



607.60
L. 925
C. 20

ESCUELA SUPERIOR **POLITECNICA** DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Mecánica

“**DISEÑO COMPLEMENTARIO Y EVALUACION DE UN
SECADOR DE ARROZ DE FLUJO CONTINUO**”

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentado por:

Xavier Vicente **Lozano Vélez**

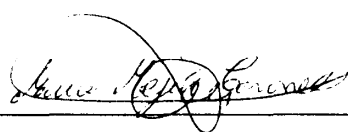
Guayaquil - Ecuador

1.994

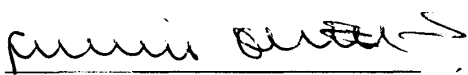




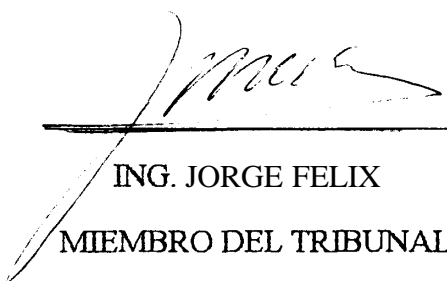
ING. EDUARDO RIVADENEIRA
SUBDECANO DE LA FACULTAD
DE INGENIERIA MECANICA



ING. MARCO TULIO MEJIA
DIRECTOR DE TESIS



ING. FRANCISCO ANDRADE
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



ING. JORGE FELIX
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MIS AMIGOS



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)



XAVIER LOZANO VELEZ

RESUMEN

El propósito del desarrollo de **ésta** TESIS es poner en marcha el Secador de Arroz de Flujo Continuo ubicado **en** los patios de la Facultad de Ingeniería **Mecánica** del **Campus** Prosperina de la ESPOL, siendo **éste** un proyecto del CONUEP dirigido por el Ing. Victor Hugo **González**. El Secador **está** constituido de diversos **mecanismos** **construidos** por estudiantes, algunos como **Tesis** de Graduación, pero que no han sido probados y acoplados para su funcionamiento en conjunto.

Una vez que se ponga en marcha el Secador se **procederá** a controlar los **parámetros** de **funcionamiento** de acuerdo a las necesidades de uso **para** evitar **daños** en el producto, para lo cual se **realizarán** pruebas en vacío, donde se **medirá** temperaturas de entrada y salida del aire de secado, caídas de **presión** y consumo de gas en el quemador. Con estos datos se procederá a evaluarlo, haciendo los **diseños complementarios** necesarios para mejorar su **funcionamiento**.



IN-DICE GENERAL

	PAG.
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VII
INDICE DE FIGURAS	I x
INDICE DE TABLAS	X
NOMENCLATURA	XT
INTRODUCCION	13
CAPITULO I	
SECADORES	
1.1 GENERALIDADES	15
1.2 USO DE SECADORES EN EL ECUADOR	19
CAPITULO II	
EL SECADOR DE ARROZ DE LA FIM	
2.1 ESTADO TECNICO Y TECNOLOGICO DEL SECADOR	21
CAPITULO III	
EL ARROZ	
3.1 IMPORTACIA DEL ARROZ EN AMERICA LATINA	24
3.2 PRODUCCION DE ARROZ	25
3.3 COSECHA DE ARROZ	31
3.3.1 METODOS DE COSECHA	32
3.4 MOLINERIA Y ALMACENAMIENTO DE ARROZ	34

CAPITULO IV

EVALUACION DEL SECADOR

4.1	DESCRIPCION DEL SECADOR	39
4.1.1	SILO SECADOR	40
4.1.2	EL TRANSPORTADOR NEUMATICO	42
4.1.2.1	DISEÑO COMPLEMENTARIO DEL TRANSPORTADOR NEUMATICO	45
4.1.3	SISTEMA DE FLUJO TRANSVERSAL DE AIRE CALIENTE	62
4.1.4	SISTEMA DE ALIMENTACION	67
4.1.5	SILO DE ALMACENAMIENTO	70
4.1.6	TABLERO DE CONTROL	71
4.2	IMPORTANCIA DE LAS PRUEBAS EN VACIO	74
4.3	DESCRIPCION DE LAS PRUEBAS	75
4.4	EQUIPO UTILIZADO	77
4.5	PARAMETROS A CONTROLAR	77
4.6	RESULTADOS Y ANALISIS EXPERIMENTAL	78

CAPITULO V

ANALISIS ECONOMICO

5.1	ANALISIS DE COSTOS	83
5.2	COMPARACION DE COSTOS DE DIFERENTES SECADORES	89
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
	APENDICES	102
	BIBLIOGRAFIA	131

INDICE DE FIGURAS

	PAG.
3.1 Diagrama de flujo del proceso de molinado	35
3.2 Flujo del proceso de molinado	36
4.1 El Silo Secador	41
4.2 El Secador de Arroz	44
4.3 Partes de la Zaranda	68
A.1 Lecturas de presión	104
A.2 Lecturas de temperatura	105
B.1 Diagrama de Moody	112
B.2 Coeficiente de arrastre para una esfera, un cilindro y un disco	113
C. 1 Carta Psicométrica	122

INDICE DE TABLAS

	PAG.
3.1 Tendencias mundiales en área , rendimiento, producción , exportaciones y consumo per cápita	26
3.2 Tasas de crecimiento para producción, area y rendimiento en América Latina 1970-1 980	27
3.3 Comercio neto de arroz, América Latina , 1960- 1980	29
3.4 Consumo aparente de arroz per cápita en América Latina durante el período 1960- 1980	30
5.1 Costos de secado	94
5.2 Saldo no recuperado utilizando una tasa de retorno de 96%	95
5.3 Saldo no recuperado utilizando una tasa de retorno de 120%	95
5.4 Tasa interna de retorno	96
A.1 Valores de presión con aire de secado inducido	106
A.2 Valores de presión con aire de secado forzado	107
A.3 Valores de temperatura con aire de secado inducido	108
A.4 Valores de temperatura con aire de secado forzado	109
A.5 Valores de corriente y consumo de gas	110
B.1 Velocidad del aire necesaria para el transporte de sólidos de diferentes densidades	114
B.2 Capacidad máxima de conductores aislados	115
B.3 Duración máxima diaria media de las horas de sol en diferentes meses y latitudes	116
B.4 Horas de fuerte insolación en la zona de Milagro	117
B.5 Humedad promedio del arroz durante el transcurso del año	118

NOMENCLATURA

Amp	:	Amperio
c	:	Coefficiente de arrastre
D_S	:	Diámetro del sólido
D_T	:	Diámetro del ducto
f_G	:	Factor de fricción
f_S	:	Factor de fricción sólido
g	:	Aceleración de la gravedad
g_c	:	Constante dimensional
Kg	:	Kilogramo
KW	:	Kilovatio
L_H	:	Longitud horizontal de ducto
L_V	:	Longitud vertical de ducto
m	:	Metro
N	:	Newton
Pa	:	Pascal
Q	:	Caudal
V_{CH}	:	Velocidad crítica horizontal
V_{CV}	:	Velocidad crítica vertical
V_G	:	Velocidad del aire
V_S	:	Velocidad crítica del sólido
Volt	:	Voltio
ρ_G	:	Densidad del aire
ρ_S	:	Densidad del sólido

ρ_{SD}	:	Densidad del sólido disperso
P	:	Caida de presión
μ_G	:	Viscosidad del aire

INTRODUCCIÓN

El grano de **arroz recién** cosechado **está** cubierto de una capa no comestible **llamada** cáscara., la cual tiene **la función** de proteger al grano contra la humedad, los **insectos**, roedores y los **organismos** que **causan** el deterioro **biológico**, en cuyo caso, siendo el arroz rico en **proteínas**, presenta la **putrefacción**, lo cual lo convierte en inadecuado para su **consumo**. La **putrefacción** es como resultado de la descomposición microbiana de los aminoácidos y otros compuestos nitrogenados de bajo peso molecular.

El grano de arroz esta compuesto por material que tiene vida y **como** tal tiene la característica del metabolismo.

El metabolismo es el **conjunto** de procesos **físicos** y químicos dentro de un organismo, **mediante** los cuales se produce, mantiene y destruye el protoplasma, del cual se obtiene la **energía** requerida para el **funcionamiento** del **organismo**.

Uno de los procesos involucrados es la respiración, en la cual se absorbe el oxígeno del **aire** y se **descomponen** los hidratos de carbono contenidos en el grano, **convirtiéndolos** en dióxido de carbono y agua, aumentando la humedad en el grano. Siendo este un proceso **exotérmico**, la temperatura del grano **aumenta, acelerándose** el deterioro **biológico** (*Ref. 1*).

Para **almacenar** el arroz es importante **guardar** ciertos **parámetros** para que el **grano** respire lo menos posible, pero sin **dañarse**. Entre estos **parámetros está** la humedad, para lo cual se recurre al secamiento. En el secamiento se **elimina**

parte de la humedad que tiene la semilla, con el objeto de proteger del ataque de hongos e insectos, durante el tiempo de almacenamiento. El secamiento implica un aumento de temperatura y una disminución de humedad alrededor del grano, lo cual hace **que** Cste se seque. La humedad adecuada en la semilla de arroz es de 12% (*Ref. 2*), a **la** cual se inhiben en alta **proporción** los procesos **metabólicos** de la semilla y le permita **permanecer** almacenada durante **periodos** largos sin deteriorarse. En **el trópico, sin embargo, la humedad de la semilla se estabiliza alrededor del 14%** (*Ref. 2*).

Es muy importante **además cumplir con las exigencias existentes en el país, así,** en el Ecuador se clasifica al grano de arroz en **extralargo**, largo, medio, corto y mezclas. Cada clase se subdivide en grados, dependiendo de la cantidad de granos quebrados presentes en el producto **final** entregado al consumidor. El INEN ha establecido cuatro grados dentro de cada clase con **una** tolerancia **máxima de 10, 15, 18 y 21% de arroz partido** (*Ref. 12*).

Las preferencias del consumidor han orientado la **producción de arroz** hacia la variedad de grano largo con un 18% de arroz partido (*Ref. 3*).

Ante esta **situación** es imprescindible **además minimizar** el porcentaje de **arroz partido**, para de esta manera **tener** un producto de la mejor calidad apto para competir dentro del mercado **libre**.

CAPITULO 1

SECADORES

1.1 GENERALIDADES

La mayoría de productos agrícolas deben ser almacenados para su **consumo** durante todo el **año**, en el caso de los granos, estos deben ser secados para eliminar el exceso de humedad que produce un ambiente propicio para la **propagación** de hongos y de insectos, **además** que produce procesos **metabólicos** en ellos, los cuales los deterioran **biológicamente convirtiéndose** en no aptos para el consumo humano.

Para evitar este deterioro se debe controlar el contenido de humedad en los productos, para lo cual se procede primeramente al secado, utilizando secadores.

Existe una diversificación muy grande en cuanto los **métodos** utilizados para secar, los cuales van desde el uso de la energía solar, hasta el uso de secadores muy complejos con **fuentes** de energía artificial.

Para el caso específico del secado del **arroz** en **cáscara** en el Ecuador, el procedimiento **más** utilizado es al aire libre, en un sistema conocido como

“Tendal”, el cual **emplea** medios muy rudimentarios para la colocación del grano y mano de obra en el manipuleo del producto.

El uso de secadores **mecánicos en** el país se ejecuta en la **minoría** de los molinos; existiendo dos **diseños**: el secador **estático** y el **continuo**.

Ambas formas utilizan **quemadores** como **fuentes** de energía artificial y al aire como medio de transporte de dicha energía hacia el grano empleando **ventiladores centrífugos**.

La diferencia entre el secado estático y el continuo **la** da el grano de **arroz**, si este se encuentra **estático** o si fluye de manera **continua** en sentido transversal al flujo de aire caliente.

Existen combinaciones de secadores, en **las** cuales se utiliza la energía solar en una fase de secado, terminando con **un** sistema de **aplicación** de energía artificial, con lo cual se logra bajar precios en consumo de combustible, **pero** por otro lado se **aumentan** los tiempos de secado.

Se entiende por secado el **procedimiento** adoptado para eliminar el líquido de un producto, bien por **evaporación**, bien por **vaporización con** ayuda, por lo general, utilizando una fuente de calor.. Las posibilidades de secado **mecánico** se ven limitadas por la humedad residual que siempre queda en el producto (*ref. 2*).

Hay dos formas de secar un producto : una **natural**, utilizando el calor del sol, y otra **artificial** utilizando calor aportado por una fuente construida por el hombre.

Para no perjudicar al producto y a la vez satisfacer las exigencias del mercado, se han establecido numerosos procedimientos de secado y aparatos que se distinguen esencialmente por el modo de aportación de calor, teniendo tres tipos (*ref. 2*):

- 1.- Por convección
- 2.- Por conducción
- 3.- Por radiación

Cada fenómeno de secado está caracterizado por una transferencia de calor y de masa (*ref. 2*)

Los métodos más utilizados para eliminar la humedad de un producto son (*ref. 3*):

- 1.- Secado por convección a presión normal
- 2.- Secado por contacto a presión normal
- 3.- Secado a vacío

En el secado por convección a presión normal se hace circular aire caliente a través del material a secar. El producto en este caso puede estar en reposo sobre una parrilla, en movimiento por agitación mecánica o provocado por la gravedad, por la energía cinética del agente de secado o por su propia

energía potencial, **teniéndose** secadores de lecho **fluidificado** o de flujo **continuo** (*ref. 3*).

En el secado por contacto a **presión** normal **el calor es transmitido directamente de la superficie caliente al producto, existiendo diferentes diseños según el contenedor del mismo y si está en reposo o en movimiento**. Según estos factores tenemos **secadores** de base **móvil**, de cilindros, de bandeja, de tornillo sin fin., de paletas, tubulares, trituradores, etc. (*ref. 3*).

El secado a vacío es utilizado para materias sensibles al calor o **que puedan descomponerse con facilidad, porque al reducir la presión, se reduce también** la temperatura de **ebullición** del líquido tratado. De este modo es **posible evitar ciertos fenómenos de descomposición como la oxidación, el cambio de color, la fermentación, la destrucción de hormonas y vitaminas**, de acuerdo con las curvas de **tensión** de vapor.

Gracias al descenso de la temperatura de **ebullición**, el secado por **pura vaporización** **ea más o menos posible**. De ello resulta una **disminución** de la resistencia a la **difusión** que nos **permite** obtener tiempos de secado mucho **más** cortos (*ref. 3*).

1.2 USO DE SECADORES EN EL ECUADOR

Ecuador en el contexto de los países latinoamericanos esta localizado dentro de los mayores consumidores de arroz, **razón** por la cual, considerando su importancia nutricional, forma parte de la canasta familiar como producto de primera necesidad.

Esta **posición** dentro de la economía alimentaria ecuatoriana ha hecho que los productores y la industria del arroz cuente con una gran **infraestructura**. Toda esta **infraestructura** existente en el país se adapta a las condiciones del medio en el cual se cosecha el arroz, por lo cual la **aplicación** del secamiento es indispensable.

La **participación** de la industria **metalmecánica** nacional se ha limitado a intentos de producción de partes y especialmente se ha concentrado en la fabricación de equipos de transporte, lo cual ha generado que en el país exista una gran heterogeneidad en cuanto al **origen** de la **maquinaria Utilizada**.

Los sistemas de molinería empleados siguen un esquema tradicional orientado hacia sistemas compactos, con los cuales con un solo equipo se desarrolla **la** labor desde el descascarado hasta la entrega del arroz blanco pulido sin **clasificar**, **excluyéndose** el secado, el cual se lo hace mayoritariamente en patios al aire libre, considerando que los costos de mano de obra no calificada son muy **bajos**.(S/. 1.500 la **hora/hombre** aprox.)

En situaciones de desempleo no cabe duda que este proceso es muy rentable, los problemas surgen cuando este mismo tipo de personal es demandado en proporciones considerables para la **recolección** y manipuleo del arroz **cáscara** húmedo.

Considerando todos estos factores es de vital importancia el fomentar el desarrollo industrial del **pais** para mejorar la productividad del sector agroindustrial y no depender exclusivamente de los equipos provenientes del exterior, **además** de evitar el manejo de los productos del **pais** por parte de **grandes** grupos **minoritarios** en capacidad de adquirir dicha **tecnología**.

CAPITULO II

EL SECADOR DE ARROZ DE LA F'IM

2.1 ESTADO TÉCNICO Y TECNOLÓGICO DEL SECADOR

En Octubre de 1992 el Ing. Victor Hugo **Gonzalez** presentó el **informe** final del proyecto “DESARROLLO E **INVESTIGACIÓN ECONÓMICA DE TECNOLOGÍA** APROPIADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE SECADORES Y SILOS DE **ALMACENAMIENTO** DE ARROZ EN LA **PROVINCIA DEL GUAYAS**”, auspiciado por el CONUEP y la ESPOL.

En base a los resultados de los **cálculos** realizados en Cste **informe**, el Ing. **González** , junto a un equipo de **colaboradores** **comenzó** a construir un Silo Secador de Arroz, **que** actualmente **está** ubicado en los patios de la Facultad de Ingeniería **Mecánica** de la **Espol** - Campus **Prosperina**.

El objetivo del desarrollo de **ésta Tesis** de Grado es terminar el proyecto comenzado por el Ing. Victor Hugo **González**, llegando a **realizar** las pruebas en vacío necesarias para verificar las teorías expuestas en los trabajos realizados anteriormente sobre **éste** tema **por él** y sus colaboradores.

Al momento del inicio de este tema de tesis, el poner en marcha el Silo Secador, **éste se encontraba** incompleto, los **diferentes mecanismos** que lo **conformaban** no cumplían con las funciones para las cuales **fueron diseñados**, no existiendo datos de anteriores pruebas realizadas.

Entre las partes construídas se **encontró**:

- 1.- Un silo de almacenamiento con capacidad de 2 Ton. de arroz.
2. - Un silo de secamiento con capacidad de 2 Ton. de arroz.
- 3.- Un quemadora gas.
- 4.- Un ventilador **sin** su motor para la **extracción** del aire desecado.
- 5.- Un **ducto** de 3.5 mts. de longitud y un codo a **90°**, ambos de 25 cm. de **diámetro** y de plancha de acero de **1/16"**.
- 6.- Un sistema de **transportación neumática** con esclusa dosificadora, sin **funcionar** (**tésis** del Ing. Miguel **Renán** Acosta).
- 7.- Un motoreductor de 0.16 Kw., para accionar la zaranda.
- 8.- Un armario **metálico**.

