



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

## **DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO A BASE DE VAPOR PARA ARROZ EN GRANZA**

**David Alfredo Pineda Alfaro**

Asesorado por el Ing. Carlos Gerardo Hurtado Recinos

Guatemala, noviembre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO A BASE  
DE VAPOR PARA ARROZ EN GRANZA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**DAVID ALFREDO PINEDA ALFARO**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS GERARDO HURTADO RECINOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

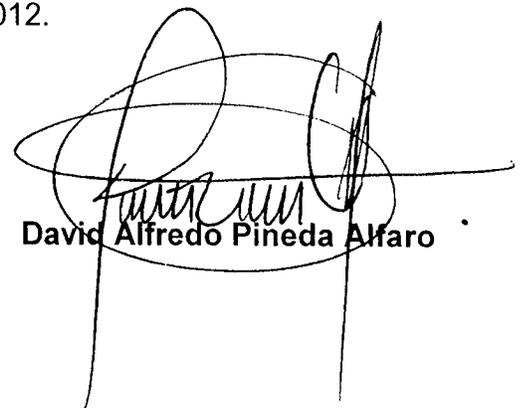
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
EXAMINADOR	Ing. Marco Vinicio Monzón Arriola
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO A BASE DE VAPOR PARA ARROZ EN GRANZA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 22 de mayo del 2012.



David Alfredo Pineda Alfaro

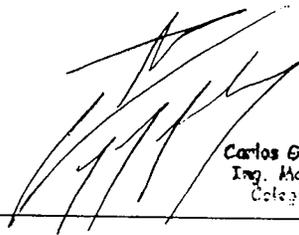
Guatemala, 14 de Agosto de 2013.

Ing. Cesar Ernesto Urquizú Rodas  
Director  
Escuela de Mecánica Industrial

Estimado ingeniero:

Por este medio me es grato informarle que se ha concluido con la revisión del trabajo de graduación del cual soy asesor, cuyo tema es: **“Diseño de un sistema de secado a base de vapor, para arroz en granza”** presentado por el alumno **David Alfredo Pineda Alfaro**, quien es cursante de la carrera de INGENIERIA MECÁNICA INDUSTRIAL, en la Escuela a su digno cargo, con carné No. 2002-12259.

Atentamente,



Carlos G. Hurtado Recinos  
Ing. Mecánico Industrial  
Colegiado No. 6,300

Ing. Carlos Gerardo Hurtado Recinos

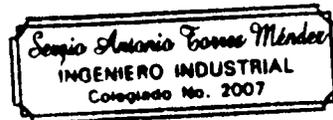


REF.REV.EMI.187.013

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO A BASE DE VAPOR PARA ARROZ EN GRANZA**, presentado por el estudiante universitario **David Alfredo Pineda Alfaro**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Sergio Antonio Torres Méndez  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, octubre de 2013.

/mgp



REF.DIR.EMI.305.013

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de **DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO A BASE DE VAPOR PARA ARROZ EN GRANZA**, presentado por el estudiante universitario **David Alfredo Pineda Alfaro**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, noviembre de 2013.

/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO A BASE DE VAPOR PARA ARROZ EN GRANZA**, presentado por el estudiante universitario: **David Alfredo Pineda Alfaro**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, noviembre de 2013

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por bendecir e iluminar mi vida, por brindarme la sabiduría para alcanzar esta meta y vivir este momento.
- Mis padres** Alfredo Pineda y Consuelo Alfaro de Pineda. Por regalarme la vida, su comprensión, sabios consejos y apoyo incondicional que me han llevado a ser la persona que soy.
- Mi esposa** Catherine Marín de Pineda, por ser mi ayuda idónea, compartir mis logros y mis fracasos, y sobre todo por su paciencia y amor verdadero.
- Mis hermanos** Ingrid, Giovanni y Eliezer Pineda Alfaro. Por estar siempre a mi lado y cuyo apoyo incondicional me motivó a seguir adelante.
- Mis amigos** Especialmente aquellos a quienes tuve el privilegio de compartir agradables e inolvidables experiencias de vida durante mi estancia en la universidad.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Alma máter, por abrirme sus puertas y ser mi segundo hogar durante mi formación como profesional para poder hacer realidad el mandato que tenemos como profesionales “Id y enseñad a todos”.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme los conocimientos que permitieron poder desarrollarme como profesional.
<b>Mis catedráticos</b>	Por su esfuerzo y profesionalismo en transmitir sus conocimientos y por ser un ejemplo para mi vida profesional.
<b>Mis compañeros de trabajo</b>	Profesionales que de una u otra forma me han transmitido conocimientos y experiencias que han sido una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
<b>Todos</b>	Los que lean este trabajo; por este simple hecho, ya forman parte de él.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN .....	XV
OBJETIVOS .....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. ANTECEDENTES Y CONCEPTOS GENERALES .....	1
1.1. La empresa .....	1
1.1.1. Ubicación .....	1
1.1.2. Historia .....	1
1.1.3. Misión, visión y valores corporativos .....	2
1.1.4. Política de calidad .....	3
1.2. El problema de la humedad .....	3
1.2.1. Humedad de los granos .....	3
1.2.2. Análisis de calidad aplicables a granza .....	4
1.3. Secadoras .....	11
1.3.1. Eficiencia de secadora .....	15
1.3.1.1. Pérdida de energía .....	17
1.3.1.2. Capacidad de secado .....	18
1.3.2. Energía y combustión .....	18
1.3.2.1. Tipos de combustibles para secadora ..	19
1.3.2.2. Medición de consumo de combustible ..	22
1.3.2.3. Combustión y quemadores .....	24

1.4.	Red de distribución de vapor .....	25
1.4.1.	Uso del vapor .....	25
1.4.2.	Elementos de red de distribución de vapor .....	26
1.4.2.1.	Calderas .....	26
1.4.2.2.	Turbina de vapor.....	26
1.4.2.3.	Juntas de dilatación .....	27
1.4.2.4.	Consumidores de vapor .....	28
1.4.2.5.	Intercambiadores de calor .....	28
1.4.2.6.	Válvulas .....	30
1.4.2.7.	Filtros.....	31
1.4.2.8.	Trampas de vapor.....	32
1.4.3.	Aspectos prácticos para la instalación de tuberías de distribución de vapor.....	32
1.4.3.1.	Dimensiones de colectores .....	33
1.4.3.2.	Pendiente de tuberías.....	34
1.4.3.3.	Instalación de purgadores.....	34
1.4.3.4.	Protección de tuberías .....	35
1.5.	Desarrollo de la productividad de las empresas .....	36
1.5.1.	Tipos de productividad .....	37
1.5.2.	Factores que influyen en la productividad.....	37
1.5.3.	Mejora de la productividad.....	38
1.5.4.	Análisis costo-beneficio .....	38
2.	DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE SECADO DE GRANZA ...	41
2.1.	Operación de secado de granza .....	41
2.1.1.	Procedimiento de secado .....	41
2.1.2.	Control necesario durante el secado .....	42
2.1.2.1.	Variables que se controlan .....	43

2.1.3.	Personal con el que se cuenta .....	43
2.1.4.	Jornadas de trabajo .....	44
2.2.	Análisis del sistema actual de secado.....	44
2.2.1.	Descripción del equipo actual .....	44
2.2.1.1.	Tipo de secado.....	46
2.2.2.	Eficiencia del equipo actual.....	46
2.2.2.1.	Tiempo de utilización del equipo .....	47
2.2.2.2.	Capacidad de secado.....	48
2.2.3.	Productividad del equipo actual .....	48
2.2.3.1.	Cálculo de consumo de combustible. ...	49
2.3.	Calidad de granza secada con el sistema actual .....	49
2.3.1.	Análisis de rendimiento de masa blanca .....	50
2.3.2.	Análisis de rendimiento de granos enteros.....	50
2.3.3.	Análisis de blancura .....	53
3.	PROPUESTA DE UN SISTEMA DE SECADO A BASE DE VAPOR.....	55
3.1.	Diseño del sistema de secado propuesto .....	55
3.1.1.	Descripción del diseño propuesto .....	55
3.1.1.1.	Ubicación .....	55
3.1.1.2.	Diagrama de distribución de vapor .....	58
3.1.2.	Especificaciones del proceso .....	58
3.1.2.1.	Capacidad de generación de vapor para el sistema propuesto .....	59
3.1.2.2.	Temperatura de operación de secadora .....	59
3.1.3.	Especificaciones técnicas de los equipos a utilizar .	59
3.1.3.1.	Tipo de tubería .....	60
3.1.3.2.	<i>Manifold</i> de distribución de vapor .....	65
3.1.3.3.	Válvulas .....	69

	3.1.3.4.	Intercambiadores de calor .....	69
	3.1.3.5.	Trampas de vapor.....	70
	3.1.3.6.	Filtros.....	71
3.2.		Modificaciones requeridas para adaptar la secadora al sistema propuesto .....	72
	3.2.1.	Descripción de modificaciones necesarias del equipo actual .....	72
	3.2.2.	Materiales a utilizar.....	73
	3.2.2.1.	Campana de inducción .....	73
3.3.		Adiestramiento de personal.....	73
	3.3.1.	Operación del sistema propuesto .....	73
	3.3.2.	Controles requeridos .....	77
	3.3.2.1.	Variables a controlar .....	78
	3.3.3.	Formatos propuestos para recopilar información ....	78
	3.3.4.	Medidas de seguridad necesarias para la operación del sistema propuesto .....	79
	3.3.4.1.	Señalización industrial del equipo .....	80
	3.3.4.2.	Señalización .....	80
	3.3.4.3.	Aislamiento térmico .....	81
	3.3.4.4.	Equipo de protección requerido para la operación .....	81
4.		IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO .....	85
4.1.		Ejecución del diseño .....	85
	4.1.1.	Ejecución de modificaciones a secadora .....	87
	4.1.1.1.	Fabricación de campana de inducción de aire .....	87
	4.1.1.2.	Instalación de intercambiadores de calor.....	90

4.1.2.	Instalación de diseño de distribución de vapor .....	90
4.2.	Pruebas de funcionamiento del sistema .....	94
4.2.1.	Verificación de especificaciones del proceso .....	94
4.2.1.1.	Temperatura de operación de secado .....	94
4.2.2.	Eficiencia del equipo con el sistema propuesto .....	95
4.2.2.1.	Tiempo de utilización del equipo .....	96
4.2.2.2.	Capacidad de secado.....	97
4.2.3.	Productividad del equipo con el sistema propuesto.....	97
4.2.3.1.	Consumo de vapor de la secadora .....	99
4.3.	Calidad de granza secada con el sistema propuesto .....	100
4.3.1.	Análisis de rendimiento de masa blanca .....	101
4.3.2.	Análisis de rendimiento de granos enteros.....	102
4.3.3.	Análisis de blancura .....	105
5.	ESTRATEGIA DE SEGUIMIENTO .....	107
5.1.	Comparación entre los dos sistemas .....	107
5.1.1.	Eficiencia .....	107
5.1.2.	Productividad .....	108
5.1.3.	Calidad del grano seco .....	109
5.2.	Ventajas y desventajas del sistema propuesto .....	111
5.3.	Costo-beneficio.....	112
5.3.1.	Análisis de costo-beneficio de los dos sistemas de secado .....	113
5.3.2.	Proyección de costo-beneficio considerando el total de secadoras.....	116
5.4.	Comparación de resultados .....	121
5.5.	Plan de implementación del sistema propuesto .....	123

CONCLUSIONES ..... 125  
RECOMENDACIONES ..... 127  
BIBLIOGRAFÍA ..... 129  
ANEXOS ..... 131

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Medidor de humedad HD 1021 marca Delver .....	4
2.	Medidor de humedad Mini GAC marca Dickey John .....	5
3.	Aspirador de impurezas G12 GranEI.....	6
4.	Medidor de blancura MBZ-1 marca Zaccaria.....	7
5.	Molino de laboratorio para granos de arroz CI100 marca GranEI .....	8
6.	Molino de laboratorio para granos de arroz JNMS 15 marca Satake.....	9
7.	Separador de granos CA100 marca GranEI .....	9
8.	Separador de granos CRZ2 marca Zaccaria. ....	10
9.	Corte de una cámara de secado de caballete .....	11
10.	Secadora de flujo continuo, de caballetes .....	12
11.	Secadora de columna de forma circular .....	13
12.	Cuerpo principal de secadora de persianas .....	14
13.	Juntas de dilatación .....	27
14.	Intercambiador de calor.....	29
15.	Válvula de compuerta.....	30
16.	Filtros para vapor .....	31
17.	Pendiente de línea de vapor .....	34
18.	Tipos de purgadores .....	35
19.	Sistema de aire de secado de granza utilizando diésel .....	45
20.	Sistema de aire de secado de granza utilizando vapor .....	56
21.	Diagrama de distribución de vapor para la alimentación de las secadoras .....	57

22.	Cálculo de diámetro de tubería que alimenta los intercambiadores de calor.....	63
23.	Cálculo de diámetro de tubería que alimenta los intercambiadores de calor.....	64
24.	<i>Manifold</i> que recibe vapor de la caldera y lo distribuye a la secadora..	67
25.	Sistema alimentación de vapor de los intercambiadores de calor .....	68
26.	Tubería y componentes del retorno de condensado en la salida de cada radiador.....	70
27.	Diagrama de flujo del proceso con el sistema de secado propuesto ....	74
28.	Operador de secado de granza con todo el equipo de protección personal de trabajo .....	83
29.	Secadora con quemador de diésel .....	88
30.	Campana de inducción .....	89
31.	Instalación de intercambiadores de calor .....	91
32.	Instalación de tubería para distribución de vapor a secadoras.....	92
33.	Instalación de tubería para alimentación de vapor en intercambiadores y tubería del retorno de condensado .....	93
34.	Cálculo de TIR.....	115

## TABLAS

I.	Análisis de humedad en el tiempo de secado de granza utilizando diésel .....	47
II.	Rendimientos de masa blanca de las muestras de granza secada, utilizando diésel .....	51
III.	Rendimientos de granos enteros de las muestras de granza secada, utilizando diésel.....	52
IV.	Rendimientos de granos quebrados de las muestras de granza secada, utilizando diésel.....	53

V.	Blancura de las muestras de granza secada, utilizando diésel.....	54
VI.	Diámetros nominales de tubería y presión de prueba .....	61
VII.	Descripción del equipo requerido .....	85
VIII.	Medición de temperatura del aire de secado de granza secada, utilizando vapor .....	95
IX.	Análisis de humedad en el tiempo de secado de granza secada, utilizando vapor .....	97
X.	Rendimientos de masa blanca de las muestras de granza secada, utilizando vapor .....	102
XI.	Rendimientos de granos enteros de las muestras de granza secada, utilizando vapor.....	103
XII.	Rendimientos de granos quebrados de las muestras de granza secada, utilizando vapor.....	104
XIII.	Blancura de las muestras de granza secada utilizando vapor .....	105
XIV.	Resumen de resultados de análisis a muestras de granza secada utilizando diésel .....	109
XV.	Resumen de resultados de análisis a muestras de granza secada utilizando vapor .....	110
XVI.	Ventajas y desventajas de cada sistema de secado .....	111
XVII.	Flujo de efectivo al implementar el sistema propuesto en un equipo .....	114
XVIII.	Flujo de efectivo de la proyección A.....	117
XIX.	Flujo de efectivo de la proyección B.....	119
XX.	Beneficios anuales proyectados.....	120
XXI.	Comparación de resultados .....	121



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>ef</b>	Eficiencia
<b>°Kett</b>	Grado de blancura del arroz
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>g</b>	Gramos
<b>H<sub>f</sub></b>	Humedad final del grano
<b>H<sub>i</sub></b>	Humedad inicial del grano
<b>kcal</b>	Kilocalorías
<b>kg/l</b>	Kilogramo por litro
<b>PSI</b>	Libras fuerza por pulgada cuadrada
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>%</b>	Porcentaje
<b>"</b>	Pulgada
<b>Q</b>	Quetzal, moneda guatemalteca
<b>Qq</b>	Quintal
<b>qq/h</b>	Quintales por hora
<b>Taa</b>	Temperatura de aire ambiente
<b>Tas</b>	Temperatura de aire de secado
<b>Tau</b>	Temperatura de aire usado



## GLOSARIO

<b>ACB</b>	Análisis costo-beneficio, proporciona la medida de rentabilidad de un proyecto.
<b>ARROZGUA</b>	Asociación Guatemalteca del Arroz.
<b>B/C</b>	Relación beneficio-costo, medida del grado de desarrollo y bienestar de un proyecto.
<b>Combustibles fósiles</b>	Son recursos no renovables, ya que no se reponen por procesos biológicos. Se dividen en tres grupos: petróleo, carbón mineral, y gas natural cada una con sus variedades.
<b>Cuello de botella</b>	Actividades que disminuyen la velocidad de los procesos, incrementan los tiempos de espera y reducen la productividad, trayendo como consecuencia final el aumento en los costos.
<b>Eficacia</b>	El grado en que se alcanzan las metas y objetivos.
<b>Eficiencia</b>	Es cuando se utilizan menos recursos para lograr un mismo objetivo; o cuando se logran más objetivos con los mismos o menos recursos.

<b>FAO</b>	Siglas en inglés de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación ( <i>Food and Agriculture Organization</i> ).
<b>Granza</b>	Denominación utilizada para referirse al arroz con cáscara.
<b>Poder calorífico</b>	Es la cantidad de energía que la unidad de masa de materia puede desprender al producirse una reacción química de oxidación
<b>Productividad</b>	Relación entre la cantidad de productos obtenidos por un sistema productivo y los recursos utilizados para obtener dicha producción.
<b>Tecnología ambiental</b>	Es la que se utiliza sin dañar el medio ambiente; es la aplicación de la ciencia ambiental para conservar el ambiente natural y los recursos, y frenar los impactos negativos de las actividades humanas. También llamada tecnología verde o tecnología limpia.
<b>TIR</b>	Tasa Interna de Retorno.
<b>VAN</b>	Valor Actual Neto.

## RESUMEN

La razón de ser de una empresa es obtener utilidades, y mientras más utilidades se obtengan es mejor; esto se logra optimizando los recursos de los que se dispone en cada uno de los procesos, ya sea reduciendo los recursos utilizados en un proceso (entradas) o incrementando el resultado (las salidas) del proceso, hacer más con menos, o en otras palabras siendo productivos.

Para las empresas que compran arroz en granza de cosecha nacional existe un proceso crítico debido a que la humedad adecuada para el almacenaje de la granza es de  $11,5 \pm 5$  % de humedad en base húmeda. Por la naturaleza y el proceso inherente a la cosecha de la granza se presentan variaciones en la humedad que van de 14 hasta 32 % al momento de la recepción de la granza, este es uno de los muchos factores que hace que el proceso de secado de granza sea crítico.

Actualmente la dependencia directa de un derivado del petróleo hace que el proceso de secado de granza sea muy costoso, y debido a que es un proceso crítico es necesario estudiar y diseñar un sistema de secado de granza que ayude a incrementar la productividad, sin dejar por un lado la calidad de la granza seca, la eficacia y eficiencia del proceso.

En la empresa existen ocho secadoras de las cuales se pretende utilizar una de las ocho como modelo para proponer la implementación del diseño de un sistema de secado de granza a base de vapor, que permita replicar el mismo sistema en cinco equipos más; además, ante los constantes cambios en el ambiente, es necesario que las empresas se responsabilicen en el uso de sus recursos, desarrollando estrategias para reducir el impacto causado en el ambiente derivado de los procesos productivos y no depender de combustibles derivados del petróleo.

Es por esto que el trabajo de graduación busca como objetivo principal disminuir el consumo de combustibles derivados del petróleo y mediante el sistema de secado de vapor incrementar la productividad del proceso.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Proponer el diseño y la implementación de un sistema de secado a base de vapor para arroz en granza.

### **Específicos**

1. Proponer diagrama de sistema de secado a base de vapor de caldera.
2. Determinar los ajustes mecánicos necesarios que van a aplicarse al sistema de secado actual, para implementar el sistema de secado propuesto.
3. Determinar las especificaciones técnicas de los equipos que van a utilizarse en el sistema propuesto.
4. Comparar la productividad y eficiencia del sistema de secado propuesto, versus la productividad y eficiencia del sistema de secado actual.
5. Evaluar la calidad de la granza secada con el sistema propuesto contra la calidad de la granza secada el sistema actual.
6. Identificar las medidas de seguridad necesarias para la operación del diseño propuesto.

7. Proyectar los resultados de implementar el sistema de secado propuesto en el resto de secadoras.

## INTRODUCCIÓN

El diseño a proponer considera el aprovechamiento del vapor que genera una caldera trabaja con cascarilla de arroz, un subproducto del proceso de transformación de arroz granza (con cáscara) en arroz para consumo humano, con lo cual se pretende reducir el consumo de diésel para garantizar el aprovechamiento de los recursos disponibles de una mejor forma.

La mejor utilización de los recursos impacta directamente en la productividad del proceso, por el ahorro significativo en los costos que se pretenden obtener de la implementación del diseño, adicionalmente ayuda a no depender del “diésel” que al día de hoy es la base para que el proceso de secado se pueda llevar a cabo.

La implementación de un sistema de secado de granza a base de vapor, permite que la empresa piense en términos estratégicos, ya que derivado de los resultados en las cuales se encamine el presente trabajo de graduación; este podría ser aplicado en las demás secadoras de granza, incrementando la competitividad a nivel de industria. Adicionalmente, se podrían tener algunos beneficios en la eficiencia de secado, sin dejar por un lado la colaboración con el impacto ambiental que la empresa tendrá como parte de la responsabilidad social empresarial, evitando quemar combustibles fósiles que es uno de los recursos que cada día se vuelve más escaso a nivel mundial.

