh2 ^ .33): Cd = 5 * Cdi
Phv = Cd * Dv * (Vd / 60) ^ 2 / (2 * 32.2 * 5.196)
PRINT "Para una seccion de"; W; "pies x"; H; "pies"
INPUT "Ingrese el diámetro equivalente"; Dlh
Vd = QD / (3.1416 * Dlh ^ 2)
PRINT "Para un espesor de la columna de aire saturado de"; W / 3; "pies se tiene"
PRINT "Una velocidad de"; Vd; "fpm"
PRINT "y un caudal de"; QD / 4; "cfm"
INPUT "Ingrese las perdidas por cada 100 pies de tubería"; Hfv

Pcv = (W / 3) * Hfv / 100: He = H / 5

PRINT "Para una seccion de"; W; "pies x"; He; "pies"
INPUT "Ingrese el diámetro equivalente"; Dsal

Rdcs = (Dsal / Dlh) ^ 2

VPi = (QD / (3.1416 * Dlh ^ 2)) ^ 2 / 4005 ^ 2
VPo = (QD / (3.1416 * Dsal ^ 2)) ^ 2 / 4005 ^ 2

IF Rdcs < .1 THEN
Kcs = 1
Pcs = (VPo - VPi) + K * VPo
END IF

IF Rdcs <= .2 AND Rdcs >= .1 THEN
Kcs = (.46 - .48) / (.2 - .1) * (Rdcs - .1) + .48
Pcs = (VPo - VPi) + K * VPo
END IF

```

```

IF Rdc<= .3 AND Rdc >= .2 THEN
Kcs = (.42 - .46) / (.3 - .2) * (Rdc - .2) + .46
Pcs = (VPo - VPi) + K * VPo
END IF

```

```

IF Rdc<= .4 AND Rdc >= .3 THEN
Kcs = (.37 - .42) / (.4 - .3) * (Rdc - .3) + .42
Pcs = (VPo - VPi) + K * VPo
END IF

```

```

IF Rdc<= .5 AND Rdc >= .4 THEN
Kcs = (.35 - .37) / (.5 - .4) * (Rdc - .4) + .37
Pcs = (VPo - VPi) + K * VPo
END IF

```

```

IF Rdc<= .6 AND Rdc >= .5 THEN
Kcs = (.26 - .32) / (.6 - .5) * (Rdc - .5) + .32
Pcs = (VPo - VPi) + K * VPo
END IF

```

```

IF Rdc<= .7 AND Rdc >= .6 THEN
Kcs = (.2 - .26) / (.7 - .6) * (Rdc - .6) + .26
Pcs = (VPo - VPi) + K * VPo
END IF

```

```

IF Rdc > .7 THEN
Kcs = .2
Pcs = (VPo - VPi) + K * VPo
END IF

```

```

Psd = Pfd + Ped + Pp + Pd + Pdp + Phd + Pb + Phv + Pcv + Pcs
PRINT "La relación R/D para el codo rectangular se asume de 0.5"
PRINT "El caudal de aire caliente es"; QD
PRINT "El ducto tendrá sección cuadrada de"; Ld; "pies de lado"
PRINT "La velocidad en el ducto de aire caliente es"; Vdu; "fpm"
PRINT "La fracción de pérdida de VP en el codo es"; Fp
PRINT "Presión estática en el codo es"; Ped; "plgs de agua"
PRINT "La longitud de ducto es"; Ldu; "pies"
PRINT "Presión estática en el ducto es"; Pd; "plgs de agua"
PRINT "El ángulo del acople entre ventilador y ducto es"; Angfd; "grados"
PRINT "Presión estática por el acople ventilador y ducto es"; Pfd; "plgs de agua"
PRINT "Presión estática en la cámara por expansión es"; Pdp; "plgs de agua"
PRINT "El numero de Reynolds para la placa de aire caliente es"; Reh1
INPUT "presione enter para continuar"; WWW
PRINT "Con la figura se tiene cd/cd' es 5"
PRINT "Presión a través de los orificios de gas caliente es"; Phd; "plgs de agua"
PRINT "Presión estática a través del grano es"; Pb; "plgs de agua"
PRINT "El numero de Reynolds para la placa de aire saturado es"; Reh2
PRINT "Con la figura se tiene cd/cd' es 5"
PRINT "Presión a través de los orificios saturados es"; Phv; "plgs de agua"
PRINT "Presión estática en la columna saturada es"; Pcv; "plgs de agua"
PRINT "Presión estática en la cámara es"; Pp; "plgs de agua"
PRINT "Presión en la contracción colsat-salida es"; Pcs; "plgs de agua"
PRINT "Presión estática en el camino del aire caliente es"; Psd; "plgs de agua"

```