Como estudio **preliminar** a la **realización** de dicho proyecto, la Ing. Patricia del Rocío Bravo **realizó** pruebas **experimentales** de secado de arroz,

presentándolas como su Proyecto de Grado bajo el título “Estudio y **Análisis** de las **Cámaras** Tradicionales de Secado de Arroz en **Cáscara**”, ESPOL, 1990.

Posteriormente el **Ing** Miguel **Renán** Acosta **mejoró** el Silo Secador instalando un sistema de transporte **neumático diseñado y construido** por él como su Proyecto de **Grado** bajo el título “**Diseño y Construcción** de un Sistema de Transporte **Neumático a Presión** Positiva utilizando una Esclusa Dosificadora”, ESPOL, 1993.

CAPÍTULO III

EL ARROZ

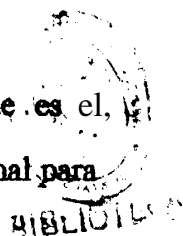
3.1 IMPORTANCIA DEL ARROZ EN AMERICA LATINA

En la primera parte de este **capítulo** se revisan las tendencias de la producción de arroz a nivel mundial, especialmente en **América** Latina, con el objeto de tener una perspectiva **más** clara de la **importancia** del **arroz** en **la región**, su desarrollo **reciente** y probable estructura **futura**.

A pesar de que **América** Latina representa solo un **pequeño porcentaje** del **área** sembrada con arroz y del total de la **producción** en el mundo, el arroz ha empezado a ser un producto importante en la dieta de la **región**, a medida que se incrementa el **consumo per cápita**, principalmente como resultado del **incremento** de la producción en casi todos los países.

En la segunda parte del capítulo se especifican los aspectos que se deben tener en cuenta para la **recolección** del cultivo de **arroz** : Cuando **cosechar**, el **método** a seguir y la **pérdidas** en rendimiento y **de** calidad del grano (*ref. 6*).

Posteriormente en una tercera parte se estudia la **molinería**, que **es** el proceso que sigue el arroz desde su cosecha hasta su **adecuación final para**



el consumo humano. Este proceso involucra lo que es el secado, **eliminación** de **cáscara**, limpieza y **clasificación** del grano, para luego pasarlo **directamente** al consumidor o para alma-lo para su **futuro** expendio, lo cual se explica en la última parte de este capítulo, al mencionar los **parámetros importantes** que deben considerarse para lograr un correcto **almacenamiento** del **arroz**, para mantenerlo apto para su consumo o para su **utilización** como semilla.

3.2 PRODUCCION DE ARROZ

Las tendencias de la **producción** de arroz en el mundo, las **áreas** y los rendimientos, se han mantenido estables durante las últimas dos **décadas**. El **área** cosechada ha crecido aproximadamente **en** una proporción anual de 1.1% durante los Mimos 30 **años**. Por lo tanto, la **producción** ha estado creciendo **regularmente** con dos excepciones notables, las cosechas de los **años** 1965-66 y 1972-73 (*ref. 6*).

La **proporción** de arroz molinado se **ha** mantenido igual durante todo el período **analizado**. Las exportaciones en **proporción** con la producción de grano molinado, **también** se han mantenido constantes, puesto que tanto el volumen de exportaciones como el de la **producción**, se han duplicado (*tabla 3.1*).

En **América** Latina se produjeron **incrementos** en la producción, el **área** y los rendimientos. Una excepción es Brasil, donde los incrementos en

producción son principalmente debido al aumento del **área** sembrada, y no a sus rendimientos que **están** estancados . **Lo** mismo ocurre en los países templados (Tabla 3.2).

Tabla 3.1: Tendencias mundiales en **área**, rendimiento, **producción**, exportaciones y consumo per **cápita**

	Área cosechada (millón Ton.)	Rendimiento (Ton / ha)	Producción en cáscara (millón Ton)	Exportación molinada (millón Ton)	Consumo per cápita (kg/per/año)
1960 - 62	120.7	1.98	238.9	6.7	52.7
1970 - 72	131.5	2.37	311.6	8.6	56.4
1978 - 80	143.6	2.66	381.9	12.6	58.0

Referencia 6

En términos de comercio, la **región** ha cambiado de ser un neto exportador a un neto importador. En efecto algunos cambios en la estructura de comercio **pueden** ser observados. Brasil, **México** y Ecuador **fueron** exportadores y ahora importan, mientras que Colombia, Venezuela, Costa Rica y **Panamá** fueron importadores y ahora exportan (Tabla 3.3)(ref. 8).

Vale la pena anotar que casi todo el **arroz** producido en el mundo, se utiliza para consumo humano, lo que no **ocurre** con otros **cereales** como el trigo y el maíz. Con algunas excepciones como Brasil, **México** y Argentina, el consumo per **cápita** aparentemente se ha incrementado en todos los países

Tabla 3.2 : Tasas de crecimiento para producción, área y rendimientos en América Latina. 1970- 1980

País	Producción	Area	Rendimientos
Brasil	2.04	2.24	-0.21
México	1.61	- 0.29	1.89
Sur América tropical	7.18	4.84	2.34
Bolivia	3.83	2.61	1.26
Colombia	8.93	6.44	2.49
Ecuador	7.45	5.68	1.77
Paraguay	4.27	4.32	-0.06
Perú	- 0.79	- 1.47	0.66
Venezuela	14.89	7.01	7.89
América Central	4.83	2.87	1.96
costa Rica	9.85	8.17	1.69
El Salvador	1.06	2.09	-1.13
Guatemala	9.43	3.75	5.88
Honduras	17.52	12.98	4.44
Nicaragua	- 4.60	- 6.21	1.60
Panamá	4.17	1.61	2.57
Caribe	5.50	2.43	3.07
cuba	4.07	2.90	1.09
Rep. Dominicana	7.60	5.15	2.46
Haití	3.98	- 4.11	8.11
Jamaica	22.84	24.00	1.45
Trinidad	9.71	9.08	0.12
SurAmérica Templada	3.30	3.94	-0.64
Argentina	- 1.14	0.75	-1.90
Chile	7.55	6.69	0.90
Uruguay	8.55	8.32	0.29
Total América Latina	3.50	2.67	0.83

del **área** (Tabla 3.4). Los cambios **más dramáticos** han ocurrido en la parte tropical de Sur **América**, y en algunos casos como Colombia y Venezuela, se ha duplicado el consumo per **cápita** (*ref. 8*).

En **términos** generales el **arroz** es producido bajo dos sistemas: con riego y en seco. El sistema de produccih con riego tiene como principal característica el control sobre el manejo del agua y se obtienen mayores rendimientos.

El sistema de produccih en seco es caracterizado por las lluvias como única **fuentes** de agua. La distribucih y la cantidad de las lluvias a **través** de las regiones, la calidad del suelo y diversos factores ambientales producen la gran variedad de rendimientos. La mayoría de la produccih, mas no del **área** sembrada en **arroz** de los países tropicales de Sur **América**, ocurre bajo el sistema de riego. Colombia, Paraguay, Perú y Venezuela, tienen **más** tierra dedicada a la **producción** con riego. Ecuador tiene **más** o menos la misma superficie dedicada a cada sistema, mientras que Bolivia **es** neto productor de seco. Los rendimientos del sistema con riego son significativamente **más** altos que los de seco en estos países.

En Colombia, Ecuador y Venezuela ha existido un gran porcentaje de **adopción** de las variedades enanas, lo que explica el **rápido incremento** de los rendimientos en estos **países**, mientras que en Bolivia y Paraguay la adopcih de variedades enanas ha sido limitada. En Ecuador, Bolivia y Perú se espera un aumento en la produccih de arroz seco puesto que los tres países se **enfrentan a** limitaciones relacionadas con infraestructura de riego y de abastecimiento total de agua (Referencia 6).

Tabla 3.3 : Comercio neto de arroz, América Latina. 1960-1980. Exportaciones netas están en números negativos. Todos los datos en miles de toneladas.

Pais	1960 / 62 Arroz molido	1970 / 72 Arroz molido	1978-1980 Arroz molido
Brasil	-65	-78	264
México	-15	2	20
Sur América tropical	25	-19	70
Bolivia	4	---	---
Colombia	13	-3	-57
Ecuador	-17	---	15
Paraguay	---	---	---
Perú	11	---	142
Venezuela	14	-16	-30
América Central	6	13	-20
Costa Rica	---	8	-40
El Salvador	2	-2	3
Guatemala	--	2	3
Honduras	1	6	7
Nicaragua	2	-11	15
Panamá	1	10	-8
Caribe	227	287	284
Cuba	180	218	177
Rep. Dominicana	---	3	15
Haití	---	---	18
Jamaica	19	35	41
Trinidad	28	31	33
Sur América Templada	-35	-96	-223
Argentina	-17	-72	-100
Chile	-1	24	11
Uruguay	-17	-48	-134
Total América Latina	-836	-80	257

Tabla 3.4 : Consumo aparente de arroz per cápita en América Latina durante el período 1960 - 1980. Estimado como: (Producción + Comercio neto*) / población

Pais	1960 / 62 Arroz cáscara Kg/persona/año	1970 / 72 Arroz cáscara Kg/persona/año	1978 / 80 Arroz cáscara Kg/persona/año
Brasil	71	78	70
México	8	7	7
Sur América tropical	27	30	47
Bolivia	7	15	17
Colombia	33	39	67
Ecuador	30	26	41
Paraguay	9	18	20
Perú	36	39	40
Venezuela	13	14	39
América Central	22	22	24
Costa Rica	46	52	60
El Salvador	10	13	12
Guatemala	3	3	5
Honduras	11	5	11
Nicaragua	26	30	32
Panamá	95	89	87
Caribe	45	50	57
cuba	76	77	74
Rep. Dominicana	41	47	69
Haití	4	15	25
Jamaica	20	27	32
Trinidad	57	55	63
SurAmérica Templada	8	10	8
Argentina	7	8	5
Chile	12	11	13
Uruguay	12	19	16
Total América Latina	29	38	41

* Comercio neto en arroz ha sido convertido a comercio neto en arroz cáscara usando una tasa de rendimiento en molino de 65 %

3.3 COSECHA DE ARROZ

Tres aspectos **fundamentales** deben ser tomados en cuenta para la **recolección** del cultivo de arroz: Cuando cosechar, el **método** de la cosecha y las pérdidas en rendimiento y de calidad del grano.

Para la **determinación** del momento de cosecha se debe tener **en cuenta** la humedad del grano, el contenido de materia seca del mismo, la **germinación**, el porcentaje de granos inmaduros o yesosos y el rendimiento en molino de granos enteros y quebrados.

Tomando **en** cuenta los riesgos por deterioro natural del grano, **volcamiento** de la espiga, aves y ratas, desastres y **pérdida** de valor **comercial**, la **cosecha** debe **realizarse** tan pronto el grano alcance su madurez, para lo cual el mejor indicador es **la** humedad del grano, pero **también** puede tomarse el color del mismo, recomendándose cosechar cuando el 95% tengan color paja y el resto **estén** amarillentos.

Un resumen en relación con la humedad de cosecha sería:

- Mayor de 27%: menor rendimiento y granos inmaduros
- Entre 20 y 27%: humedad **óptima**
- Menor de 18%: **Pérdida** de granos, de calidad y mayor riesgo.

La cosecha de grano para semilla se prefiere hacerla cuando la humedad del **grano** es alrededor de **20%**, a **fin** de **evitar daños** en la semilla por calentamiento cuando se demore el secamiento de **ella** (*ref. 9*).

3.3.1 METODOS DE COSECHA

En **Latinoamérica** la cosecha se realiza en variados sistemas para las diferentes **áreas** productoras, de acuerdo con su grado de desarrollo **tecnológico** o sistema de producción.

Cosecha manual .- Se practica ampliamente en **América Latina** a nivel de **pequeños y aún** medianos productores, donde la mano de obra es abundante y el jornal agrícola bajo, o sencillamente se emplea mano de obra **familiar** o comunitaria (*Ref. 9*).

Los métodos manuales son muy variados y en algunos **lugares** se cortan **sólo las** espigas para trillarlas, mientras que en otros se cortan las plantas **a diferentes** alturas. Lo anterior es muy importante, pues ha sido una **razón** del rechazo de **algunas** variedades de alta **producción** de paja corta y espigas bajo el follaje, las cuales dificultan la cosecha de ambas formas.

Algunos de los métodos **más** empleados son (*ref. 9*):

a) Raspar **a** mano los granos sin cortar la espiga,

- b) Cortar espigas y hacer manojos, los cuales se almacenan colgados para luego trillarlos con un palo,
- c) Cortar las espigas y transportarlas a patios, para dejar secar en "**montón**" y trillar con los pies (común en **Haití**),
- d) Cortar la paja con espigas y hacer montones sobre lonas, para trillarla golpeandola con palos o troncos,
- e) Cortar la paja con espigas y amontonar en patios para trillarlas **pisoteandolas** con animales o con tractores.

Cosecha semi-mecanizada .- dentro **de este método se combinan el trabajo manual con el** empleo de **máquinas**, generalmente trilladoras estacionarias. Existen **también máquinas** que cortan el arroz **dejándolo** en el campo para trillarlo a mano, pero son poco difundidas (*ref. 9*).

Cosecha mecanizada .- El tipo de cosechadoras predominante en el cultivo de arroz son las autopropulsadas, con ruedas de caucho o de oruga. El **tamaño** de la **máquina está** en **relación** con el **tamaño** de la barra de corte. En estas **máquinas** se **realiza** de manera continua el corte, la trilla y la limpieza del grano, a la vez que cuentan **con** la sección de empaque o **depósito** del mismo (*ref. 9*).

3.4 MOLINERÍA Y ALMACENAMIENTO DEL ARROZ

En un molino **arrocer** se ejecutan dos procesos bien definidos que son: Secamiento y Molinería. Para **realizar** el primer proceso, el arroz que llega del campo con altos contenidos de impurezas (4 a 10%) y humedad (18 a 24%) es sometido a **prelimpieza** para luego continuar con la reducción del porcentaje de humedad con el objeto de facilitar las condiciones de aptitud que permitan que el grano pueda ser trabajado con los **equipos** de molinería, evitándose de esta forma interrupciones del proceso que perjudicarían a su rendimiento (*ref. 10*).**Es** de anotar que estos dos procesos se ejecutan de manera **diferente**, mientras en la mayoría de los casos el secamiento se realiza por tandas, el proceso de molinado se lleva **a** cabo en forma **continua**.

De otra parte, debido a que los picos de cosecha solo duran de 45 a 60 días por semestre (*ref. 10*), se hace necesario tener una buena capacidad de recibo, secamiento y almacenamiento **a fin** de tener materia prima suficiente para mantener en **continua** actividad al molino durante 4 o 5 meses por semestre. Esto es de vital importancia si se tiene en cuenta que tanto la nomina de empleados y obreros, así como el flujo de caja para la mayoría de los gastos de administración, se mantienen constantes y deben ser cubiertos con la producción del molino.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE MOLINADO