En el capítulo uno se presentan aspectos generales de la empresa enfocados en determinar el funcionamiento y las bases de las directrices del negocio; también se desarrollan los conceptos generales relacionados con la importancia de la humedad de los granos y el impacto que tienen en la calidad de secado, los tipos de secadoras utilizadas en la industria arrocera, las redes de distribución de vapor y los elementos de los cuales se puede componer y por último se definen algunos conceptos clave para la medición de la productividad.

En el capítulo dos se define el entorno del proceso de secado actual, iniciando con definir el procedimiento que incluye el personal necesario para ejecutar la operación y las actividades que se deben realizar durante el secado.

En el capítulo tres se plantea la propuesta del nuevo diseño de secado de granza; se presenta a través de una descripción y del diagrama del diseño propuesto; para facilitar la descripción del sistema se utilizará un diagrama de la distribución de vapor.

En el capítulo cuatro se realiza la implementación del diseño, que es un proceso en el cual se ejecutan las modificaciones requeridas para que la secadora funcione con alimentación de vapor y la instalación de los equipos, con base en las especificaciones requeridas para la distribución de vapor.

En el capítulo cinco, a través de análisis de comparación de resultados de eficiencia, productividad y calidad entre ambos sistemas, se pretende concluir si la propuesta representa beneficio para la empresa y si es factible implementar o ampliar este sistema al resto de las secadoras a través de una comparación del costo-beneficio que se obtendría al hacer esta implementación.

# **1. ANTECEDENTES Y CONCEPTOS GENERALES**

## **1.1. La empresa**

Arrocera Los Corrales S. A. (ALCSA) fue fundada en 1970, es una empresa líder en el mercado de arroz y pionera en productos alimenticios.

### **1.1.1. Ubicación**

ALCSA está ubicada en la 5ta avenida final, municipio de Villas Nueva, departamento de Guatemala.

### **1.1.2. Historia**

En 1999 inicia la ampliación de sus productos, contando con una variedad de marcas de arroz, avenas y harinas.

En 2003 inicia la línea de productos de valor agregado, creando así el propio departamento de innovación y desarrollo que ha facilitado la adaptación a las necesidades del mercado, participando en las categorías de sopas instantáneas, avenas instantáneas, arroces saborizados instantáneos, refrescos de avena y trabajando para seguir expandiendo sus líneas de productos para satisfacer las necesidades de sus clientes. Actualmente exporta productos al mercado centroamericano, Panamá y República Dominicana.

### **1.1.3. Misión, visión y valores corporativos**

La misión de la empresa es satisfacer las necesidades de alimentación de los consumidores a través del desarrollo, procesamiento y comercialización de arroz y productos alimenticios de calidad, con excelente servicio y buscando la mejora continua de sus procesos.

La visión de la empresa se resume en lograr una cultura empresarial que propicia el liderazgo, el trabajo en equipo y el servicio, buscando la excelencia y bienestar del recurso humano.

También busca ser reconocida como una empresa socialmente responsable, siendo líder en la comercialización en el mercado latinoamericano de productos alimenticios, logrando el reconocimiento y preferencia de marcas por calidad y servicio, en innovación, desarrollo y elaboración de productos alimenticios para consumidores latinoamericanos.

Busca la optimización de los procesos productivos y administrativos y ser una empresa certificada con normas internacionales de calidad y medio ambiente.

Los valores corporativos se resumen en: satisfacer las necesidades de alimentación de los consumidores a través del desarrollo y procesamiento de alimentos.

#### **1.1.4. Política de calidad**

“En ALCSA, procesamos y comercializamos productos alimenticios, estamos comprometidos con la calidad y la mejora continua; basados en nuestro sistema de gestión de calidad, fomentamos la participación y competencia de nuestros colaboradores, para garantizar la satisfacción de nuestros clientes”.

### **1.2. El problema de la humedad**

El secado, ya sea natural o artificial de los granos es un proceso crítico para las empresas que trabajan con granos, debido a los diversos inconvenientes que originan, afectando los costos y la calidad de los productos.

En el arroz no es la excepción; el secado constituye el “cuello de botella” para la mayoría de molinos, debido a los costos elevados por la inversión que representa la secadora, los equipos auxiliares, los combustibles y energía eléctrica utilizada para su funcionamiento.

#### **1.2.1. Humedad de los granos**

Los granos de granza, al igual que la mayoría de granos, no pueden almacenarse si no están secos; la interrogante es determinar cuándo el grano se considera seco, porque depende de muchos factores.

Para una región del país con clima frío, un grano se puede almacenar a 13 %, pero en una región del país de clima cálido, la humedad recomendada de almacenamiento es 11 – 12 %.

### 1.2.2. Análisis de calidad aplicables a granza

La correcta medición de la humedad (porcentaje) es muy importante para reducir los costos, garantizar la calidad y preservación de los granos almacenados; en la recepción de la granza el porcentaje de humedad va directamente relacionado con el precio a pagar por el producto recibido y el proceso de secado a utilizar (tiempo, costos, etc.).

Para la medición de humedad se utiliza un higrómetro especial para granos, el cual debe estar debidamente calibrado para garantizar el resultado de la medición y reducir los errores.

Algunos equipos utilizados para medir la humedad del grano son los de la figura 1 y 2.

Figura 1. Medidor de humedad HD 1021 marca Delver



Fuente: [www.delver.com.ar](http://www.delver.com.ar). Consulta: 05 de enero de 2013.

Figura 2. **Medidor de humedad Mini GAC marca Dickey John**



Fuente: [www.ediagro.com](http://www.ediagro.com). Consulta: 05 de enero de 2013.

La ventaja que tienen estos equipos para la medición de humedad del grano es que es rápido, fácil y exacto.

Según Arrozgua (2004) la humedad que debe tener un producto para ser aceptado es de 12 a 32 %.

El porcentaje de impurezas es el otro factor que se debe considerar para el producto recibido en el molino; porque es un porcentaje de mermas que debe ser contemplado en el precio de premios o descuentos aplicables a los productores y para cálculos de ajustes al inventario.

El equipo utilizado para medir el porcentaje de impurezas del grano se puede apreciar en la figura 3.

Figura 3. **Aspirador de impurezas G12 marca GranEl**



Fuente: [www.ediagro.com](http://www.ediagro.com). Consulta: 05 de enero de 2013.

Según Arrozgua (2004) la cantidad de impurezas que debe contener una muestra para no generar penalización en el precio del producto debe ser menor de 7 %. El porcentaje de impurezas se calcula con la siguiente fórmula.

$$\% \text{ impurezas} = \frac{\text{Peso de granza limpia}}{\text{Peso granza previo a la limpieza}} * 100$$

La blancura de un grano es el grado de pulido que se obtienen en el arroz blanco, y se mide a través de un medidor electrónico que compara una muestra del arroz blanco, con un estándar, emitiendo una lectura denominada grados Kett (Arrozgua, 2004).

El grado de blancura también es un criterio para determinar la calidad del grano, por ejemplo: se tienen dos lotes de granza, A y B, cuyos resultados de laboratorio son 38 y 41 kett respectivamente, y el estándar de blancura para una determinada marca de arroz es 40 kett, el lote A tendrá que ser sometido a un esfuerzo de pulido mucho mayor que el lote B, para lograr obtener la misma blancura requerida por el proceso.

Esa diferencia de esfuerzos a los que tienen que ser sometidos los dos lotes tienen efectos secundarios, diferentes en ambos lotes; en el lote A debido a que los granos reciben un mayor impacto, se debilitan y generan mayor porcentaje de granos quebrados y harina del pulido; caso contrario sucede con el lote B debido a que la fuerza de pulido es menor se protege más el grano y se obtienen menos porcentajes de quebrados y harina del pulido.

El equipo utilizado para medir el grado de blancura del grano se puede apreciar en la figura 4.

Figura 4. **Medidor de blancura MBZ-1 marca Zaccaria**



Fuente: [www.zaccaria.com.br](http://www.zaccaria.com.br). Consulta: 05 de enero de 2013.

La ventaja que tienen estos equipos para la medición del grado de blancura del grano es que es rápido, fácil y exacto.

Según Arrozgua (2004) el grado de blancura que debe contener para no generar penalización en el precio del producto debe ser mayor de 32 %.

Se llama rendimiento de masa blanca a la cantidad de arroz pelado entero y quebrado que se obtiene a partir de una muestra de ensayo de arroz en granza sin impurezas y se expresa en porcentaje (Arrozgua, 2004). Algunos de los equipos que se utilizan para pelar el arroz en granza y obtener arroz blanco, se pueden apreciar en las figura 5 y 6.

Figura 5. **Molino de laboratorio para granos de arroz CI100 marca GranEI**



Fuente: [www.ediagro.com](http://www.ediagro.com). Consulta: 05 de enero de 2013.

Figura 6. **Molino de laboratorio para granos de arroz JNMS 15 marca Satake**



Fuente: [www.satake-usa.com](http://www.satake-usa.com). Consulta: 05 de enero de 2013.

Los equipos de laboratorio utilizados para clasificar (separar) el arroz entero del arroz quebrado se pueden apreciar en la figura 7 y 8.

Figura 7. **Separador de granos CA100 marca Grel**



Fuente: [www.ediagro.com](http://www.ediagro.com). Consulta: 05 de enero de 2013.

Figura 8. **Separador de granos CRZ2 marca Zaccaria**



Fuente: [www.zaccaria.com.br](http://www.zaccaria.com.br). Consulta: 05 de enero de 2013.

Según Arrosgua (2004) los rendimientos aceptados que deben contener para no generar penalización en el precio del producto, deben ser mayores al 68 % para rendimiento de masa blanca y 54 % para rendimiento de granos enteros.

Para el cálculo de rendimientos por lo regular se utiliza una muestra inicial de 200 g de granza limpia y el rendimiento de masa blanca se calcula con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ rendimiento masa blanca} = \frac{\text{peso de arroz pulido}}{\text{peso granza limpia}} * 100$$

El rendimiento de granos enteros se calcula con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ rendimiento granos enteros} = \frac{\text{peso de arroz entero}}{\text{peso granza limpia}} * 100$$

El rendimiento de granos quebrados se calcula de la siguiente manera:

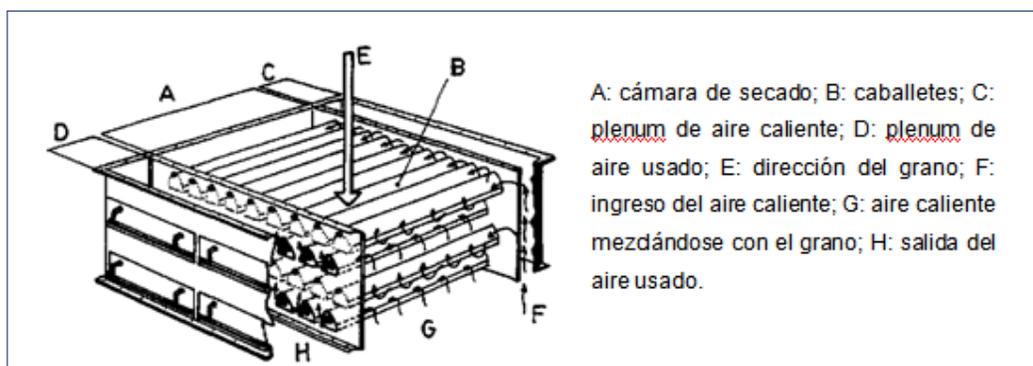
$$\% \text{ rendimiento granos quebrados} = \% \text{ masa blanca} - \% \text{ arroz entero}$$

### 1.3. Secadoras

A nivel de pequeño productor, existe una amplia gama de diversos equipos de secado, la mayoría de los cuales son de reducida capacidad y de diseño simple, que utilizan en lugares en donde todavía no ha llegado una tecnología avanzada.

En este caso únicamente se definirán las secadoras de verticales, también llamadas “tipo torre”, se caracterizan por el recorrido del grano desde arriba hacia abajo, y pueden ser clasificadas en varios grupos de acuerdo con el tipo de flujo: mixto, cruzado, de persianas y contra corriente.

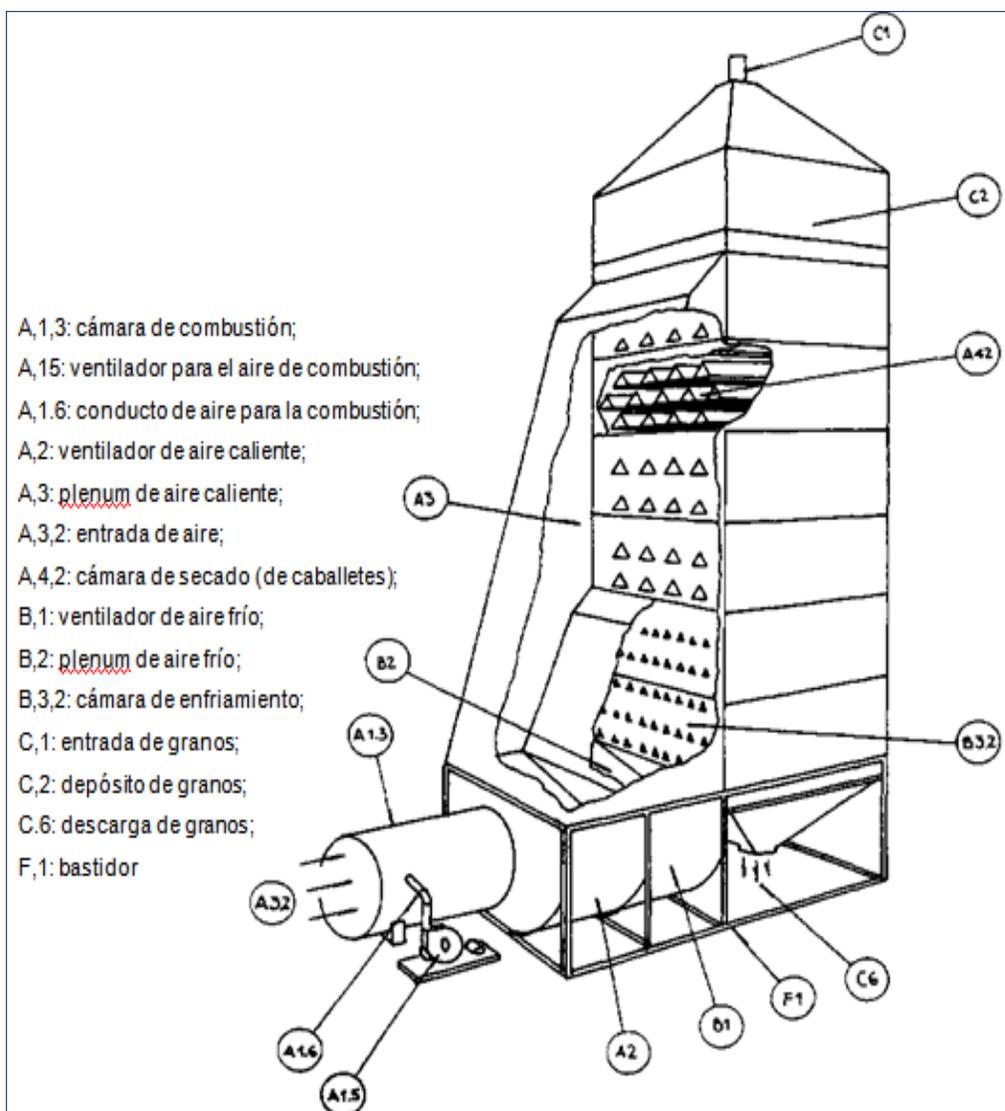
Figura 9. Corte de una cámara de secado de caballetes



Fuente: <http://www.fao.org/docrep/X5028S/X5028S00.htm>. Consulta: 04 de agosto de 2012.

De flujo mixto, tiene como elemento principal, en las zonas de secado y enfriamiento, un conjunto de conductos en forma de V invertida (ver figura 9), por donde circula el aire caliente o frío. También llamadas de “caballetes” (ver figura 10).

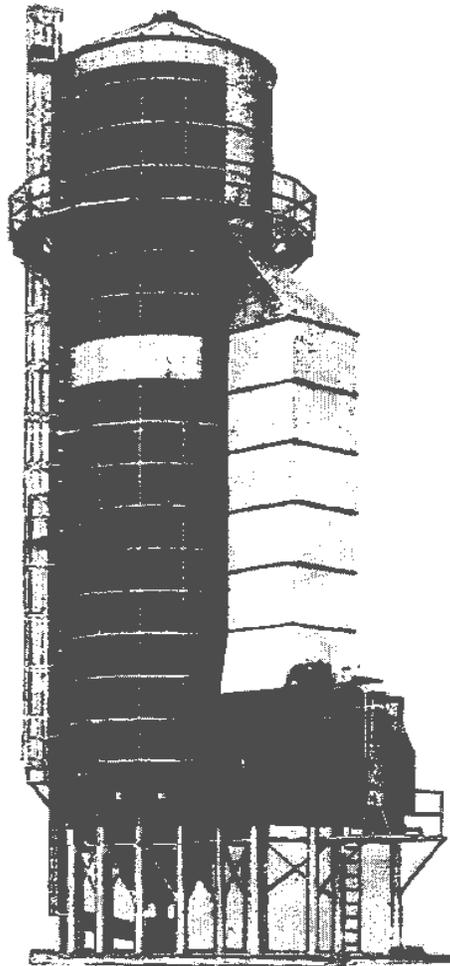
Figura 10. **Secadora de flujo continuo, de caballetes**



Fuente: <http://www.fao.org/docrep/X5028S/X5028S00.htm>. Consulta: 04 de agosto de 2012.

Las de flujo cruzado, también llamadas "de columnas" poseen columnas o venas rectas por donde circula por gravedad el grano; las columnas están formadas por paredes de chapas perforadas, las que atraviesa el aire caliente (o frío) en forma cruzada o perpendicular al espesor de la columna. Se conocen también secadoras de columnas de forma circular (ver figura 11).

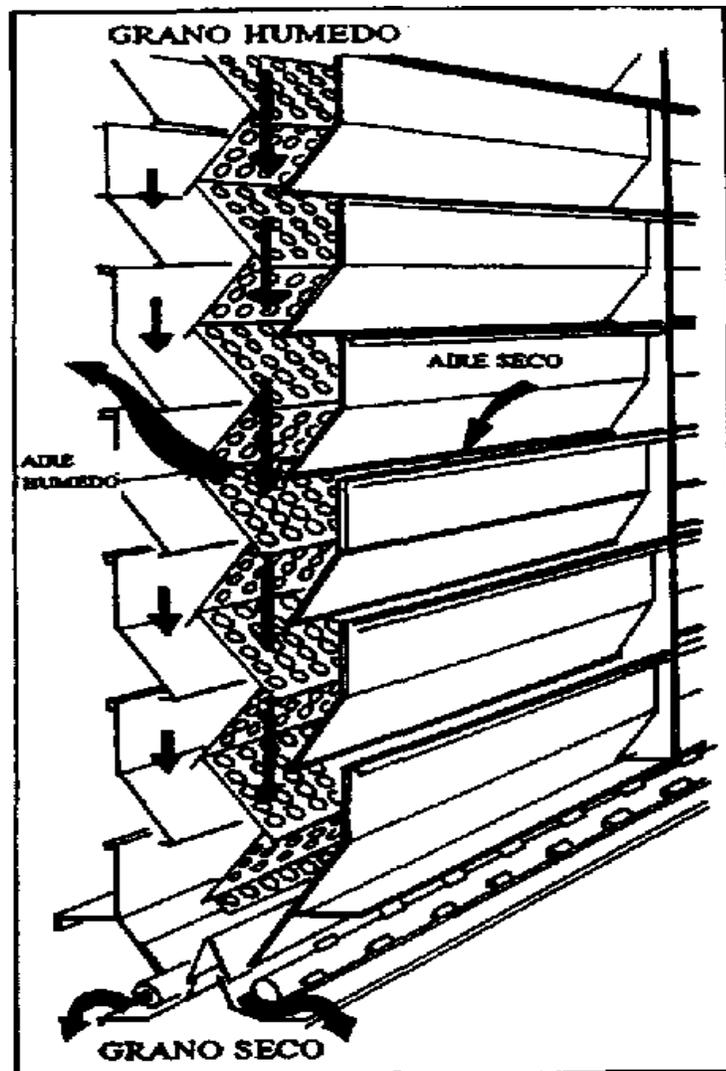
Figura 11. **Secadora de columna de forma circular**



Fuente: <http://www.fao.org/docrep/X5028S/X5028S00.htm>. Consulta: 04 de agosto de 2012.

Estos dos tipos son los modelos comerciales más empleados en la actualidad. Las secadoras de persianas tienen su cuerpo principal formado por tres tabiques verticales, como lo muestra la figura 10, siendo los dos exteriores abiertos en las dos caras, y el tabique medio en zig-zag con grandes perforaciones.

Figura 12. **Cuerpo principal de secadora de persianas**



Fuente: <http://www.fao.org/docrep/X5028S/X5028S00.htm>. Consulta: 04 de agosto de 2012.

Este sistema permite que el grano situado en el costado por donde ingresa el aire caliente descienda más rápidamente que el grano situado en el costado opuesto, con el fin de asegurar un secado más homogéneo. El espesor de la columna es alrededor de 40 cm.

Las de flujo contracorriente y de flujos concurrentes se conocen como de flujos paralelos (de aire y de grano). Las de flujo contracorriente son aquellas en las que el aire y el grano marchan en la misma dirección, pero en sentido contrario. Las de flujo concurrente son las que el aire y el grano marchan en la misma dirección y en el mismo sentido.