```

PRINT ""
PRINT ""
Va = 0
PRINT "Si desea un caudal de aire caliente diferente : Ingrese el numero 1"
PRINT "caso contrario : Ingrese el cero"
INPUT ; Va
PRINT ""
IF Va = 1 THEN
INPUT "Ingrese el caudal de aire caliente en cfm"; QD
PRINT ""
Vdu = 0: Vp = 0: Ldu = 0: Ddu = 0: Dple = 0
END IF
RETURN

```

#### 5.4. Datos de entrada

Los datos de entrada son: rendimiento del sistema, humedad inicial y final del grano, densidad inicial y final del grano, tiempo en que se descarga el silo, temperatura ambiente, temperatura de secado, dimensiones del silo de recepción, velocidad de rotación de la esclusa, flujo de grano con que empieza a iterar, incremento del flujo de grano, decremento de la humedad, velocidad del aire a través de la columna de grano, entalpías y contenido de agua para todos los puntos del sistema en la carta psicrométrica, diámetro del grano, velocidad de transporte, lado mayor de la esclusa, diámetro de tubería de transporte, diámetro equivalente a la entrada del ciclón, diámetros equivalentes para secciones rectangulares y cuadradas, y coeficientes de fricción.

#### 5.5. Datos de salida

Los datos de salida son el volumen de la esclusa, el tiempo de secado y las dimensiones de: la estructura de la secadora, el sistema de transporte neumático, el equipo de calentamiento del aire y los ciclones separadores de grano.

CALCULO DE UN SISTEMA DE SECADO DE GRANO QUE UTILIZA UNA SECADORA  
DE COLUMNA Y TRANSPORTADORES NEUMATICOS PARA CIRCULAR EL PRODUCTO

Ingrese el rendimiento deseado para la planta en tons/hora? 2.6  
 Ingrese la humedad porcentual del arroz humedo? 22  
 Ingrese la densidad del arroz humedo en lb/pie<sup>3</sup>? 31.17  
 Ingrese la humedad porcentual del arroz seco? 13  
 Ingrese la densidad del arroz seco en lb/pie<sup>3</sup>? 37.41  
 Ingrese el tiempo en horas que trabaja la esclusa bajo el silo? 20  
 Para este rendimiento se necesita un silo de 71.90247 TM  
 Para un silo de fondo cónico de capacidad mayor o igual a 71.90247 TM : Ingrese  
 El diámetro del silo en pies? 15  
 La altura total o de llenado del silo en pies? 30  
 Ingrese la velocidad de rotación en rpm para la esclusa bajo el silo? 26  
 Ingrese el valor de flujo de grano en lbs/min con que empieza a iterar? 235  
 Ingrese el decremento con que disminuye la humedad? .01  
 Ingrese el incremento con que aumenta el flujo de grano? .1  
 Ingrese la temperatura del aire ambiente en grados centigrados? 26  
 Ingrese la humedad relativa porcentual del aire ambiente? 80  
 Ingrese la temperatura del aire de secado en grados centigrados? 34

presione enter para continuar?

Ingrese la velocidad del aire a traves del lecho en fpm? 100  
 Ingrese la relación alto/ancho para los planos de secado? 3  
 Ingrese la profundidad de la columna de grano en pies? 1  
 La temperatura del aire ambiente de 78.8 F y 80 % H.R. es el PUNTO A  
 La temperatura del aire de secado de 93.2 F es el PUNTO B  
 Usando la carta psicrométrica : Ingrese la temperatura de saturacion  
 del aire de secado en grados fahrenheit o PUNTO C? 77.5  
 Usando la tabla psicrométrica : Ingrese la cantidad de agua a evaporar  
 en lb/lb de aire para el PUNTO C? 0.0205  
 Usando la tabla psicrométrica : Ingrese la cantidad de agua a evaporar  
 en lb/lb de aire para el PUNTO A? 0.017  
 Usando la tabla psicrométrica : Ingrese la entalpia del aire en Btu/lb  
 para el PUNTO B? 41.1  
 Usando la tabla psicrométrica : Ingrese la entalpia del aire en Btu/hr  
 para el PUNTO A? 37.6  
 Ingrese el diámetro del grano en pies? 0.0128  
 Ingrese la velocidad del aire de transporte neumático en fpm? 5000

presione enter para continuar?

## PROPIEDADES DEL AIRE AMBIENTE

La temperatura es 78.8 F  
 La densidad es 7.411765E-02 lbm/pie<sup>3</sup>  
 La viscosidad absoluta es 1.247588E-05 lbm/pie-seg

## PROPIEDADES DEL AIRE DE SECADO

La temperatura es 93.2 F  
 La densidad es .072 lbm/pie<sup>3</sup>  
 La viscosidad absoluta es 1.273E-05 lbm/pie-seg

## PROPIEDADES DEL AIRE SATURADO

La temperatura es 77.5 F  
 La densidad es 7.430883E-02 lbm/pie<sup>3</sup>  
 La viscosidad absoluta es 1.245294E-05 lbm/pie-seg

## ITERANDO EL FLUJO DE GRANO :

235.1 lbs/min

presione enter para continuar?

El volumen de la esclusa es .2900965 pie<sup>3</sup>  
 Ingrese el lado mayor de la entrada a la esclusa en pies? 1

El ángulo de la tolva es 36.39829 grados  
 El volumen de los 4 espacios planos es 129.372 pie<sup>3</sup>  
 El volumen de la pirámide grande interior es 19.44387 pie<sup>3</sup>  
 El volumen de la pirámide grande exterior es 49.97057 pie<sup>3</sup>  
 El volumen de la pirámide pequeña es .12287 pie<sup>3</sup>  
 El volumen del espacio de ducto es 10.4812 pie<sup>3</sup>  
 El volumen de la tolva es 149.2946 pie<sup>3</sup>  
 El volumen de grano que rodea al cono en la torre es 48.83214 pie<sup>3</sup>  
 El volumen acumulado en las 4 columnas de grano es 351.0798 pie<sup>3</sup>  
 El volumen para cargar la columna es 549.2066 pie<sup>3</sup>  
 El tiempo para cargar la columna es 1.213581 horas

## RESULTADOS DE LA PRIMERA PASADA

El caudal es 35107.98 cfm  
 La densidad del grano cambia desde 31.17 a 33.2847 lb/pie<sup>3</sup>  
 El flujo de grano desde el silo es 235.1 lbs/min o 7.053 tons/hora  
 El flujo de grano superior es 235.1 lb / min o 7.053 tons/hora  
 El flujo de grano inferior es 226.2528 lb/min o 6.787584 tons/hora

presione enter para continuar?

La velocidad de rotación de la esclusa bajo la secadora es 23.43186 rpm  
 La velocidad promedio del grano en la sección de secado es .3313959 fpm  
 El tiempo de retención en la columna va de 1.134335 a 1.246379 hr  
 El tiempo que demora en pasar todo el silo es 7.372749 horas  
 La masa del silo cambia desde 52 a 50.04315 tons  
 El volumen acumulado de grano de 22 % a 18.94995 % es 50.70536 pie<sup>3</sup>  
 Las dimensiones del plano de secado son 5.408942 pies x 16.22683 pies

#### RESULTADOS PARA LA SEGUNDA PASADA

La densidad del grano cambia desde 33.2847 a 35.3578 lb/pie<sup>3</sup>  
 El flujo de grano desde el silo es 251.0502 lbs/min o 7.531505 tons/hora  
 El flujo de grano superior es 248.6649 lb/min o 7.459947 tons/hora  
 El flujo de grano inferior es 239.8177 lb/min o 7.194531 tons/hora  
 La velocidad de rotación de la esclusa bajo la secadora es 23.38048 rpm  
 La velocidad promedio del grano en la sección de secado es .3293954 fpm  
 El tiempo de retención en la columna va de 1.247091 a 1.383767 hr  
 El tiempo que demora en pasar todo el silo es 6.644509 horas  
 La masa del silo cambia desde 50.04315 a 47.80413 tons  
 El volumen acumulado de grano de 18.94995 % a 15.9599 % es 36.01456 pie<sup>3</sup>  
 El volumen acumulado por diferencia de flujos es 25.2505 pie<sup>3</sup>  
 El volumen total acumulado en esta pasada es 61.26506 pie<sup>3</sup>

presione enter para continuar?

#### RESULTADOS PARA LA TERCERA PASADA

La densidad del grano cambia desde 35.3578 a 37.38931 lb/pie<sup>3</sup>  
 El flujo de grano desde el silo es 266.6866 lbs/min o 8.000596 tons/hora  
 El flujo de grano superior es 262.6043 lb / min o 7.878129 tons/hora  
 El flujo de grano inferior es 253.7571 lb/min o 7.612713 tons/hora  