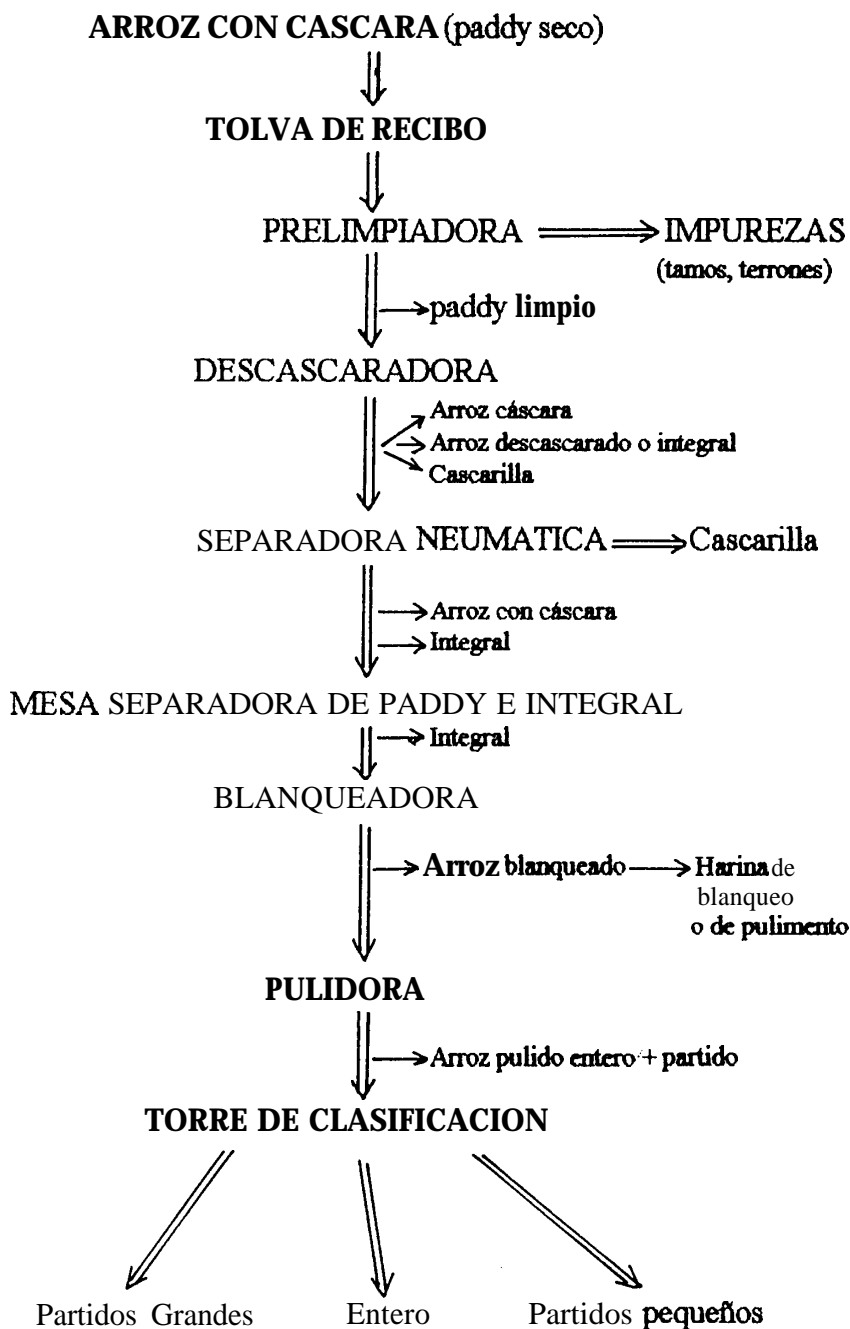


Figura 3.1 : Diagrama de flujo del proceso de molinado

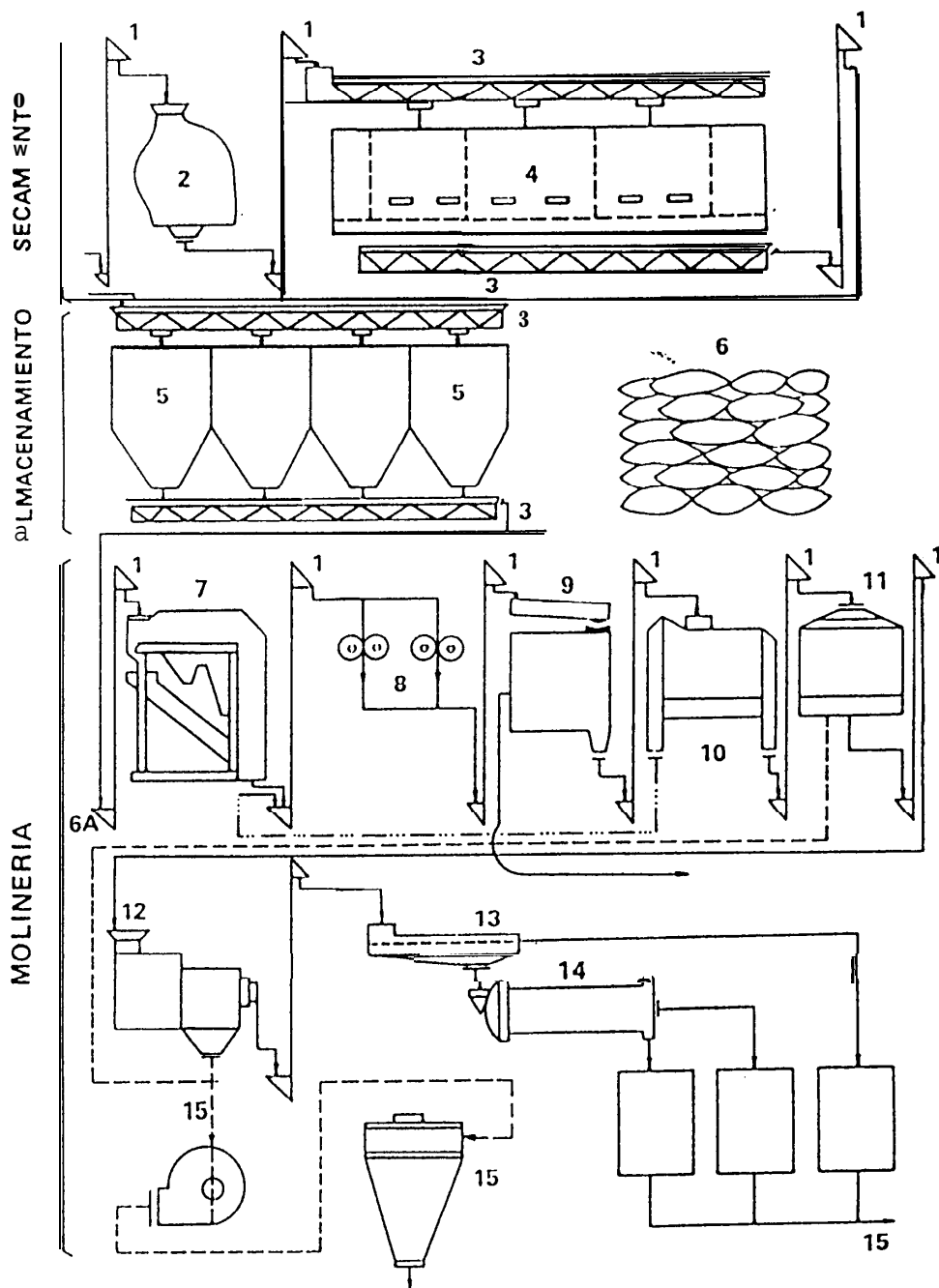


Figura 3.2 : Flujo del proceso de molinado

El proceso de molinería propiamente dicho comienza a partir del **arroz en cáscara (paddy seco 13 % de humedad)**, el cual pasa por diferentes maquinas para dejarlo en condiciones optimas para el consumo (*ref. 9*).

Como puede observarse en la figura 3.1, el arroz con cascara proveniente de la **sección** de secamiento, es depositado en **la** tolva de recibo, para alimentar de manera **permanente** el **molino** en donde mediante el uso de transportadores pasa por las diferentes **máquinas** que componen el molino, **sufriendo** en cada una de ellas procesos intermedios, hasta obtener el producto final llamado arroz blanco entero, el cual, se **ofrece** al mercado con un porcentaje de partido que varía de acuerdo con la calidad que se desea.

De un **100%** de arroz **cáscara** con 13% de humedad se pueden obtener los siguientes porcentajes aproximados:

58 a 60% de arroz entero (excelso o corriente)

20 a 23% de cascarilla

8 a 10% de arroz partido grande ($1/2$ a $3/4$ de **tamaño**)

2 a 4% de arroz partido **pequeño** (menos de $1/4$ del **tamaño**)

6 a 8% de harma de blanqueo o pulimento

1% de impurezas, polvos y vanos

NóteseQue:

1.- El arroz cáscara tomado como base para los rendimientos anotados anteriormente, debe ser un arroz que antes de secado se ha sometido al proceso de prelimpieza.

2.- Estos rendimientos son los obtenidos industrialmente, entendiéndose por arroz entero aquel que contiene una mezcla de granos enteros y granos partidos de tamaños superiores a 3/4 de grano (*ref.11*).

CAPÍTULO IV

PUESTA EN MARCHA DEL SECADOR

4.1 DESCRIPCION DEL SECADOR

Poner en marcha un equipo implica el probar y hacer funcionar cada uno de sus **componentes** de manera individual e independiente para luego hacer que funcionen como un todo.

El Silo Secador ubicado en los patios de la Facultad de Ingeniería Mecánica está formado por seis sistemas **fundamentales** que son :

- 1.- Silo secador
- 2.- El transportador **neumático**
- 3.- El sistema de flujo transversal de aire caliente
- 4.- Sistema de **alimentación**
- 5.- Silo de almacenamiento
- 6.- Tablero de Control

Cada **una** de estas partes se **las** prueba por separado, cuidando **que** cumplan con los **parámetros** de **diseño**, **tales** como caudal, **presión**, corriente consumida por los motores, etc..

A continuación se describen cada una de estas partes, explicando su principio de funcionamiento y los **parámetros a controlar**.

4.1.1 SILO SECADOR

Se entiende por secado el **procedimiento** adoptado para eliminar el **líquido** de un producto, existiendo dos **formas: Natural**, utilizando el calor del sol, y **Artificial**, utilizando calor **aportado** por una **fente construída** por el hombre.

En nuestro caso tenemos un Silo Secador de Flujo **Continuo**, en el cual se aplica el secado por **convección** a **presión** normal. Se considera de flujo **continuo** porque se utiliza un **transportador neumático** para llevar el arroz desde la parte **inferior** del silo hasta la superior, **dejándolo** caer en forma de cascada, a **través** de la cual circula aire caliente que es el que produce el secado del grano.

El Silo secador **está constituido** básicamente por un **depósito**, donde **se seca el arroz, una campana de ingreso y una de salida del aire de secado**, adicionalmente cuenta con un sistema de transporte **neumático** y un sistema de **alimentación** (**fig. 4.1**).

A la campana de ingreso llega el **aire** caliente impulsado por un ventilador y es forzado a pasar por los granos de arroz húmedos,

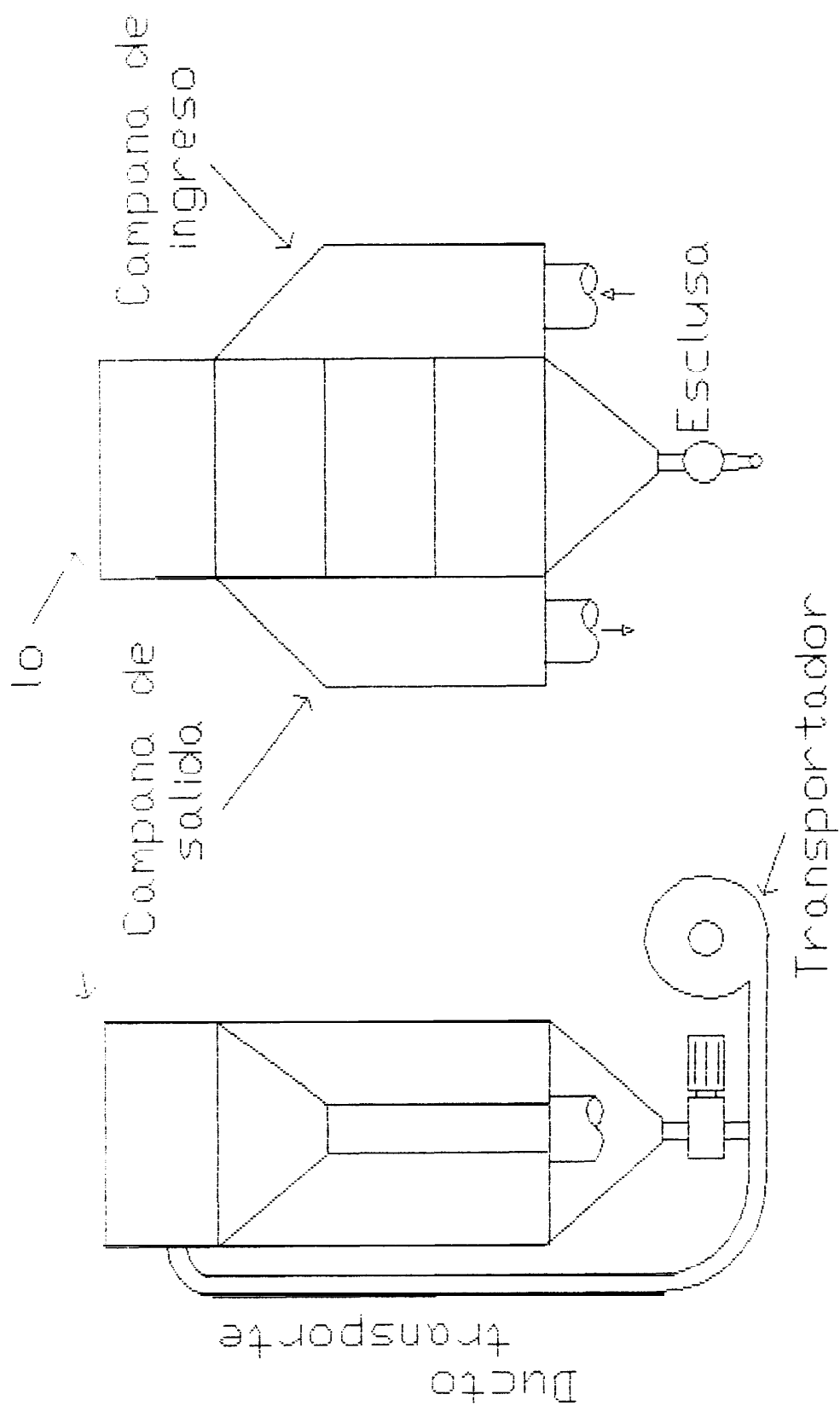


Fig. 4.1 : El Silo Secador

produciéndose el secado al saturarse el aire . Este aire saturado pasa a la campana de salida para luego ser expulsado a la **atmósfera**.

4.1.2 EL TRANSPORTADOR NEUMATICO

El **transporte neumático** consiste en la utilización de un flujo de aire a **través** de líneas a un **determinado caudal y presión, con el fin de** llevar material desde un punto a otro.

Una de las ventajas del sistema de transporte **neumático** es el **poder** ser cerrado, con lo cual se evita que se **produzca contaminación, pérdidas y emisión** de polvo.

Dentro de los tipos de **transporte neumático** tenemos tres clasificaciones: Material en un flujo de **aire, aire en un depósito de material o en un tanque bomba y mezcla de aire - masa (ref. 5)**.

a) Masa en un flujo de aire: Este nos sirve para **materiales** de radios **pequeños**, granos largos, planos, redondos y **sólidos polvorientos, permitiéndonos** tener un amplio rango de velocidades.

Este tipo de transportador puede **ser** de **presión** negativa, de **presión** positiva o de combinación de vacío-presión.

b) Aire en **un** depósito de **material** o tanque bomba: Como el nombre

lo dice, este sistema consta de un recipiente presurizado en el cual se deposita el material a transportarse. Posteriormente se agrega aire a baja o alta presión, según el tipo de material. Se utiliza baja presión para materiales pulverizados, polvosos o de características mixtas a baja velocidad, convirtiéndose en el transporte ideal para polvos abrasivos.

Aire a alta **presión** se utiliza para materiales **aterronados, como** pedazos de carne.

Existen dos tipos de **éstos** transportadores, el de Sistema **de alimentación** controlada y el de Sistema de alimentación libre.

- c) Mezcla de aire - masa: Con este sistema se obtiene una mezcla de aire con el material a transportarse, siendo necesario que haya alta presión de aire. Su uso es el mismo que el de los Tanque Bomba. De este tipo de **transportador** tenemos dos clases: De tomillo alimentador o sin fin y el de paso de aire en alimentadores rotatorios. Estos sistemas son recomendados para materiales livianos, pulverizados, **polvosos** y **granulares**.

En nuestro secador se utiliza un transportador **neumático** a presión positiva, apoyado de una esclusa **dosificadora** y una zaranda, con lo cual lo convertimos en un sistema de transporte con **alimentación controlada. El equipo está diseñado para transportar un flujo** másico de arroz de aproximadamente **4,4 Ton/hora (ref. 5)**, para lo cual se ha instalado un ventilador que nos proporciona aire a **razón** de **6,5 m³/min (ref. 5)**, con lo que se tiene **la** velocidad media del aire en el

ducto de $21,55 \text{ m/s}$, con una presión aproximada de 1.300 Pa . (ref. 5). El ventilador es impulsado por un motor eléctrico de 2 hp , 220 V trifásico (ref. 5).

Este transportador se lo utiliza para hacer circular el arroz por el Silo Secador, para lo cual necesitamos 16 repasos (ref. 3), realizables en aproximadamente 6 horas, para una carga de 2 toneladas de arroz, además, mediante una válvula direccional, se lleva el arroz una vez seco hacia el Silo de Almacenamiento.

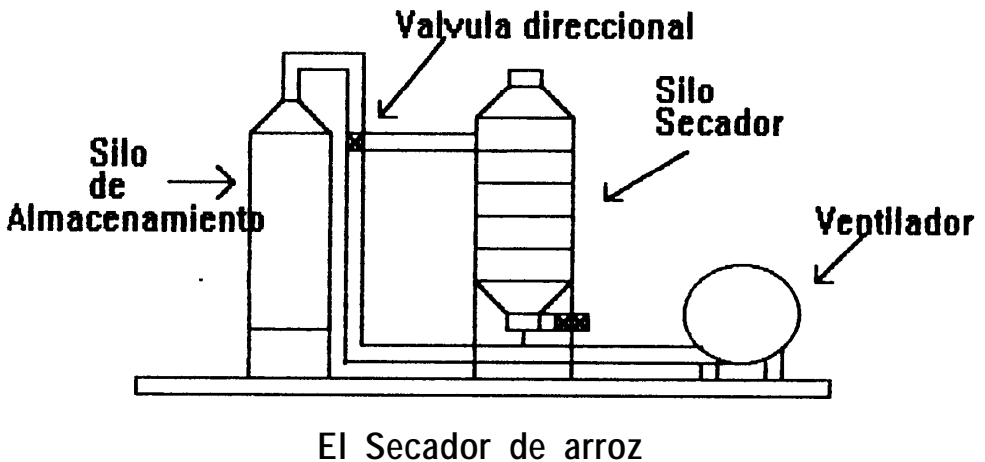


Fig. 4.2 : El secador de arroz

4.1.2.1 DISEÑO COMPLEMENTARIO DEL TRANSPORTADOR NEUMÁTICO

Una de las **más** importantes técnicas del manejo de materiales aplicadas en la industria es el movimiento de material suspendido en una corriente de aire de manera tanto vertical como **horizontal** cubriendo desde distancias cortas hasta varios cientos de metros.

La capacidad de un sistema de transporte **neumático** depende de diversos **parámetros** como la densidad y la cantidad del material a **transportarse**, el **tamaño** de la partícula, **diámetro** del conducto, distancia equivalente vertical y horizontal, entre otras (*ref.* 13).

La **mínima** capacidad **que** un **transportador neumático** necesita es la calculada para producir movimiento del material dentro del **ducto**. Queda del criterio del **diseñador** el aplicar un factor de seguridad que ofrezca flexibilidad al sistema para poder utilizarlo con diversos materiales **o con** un mismo material **que** por motivos del medio ambiente que lo rodea tienda a variar sus propiedades físicas.

El Transportador **Neumático** a **diseñarse** es de **presión** positiva, mediante un soplador se genera un flujo de aire que fluye por un **ducto**, mediante una esclusa dosificadora

se procede a depositar material, en nuestro caso arroz en **cáscara**, en este flujo, con lo cual logramos transportarlo desde la parte inferior del Silo hasta la parte superior, obteniendo de esta manera la circulación del grano de arroz a través del Silo Secador. Una vez que el arroz ya este seco, mediante una **válvula** direccional lo transportamos hacia el Silo de Almacenamiento.

Para agilizar los cálculos se los ha realizado considerando la mayor distancia de transporte del material. El **diseño** de un transportador **neumático** de presión positiva implica

- calcular el flujo másico de aire y la caída de presión necesaria para **lograr** que el grano de arroz quede en suspensión dentro de la corriente de aire y se produzca el arrastre. Posteriormente con el valor de la **presión** se calcula el espesor de la pared del **ducto** por el cual fluye el **aire**, considerando las propiedades del material seleccionado para su **construcción**.

Para proceder el **diseño** del transportador es necesario plantear claramente las condiciones del trabajo. Queremos transportar arroz en cascara que va a ser modelado como una **pequeña** esfera de 3 mm de **diámetro** (*ref.* 13) y de densidad $850 \text{ Kg} / \text{m}^3$ suspendido en un flujo de aire de densidad $1,23 \text{ Kg}/\text{m}^3$ a través de un **ducto** galvanizado de **diámetro** 0,8 m una distancia horizontal total de 2,5 m y **una** vertical total de 6 m (*ver apéndice E*).