### 1.3.1. Eficiencia de secadora

De Dios (1996) define la eficiencia de secado a “la relación entre las kcal mínimas necesarias para evaporar el agua de una masa determinada de granos y la cantidad de kcal realmente consumidas”.

Y se interpreta así:

$$ef = \frac{\text{kg de agua evaporada} \times \text{calor latente del agua (kcal/kg)}}{\text{kg de combustible usado} \times \text{poder calorífico del combustible}}$$

En donde:

- El calor latente del agua es: 600 kcal /kg
- El poder calorífico del diésel es: 10,200 kcal/kg
- kg de agua evaporada = % de agua evaporada x cantidad de granos
- porcentaje de agua evaporada =  $\left( \frac{Hi-Hf}{100-Hf} \right) \times 100$

$H_i$  = Humedad inicial del grano

$H_f$  = Humedad final del grano

Por ejemplo: 22 700 kilos de granza de con una humedad inicial de 18 % y humedad final de 11,5 %, con una secadora de 22 700 kilos de capacidad, y se han consumido 50 galones de diésel (160 kilogramos de diésel), aplicando las fórmulas anteriormente mencionadas, se calcula los kg de agua evaporada:

$$\% \text{ agua evaporada} = \left( \frac{H_i - H_f}{100 - H_f} \right) \times 100 = \left( \frac{18 - 11,5}{100 - 11,5} \right) \times 100 = 7,34 \%$$

Cantidad de agua evaporada = 22 700 kg x 7,34 = 1 667,23 kg de agua.

Aplicando la fórmula de eficiencia de secado:

$$ef = \frac{\text{Kg de agua evaporada} \times \text{calor latente del agua (kcal/kg)}}{\text{Kg de combustible usado} \times \text{poder calorífico del combustible}}$$

$$ef = \frac{1\,667,23 \text{ kg} \times 600 \text{ kcal/kg}}{160 \text{ kg} \times 10\,200 \text{ kcal/kg}} = 61,30 \%$$

Esto significa que un 38,70 % de energía consumida del combustible se pierde en este proceso de secado.

Según De Dios (1996) “una secadora moderna con un diseño racional, puede aumentar su eficiencia a 70 % o más”; sin embargo como todo equipo esto se logra con equipos, que se encuentren funcionando en óptimas condiciones y con equipos nuevos, los cuales con el tiempo van perdiendo eficiencia.

Otra forma de medir la eficiencia con que está trabajando una secadora (Aguilar, Boyce, 1996) es midiendo las temperaturas del aire de secado, del aire usado y del aire ambiente, aplicando la siguiente fórmula:

$$\left( \frac{T_{as}-T_{au}}{T_{as}-T_{aa}} \right) \times 100 = \text{Eficiencia (\%)}$$

En donde:

- Tas: temperatura del aire de secado
- Tau: temperatura del aire usado
- Taa: temperatura del aire ambiente

Un ejemplo permitirá entender este cálculo. Una secadora trabaja con aire de secado a 120 °C, el aire usado sale de la cámara de secado a 40 °C, y el aire ambiente está a 18 °C. Si el aire se calienta a 120 °C y estaba a 18 °C, quiere decir que hay 102 °C (120 - 18) que la secadora puede utilizar; pero si el aire se calentó a 120 °C y sale a 40 °C, significa que la secadora solo aprovechó 80°C (120 - 40). Si podía utilizar 102 °C y solo aprovechó 80 °C, la eficiencia es:

$$\frac{80}{102} = 0,78 \text{ o sea el } 78 \%$$

#### **1.3.1.1. Pérdida de energía**

Las pérdidas de energía o de calor en una secadora son de diversos tipos; las más importantes de ellas son las que se producen por el calor sensible que va con el aire usado. Aun cuando el aire usado salga saturado, siempre una pérdida de calor se origina por el calor sensible que conduce.

Se ha identificado que las condiciones más favorables para el secado se presentan cuando mayor es la diferencia entre la temperatura del aire de secado que entra en contacto con los granos y la del aire usado (Marques; Sinicio; y Oliveira, 1991). Se deduce entonces que será favorable el balance cuando la temperatura del aire de secado sea más elevada.

### **1.3.1.2. Capacidad de secado**

En general, la capacidad de secado se expresa en unidades comunes como toneladas o quintales ya sea de grano seco o de grano húmedo; es un parámetro, quizás el más utilizado en el desempeño de las secadoras. Interviene en casi todos los cálculos, para proyectos y en los costos de secado de granos.

La capacidad de secado va relacionada con el diseño y tamaño de la secadora; es la cantidad de quintales que puede secar una secadora durante un periodo de tiempo.

Para determinar la capacidad de secado es necesario determinar las dimensiones de la secadora para hacer una estimación de la cantidad de quintales o kilos que puede contener; también se puede consultar el manual del equipo.

### **1.3.2. Energía y combustión**

De Dios (1996) indica que una secadora convencional, correctamente construida, utilizada y mantenida, tiene un consumo energético de poco más de 1 000 kcal por kg de agua evaporada, de los cuales 600 kcal es el calor necesario para evaporar 1 kg de agua.

Para aprovechar de mejor forma la energía de los combustibles utilizados en el proceso de secado, es necesario analizar cuáles son las maneras más racionales de reducir el consumo de los diferentes combustibles, así como los tipos de combustibles y la correcta combustión.

### **1.3.2.1. Tipos de combustibles para secadora**

Dependiendo del estado físico en el que se encuentra el combustible a utilizar, De Dios (1996) define que los combustibles más usados en el proceso de secado de granos pueden ser: gasoil, diésel oíl, diluyente para fueloil, fueloil y kerosene, que son combustibles líquidos.

El gasoil es el más caro y el fueloil el más barato, pero por razones operativas y de mantenimiento no se aconseja el uso de este último, ya que es un combustible sucio. El kerosene es un buen combustible, pero suele producir olores objetables y su costo es algo mayor. En cuanto al diluyente, si bien tiene un buen poder calórico y otras propiedades, presenta ciertos inconvenientes, como degradarse en almacenamientos prolongados, y tapar con más frecuencia los filtros y los picos.

Estos combustibles líquidos producen compuestos químicos en la combustión que se consideran contaminantes de los granos, siendo mayor esta contaminación cuanto más pesados sean. Sin embargo, un gasoil limpio, con un quemador bien regulado y mantenido, origina muy poco benzopireno, un contaminante.

La diferencia de precios de los combustibles mencionados es el motivo principal de la elección de su uso, lo cual no suele estar de acuerdo con los factores de calidad del grano.

Cuando se adquieran combustibles más baratos, como diésel oíl, diluyente y fueloíl, hay que tener muy en cuenta la elección del proveedor, para evitar mezclas, adulteraciones y otras maniobras que perjudican la calidad de los productos.

Entre los combustibles gaseosos, hay dos tipos principales de gas que pueden emplearse: gas licuado (propano y/o butano), que es provisto en tanques o cisternas. Es un producto líquido, que se gasifica rápidamente al abrir las válvulas, por la alta presión a que está sometido el gas natural que circula a baja presión, y su precio es inferior al primero.

El gas licuado requiere, además de la provisión regular del mismo por las empresas abastecedoras, de un sistema de combustible que contiene válvulas, manómetros, llaves, elementos de seguridad y conductos, además de los tanques o depósitos de gas.

El gas natural, si bien es más barato y más simple su manejo, necesita contar con la línea que conecte la secadora con la red general; en la mayoría de los casos la red está alejada, y el propietario de la planta debe hacerse cargo del costo de la misma. Sin embargo, el gas natural tiene la ventaja de no tener la necesidad de un depósito o tanque y de la seguridad de su aprovisionamiento.

La equivalencia entre el consumo de gasoil y de gas envasado (propano) se establece sobre el poder calórico de ambos combustibles y los pesos específicos respectivos.

Entre los combustibles sólidos, la leña es lo más usado y muy económico para zonas donde abundan bosques y montes, tiene un aceptable poder calórico y es de fácil combustión. Su manejo no exige mano de obra calificada y tiene bajo tenor de cenizas y azufre.

En Brasil está prohibido desde 1981 el empleo de combustibles derivados del petróleo para el secado de granos, lo que obligó a la utilización de leña y de residuos agrícolas.

Para su empleo se necesita un horno grande especial, provisto de una grilla de hierro fundido y revestido de material refractario. En algunos hornos la leña sufre un presecado y los gases desprendidos son totalmente quemados cuando pasan por la grilla, y se separan hacia una cámara de mezcla. Se producen altas temperaturas, del orden de 1 000 °C, y luego de la mezcla pueden llegar a 250 °C. La combustión es buena con gases libres de partículas incandescentes. Luego se mezcla con aire frío para reducir la temperatura a 80 o 100 °C.

Otros hornos deben trabajar con fuego o combustión indirecta, para impedir que el aire quede impregnado de hollín, que transmite a los granos olor y gusto desagradables.

El consumo de leña, para una secadora de 30 - 40 t/h puede ser de unos 2 m<sup>3</sup> por hora. Los inconvenientes que presenta la leña son: el gran volumen de espacio que ocupa y su correspondiente acarreo. Requiere además, un operario para la carga del horno y el control de temperatura. Además, el abastecimiento puede ser irregular, considerando las grandes cantidades necesarias. Si bien su poder calórico es aceptable, resulta inferior al de los combustibles líquidos.

Por otra parte, pueden existir prohibiciones de explotar bosques naturales, por lo cual se necesita disponer de un programa de reforestación bien encarado y continuo.

### **1.3.2.2. Medición de consumo de combustible**

En los manuales de los fabricantes de secadoras y dependiendo del uso que se le quiera dar a la información, el consumo de combustible se puede expresar como unidades de kg, litro o en m<sup>3</sup> por quintal de grano seco o por hora de trabajo.

Esta forma de expresarlos es útil para esos cálculos, pero no totalmente exacta, porque el consumo varía de un combustible a otro, porque es diferente según muchos factores que influyen en el proceso de secado: el tipo y variedad de grano a secar, el tipo de combustible a utilizar y las condiciones de temperatura y humedad que poseen cada uno, así como condiciones ambientales, etc.

Muchas veces casi el 50 % del calor producido por el combustible se puede perder. Las calorías necesarias para el secado las suministra, entonces, el combustible.

A continuación se presenta el cálculo para conocer cuál es el consumo de combustible de una secadora; por ejemplo: una secadora que debe secar grana de 21 a 14 % de humedad y que tiene una capacidad de fábrica de 30 t/h, se supone que el consumo específico de energía de 1 200 kcal/kg de agua evaporada.

Secar de 21 a 14 % significa una merma de 7 %, 30 t/h es la capacidad de grano seco, pero debe calcularse la cantidad de grano húmedo que ingresó en 1 hora. Para ello se aplica la fórmula:

$$\frac{(100-14)}{(100-21)} \times 30 \text{ t/h} = 32,65 \text{ t/h}$$

$$32,65 - 30 = 2 \text{ 658 t/h} = 2 \text{ 658 kg de agua/h}$$

$$2 \text{ 658 kg/h} \times 1 \text{ 200 kcal/kg} = 3 \text{ 189 600 kcal/h}$$

Si cada kg de gasoil libera 10 100 kcal/kg, resulta un consumo de:

$$3 \text{ 189 600} / 10 \text{ 100} = 316 \text{ kg gasoil/hora}$$

$$\text{o sea } 316 \text{ kg/h} / 32,65 \text{ t/h} = 9,67 \text{ kg/t} = 0,97 \text{ kg/quintal}$$

Que serán iguales a 1,18 l/quintal, o a 385 l/hora

Otra forma de expresar el consumo de combustible es en litros por tonelada y por punto de humedad. En el ejemplo anterior sería:

$$11,8 \text{ l/t} / 7\text{p} = 1,69 \text{ l/ t.p}$$

Sin embargo la práctica más común y sencilla para determinar el consumo de combustible es medir la cantidad directamente la cantidad utilizada (kg, litro, galones, etc.)

### 1.3.2.3. Combustión y quemadores

Según De Dios (1996) “para quemar completamente 1 kg de gasoil se requiere un mínimo de 15 kg de aire, o sea unos 12 m<sup>3</sup>”.

Lasseran citado por De Diós (1996), indica que “como en un quemador no se puede mezclar bien el aire con el combustible, es necesario aumentar la cantidad de aire. Esto aumenta el volumen de gases de la combustión, los cuales, por estar a una temperatura determinada, aumentan las pérdidas de calor, proporcionales al exceso de aire”.

Cuando la combustión es incompleta, el combustible no está correctamente pulverizado, o el quemador está mal regulado, pueden aparecer también granos con olor a combustible o tiznados, y hasta mojados con combustible. Hay que verificar, entonces, el estado y funcionamiento del quemador, o ver si el combustible está mezclado con suciedades o agua.

En cuanto a las boquillas o picos del quemador, citando Frola (1982), “están diseñadas para un rango específico de viscosidad, ya que variaciones de esas viscosidades resultarán en una pobre atomización. La atomización expone una gran parte de la superficie de las partículas de combustibles para entrar en contacto con el aire de combustión, contribuyendo así a una pronta ignición y una rápida y completa combustión”.

Debido a que la viscosidad puede variar de partida a partida, dependiendo del origen del crudo, será necesario realizar ajustes en el atomizador hasta encontrar el punto óptimo, o lo que es más práctico, teniendo un juego para cada tipo de combustible.

En el tipo mecánico de quemador de gasoil la pulverización del combustible requiere una presión de 8-12 bar; en cambio, al emplear fueloil, se necesita una presión mayor, y en muchos casos se podría calentar el fluido para disminuir su densidad.

#### **1.4. Red de distribución de vapor**

Para lograr obtener una adecuada red de distribución de vapor es necesario considerar que el diseño ayude a solucionar los inconvenientes y de ser posible considerar la mayor cantidad de equipos estándar para facilitar la operación y que los repuestos sean genéricos.

Para mejorar un proceso ya existente se debe considerar todo el sistema y no solamente los componentes individualmente, así como verificar el impacto que se puede tener en otros procesos.

##### **1.4.1. Uso del vapor**

En la industria, los sistemas más populares utilizan vapor: energía, petroquímica, farmacéutica, textil, papel, alimentos, servicios, etc. y se han observado algunas ventajas en común: no tóxico, barato, alta conductividad térmica (20 °C, líquido, 0,7 W/mK), alto calor específico (20 °C, líquido: 4,18 kJ/kg; 70 °C: 4,10 kJ/kg K), gran calor de vaporización (20 °C, 2 453 kJ/kg) y por supuesto tiene también algunas limitaciones: presión máxima de instalaciones, presión crítica ( $p_c = 220$  bar,  $T_c = 372$  °C).

## **1.4.2. Elementos de red de distribución de vapor**

Una red de distribución de vapor, en principio está compuesta, al igual que cualquier red de distribución de un fluido, por tuberías y accesorios de tubería. En la actualidad existe un sinnúmero de elementos o piezas que pueden ser parte de la red de distribución de vapor; a continuación se explicarán las funciones de elementos básicos que componen una red de distribución.

### **1.4.2.1. Calderas**

Diseñadas para generar vapor normalmente sobrecalentado de alta presión (21-50... 110 bar), con una eficiencia típica: 80-90 % y pueden ser pirotubulares o aquatubulares.

### **1.4.2.2. Turbina de vapor**

Es una turbomáquina motora que transforma la energía de flujo de vapor en energía mecánica, a través de un intercambiador de cantidad de movimiento. Comúnmente se pueden encontrar de dos tipos: contrapresión y condensación, con o sin extracción lateral.

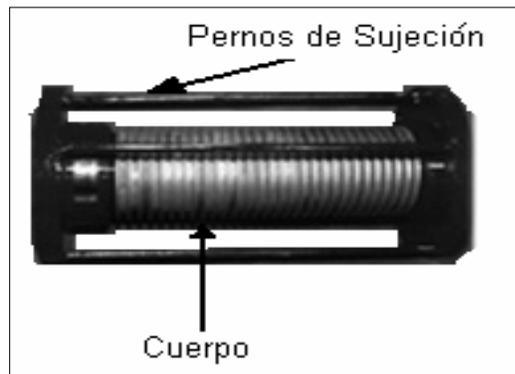
Las turbinas de extracción se encuentran en todo tipo de aplicaciones. En una turbina de extracción, el vapor es liberado en diversas etapas y aprovechado en distintos procesos industriales, también puede ser enviado a calentadores de agua para mejorar la eficiencia del ciclo.

### 1.4.2.3. Juntas de dilatación

Según Trujillo (2007) en la red de distribución de vapor “la dilatación es un fenómeno que no se debe de olvidar, ya que la tubería que conforma esta red se encuentra expuesta a elevadas temperaturas por lo cual esta se dilata”, una solución que puede ayudar a solucionar este inconveniente es la instalación de juntas de dilatación entre la red de vapor, para que estas puedan absorber movimientos.

Adicionalmente, también contribuyen a liberar la deformación en el sistema causada por los cambios térmicos, esfuerzos de carga, choque de bombeo, desgaste o asentamiento. También reduce ruidos mecánicos, aísla la vibración mecánica y compensa el mal alineamiento de la tubería.

Figura 13. Juntas de dilatación



Fuente: [www.acordintl.com](http://www.acordintl.com) Consulta: 25 de agosto de 2012.

#### **1.4.2.4. Consumidores de vapor**

La razón fundamental de la aplicación del vapor de agua en la industria es la necesidad que se tiene de emplear fuentes de calor a muy diversos niveles de temperatura. Este requisito lo cumple el vapor a la perfección, pues su rango de trabajo se encuentra entre 1,13 bar y 70 bar, que equivalen a una banda térmica entre 103 °C y 287 °C, como vapor saturado seco.

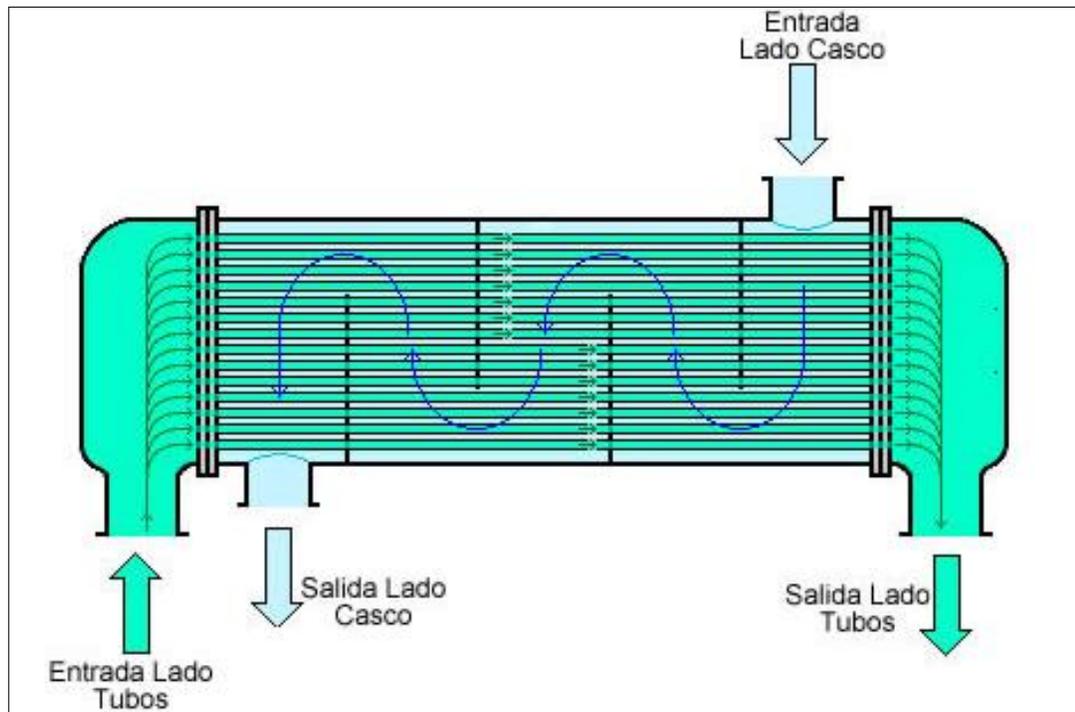
Su elevado calor latente y su baja densidad hacen que el vapor de agua sea especialmente efectivo en las operaciones de calentamiento. En la práctica, se tiene un número muy elevado de procesos industriales en los que se puede aplicar, y en la agroindustria se utiliza específicamente en el secado de granos, en equipos de secado industrial.

#### **1.4.2.5. Intercambiadores de calor**

Es un dispositivo diseñado para transferir calor entre dos medios que están separados por una barrera o que se encuentran en contacto.

Un intercambiador permite la transferencia de calor de un fluido a otro sin que se mezclen los dos fluidos. En la figura 14 se muestra un intercambiador que se compone de un conjunto de tubos; por lo general hechos de un buen conductor térmico, como el cobre, encerrado en un casco de acero.

Figura 14. Intercambiador de calor



Fuente: <http://termoweb.comyr.com/primeraley.html> Consulta: 25 de agosto de 2012.

En la entrada del lado de los tubos (lado izquierdo), el líquido entra por el colector ubicado en un extremo del intercambiador, fluye a través de los tubos, y sale por el colector del extremo opuesto.

En el lado casco, el líquido fluye en zig-zag y en sentido contrario a la dirección del fluido que contienen los tubos; si el fluido que viaja por el casco es más caliente que el líquido del interior de los tubos, el calor será transferido a través de las paredes del tubo al líquido en su interior.

#### 1.4.2.6. Válvulas

Una válvula es uno de los instrumentos de control más esenciales en la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos.

Conectan colectores de vapor, compensan automáticamente fallas de vapor en un colector y son accionados mediante control de presión del colector del nivel inferior. En la figura 15 se detalla una válvula de compuerta.