 La velocidad de rotación de la esclusa bajo la secadora es 23.39528 rpm  
 La velocidad promedio del grano en la sección de secado es .3284825 fpm  
 El tiempo de retención en la columna va de 1.385384 a 1.530764 hr  
 El tiempo que demora en pasar todo el silo es 5.97507 horas  
 El tiempo que dura el proceso de secado es 21.53076 hr  
 La masa del silo cambia desde 47.80413 a 45.4865 tons  
 El volumen acumulado de grano de 15.9599 % a 13.02985 % es 36.01456 pie<sup>3</sup>  
 El volumen acumulado por diferencia de flujos es 36.14741 pie<sup>3</sup>  
 El volumen total acumulado en esta pasada es 78.74765 pie<sup>3</sup>  
 El volumen total en las 3 pasadas es 190.7181 pie<sup>3</sup>  
 La altura teórica de llenado es 3.474397 pies  
 La altura de llenado con un F.S.= 1.5 es 5.211596 pies  
 el gasto del quemador es 3.832665 gal/h

presione enter para continuar?

## CALCULO DESDE EL SILO HACIA LA SECADORA

## CAIDA DE PRESION ESTATICA EN EL CICLON

Ingrese el diámetro interior de la tubería en pulgadas? 14  
 Se tiene una relación altura de entrada/anchura de entrada = 2 para un ciclón de baja eficiencia y además una velocidad del gas de 50 fps  
 Se recomienda un ancho de entrada al ciclón de 11.32616 plgs  
 Ingrese el ancho y alto en pulgadas de la entrada al ciclón? 11.33,22.66  
 Ingrese el diámetro equivalente del acople en pulgadas? 16.7

## CARACTERISTICAS DEL CICLON

La velocidad de entrada al ciclón es 49.96615 pies/seg  
 El ancho de la entrada del ciclón es 11.33 plgs  
 La altura de la entrada del ciclón es 22.66 plgs  
 El diámetro del ciclón es 30.21333 plgs  
 El diámetro de descarga de gas del ciclón es 22.66 plgs  
 La longitud del cuerpo del ciclón es 45.32 plgs  
 La longitud del vortice del ciclón es 26.43667 plgs  
 La longitud del cono del ciclón es 75.53333 plgs  
 El diámetro de descarga de grano del ciclón es 11.33 plgs  
 El número efectivo de vueltas es 3.666667  
 presione enter para continuar?

La eficiencia total de colección es .9999841  
 La función es 1.508991  
 La velocidad de saltacion es 128.3094 pies/seg  
 Presión a través del ciclón es 4.428057 plgs de agua  
 La relación de diámetros es 1.192857  
 El ángulo de diseño es 3.5 grados  
 La longitud de la expansión es 1.839355 pies  
 Presión total en la expansión antes del ciclón es .1246881 plgs de agua

La longitud horizontal de tubería es 15.93699 pies  
 La longitud vertical de tubería es 43.84162 pies  
 La velocidad con que flotan los granos es 1373.885 fpm  
 La velocidad del sólido horizontal es 4306.188 fpm  
 La velocidad del sólido vertical es 3626.115 fpm  
 El número de Reynolds para Moody es 577585  
 La rugosidad relativa es 4.285715E-04  
 El factor de fricción para ventilación es 4.274995E-03  
 La densidad de sólidos dispersos horizontalmente es .0570459 lb/pie<sup>3</sup>  
 La densidad del gas disperso horizontalmente es 7.411765E-02 lb/pie<sup>3</sup>  
 La densidad de sólidos dispersos verticalmente es 6.774478E-02 lb/pie<sup>3</sup>  
 La densidad del gas disperso verticalmente es 7.411765E-02 lb/pie<sup>3</sup>

presione enter para continuar?

El factor de fricción vertical entre grano y pared de tubo es 5.142712E-03  
 Presión horizontal para acelerar el gas es 1.539604 plgs de agua  
 Presión horizontal para acelerar el grano es 1.757874 plgs de agua  
 Presión horizontal por fricción gas-tubería es .4011438 plgs de agua  
 Presión horizontal por fricción grano-tubería es 4.981793E-02 plgs de agua  
 Presión vertical para acelerar el gas es 1.539604 plgs de agua  
 Presión vertical para acelerar el grano es 1.480254 plgs de agua  
 Presión vertical por fricción gas-tubería es .9862713 plgs de agua  
 Presión vertical por fricción grano-tubería es .5721347 plgs de agua  
 Presión por soporte de la columna de gas es .6259562 plgs de agua  
 Presión por soporte de los sólidos es .5721345 plgs de agua  
 Presión por todos los codos es 1.333109 plgs de agua  
 El caudal es 5345.083 CFM  
 El diámetro de tubería es 14 plgs  
 Presión total descarga de esclusa-destino es  $15.41065 \times 1.3 = 20.03384$   
 plgs de agua  
 Para la rotación de 3600 rpm el valor de  $N_q$  es 63.57957  
 Para una eficiencia de 0.65 la potencia al freno es 25.91919 HP

Se asume una distancia de separación entre silo y secadora de 13.12 pies  
 Se asume (ancho plano secado/ancho columna saturada) de 3  
 Se asume (alto plano secado/alto cono distribuidor) de 5

presione enter para continuar?

La altura del claro bajo la secadora es 3.28 pies  
 La altura de la tolva de descarga es 7.408942 pies  
 La altura de la parte de secado es 16.22683 pies  
 La altura del cono distribuidor es 1.081788 pies  
 La altura de la columna de grano acumulado es 9.754051 pies  
 La altura del techo es 1.852235 pies  
 La altura de la torre de almacenamiento 12.68808 pies  
 La altura total de la secadora es 39.60384 pies  
 La altura del ciclón de la secadora es 10.07111 pies  
 La altura total hasta el ciclón es 49.67495 pies

#### SUGERENCIA :

Si tiene un caudal muy pequeño y una presión muy grande  
 se le aconseja aumentar el diámetro de tubería y variar  
 por decimas la velocidad del aire entre 5000 y 5500 fpm  
 hasta tener un caudal para ventilador comercial de referencia  
 digite el número 0 para empezar el cálculo de equilibrio  
 caso contrario si esta de acuerdo con sus valores digite 1  
 Ingrese el número 0 o 1 según su decisión? 1

presione enter para continuar?

## CALCULO DESDE LA SECADORA HACIA EL SILO

## CAIDA DE PRESION ESTATICA EN EL CICLON

Ingrese el diámetro interior de la tubería en pulgadas? 14  
 Se tiene una relación altura de entrada/anchura de entrada = 2 para un ciclón de baja eficiencia y además una velocidad del gas de 50 fps  
 Se recomienda un ancho de entrada al ciclón de 11.32616 plgs  
 Ingrese el ancho y alto en pulgadas de la entrada al ciclón? 11.33,22.66  
 Ingrese el diámetro equivalente del acople en pulgadas? 16.7

## CARACTERISTICAS DEL CICLON

La velocidad de entrada al ciclón es 49.96615 pies/seg  
 El ancho de la entrada del ciclón es 11.33 plgs  
 La altura de la entrada del ciclón es 22.66 plgs  
 El diámetro del ciclón es 30.21333 plgs  
 El diámetro de descarga de gas del ciclón es 22.66 plgs  
 La longitud del cuerpo del ciclón es 45.32 plgs  
 La longitud del vortice del ciclón es 26.43667 plgs  
 La longitud del cono del ciclón es 75.53333 plgs  
 El diámetro de descarga de grano del ciclón es 11.33 plgs  
 El número efectivo de vueltas es 3.666667  
 presione enter para continuar?

La eficiencia total de colección es .9999849  
 La función es 1.537668  
 La velocidad de saltacion es 130.7478 pies/seg  
 Presión a través del ciclón es 4.428057 plgs de agua  
 La relación de diámetros es 1.192857  
 El ángulo de diseño es 3.5 grados  
 La longitud de la expansión es 1.839355 pies  
 Presión total en la expansión antes del ciclón es .1246881 plgs de agua

La longitud horizontal de tubería es 15.93699 pies  
 La longitud vertical de tubería es 34.23778 pies  
 La velocidad con que flotan los granos es 1413.193 fpm  
 La velocidad del sólido horizontal es 4286.337 fpm  
 La velocidad del sólido vertical es 3586.807 fpm  