En los cálculos a realizarse se utilizará la siguiente simbología :

ρ_s = densidad del **sólido**

$\rho_s = 52 \text{ lb} / \text{ft}^3 = 850 \text{ Kg} / \text{m}^3$

ρ_{SD} = densidad del **sólido** disperso (masa del sólido / unidad de volumen de la **tubería**)

$\rho_{SD} = 80 \text{ Kg} / \text{m}^3$

ρ_G = densidad del aire

$\rho_G = 1,23 \text{ Kg} / \text{m}^3$

D_s = **diámetro** del **sólido**

$D_s = 0.009 \text{ ft}$

E = rugosidad

V_{ch} = velocidad crítica **horizontal**

V_{cv} = velocidad crítica vertical

V_G = velocidad del aire, toma de la tabla B. 1

$V_G = 31,8 \text{ m} / \text{s}$

V_s = velocidad crítica del **sólido**

g_c = constante dimensional

$g_c = 9,75 \text{ Kg m} / \text{Kg}_f \text{ s}^2$

g = gravedad

$g = 9,8 \text{ m} / \text{s}^2$

L_H = longitud horizontal de la **tubería**

$L_H = 2,5 \text{ m}$

L_V = longitud vertical de la **tubería**

$L_V = 6 \text{ m}$

D_T = **diámetro** del **ducto**

$$D_T = 0,08 \text{ m}$$

f_G = factor de fricción

f_S = factor de fricción sólido,

u_G = viscosidad del aire

$$u_G = 1,87 * 10^{-5} \text{ Kg / m s}$$

Para **calcular** la **cáida** de **presión necesaria** para que se **produzca el transporte de las partículas** (**granos de arroz en cáscara**) se debe calcular **primeramente** la velocidad crítica de transporte tanto en sentido **horizontal como** en sentido vertical. De estos dos valores escogemos el mayor, con lo cual **estamos** seguros que no se **producirá sedimentación** ni amontonamiento del producto en el **ducto**.

Las ecuaciones para obtener las velocidades críticas vertical y **horizontal** son obtenidas de manera **experimental**, por lo cual se tienen coeficientes **empíricos**. Por **ésta razón**, es necesario trabajar con ella **utilizando** el sistema de unidades **inglés** (*ref.* 17, *Sec.* 4, 639-641).

La velocidad **crítica** depende, según estas ecuaciones, de la densidad del **sólido** a **transportar** y del **tamaño** de la partícula, la cual ha sido considerada como una esfera.

Velocidad crítica vertical :

$$V_{cv} = 910 * (\rho_s / (\rho_s + 62.3)) * D_s^{0.6} \quad [01]$$

$$V_{cv} = 910 * (52 / (52 + 62.3)) * 0.009^{0.6}$$

$$V_{cv} = 24.5 \text{ ft / s}$$

$$V_{cv} = 7,4 \text{ m / s}$$

Velocidad crítica horizontal :

$$V_{ch} = 270 * (\rho_s / (\rho_s + 62.3)) * D_s^{0.4} \quad [02]$$

$$V_{ch} = 270 * (52 / (52 + 62.3)) * 0.009^{0.4}$$

$$V_{ch} = 18.7 \text{ ft / s}$$

$$V_{ch} = 5,7 \text{ m / s}$$

Velocidad Crítica : $V_c = 7,4 \text{ m / s}$

La **caída** de **presión** total necesaria para el transporte de **sólidos** se la considera como la suma de la **caída** de **presión** en el tramo horizontal y en el tramo vertical de **tubería** (*ref.* 16, *Sec.* 49, 986-992).

Para calcular la **caída** de presión en cada uno de los tramos de **tubería**, se **considera que** el grano de arroz es transportado a la velocidad **crítica** encontrada anteriormente.

Caída de **presión** en el tramo **horizontal** :

Para el tramo de tubería horizontal, la caída de **presión** total va a ser el resultado de las caídas de **presión** individuales producidas por :

1.- La **aceleración** del gas hasta la velocidad de transporte.

(**ecuación [03]**)

2.- Por la **aceleración** de la partícula **sólida**. (**ecuación [04]**)

3.- Para vencer la **fricción** entre el gas y las paredes de la **tubería**. (**ecuación [05]**)

4.- Para vencer la **fricción** entre los granos de arroz y la pared del **ducto**, entre el gas y los granos y entre los **granos** (**ecuación [08J]**)

1.- Para la **aceleración** del gas (aire) hasta la velocidad de transporte se multiplica la velocidad que debe tener el gas elevada a la segunda potencia **por** su densidad y se divide para dos veces la constante dimensional (**ref.** 16).

$$P_1 = \rho_G * V_G^2 / 2 g_c \quad [03]$$

$$P_1 = 1,23 * 31,8^2 / (2 * 9,75)$$

$$P_1 = 63,78 \text{ N / m}^2$$

$$P_1 = 63,78 \text{ Pa}$$

2.- Para la **aceleración** de la partícula **sólida (arroz)** hasta la velocidad de transporte se relaciona la densidad del **sólido** disperso, que es la masa de arroz por unidad de **volumen** de tubería, con la velocidad de **arrastre** elevada la segunda potencia y se divide para la **constante** dimensional (*ref* 16).

La densidad del sólido disperso es un **término** que puede tener muchas **interpretaciones**, para su **aplicación** se ha considerado el caudal de **dosificación** de la esclusa dosificadora y la **velocidad** crítica del **sólido**.

Conociendo que la esclusa dosificadora alimenta **al** sistema **a razón** de **3,9 dm³** por revolución (*ref.* 5) y que cada revolución tiene 6 concavidades dosificadoras (*ref.* 5) encontramos **que:**

$$1 \text{ dosis} = 3,9 / 6 \text{ dm}^3$$

$$1 \text{ dosis} = 0,65 \text{ dm}^3$$

multiplicando por **la** densidad del sólido cada dosis tiene la masa de:

$$1 \text{ dosis} = 0,65 \text{ dm}^3 * 0,85 \text{ Kg} / \text{dm}^3$$

$$1 \text{ dosis} = 0,56 \text{ Kg de arroz}$$

La esclusa dosificadora **gira** a 32 **rpm**, con lo que tenemos que una **dosificación** tiene **0,3s** para ser depositada en el **ducto** del transportador. Si asumimos que en las **2/3** partes de este tiempo el arroz pasa al **ducto**, tenemos que cada segundo **2,8 Kg** de arroz **estarán** suspendidos en la corriente de aire en el transportador.

$$\dot{m} = 2,8 \text{ Kg} / \text{s}$$

Siendo la velocidad crítica **7,4 m / s**, interpretamos como que los **2,8 Kg** se reparten en **7,4 m** de tubería, **obteniéndose la** siguiente densidad por metro de **ducto**.

$$\text{densidad} * \text{metro de ducto} = 2,8 / 7,4$$

$$\text{densidad} * \text{metro de ducto} = 0,4 \text{ Kg} / \text{m}$$

Si se divide este valor para la **sección** transversal del la **ducto** de transporte, obtenemos la densidad del **sólido** disperso, que coincide con la **definición** de masa del sólido por unidad de volumen del **ducto**.

$$A = \text{Pi} * D_T^2 / 4$$

$$A = \text{Pi} * 0,08^2 / 4$$

$$A = 0,005 \text{ m}^2$$



$$\rho_{SD} = 0,4 / 0,005$$

$$\rho_{SD} = 80 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

Con este valor de la densidad del **sólido** disperso encontramos la caída de **presión necesaria para lograr** acelerar la partícula **sólida** hasta su velocidad de transporte.

$$P_2 = \rho_{SD} * V_S^2 / g_c \quad [04]$$

$$P_2 = 80 * 7,4^2 / 9,75$$

$$P_2 = 449,3 \text{ N} / \text{m}^2$$

$$P_2 = 449,3 \text{ Pa}$$

3.- **Para vencer la fricción entre el gas (aire) y las paredes** de la **tubería** se debe relacionar el factor de **fricción**, el **diámetro** y la longitud horizontal de **la tubería**, la densidad y velocidad del gas, según la siguiente **ecuación (ref. 16)** :

$$P_3 = 4 * f_G * L_H * \rho_G * V_G^2 / 2 * g_c * D_T \quad [05]$$

pero como **la ecuación [03]** es igual a:

$$P_1 = \rho_G * V_G^2 / 2 g_c \quad [03]$$

podemos **simplificar** la ecuación [05], quedando:

$$P_3 = (4 * f_G * L_H / D_T) * P_1$$

Para **encontrar** el factor de **fricción** f_G es **necesario** calcular primeramente el número de **Reynolds** y conocer **la** rugosidad de las paredes del **ducto** para **utilizar** el **diagrama de Moody**.

$$Re = D_T * V_G * \rho_G / \mu_G \quad [06]$$

$$Re = 0,08 * 31,8 * 1,23 / 1,87 * 10^{-5}$$

$$Re = 167333$$

Como la **tubería** es de hierro galvanizado, tenemos que su rugosidad es:

$$E = 0,15 \text{ mm}$$

Con lo cual la rugosidad relativa viene dada por la **expresión** :

$$E / D_T = 0,002 \quad [07]$$

Del diagrama de Moody **encuentro** f_G :

$$f_G = 0,006$$

$$P_3 = (4 * 0,006 * 2,5 / 0,08) * 63,78$$

$$P_3 = 47,84 \text{ N / m}^2$$

$$P_3 = 47,84 \text{ Pa}$$

4.- Para vencer la **fricciones entre** los granos de arroz y la **pared del ducto**, entre el **gas** y los granos y entre los granos se relaciona el factor de **fricción del sólido** (**interpretado** como una esfera), la longitud horizontal y el **diámetro** de la **tubería**, la densidad del sólido disperso y la velocidad de transporte (*ref. 16*):

$$P_4 = 4 * f_s * L_H * \rho_{SD} * V_S^2 / 2 * g_c * D_T \text{ [08]}$$

pero como la ecuación [04] es igual a:

$$P_2 = \rho_{SD} * V_S^2 / g_c \text{ [04]}$$

podemos **simplificar** la **ecuación [08]**, quedando:

$$P_4 = (4 * f_s * L_H / 2 * D_T) * P_2$$

donde,

$$4 * f_s = (3 * \rho_G * D_T * C / (2 * \rho_S * D_S)) * ((V_G - V_S) / V_S)^2 \text{ [09]}$$

Para encontrar el coeficiente de arrastre C del grano de arroz es necesario calcular el número de **Reynolds** en

función de éste, para lo cual consideramos al grano de arroz como una esfera de diámetro D_S :

$$Re = D_S * (V_G - V_S) * \rho_G / \mu_G \quad [10]$$

$$D_S = 3 \text{ mm}$$

$$Re = 0,003 * (31,8 - 7,4) * 1,23 / 1,87 * 10^{-5}$$

$$Re = 4814$$

De la fig B.2 encuentro el valor de C y calculo $4 * f_S$

$$c = 0,4$$

$$4 * f_S = 0,25$$

$$P_4 = 0,25 * 2,5 * 449,3 / (2 * 0,08)$$

$$P_4 = 1755 \text{ N/m}^2$$

$$P_4 = 1755 \text{ Pa}$$

5.- La caída de **presión** total en el tramo horizontal es el resultado de la suma de **las** caídas de **presión** antes mencionadas :

$$P_H = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \quad [11]$$

$$P_H = 67,78 + 449,3 + 47,84 + 1755$$

$$P_H = 2320 \text{ Pa}$$

Caída de **presión** en el tramo horizontal $P_H = 2320 \text{ Pa}$

Caída de **presión** en el tramo vertical :

Para el tramo de tubería vertical, la caída de **presión** total va ha ser el resultado de las caídas de **presión individuales** producidas por :

- 1.- La aceleración del gas hasta la velocidad de transporte.
(ecuación [03])
- 2.- Por la **aceleración** de la **partícula sólida**.(ecuación [04])
- 3.- **Para vencer la fricción entre el gas y las paredes de la tubería**.(ecuación [05])
- 4.- Para vencer la **fricción** entre los granos de **arroz** y la pared **del ducto**, entre el gas y los granos y entre los granos{ ecuación [08])
- 5.- Por el peso de la columna de gas. (**ecuación** [12])
- 6.- Por el peso **de** los granos de arroz suspendidos en el aire. (ecuación [13])

Las primeras cuatro razones tienen el mismo **fundamento** que para el tramo de **tubería** horizontal

- 1.- Para la **aceleración** del gas (aire) hasta la velocidad de transporte (*ref.* 16) :

$$P_1 = \rho_G * V_G^2 / 2 * g_c \quad [03]$$

$$P_1 = 63,78 \text{ N / m}^2$$

$$P_1 = 63,78 \text{ Pa}$$

2.- Para la **aceleración** de la partícula sólida (arroz)

(*ref. 16*):

$$P_2 = \rho_{SD} * V_S^2 / g_c \quad [04]$$

$$P_2 = 449,3 \text{ N / m}^2$$

$$P_2 = 449,3 \text{ Pa}$$

3.- Por la **fricción** entre el gas y las paredes de la tubería

(*ref. 16*):

$$P_3 = 4 * f_G * L_V * \rho_G * V_G^2 / 2 * g_c * D_T \quad [05]$$

$$P_3 = (4 * f_G * L_V / D ,) * P_1$$

$$P_3 = (4 * 0,006 * 6 / 0,08) * 63,78$$

$$P_3 = 114,80 \text{ N / m}^2$$

$$P_3 = 114,80 \text{ Pa}$$

4.- Para vencer de **fricciones** entre los granos de arroz y la **pared** del **ducto**, entre el gas y los granos y entre los **granos** (*ref. 16*) :

$$P_4 = 4 * f_s * L_v * \rho_{SD} * V_s^2 / 2 * g_c * D_T \text{ [08]}$$

$$P_4 = (4 * f_s * L_v / D_T) * P_2$$

$$P_4 = 0,25 * 6 * 449,3 / (2 * 0,08)$$

$$P_4 = 4212,2 \text{ N/m}^2$$

$$P_4 = 4212,2 \text{ Pa}$$

5.- Para soportar la columna de gas se relaciona la **densidad del gas (aire)** con la **gravedad** y la **altura de la columna de gas (ref. 16)**:

$$P_5 = \rho_G * g * L_v / g_c \text{ [12]}$$

$$P_5 = 1,23 * 9,8 * 6 / 9,75$$

$$P_5 = 7,42 \text{ N/m}^2$$

$$P_5 = 7,42 \text{ Pa}$$

6.- Para vencer el peso de los granos de arroz suspendidos **en la columna de fluido** se relaciona la **densidad del sólido disperso**, la **altura de la columna de sólidos suspendidos** y la **gravedad (ref. 16)**:

$$P_6 = \rho_{SD} * g * L_v / g_c \text{ [13]}$$

$$P_6 = 80 * 9,8 * 6 / 9,75$$

$$P_6 = 482,5 \text{ N / m}^2$$

$$P_6 = 482,5 \text{ Pa}$$

7.- La caída de presión total en el tramo vertical de tubería es la suma de las caídas de presión individuales calculadas anteriormente :

$$P_V = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 \quad [14]$$

$$P_V = 67,78 + 449,3 + 114,8 + 4212,2$$

$$+ 7,42 + 482,5$$

$$P_V = 5334 \text{ Pa}$$

Caída de presión en el tramo vertical	$P_V = 5334 \text{ Pa}$
--	---

CAIDA DE PRESION TOTAL

La caída de presión total del sistema de transporte es el resultado de la suma de la caída de presión en el tramo horizontal más la caída de presión en el tramo vertical

$$P = P_H + P_V \quad [15]$$

$$P = 2320 + 5334$$

$$P = 7654 \text{ Pa}$$

Aplicando el factor de seguridad $f = 1,3$

Calda de presión	$P = 10.000 \text{ Pa}$
-------------------------	-------------------------

Conociendo la presión del aire dentro del **ducto** se procede a calcular el espesor del mismo.

Dada la naturaleza abrasiva del arroz en **cáscara** el material utilizado es **lámina** galvanizada de acero St 37.

$$e = P * R / (S * E - 0,6 * P)$$

donde:

e = espesor de pared

P = **presión**

P = 10.000 Pa

R = radio del **ducto**

R = **0,04** m

E = eficiencia de soldadura

E = 1

S = **esfuerzo** admisible

S = 370 **N/mm²**

$$e = 10000 * 0,4 / (370 * 10^6 * 1 - 0,6 * 10000)$$

$$e = 11 * 10^{-7} \text{ mm}$$

Con **referencia** al valor obtenido escogemos una plancha de espesor 1 **mm** que es la que se encuentra en el comercio.

espesor del ducto	$e = 1 \text{ mm}$
--------------------------	--------------------

El caudal de **aire** necesario para transportar los granos de arroz **está** en **función** de la velocidad del aire y de la **sección transversal del ducto**.

$$Q = V_c * 3,1416 * R^2$$

$$Q = 7,4 * 3,1416 * 0,04^2$$

$$Q = 0,0372 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Caudal de aire	$Q = 134 \text{ m}^3 / \text{h}$
----------------	----------------------------------

4.1.3 SISTEMA DE FLUJO TRANSVERSAL DE AIRE CALIENTE

Para lograr el secado del arroz, utilizamos aire caliente que fluye transversalmente al arroz, **produciéndose** de esta manera un intercambio de calor y de masa entre ambos, pasando el agua contenida en el arroz al aire.

Para que esto suceda, el aire de secado debe estar a mayor temperatura que el medio ambiente para tener un mayor porcentaje de **saturación** de humedad y de esta manera **facilitar** el secado del grano. La temperatura del aire debe ser mantenida bajo un cierto valor **máximo** dependiendo del uso del grano a secar, debiendo estar entre 40 y **50°C** (*ref. 4*). El efecto de la temperatura está asociado con el tiempo de **exposición**, a mayor temperatura, mayor velocidad

de secado. Excesivas velocidades de secado o altas temperaturas pueden causar daños físicos y químicos al grano. De hecho, no es la temperatura en sí misma la que provoca que el grano se agriete, cuando se emplean flujos de aire excesivamente calientes, sino la rapidez con la cual la humedad del grano de arroz es retirada, lo cual produce que el interior del grano se someta a tensiones internas que pueden llegar a producir fisuras en el mismo (*ref. 3*).