Figura 15. **Válvula de compuerta**



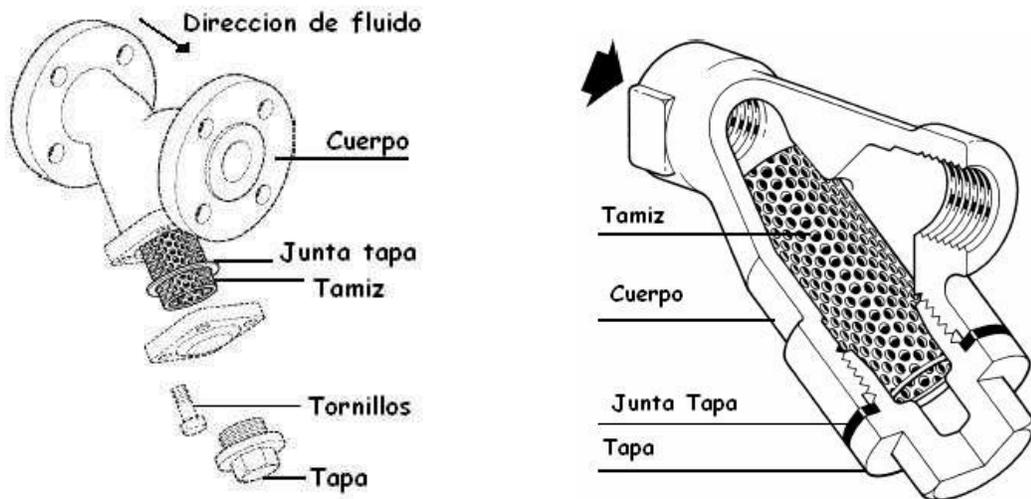
Fuente: [www.valvias.com](http://www.valvias.com). Consulta: 25 de agosto de 2012.

### 1.4.2.7. Filtros

Como el mismo nombre indica, un filtro ayuda eliminar determinadas materias de un sistema de tuberías. Aunque los purgadores de vapor se llevan la mayor parte del éxito, los filtros también tienen un papel muy importante en el buen funcionamiento de un sistema. Están fabricados con un cuerpo de acero, hierro fundido, bronce y acero inoxidable.

Tienen en su interior una malla, la cual puede ser de acero “o” acero inoxidable. Su funcionamiento consiste en el paso del flujo a través de un cedazo, el cual está enrollado rígidamente en forma cilíndrica; no permite el paso de partículas extrañas en el flujo, se especifica para el material que se requiere, la presión y temperatura, el tipo de fluido y el tamaño de la tubería a la cual son conectados.

Figura 16. Filtros para vapor



Fuente: Spirax sarco. Manual de filtros. p. 28.

#### **1.4.2.8. Trampas de vapor**

Citando a Trujillo (2007) “las trampas de vapor se pueden considerar como un drenaje de todo el condensado que resulta del enfriamiento del vapor al ser utilizado”.

La principal función de la trampa es descargar el condensado del vapor en una forma automática y segura hacia el drenaje o tubería de condensado, y sus otras funciones son:

- Permitir el paso del condensado que es generado por el calor latente del vapor en una tubería o proceso, del sistema de vapor a un sistema de menor presión.
- Impedir el paso del vapor, asegurando así que se aproveche su calor latente en el sistema o proceso.
- Remover aire y otros gases no condensables del sistema de vapor para mantener la temperatura y reducir la corrosión en el sistema.

#### **1.4.3. Aspectos prácticos para la instalación de tuberías de distribución de vapor**

Las tuberías y accesorios, como elementos conductores de fluidos de gran responsabilidad, están normalizados internacionalmente para garantizar unos valores exactos de resistencia, así como de garantizar su conexión sin tener que reinventarlos cada día en cada proyecto.

#### **1.4.3.1. Dimensiones de colectores**

Las dimensiones de los colectores deben ser apropiadas para su empleo en conducciones de suministro de vapor y recogida de condensado de líneas de distribución y otras aplicaciones similares. Algunas ventajas de la instalación de colectores en la industria son:

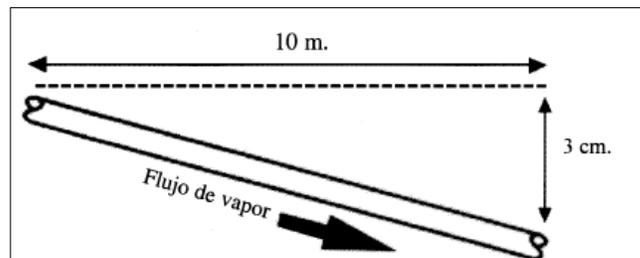
- Reducen el coste de diseño y montaje: la instalación de un colector en el suministro de vapor o la recogida de condensado reduce a menudo el coste, tanto del diseño como del montaje.
- Optimizan la gestión de válvulas y purgadores: montando en un conjunto válvulas y purgadores se optimiza la gestión de unos y otras: la inspección y el mantenimiento se facilitan y abaratan.
- Óptima selección de válvulas y purgadores: los colectores para recogida de condensado pueden montar distintos tipos de purgador y formar un conjunto con las válvulas o pueden incluir solo los purgadores, en una opción más simple.
- Amplia gama de productos: amplia gama de colectores con distinto número de ramas, incluyendo modelos de 4, 8 y 12 ramas.
- Pueden realizarse diseños a medida para ajustarse a las necesidades específicas de la aplicación.

### 1.4.3.2. Pendiente de tuberías

Debido a que las tuberías de vapor transportan en esencia agua, esta tiende a condensarse dentro de las tuberías. Para contribuir a que el condensado fluya hacia el próximo purgador y no se acumule en su interior, las tuberías siempre deben tener cierto ángulo de inclinación.

Según SEDITSA (sin fecha) la pendiente que debe tener una línea de vapor es de alrededor de 3 % en la dirección de avance del vapor (ver figura 17).

Figura 17. Pendiente de línea de vapor



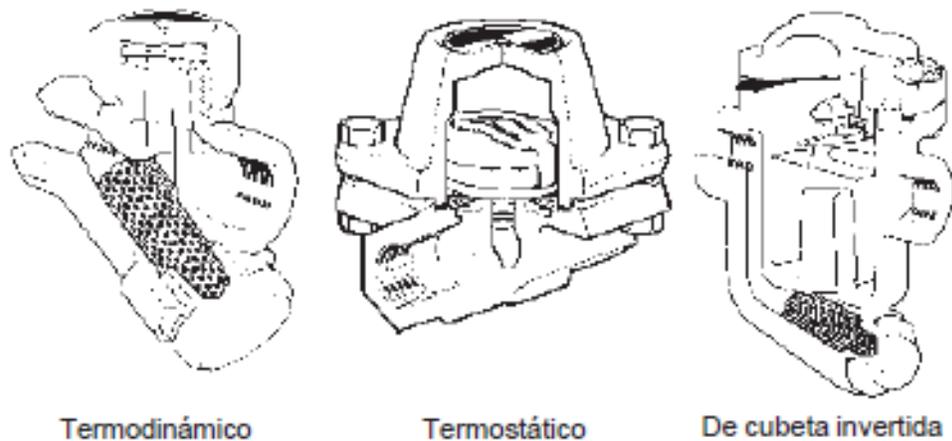
Fuente: SEDITESA. Hoja técnica No. 7. p. 1.

### 1.4.3.3. Instalación de purgadores

El purgador es una parte esencial en cualquier sistema de vapor. Mantiene la conexión entre el equipo que utiliza el vapor y el retorno del condensado; retiene el vapor pero elimina el condensado, así como el aire y otros gases.

Los tipos de purgadores más comunes se muestran en la figura 18.

Figura 18. Tipos de purgadores



Fuente: Spirax sarco. Manual de distribución de vapor. p. 30.

#### 1.4.3.4. Protección de tuberías

El aislamiento en las tuberías se utiliza para reducir la pérdida de calor sobre consideraciones de tipo económico. Una conductividad térmica baja es la propiedad que distingue a un aislamiento térmico.

Dependiendo del uso, otras propiedades pueden ser consideradas como la resistencia, dureza, densidad, compresibilidad, calor específico y la resistencia a las bajas y altas temperaturas.

Existen muchos materiales aislantes para tubería como: el de 85 % de magnesia (ligada con fibra de vidrio), la fibra de vidrio, el silicato de calcio y varias formas de tierras diatomáceas.

## **1.5. Desarrollo de la productividad de las empresas**

Se sostiene que la productividad es la relación entre la producción obtenida por un sistema productivo y los recursos utilizados para obtener dicha producción. También puede ser definida como la relación entre los resultados y el tiempo utilizado para obtenerlos: cuanto menor sea el tiempo que lleve obtener el resultado deseado, más productivo es el sistema.

En realidad “la productividad debe ser definida como el indicador de eficiencia que relaciona la cantidad de producto utilizado con la cantidad de producción obtenida”. (Casanova, 2002).

El término de productividad global es un concepto que se utiliza en las grandes empresas y organizaciones para contribuir a la mejora de la productividad mediante el estudio y discusión de los factores determinantes de la productividad y de los elementos que intervienen en la misma.

A título de ejemplo se indica lo que establece el convenio colectivo de la empresa SEAT, S. A., para definir lo que ellos entienden por productividad total.

- Estudio de los ciclos y cargas de trabajo, así como su distribución
- Conjugación productividad- calidad
- Alternativas de los apoyos de la producción a fin de mejorar la eficiencia
- Estudio de la falta de eficiencia tanto proveniente de los paros técnicos como de los rechazos
- Estudio de los materiales y obra en curso
- Asesoramiento y participación

### **1.5.1. Tipos de productividad**

Aunque el término productividad tiene distintos tipos de conceptos, básicamente se consideran dos: productividad laboral y productividad total de los factores (PTF).

La productividad laboral se define como el aumento o disminución de los rendimientos, originado en la variación de cualquiera de los factores que intervienen en la producción: trabajo, capital o técnica, entre otros.

Se relaciona con el rendimiento del proceso económico medido en unidades físicas o monetarias, por relación entre factores empleados y productos obtenidos.

Es uno de los términos que define el objetivo del subsistema técnico de la organización. La productividad en las máquinas y equipos está dada como parte de sus características técnicas.

### **1.5.2. Factores que influyen en la productividad**

Además de la relación de cantidad producida por recursos utilizados, en la productividad entran a juego otros aspectos muy importantes como:

- **Calidad:** la calidad del producto y del proceso se refiere a que un producto se debe fabricar con la mejor calidad posible según su precio y se debe fabricar bien a la primera, o sea, sin reprocesos.
- **Productividad = salida/entradas:** es la relación de eficiencia del sistema, ya sea de la mano de obra o de los materiales.

- Entradas: mano de obra, materia prima, maquinaria, energía, capital, capacidad técnica.
- Salidas: productos o servicios, esperados.

Para esto pueden darse varios escenarios:

- Misma entrada, salida más grande
- Entrada más pequeña, misma salida
- Incrementar salida, disminuir entrada
- Incrementar salida en mayor proporción que la entrada
- Disminuir la salida en forma menor que la entrada

### **1.5.3. Mejora de la productividad**

La mejora de la productividad se obtiene innovando en: tecnología, organización, recursos humanos, relaciones laborales, condiciones de trabajo, calidad, eficiencia, reducción de costos, entre otros, con el fin de incrementar las salidas y reducir las entradas, al mismo tiempo o por individual.

### **1.5.4. Análisis costo-beneficio**

Es una técnica usada para evaluar programas o proyectos de inversión, que consiste en comparar costos con beneficios asociados a la realización del programa o proyecto. Los beneficios pueden ser de tipo monetario o social, directo o indirecto.

Los métodos que se utilizan con mayor frecuencia son: tasa interna de rendimiento, valor actual neto y relación costo-beneficio; estos indicadores deben ofrecer información concisa sobre los resultados del proyecto.

El valor actual neto (VAN): se trata de un indicador de resultados de inversión, podría ser un criterio de evaluación de una inversión muy simple y precisa:  $VAN > 0$  significa que el proyecto genera un beneficio neto y es en general deseable. En otras palabras, puede ser una buena medida del valor añadido que un proyecto tiene, en términos monetarios. (Tracogna, et al, 2003).

La fórmula para calcular el VAN es:

$$VAN = \text{Beneficio neto actualizado} - \text{Inversión}$$

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_o$$

En donde:

- $V_t$  = flujos de caja en cada periodo t
- $I_o$  = valor del desembolso inicial de la inversión
- n = número de periodos considerado
- k = tipo de interés

La tasa interna de retorno (TIR): se define como el tipo de interés que anula el valor actual neto de la inversión. También es la tasa de descuento requerida para que el VAN sea igual a cero. (Tracogna et al, 2003).

La fórmula para calcular la TIR es:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_{ft}}{(1+TIR)^t} - I_o = 0$$

La técnica de análisis de costo-beneficio (B/C): tiene como objetivo fundamental hacer evidente la rentabilidad de un proyecto, por medio de la comparación de los costos previstos con los beneficios esperados en la realización del mismo. Un análisis costo/beneficio por sí solo puede ser una guía clara para tomar una buena decisión.

La relación costo-beneficio (B/C), también conocida como índice neto de rentabilidad, es un cociente que se obtiene al dividir el valor actual de los ingresos totales netos o beneficios netos (VAI) entre el valor actual de los costos de inversión o costos totales (VAC) de un proyecto. (Tracogna et al, 2003).

La fórmula para calcular la B/C es:

$$\frac{\textit{beneficios}}{\textit{costos}} = \frac{VA(I)}{VA(O)}$$

Citando a Tracogna et al. (2003) siendo I las entradas y O las salidas. Si  $B/C > 1$ , el proyecto es apropiado, ya que los beneficios calculados según el valor actual de las entradas totales, son mayores que los costos, calculados según el valor actual de las salidas totales.

Resumiendo, un proyecto o negocio será rentable cuando la relación costo-beneficio es mayor que la unidad.

Se trata de una cifra, como la TIR, y es independiente de la cantidad de inversión. A veces es más fácil de utilizar porque no se presta para ambigüedades como sucede con la TIR, por tal motivo, en algunos casos la relación B/C resulta mucho más apropiada para calificar los proyectos de inversión.

## **2. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE SECADO DE GRANZA**

El diagnóstico se basa en analizar los recursos que se utilizan e intervienen en el proceso de secado de granza, los procedimientos de trabajo y todas las variables relacionadas con el proceso actual de secado de granza.

El sistema de secado de granos se puede definir como un proceso en el que hay un intercambio simultáneo de calor y producto (masa), entre el aire caliente y los granos; en este caso de granza.

### **2.1. Operación de secado de granza**

La operación de secado de granza se realiza posterior a la descarga y limpieza de la granza, y puede durar entre 5 a 15 horas efectivas de secado, dependiendo del porcentaje de humedad que contenga la granza, más el tiempo de carga, descarga y transporte de la granza a secar.

#### **2.1.1. Procedimiento de secado**

El procedimiento actual de secado inicia cuando se ponen a funcionar el sistema de alimentación de las limpiadoras (compuestos por mecanismos de transportadores y elevadores), el ciclón de la limpiadora y la limpiadora en sí.

Al mismo tiempo se encienden los transportadores y elevadores que alimentan las secadoras, para tener un flujo continuo de llenado de la secadora.

Se acumula la granza que ingresa a la secadora y después de acumular lo suficiente (la mitad de su capacidad) se enciende el mecanismo interior de la secadora que sirve para distribuir la granza de forma uniforme. Con esto también se aprovecha el total de la capacidad de la secadora; en otras palabras, este mecanismo interno sirve para reacomodar la granza, hasta que quede llena.

En el momento que la secadora se encuentra llena, se ponen en marcha los siguientes equipos: elevador, rotor, ventilador y de la secadora, y quemador a base de diésel.

Al iniciar el proceso de secado, el operador responsable del turno de las secadoras, toma la primera muestra para determinar el porcentaje de humedad desde el inicio del secado; se busca llevar la granza a un porcentaje de humedad de  $11,5 \pm 0,5 \%$  (porque es la humedad óptima de almacenaje), por lo que se hacen los muestreos para analizar la humedad durante el proceso de secado, hasta llegar a la humedad requerida.

Cuando el arroz llega a la humedad requerida, se apagan el quemador a base de diésel y se deja recirculando la granza dos horas; al finalizar este proceso se traslada la granza al silo de almacenamiento asignado.

### **2.1.2. Control necesario durante el secado**

Durante el proceso de secado se controlan los mecanismos de alimentación, transporte y descarga de granza que están funcionando para no tener sobrecargas, y que esto pueda ocasionar derrames o rebalses de los equipos.

Otro control indispensable es la humedad inicial de la granza, para saber cuántas horas aproximadamente, se tendrá que secar la granza para que llegue a su punto óptimo de humedad.

Un control sumamente importante e indispensable es la alimentación de combustible que tiene el sistema de secado a base de diésel, porque si es mucho el flujo de combustible, puede haber sobrecalentamiento y dañar el grano o peor aún, puede haber un derrame y esto puede terminar en accidentes lamentables, y si el flujo de combustible es escaso, se pierde eficiencia; en ambos casos se elevan los costos del proceso.

#### **2.1.2.1. Variables que se controlan**

Durante el proceso de secado se controla únicamente la temperatura del aire caliente que ingresa a la cámara de la secadora, debido a que la velocidad de los rotores no es ajustable.

Como ya se ha mencionado con anterioridad, la variable que indica el punto de secado de la granza es la humedad del grano.

#### **2.1.3. Personal con el que se cuenta**

Para el proceso de secado de granza se cuenta con dos turnos, debido a que es un proceso de lotes continuos y existe el riesgo de que el producto sufra daños si se deja húmedo o a medio secado; actualmente se tienen 4 operadores de secado para todo el proceso.

#### **2.1.4. Jornadas de trabajo**

Cada turno de trabajo se establece en doce horas; por lo regular si el primer turno inicia el proceso de secado, el segundo turno finaliza el proceso; tomando en cuenta desde que se inicia la limpieza de la granza hasta que se descarga todo el producto hacia el silo de almacenamiento.

### **2.2. Análisis del sistema actual de secado**

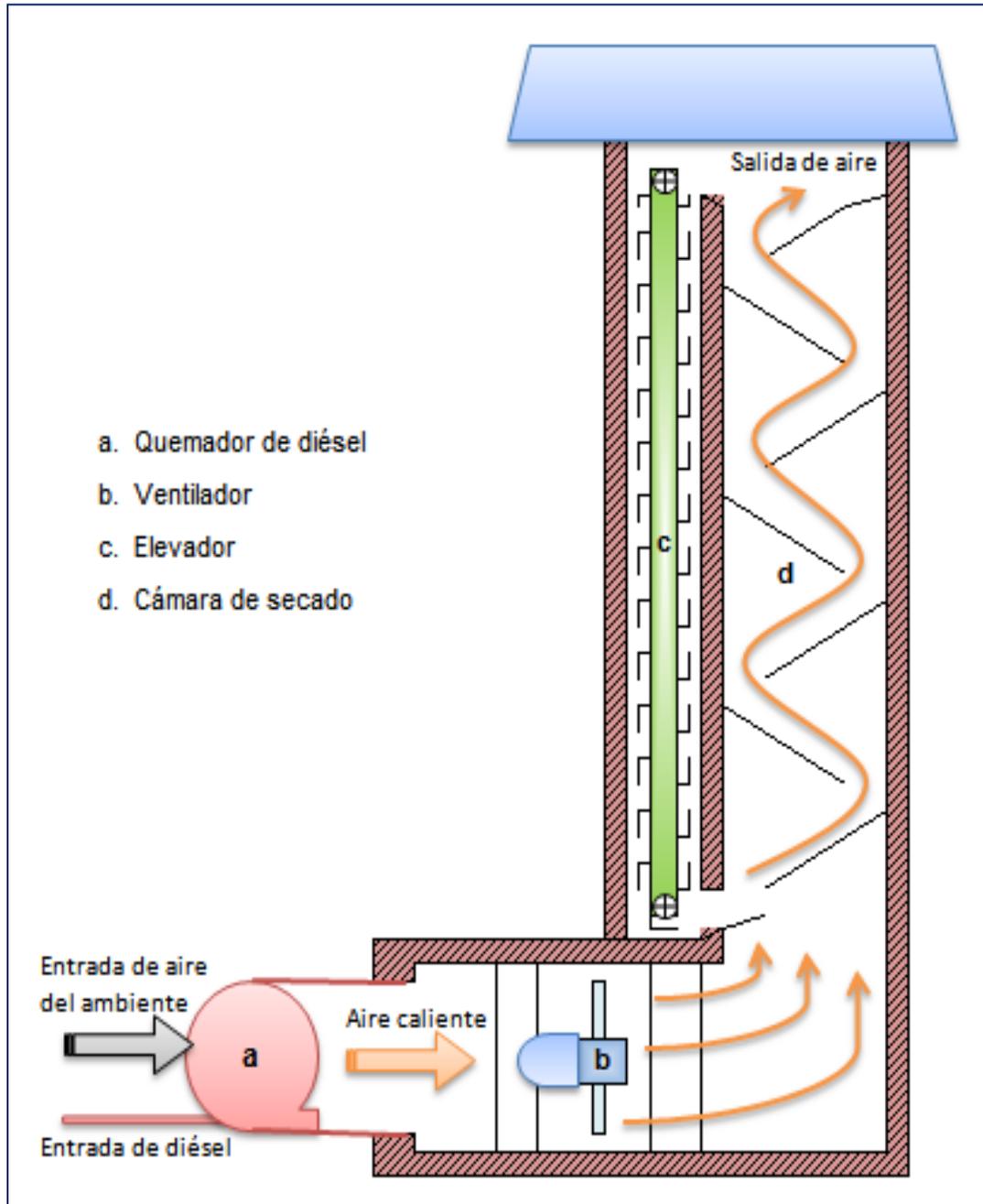
El sistema de secado consta de ventiladores para mover el aire caliente generado por el quemador de diésel hacia la cámara de secado, para que este pueda atravesar el grano que desciende en forma de cortina, en la figura 19 se aprecian los sistemas que constituyen el sistema de secado actual.