 El número de Reynolds para Moody es 577585  
 La rugosidad relativa es 4.285715E-04  
 El factor de fricción para ventilación es 4.274995E-03  
 La densidad de sólidos dispersos horizontalmente es 5.537929E-02 lb/pie<sup>3</sup>  
 La densidad del gas disperso horizontalmente es 7.411765E-02 lb/pie<sup>3</sup>  
 La densidad de sólidos dispersos verticalmente es 6.617985E-02 lb/pie<sup>3</sup>  
 La densidad del gas disperso verticalmente es 7.411765E-02 lb/pie<sup>3</sup>

presione enter para continuar?

El factor de fricción horizontal entre grano y pared de tubo es  $9.386103E-04$   
 El factor de fricción vertical entre grano y pared de tubo es  $5.256049E-03$   
 Presión horizontal para acelerar el gas es 1.539604 plgs de agua  
 Presión horizontal para acelerar el grano es 1.69082 plgs de agua  
 Presión horizontal por fricción gas-tubería es .4011438 plgs de agua  
 Presión horizontal por fricción grano-tubería es  $4.836245E-02$  plgs de agua  
 Presión vertical para acelerar el gas es 1.539604 plgs de agua  
 Presión vertical para acelerar el grano es 1.414878 plgs de agua  
 Presión vertical por fricción gas-tubería es .7702211 plgs de agua  
 Presión vertical por fricción grano-tubería es .4364829 plgs de agua  
 Presión por soporte de la columna de gas es .4888357 plgs de agua  
 Presión por soporte de los sólidos es .4364827 plgs de agua  
 Presión por todos los codos es 1.269739 plgs de agua  
 El caudal es 5345.083 CFM  
 El diámetro de tubería es 14 plgs  
 Presión total descarga de esclusa-destino es  $14.58892 \times 1.3 = 18.96559$   
 plgs de agua  
 Para la rotación de 3600 rpm el valor de  $Nq$  es 66.24696  
 Para una eficiencia de 0.65 la potencia al freno es 24.53712 HP

presione enter para continuar?

La altura del claro bajo el silo es 3.28 pies  
 La altura total del silo es 30 pies  
 La altura del ciclón del silo es 10.07111 pies  
 La altura total hasta el ciclón es 40.07111 pies

#### SUGERENCIA :

Si tiene un caudal muy pequeño y una presión muy grande  
 se le aconseja aumentar el diámetro de tubería y variar  
 por decimas la velocidad del aire entre 5000 y 5500 fpm  
 hasta tener un caudal para ventilador comercial de referencia  
 digite el número 0 para empezar el calculo de equilibrio  
 caso contrario si esta de acuerdo con sus valores digite 1  
 Ingrese el número 0 o 1 según su decisión? 1

presione enter para continuar?

OK

## CAIDA DE PRESION ESTATICA EN EL CAMINO DE AIRE CALIENTE

Ingrese el diámetro equivalente de ducto para 2.704471 pies x 2.704471 pies  
? 3.06

Ingrese el diámetro equivalente del plenum para 5.408942 pies x 5.408942 pies  
? 6

Para los siguientes datos:

La velocidad del aire en el ducto de 4773.887 FPM y

El caudal de aire caliente en el ducto de 35107.98 CFM

Ingrese el factor de fricción en plgs de agua por cada 100 pies? 0.61

Para los siguientes datos:

La velocidad del aire en el plenum de 1241.688 FPM y

El caudal de aire caliente en el plenum de 35107.98 CFM

Ingrese el factor de fricción en plgs de agua por cada 100 pies? 0.021  
presione enter para continuar?

Ingrese los lados en pulgadas de la descarga del ventilador? 39.25,35.25

Ingrese el diámetro en pulgadas para la descarga del ventilador? 41.4

Para una seccion de 5.408942 pies x 16.22683 pies

Ingrese el diámetro equivalente? 9.8

Para un espesor de la columna de aire saturado de 1.802981 pies se tiene

Una velocidad de 116.3598 fpm

y un caudal de 8776.995 cfm

Ingrese las perdidas por cada 100 pies de tubería? 0.01

Para una seccion de 5.408942 pies x 3.245365 pies

Ingrese el diámetro equivalente? 4.50

La relación R/D para el codo rectangular se asume de 0.5

El caudal de aire caliente es 35107.98

El ducto tendra seccion cuadrada de 2.704471 pies de lado

La velocidad en el ducto de aire caliente es 4773.887 fpm

La fraccion de perdida de VP en el codo es 1.05

Presión estatica en el codo es 1.491861 plgs de agua

La longitud de ducto es 3.704471 pies

Presión estatica en el ducto es 2.259727E-02 plgs de agua

El ángulo del acople entre ventilador y ducto es 3.09537 grados

Presión estatica por el acople ventilador y ducto es .5414973 plgs de agua

Presión estatica en la camara por expansion es-.5506592 plgs de agua

El número de Reynolds para la placa de aire caliente es 172.3837

presione enter para continuar?

Con la figura se tiene  $cd/cd'$  es 5

Presión a través de los orificios de gas caliente es  $3.277574E-03$  plgs de agua

Presión estática a través del grano es 2.4 plgs de agua

El número de Reynolds para la placa de aire saturado es 181.8698

Con la figura se tiene  $cd/cd'$  es 5

Presión a través de los orificios saturados es  $3.323404E-03$  plgs de agua

Presión estática en la columna saturada es  $1.802981E-04$  plgs de agua

Presión estática en el plenum es  $3.407633E-03$  plgs de agua

Presión en la contracción colsat-salida es  $1.815232E-02$  plgs de agua

Presión estática en el camino del aire caliente es 3.933638 plgs de agua

Si desea un caudal de aire caliente diferente : Ingrese el número 1

caso contrario : Ingrese el cero

? 0

Presione cualquier tecla y continúe

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez determinado el sistema de secado en base a las características de la secadora importada, se llega a las siguientes conclusiones.

1. Se cumple en gran medida con lo recomendado, es decir, el sistema puede llevar la humedad del grano al 18-19% en el primer paso, quitar aproximadamente 3 puntos en el segundo paso y un poco mas o un poco menos de 2 puntos en el tercer paso. Condiciones que sin ser una regla, se apegan a lo recomendado para garantizar la calidad del grano en el proceso de secado.
2. Los valores de los elementos que componen el proceso de secado y que son construidos en nuestro medio, son mucho menores que los importados, y sus diferencias se acortan al incluir en nuestro sistema elementos importados tales como el silo, quemadores y motores. De esta manera, el sistema importado es 41% mas caro.
3. Si consideramos que nuestra temperatura de secado es 8°C sobre el ambiente, suficiente para conservar la vida del grano, y que la temperatura del gas de la secadora importada es de 55°C en la salida de la cámara de combustión, con una pequeña reducción de temperatura en el camino, llegamos a la conclusión de que si utilizamos en nuestro sistema los 55°C y un ventilador para enfriamiento, los costos de construcción y operación se reducen considerablemente, dado los bajos

caudales de aire requeridos, y que se reflejan en la potencia absorbida y en una reducción de las dimensiones del sistema.

4. Al ejecutar el programa puede verse que el aumento de la temperatura de secado, disminuye las dimensiones del sistema. Por lo tanto, si el grano fuese solo para proceso industrial, puede soportar perfectamente 43°C, lo que reduce los costos en general.
5. Por tratar nuestro sistema una temperatura baja comparado con el sistema importado, no necesitamos en la parte inferior de la columna secadora una sección de enfriamiento que no garantiza la vida del grano si se usara para semilla (capacidad germinativa) o la no presencia de granos partidos en el proceso industrial.