Para efecto de no contaminar el medio ambiente se recomienda inducir el flujo de aire caliente mediante un ventilador de presión negativa, con lo cual se logra encausar el polvo únicamente por la salida del ventilador, pero para este caso se requiere que el ventilador produzca mayor caída de presión. Otra opción es utilizar un ventilador de presión positiva, calentando el aire a la entrada del mismo, con esto se logra que todo el caudal de aire que pasa por el ventilador reciba energía del quemador. En nuestro secador se realizan las pruebas de las dos maneras, con flujo inducido y con flujo forzado.

Para lograr un correcto secado del grano de arroz en cáscara, es necesario conocer la cantidad de aire necesaria y la cantidad de energía que es necesario adicionarle para mantener la temperatura adecuada para el secado. Todos estas condiciones del aire de secado dependen de gran manera de las condiciones atmosféricas y de la rapidez con la cual se va llevar el proceso.

El **procedimiento** a seguir comienza con conocer la cantidad de agua que va a ser retirada del grano de arroz. Considerando que el arroz puede llegar a tener 24% de humedad en los meses de invierno (ver tabla B.5) y para su **almacenamiento** se requiere que contenga el valor **máximo** de **14%**, tenemos que:

Si en un comienzo tenemos un 24% de humedad, esto significa que el 76% es materia seca, después del secado, la cantidad de materia seca permanece constante, variando solamente la cantidad de agua contenida en el grano, el cual **tendrá** ahora una masa final de X, por lo que en la tabla se expresan las relaciones de masa en **función** de X.

	%	Unidad de H_2O + Unidad de materia seca = total de unidades		
Inicial	24	0,24	0,76	1
Final	14	0,14X	0.76	X

$$0,14X + 0,76 = X$$

$$X = 0,884 \text{ unidades de } \mathbf{arroz} \text{ seco}$$

Si antes de secar teníamos 1 unidad, una vez seco tendremos 0,884 unidades , lo cual nos expresa que se han eliminado 0,116 unidades de agua.

	%	Unidad de H_2O + Unidad de materia seca = total de unidades		
Inicial	24	0,24	0,76	1
Final	14	0,124	0,76	0,884

cantidad de agua eliminada : 0,116

Si la cantidad de arroz en cáscara a secar es 2000 Kg, tenemos que la cantidad total de agua que se va a retirar es **de**:

$$2000 * 0,116 = 232 \text{ Kg } H_2O$$

Si todo este proceso se lleva a cabo **en 6 horas, el flujo másico** de agua **será**:

$$\dot{m} = 232 \text{ Kg } H_2O / 6 \text{ horas}$$

$$\dot{m} = 38,66 \text{ Kg } H_2O / \text{hora}$$

Agua a retirar	$\dot{m} = 0,65 \text{ Kg } H_2O / \text{min}$
----------------	--

Conociendo **la** cantidad de agua que tiene que ser retirada del grano de arroz, se debe calcular la cantidad de aire necesario para que pueda absorber el agua del mismo.

Teniendo la temperatura ambiente promedio de $26^\circ C$ ($79^\circ F$) y humedad promedio de **80%**, **recorrimos** a la tabla **Psicométrica**, donde obtenemos el contenido de humedad del aire a esa temperatura y el valor de **saturación** cuando ha sido calentado (Ver **apéndice C**).

Humedad entrada	$C.H_E = 0,0175 \text{ lb H}_2\text{O} / \text{lb aire seco}$
-----------------	---

Humedad salida	$C.H_S = 0,0196 \text{ lb H}_2\text{O} / \text{lb aire seco}$
----------------	---

Conocidos los contenidos de humedad a la entrada y a la salida del silo secador podemos calcular el volumen de agua que se **retira** en **relación** al **volumen** de aire **que** circula.

$$\text{Cantidad de H}_2\text{O absorbida} = C.H_S - C.H_E$$

$$\text{H}_2\text{O absorbida} = 0,0196 - 0,0175$$

$$\text{H}_2\text{O absorbida} = 0,0021 \text{ lb H}_2\text{O} / \text{lb de aire seco}$$

$\text{H}_2\text{O absorbida} = 0,0021 \text{ Kg H}_2\text{O} / \text{Kg de aire seco}$

Si se retiran $0,65 \text{ Kg H}_2\text{O} / \text{min}$, entonces el flujo de aire seco necesario es de:

$$m = 0,65 [\text{Kg H}_2\text{O} / \text{min}] / 0,0021 [\text{Kg H}_2\text{O} / \text{Kg aire seco}]$$

flujo de aire seco	$\dot{m} = 309,52 \text{ Kg aire seco} / \text{min}$
--------------------	--

$$Q = m / \rho_G$$

$$Q = 309,52 [\text{Kg} / \text{min}] / 1,23 [\text{Kg} / \text{m}^3]$$

Caudal de aire seco $Q = 251,65 \text{ m}^3 / \text{min}$
--

El siguiente paso es elevar la temperatura de este caudal de aire desde la temperatura **atmosférica** hasta la temperatura de secado, para lo cual se puede utilizar un quemador a gas o a diesel, en nuestro caso se utiliza un quemador a gas, el mismo que nos provee la **suficiente energía calorífica** para calentar el aire hasta la **temperatura** de secado.

4.1.4 SISTEMA DE ALIMENTACION

Para que el transportador **neumático funcione** correctamente es necesario entregarle la carga que va a transportar de manera dosificada, para de esta manera evitar **taponamientos** en los **ductos** por exceso de material.

Para lograr esto **es necesario** de un sistema de **alimentación** del transportador, siendo en nuestro caso una **Zaranda** y una Esclusa **dosificadora**.

La Zaranda es un mecanismo que nos permite dosificar la cantidad de material que pasa a la esclusa, **además** de soportar el **peso** del producto dentro del mismo, protegiendo la esclusa.

Las partes de la Zaranda son :

- 1.- Rejilla fija
- 2.- Rejilla **móvil** con movimiento lineal alternativo
- 3.- Mecanismo biela - manivela
- 4.- Motoreductor

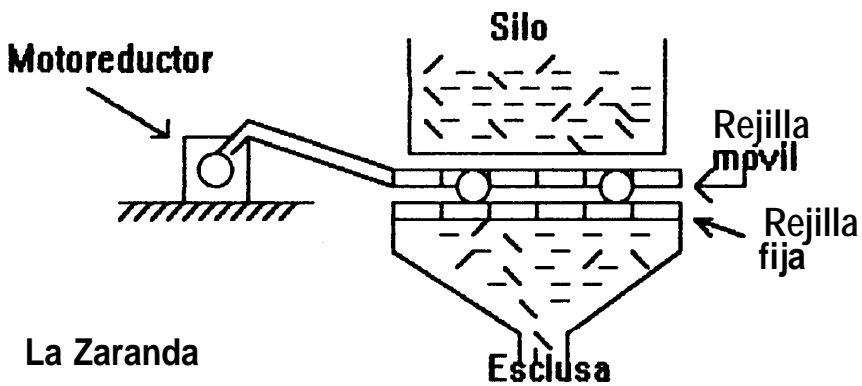


Figura 4.3 Partes de la zaranda

Este dispositivo debe permitir el mismo flujo de producto que la esclusa **dosificadora**, para de esta manera evitar los atoramientos en los **ductos** del transportador.

La Esclusa es un dosificador - transportador, ya que por su **construcción** se produce el movimiento de **sólidos** a velocidad controlada de un punto a otro, pero a la vez, nos permite dosificar la **alimentación** de material que entra en el transportador (*ref. 5*).

Otra **característica** que **diferencia** a la esclusa de un simple dosificador, es la **disminución** de la **diferencia** de **presión estática**

entre la entrada y la salida, evitando de esta manera fugas de aire del **transportador** a **través** de ella.

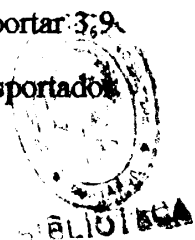
Las esclusas se pueden clasificar **según** las condiciones a las cuales trabaja, pudiendo ser:

- Esclusa presurizada
- Esclusa a **presión** atmosférica
- Esclusa en vacío

La esclusa con la que cuenta nuestro secador de arroz es una Esclusa presurizada, ya que **está** en contacto directo con el transportador **neumático**.

Dado que esta en contacto con material muy abrasivo, como lo es el arroz y en un ambiente muy corrosivo por el alto porcentaje de humedad del arroz, se deben escoger los materiales adecuados para su **construcción**, como por ejemplo, al acero inoxidable **ferrítico**, que presenta buena resistencia **mecánica**, moderada ductilidad, excelente resistencia a la **corrosión**, una moderada **conformabilidad** y son relativamente baratos, de esta manera se garantiza un largo ciclo de funcionamiento, con el menor mantenimiento posible, bajo severas condiciones de trabajo (*ref.* 7).

La esclusa instalada en el secador esta diseñada para **transportar 3,9**
dm³/rev, por lo cual, para estar sincronizada con el **transportador**



neumático existente, la velocidad del rotor debe ser de **3 1,2 rpm para** así obtener el flujo de **4,4 Ton/h** de arroz (*ref. 5*).

Siendo la esclusa un elemento muy **versátil**, es posible variar la cantidad de material que pasa por ella, **cambiándole** la velocidad del rotor, teniendo como **límite** la velocidad de 60 rpm, por razones de **diseño** (*ref. 5*).

Como en el comercio no se consiguen motoreductores **con** velocidades **fraccionarias**, se ha **hecho una aproximación**, por lo que se trabaja a 32 rpm.

4.1.5 SILO DE ALMACENAMIENTO

El Silo de **Almacenamiento** sirve, como lo indica su nombre, para **almacenar** el arroz una vez que haya sido secado en el Silo Secador. Cabe indicar que para que un Sistema de Secado sea rentable debe tener un Silo Secador y varios Silos de Almacenamiento, ya que en el caso del arroz, se tienen picos de cosecha que duran de 45 a 60 días por semestre (*ref.10*), lo cual hace necesario una buena capacidad de recibo, secado y **almacenamiento** a fin de tener materia prima suficiente para mantener en continua actividad al molino o para comercializarlo.

Este Silo es **básicamente** un recipiente en el cual se deposita el arroz una vez seco, consta en nuestro caso particular de un piso inclinado para **facilitar** el vaciado del Silo, además tiene un tubo interior que está perforado para permitir que el aire caliente pueda salir al ambiente. Para **almacenar** el arroz por largos **períodos** de tiempo se hace **necesario instalar** un sistema de **circulación** del grano para evitar que **aparezcan** insectos u hongos.

4.1.6 TABLERO DE CONTROL

Cuando una maquinaria tiene varios mecanismos que trabajan en **coordinación** para cumplir con una **función específica**, es recomendable **centralizar** todos los mandos en un tablero de control. En un tablero de control se encuentran elementos de mando, los cuales son seleccionados según las **características** de los elementos de fuerza a los **que** se van a controlar.

Considerando la potencia de los motores utilizados para accionar los **diferentes** mecanismos utilizados para secar el grano de arroz, dirigiéndonos por la corriente de placa de cada uno de ellos, se **procede** a seleccionar los conductores, pulsadores, contactores y protecciones **térmicas** apropiadas para arrancar y poner en funcionamiento el Silo Secador.

En total son cuatro motores que son accionados para **proceder** al secado del arroz, siendo **éstos** los siguientes:

A) Ventilador del transportador **neumático** (motor # 1):

Potencia : 1,5 Kw
Velocidad : 3400rpm
I nominal : 6 A m p
V nominal : 220 Volt.
Cable Nr. : 12
Contactador : 9 Amp / 220 Volt
Protec. Térm. : 4 - 6 Amp

B) Esclusa dosificadora (motor #2):

Potencia : 1.1 KW
Velocidad : 1680 rpm
I nominal : 5 Amp
V nominal : 220 Volt. **trifásico**
Cable Nr. : 12
Contactador : 9 Amp / 20 Volt
Protec. Térm. : 4 - 6 Amp

C) Zaranda (motor #3):

Potencia : 0.18 Kw
Velocidad : 1660 rpm

I nominal : 1.1 Amp
 v nominal : 220 Volt. **trifásico**
 Cable Nr. : 14
 Contactor : 9 Amp / 220 Volt
Protec. Térm. : **1,6 - 2,5 Amp**

D) Ventilador para flujo de aire caliente (motor #4):

Potencia : 7,36 KW
 Velocidad : 1730rpm
I nominal : 28 Amp
 v nominal : 220 Volt. **trifásico**
 Cable Nr. : 10
 Contactor : 32 Amp / 220 Volt
 Protec. **Térm.** : **28 - 52 Amp**

E) Quemador

V : 110 Volt.

La **selección** de los contactores, protecciones **térmicas** y calibres de los cables se las hizo en base de tablas **suministradas** por los fabricantes de los mismos.

La temperatura es un **parámetro** muy importante que debe ser controlado en secador de granos, considerando que una temperatura

del aire de secado muy baja produciría una velocidad de secado igualmente baja, en cambio, una temperatura muy elevada nos **producirá** agrietamiento del grano de arroz. Los niveles de temperatura deben mantenerse entre los 40 y 50 °C.

4.2 IMPORTANCIA DE LAS PRUEBAS EN VACIO

Una vez que los diferentes mecanismos **están** acoplados, hacemos las pruebas en vacío para comprobar si es que realmente se alcanzan los **parámetros** de **diseño** adoptados para la **construcción** del equipo. Estos tipos de pruebas son indispensables antes de poner en funcionamiento una maquinaria, puesto que nos permiten detectar errores sin **perjudicar** la materia prima que va a ser **transformada** en **ella**, en nuestro caso, esta materia prima es el grano de arroz en **cáscara recién** cosechado.

En un Secador de Arroz el **parámetro** mas **importante** a controlar es la temperatura de **entrada** del aire, si ésta es muy elevada, el grano puede partirse o quemarse en el peor de los casos, por tanto es recomendable controlar de igual manera **la** humedad final del arroz **después** del secado. Es muy importante **también** la **circulación** del arroz, lo cual esta a cargo del transportador **neumático**. Todos los diferentes mecanismos que **conforman** el secador son accionados por motores **eléctricos**, los cuales deben estar correctamente dimensionados.

En los siguientes subcapítulos se explica detalladamente el control de estos **parámetros** y las pruebas que se **realizarán** para lograr este **propósito**.

4.3 DESCRIPCION DE LAS PRUEBAS

Antes de **realizar** las pruebas debemos **preparar** el equipo con el cual se van a controlar los **parámetros** de temperatura, **presión** y corriente, para luego acoplarlos al Silo Secador, en sitios convenientes, como se muestra en los **esquemas correspondientes**. Las pruebas se **llevarán** a cabo de dos **maneras**.

La primera es induciendo el flujo del aire de secado, es decir, el ventilador extrae el aire de secado, el cual es calentado en el **ducto** de entrada al Silo Secador.

La segunda manera es **forzando** el flujo de aire caliente a entrar al Silo Secador instalando el ventilador en el **ducto** de entrada al Silo y el aire **será** calentado por un quemador a gas a **la** entrada al **ventilador**.

A **continuación** se describe el **procedimiento** de **las** pruebas a realizadas:

1.- Ubicación de las **termocuplas** en **la** entrada y a la salida del aire de secado y en el interior del Silo Secador.

2.- **Conexión** de un **manómetro** en la entrada y a la salida del aire de **seca-**

do en el Silo Secador.

3. - Acople de dos **manómetros** en el **ducto** del transportador **neumático**, uno antes y otro **después** de la esclusa **dosificadora**.
- 4.- Registro de peso inicial del cilindro de gas.
- 5.- **Lubricación** de las partes que **estarán** en movimiento, **tales** como la zaranda, los cojinetes de la esclusa **dosificadora** y de los ventiladores.
- 6.- **Verificación** de **que** la **válvula** direccional en el transportador **neumático** dirija el flujo hacia el Silo de Secado.
- 7.- Puesta en **funcionamiento** de la zaranda y **medición** la corriente de arranque y la nominal.
- 8.- Arranque del transportador **neumático** y medición la corriente de **arranque** y la nominal.
- 9.- Repetir el paso 8 con el ventilador del aire de secado del sistema de flujo transversal de aire.
- 10.- Encendido del quemador de gas y toma de lecturas de las temperaturas en los puntos indicados cada **15** segundos, hasta que se **estabilize** el sistema.
- 11.- **Registro** de las lecturas de **presión** en los puntos indicados.

4.4 EQUIPO UTILIZADO

- Termocuplas tipo J

- Balanza **mecánica** de 50 Kg.

- **Manómetros** de **baja presión**

- Amperímetro de gancho 0 - 100 Amp.

4.5 PARAMETROS A CONTROLAR

Los **parámetros** a controlar son esencialmente dos: Temperatum y Caída de **Presión**, **además** de **medir** la corriente de arranque y de **funcionamiento** de los 4 motores Que accionan al silo secador. El control de estos **valores** se los debe **hacer** en **diferentes** partes Silo, para proceder a calcular valores **promedios**, lo cual se detalla a continuación :

- 1.- Temperatum del aire de secado a la entrada y salida del Silo.

2. - Temperatura dentro del Silo de Secado.

3. - Temperatura del aire en el transportador **neumático**.

- 4.- **Presión estática** dentro del Silo Secador.
- 5.- **Caída** de presión entre la **entrada** y salida del transportador.
- 6.- Caudal de Aire de Secado.
- 7.- Tiempo de **estabilización** de temperaturas.
- 8.- Corriente de arranque y de **funcionamiento** de los motores **eléctricos**.

4.6 RESULTADOS Y **ANÁLISIS** EXPERIMENTAL

En base a la prueba de temperatura realizada con flujo inducido del aire de secado observamos que la temperatura del aire a la entrada del Silo Secador se eleva a 150° C en apenas 2 minutos y se requiere de 3 minutos **más** con el quemador apagado para que descienda a 55° C.

Dentro del Silo Secador la temperatura llega a 100°C transcurridos dos minutos con el quemador encendido y se requiere de 3 minutos para que disminuya a 39° C.

La temperatura del aire en el transportador no se afecta, manteniéndose al valor ambiental de 34° C.

El consumo de gas del quemador es de aproximadamente 2.5 Kg / h.

En la segunda prueba realizada con flujo **forzado** del aire de secado, observamos que la temperatura a la entrada del silo secador se estabiliza a los 2 1/2 minutos a la temperatura de aprox 43 °C, sin necesidad de apagar el quemador para mantener la temperatura.