El grano húmedo ingresa permanentemente en un extremo, tiene contacto con el aire caliente, y el grano un poco más seco, es transportado para que ingrese nuevamente a la cámara de secado.

#### **2.2.1. Descripción del equipo actual**

Mecánicamente, el sistema de secado cuenta con muchos componentes; sin embargo se pueden evidenciar tres grandes mecanismos: quemador de diésel, ventilador y sistema de recirculación (elevador y paletas de caída libre dentro de la cámara de secado).

Figura 19. Sistema de aire de secado de granza utilizando diésel



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel 2007.

### 2.2.1.1. Tipo de secado

El tipo de secado utilizado es un proceso de lotes de flujo continuos en donde se alcanza la capacidad de la secadora y se inicia el proceso de secado. También se puede decir que es un secado tipo artificial y que produce la principal transformación del grano en la postcosecha y a su vez es el procedimiento que más atención requiere para no afectar la calidad.

### 2.2.2. Eficiencia del equipo actual

La eficiencia se calcula con la fórmula siguiente:

$$ef = \frac{\text{kg de agua evaporada} \times \text{calor latente del agua (kcal/kg)}}{\text{kg de combustible usado} \times \text{poder calorífico del combustible}}$$

La humedad inicial ( $H_i$ ) de un lote de 22 700 kilos, es 20 % y la humedad final ( $H_f$ ) es 11,5 %, para lo cual, el porcentaje de agua evaporada es:

$$\% \text{ agua evaporada} = \left( \frac{H_i - H_f}{100 - H_f} \right) \times 100 = \left( \frac{20 - 11,5}{100 - 11,5} \right) \times 100 = 9,60 \%$$

Cantidad de agua evaporada = 22 700 kg x 9,60 % = 2 180,23 kg de agua.

Aplicando la fórmula de eficiencia de secado:

$$ef = \frac{\text{kg de agua evaporada} \times \text{calor latente del agua (kcal/kg)}}{\text{kg de combustible usado} \times \text{poder calorífico del combustible}}$$

Para secar los 22 700 kilos se han utilizado 85 galones de diésel; lo que equivale a 272 kg de diésel (siendo su densidad 0,850 kg/l)

$$ef = \frac{2\ 180,23\ kg \times 600\ kcal/kg}{272\ kg \times 10\ 200\ kcal/kg} = 47,15\ \%$$

### 2.2.2.1. Tiempo de utilización del equipo

El tiempo de secado depende de la humedad inicial que contenga el grano, debido a que la temperatura y el caudal de aire caliente para secado es contante. Se tomaron muestras de humedad cada cierto tiempo, según indica el cuadro siguiente (tabla I):

Tabla I. **Análisis de humedad en el tiempo de secado de granza utilizando diésel**

Hora de muestreo	Humedad de muestra (%)	Tiempo transcurrido (min)
08:15	20,0	--
09:30	17,4	75
10:50	15,6	80
12:10	15,0	80
13:30	14,1	80
14:35	13,0	65
15:45	12,2	70
17:10	11,5	85
Tiempo total de secado		535 min

Fuente: elaboración propia.

El tiempo utilizado en llevar a 11,5 % de humedad 22 700 kilos de granza que contiene una humedad inicial de 20,0 %, es de 8 horas y 55 minutos.

### **2.2.2.2. Capacidad de secado**

Una secadora tiene capacidad de secar en promedio 22 700 kilos de granza (500 quintales).

### **2.2.3. Productividad del equipo actual**

Para el cálculo de la productividad se utilizará el tiempo utilizado para secar la cantidad de granza, tomando en cuenta la evaporación de agua.

Ingresaron 22 700 kg de granza a una humedad del 20,0 %; en el proceso se evaporaron 2 180,23 kg de agua; esto deja un total de 20 519,77 kg (451,98 quintales) de granza seca. Si para realizar esta operación se utilizaron 8,92 horas, aplicando el siguiente principio, se puede calcular la productividad:

$$P = \frac{\textit{Salidas}}{\textit{Entradas}}$$

Productividad en relación con el tiempo utilizado:

$$Pt = \frac{451,98 \textit{ qq}}{8,92 \textit{ horas}} = 50,67 \textit{ qq/h}$$

La productividad de la secadora en relación con el tiempo de secado de granza es 50,67 quintales/h (2 300,44 Kg/h); por cada hora de operación la secadora se produce 50,67 quintales de granza seca.

Productividad en relación al combustible utilizado:

$$Pt = \frac{451,98 \text{ qq}}{272 \text{ kg de diesel}} = 1,66 \text{ qq/kg}$$

La productividad de la secadora en relación con el combustible utilizado para secar la granza es 1,66 quintales/kg; por cada kg de diésel utilizado en el secado se obtiene 1,66 quintales de granza seca.

### **2.2.3.1. Cálculo de consumo de combustible**

El cálculo para el consumo de combustible se realiza con base en pesar la cantidad de diésel consumido durante el tiempo (8,92 horas) que se tarda la secadora en secar un lote de 22 700 kilos de granza, con una humedad inicial de 20,0 % y la humedad final es 11,5 %.

La cantidad de diésel utilizada es 272 kg (85 galones).

### **2.3. Calidad de granza secada con el sistema actual**

Para determinar la calidad de la granza secada a base de diésel, se establece tomar muestras cada 10 minutos durante el proceso de traslado de la secadora al silo de almacenamiento. En total se lograron tomar 12 muestras de 2 kg cada una, para los respectivos análisis.

Cada muestra es sometida a los análisis de rendimiento de masa blanca, rendimiento de granos enteros y blancura para comparar con las especificaciones establecidas en el manual de convenio de arroz Arrozgua (2004) y determinar si cumplen con la calidad esperada.

Las especificaciones de los parámetros de rendimientos y blancura que debe cumplir cada una de las muestras son las siguientes:

- Rendimiento de masa blanca mayor a 68 %
- Rendimiento de granos enteros mayor a 54 %
- Grados de blancura mayor a 32 °Kett.

### **2.3.1. Análisis de rendimiento de masa blanca**

La fórmula utilizada para determinar el rendimiento de masa blanca es la siguiente:

$$\% \text{ Rendimiento masa blanca} = \frac{\text{peso de arroz pulido}}{\text{peso granza limpia}} * 100$$

Los resultados obtenidos de este análisis se muestran en la tabla II, en donde se puede apreciar que todas las muestras analizadas cumplen con la especificación.

### **2.3.2. Análisis de rendimiento de granos enteros**

La fórmula utilizada para determinar el rendimiento de granos enteros es la siguiente:

$$\% \text{ Rendimiento granos enteros} = \frac{\text{Peso de arroz entero}}{\text{Peso granza limpia}} * 100$$

Tabla II. **Rendimientos de masa blanca de las muestras de granza  
secada, utilizando diésel**

Muestra	Rendimiento masa blanca (%)	Mayor a 68 %
1	69,40	Cumple
2	68,55	Cumple
3	68,80	Cumple
4	69,40	Cumple
5	68,80	Cumple
6	69,02	Cumple
7	69,23	Cumple
8	68,60	Cumple
9	68,47	Cumple
10	69,41	Cumple
11	68,30	Cumple
12	68,79	Cumple

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos de este análisis se muestran en la tabla III, en donde se puede apreciar que todas las muestras analizadas cumplen con la especificación.

Tabla III. **Rendimientos de granos enteros de las muestras de granza secada, utilizando diésel**

Muestra	Rendimiento granos enteros (%)	Mayor a 54 %
1	57,70	Cumple
2	57,00	Cumple
3	57.90	Cumple
4	57,90	Cumple
5	57,70	Cumple
6	56,40	Cumple
7	56,90	Cumple
8	56,90	Cumple
9	57,00	Cumple
10	57,80	Cumple
11	55,90	Cumple
12	57,40	Cumple

Fuente: elaboración propia.

La fórmula utilizada para determinar el rendimiento de granos enteros es la siguiente:

$$\% \text{ Rendimiento granos quebrados} = \% \text{ masa blanca} - \% \text{ arroz entero}$$

Los resultados obtenidos de este análisis se muestran en la tabla IV, en donde se puede apreciar que todas las muestras analizadas cumplen con la especificación.

Tabla IV. **Rendimientos de granos quebrados de las muestras de granza secada, utilizando diésel**

Muestra	Rendimiento granos quebrados (%)
1	11,70
2	11,55
3	10,90
4	11,50
5	11,10
6	12,62
7	12,33
8	11,70
9	11,47
10	11,61
11	12,40
12	11,39

Fuente: elaboración propia.

Estos datos son únicamente de referencia para la comparación de los análisis realizados a las muestras de la granza secada con el sistema propuesto.

### **2.3.3. Análisis de blancura**

Los resultados obtenidos directamente del equipo para este análisis se muestran en la tabla V, en donde se puede apreciar que todas las muestras analizadas cumplen con la especificación.

Tabla V. **Blancura de las muestras de granza secada, utilizando diésel**

Muestra	Blancura (°Kett)	Mayor a 32 °Kett
1	38,5	Cumple
2	40,8	Cumple
3	38,3	Cumple
4	40,7	Cumple
5	40,6	Cumple
6	38,6	Cumple
7	40,3	Cumple
8	39,8	Cumple
9	40,2	Cumple
10	39,7	Cumple
11	40,3	Cumple
12	39,9	Cumple

Fuente: elaboración propia.

### **3. PROPUESTA DE UN SISTEMA DE SECADO A BASE DE VAPOR**

#### **3.1. Diseño del sistema de secado propuesto**

El sistema de secado propuesto consta del mismo ventilador para mover el aire caliente hacia la cámara de secado, para que este pueda atravesar el grano que desciende en forma de cortina, *el cambio radica en la forma en que se genera el aire caliente*; en la figura 20 se pueden apreciar los bloques que constituyen el sistema propuesto.

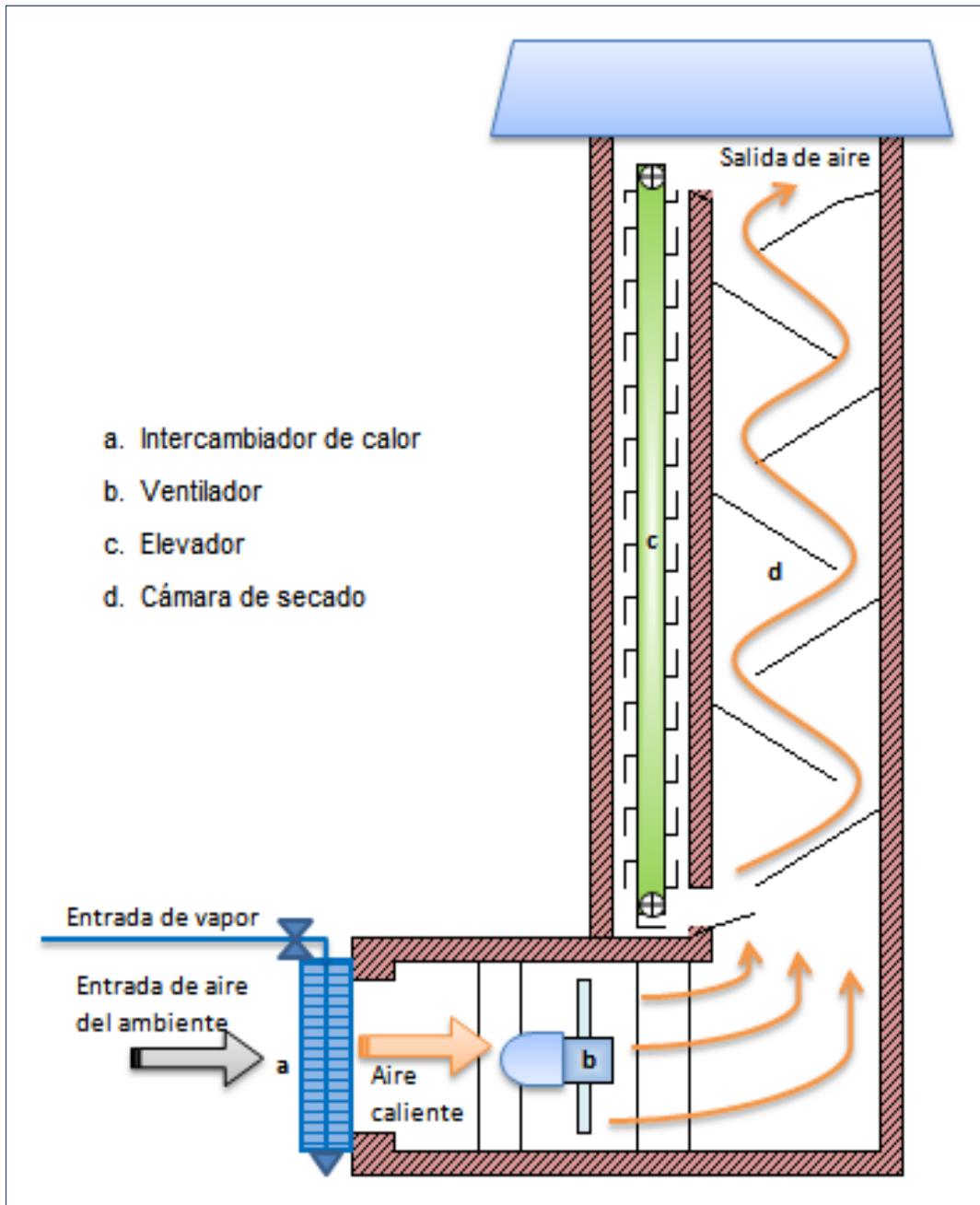
##### **3.1.1. Descripción del diseño propuesto**

Mecánicamente, al igual que el sistema actual, el sistema de secado propuesto cuenta con muchos componentes; sin embargo se pueden evidenciar tres grandes mecanismos: Intercambiador de calor (radiadores), ventilador y sistema de recirculación (elevador y paletas de caída libre dentro de la cámara de secado).

##### **3.1.1.1. Ubicación**

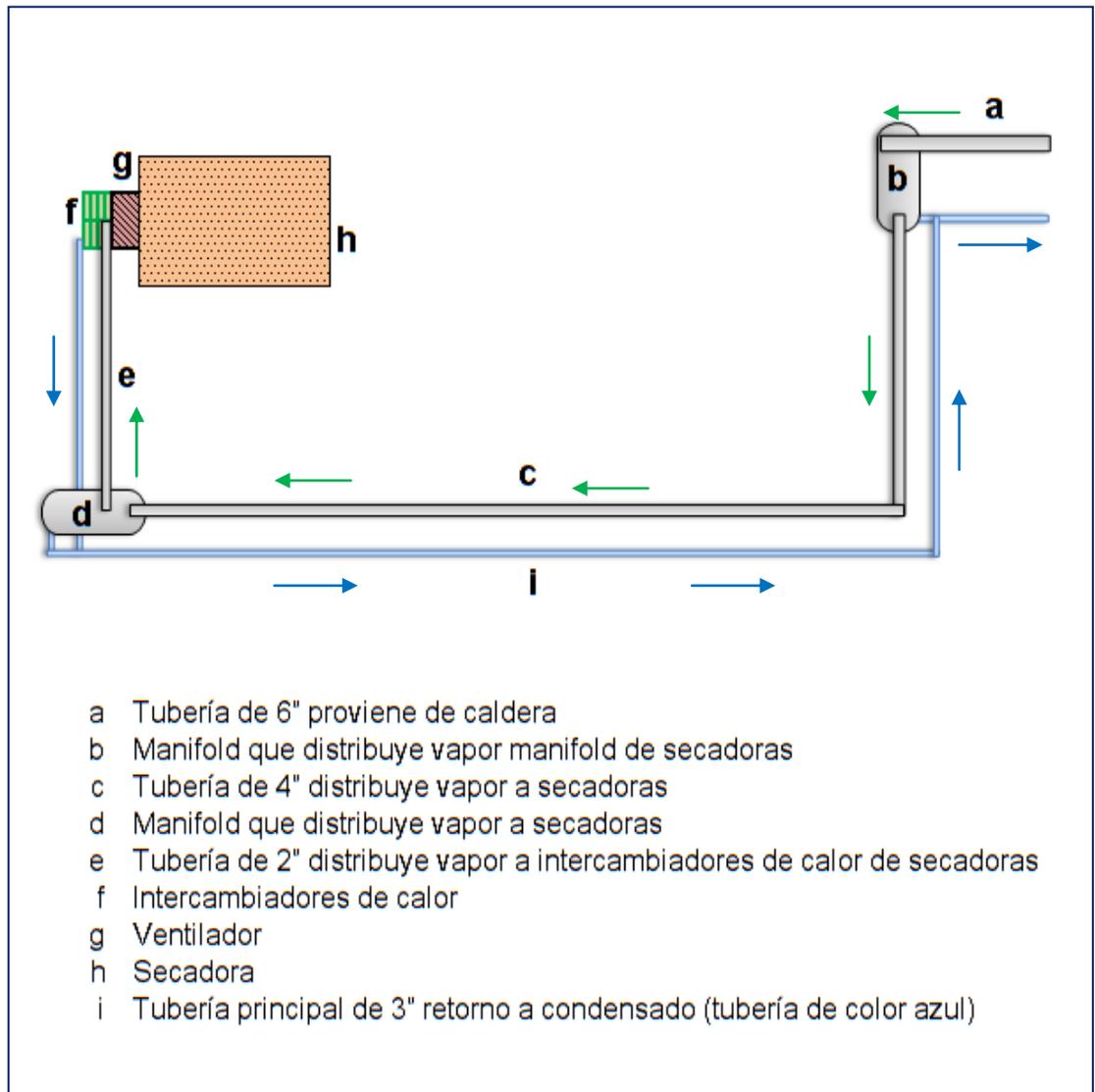
El intercambiador de calor es el equipo propuesto para la generación del aire caliente que permite el secado del grano; este dispositivo será ubicado en ingreso del aire para que el ventilador pueda distribuir el aire en la cámara de secado.

Figura 20. Sistema de aire de secado de granza utilizando vapor



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel 2007.

Figura 21. Diagrama de distribución de vapor para la alimentación de las secadoras



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel 2007.

### **3.1.1.2. Diagrama de distribución de vapor**

El vapor es distribuido desde el *manifold* de la caldera hacia un *manifold* ubicado cerca de las secadoras, el cual distribuye el vapor a los radiadores ubicados en el ingreso del flujo de aire, ingresa a la cámara de secado. En la figura 21 se pueden observar los elementos principales de distribución del sistema propuesto.

En el diagrama anterior se pueden observar dos líneas de tuberías de diferente color, la línea de color gris representa la tubería que distribuye el vapor y la línea de color azul representan el retorno del condensado de los puntos necesarios.

### **3.1.2. Especificaciones del proceso**

El proceso de secado propuesto debe ser controlado en relación con dos variables para que como mínimo se mantengan los rendimientos del proceso actual y que las variaciones en la calidad del producto secado no sean significativas.

La primera variable que se debe controlar para este proceso es la capacidad de generación de vapor, porque al no tener la cantidad suficiente de vapor, puede verse afectado el tiempo de utilización del equipo y por ende la productividad. Esta variable debe ser controlada con un manómetro de presión instalado en el *manifold* que recibe el vapor proveniente de la caldera y lo distribuye a las secadoras (ver figura 24).

La segunda variable es la temperatura de operación para que el poder calorífico del vapor sea aprovechado y que no afecte a las variables de calidad del producto. Estas variables deben ser controladas con un termómetro de espiga instalado en el ingreso del aire caliente a la cámara de secado, después del intercambiador de calor (ver figura 25).

#### **3.1.2.1. Capacidad de generación de vapor para el sistema propuesto**

Actualmente el vapor proviene de la caldera, cuya capacidad es suficiente para la demanda solicitada por el sistema propuesto que son 150 PSI.

La cantidad de vapor requerida por el sistema propuesto para secar 22 700 kg de granza debe ser la que genera 1 062 kg de cascarilla que tiene un poder calorífico de 3 105 kcal/kg. En otras palabras, deben consumirse 118 Kg de cascarilla por hora efectiva de trabajo.

#### **3.1.2.2. Temperatura de operación de secadora**

La temperatura de operación de la secadora debe ser de 60 a 70 ° centígrados, la cual es medida en el ingreso del aire a la cámara de secado; esta temperatura es la óptima recomendada en el proceso de secado para que los granos no sufran fisuras o daños.

#### **3.1.3. Especificaciones técnicas de los equipos a utilizar**

Uno de los requerimientos específicos en relación con los materiales a utilizar es que sean de alta presión; a continuación se detallan los distintos criterios específicos para cada pieza de los equipos a utilizar.

### 3.1.3.1. Tipo de tubería

Las tuberías utilizadas deben ser de acero al carbón sin costura, cédula 40; el acero al carbón es uno de los materiales que mejor se adaptan al tipo de fluido, proceso que se requiere y el presupuesto para este proyecto.

La tubería sin costura se refiere a que no tiene ningún proceso de soldado en toda su longitud y por sus características se considera que tiene algunas ventajas que pueden ser aprovechadas en la implementación del sistema propuesto, por ejemplo: mayor resistencia que la tubería con costura; se pueden fabricar de gran longitud y la posibilidad de cortar y soldar en los puntos específicos que se necesite, mayor seguridad contra la rotura a causas de fuerzas exteriores, escaso peso para el transporte e instalación, lo cual repercute en los costos del proyecto.