6. No se puede utilizar como dato de entrada para el programa el tiempo de secado, porque no se conoce el tiempo de retención del grano en la columna. En tal caso se lo ha considerado como un dato de salida.
7. El diseño del camino del aire de secado desde la descarga del ventilador hacia la entrada de la cámara, impide la pérdida pronunciada de temperatura por transferencia de calor debido a la presencia de volúmenes que lo separan del aire ambiente.

8. Se sabe que la eficiencia de la esclusa esta en relación con la cantidad de flujo de grano del sistema. Por lo tanto, para valores elevados de eficiencia, el flujo de grano que ingresa tanto en la columna como en el silo no varia significativamente con pequeñas variaciones de eficiencia, por tanto se evita la acumulación de grano que se puede presentar en la secadora si se tuviesen esclusas con diferentes eficiencias.
9. El separador de grano cumple también la función de eliminar partículas y otros granos livianos si los hubiere, conservando el grano limpio durante el proceso.
10. El consumo de combustible es 4 galones por hora, unas décimas mayor que lo teórico y que compensa cualquier caída de temperatura por muy pequeña que esta sea en el camino de aire caliente.
11. La altura bajo el silo no depende de la selección del mismo y según sea el caso puede utilizarse cimentaciones para obtener la altura deseada.
12. El hecho de tener apenas 3 esclusas diferentes de referencia, limita hacer un análisis libre en función del rendimiento. Si este aumenta, necesitamos esclusas con mayor capacidad volumétrica para trabajar, de tal manera que la rotación en esta sea baja.

13. Se justifica el secado lento, ya que para sembrar un promedio de 260.000 hectáreas en el país, necesitamos una cantidad en semillas de 26000 toneladas.

En base al estudio y resultados del sistema de secado se han elaborado algunas recomendaciones para optimizar la inversión del mismo.

1. Si consideramos solo las partes de nuestro sistema que son construidos en nuestro medio y los comparamos con los importados tendremos que el valor para nuestro sistema puede aun ser mas conveniente que el sistema importado, por esto se recomienda construir el silo en el medio de tal manera que este ahorro se refleje en el precio del sistema.
2. Se recomienda un tiempo de trabajo para la esclusa del 80% del tiempo de secado esperado, ya que dejaríamos un máximo del 20% para tiempo de retención en la columna y así tener un tiempo de esclusa + retención a lo mucho igual al tiempo de secado deseado y así poder planificar por jornadas si fuese el caso.
3. Para el caso de utilizar otros granos que puedan ser fácilmente afectados por la contaminación del gas de secado, se recomienda la evaluación de precalentadores de aire.
4. Si se desea aumentar la producción, se puede aumentar las dimensiones del sistema o aumentar el numero de unidades. En tal caso es recomendable hacer un

estudio del transporte neumático para ramales de dos tuberías a una o viceversa si se utilizan en by-pass.

5. Si se desea disminuir la potencia absorbida por el transporte neumático, es recomendable variar el factor de seguridad que para nuestro caso es 1.3 y que previene cualquier caída de presión en la esclusa (aproximadamente 4.60" de agua adicionales en cada sistema).
  
6. A pesar de que el arroz es un producto de consumo humano y además abrasivo, a nivel local y comercial, las laminas perforadas que contienen el grano son de plancha negra cubiertas con una pintura anticorrosiva epóxica sintética que reduce los costos del sistema, en vez de usar planchas galvanizadas o inoxidable.

**APENDICES**

**APENDICE A**  
**DIAGRAMAS Y TABLAS**

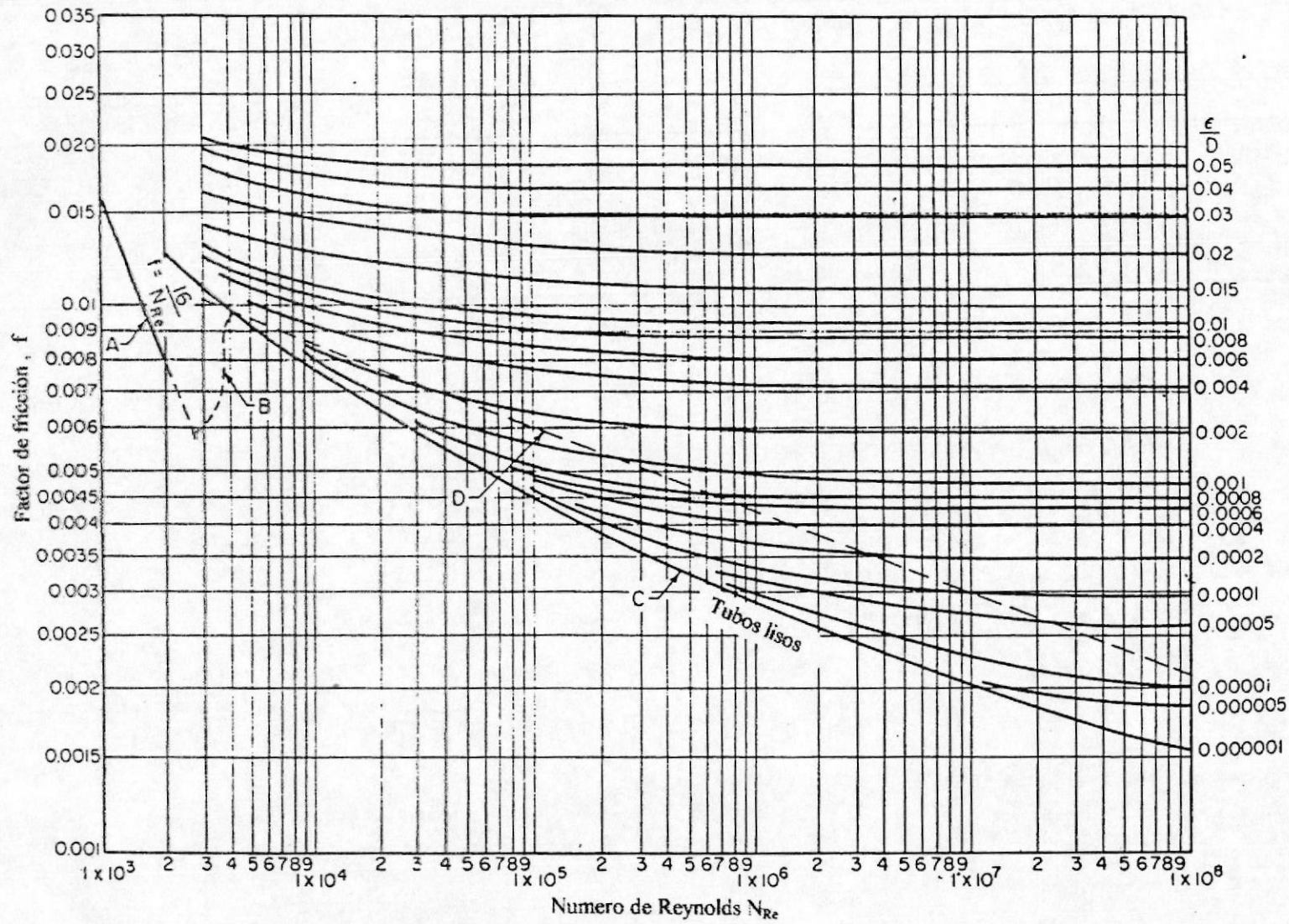


Figura A.1 Diagrama de Moody (ref. 13, pág. 5-22).

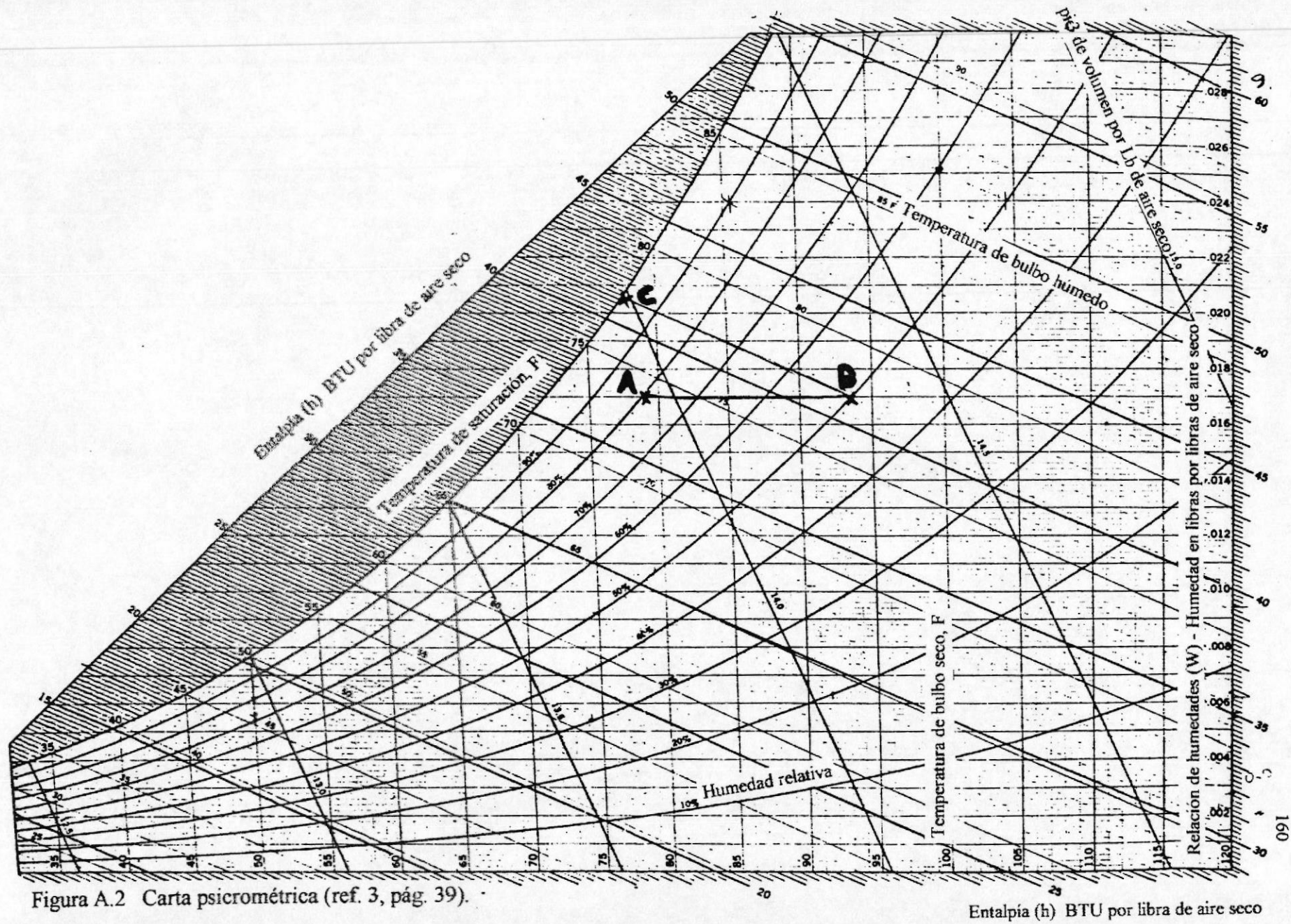
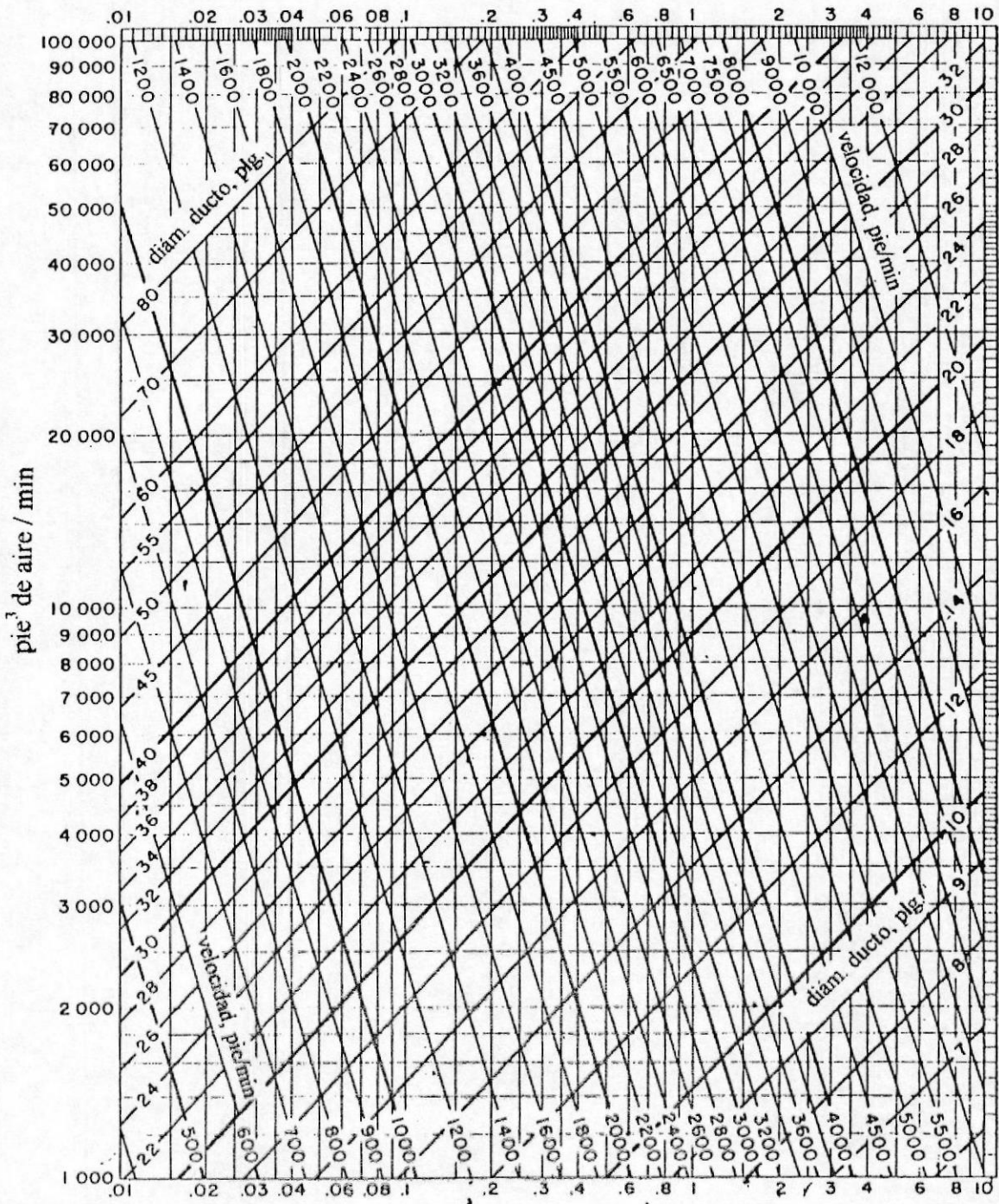


Figura A.2 Carta psicrométrica (ref. 3, pág. 39).

Entalpia (h) BTU por libra de aire seco



Perdidas por fricción en pulgadas de agua por cada 100 pies

Figura A.3 Fricción del aire en ductos rectos para volúmenes de 1000 a 100000 cfm (ref.8, pág. 6-41).

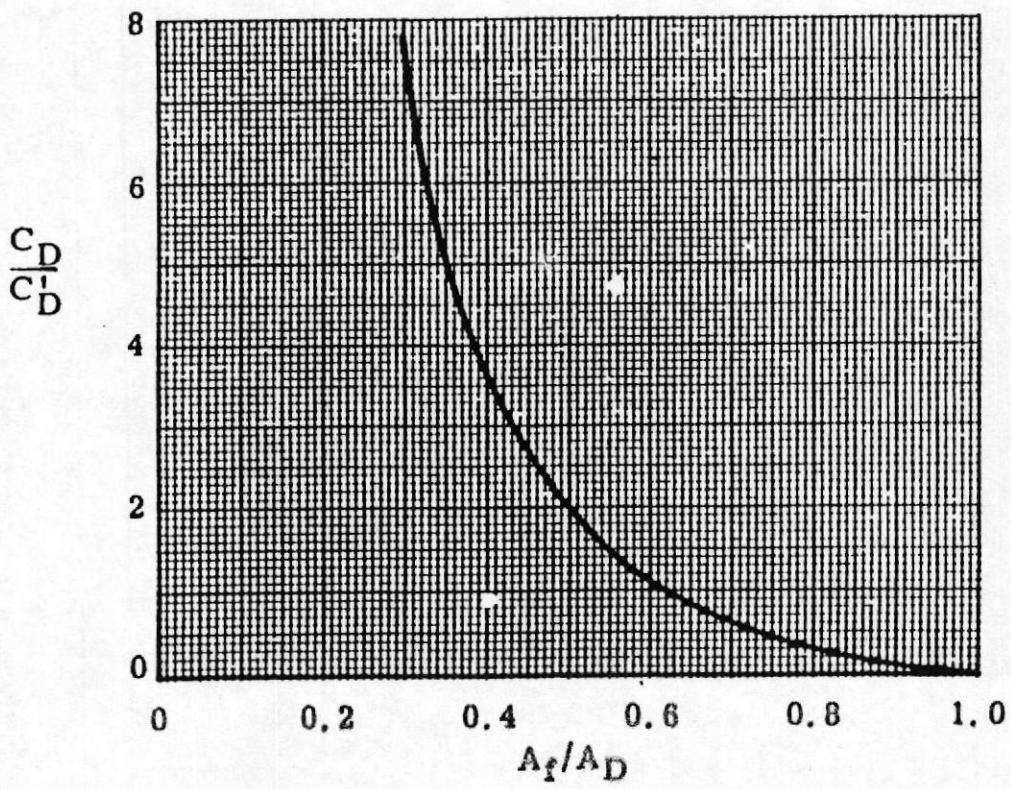


Figura A.4 Coeficiente modificador de perdidas (ref. 12, pág. 74).

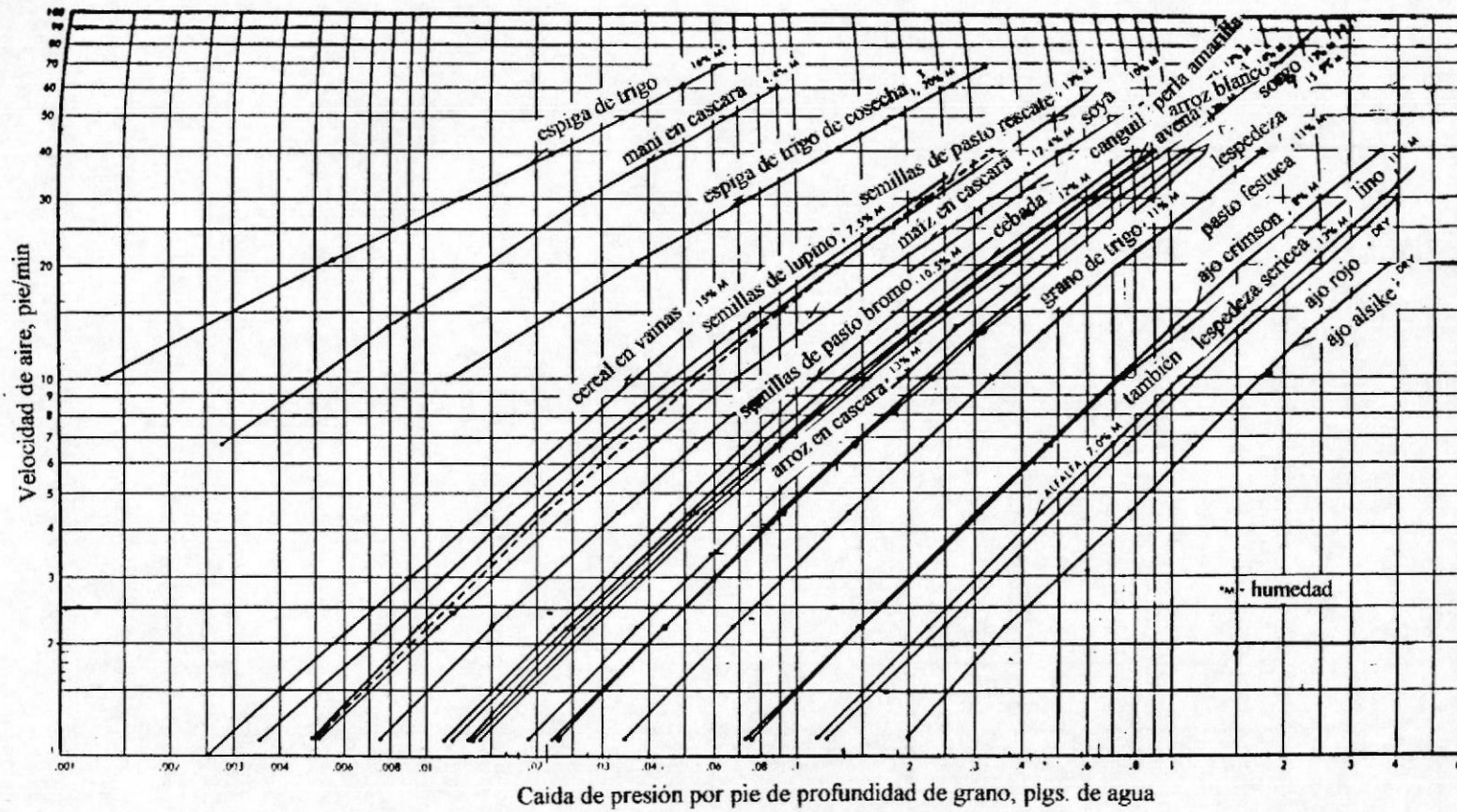


Figura A.5 Resistencia de los granos y semillas al flujo de aire (ref. 3, pág. 89).

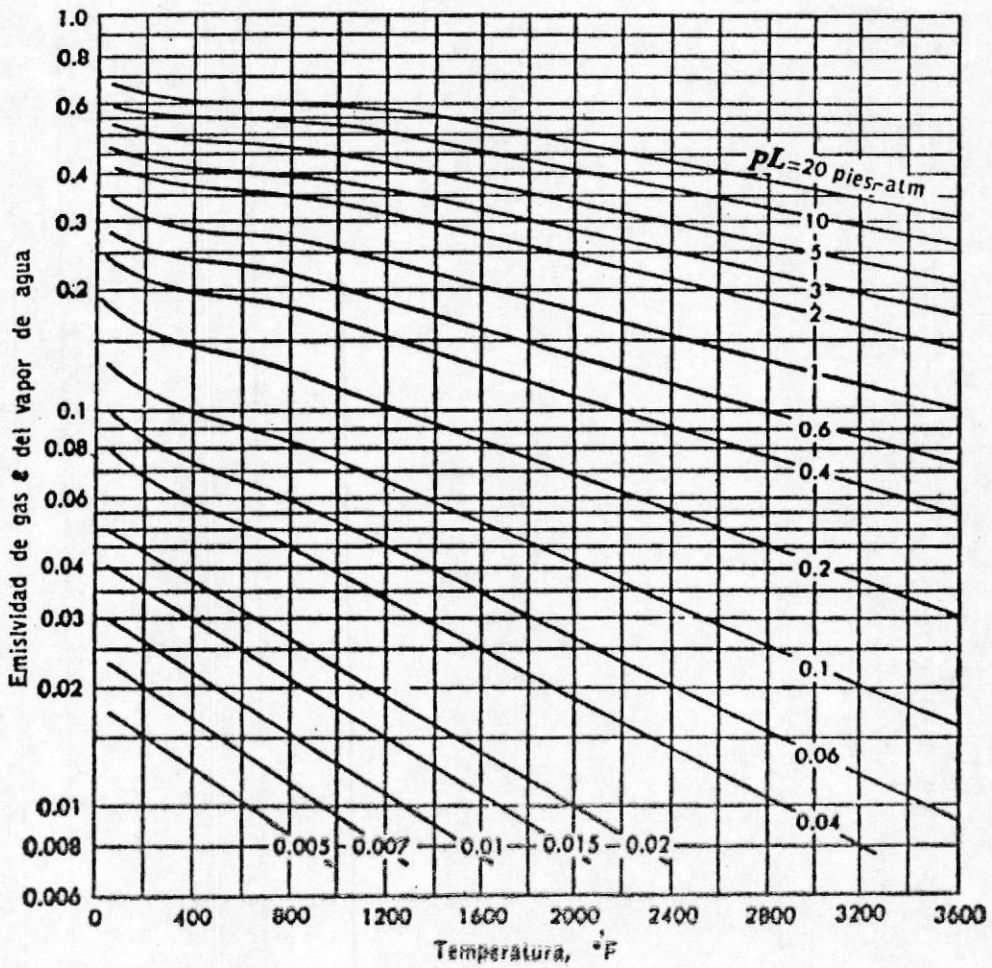


Figura A.6 Emisividad del vapor de agua para un sistema hipotético a 1 atmósfera de presión y 0 presión parcial (ref. 11, pág. 253).

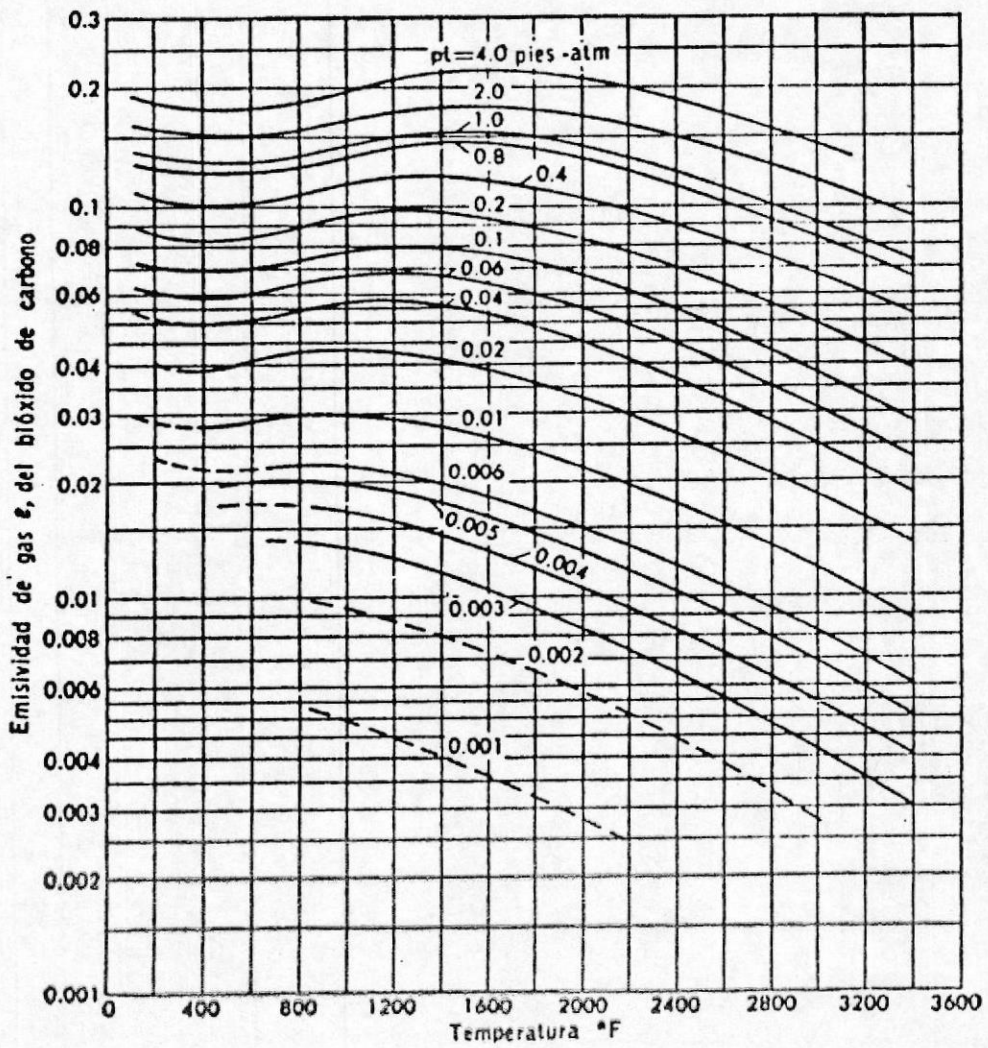


Figura A.7 Medida experimental de la emisividad del bióxido de carbono a 1 atmósfera de presión total (ref. 11, pág. 254).

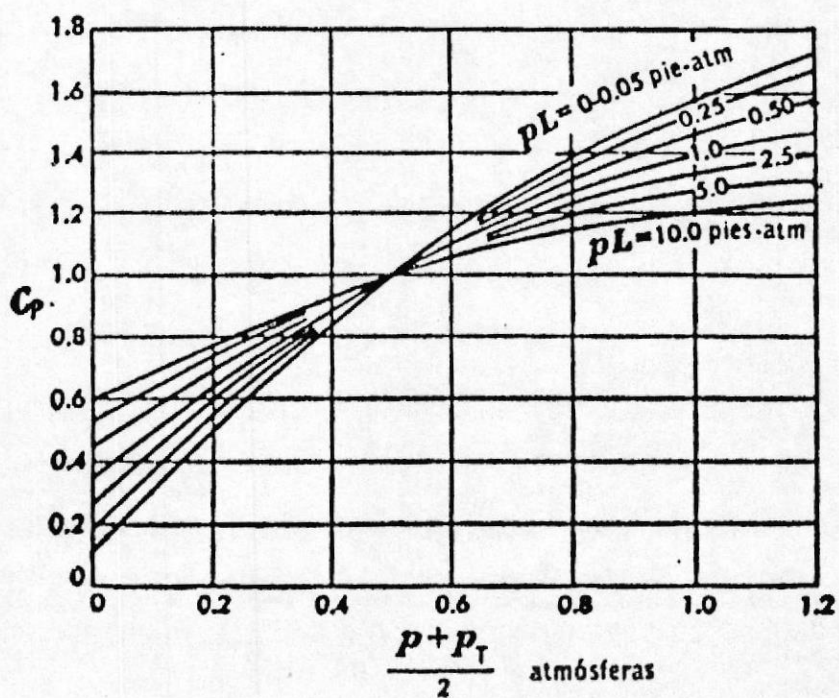


Figura A.8 Factor  $C_p$  para corregir la emisividad del vapor de agua a valores de  $p$  y  $p_T$  diferentes a 0 y 1 atmósfera (ref. 11, pág. 255).

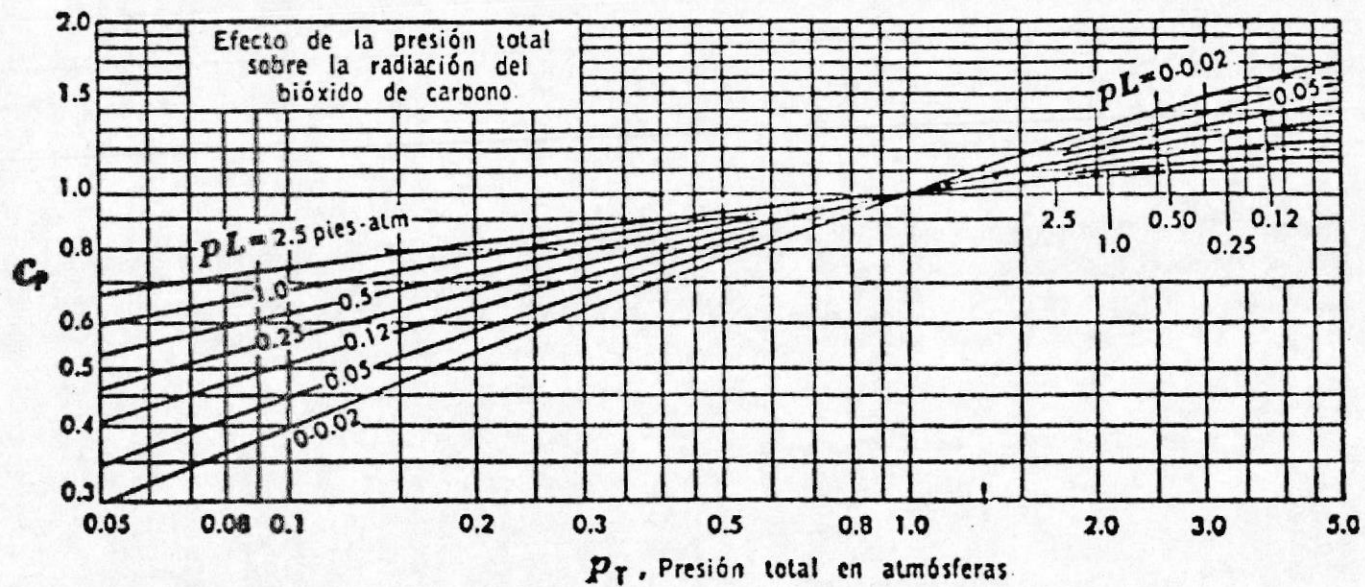


Figura A.9 Factor  $C_p$  para corregir la emisividad del CO<sub>2</sub> a 1 atmósfera de presión total a la emisividad de  $p_T$  atmósferas (ref. 11, pág. 256).

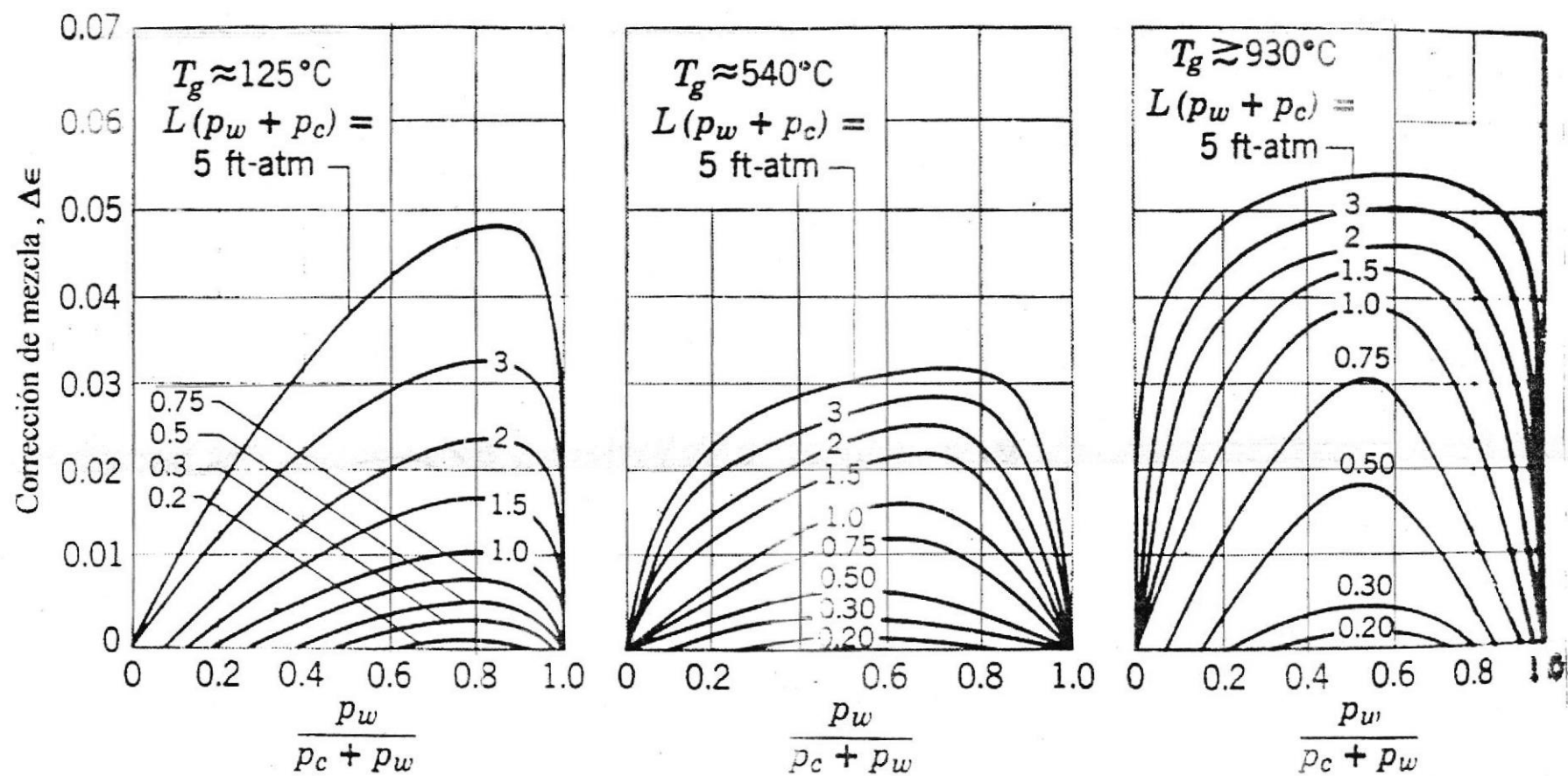


Figura A.10 Factor de corrección asociado con mezclas de vapor de agua y bióxido de carbono (ref. 9, pág. 832).

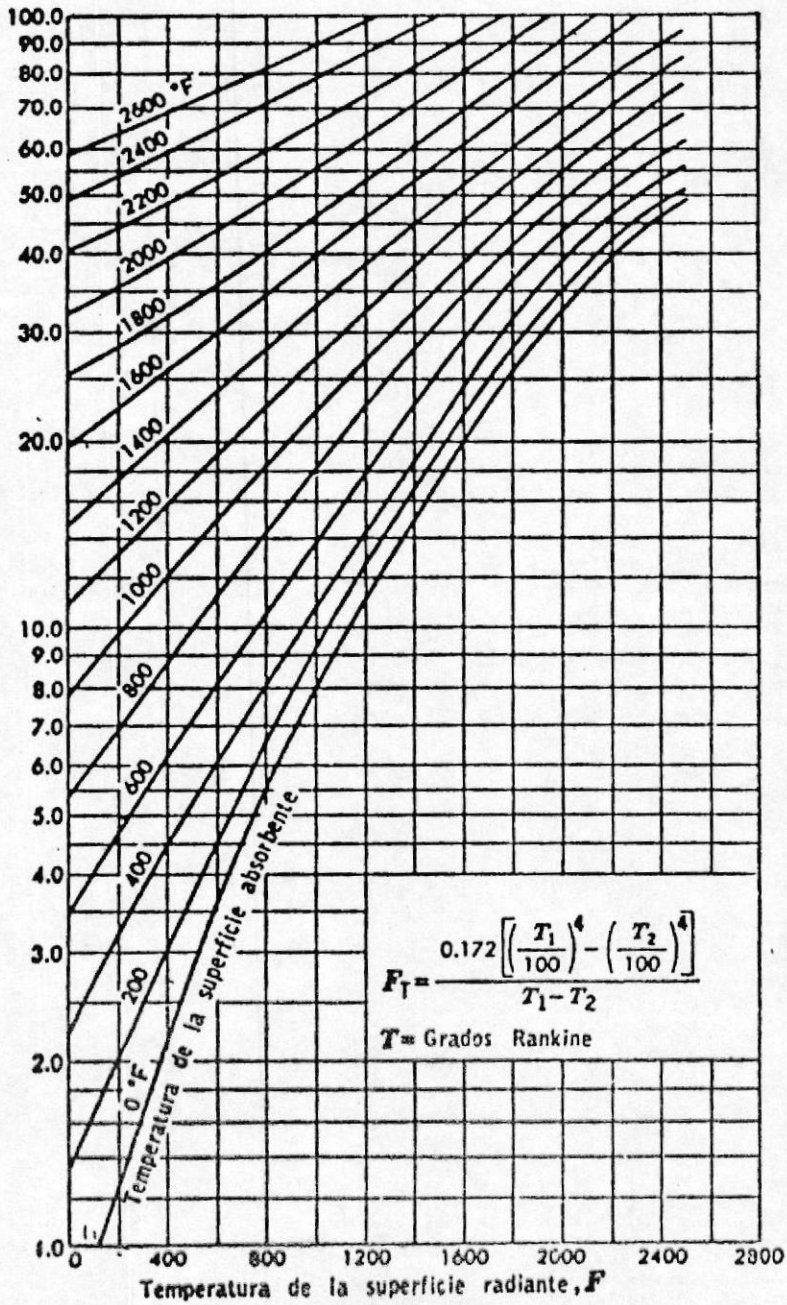


Figura A.11 Factor de temperatura  $F_T$ , como función de la temperatura, en grados Fahrenheit (ref. 11, pág. 246)

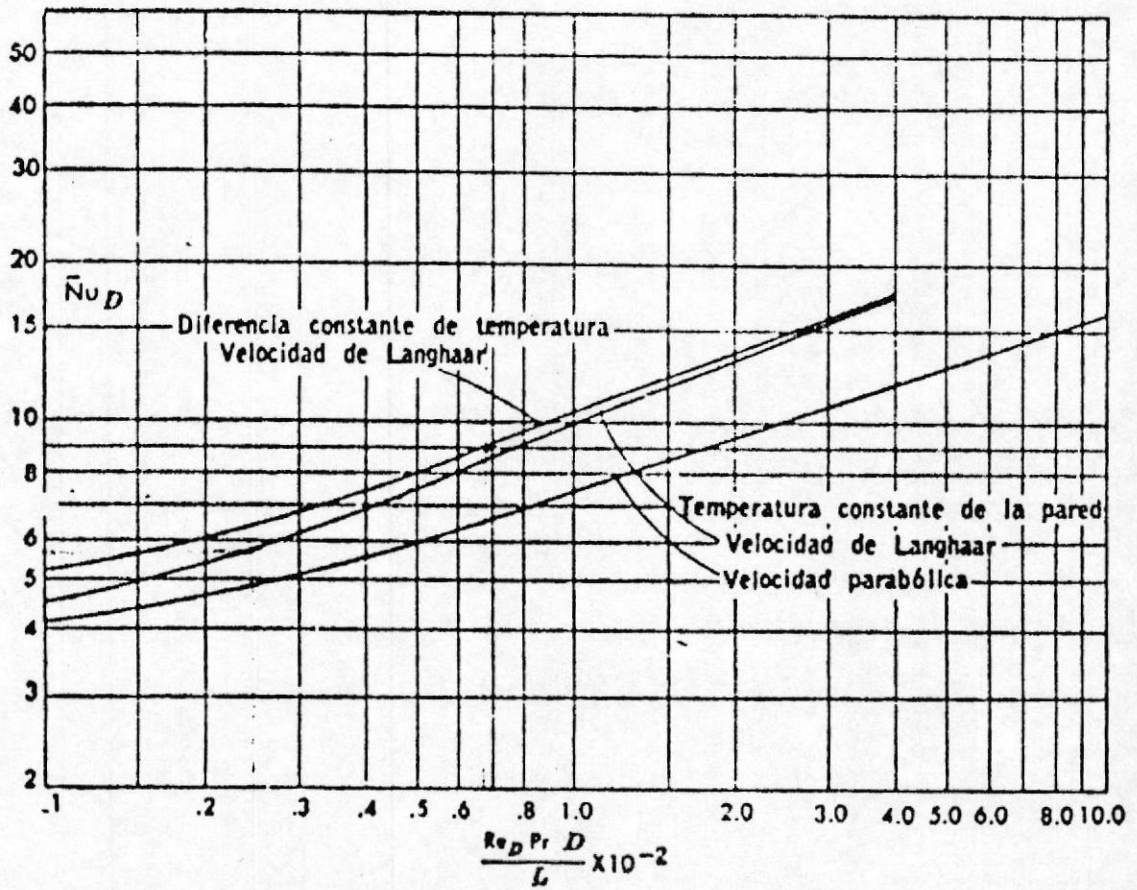


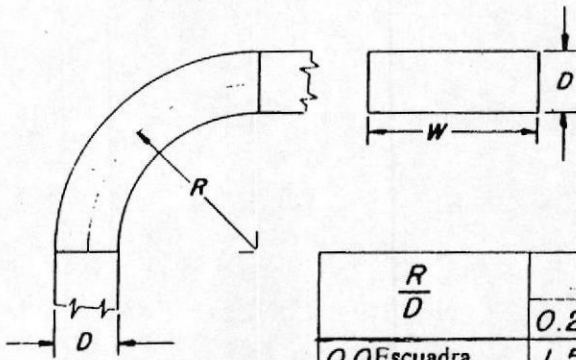
Figura A.12 Numero medio de Nusselt con respecto a la longitud de tubo, para gases en flujo laminar (ref. 11, pág. 422)

Tabla A.1 Equivalencia circular de ductos rectangulares con igual capacidad y fricción.

Equivalencias circulares de ductos rectangulares para igual capacidad y fricción

	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5	15.0	15.5	16	
4.0	3.4	4.0	4.7	5.4	6.1	6.8	7.5	8.2	8.9	9.6	10.3	11.0	11.7	12.4	13.1	13.8	14.5	15.2	15.9	16.6	17.3	18.0	18.7	19.4	20.1	20.8
4.5	4.1	4.3	4.6	5.0	5.4	5.8	6.2	6.6	7.0	7.4	7.8	8.2	8.6	9.0	9.4	9.8	10.2	10.6	11.0	11.4	11.8	12.2	12.6	13.0	13.4	13.8
5.0	4.8	4.6	4.9	5.3	5.7	6.1	6.5	6.9	7.3	7.7	8.1	8.5	8.9	9.3	9.7	10.1	10.5	10.9	11.3	11.7	12.1	12.5	12.9	13.3	13.7	14.1
5.5	5.1	5.0	5.2	5.6	6.0	6.4	6.8	7.2	7.6	8.0	8.4	8.8	9.2	9.6	10.0	10.4	10.8	11.2	11.6	12.0	12.4	12.8	13.2	13.6	14.0	14.4
6	5.4	5.3	5.5	5.9	6.3	6.7	7.1	7.5	7.9	8.3	8.7	9.1	9.5	9.9	10.3	10.7	11.1	11.5	11.9	12.3	12.7	13.1	13.5	13.9	14.3	14.7
7	5.7	5.6	5.8	6.2	6.6	7.0	7.4	7.8	8.2	8.6	9.0	9.4	9.8	10.2	10.6	11.0	11.4	11.8	12.2	12.6	13.0	13.4	13.8	14.2	14.6	15.0
8	6.0	5.9	6.1	6.5	6.9	7.3	7.7	8.1	8.5	8.9	9.3	9.7	10.1	10.5	10.9	11.3	11.7	12.1	12.5	12.9	13.3	13.7	14.1	14.5	14.9	15.3
9	6.3	6.2	6.4	6.8	7.2	7.6	8.0	8.4	8.8	9.2	9.6	10.0	10.4	10.8	11.2	11.6	12.0	12.4	12.8	13.2	13.6	14.0	14.4	14.8	15.2	15.6
10	6.6	6.5	6.7	7.1	7.5	7.9	8.3	8.7	9.1	9.5	9.9	10.3	10.7	11.1	11.5	11.9	12.3	12.7	13.1	13.5	13.9	14.3	14.7	15.1	15.5	15.9
11	6.9	6.8	7.0	7.4	7.8	8.2	8.6	9.0	9.4	9.8	10.2	10.6	11.0	11.4	11.8	12.2	12.6	13.0	13.4	13.8	14.2	14.6	15.0	15.4	15.8	16.2
12	7.2	7.1	7.3	7.7	8.1	8.5	8.9	9.3	9.7	10.1	10.5	10.9	11.3	11.7	12.1	12.5	12.9	13.3	13.7	14.1	14.5	14.9	15.3	15.7	16.1	16.5