La Temperatura a la salida del silo secador se alcanza el valor de 36.5 °C y dentro del silo se llega a los 39.6 °C.

En el transportador **neumático** no se mide **variación** de temperatura, manteniéndose esta **prácticamente** al valor de aire del exterior.

El consumo de gas se mantiene en aproximadamente **2,5 Kg** /hora.

De los valores de **presión** observamos que el sistema se estabiliza aproximadamente a los 30 segundos.

La **caída** de **presión** en el transportador **neumático** es de 2030 Pa entre el punto donde ingresa el arroz y el **final** de la línea.

En el Silo Secador no se produce gran **caída** de presión, **alcanzándose** apenas el valor de 72 Pa **entre** la entrada y la salida del aire de secado.

Los motores **eléctricos** trabajan a niveles correctos de corriente, **tomándose** como referencia el valor de corriente nominal de placa

Analizando los valores de temperatura cuando el flujo de aire es inducido vemos que a la entrada del Silo el arroz va a estar expuesto a una

El quemador consume 2.5 Kg / h de gas, lo cual si se considera que el arroz necesitará aproximadamente 6 horas para secarse (*ref. 5*) tendremos un consumo de 15 Kg para cada carga de arroz en cáscara húmedo.

CAPITULO v

ANALISIS ECONOMICO

5.1 ANALISIS DE COSTOS

Entre los materiales y equipos utilizados para la construcción del Secador tenemos* :

SILO SECADOR

Materiales:

Perfil c 100x50 x 3 mm

Perfil C 80x40 x 3 mm

Plancha Negra 1,22 x 2,44 m x 1mm

Plancha negra 1,22 x 2,44 m x 2 mm

Electrodos de Soldadura E6011

Perfil L 45 x 45 x 3 mm

Pernos

. al 30 de Julio de 1994

Pintura Anticorrosiva

Cámara refractaria

Total materiales 2'550.000,00

Mano de obra 3'800.000,00

Valor : 6'350.000,00

Equipos:

Ventilador **Centrífugo**

Caudal: 280 **m³ / min** (10.000 CFM)

Presión : 2500 Pa

Potencia del motor 10 kW

Valor : 5'000.000,00

Motoreductor

Potencia : **0,18** kW

Velocidad motor 1660 **rpm**

Relación de velocidades **1:40**

valor : 350.000,00

Quemador

Combustible : gas propano

Consumo : 4 Kg / h

Valor : 1'200.000,00

Total Silo Secador	12'900.000,00 sucres
---------------------------	-----------------------------

SILO DE ALMACENAMIENTO

Materiales :

Plancha galvanizada 1,22 x 2,44 m x 2 mm

Plancha negra 1,22 x 2,44 m x 2 mm

Plancha negra 1,22 x 2,44 x 4 mm

Platina 50 x 5 mm

Pernos

Electrodos de soldadura E6011

Pintura anticorrosiva

Total materiales	2'600.000,00
-------------------------	---------------------

Mano de obra	2'000.000,00
--------------	---------------------

valor :	4'600.000,00
----------------	---------------------

Total Silo de almacenamiento	4'600.000,00 Sucres
-------------------------------------	----------------------------

TRANSPORTADOR NEUMATICO Y ESCLUSA DOSIFICADORA**Materiales:****Plancha galvanizada 1,22 x 2,44 m x 1 mm****Codos 80 x 1 x 90°****Codo 80 x 1 x 45°****Válvula direccional****Pernos****Total materiales 280.000,00****Mano de obra 120.000,00****Valor : 300.000,00****Equipo****Esclusa dosificadora****Volúmen de dosificación : 490 cm³****Número de dosis por revolución : 8****Valor : 1'300.000,00****Motoreductor****Potencia : 1,1 kW****Velocidad motor 1200 rpm****Relación de velocidades 1:40**

valor : **430.000,00**

Ventilador **Centrifugo**

Caudal: **2.8 m³ / min (100 CFM)**

Presión : 10.000 Pa

Potencia del motor 8 kW

Valor : **3'300.000,00**

Total Transportador y esclusa	5'330.000,00 sucres
-------------------------------	----------------------------

TABLERO DE CONTROL

Contactores

Protecciones **térmicas**

Pulsadores de arranque

Pulsadores de paro

Parada de emergencia

Válvula de globo

Cable Nr. 14

Cable Nr. 12

Cable Nr. 10

Barra de Cobre

Acometida de **energía**

Tubo galvanizado de 1/2"

Tubo PVC 1/2"

Tubo PVC 3/4"

Armario

Total materiales	1'439.000,00
Mano de obra	500.000,00
Valor	1'939.000,00

Total Tablero de control	1'939.000,00sucres
--------------------------	--------------------

El valor total del secador es igual a la suma de los valores de sus distintas partes, lo cual nos da **24'769.000,00** Sucres.

A este **cifra** le agregamos un **10%** por **imprevistos**, dando el valor **final** de 27'245.900 sucres.

Valor Total del Secador	27'245.900,00 Sucres
--------------------------------	----------------------

relleno	400.000,00
valor del patio encementado	1'300.000,00
elementos de trabajo	500.000,00

TOTAL 2'300.000,00 Sucres

La **operación** de secado puede durar entre uno o dos días, dependiendo de la intensidad del sol, y de las horas de sol en el día.

En la tabla B.3 vemos que la cantidad **máxima** diaria de horas de sol es 12H, pero de todas esas horas, apenas unas pocas son de fuerte **insolación**. Según los datos de la tabla B.4, estas horas fluctúan entre 1.18 en el mes de octubre y 2.92 en el mes de **marzo***.

Para efecto de simplificar los **cálculos** se **asumirá** que durante el día se tiene 10 horas de sol y que se **requiere** de día y medio **para** el secado y medio día para el manejo del grano, el costo se debe solo a la mano de obra utilizada, **que es de un hombre** :

Mano de obra 30.000,00 Sucres (20 horas)

Con este ritmo, trabajando de lunes a **sábado**, el tendal tiene **una** capacidad **máxima** de secado de 300 sacos semanales **equivalentes** a 6 Toneladas de **arroz en cáscara** a un costo de 300 sucres por saco.

* según la zona donde este ubicada

Este valor obtenido es muy fluctuante porque depende de la naturaleza.

Al tener un Silo Secador, la **inversión** inicial es mayor, pero se recupera por el aumento de **producción**. Los costos se desglosan de la siguiente manera:

Base de concreto	300.000,00
Silo Secador	27'245.900,00
Elementos de trabajo	100.000,00
TOTAL	27'645.900,00 Suces

Se ha calculado que el tiempo de secado en el silo es de aproximadamente **6 horas, sin** mayor influencia de las condiciones **atmosféricas**. Si el secador se encuentra en buenas condiciones de **funcionamiento**, este puede trabajar de manera autónoma, **necesitándose**, solamente, de inspecciones **rutinarias** para **verificación** de la temperatura en el interior del silo. Esto implica que no es necesario tener un hombre permanentemente durante la operación de secado, solo será **necesario** durante el llenado y el vaciado del silo.

Los costos de operación del silo van a depender del consumo de gas y del consumo de energía **eléctrica**.

El consumo de gas es de **15 Kg** para toda la operación de secado, lo cual nos da el valor aproximada de **4.000,00** suces.

El consumo de energía **eléctrica** es, tomando el valor del kilovatio-hora a 270,00 Suces, tenemos :

Motor ventilador :	7,36 Kw * 6 horas	11 .923,20
Motor soplador	1.47 Kw * 6 horas	2.381,14
Motor zaranda	0.18 Kw * 6 horas	291,60
Motor esclusa	1.10 Kw * 6 horas	1.782,00
	Total :	16.377,94 Suces

La mano de obra utilizada es de un hombre, el cual a pesar que no va a trabajar constantemente con el secador, lo consideramos de esta manera :

Mano de obra 9.000,00 Suces (6 horas)

Sumando el valor del gas y de la **energía eléctrica** consumida y de la mano de obra **utilizada** y dividiendo para el numero de quintales secados, nos da un costo de 294,00 Suces (**Apéndice D**).

Si se trabaja al ritmo de dos jornadas por día, seis **días** a la semana, tenemos que nuestra **producción** es de 24 **Ton.de** arroz o 1.200 sacos

De los valores obtenidos observamos que el aumento de **producción** de arroz en **cáscara** seco es del 400% y que además el precio a disminuido **2%**, en comparación con el **método** de tendal-

Siempre que se quiere ampliar las instalaciones de una **planta**, por muy **pequeña** que sea, se **debe** estudiar la rentabilidad del proyecto. De esta manera se **sabr**á si la **inversión** va a ser ventajosa para la persona o **compañía** que la va a invertir el capital.

Una de las maneras de calcular la rentabilidad de un proyecto es obtener la Tasa Interna de **Retorno** (**TIR**), cuyo criterio evalúa el proyecto en **función** de una única tasa de rendimiento por **periodo**, con la cual la totalidad de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos (*ref. 19*).

Otra **definición** es, “la **TIR** representa la tasa de **interés más** alta que un inversionista podría pagar sin perder dinero, si todos los fondos para el financiamiento de la **inversión** se tomaran prestados y el **préstamo** (principal e **interés** acumulado) se pagara con las entradas en **efectivo** de la **inversión** a medida que se **fuesen** produciendo”. Aunque esta es una apreciación muy particular (no incluye los **conceptos** de costo de oportunidad, riesgo, ni **evaluación** del contexto de la empresa en conjunto), ella sirve para aclarar la **intención** del criterio (*ref. 19*).

Para encontrar la TIR de nuestro proyecto, desarrollamos una tabla de ingresos, egresos y saldos no recuperados aplicando diferentes tasas de retorno, asumiendo una **producción** inicial del 50% de la capacidad considerando que se trabaje una **jornada** diaria, hasta que el saldo no recuperado se baga cero. Si con los valores de la tasa de retorno asumidos se **consigue** que el saldo no recuperado tienda a cero, entonces mediante una **interpolación** lineal obtenemos el valor exacto de la TIR (*ref. 18*).

Tabla 5.1 : Costos de secado

	TENDAL	SILO SECADOR
Inversión inicial	2'300.000,00	27'645.900,00
Prod. semanal en sacos	300,00	1.200,00
Egreso semanal	9'000.000,00	36'000.000,00
Costo secado semanal	90.000,00	352.535,28
Costo secado por sacco	300,00	294,77
Ingreso semanal	10'500.000,00	42'000.000,00
Ganancia semanal	1'410.000,00	5'647.464,72
Ganancia por sacco	4.700,00	4.706.22

- valores en Suces

Calculando la **recuperación** a tres meses de la **inversión**, aplicamos una tasa de retorno de %% anual, que **pasándola** a valor mensual es de **8%**, obtenemos la tabla 5.2

Con un **TIR** de 96% obtenemos saldo a favor de **S/. 1'841.984** , es decir hemos tenido ganancia, lo que implica que debemos calcularlo con un **interés** mayor.

En la tabla 5.3 calculamos con un **interés** de retorno del 120% y observamos como al aumentar la **TIR**, disminuye el saldo a favor. Si escogemos un **interés** muy alto, ya no tendremos saldo a favor, sino **tendre-**

Tabla 5.2 : Saldo no recuperado utilizando una tasa de retorno de 96%

(1)	(2)	(3)=0.08*(2)	(4)	(5)=(4)-(3)	(6)=(2)-(5)
Mes	saldo no recuperado al comienzo	Intereses sobre saldo no recuperado	Flujo de caja	Remoción del saldo no recuperado	Saldo no recuperado al finalizar
0			-27'645.900		-27'645.900
1	27'645.900	2'211.672	11'294.929	9'083.257	-18'562.643
2	17704.443	1'485.011	11294.929	9'809.918	-8752.725
3	8752.725	700.218	11294.929	10'594.711	+1'841.984

Tabla 5.3 : Saldo no recuperado utilizando un retorno de 120%

(1)	(2)	(3)=0.1*(2)	(4)	(5)=(4)-(3)	(6)=(2)-(5)
Mes	Saldo no recuperado al comienzo	Intereses sobre saldo no recuperado	Flujo de caja	Remoción del saldo no recuperado	Saldo no recuperado al finalizar
0			-27'645.900		-27'645.900
1	27'645.900	2764.590	11294.929	8'530.339	-19'115.561
2	19'115.561	1911.556	11294.929	9383.373	-9732.118
3	9732.118	973.212	11294.929	10'321.717	+ 589.599

mos saldo no recuperado, es decir, que no **habrá** dinero para pagar la inversión, siempre que se lo quiera hacer en el plazo de los tres meses tomados para el **cálculo**.

Como los valores de la tasa interna de retorno no nos dan un retorno total, podemos interpolar los **resultados** para obtener el **TIR** exacto (*ref.* 18):

Tabla 5.4 : Tasa interna de retorno

TIR	Saldo recuperado
X	0
120%	589.599
96%	1'841.984

$$x = 120 - [[(120-96) / (589.599 - 1'841.984)] * 589.599]$$

$$x = 131.3 \%$$

El valor obtenido nos dice que nuestra **TIR** es de 131.3 %, es decir que nuestra inversión **podrá** ser pagada en tres meses pagando un **interés máximo** de 131.3% anual.

Si se considera que la banca privada concede préstamos con intereses que fluctúan entre el 45 y 65 % y la TIR es de 131.3%, se tiene que el invertir en el silo secador es rentable porque al ser la tasa interna de retorno del proyecto mayor que la tasa de interés que cobran los bancos privados en sus préstamos, los ingresos van a ser mayores que los egresos, es decir, vamos a tener ganancia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Mediante este trabajo se ha cumplido con el objetivo planteado por **esta** tesis, el cual es evaluar el Silo Secador construido en los patios de la ESPOL y hacer el **diseño complementario** del transportador neumático.

Basándose en el **análisis** experimental, se ha llegado a **las** siguientes conclusiones:

- 1.- El Silo Secador **está** en capacidad de secar arroz, ya que la temperatura del aire se mantiene dentro de los límites de temperatura permisibles para no **dañar al** grano, pero no **está** en capacidad de mantener un flujo **continuo** de **arroz**.
- 2.- El Silo Secador no se **encuentra** en condiciones de trabajar **continua** y **autónomamente** por existir problemas con el transportador neumático.
- 3.- De trabajar el Secador en las actuales condiciones se **producirán depósitos** de granos en los **ductos** del transportador **neumático**, el cual no cuenta con la suficiente presión para manejar la densidad de **sólidos** dispersos que proporciona la esclusa dosificadora.
- 4.- El transportador neumático instalado se **encuentra subdimensionado**, teniendo apenas un 20% de la capacidad mínima de **presión** requerida para transportar los granos de arroz hasta la parte superior del Silo de Secado.

- 5.- Los materiales utilizados para la **construcción** de la esclusa dosificadora no son los apropiados, se necesitan **materiales** resistentes a la **corrosión** y a la abrasión, ya que se trata con un producto muy delicado y de consumo **humano y que** va a estar sometido a controles de calidad muy exigentes.
- 6.- Los **cálculos** y ecuaciones utilizados son muy sencillas y aplicables para el dimensionamiento de transportadores **neumáticos** para **diferentes** productos granulares **pequeños**, dejando de esta manera abierta la posibilidad de Muras aplicaciones del equipo instalado en el Silo Secador.
- 7.- El **consumo** de gas es de 15 Kilos por cada ciclo de secado que dura 6 **horas**.
- 8.- El **flujo** del aire de secado debe ser introducido al silo por medio de un ventilador de **presión** positiva, no de **presión** negativa. El quemador debe **calentar el aire que ingresa al ventilador** , **el cual lo hace pasar a la campana** de ingreso del Secador.
- 9.- La temperatura **del aire** de secado alaentradadel silo secador es un poco **más** baja que la esperada, esto se **debe** a la longitud del **ducto de entrada del aire al silo**.
- 10.- La Tasa interna de retorno (13 1.3 %) **obtenida** muestra que es conveniente para las piladoras **invertir en la adquisición** de un Silo Secador en lugar de utilizar tendales. Es muy **importante** considerar las **demás** ampliaciones necesarios, **tales** como bodegas, silos de almacenamiento, capacidad de pilado, mercado donde ubicar el producto, que van a ser necesarias para el

eficiente servicio del Secador ya que la **producción** de arroz en cascara seco aumenta en un **400%**.

En base al **análisis** y a **la** experiencias obtenidas durante las pruebas en vacío, se han elaborado algunas recomendaciones para mejorar el funcionamiento del Silo Secador de arroz.

- 1.- **Se** debe reemplazar el ventilador instalado en el transportador **neumático** por un soplador que nos proporcione la **presión** y caudal requerido para el transporte del arroz ($134 \text{ m}^3 / \text{h}$; 10.000 Pa.).
- 2.- El material para la construcción de **la** esclusa debe ser resistente a la abrasión y a la corrosión, ya que a **través** de ella circula arroz con alto contenido de humedad y que no debe ser contaminado ni manchado. El material ideal para su **construcción** es el acero inoxidable o **aleación** resistentes de aluminio (*ref.* 16).
- 3.- No se debe utilizar para el eje del rotor de la esclusa bocines de bronce, ya que estos necesitan de lubricantes, los cuales pueden ingresar a la esclusa y contaminar los granos de arroz. Es recomendable utilizar rodamientos sellados.
- 4.- Utilizar dos o tres tanques de gas conectados a un distribuidor de **presión**,

en **las** pruebas realizadas se produjo **enfriamiento** de los mismos, lo cual se debe **al** elevado consumo de gas, el cual **al expanderse** absorbe calor del medio que lo rodea.

- 5.- Disminuir la longitud del **ducto** de entrada del aire de secado al silo, de esta manera las **pérdidas** de calor hacia el medio ambiente **serán** menores y aumentara la temperatura del aire a la entrada de la campana del silo.
- 6.- Como medida de seguridad se debe instalar un termostato en la campana de **ingreso** del Secador y calibrar para que encienda el quemador cuando la temperatura baje de 35°C y lo apague cuando llegue a los **45°C**, ahorrando de esta manera combustible y evitando **daños** al grano.
- 7.- El termostato debe **instalarse** en **la** entrada del **aire** de secado al silo. Para escoger su mejor ubicación se debe medir la **temperatura** en diferentes sitios de **la** campana de ingreso del **aire** al silo, de esta manera sabremos donde está la mayor temperatura, ya que **la** turbulencia generada **por** el cambio brusco de **sección** al pasar del **ducto** de ingreso a la **campana**, hace que la temperatura no sea **uniforme** en ella.
- 8.- Si se quiere almacenar los el arroz en cascara seco por largos **periodos** de tiempo es necesario instalar un sistema de **circulación** del grano para evitar que aparezcan insectos u hongos. Para apoyar al sistema se puede implementar otro sistema de transporte **neumático** para que haga circular el arroz desde la parte inferior del silo de Almacenamiento hasta la parte superior del mismo, semejante **al** que se **utiliza** en el silo secador.