La cédula es el espesor de pared de tubería, las tuberías de cédula 40 y 80 son las que tienen mayor gama de medidas; para el diseño propuesto se han seleccionado las de cédula 40, porque cubren el rango de presión requerido en el sistema (150 PSI), para lo cual las tuberías de cédula 80 estarían sobredimensionadas, ya que se utilizan en sistemas de mayor presión.

En la actualidad existen programas para realizar cálculos de todo tipo, y en lo que se refiere a distribución de vapor no es la excepción. Para calcular el diámetro de las tuberías a utilizar en el sistema propuesto se utilizará el *software spirax sarco*, diseñado generalmente para el dimensionamiento de las tuberías principales de distribución de vapor, a través de dos métodos: de velocidades máximas y el de caídas de presión.

En la tabla VI se resumen algunas especificaciones para los distintos diámetros nominales de los tubos cédula 40.

Tabla VI. **Diámetros nominales de tubería y presión de prueba**

DIAMETRO NOMINAL	ESPESOR		e	PRESION/PRUEBA		PESO	
	EXTERIOR			pulg	kg/cm2		lb/pulg2
	mm	pulg	mm				
1/4"	13.70	0.54	2.24	0.08	49	700	0.63
3/8"	17.10	0.37	2.81	0.09	49	700	0.85
1/2"	21.30	0.84	2.77	0.10	49	700	1.27
3/4"	26.70	1.05	2.87	0.11	49	700	1.68
1"	33.40	1.31	3.38	0.13	49	700	2.50
1 1/4"	42.20	1.66	3.56	0.14	91	1300	3.38
1 1/2"	48.30	1.90	3.68	0.14	91	1300	4.05
2"	60.30	2.37	3.91	0.15	176	2500	5.44
2 1/2"	73.00	2.87	5.16	0.20	176	2500	8.62
3"	88.90	3.50	5.49	0.21	176	2500	11.29
4"	114.30	4.50	6.02	0.23	155	2210	16.07
5"	141.30	5.56	6.55	0.25	137	1950	21.78
6"	168.30	6.62	7.11	0.28	125	1780	28.26
8"	219.10	8.62	8.18	0.32	110	1570	42.53
10"	273.00	10.75	9.27	0.36	101	1430	60.29
12"	323.80	12.75	10.31	0.40	94	1340	79.65

Fuente: [www.dipacmanta.com](http://www.dipacmanta.com). Consulta: 11 de mayo de 2013.

El cálculo del diámetro de la tubería para el diseño propuesto se realizará con el método de caída de presión requerida; el software solicita que se conozcan las siguientes variables:

- Presión aguas arriba (*upstream pressure*): es que proporciona el sistema que la genera, en este caso la presión de salida de la caldera 150 PSI.

- Presión aguas abajo (*downstream pressure*): es la presión mínima que se requiere en el punto de uso, para este caso se requiere como mínimo 145 PSI.
- Caudal másico (*mass flow rate*): según el fabricante de los intercambiadores de calor, cada uno consume 750 kg/hora; se utilizan dos en el punto de uso.
- Longitud equivalente de la tubería: esta varía dependiendo de la ubicación de cada dispositivo, la distancia del *manifold* principal y el *manifold* de distribución de vapor en las secadoras es de 65 metros; del *manifold* de distribución a los intercambiadores de calor hay 27 metros.

El cálculo realizado en el *software spirax sarco* para el diámetro de la tubería que alimenta los intercambiadores de calor se puede apreciar en la figura 22; esta tubería debe ser prevista para alimentar cuatro intercambiadores de calor (dos secadoras), un flujo másico de 3 000 kg/h.

La medida sugerida para el diámetro de la tubería en la distribución del vapor del *manifold* hacia las secadoras es de 4”.

El cálculo realizado en el *software spirax sarco* para el diámetro de la tubería que alimenta los *manifold* que distribuye el vapor a las secadoras, se puede apreciar en la figura 23; esta tubería debe ser prevista para alimentar doce intercambiadores de calor (seis secadoras), un flujo másico de 9 000 kg/h.

Figura 22. **Cálculo de diámetro de tubería que alimenta los intercambiadores de calor**

Calculation	Sizing on Pressure Drop	
Upstream Pressure	147	psi gauge
Downstream Pressure	145	psi gauge
Mass Flow Rate	3000	kg/h
Equivalent Pipe Length	27	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
Theoretical Pipe Bore	3.09858	in
<b>Closest Larger Available Pipe</b>		
Nominal Bore	4	in
Upstream Velocity	17.7771	m/s
Downstream Pressure	1.11113E06	Pa (N/m <sup>2</sup> ) absolute
<b>Closest Smaller Available Pipe</b>		
Nominal Bore	3	in
Upstream Velocity	30.6178	m/s
Downstream Pressure	1.10035E06	Pa (N/m <sup>2</sup> ) absolute

Fuente: <http://www.spiraxsarco.com/resources/calculators/pipes/sizing-new-pipes.asp>.

Consulta: 11 de mayo de 2013.

Figura 23. **Cálculo de diámetro de tubería que alimenta los intercambiadores de calor**

Calculation	Sizing on Pressure Drop	
Upstream Pressure	149	psi gauge
Downstream Pressure	147	psi gauge
Mass Flow Rate	9000	kg/h
Equivalent Pipe Length	65	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
Theoretical Pipe Bore	5.54554	in
<b>Closest Larger Available Pipe</b>		
Nominal Bore	6	in
Upstream Velocity	23.2162	m/s
Downstream Pressure	1.11985E06	Pa (N/m <sup>2</sup> ) absolute
<b>Closest Smaller Available Pipe</b>		
Nominal Bore	5	in
Upstream Velocity	33.5357	m/s
Downstream Pressure	1.10651E06	Pa (N/m <sup>2</sup> ) absolute

Fuente: <http://www.spiraxsarco.com/resources/calculators/pipes/sizing-new-pipes.asp>.

Consulta: 11 de mayo de 2013.

La medida sugerida para el diámetro de la tubería en la distribución del vapor de la caldera hacia el *manifold* es de 6".

### 3.1.3.2. *Manifold* de distribución de vapor

El *manifold* es la parte esencial del diseño propuesto, en donde se encuentran las ramas y uniones de conductos de recolección y tuberías de distribución de vapor. Adecuado para cuando un gran número de conducciones de vapor salen de un conducto principal o en recolección, cuando un gran número de líneas convergen en un único conducto de retorno del condensado.

Para todo el sistema propuesto instalarán tres *manifold*; el primero es el encargado de la recolección del vapor que proviene de la caldera y distribución hacia la secadora (ver figura 24), el cual ha sido diseñado para implementación de el sistema propuesto en el resto de los equipos.

Para calcular el diámetro del *manifold* se toma en cuenta el diámetro de las tuberías conectadas al mismo y se utiliza la siguiente fórmula:

$$\emptyset \text{ manifold} = \sqrt[2]{\sum (\emptyset \text{ de tubos conectados al manifold})^2}$$

Los tubos conectados al *manifold* tiene las siguientes medidas uno de 6", cuatro de 4" y uno de 3"; al incorporar estos valores en la fórmula anterior y realizar las operaciones respectivas se obtiene:

$$\emptyset \text{ manifold} = \sqrt[2]{6^2 + 4^2 + 4^2 + 4^2 + 4^2 + 3^2}$$

$$\emptyset \text{ manifold} = \sqrt[2]{109} = 10,45 \cong 10,5''$$

El segundo es el que se encuentra al ingreso de los intercambiadores de calor que recolectan el vapor y lo distribuyen en cada uno de los que sean necesarios (ver figura 25), y el último está ubicado en la parte inferior de los intercambiadores de calor encargados de recolectar el condensado de cada uno y unificarlo para la tubería de retorno de condensado (ver figura 26).

Los tubos conectados a este *manifold* tienen las siguientes medidas: uno de 4" y dos de 2"; al incorporar estos valores en la fórmula anterior y realizar las operaciones respectivas se obtiene:

$$\phi \text{ manifold} = \sqrt[2]{4^2 + 2^2 + 2^2}$$

$$\phi \text{ manifold} = \sqrt[2]{24} = 4,90 \cong 5,0''$$

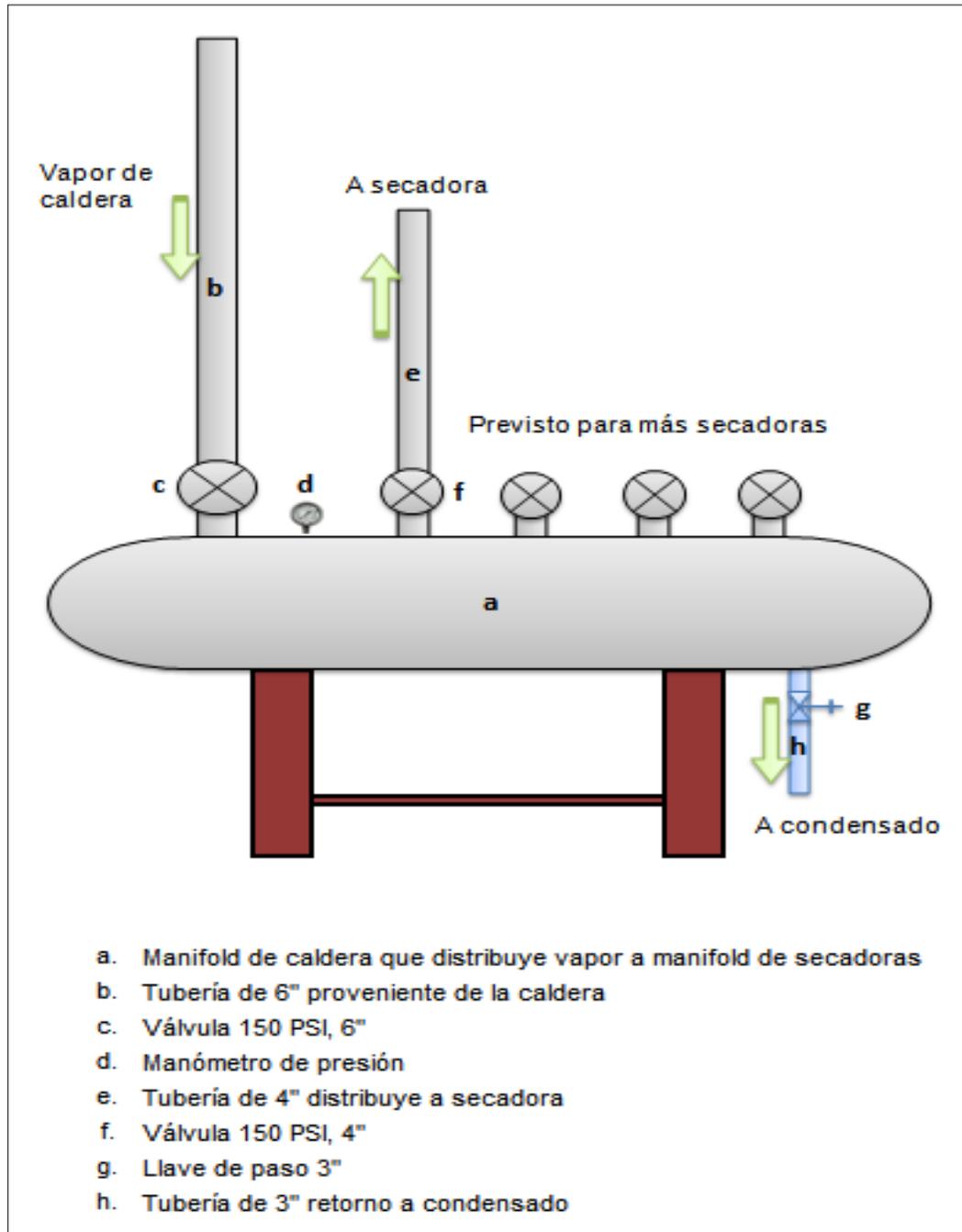
El *manifold* colector de vapor debe ser elaborado de acero forjado, con válvulas de fuelle previstamente incorporadas en cada uno de los posibles ramales de distribución de vapor a utilizar en la implementación en el resto de equipos; también debe tener una válvula colectora de vapor, un manómetro para el control de la presión de vapor y un purgador conectado a la tubería de retorno de condensado.

Los tubos conectados a este *manifold* tienen las siguientes medidas: uno de dos de 2" y una tubería de 3"; al incorporar estos valores en la fórmula anterior y realizar las operaciones respectivas se obtiene:

$$\phi \text{ manifold} = \sqrt[2]{2^2 + 2^2 + 3^2}$$

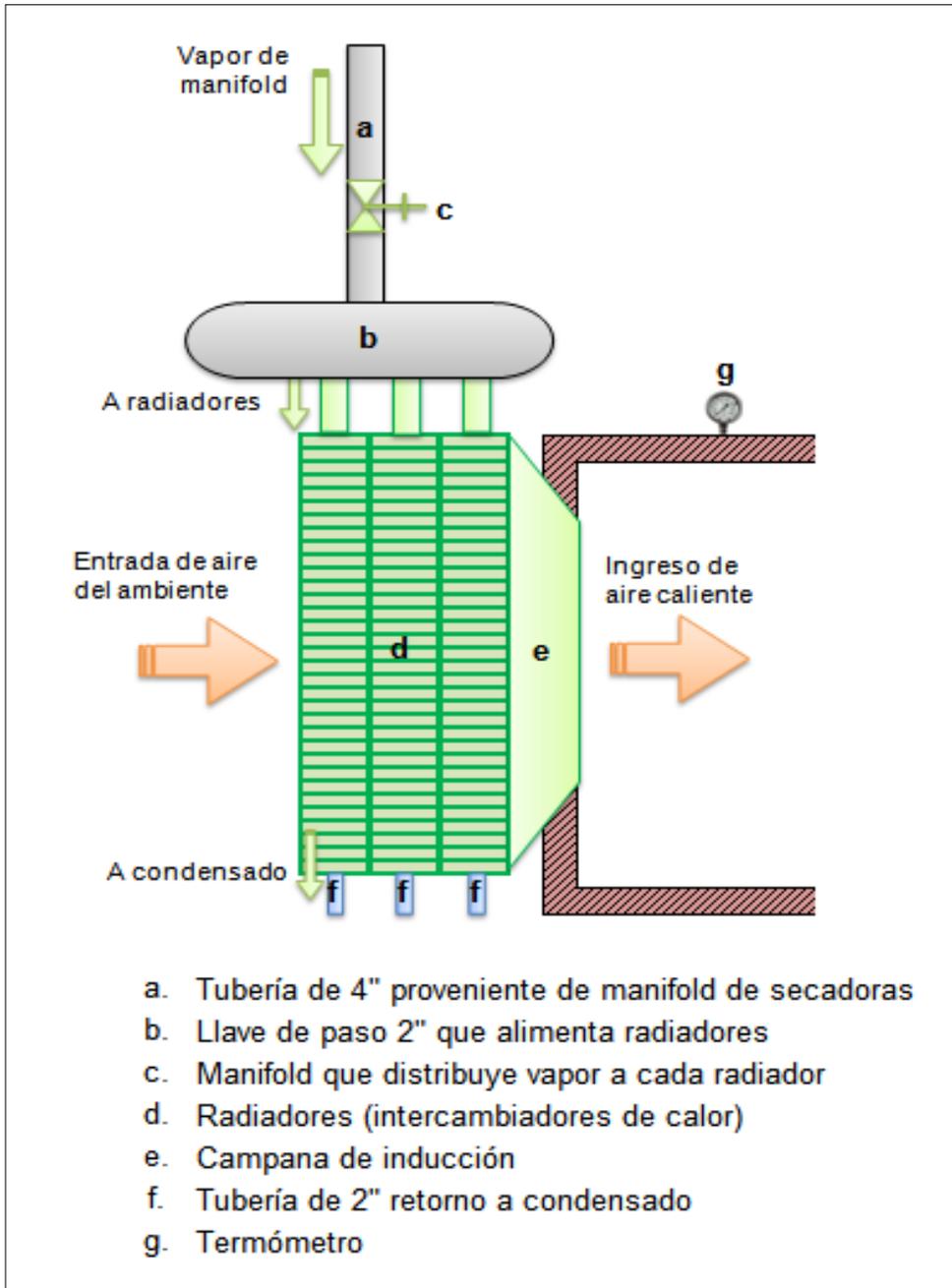
$$\phi \text{ manifold} = \sqrt[2]{17} = 4,12 \cong 4,0''$$

Figura 24. **Manifold** que recibe vapor de la caldera y lo distribuye a la secadora



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel 2007.

Figura 25. Sistema alimentación de vapor de los intercambiadores de calor



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel 2007.

### **3.1.3.3. Válvulas**

La tubería junto con las válvulas (reguladoras de presión y temperatura), constituyen la parte central para transportar el vapor; son encargadas precisamente de conducir el vapor generado en la caldera hacia la secadora. Por tal motivo, las tuberías y las válvulas deben ser del mismo material, para evitar corrosión en los puntos de contacto entre ambos.

Las válvulas utilizadas deben ser de acero al carbón y se ubican en el *manifold* que recolecta el vapor de la caldera y los distribuye en las secadoras que se requieran.

La válvula de ingreso al *manifold* debe ser de 150 PSI y 6", para que coincida con la tubería actual. Las válvulas de distribución ubicadas en el mismo *manifold* deben ser de 150 PSI, pero de 4" para poder tener un flujo de vapor adecuado (ver figura 26).

### **3.1.3.4. Intercambiadores de calor**

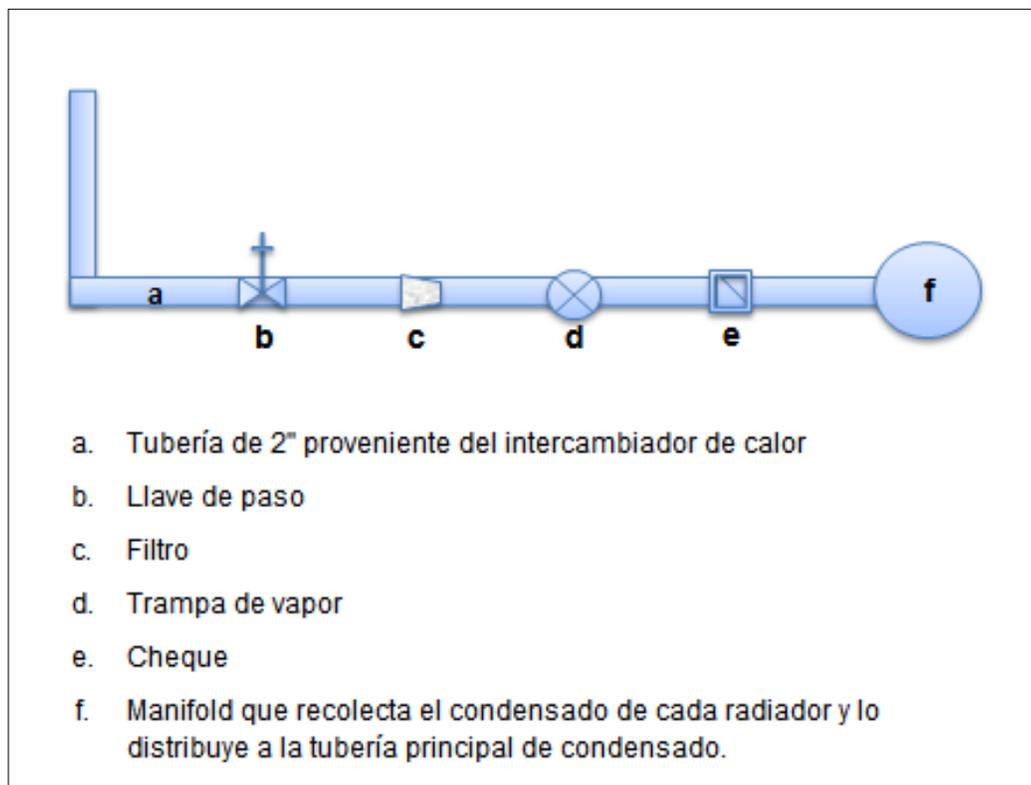
Los intercambiadores de calor son los radiadores ubicados en el ingreso del aire de la secadora; estos pueden ser de varios materiales, aluminio, hierro, acero, cobre, etc. sin embargo por el tiempo efectivo de trabajo y la eficiencia requerida para el proceso, se ha determinado que el más adecuado es de tubos de cobre, porque son los que generan mayor eficiencia, alcanzando la temperatura requerida en el menor tiempo y que tienen una vida útil mayor.

El vapor fluye a través de los tubos y su función es calentar el aire del ambiente que es succionado por el ventilador y distribuido al interior de la cámara de secado.

### 3.1.3.5. Trampas de vapor

Las trampas de vapor están ubicadas en la salida de los intercambiadores de calor (ver figura 26) y la función principal de este dispositivo en el sistema propuesto es descargar el condensado de vapor en forma automática en la tubería de retorno de condensado, e impedir el paso de vapor, aprovechando el calor latente en el intercambiador de calor.

Figura 26. **Tubería y componentes del retorno de condensado en la salida de cada radiador**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel 2007.

Existen varios tipos de trampas para vapor; se pueden clasificar en tres principales categorías: mecánicas, termostáticas y termodinámicas. Elegir la trampa adecuada depende del proceso en donde se aplicará, para el diseño propuesto; se utilizará una trampa de termodinámica convencional.

Las trampas mecánicas, aunque son más compactas y baratas, requieren la instalación de controles adicionales (de temperatura y presión); las trampas termostáticas ocupan más espacio de instalación y muchas veces son más caras debido a los materiales de sus componentes.

Las trampas termodinámicas, al igual que las mecánicas, son muy compactas; sin embargo debido a su construcción, es muy robusta y soporta golpe de ariete; debido a que son intermitentes, su aplicación se limita a sistemas en donde no se requiere un control estricto de la temperatura.