13	7.5	7.4	7.6	8.0	8.4	8.8	9.2	9.6	10.0	10.4	10.8	11.2	11.6	12.0	12.4	12.8	13.2	13.6	14.0	14.4	14.8	15.2	15.6	16.0	16.4	16.8
14	7.8	7.7	7.9	8.3	8.7	9.1	9.5	9.9	10.3	10.7	11.1	11.5	11.9	12.3	12.7	13.1	13.5	13.9	14.3	14.7	15.1	15.5	15.9	16.3	16.7	17.1
15	8.1	8.0	8.2	8.6	9.0	9.4	9.8	10.2	10.6	11.0	11.4	11.8	12.2	12.6	13.0	13.4	13.8	14.2	14.6	15.0	15.4	15.8	16.2	16.6	17.0	17.4
16	8.4	8.3	8.5	8.9	9.3	9.7	10.1	10.5	10.9	11.3	11.7	12.1	12.5	12.9	13.3	13.7	14.1	14.5	14.9	15.3	15.7	16.1	16.5	16.9	17.3	17.7
17	8.7	8.6	8.8	9.2	9.6	10.0	10.4	10.8	11.2	11.6	12.0	12.4	12.8	13.2	13.6	14.0	14.4	14.8	15.2	15.6	16.0	16.4	16.8	17.2	17.6	18.0
18	9.0	8.9	9.1	9.5	9.9	10.3	10.7	11.1	11.5	11.9	12.3	12.7	13.1	13.5	13.9	14.3	14.7	15.1	15.5	15.9	16.3	16.7	17.1	17.5	17.9	18.3
19	9.3	9.2	9.4	9.8	10.2	10.6	11.0	11.4	11.8	12.2	12.6	13.0	13.4	13.8	14.2	14.6	15.0	15.4	15.8	16.2	16.6	17.0	17.4	17.8	18.2	18.6
20	9.6	9.5	9.7	10.1	10.5	10.9	11.3	11.7	12.1	12.5	12.9	13.3	13.7	14.1	14.5	14.9	15.3	15.7	16.1	16.5	16.9	17.3	17.7	18.1	18.5	18.9
21	9.9	9.8	10.0	10.4	10.8	11.2	11.6	12.0	12.4	12.8	13.2	13.6	14.0	14.4	14.8	15.2	15.6	16.0	16.4	16.8	17.2	17.6	18.0	18.4	18.8	19.2
22	10.2	10.1	10.3	10.7	11.1	11.5	11.9	12.3	12.7	13.1	13.5	13.9	14.3	14.7	15.1	15.5	15.9	16.3	16.7	17.1	17.5	17.9	18.3	18.7	19.1	19.5
23	10.5	10.4	10.6	11.0	11.4	11.8	12.2	12.6	13.0	13.4	13.8	14.2	14.6	15.0	15.4	15.8	16.2	16.6	17.0	17.4	17.8	18.2	18.6	19.0	19.4	19.8
24	10.8	10.7	10.9	11.3	11.7	12.1	12.5	12.9	13.3	13.7	14.1	14.5	14.9	15.3	15.7	16.1	16.5	16.9	17.3	17.7	18.1	18.5	18.9	19.3	19.7	20.1
25	11.1	11.0	11.2	11.6	12.0	12.4	12.8	13.2	13.6	14.0	14.4	14.8	15.2	15.6	16.0	16.4	16.8	17.2	17.6	18.0	18.4	18.8	19.2	19.6	20.0	20.4
26	11.4	11.3	11.5	11.9	12.3	12.7	13.1	13.5	13.9	14.3	14.7	15.1	15.5	15.9	16.3	16.7	17.1	17.5	17.9	18.3	18.7	19.1	19.5	19.9	20.3	20.7
27	11.7	11.6	11.8	12.2	12.6	13.0	13.4	13.8	14.2	14.6	15.0	15.4	15.8	16.2	16.6	17.0	17.4	17.8	18.2	18.6	19.0	19.4	19.8	20.2	20.6	21.0
28	12.0	11.9	12.1	12.5	12.9	13.3	13.7	14.1	14.5	14.9	15.3	15.7	16.1	16.5	16.9	17.3	17.7	18.1	18.5	18.9	19.3	19.7	20.1	20.5	20.9	21.3
29	12.3	12.2	12.4	12.8	13.2	13.6	14.0	14.4	14.8	15.2	15.6	16.0	16.4	16.8	17.2	17.6	18.0	18.4	18.8	19.2	19.6	20.0	20.4	20.8	21.2	21.6
30	12.6	12.5	12.7	13.1	13.5	13.9	14.3	14.7	15.1	15.5	15.9	16.3	16.7	17.1	17.5	17.9	18.3	18.7	19.1	19.5	19.9	20.3	20.7	21.1	21.5	21.9
31	12.9	12.8	13.0	13.4	13.8	14.2	14.6	15.0	15.4	15.8	16.2	16.6	17.0	17.4	17.8	18.2	18.6	19.0	19.4	19.8	20.2	20.6	21.0	21.4	21.8	22.2
32	13.2	13.1	13.3	13.7	14.1	14.5	14.9	15.3	15.7	16.1	16.5	16.9	17.3	17.7	18.1	18.5	18.9	19.3	19.7	20.1	20.5	20.9	21.3	21.7	22.1	22.5
33	13.5	13.4	13.6	14.0	14.4	14.8	15.2	15.6	16.0	16.4	16.8	17.2	17.6	18.0	18.4	18.8	19.2	19.6	20.0	20.4	20.8	21.2	21.6	22.0	22.4	22.8
34	13.8	13.7	13.9	14.3	14.7	15.1	15.5	15.9	16.3	16.7	17.1	17.5	17.9	18.3	18.7	19.1	19.5	19.9	20.3	20.7	21.1	21.5	21.9	22.3	22.7	23.1
35	14.1	14.0	14.2	14.6	15.0	15.4	15.8	16.2	16.6	17.0	17.4	17.8	18.2	18.6	19.0	19.4	19.8	20.2	20.6	21.0	21.4	21.8	22.2	22.6	23.0	23.4
36	14.4	14.3	14.5	14.9	15.3	15.7	16.1	16.5	16.9	17.3	17.7	18.1	18.5	18.9	19.3	19.7	20.1	20.5	20.9	21.3	21.7	22.1	22.5	22.9	23.3	23.7
37	14.7	14.6	14.8	15.2	15.6	16.0	16.4	16.8	17.2	17.6	18.0	18.4	18.8	19.2	19.6	20.0	20.4	20.8	21.2	21.6	22.0	22.4	22.8	23.2	23.6	24.0
38	15.0	14.9	15.1	15.5	15.9	16.3	16.7	17.1	17.5	17.9	18.3	18.7	19.1	19.5	19.9	20.3	20.7	21.1	21.5	21.9	22.3	22.7	23.1	23.5	23.9	24.3
39	15.3	15.2	15.4	15.8	16.2	16.6	17.0	17.4	17.8	18.2	18.6	19.0	19.4	19.8	20.2	20.6	21.0	21.4	21.8	22.2	22.6	23.0	23.4	23.8	24.2	24.6
40	15.6	15.5	15.7	16.1	16.5	16.9	17.3	17.7	18.1	18.5	18.9	19.3	19.7	20.1	20.5	20.9	21.3	21.7	22.1	22.5	22.9	23.3	23.7	24.1	24.5	24.9
41	15.9	15.8	16.0	16.4	16.8	17.2	17.6	18.0	18.4	18.8	19.2	19.6	20.0	20.4	20.8	21.2	21.6	22.0	22.4	22.8	23.2	23.6	24.0	24.4	24.8	25.2
42	16.2	16.1	16.3	16.7	17.1	17.5	17.9	18.3	18.7	19.1	19.5	19.9	20.3	20.7	21.1	21.5	21.9	22.3	22.7	23.1	23.5	23.9	24.3	24.7	25.1	25.5
43	16.5	16.4	16.6	17.0	17.4	17.8	18.2	18.6	19.0	19.4	19.8	20.2	20.6	21.0	21.4	21.8	22.2	22.6	23.0	23.4	23.8	24.2	24.6	25.0	25.4	25.8
44	16.8	16.7	16.9	17.3	17.7	18.1	18.5	18.9	19.3	19.7	20.1	20.5	20.9	21.3	21.7	22.1	22.5	22.9	23.3	23.7	24.1	24.5	24.9	25.3	25.7	26.1
45	17.1	17.0	17.2	17.6	18.0	18.4	18.8	19.2	19.6	20.0	20.4	20.8	21.2	21.6	22.0	22.4	22.8	23.2	23.6	24.0	24.4	24.8	25.2	25.6	26.0	26.4
46	17.4	17.3	17.5	17.9	18.3																					

Tabla A.2 Pérdida de presión en un codo rectangular.

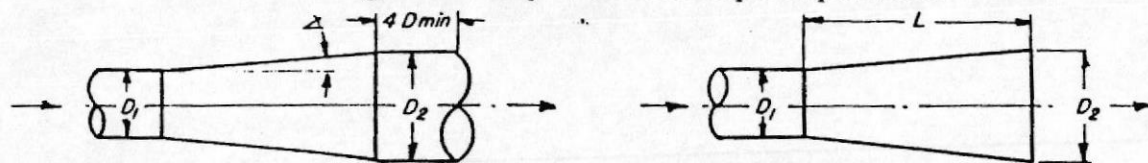


Pérdida, fracción de VP

$\frac{R}{D}$	Relación, $W/D$					
	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
0.0 Escuadra	1.50	1.32	1.15	1.04	0.92	0.86
0.5	1.36	1.21	1.05	0.95	0.84	0.79
1.0	0.45	0.28	0.21	0.21	0.20	0.19
1.5	0.28	0.18	0.13	0.13	0.12	0.12
2.0	0.24	0.15	0.11	0.11	0.10	0.10
3.0	0.24	0.15	0.11	0.11	0.10	0.10

Tabla A.3 Reganancia de presión estática por expansión.

Reganancia de presión estática por expansiones



Dentro del ducto

Reganancia (R), fracción de diferencia de VP					
Angulo	$D_2/D_1$				
	1.25:1	1.5:1	1.75:1	2:1	2.5:1
3 1/2	0.92	0.88	0.84	0.81	0.75
5	0.88	0.84	0.80	0.76	0.68
10	0.85	0.76	0.70	0.63	0.53
15	0.83	0.70	0.62	0.55	0.43
20	0.81	0.67	0.57	0.48	0.43
25	0.80	0.65	0.53	0.44	0.28
30	0.79	0.63	0.51	0.41	0.25
abrupto 90	0.77	0.62	0.50	0.40	0.25
$SP_2 = SP_1 + R(VP_1 - VP_2)$					

Al final del ducto

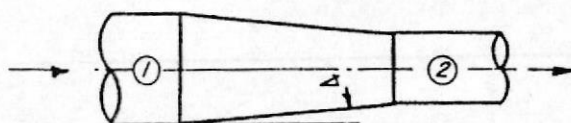
Reganancia (R), fracción de entrada de VP						
Longitud de entrada L/D	Relación de diámetros $D_2/D_1$					
	1.2:1	1.3:1	1.4:1	1.5:1	1.6:1	1.7:1
10:1	0.37	0.39	0.38	0.35	0.31	0.27
1.5:1	0.39	0.46	0.47	0.46	0.44	0.41
2.0:1	0.42	0.49	0.52	0.52	0.51	0.49
3.0:1	0.44	0.52	0.57	0.59	0.60	0.59
4.0:1	0.45	0.55	0.60	0.63	0.63	0.64
5.0:1	0.47	0.56	0.62	0.65	0.66	0.68
7.5:1	0.48	0.58	0.64	0.68	0.70	0.72
$SP_1 = SP_2 - R(VP_1)$						

Donde  $SP_2 = 0$  (atmosfera)  $SP_1$  será (-)

Referencia 8

Tabla A.4 Pérdidas de presión por contracciones.

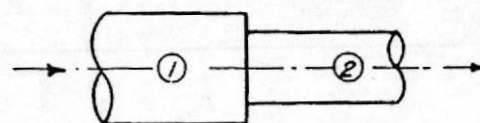
Perdidas de presión estática por contracciones



Contracción gradual  $\Delta$

$$SP_2 = SP_1 - (VP_2 - VP_1) - L(VP_2 - VP_1)$$

Angulo	L(perdida)
5	0.05
10	0.06
15	0.08
20	0.10
25	0.11
30	0.13
45	0.20
60	0.30
over 60	Contracción abrupta



Contracción abrupta

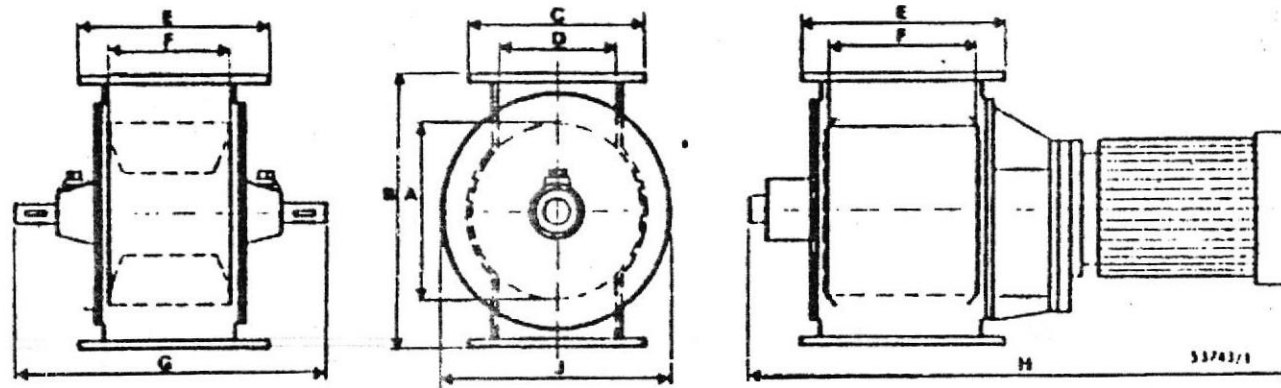
$$SP_2 = SP_1 - (VP_2 - VP_1) - K(VP_2)$$

Relación ( $A_2/A_1$ )	K
0.1	0.48
0.2	0.46
0.3	0.42
0.4	0.37
0.5	0.32
0.6	0.26
0.7	0.20

A = area del ducto, pie<sup>2</sup>

Referencia 8

Tabla A.5 Tipos de esclusas para sistemas de transporte neumático.



Modelo	Dimensiones en mm.									Volumen de rueda celular dm <sup>3</sup>	Motores de mando Kw con	Pesos aproximados en Kg			Volumen con embalaje marino m <sup>3</sup>
	A*	B	C	D	E		G	H	J			neto	bruto	embalaje marino	
MPSA-22/13	220	320	185	110	205	100	400	560	280	2,75	1, 2 esclusas = 0,55 kw	37	52	60	0,11 0,18*
														73*	
MPSA-22/19	220	320	235	150	265	190	460	620	280	4,10	3, 5 esclusas = 1,1 kw	45	63	70	0,13 0,2*
													80*	105*	
MPSA-28/22	280	450	240	158	300	220	510	685	350	8,50		70	90	110	0,16 0,25*
												102*	131*	145*	
												* Pesos de las esclusas con motor reductor 0,55 kw			