APENDICES

APENDICE A**ESQUEMAS, TABLAS DE DATOS Y RESULTADOS
DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES EN VACIO**

LECTURAS DE PRESION

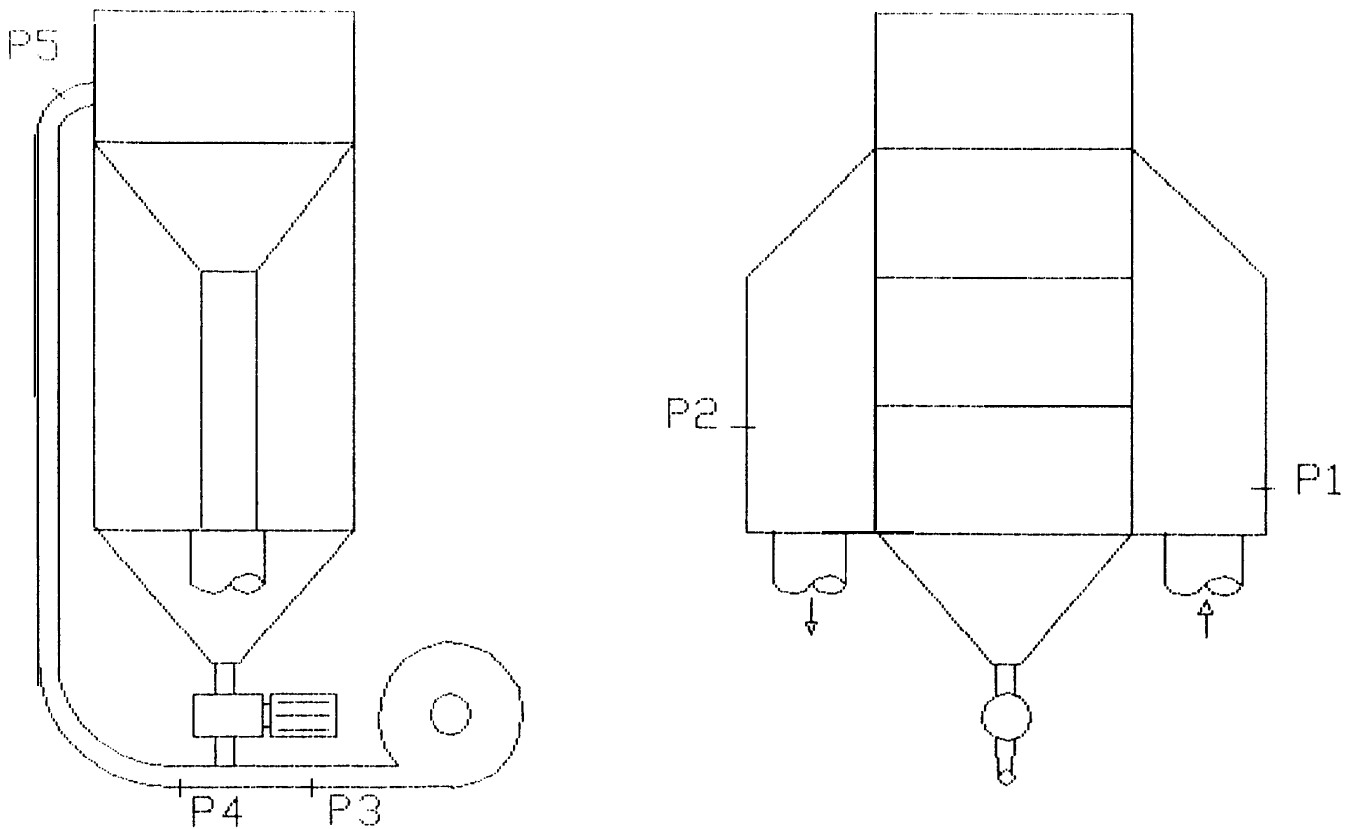


Figura A. 1 : Lecturas de presión

LECTURAS DE TEMPERATURA

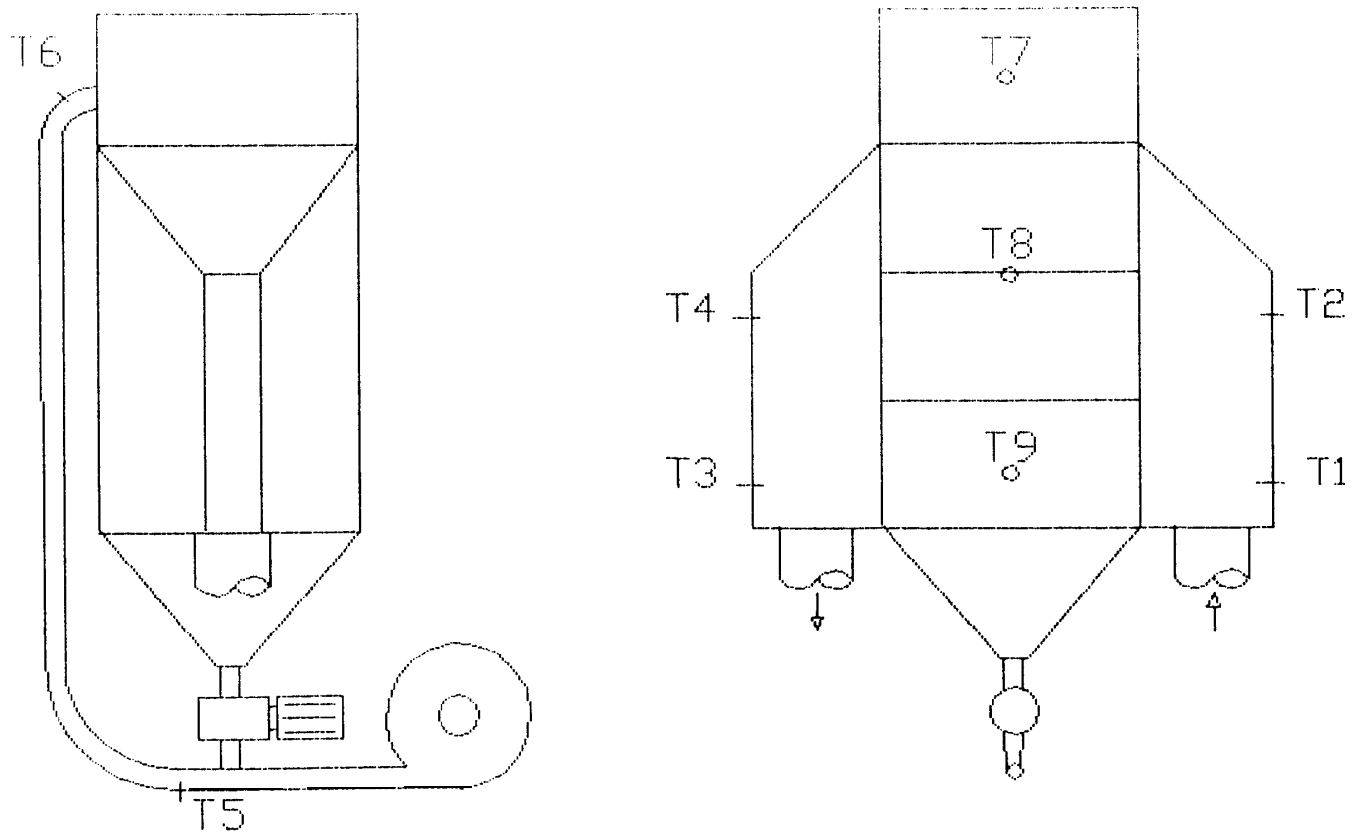


Figura A.2 : Lecturas de temperatura

Tabla A.1 : Valores de presión con aire de secado inducido

TIEMPO (segundos)	PRESION (Pa)								
	Aire de Secado (Inducido)				Aire del Transportador				
	Entrada	Salida				Inferior		Superior	
	P1	P2	P1	P2	P3	P4	P4-P3	P5	P5-P4
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	-50	-120	70	2250	2200	-50	180	-2020	
60	-50	-122	72	2300	2250	-50	220	-2030	
120	-50	-120	70	2300	2250	-50	230	-2020	

Tabla A.2 : Valores de presión con aire de secado forzado

TIEMPO (segundos)	PRESION (Pa)							
	Aire de Secado (Forzado)			Aire del Transportador				
	Entrada	Salida		Inferior			Superior	
	P1	P2	P1-P2	P3	P4	P4-P3	P5	P5-P4
0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	100	30	70	2250	2200	-50	180	-2020
60	100	30	70	2300	2250	-50	220	-2030
120	100	30	70	2300	2250	-50	230	-2020

Tabla A.3: Valores da temperatura con aire de secado inducido

TIEMPO (minutos)	TEMPERATURA (°C)													
	Quemador		Aire de Secado (inducido)						Transportador		Silo Secador			
	Apagado	Prendido	Entrada			Salida			Inferior	Superior	Superior	Media	Inferior.	
		T1	T2	Tp1	T 3	T4	Tp2	T5	T6	T7	T8	T9		
0	X		35	35	35	35	35	35	34	34	37	35	35	
1		X	100	103	101.5	72	72	72	34	34	72	95	70	
2		x	145	146	145.5	79	78	78.5	34	35	94	100	89	
5	X		55	55	55	38	38	38	34	34	34,	39	39	37

Tabla A.4: Valores de temperatura con aire de sacado forzado

TIEMPO	TEMPERATURA (°C)													
	Segundos	Quemador		Aire de Sacado (forzado)						Transportador		Silo Secador		
		Apagado	Prendido	Entrada			Salida			Inferior	Superior	Superior	Media	Inferior
			T1	T2	Tp1	T3	T4	Tp2	T5	T6	T7	T8	T9	
0	X		26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26	26.5	26.5	26.5	26.5	
15		X	33	33.2	33.1	29	28.8	28.9	26	26.5	30.8	31	30.8	
30		X	37.5	37.5	37.5	30.5	30.4	30.45	26	26.5	33.9	34	33.8	
45		X	40	39.8	39.9	31.9	32	31.95	26	26.5	35.8	36	35.8	
#		X	42	41.8	41.9	33	33.1	33.05	26	26.5	37.2	37.4	37.3	
75		X	43	43	43	34.3	34.3	34.3	26	26.5	38.5	38.6	38.5	
90		X	43	42.7	42.6	35.2	35.4	35.3	26	26.5	38.9	39	38.8	
105		X	43	43	43	35.4	35.7	35.55	26	26.5	39.2	39.3	39.1	
120		X	42.5	43	42.75	36.5	36.7	36.6	26	26.5	39.6	39.7	39.6	
135		X	42.8	42.8	42.8	36.6	36.5	36.55	26	26.5	39.6	39.7	39.6	
150		X	42.7	42.9	42.8	36.5	36.6	36.55	26	26.5	39.6	39.7	39.6	

Tabla A.5: Valores de corriente y consumo de gas

Consumo de corriente (Amp)		
	Prueba 1	Prueba 2
Motor ventilador	28	29.5
Motor transportador	6	6
Motor zaranda	1	1.1
Motor esclusa	5	4.9

Consumo de gas (Kg / h)		
	Prueba 1	Prueba 2
Quemador	2.5	2.45

APENDICE B**DIAGRAMAS Y TABLAS**

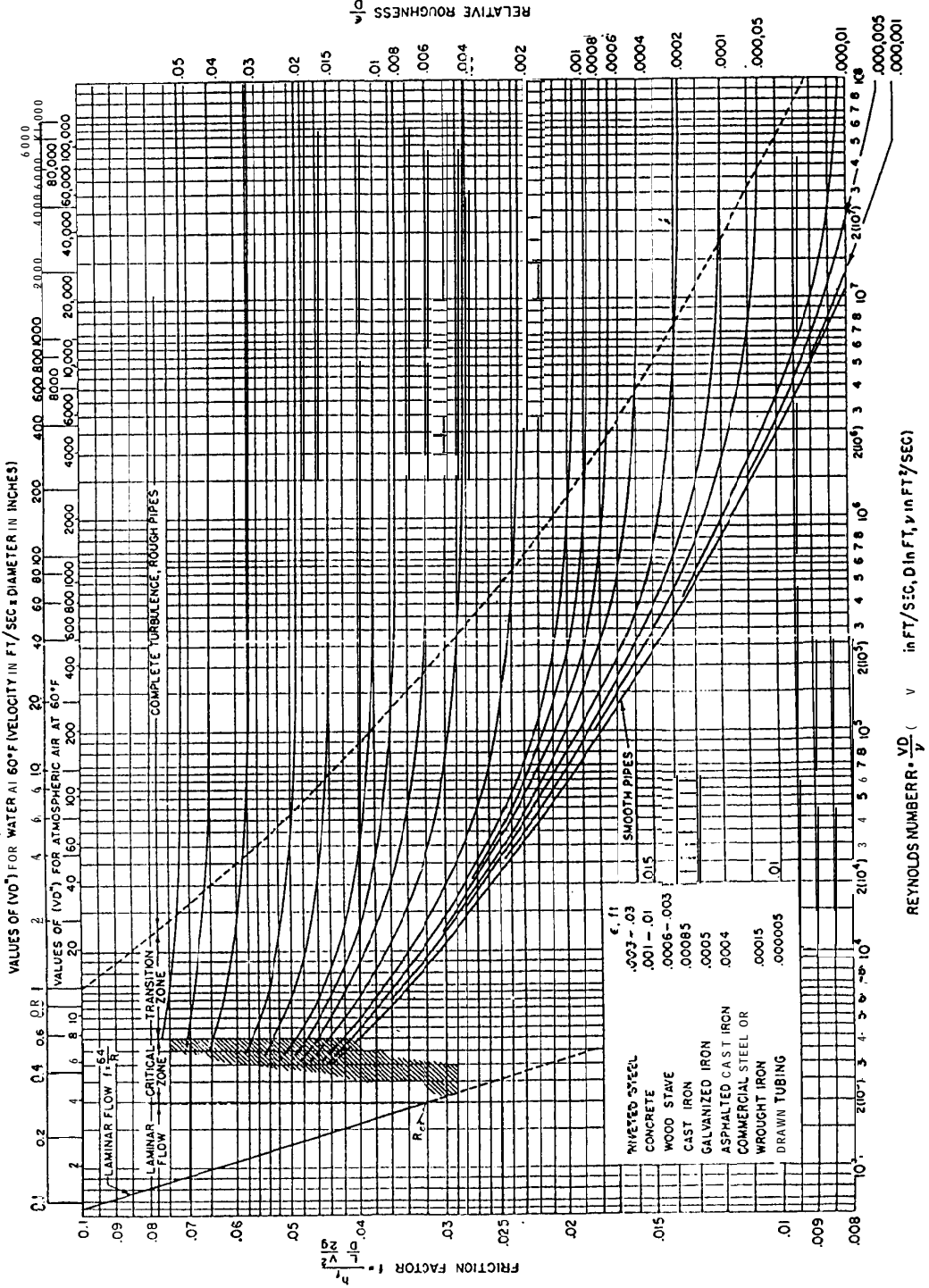


Figura B.1 : Diagrama de Moody (ref. 13, pag.. 5.22)

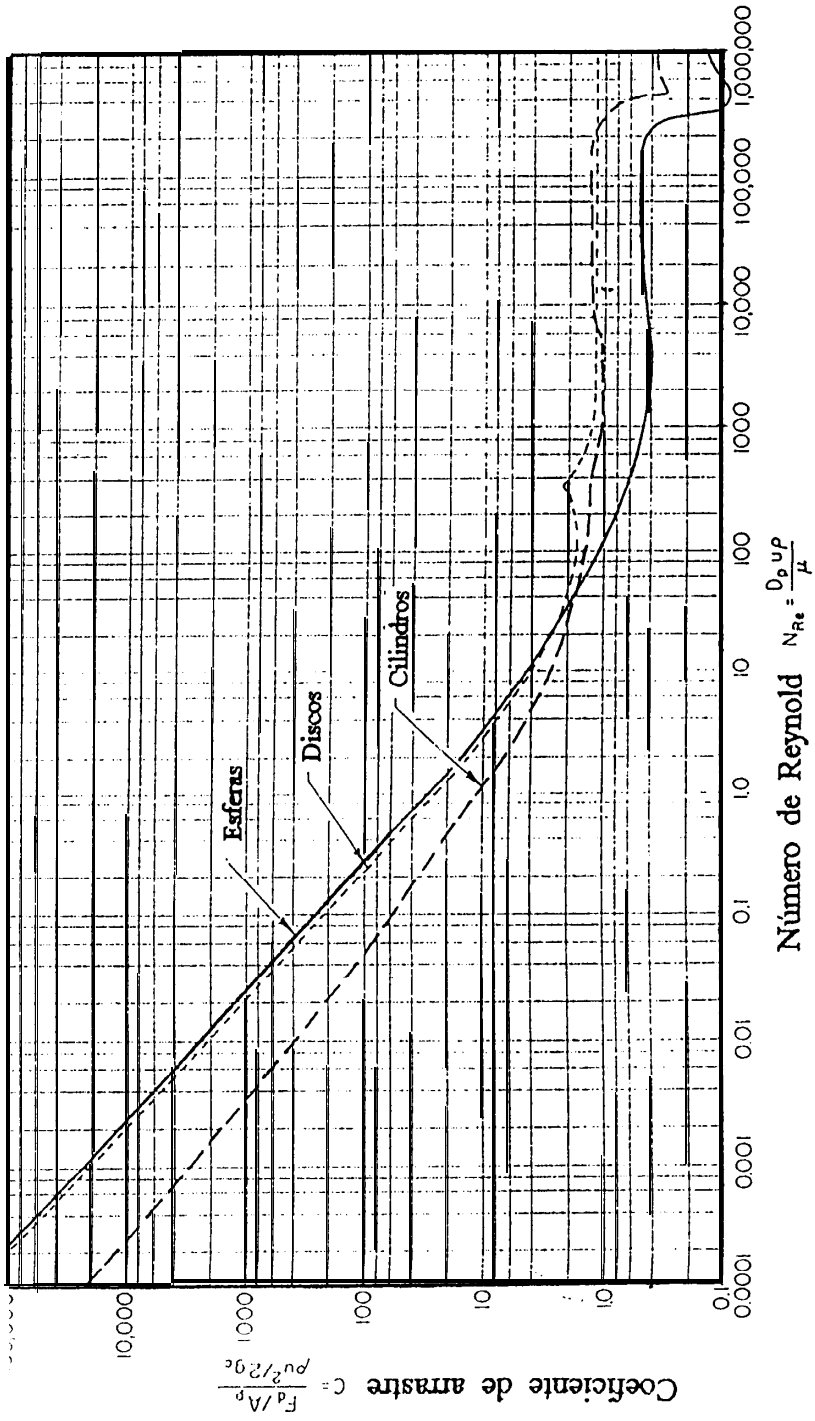


Figura B.2: Coeficiente de arrastre para una esfera, un cilindro y un disco (ref. 13, pág. 5.22)