#### **3.1.3.6. Filtros**

Frecuentemente se olvidan en los sistemas de vapor, a menudo, para reducir costos de instalación; sin embargo son esenciales y generan muchos más beneficios a través de la vida de la instalación, retienen la suciedad y reducen el mantenimiento de todo el sistema y demás componentes.

En el diseño propuesto se utilizará un filtro tipo Y, son los más comúnmente utilizados porque son de un diseño simple, construcción robusta y muy eficiente; sus partes internas son fácilmente accesibles y el área de filtrado también es un depósito con una conexión de purga.

Los filtros deben ubicarse en el retorno de condensado que sale de cada uno de los intercambiadores de calor, después de la llave de paso y antes de la trampa de vapor, con el fin de protegerla y asegurar su correcto funcionamiento; en la figura 26 se pueden apreciar la ubicación del filtro.

### **3.2. Modificaciones requeridas para adaptar la secadora al sistema propuesto**

Las modificaciones requeridas al equipo actual son mecánicas, y están relacionadas con el desmontaje del quemador y el montaje del intercambiador de calor.

#### **3.2.1. Descripción de modificaciones necesarias del equipo actual**

Básicamente la modificación consiste en desmontar la tubería de diésel actual y quitar el quemador.

Para la instalación del intercambiador de calor es necesario hacer una base que al mismo tiempo sirva para instalar el retorno de condensado y una estructura de soporte para el intercambiador.

La modificación adicional es la instalación de una especie de campana de inducción, para que el aire ingrese a través del ventilador.

### **3.2.2. Materiales a utilizar**

El tipo de material de la tubería y los implementos (llaves de paso, filtros, válvulas, etc.), son de acero al carbón; los radiadores son de tubos de cobre y el insulado es de fibra de vidrio y asbesto, con un recubrimiento de lámina galvanizada.

#### **3.2.2.1. Campana de inducción**

En el sistema propuesto se denomina campana de inducción a una pieza que une los radiadores con el ventilador, cuya función principal es inducir el aire recién calentado por los radiadores hacia el ventilador que se encuentra succionándolo (ver figura 25).

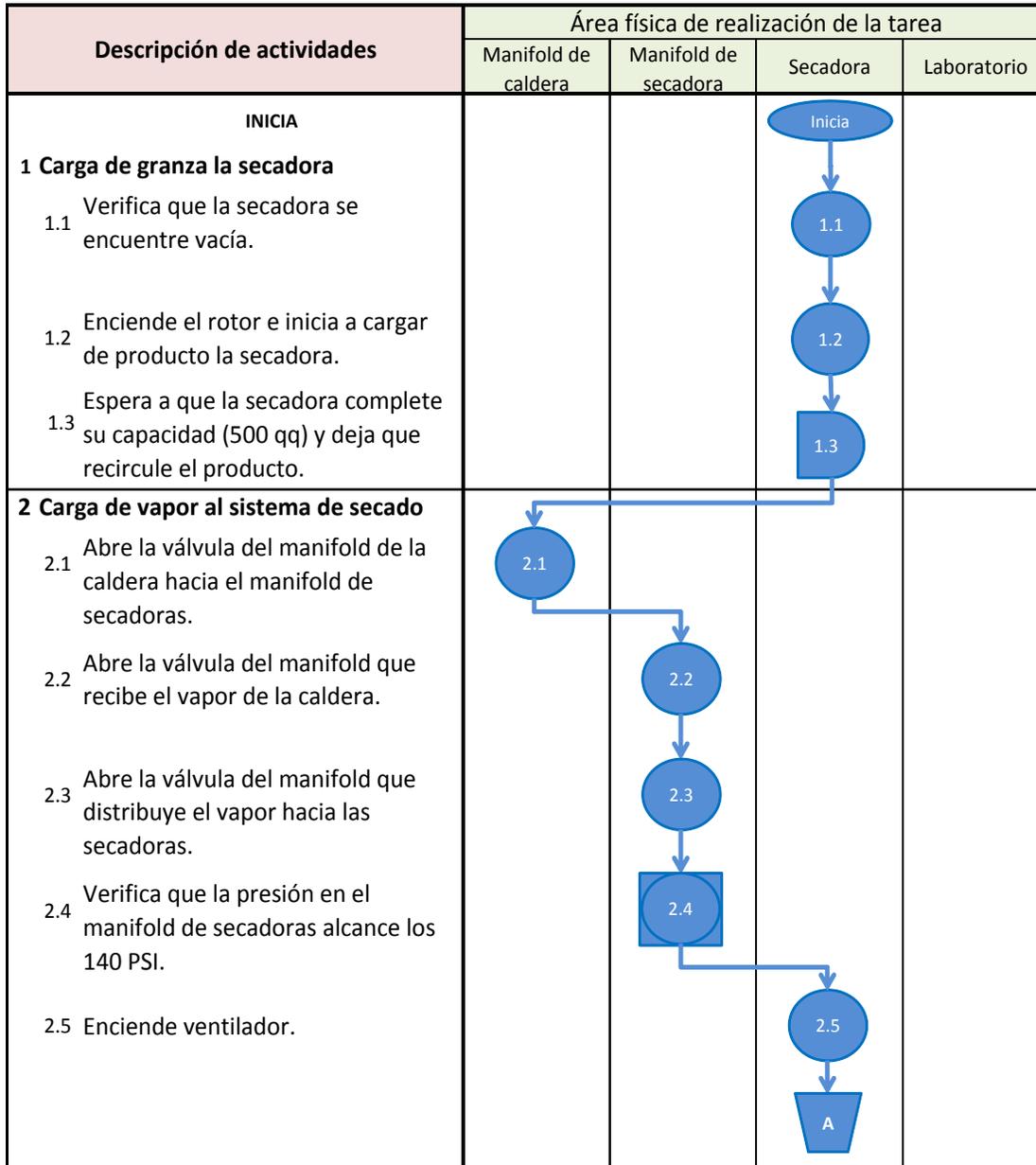
### **3.3. Adiestramiento de personal**

La operación de este equipo requiere de un cuidado especial por el tipo de riesgos que el uso de vapor conlleva. Es necesario que a continuación se describan ciertas operaciones, controles y medidas de seguridad, para poder controlar el sistema propuesto y reducir los riesgos de falla o accidentes por causas atribuibles al personal.

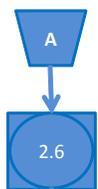
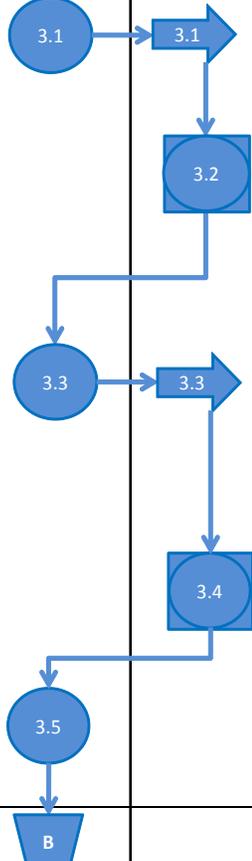
#### **3.3.1. Operación del sistema propuesto**

Para comprender cada una de las operaciones del proceso, en la figura 27 se describe un diagrama de flujo con el sistema de secado propuesto, con el fin de que se pueda comprender mejor por los operadores asignados al mismo. Las operaciones se dividieron en 6 grupos, cada uno con sus respectivas actividades.

Figura 27. Diagrama de flujo del proceso con el sistema de secado propuesto



Continuación de la figura 27.

Descripción de actividades	Área física de realización de la tarea			
	Manifold de caldera	Manifold de secadora	Secadora	Laboratorio
<p>2.6 Abre gradualmente llave de paso que ingresa vapor a los radiadores, hasta que la temperatura sea de 35° C.</p>				
<p><b>3 Proceso de secado</b></p> <p>3.1 Toma la primera muestra para análisis de humedad en el laboratorio.</p> <p>3.2 Realiza el análisis de humedad y llena el formato de control de secado, con las condiciones iniciales del proceso.</p> <p>3.3 Toma una muestra de granza máximo cada hora y media, para realizar análisis de humedad y verificar que la presión y temperatura de operación se encuentren entre lo permitido.</p> <p>3.4 Realiza el análisis de humedad y llena el formato de control de secado con las condiciones del proceso.</p> <p>3.5 Cuando la granza llegue a 11,5 de humedad, se detiene el proceso de secado.</p>				
				

Continuación de la figura 27.

Descripción de actividades	Área física de realización de la tarea			
	Manifold de caldera	Manifold de secadora	Secadora	Laboratorio
<p><b>4 Paro de alimentación de vapor</b></p> <p>4.1 Cierra la llave de paso que alimenta de vapor los radiadores.</p> <p>4.2 Cierra la válvula del manifold que recibe el vapor de la caldera.</p> <p>4.3 Cierra la válvula del manifold que distribuye el vapor hacia las secadoras.</p> <p>4.4 Cierra la válvula del manifold de la caldera hacia el manifold de secadoras.</p>				
<p><b>5 Traslado de granza a silo</b></p> <p>5.1 Dejar rotar el producto durante dos horas con el ventilador encendido para que se establezca la temperatura del grano.</p> <p>5.2 A las dos horas, trasegar la granza al silo de almacenamiento.</p> <p>5.3 Tomar las muestras necesarias cada 10 minutos, durante el proceso de traslado de la secadora al silo.</p>				

Continuación de la figura 27.

Descripción de actividades	Área física de realización de la tarea			
	Manifold de caldera	Manifold de secadora	Secadora	Laboratorio
<p><b>6 Análisis de laboratorio</b></p> <p>6.1 Trasladar muestras a laboratorio.</p> <p>Realizar los análisis de calidad respectivos: rendimiento de masa blanca, granos enteros, de granos quebrados y blancura.</p> <p>6.2</p> <p>6.3 Registra los resultados de los análisis en el formato respectivo.</p> <p>Almacenar en bolsas las muestras</p> <p>6.4 testigo de los análisis, sellar la bolsa y colocar etiqueta de identificación.</p> <p style="text-align: center;"><b>FINALIZA</b></p>				

Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel 2007.

### 3.3.2. Controles requeridos

Antes de iniciar la operación de secado, se debe verificar que los equipos funcionan correctamente; en el caso de los mecanismos (rotor, fajas, cadenas, poleas, etc.), y que el vapor alcance como mínimo 145 PSI y el aire caliente alcance como mínimo 35 °C.

### **3.3.2.1. Variables a controlar**

Durante el proceso de secado propuesto, las variables a controlar se incrementan, es necesario verificar constantemente la presión del vapor en el *manifold*, así como la temperatura del vapor que ingresa a la cámara de secado.

La presión de vapor es una variable crítica tanto para que el proceso se lleve a cabo eficientemente, como para la seguridad del personal operativo. La presión de trabajo en el *manifold* debe permanecer en el rango de 140 a 150 PSI, para un adecuado funcionamiento de los equipos.

La temperatura del aire caliente que ingresa a la cámara de secado es crítica para que el proceso de secado sea adecuado, ya que de esta depende la eficiencia del secado. La temperatura de trabajo debe estar en el rango de 33 a 37 °C.

Una variable que debe medirse constantemente (cómo mínimo cada hora o como tiempo máximo cada hora y media después de iniciado el proceso de secado) y que está relacionada con el producto secado, es la humedad del grano para determinar el punto en donde debe finalizar el proceso de secado, que es cuando el grano alcance una humedad de  $11,5 \pm 0,5$  %.

### **3.3.3. Formatos propuestos para recopilar información**

La información recolectada durante el proceso de secado se debe registrar en formatos (ver anexos), para dejar registros de lo sucedido durante el proceso de secado; dichos formatos deben de contener como mínimo la siguiente información:

- Número de secadora
- Fecha
- Hora de inicio
- Humedad de inicio
- Operador responsable
- Número de muestra
- Hora de muestra
- Presión de vapor
- Temperatura de aire de secado
- Porcentaje de humedad del grano
- Hora final
- Humedad final

Esta información servirá para el análisis posterior de datos.

#### **3.3.4. Medidas de seguridad necesarias para la operación del sistema propuesto**

Es necesario establecer ciertas normas o medidas de seguridad necesarias para reducir los riesgos de incidentes o accidentes que se puedan generar en el proceso de secado.

Las normas básicas van relacionadas con hábitos y comportamientos enfocados dentro de la planta; se citan las siguientes:

- Uniforme limpio, completo y en buen estado

- No ingresar joyas, relojes, celulares u objetos personales a las áreas del proceso
- No ingresar alimentos, chicles, o comida
- No ingresar objetos ajenos al proceso (vidrio, plástico, metal o madera)
- No presentar indicios de consumo de estupefacientes
- No ingresar con señales de enfermedad o heridas
- Respetar las señales de seguridad
- Utilizar las áreas de paso peatonal

#### **3.3.4.1. Señalización industrial del equipo**

La señalización específica del equipo, debe ser relacionada con el sistema de vapor utilizado, se deben pintar las tuberías de acuerdo con el tipo de fluido (vapor, agua, etc.) que trasladen e identificar la dirección del mismo; en el caso del vapor se pintarán de verde las partes de las tubería que sea posible debido a que el insulado es plateado y el retorno del condensado de azul.

De igual forma es necesario colocar guardas de prevención en los intercambiadores de calor y mecanismos que puedan estar expuestos a la operación, por ejemplo todas las cadenas deben tener guardacadenas.

#### **3.3.4.2. Señalización**

La señalización del área de secado debe tener áreas específicas de caminamiento, rutas de evacuación, ubicación de extintores, el equipo de protección personal necesario para laborar en esta área, indicación de alto voltaje en paneles eléctricos e indicación de peligro por equipo que trabaja a altas temperaturas.

### **3.3.4.3. Aislamiento térmico**

Por las altas temperaturas a las que trabaja el vapor se deben tomar las medidas necesarias; en este caso un aislamiento térmico para imponer una temperatura de protección, de forma que los contactos involuntarios al momento de operar no produzcan lesiones.

El aislamiento térmico utilizado para estas tuberías es el insulado; este también aporta mayor eficiencia en el transporte de vapor debido a que mantiene las temperaturas internas de operación, lo que evita el condensado por las variaciones de temperatura y humedad de ambiente.

El tipo de insulado a utilizar es de fibra de vidrio y asbesto, con un recubrimiento de lámina galvanizada.

### **3.3.4.4. Equipo de protección requerido para la operación**

El equipo de protección personal requerido para el proceso de secado es el siguiente:

- Calzado Industrial: botas con punta de acero y suela antideslizante.
- Protección para la cabeza: casco que cumpla con la protección vertical horizontal y frontal de la cabeza.
- Protección visual: por el tipo de partículas que se encuentran en el ambiente (cascarillas de arroz) es necesaria la utilización de gafas protectoras.

- Protección respiratoria: únicamente cuando se abran las compuertas de traslado de la granza a silos debido a la cantidad de partículas que genera esta operación.
- Protección auditiva: el nivel de ruido al que está expuesto un operador es mayor a los 80 db, pudieran usarse únicamente tapones; sin embargo debido al tiempo de exposición que se tiene en este proceso es necesario utilizar orejeras que reducen el ruido en 30 db.
- Protección de manos: es necesario utilizar guantes resistentes a altas temperaturas cuando se manipulen las válvulas y tuberías, o se verifique el funcionamiento del intercambiador de calor.
- Arnés: en el caso de ser necesario, se utilizará arnés para prevención de caída cuando se realicen trabajos en altura.

En la figura 28 se muestra un operador con todo el equipo de protección personal descrito, para trabajar en la operación de secado de granza.

**Figura 28. Operador de secado de granza con todo el equipo de protección personal de trabajo**



Fuente: empresa ALCSA.



## 4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO

### 4.1. Ejecución del diseño

La ejecución del proyecto inicia con la cotización de los materiales requeridos para la fabricación de la tubería y los elementos como los tonillos, etc. El detalle del equipo necesario para la instalación del sistema de distribución de vapor es el que se presenta en la tabla VII.

Tabla VII. Descripción del equipo requerido

Tipo	Descripción del equipo	Cantidad
Brida	A.C. Soldable <i>Slip-on</i> de 3"	2
Brida	A.C. Soldable <i>Slip-on</i> de 2"	4
Codo	A.C. de ½" cédula 40 a 90 °	8
Codo	A.C. de 1" cédula 40 a 90 °	4
Codo	A.C. de 2" cédula 40 a 90 °	1
Codo	A.C. de 3" cédula 40 a 90 °	5
Cheque	Tipo "Y" de 1" BR <i>red white</i> Toyo	1
Cheque	Tipo "Y" de 2" BR <i>red white</i> Toyo	1
Empaque	De Grafito para piloto de presión y temperatura	2
Filtro	Tipo "Y" de 1" NTP clase 250	1
Flange	A.C. de 6" cédula 0, 300	2
Flange	A.C. de 6" cédula 80, 150	2
Flange	A.C. de 4" cédula 80, 150	2
Flange	A.C. de 2" cédula 80, 150	2

Continuación de la tabla VII.

Flange	A.C. de 1" cédula 80, 150	9
Flange	A.C. de 1" cédula 80, 150	9
Hierro	Angular de 2 x 3 x 16"	10
Hierro	Angular de 2 x 3/16 "	3
Hierro	Plano de 1 1/2 x 3/16"	3
Hierro	Angular de 3/16 x 1/2 "	4
Lámina	Negra de 4' x 8' x 3/16"	1
Lámina	Negra de 4' x 8' x 3/8"	2
Manómetro	2.5" de rango de 0 a 150 PSI de 1/4"	1
Niple	A.C. de 3/4 x 3"	4
Niple	A.C. de 3 x 10"	2
Niple	A.C. de 2 x 8"	2
Niple	A.C. de 1 x 1/4"	4
Reducidor	De 3" a 1" cédula 40	1
Reducidor	Concéntrico HN 4" a 2" soldable	1
Reducidor	Concéntrico HN de 2" a 1" soldable	1
Sifón	Para manómetro de 1/4 hierro	1
Tapón	A.C. SCH-40 150SWP ASTM-A234-WPB 4"	5
Tee	HG 2"	1
Trampa	Termodinámica TDC 1" SS	1
Tubería	A.C. cédula 40 sin costura de 6"	10
Tubería	A.C. cédula 40 sin costura de 4"	1
Tubería	A.C. cédula 40 sin costura de 3"	12
Tubería	A.C. cédula 40 sin costura de 2"	1
Tubería	A.C. cédula 40 sin costura de 1"	1
Unión	Unión universal HG 150 PSI de 2"	1

Continuación de la tabla VII.

Válvula	De globo de 6" 150 PSI	2
Válvula	De globo de 4" 150 PSI	1
Válvula	De bola de AC 2"	1
Termómetro	C,3 V,4 50/400 F;10/200 C	1

Fuente: elaboración propia

#### **4.1.1. Ejecución de modificaciones a secadora**

Como se ha mencionado anteriormente, al sistema de secado actual únicamente se le tiene que modificar la forma en que se alimenta de aire caliente, para distribuirlo en la cámara de secado.

En la figura 29 se puede observar el quemador de diésel con el cual cuentan las secadoras actualmente.

##### **4.1.1.1. Fabricación de campana de inducción de aire**

En la figura 27 se puede observar que la generación de calor actual no cuenta con un sistema en donde se pueda controlar o aprovechar al máximo la generación de calor o aire caliente que genera el quemador, por lo cual en el sistema propuesto se ha evidenciado la necesidad de crear un mecanismo que ayude a que el aire caliente generado se pueda aprovechar al máximo.

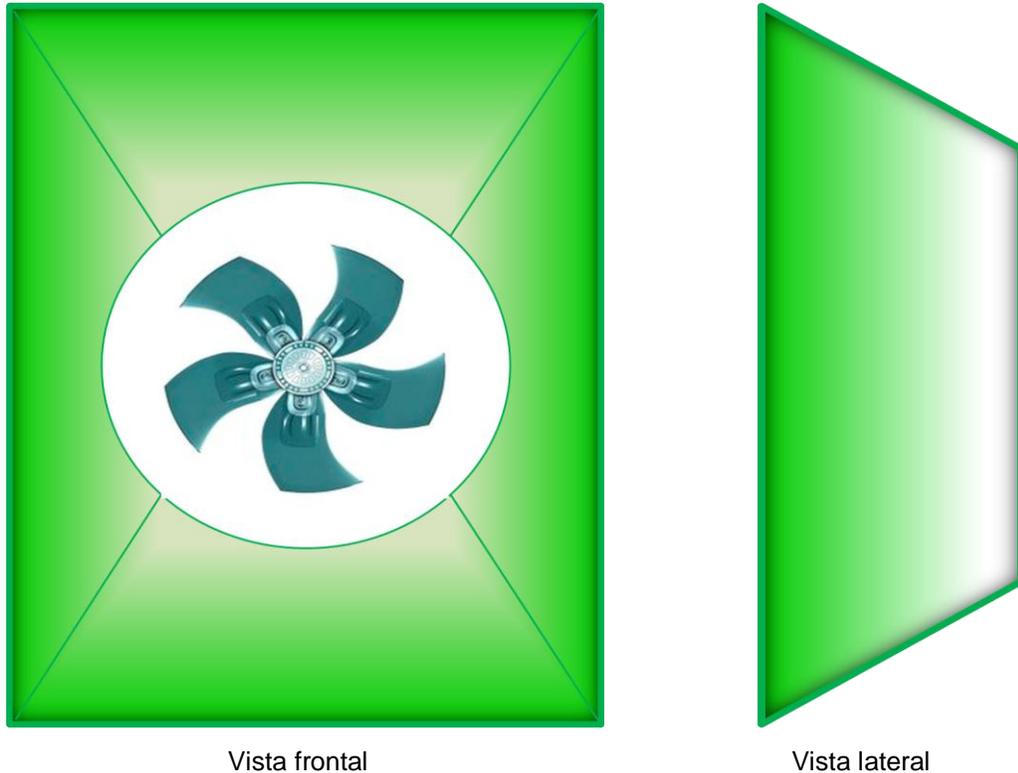
Figura 29. **Secadora con quemador de diesel**



Fuente: empresa ALCSA.