Referencia 1

Tabla A.6 Ajustes para desplazamiento y rotación.

		Intervalos de tamaños															
Clase		0-0.12		0.12-0.24		0.24-0.40		0.40-0.71		0.71-1.19		1.19-1.97		1.97-3.15		3.15-4.73	
RC1	Aguj	+0.20	-0.00	+0.20	-0.00	+0.25	-0.00	+0.30	-0.00	+0.40	-0.00	+0.40	-0.00	+0.50	-0.00	+0.60	-0.00
	Eje	+0.10	-0.25	-0.15	-0.30	-0.20	-0.35	-0.25	-0.45	-0.30	-0.55	-0.40	-0.70	-0.40	-0.70	-0.50	-0.90
RC2	Aguj	+0.25	-0.00	+0.50	-0.00	+0.40	-0.00	+0.40	-0.00	+0.50	-0.00	+0.60	-0.00	+0.70	-0.00	+0.90	-0.00
	Eje	-0.10	-0.10	-0.15	-0.35	-0.20	-0.45	-0.25	-0.35	-0.30	-0.70	-0.40	-0.80	-0.40	-0.90	-0.50	-1.10
RC3	Aguj	+0.40	-0.00	+0.50	-0.00	+0.60	-0.00	+0.70	-0.00	+0.80	-0.00	+1.00	-0.00	+1.20	-0.00	+1.40	-0.00
	Eje	-0.30	-0.55	-0.40	-0.70	-0.50	-0.90	-0.60	-1.00	-0.80	-1.30	-1.00	-1.60	-1.20	-1.90	-1.40	-2.30
RC4	Aguj	+0.60	-0.00	+0.70	-0.00	+0.90	-0.00	+1.00	-0.00	+1.20	-0.00	+1.60	-0.00	+1.80	-0.00	+2.20	-0.00
	Eje	-0.10	-0.70	-0.40	-0.90	-0.50	-1.10	-0.60	-1.30	-0.80	-1.60	-1.00	-2.00	-1.20	-2.40	-1.40	-2.80
RC5	Aguj	+0.60	-0.00	+0.70	-0.00	+0.90	-0.00	+1.00	-0.00	+1.20	-0.00	+1.60	-0.00	+1.80	-0.00	+2.20	-0.00
	Eje	-0.60	-1.00	-0.80	-1.30	-1.00	-1.60	-1.20	-1.90	-1.60	-2.40	-2.00	-3.00	-2.50	-3.70	-3.00	-4.40
RC6	Aguj	+1.00	-0.00	+1.20	-0.00	+1.40	-0.00	+1.60	-0.00	+2.00	-0.00	+2.50	-0.00	+3.00	-0.00	+3.50	-0.00
	Eje	-0.60	-1.20	-0.80	-1.50	-1.00	-1.90	-1.20	-2.20	-1.60	-2.80	-2.00	-3.60	-2.50	-4.30	-3.00	-5.20
RC7	Aguj	+1.00	-0.00	+1.20	-0.00	+1.40	-0.00	+1.60	-0.00	+2.00	-0.00	+2.50	-0.00	+3.00	-0.00	+3.50	-0.00
	Eje	-1.00	-1.60	-1.20	-1.90	-1.60	-2.50	-0.20	-0.30	-0.25	-0.37	-0.30	-0.46	-0.40	-0.58	-0.50	-0.72
RC8	Aguj	+1.60	-0.00	+1.80	-0.00	+2.20	-0.00	+2.80	-0.00	+3.50	-0.00	+4.00	-0.00	+4.50	-0.00	+0.50	-0.00
	Eje	-2.50	-3.50	-2.80	-4.00	-3.00	-4.40	-3.50	-5.10	-4.50	-6.50	-3.00	-7.50	-6.00	-9.00	-7.00	-10.50
RC9	Aguj	+2.50	-0.00	+3.00	-0.00	+3.50	-0.00	+4.00	-0.00	+5.00	-0.00	+6.00	-0.00	+7.00	-0.00	+9.00	-0.00
	Eje	-4.00	-5.60	-4.50	-6.00	-5.00	-7.20	-6.00	-8.60	-7.00	-10.5	-8.00	-12.0	-9.00	-13.5	-10.0	-15.0

		AFUSTES FORZADOS Y POR CONTRACCION															
		Intervalos de tamaños															
Clase		0-0.12		0.12-0.24		0.24-0.40		0.40-0.56		0.56-0.71		0.71-0.95		0.95-1.19		1.19-1.58	
FN1	Aguj	+0.25	-0.00	+0.40	-0.00	+0.40	-0.00	+0.40	-0.00	+0.40	-0.00	+0.50	-0.00	+0.50	-0.00	+0.40	-0.00
	Eje	-0.50	-0.30	-0.40	+0.40	+0.75	+0.50	+0.80	+0.50	+0.90	+0.40	+1.10	+0.70	+1.20	+0.40	+1.40	-0.40
FN2	Aguj	+0.40	-0.00	+0.50	-0.00	+0.60	-0.00	+0.70	-0.00	+0.70	-0.00	+0.80	-0.00	+0.80	-0.00	+1.60	-0.00
	Eje	-0.81	+0.60	+1.00	+0.70	+1.40	+1.00	-1.60	+1.20	+1.60	+1.20	+1.90	+1.40	+1.90	+1.40	+2.40	+0.80
FN3	Aguj													+0.80	-0.00	+1.80	-0.00
	Eje													+2.10	+1.60	+2.90	+2.0
FN4	Aguj	+0.40	-0.00	+0.30	-0.00	+0.60	-0.00	+0.30	-0.00	+0.70	-0.00	+0.80	-0.00	+0.80	-0.00	+1.90	-0.00
	Eje	-0.43	+0.30	+1.20	+0.90	+1.60	+1.20	-1.80	+1.40	+1.80	+1.40	+2.10	+1.60	+2.30	+1.80	+1.10	+2.50
FN1	Aguj	-0.40	-0.00	+0.20	-0.00	+0.90	-0.00	+1.00	-0.00	+1.00	-0.00	+1.20	-0.00	+1.20	-0.00	+1.60	-0.00
	Eje	-1.30	-0.00	+0.70	+1.20	+2.00	+1.40	+2.30	+1.40	+2.50	+1.80	+3.00	+2.20	+3.30	+2.50	+4.00	+3.00

		Intervalos de tamaños															
Clase		1.38-1.97		1.97-2.56		2.56-3.15		3.15-3.94		3.94-4.73		4.73-5.52		5.52-6.30		6.30-7.89	
FN1	Aguj	+0.60	-0.00	+0.70	-0.00	+0.70	-0.00	+0.80	-0.00	+0.90	-0.00	+1.00	-0.00	+1.00	-0.00	+1.00	-0.00
	Eje	+1.40	+1.00	+1.80	+1.30	+1.40	+1.40	+2.40	+1.80	+2.60	+2.00	+2.90	+2.20	+3.20	+2.30	+1.50	-2.80
FN2	Aguj	+1.00	-0.00	+1.20	-0.00	+1.20	-0.00	+1.40	-0.00	+1.40	-0.00	+1.60	-0.00	+1.60	-0.00	+1.60	-0.00
	Eje	+2.40	+1.80	+2.70	+2.00	+2.90	+2.20	+3.70	+2.80	+3.40	+1.00	+4.30	+3.50	+3.00	+4.00	+4.50	+4.50
FN3	Aguj	+1.00	-0.00	+1.20	-0.00	+1.20	-0.00	+1.40	-0.00	+1.40	-0.00	+1.60	-0.00	+1.60	-0.00	+1.60	-0.00
	Eje	+2.80	+2.70	+3.20	+2.50	+3.70	+3.00	+4.40	+3.50	+4.90	+4.00	+6.00	+5.00	+6.00	+5.00	+7.00	+4.00
FN4	Aguj	+1.00	-0.00	+1.20	-0.00	+1.20	-0.00	+1.40	-0.00	+1.40	-0.00	+1.60	-0.00	+1.60	-0.00	+1.60	-0.00
	Eje	+1.40	+2.80	+1.20	+3.50	+1.70	+4.00	+5.90	+5.00	+6.90	+6.00	+8.00	+7.00	+8.00	+8.00	+8.00	+8.00
FN5	Aguj	+1.60	-0.00	+1.80	-0.00	+1.80	-0.00	+2.20	-0.00	+2.20	-0.00	+2.50	-0.00	+2.50	-0.00	+2.50	-0.00
	Eje	+5.00	+4.00	+6.20	+5.00	+7.20	+6.00	+8.40	+7.00	+9.40	+8.00	+11.6	+10.0	+13.6	+12.0	+14.6	+12.0

Referencia 1

Tabla A.7 Fuerza de sujeción típica para tornillos prisioneros.

---

TAMAÑO	MOMENTO DE ASENTAMIENTO
pulg	lb - plg
1/4	87
5/16	165
3/8	290
7/16	430
1/2	620
9/16	620
5/8	1325
3/4	2400
7/8	5200
1	7200

---

Tabla A.8 Dimensiones del chavetero en el eje.

DIÁMETRO DEL EJE pulg	ANCHO x ALTO DEL CANAL plg x plg
0.500 - 0.562	1/8 x 1/16
0.625	5/32 x 5/64
0.688 - 0.812	3/16 x 3/32
0.875	7/32 x 7/64
0.938 - 1.000	1/4 x 1/8
1.125 - 1.250	5/16 x 5/32
1.375 - 1.625	3/8 x 3/16
1.750	7/16 x 7/32
1.875 - 2.000	1/2 x 1/4
2.250 - 2.500	5/8 x 5/16
2.750 - 3.250	3/4 x 3/8
3.500	7/8 x 7/16
4.000	1 x 1/2

Referencia 2

Tabla A.9 Dimensiones recomendadas para la cámara de combustión

---

Capacidad del quemador	Diámetro de la cámara
GPH	plg
0.50	8
0.75	9
0.85	9
1.00	10 1/8
1.25	11 1/4
1.35	11 3/4
1.50	12 3/8
1.65	13
2.00	14 1/4
2.50	16
3.00	17 1/2

---

**APENDICE B**

**CALCULO DEL PERFIL Y PERNOS QUE SOPORTAN LA ESTRUCTURA**

## CALCULO DEL PERFIL Y PERNOS QUE SOPORTAN LA ESTRUCTURA

Para la estructura que soporta la columna se ha considerado utilizar un perfil que exista en el mercado como es el caso del C 100 x 50 x 3 el mismo que será soldado para cerrarlo o darle la forma de tubo.

A continuación determinaremos cuanto vale el factor de seguridad para la carga que tendrá que soportar.

Se utiliza la máxima densidad del grano (al 13% de humedad).

$$\text{Masa de arroz} = 37.39 \text{ lb/pie}^3 * (588.91 + 5.22 * 7.41^2) \text{ pie}^3 / 2000 \text{ ton/lb} = 16.4 \text{ tons.}$$

$$\text{Masa de la estructura} = 5 \text{ tons}$$

$$\text{Masa total} = 21.4 \text{ tons y con un factor de 1.1 por el ciclón se tiene } 23.54 \text{ tons}$$

Para una viga empernada en su base y soldada en su parte superior, puede considerarse como una viga simplemente apoyada y el efecto de excentricidad de cargas desaparece.

$$\text{Significa que cada columna soportara } 23.54/4 = 5.89 \text{ tons}$$

P : carga en la columna

$$P = \frac{IE\pi^2}{L^2} \quad (\text{para una columna simplemente apoyada en ambos extremos}).$$

$$\text{Para la viga en O, el momento de inercia } I = 1.83 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$E = 200 * 10^9 \text{ N/m}^2$$

$$P = \frac{1.83 * 10^{-6} * 200 * 10^9 * \pi^2}{3.31^2} = 341990.55 \text{ Newtons}$$

$$P = 37 \text{ toneladas}$$

El factor de seguridad será por lo tanto:

$$F.S. = 37/5.89 = 6.30$$

Como el factor de seguridad es aceptable, seleccionamos este perfil de viga.

En cuanto a los pernos, solo hay que considerar como efecto de carga los movimientos sísmicos, con lo que un diámetro de perno de  $\frac{1}{2}$  pulgada será suficiente, y serán distribuidos en grupos de 4 en la base de cada viga respectivamente.