Tabla B.1: Velocidad del **aire necesaria** para el transporte de **sólidos** de **diferentes** densidades

Densidad del sólido lb/cu.ft.	Velocidad del aire ft/min
10	2.900
15	3.590
20	4.120
25	4.600
30	5.050
35	5.500
40	5.840
45	6.175
50	6.500
55	6.800
60	7.150
70	7.700
75	8.000
80	8.250
85	8.500
90	8.700
95	9.000
100	9.200
105	9.450
110	9.700
115	9.900
120	10.500

Referencia 13

Tabla B.2: Capacidad máxima de conductores aislados

Material: COBRE
0 - 2000 Voltios

CALIBRE	TEMPERATURA DE TRABAJO				
	AWG	40°C	50°C	60°C	75°C
18	8.5	11	13.5	14	21
16	8.5	11.5	14	14.5	22
14	9	12	15	15	25
12	12	16	20	20	30
10	18	25	30	30	40
8	25	30	40	45	50
6	35	45	55	65	70
4	42	55	70	85	90
3	50	65	80	100	105
2	60	75	95	115	120
1	67	90	110	130	140
0	80	100	125	150	155
00	90	115	145	175	185
000	100	135	165	200	210
0000	120	160	195	230	235

Tabla B.3 : Duración máxima diaria media de las horas de sol en diferentes meses y latitudes

Lat. Nor	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Lat. Sur	Jul .	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.
50	8.5	10.1	11.8	13.8	15.4	16.3	15.9	14.5	12.7	10.8	9.1	8.1
48	8.8	10.2	11.8	13.6	15.2	16	15.6	14.3	12.6	10.9	9.3	8.3
46	9.1	10.4	11.9	13.5	14.9	15.7	15.4	14.2	12.6	10.9	9.5	8.7
44	9.3	10.5	11.9	13.4	14.7	15.4	15.2	14	12.6	11	9.7	8.9
42	9.4	10.6	11.9	13.4	14.6	15.2	14.9	13.9	12.9	11.1	9.8	9.1
40	9.6	10.7	11.9	13.3	14.4	15	14.7	13.7	12.5	11.2	10	9.3
35	10.1	11	11.9	13.1	14	14.5	14.3	13.5	12.4	11.3	10.3	9.8
30	10.4	11.1	12	12.9	13.6	14	13.9	13.2	12.4	11.5	10.6	10.2
25	10.7	11.3	12	12.7	13.3	13.7	13.5	13	12.3	11.6	10.9	10.6
20	11	11.5	12	12.6	13.1	13.3	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9
15	11.3	11.6	12	12.5	12.8	13	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2
10	11.6	11.8	12	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5
5	11.8	11.9	12	12.2	12.3	12.4	12.3	12.3	12.1	12	11.9	11.8
0	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1

Referencia 20

Tabla B.4 : Horas de fuerte insolación en la zona de Milagro

[LATITUD 2°11'55"S LONGITUD 79°25'57" ALTITUD 35mm]												
Meses	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Años												
1984	110.20	91.20	82.90	85.80	83.90	28.50	39.90	51.90	33.50	37.20	47.00	49.30
1985	60.90	81.90	93.70	67.40	113.50	67.30	43.70	41.20	55.50	62.60	80.70	61.90
1986	62.00	83.90	106.20	82.20	43.90	57.80	36.10	60.60	71.00	26.20	43.70	73.60
1987	68.60	62.10	92.10	82.80	61.30	60.60	35.70	62.90	47.20	38.20	70.60	56.80
1988	71.60	60.60	83.40	70.00	86.60	30.90	52.80	42.40	39.10	19.60	32.50	54.10
1989	43.80	64.40	101.10	70.00	44.10	18.70	38.90	41.40	29.90	36.30	57.80	56.20
1990	70.90	56.10	95.30	70.40	61.40	29.80	53.20	65.40	57.30	31.00	54.80	61.00
1991	94.10	68.40	94.00	110.70	89.50	52.30	30.80	25.90	36.10	37.80	37.80	75.40
1992	65.70	56.80	87.30	19.50	114.30	59.20	42.00					
Prom.	71.98	69.49	92.99	73.20	77.61	45.01	41.46	48.96	46.20	36.11	53.11	61.04
Diario	232	2.48	3.00	2.44	2.50	1.50	1.38	1.58	1.54	1.16	1.77	1.97

Referencia 20

Tabla B.5: Humedad promedio del arroz durante el transcurso del **año**

MES	HUMEDAD
ENERO	24 %
FEBRERO	24 %
MARZO	23 %
ABRIL	22 %
MAYO	22 %
JUNIO	20 %
JULIO	20 %
AGOSTO	21 Yo
SEPTIEMBRE	21,5 %
OCTUBRE	21 %
NOVIEMBRE	21 %
DICIEMBRE	22 %

Referencia 2 1

APENDICE C

**CALCULO DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD
DEL AIRE DE SECADO**

CALCULO DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL AIRE

Para calcular el porcentaje de humedad del aire a cierta temperatura, recurrimos a la carta **psicométrica**, de la cual se puede obtener el contenido de humedad del aire a partir de la temperatura del mismo y bajo condiciones normales de presión, **además** de poder obtener el porcentaje de **saturación**, valor con el cual encontramos el **máximo** porcentaje de humedad que puede tener un volumen de aire a un valor determinado de temperatura.

Teniendo la temperatura ambiente promedio de 26°C (79°F) y humedad promedio de **80%**, procedemos a ubicar el punto A en la carta.

En ese punto encontramos que el contenido de humedad del aire que va a ingresar al silo secador es de **$0,0175 \text{ lb H}_2\text{O} / \text{lb}$** aire seco.

Humedad entrada

$$C.H_E = 0,0175 \text{ lb H}_2\text{O} / \text{lb aire seco.}$$

Por norma y por recomendaciones se deber& aumentar la temperatura **del aire en 8** grados sobre la condiciones **atmosféricas**, entonces encontramos a que temperatura **entrará** a secar el grano, la cual por ningún motivo **deberá** exceder de $40 - 45^{\circ}\text{C}$ (Punto B).

Para encontrar las condiciones del aire a la salida del silo secador **después** de secar los granos de arroz en la carta **Psicométrica** se parte desde el punto B con una diagonal paralela a la temperatura del bulbo húmedo de la carta hasta llegar a la curva de saturación que nos indica el **máximo** de contenido de humedad que puede tener el aire bajo esas condiciones.

Humedad salida

$$C.H_s = 0,0196 \text{ lb H}_2\text{O} / \text{lb aire seco.}$$



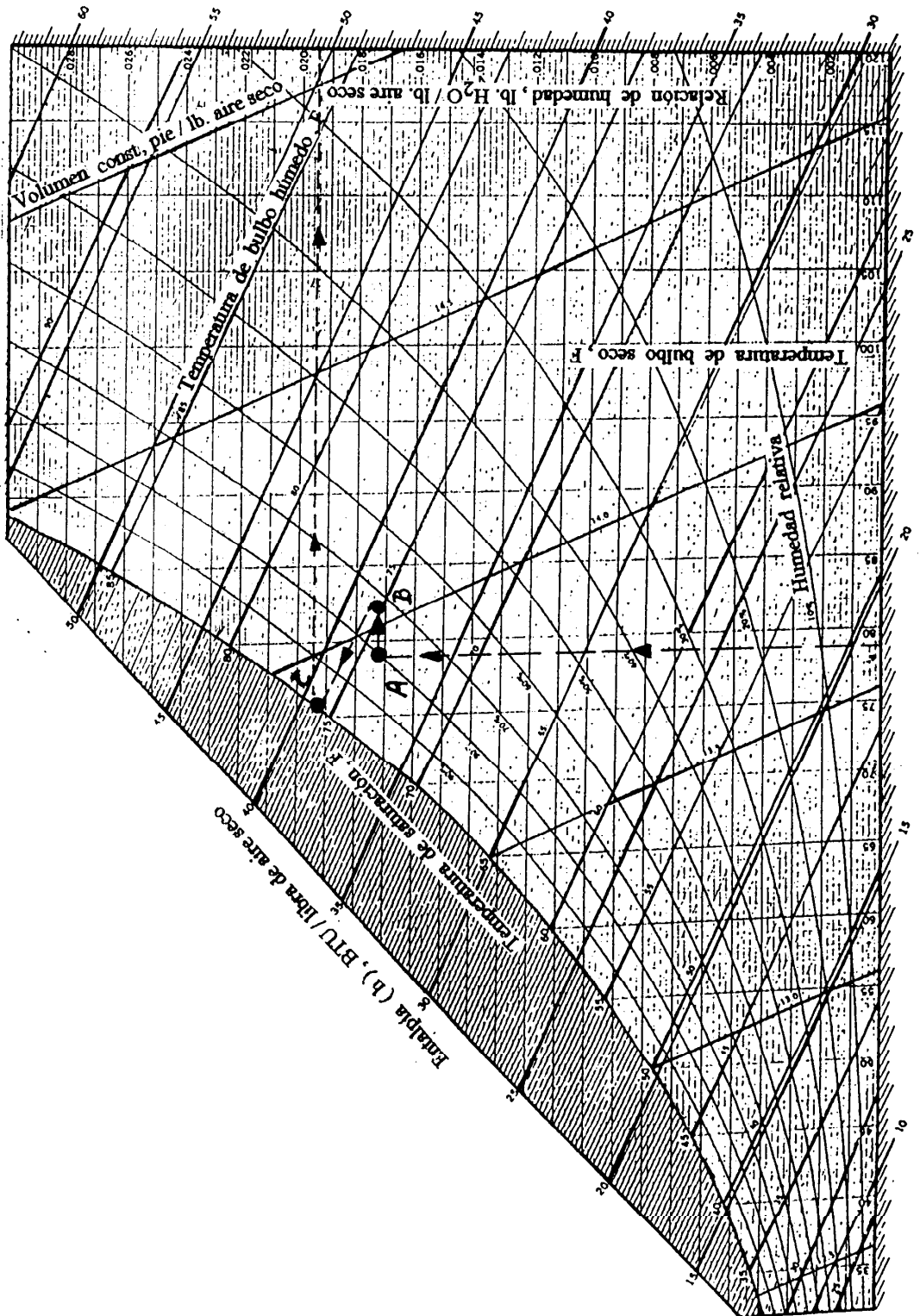


Figura C. 1 : Carta Psicométrica

APENDICE D**COSTOS DEL SECADO DE ARROZ**

COSTOS DEL SECADO DE ARROZ

Para poder comparar las dos formas de secar arroz en **cáscara**, con el tendal y **con** el silo secador, calculamos los costos de **operación** de cada uno de ellos.

Los valores de la mano de obra, **energía eléctrica** y gas **doméstico** son tomados **al** mes de Agosto de 1994 y pueden variar **según** la zona donde se trabaje.

En la **utilización del** tendal para 100 sacos de arroz, el calculo de los costos puede ser muy variable porque dependemos de la naturaleza. Para efectos de calculo **aproximamos** a 10 horas de sol en el día y que el arroz tarda un día y medio para secarse, necesitando la mano de obra de un hombre. Consideramos que las labores de manejo del grano **llevar** medio día adicional.

En total tenemos **que** se labora 10 horas diarias. Si se necesitan 2 **días** para secar 100 sacos y el valor de la mano de obra es de **1.500*** sucres la hora hombre, el costo de secado viene dado por la mano de obra;

Costo secar 100 sacos = 20 horas * 1 hombre * 1.500 sucres / hora-hombre

Costo de secar **100** sacos = 30.000 sucres

Costo de secado * saco = 300 sucres

* Precio al mes de Agosto de 1994

Si se laboran 6 días a la semana y la capacidad es de 100 sacos cada dos días, la producción semanal es de 300 sacos.

El valor del saco de arroz en cascara húmedo de 50 Kg. es de **S/.30.000***, por lo cual semanalmente se necesita invertir la cantidad de **S/.9'000.000**.

Una vez pilado, el saco de arroz cuesta **S/.35.000***, lo cual nos produce **S/.10'500.000** de ingreso.

Restando a este valor la inversión realizada y los costos de mano de obra, tenemos una ganancia semanal de **S/. 1'410.000**, que por saco representa **S/.4.700**.

<p>Ganancia por saco entenal = 4.700 sucres</p>

En el caso del silo secador, los valores del secado son afectados mayormente por las condiciones climáticas, sino que dependerá de los costos de combustible, en este caso gas doméstico, y de la energía eléctrica.

Se ha considerado que la operación de secado de 100 sacos de arroz en cascara húmedo de 50 Kg. se lleve a cabo en aproximadamente 6 horas y que se necesita

* Precio al mes de Agosto de 1994

de un hombre para la **supervisión** del proceso a **1.500*** sucres la hora hombre, el costo de la mano de obra viene dado por :

Costo secar 100 sacos = 6 horas * 1 hombre * 1.500 sucres / hora-hombre

Mano de obra = 9.000 sucres

El consumo de gas es de 15 Kg. para una jornada **de secado, al valor de S/.267*** el Kg. , tenemos que el costo de combustible es de **S/.4.000**.

Combustible = 4.000 sucres

El consumo de **energía eléctrica** es, tomando el valor del kilovatio-hora a **S/.270***, tenemos:

Motor ventilador	7.36 Kw * 6 horas	ll .923,20
Motor soplador	1.47 Kw * 6 horas	2.381,14
Motor zaranda	0,18 Kw * 6 horas	291,60
Motor esclusa	1.10 Kw * 6 horas	1.782,00
	TOTAL	<hr/> S/.16.377,94

Energía **eléctrica** = 16.377,94 sucres

* Precio al mes de Agosto de 1994

Sumando los valores de mano de obra, combustible y energía eléctrica, el costo de secar 100 sacos es de:

$$\text{Costo de secado 100 sacos} = 9.000 + 4.000 + 16.377,94$$

$$\text{Costo de secado 100 sacos} = \text{S}/29.377,94$$

$\text{Costo de secado} * \text{saco} = 293,77 \text{ sucres}$
--

Si se laboran 6 días a la semana y la capacidad es de 2 jornadas de 100 sacos cada día, la producción semanal es de 1.300 sacos.

El valor del saco de arroz en cáscara húmedo de 50 Kg. es de S/30.000*, por lo cual semanalmente se necesita invertir la cantidad de S/36'000.000.

Una vez pilado, el saco de arroz cuesta S/35.000*, lo cual nos produce S/42'000.000 de ingreso.

Restando a este valor la inversión realizada y los costos de mano de obra, tenemos una ganancia semanal de S/5'647.464,72, que por saco representa S/4.706,23.

$\text{Ganancia por saco en silo secador} = 4.706,22 \text{ sucres}$
--

* Precio al mes de Agosto de 1994

Comparando los valores obtenidos podemos apreciar que con el silo secador tenemos un aumento de 400% en la capacidad de secado y que los costos **han disminuido en un 2% con** respecto al secado por tendal.

APENDICE E**PLANOS**

BIBLIOGRAFIA

- 1 Braveman, J.B.S.,1980, "Introducción a la Bioquímica de los Alimentos", Editorial El Manual Moderno, S.A.,México, pp. 21-27.
- 2 Kneule, Ing. Friedrich, 1976, "Enciclopedia de la Tecnología Química, El Secado". Urmo, S.A. de Ediciones, España, pp. 98-104.
- 3 González, hg. Victor H., 1992, "Desarrollo e Investigación Económica de Tecnología Apropriada para la Construcción de Secadores y Silos de Almacenamiento de Arroz en la Provincia del Guayas", Informe Final, ESPOL. Guayaquil-Ecuador, pp 5-20.
- 4 Bravo, Patricia, 1990, "Estudio y Análisis de las Cámaras Tradicionales de Secado de Arroz en Cáscara", Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, ESPOL, Guayaquil-Ecuador, pp. 17-30.
- √ 5 Acosta, Miguel R., 1993, "Diseño y Construcción de un Sistema de Transporte Neumático a Presión Positiva utilizando una Esclusa Dosificadora". Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, ESPOL, Guayaquil- Ecuador, pp 15-45.
- 6 Tascón J., Eugenio y García D., Elías, 1985, "Arroz: Investigación y Producción" Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colombia, pp. 613-634.

- 7 Askeland, Donald, 1987, "La Ciencia e Ingeniería de los Materiales", Grupo Editorial Iberoamérica, México, pp. 275-280.
- 8 Posada, Rafael, 1985, "El Arroz en el Mundo y América Latina", FEDEARROZ, Colombia, pp. 3- 16.
- 9 Tascón. Eugenio, 1985, "Madurez, Cosecha y Trilla del Arroz", CIAT, Colombia, pp.5-15.
- 10 Rodríguez, Néstor, 1985, "Molinería del Arroz", FEDEARROZ, Colombia, pp. 1-6.
- 11 González, J. , Douglas, J. y Arregocés, O., 1985, "Producción y Beneficios de Semilla Certificada de Arroz", CIAT, Colombia, pp. 4-13.
- 12 Gutierrez, N. y Idrovo, R., 1989, "La Agroindustria Arrocería en Ecuador", Programa Nacional del Arroz, Guayaquil-Ecuador, pp 29-30.
- 13 Perry, R. y Chilton, C., 1973, "Chemical Engineers' Handbook", Mc.Graw-Hill Kogakusha, Ltd., Tokio, Japan, Quinta Edición, capítulo 5.
- 14 Square D Company, Groupe Schneider, "Tablas Técnicas", pp. 4.
- 15 Singer, F. y Pytel, A. 1982, "Resistencia de Materiales" Harla S.A., México. Tercera Edición, pp. 19-20