**APENDICE C**

**CALCULO DEL DIAMETRO DEL GRANO**

**Y**

**DIAGRAMAS Y TABLAS DE SUS PROPIEDADES**

## CALCULO DEL DIAMETRO DEL GRANO

Si consideramos que el grano es de forma cilíndrica, podemos hallar el diámetro equivalente con base en el área proyectada que producirá el mismo efecto de arrastre.

Para un cilindro de 0.002 m de diámetro (d) y 0.006 m de longitud (L) se tiene:

$$A_{\min} = \pi * d^2/4 = \pi * 0.002^2/4 = 3.14 * 10^{-6}$$

$$A_{\max} = d * L = 0.002 * 0.006 = 12 * 10^{-6}$$

Se tiene que considerar el área máxima porque es la que ofrece la mayor resistencia al flujo de aire.

En base a lo anteriormente expuesto, determinamos el diámetro de una esfera que tenga el mismo valor de área máxima proyectada.

Para  $12 * 10^{-6}$  el diámetro es 0.00391 m o 0.0128 pies

Entonces el diámetro será 0.0128 pies, que será el diámetro a utilizar en la selección del transporte neumático.

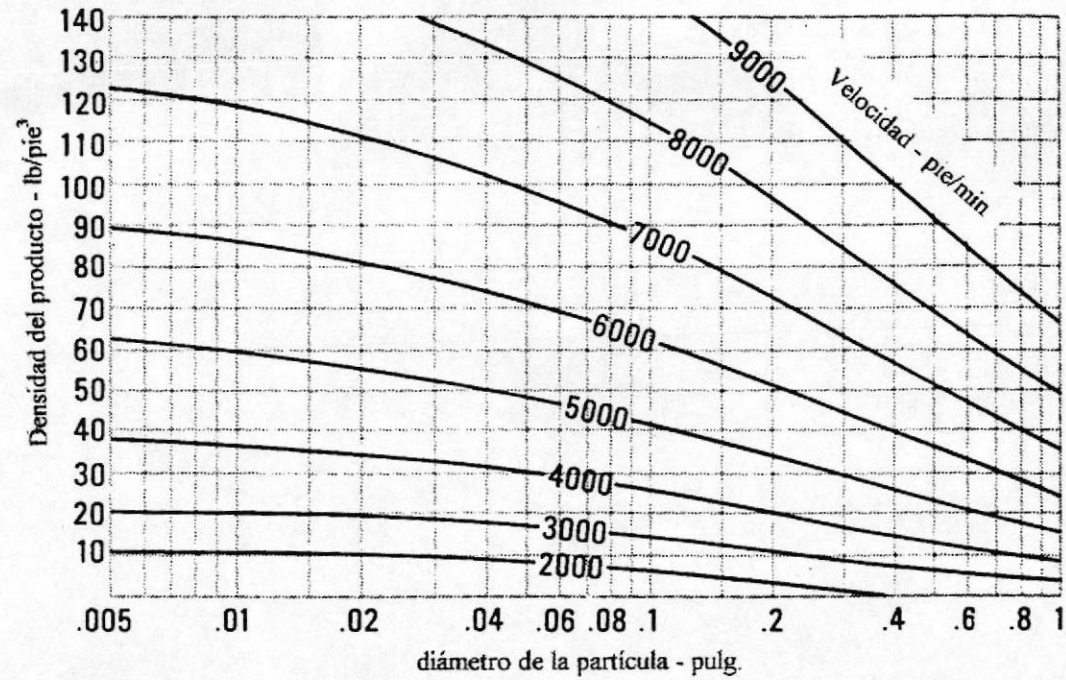


Figura C.1 Velocidades de transporte (ref. 10, pág. 24-8).

Tabla C.1 Densidad del arroz y sus productos.

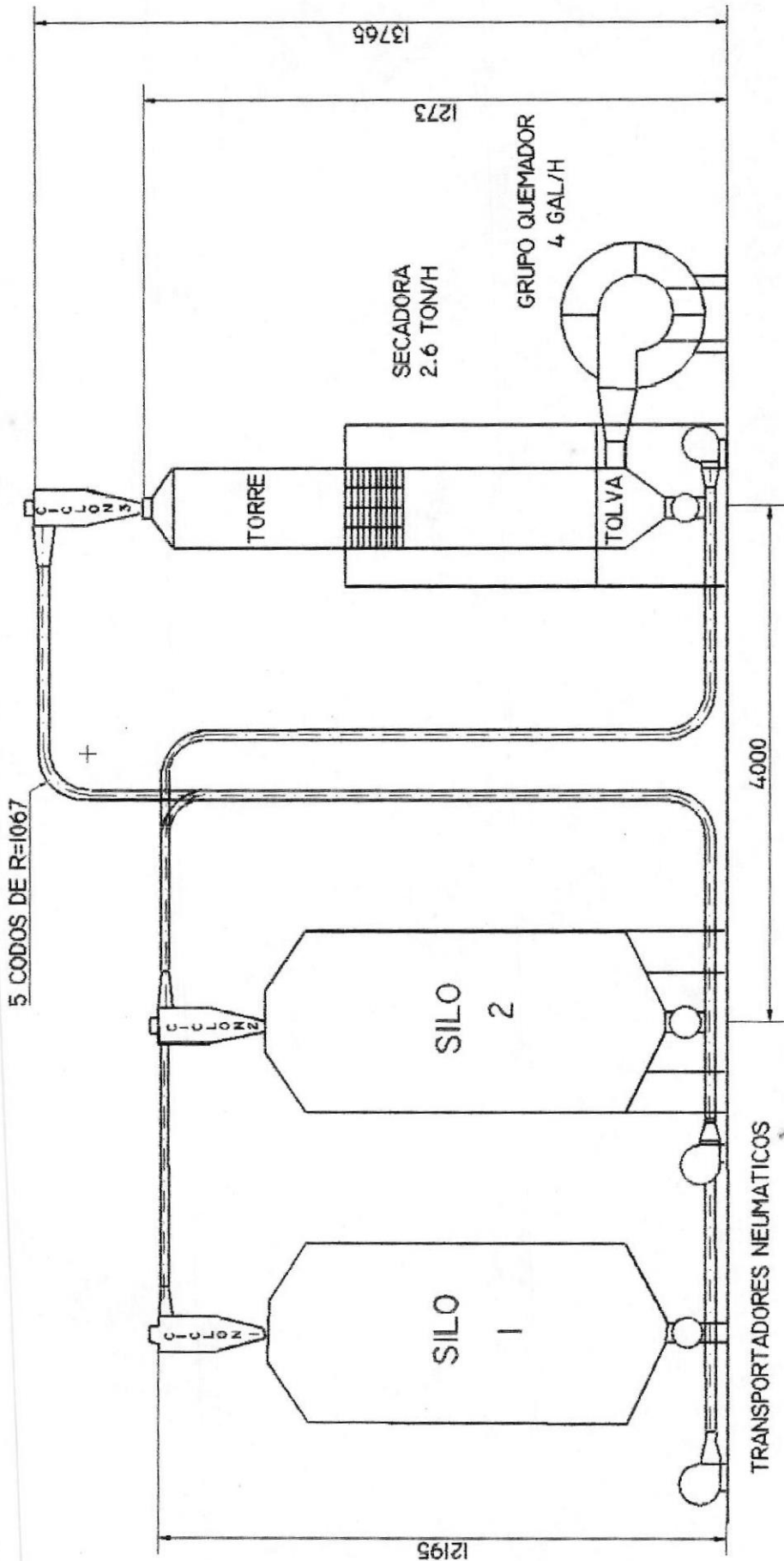
---

	kg/m <sup>3</sup>
arroz crudo	500 - 550
arroz para sembrar	600
arroz carmelita (descascarado)	680 - 760
arroz blanco - entero	700 - 800
arroz partido	740 - 840
polvillo de arroz	350 - 450
harina de descascaradora	300 - 350
cascaras de arroz	100 - 120
arroz bufado (inflado)	50

---

**APENDICE D**

**PLANOS**

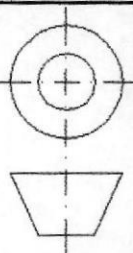


FECHA	NOMBRE
DIBUJO 24/10/95	EDISON CANDELARIO
REVISO 24/10/95	ING. ANDRADE
APROBO	
ESCALA 1:145	
MATERIAL: ACERO	

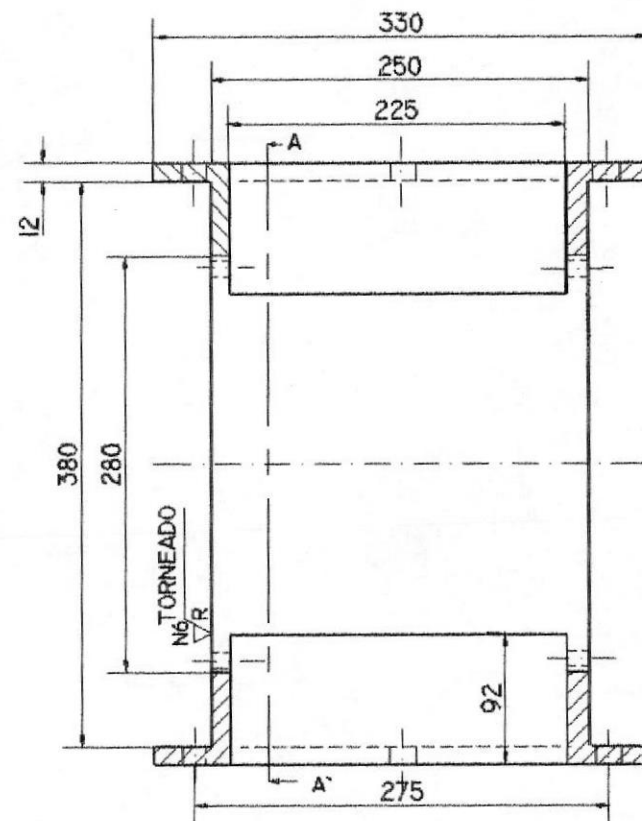
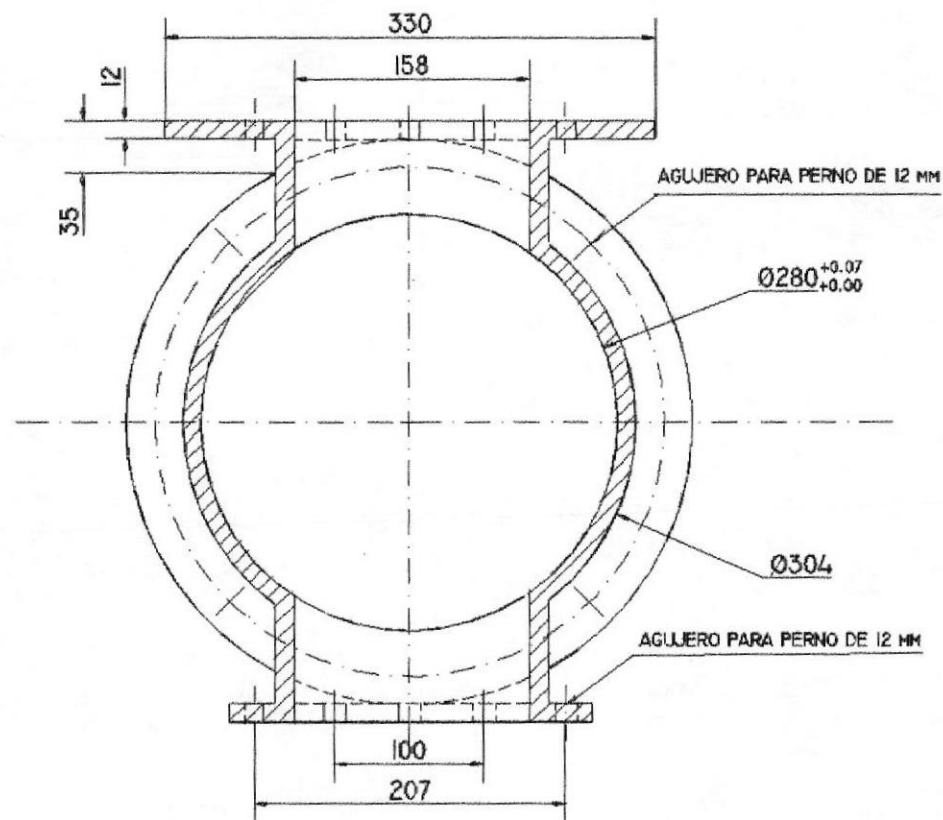
FACULTAD DE INGENIERIA  
EN MECANICA

ESPOL

ESQUEMA GENERAL  
DE LA PLANTA



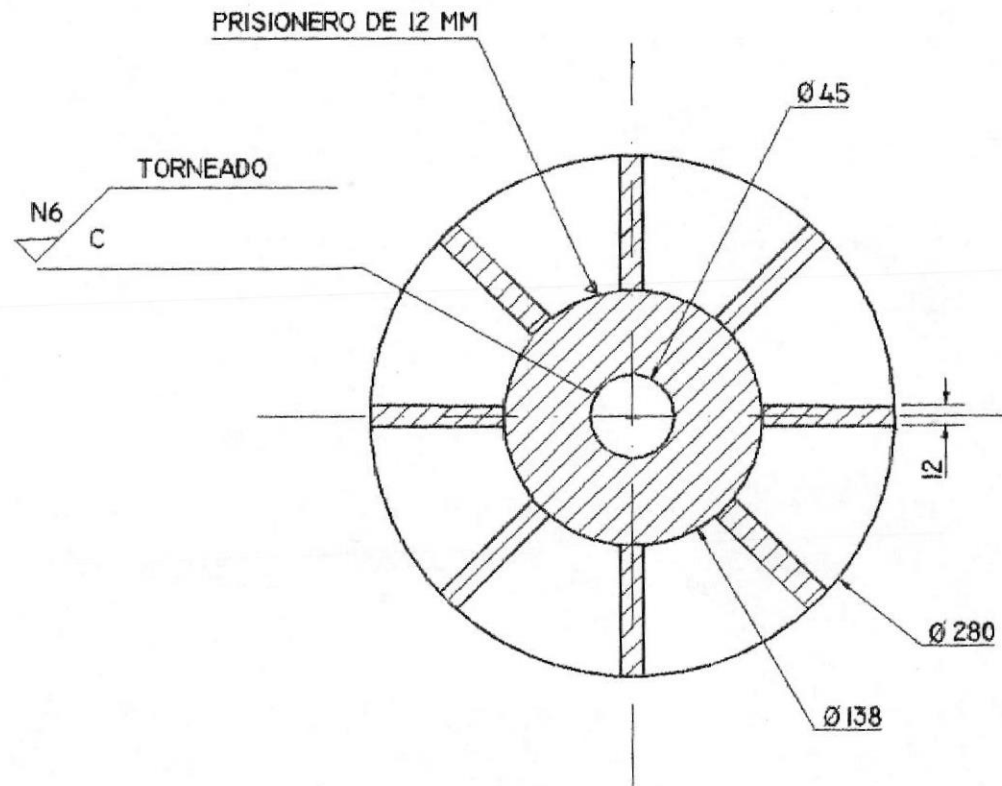
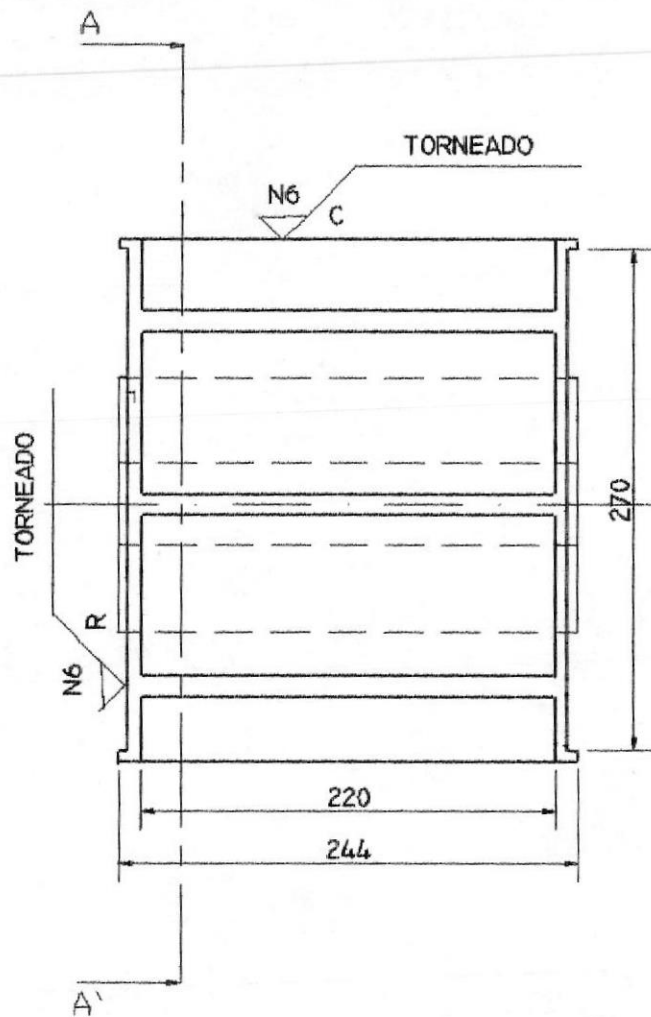
NOTA:  
1. VER LOS DEMAS PLANOS PARA MAYOR INFORMACION  
2. TODAS LAS UNIONES CON SOLDADURA EN ANGULO



NOTA:

1. LA LISTA DE MATERIALES ESTAN EN EL CAPITULO 4
2. TODAS LAS UNIONES CON SOLDADURA EN ANGULO
3. AGUJEROS PARA PERNOS DE 12 X 30 MM

	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA	ESPOL
DIBUJO	24/10/95	EDISON CANDELARIO		
REVISO	24/10/95	ING. ANDRADE		
APROBO				
ESCALA 1:5			CARCAZA	
MATERIAL: ACERO				

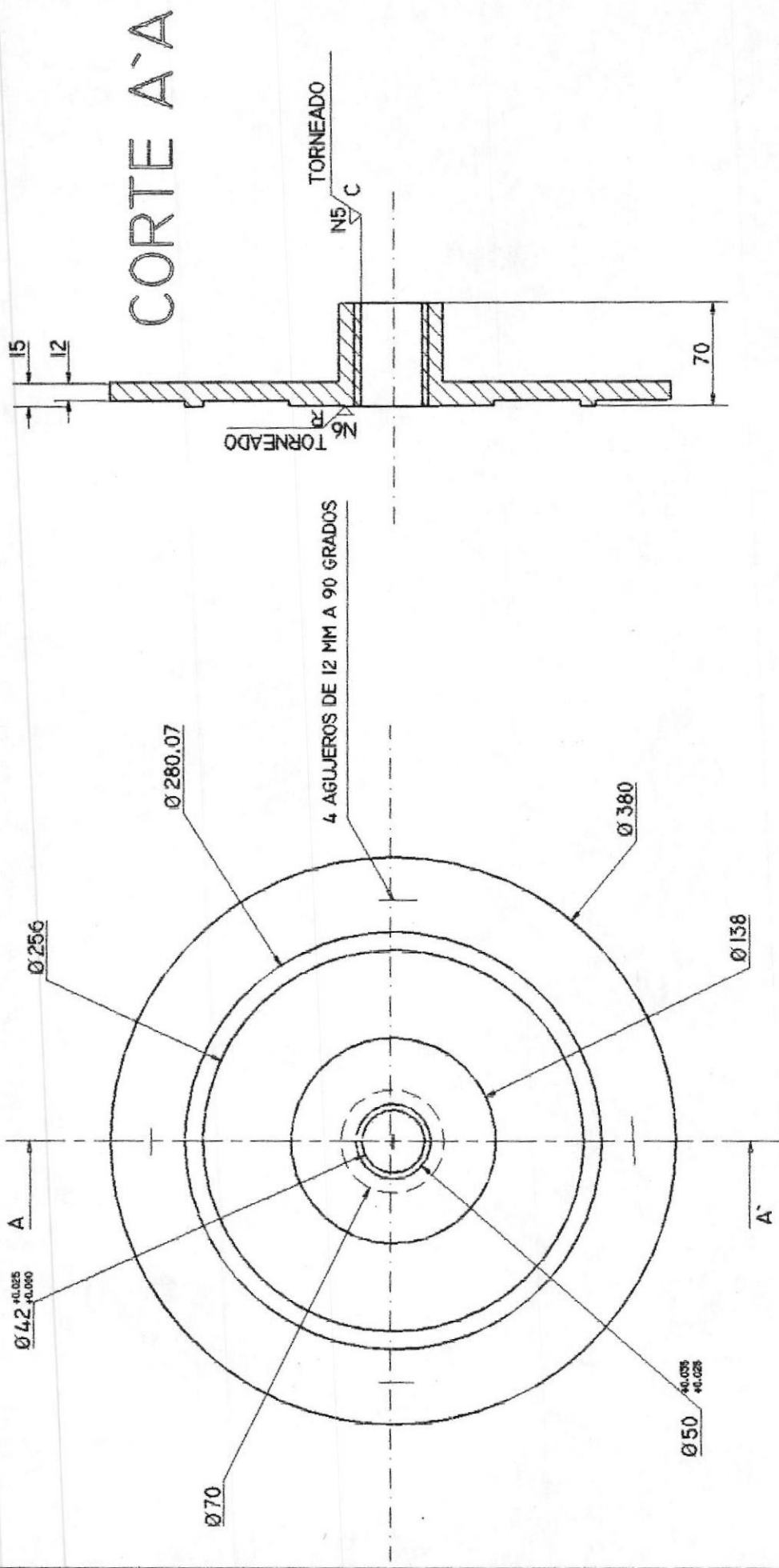


CORTE A-A

NOTA:

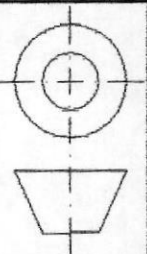
1. LA LISTA DE MATERIALES ESTAN EN EL CAPITULO 4
2. TODAS LAS UNIONES CON SOLDADURA EN ANGULO

	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA	ESPOL
DIBUJO	24/10/95	EDISON CANDELARIO		
REVISO	24/10/95	ING. ANDRADE		
APROBO				
	ESCALA	1:4	ROTOR	
	MATERIAL:	ACERO		



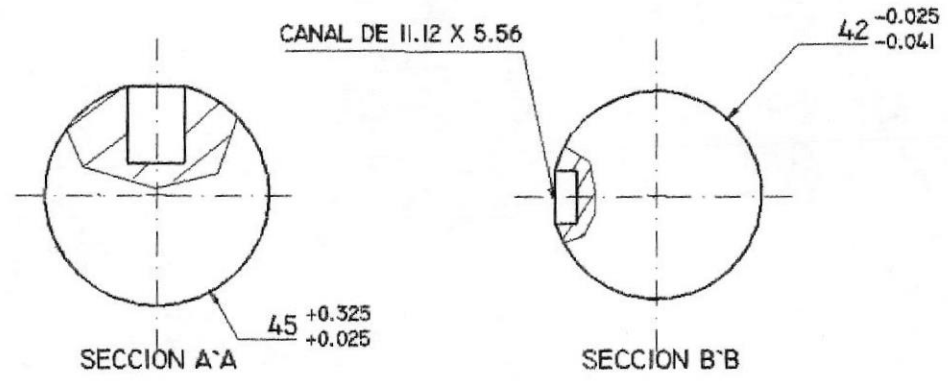
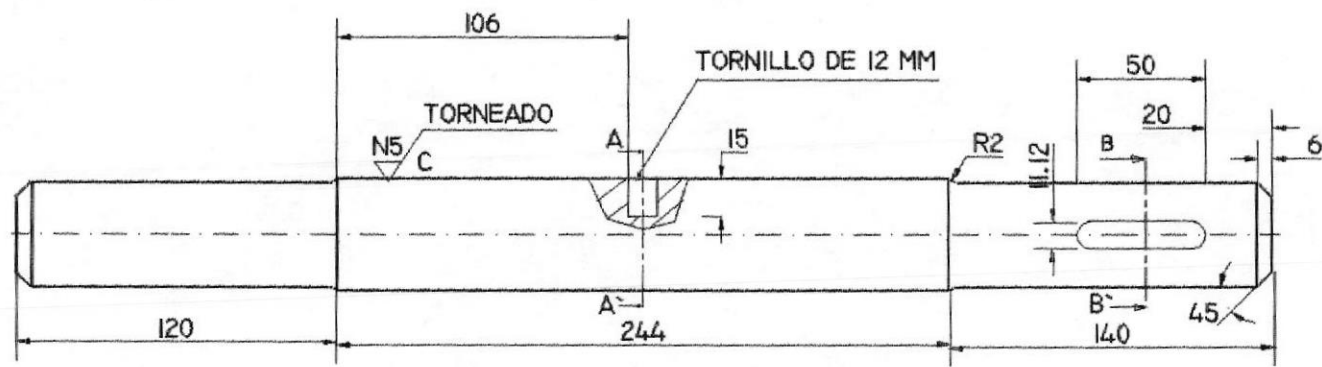
FECHA	NOMBRE
DIBUJO 24/10/95	EDISON CABELARIO
REVISO 24/10/95	ING. ANDRADE
APROBO	
ESCALA 1:4	
MATERIAL: ACERO	

FACULTAD DE INGENIERIA  
EN MECANICA  
ESPOL



TAPA LATERAL

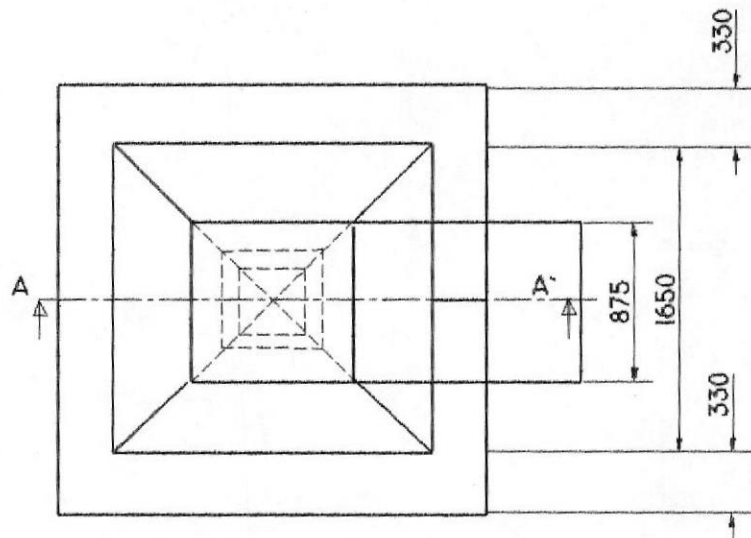
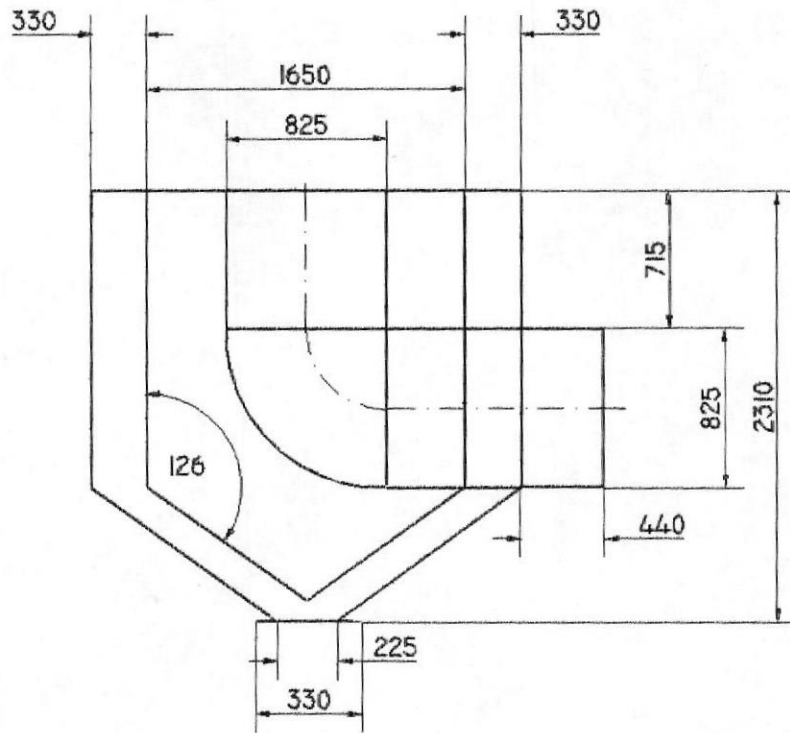
NOTA:  
1. LOS MATERIALES SE DETALLAN EN EL CAPITULO 4  
2. TODAS LAS UNIONES CON SOLDADURA EN ANGULO



	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA	ESPOL
DIBUJO	24/10/95	EDISON CANDELARIO		
REVISO	24/10/95	ING. ANDRADE	EJE	
APROBO				
ESCALA	1:3			
MATERIAL:	ACERO			

# TOLVA

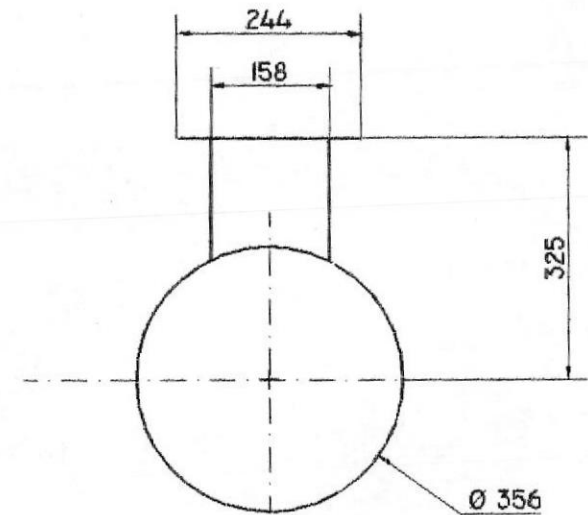
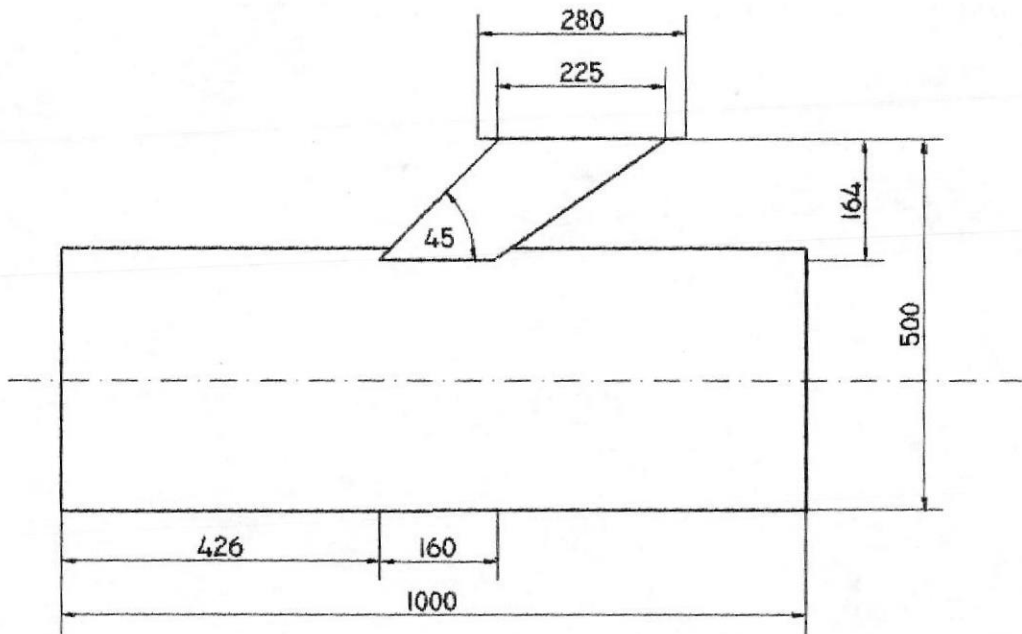
CORTE A-A



NOTA:

1. MATERIAL CORRESPONDE A PLANCHAS NEGRAS DE 2 MM
2. TODAS LAS UNIONES CON SOLDADURA EN ANGULO

	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA	ESPOL
DIBUJO	24/10/95	EDISON CANDELARIO		
REVISO	24/10/95	ING. ANDRADE		
APROBO				
	ESCALA 1:40			
MATERIAL: ACERO			COLUMNA SECADORA	

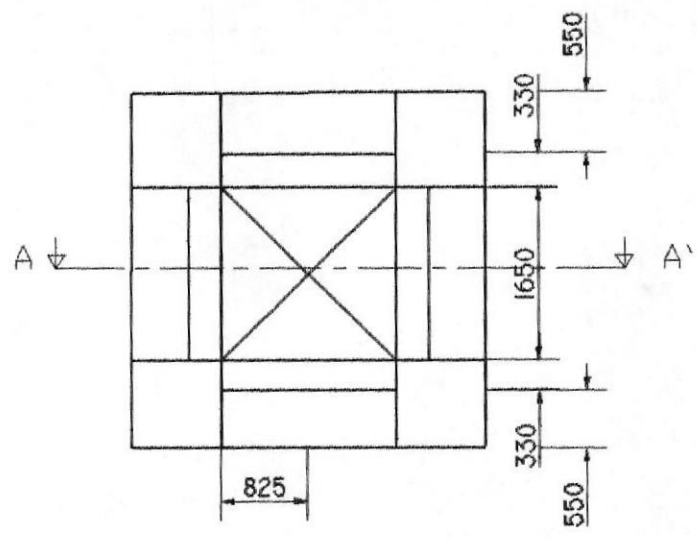


NOTA:

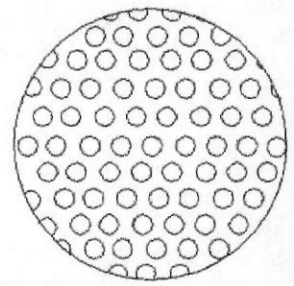
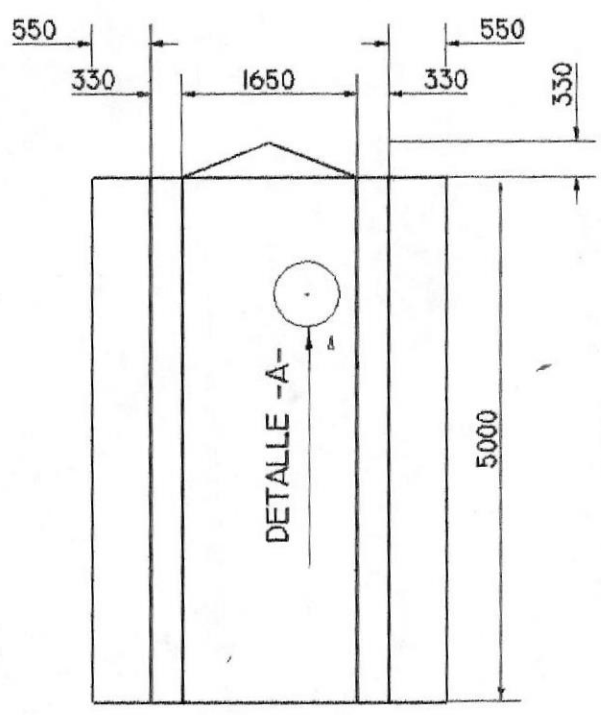
1. MATERIAL CORRESPONDE A PLANCHAS NEGRAS DE 1 Y 2 MM
2. TODAS LAS UNIONES CON SOLDADURA EN ANGULO

	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA	ESPOL
DIBUJO	24/10/95	EDISON CANDELARIO		
REVISO	24/10/95	ING. ANDRADE		
APROBO				
	ESCALA	1:10	INYECTOR	
	MATERIAL:	ACERO		

# SECCION DE SECAMIENTO



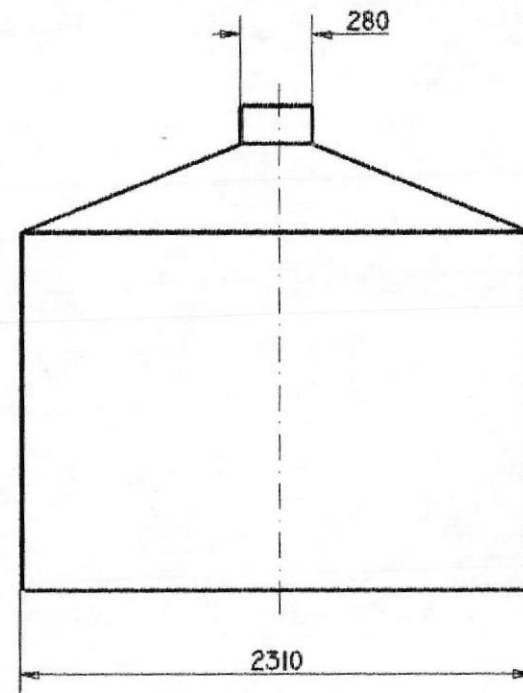
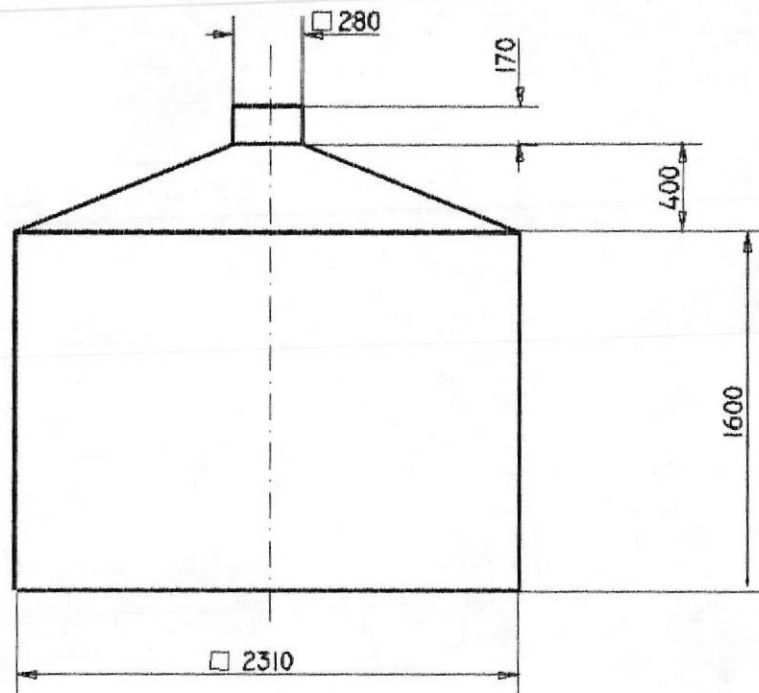
CORTE A-A



DETALLE -A-

- NOTA:
1. MATERIAL CORRESPONDE A PLANCHAS NEGRAS DE 2 MM
  2. TODAS LAS UNIONES CON SOLDADURA EN ANGULO
  3. 8 PLANOS PERFORADOS DE 1650 X 5000
  4. CONO DISTRIBUIDOR DE GRANO

	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA	ESPOL
DIBUJO	24/10/95	EDISON CANDELARIO		
REVISO	24/10/95	ING. ANDRADE		
APROBO				
ESCALA 1:70			COLUMNA SECADORA	
MATERIAL: ACERO				

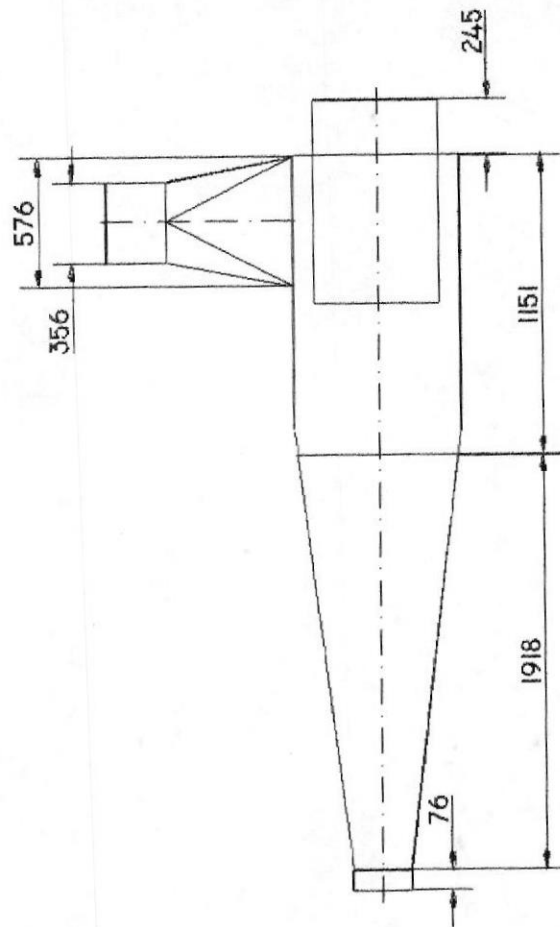


# TORRE DE ALMACENAMIENTO

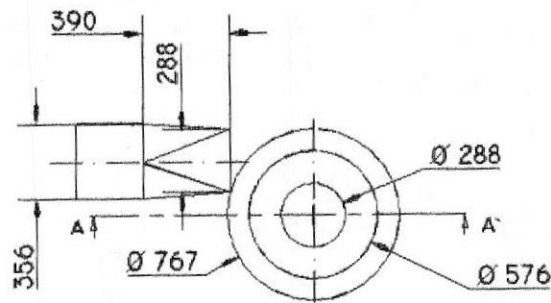
**NOTA:**

1. MATERIAL CORRESPONDE A PLANCHAS NEGRAS DE 2 MM
2. TODAS LAS UNIONES CON SOLDADURA EN ANGULO

	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA	ESPOL
DIBUJO	24/10/95	EDISON CANDELARIO		
REVISO	24/10/95	ING. ANDRADE		
APROBO				
ESCALA 1:33			COLUMNA SECADORA	
MATERIAL: ACERO				



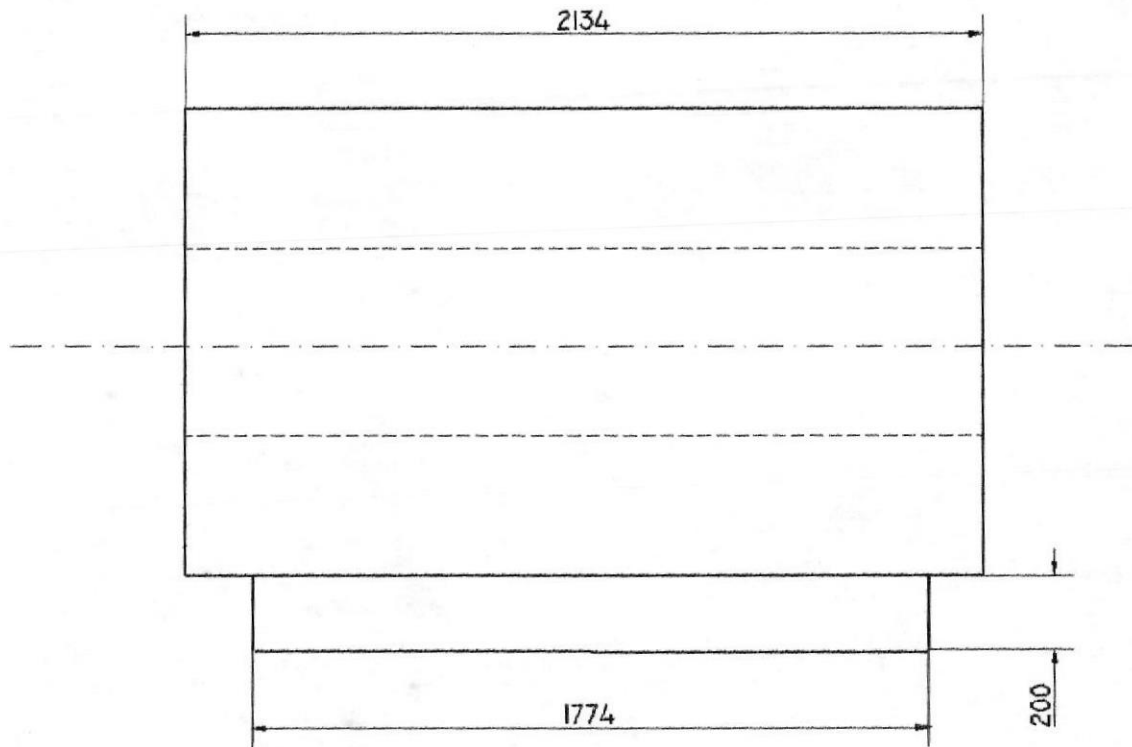
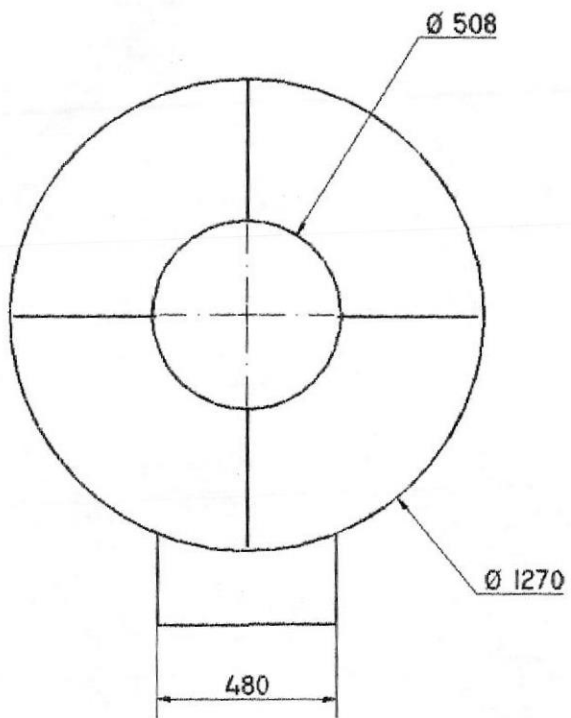
CORTE A-A



NOTA:

1. MATERIAL CORRESPONDE A PLANCHAS NEGRAS DE 1 MM
2. TODAS LAS UNIONES CON SOLDADURA EN ANGULO

	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA	ESPOL
DIBUJO	24/10/95	EDISON CANDELARIO		
REVISO	24/10/95	ING. ANDRADE		
APROBO				
ESCALA	1:30			
MATERIAL: ACERO			CICLON	



NOTA:

1. MATERIAL CONSISTE DE PLANCHAS NEGRAS DE 2 MM
2. TODAS LAS UNIONES CON SOLDADURA EN ANGULO

	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA	ESPOL
DIBUJO	24/10/95	EDISON CANDELARIO		
REVISO	24/10/95	ING. ANDRADE		
APROBO				
	ESCALA 1:20		CAMARA DE COMBUSTION	
	MATERIAL: ACERO			

## BIBLIOGRAFIA

1. Acosta, Miguel R., "Diseño y Construcción de un Sistema de Transporte Neumático a Presión Positiva utilizando una Esclusa Dosificadora", Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, ESPOL, Guayaquil-Ecuador, 1993, pp 101-120.
2. Anderson, J., y Tatro, E., "Shop Theory", 5th ed., McGraw-Hill, pag 507
3. Brooker, D, "Drying Cereal Grain".
4. Cooper, C. y Alley, F., "Air Pollution Control. A Design Approach", Waveland Press Inc., Illinois, 1986, Capitulo 4
5. Fischer, Kurt, "El Molino de Arroz", editorial MF, La Habana, Cuba, 1959, Capítulos 2, 6 y 8
6. Gasparetto, E., "L'essiccazione dei cereali: principi fisici, caratteristiche e misura dell'umidità", Industrie Agrarie no. 5, Verona 1973
7. Gasparetto, E., "Postcosecha, Tratamiento y Almacenamiento de granos", ESPOL, Guayaquil, 1989.
8. "Industrial Ventilation", ASHVE, 1986

9. Incropera, F. y De Witt, D., "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", Wiley, Singapore, 1990, Capitulo 13
10. Jorgensen, "Fan engineering", Buffalo Forge Co.
11. Kreith, Frank, "Principios de transferencia de calor",
12. Panchano, Ordoñez, José, "Diseño y Construcción de una Secadora de arroz por lote", Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, ESPOL, Guayaquil, Ecuador, 1994, pp. 74-94.
13. Perry, R., y Chilton, C., "Chemical Engineers' Handbook", 5th ed., Mc.Graw-Hill, New York, 1973, capítulos 5 y 20.
14. Shigley, J. y Mischke, Ch., "Diseño en Ingeniería Mecánica", McGraw-Hill, 5a. Edición, México, 1990, pp. 413-420
15. Woods, "Manual de ventilación", Woods enterprises

**espol** CIB  
Biblioteca 631.36  
[C.2] CAN



D - 16314



A.F. 144445