La unión entre los intercambiadores de calor propuestos y el ventilador que ingresará el aire caliente a la cámara de secado, se ha definido como campana de inducción en la figura 25; para comprender con mayor claridad la forma que debe tener la campana de inducción se puede ver la figura 30.

Figura 30. **Campana de inducción**



Fuente: elaboración propia.

El material utilizado para la fabricación de la campana de inducción es hierro colado de 3/16"; en la vista lateral de la figura 28 se puede observar que tiene una forma de rombo, sin embargo es una combinación de formas.

En el frente es cuadrado y es la que tiene contacto con los intercambiadores de calor, pero al fondo converge en una forma redonda, en donde tiene contacto con el ventilador que ingresa el aire caliente a la cámara de secado. En resumen podría decirse que es un cono truncado con base rectangular.

#### **4.1.1.2. Instalación de intercambiadores de calor**

En la instalación de los intercambiadores de calor se debe tomar en cuenta la hermeticidad de las uniones de cada una de las piezas, para evitar que existan fugas que afecten el rendimiento del equipo.

Para que la hermeticidad sea lo mejor posible, se debe aplicar un aditivo que ayude a que no existan fugas, que sea funcional para los diferentes materiales y a la vez que resista las altas temperaturas de operación de los equipo. El *sikaflex* 1A blanco cumple estas funciones, porque es un sellador elástico de alto desempeño a base de poliuretano.

En la figura 31 se muestra la instalación de los intercambiadores de calor, y como se ha determinado con anterioridad los más adecuados son de tubos de cobre porque son los que generan mayor eficiencia, alcanzando la temperatura requerida en el menor tiempo y que tienen una vida útil mayor.

#### **4.1.2. Instalación de diseño de distribución de vapor**

Las consideraciones para la instalación de la red de distribución de vapor del diseño propuesto es contar con los recursos necesarios para que el trabajo a realizar cumpla con lo requerido. El diseño se instaló según la figura 23.

Figura 31. **Instalación de intercambiadores de calor**



Fuente: empresa ALCSA.

Figura 32. **Instalación de tubería para distribución de vapor a secadoras**



Fuente: empresa ALCSA.

Los materiales utilizados en la instalación del diseño de distribución de vapor deben ser los detallados en la tabla VII.

Los recursos necesarios también involucran mano de obra calificada, con experiencia en instalaciones similares o aplicaciones de soldadura requerida para los tipos de materiales que se utilizarán.

En la figura 32 se muestra el *manifold* que distribuye el vapor a las secadoras, el cual tiene una forma específica, con soldadura especial y con el recubrimiento especial como aislante térmico, para que la operación se realice de forma segura.

Así también en la figura 33 se pueden ver las instalaciones realizadas, los intercambiadores de vapor que reciben el vapor y la tubería de retorno de condensado. En ambos casos también es indispensable que el personal que realiza estas instalaciones tenga el conocimiento especializado en la instalación de estos equipos.

**Figura 33. Instalación de tuberías para alimentación de vapor en intercambiadores y tubería del retorno de condensado**



Fuente: empresa ALCSA.

## **4.2. Pruebas de funcionamiento del sistema**

Para verificar que los equipos funcionan correctamente se inicia la operación de secado según el diagrama de flujo del proceso, con el sistema de secado propuesto (ver figura 27).

### **4.2.1. Verificación de especificaciones del proceso**

Al iniciar la operación de secado se ha verificado que los equipos funcionan correctamente, en el caso de los mecanismos (rotor, fajas, cadenas, poleas, etc.), y que el vapor alcance como mínimo 145 PSI y el aire caliente 35 °C.

Adicionalmente, se ha verificado que el personal asignado al proceso de secado cumpla con las normas de seguridad básicas requeridas para la operación de secado.

#### **4.2.1.1. Temperatura de operación de secado**

Durante el proceso de secado se tomaron nueve muestras de la temperatura de operación, al mismo tiempo que se seleccionaron las muestras de granza para verificar la humedad.

Las horas y los resultados de la temperatura de operación de secado se muestran en la tabla VIII, en donde se puede observar que durante el proceso de secado, la temperatura del aire caliente utilizado en el secado se encuentra dentro de los límites de operación (33 a 37 °C).

Tabla VIII. **Medición de temperatura del aire de secado de granza secada, utilizando vapor**

<b>Hora de muestreo</b>	<b>Temperatura de operación (°C)</b>
09:00	35
10:10	36
11:20	36
12:40	35
14:00	34
15:05	36
16:15	37
17:25	36
18:30	35

Fuente: elaboración propia.

#### **4.2.2. Eficiencia del equipo con el sistema propuesto**

La eficiencia se calcula con la fórmula siguiente:

$$ef = \frac{\textit{kg de agua evaporada} \times \textit{calor latente del agua (kcal/kg)}}{\textit{kg de combustible usado} \times \textit{poder calorífico del combustible}}$$

Se ha seleccionado un lote de 22 700 kilos, con una humedad inicial de 20,0 %, para que sean los mismos parámetros utilizados en otro sistema de secado y la humedad final debe ser 11,5 %; para lo cual, el porcentaje de agua evaporada es:

$$\% \textit{ agua evaporada} = \left( \frac{Hi - Hf}{100 - Hf} \right) \times 100 = \left( \frac{20 - 11,5}{100 - 11,5} \right) \times 100 = 9,60 \%$$

La cantidad de agua evaporada sigue siendo la misma= 22 700 Kg x 9,6 %  
= 2 180,23 Kg de agua.

Aplicando la fórmula de eficiencia de secado:

$$ef = \frac{\text{kg de agua evaporada} \times \text{calor latente del agua (kcal/kg)}}{\text{kg de combustible usado} \times \text{poder calorífico del combustible}}$$

Para secar los 22 700 kilos se han utilizado 1 032 kilos de cascarilla para generar el vapor suficiente para realizar el secado (siendo el poder calorífico la cascarilla 3 105 kcal/kg).

$$ef = \frac{2\,180,23\text{ kg} \times 600\text{ kcal/kg}}{1\,032\text{ kg} \times 3\,105\text{ kcal/kg}} = 40,82\%$$

#### **4.2.2.1. Tiempo de utilización del equipo**

Para determinar el tiempo de secado en el sistema propuesto se tomaron muestras de humedad cada cierto tiempo, según indica la tabla IX; en donde se puede observar que el tiempo utilizado en llevar a 11,5 % de humedad 22 700 kilos de granza que contiene una humedad inicial de 20,0 % es de 9 horas y 30 minutos.

Tabla IX. **Análisis de humedad en el tiempo de secado de granza secada, utilizando vapor**

<b>Hora de muestreo</b>	<b>Humedad de muestra (%)</b>	<b>Tiempo transcurrido (min)</b>
09:00	20,0	--
10:10	18,3	70
11:20	16,9	70
12:40	15,3	80
14:00	14,5	80
15:05	13,8	65
16:15	12,7	70
17:25	12,0	70
18:30	11,5	65
Tiempo total de secado		570 min

Fuente: elaboración propia.

#### **4.2.2.2. Capacidad de secado**

La capacidad de la secadora no se ha modificado; es 22 700 kilos de granza (500 quintales).

#### **4.2.3. Productividad del equipo con el sistema propuesto**

Para el cálculo de la productividad se utilizará el tiempo utilizado para secar la cantidad de granza, tomando en cuenta la evaporación de agua.

Ingresaron 22 700 kg de granza a una humedad del 20,0 %; en el proceso se evaporaron 2 180,23 kg de agua; esto deja un total de 20 519,77 kg (451,98 quintales) de granza seca. Si para realizar esta operación se utilizaron 9,50 horas, aplicando el siguiente principio, se puede calcular la productividad:

$$P = \frac{\textit{Salidas}}{\textit{Entradas}}$$

Productividad en relación con el tiempo utilizado:

$$Pt = \frac{451,98 \textit{ qq}}{9,50 \textit{ horas}} = 47,58 \textit{ quintales/h}$$

La productividad de la secadora en relación con el tiempo de secado de granza es 47,58 quintales/h (2 159,98 kg/h); por cada hora de operación en la secadora se producen 47,58 quintales de granza seca.

Productividad en relación con el combustible utilizado:

$$Pt = \frac{451,98 \textit{ qq}}{1,032 \textit{ kg de cascarilla}} = 0,44 \textit{ quintales/kg}$$

La productividad de la secadora en relación con la cantidad de cascarilla utilizada para secar la granza, es 0,44 quintales/kg; por cada kg de cascarilla utilizado; en el proceso de secado se producen 0,44 quintales de granza seca.

#### 4.2.3.1. Consumo de vapor de la secadora

El consumo de vapor que tendrá cada secadora se puede hacer determinar de dos formas, la primera es calculando con la siguiente fórmula:

$$m = \rho VS$$

En donde

- $\dot{m}$  = flujo másico
- $\rho$  = densidad del fluido
- $V$  = velocidad del fluido
- $S$  = área del tubo corriente ( $3,1416 \times r^2$ )

Haciendo uso de algunos datos ya calculados anteriormente como la velocidad de 17,771 m/s calculada en la tubería de 4" (0,1016 m) que distribuye el vapor del *manifold* a los intercambiadores de vapor (ver figura 22), sabiendo que la densidad del vapor de agua a la temperatura y presión de operación en el sistema propuesto es 0,598 kg/m<sup>3</sup>.

Al incorporar estos valores en la fórmula anterior y realizar las operaciones respectivas se obtiene:

$$m = 0,598 \times 17,771 \times (3,1416 \times (\frac{0,1016}{2})^2)$$

$$m = 0,86 \text{ kg/s}$$

Que al convertirlos a toneladas/hora equivale a 0,31 toneladas/hora.

La otra forma de determinar el consumo de vapor, es a través de la lectura directa en la caldera, tomando la lectura de consumo normal de vapor y cuando esté funcionando la secadora del sistema propuesto, tomando otra lectura y así por diferencia determinar el consumo de vapor de una secadora.

Al realizar la medición se pudo determinar un incremento de 0,28 toneladas/hora cuando se utilizó el sistema de secado propuesto, lo cual está muy cerca del dato calculado; para efectos de cálculos posteriores se tomará este dato como el consumo de vapor por cada secadora, debido a que es el dato real del proceso.

El proceso de secado duró 9,5 horas; se puede decir que la demanda total de vapor para secar 22 700 kilos (500 quintales) de granza es 2,66 toneladas de vapor, el cual es generado por 1 032 kilos de cascarilla, con un poder calorífico de 3 105 kcal/kg.

Con base en estos datos y si se instala el sistema propuesto en las demás secadoras, la demanda de vapor generada por el total de equipos no excedería la capacidad de la caldera actual para generar vapor, así también la cantidad de cascarilla que demandaría el proceso de secado al instalarse en todos los equipos actuales no tendría ningún inconveniente.

#### **4.3. Calidad de granza secada con el sistema propuesto**

Para determinar la calidad de la granza secada con la secadora a base de vapor, se establece tomar muestras cada 10 minutos durante el proceso de traslado de la secadora al silo de almacenamiento. En total se lograron tomar 12 muestras de 2 kg cada una, para los respectivos análisis.

Al igual que las muestras obtenidas en el secado a base de diésel, cada muestra es sometida a los análisis de rendimiento de masa blanca, rendimiento de granos enteros y blancura, para comparar con las especificaciones establecidas en el Arrozgua (2004), y determinar si cumplen con la calidad esperada.

Las especificaciones de los parámetros de rendimientos y blancura que debe cumplir cada una de las muestras son las siguientes:

- Rendimiento de masa blanca mayor a 68 %
- Rendimiento de granos enteros mayor a 54 %
- Grados de blancura mayor a 32 °Kett

#### **4.3.1. Análisis de rendimiento de masa blanca**

La fórmula utilizada para determinar el rendimiento de masa blanca es la siguiente:

$$\% \text{ Rendimiento masa blanca} = \frac{\text{peso de arroz pulido}}{\text{peso granza limpia}} * 100$$

Los resultados obtenidos de este análisis se muestran en la tabla X; en donde se puede apreciar que todas las muestras analizadas cumplen con la especificación.

Tabla X. **Rendimientos de masa blanca de las muestras de granza secada, utilizando vapor**

Muestra	Rendimiento masa blanca (%)	Mayor al 68 %
1	68,35	Cumple
2	68,95	Cumple
3	69,15	Cumple
4	69,23	Cumple
5	68,92	Cumple
6	69,14	Cumple
7	68,98	Cumple
8	69,02	Cumple
9	68,50	Cumple
10	69,23	Cumple
11	69,29	Cumple
12	68,55	Cumple

Fuente: elaboración propia.

#### 4.3.2. **Análisis de rendimiento de granos enteros**

La fórmula utilizada para determinar el rendimiento de granos enteros es la siguiente:

$$\% \text{ Rendimiento granos enteros} = \frac{\text{peso de arroz entero}}{\text{peso granza limpia}} * 100$$

Los resultados obtenidos de este análisis se muestran en la tabla XI; en donde se puede apreciar que todas las muestras analizadas cumplen con la especificación.

Tabla XI. **Rendimientos de granos enteros de las muestras de granza secada, utilizando vapor**

Muestra	Rendimiento granos enteros (%)	Mayor al 54 %
1	56,20	Cumple
2	56,00	Cumple
3	56,90	Cumple
4	57,20	Cumple
5	56,60	Cumple
6	57,20	Cumple
7	57,30	Cumple
8	57,10	Cumple
9	56,25	Cumple
10	57,65	Cumple
11	57,00	Cumple
12	56,35	Cumple

Fuente: elaboración propia.

La fórmula utilizada para determinar el rendimiento de granos enteros es la siguiente:

$$\% \text{ Rendimiento granos quebrados} = \% \text{ masa blanca} - \% \text{ arroz entero}$$

Los resultados obtenidos de este análisis se muestran en la tabla XI; en donde se puede apreciar que todas las muestras analizadas cumplen con la especificación.

Tabla XII. **Rendimientos de granos quebrados de las muestras de granza secada, utilizando vapor**

Muestra	Rendimiento granos quebrados (%)
1	12,15
2	12,95
3	12,25
4	12,03
5	12,32
6	11,78
7	11,84
8	11,92
9	12,25
10	11,58
11	12,29
12	12,20

Fuente: elaboración propia.

Estos datos son únicamente de referencia para la comparación de los análisis realizados a las muestras de la granza secada con el sistema que utiliza diésel.

### 4.3.3. Análisis de blancura

Los resultados obtenidos directamente del equipo para este análisis se muestran en la tabla XIII; en donde se puede apreciar que todas las muestras analizadas cumplen con la especificación.

Tabla XIII. **Blancura de las muestras de granza secada utilizando vapor**

Muestra	Blancura (°Kett)	Mayor a 32 °Kett
1	40,0	Cumple
2	39,6	Cumple
3	38,9	Cumple
4	40,0	Cumple
5	40,0	Cumple
6	39,2	Cumple
7	38,9	Cumple
8	40,0	Cumple
9	38,9	Cumple
10	40,2	Cumple
11	39,1	Cumple
12	38,6	Cumple

Fuente: elaboración propia.



## **5. ESTRATEGIA DE SEGUIMIENTO**

### **5.1. Comparaciones entre los dos sistemas**

Para determinar si es aconsejable replicar el sistema de secado propuesto al resto de equipos de secado, es necesario comparar la eficiencia, productividad y calidad del grano seco en ambos sistemas.

Se han determinado estas variables como puntos de comparación, debido a que los resultados dependen del tipo de aire que ingresa a la cámara de secado y la forma en que se genera: el quemador a base de diésel o los intercambiadores de calor; siendo esta la única diferencia de los sistemas.

Para determinar la mejor decisión en la implementación del sistema propuesto también es necesario analizar las ventajas y desventajas del sistema propuesto, así como el costo y beneficio de los resultados proyectados.

#### **5.1.1. Eficiencia**

En ambos casos, la cantidad de kilos secados son 22 700 a una humedad inicial de 20,0 % y la humedad final es 11,5 % (2 180,23 Kg de agua evaporada).

La eficiencia de la secadora con generación de aire caliente a base de diésel es: 47,15 %; y la eficiencia de la secadora con generación de aire caliente a base de vapor es: 40,82 %.

Según los resultados de las pruebas realizadas, la eficiencia de la secadora a base de diésel es 6,33 %, mejor que la eficiencia de la secadora a base de vapor. Esta diferencia básicamente se debe al poder calorífico de cada uno de los elementos utilizados para el secado.

### **5.1.2. Productividad**

El tiempo utilizado en llevar a 11,5 % de humedad 22 700 kilos de granza que contiene una humedad inicial de 20,0 %, con el secado a base de diésel es de 8 horas y 55 minutos, y con el secado a base de vapor es de 9 horas y 30 minutos. El tiempo de secado es de 35 minutos menos con la secadora a base de diésel.

Al realizar el cálculo de la productividad de la secadora quintales/h (quintales de granza seca por hora efectiva de secado) en base a diésel, se obtienen 50,67 quintales/h y con la secadora en base a vapor se obtienen 47,58 quintales/h.

La productividad en relación con el tiempo de secado es 3,09 quintales/h más con la secadora a base de diésel. Debido a que la cantidad final de quintales secados es la misma en ambos casos, la variación en el tiempo de secado genera una variación en la productividad calculada en relación con el tiempo de secado.

En relación con el combustible utilizado, el cálculo de la productividad quintales/kg (quintales de granza seca por kilogramos de combustible utilizado) de la secadora en base a diésel es 1,66 quintales/kg y la secadora en base a vapor es 0,44 quintales/kg.

La productividad en relación con el combustible utilizado es de 1,22 quintales/kg más con la secadora a base de diésel. Debido a que la cantidad final de quintales secados es la misma en ambos casos y la cantidad de combustible utilizado es mayor en el secado a base de vapor, por el poder calorífico que tiene la cascarilla de arroz.

### 5.1.3. Calidad del grano seco

Los resultados de los análisis realizados a las muestra de granza secada con el sistema a base de diésel, se resumen en la tabla XIV.

Tabla XIV. **Resumen de resultados de análisis a muestras de granza secada utilizando diésel**

Muestra	Rendimiento masa blanca (%)	Rendimiento granos enteros (%)	Rendimiento granos quebrados (%)	Blancura (°Kett)
1	69,40	57,70	11,70	38,5
2	68,55	57,00	11,55	40,8
3	68,80	57,90	10,90	38,3
4	69,40	57,90	11,50	40,7
5	68,80	57,70	11,10	40,6
6	69,02	56,40	12,62	38,6
7	69,23	56,90	12,33	40,3
8	68,60	56,90	11,70	39,8
9	68,47	57,00	11,47	40,2
10	69,41	57,80	11,61	39,7
11	68,30	55,90	12,40	40,3
12	68,79	57,40	11,39	39,9
Promedio	68,90	57,21	11,69	39,8

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de los análisis realizados a las muestra de granza secada con el sistema a base de vapor se resumen en la tabla XV.

Tabla XV. **Resumen de resultados de análisis a muestras de granza secada utilizando vapor**

Muestra	Rendimiento masa blanca (%)	Rendimiento granos enteros (%)	Rendimiento granos quebrados (%)	Blancura (°Kett)
1	68,35	56,20	12,15	40,0
2	68,95	56,00	12,95	39,6
3	69,15	56,90	12,25	38,9
4	69,23	57,20	12,03	40,0
5	68,92	56,60	12,32	40,0
6	69,14	57,20	11,78	39,2
7	68,98	57,30	11,84	38,9
8	69,02	57,10	11,92	40,0
9	68,50	56,25	12,25	38,9
10	69,23	57,65	11,58	40,2
11	69,29	57,00	12,29	39,1
12	68,55	56,35	12,20	38,6
Promedio	68,94	56,81	12,13	39,4

Fuente: elaboración propia.

Tanto en el sistema de secado a base de diésel como en el sistema de secado a base de vapor, cada uno de los análisis realizados a las muestras cumple con las especificaciones de los parámetros de rendimientos y blancura establecidos.

La aplicación del sistema de secado a base de vapor no genera ninguna variación en la calidad de los granos de granza seca.

## 5.2. Ventajas y desventajas del sistema propuesto

Para determinar las ventajas y desventajas que se obtienen en la aplicación de cada uno de los sistemas de secado, se ha elaborado un cuadro comparativo, ver tabla XVI; en donde se resumen aspectos cualitativos.

Tabla XVI. **Ventajas y desventajas de cada sistema de secado**

Secado a base de diésel	Secado a base de vapor
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dependencia de la compra de un combustible derivado del petróleo.</li> <li>• Contaminación del medio ambiente al quemar diésel.</li> <li>• Alto riesgo de explosividad y/o flamabilidad.</li> <li>• Mejor eficiencia de secado.</li> <li>• Mayor productividad en tiempo y consumo de combustible.</li> <li>• Alto costo de operación debido al valor del diésel e incremento de precios.</li> <li>• Bajo costo de mantenimiento de equipos (quemadores).</li> <li>• Daño de producto por manchas u olores a humos.</li> <li>• Daño interno de secadoras por hollín.</li> <li>• Mejor poder calorífico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilización de un subproducto como combustible para generación de vapor.</li> <li>• Sistema amigable con el ambiente (tecnología ambiental).</li> <li>• Reutilización de desperdicios de procesos internos.</li> <li>• Aprovechamiento de la capacidad instalada en generación de vapor.</li> <li>• Mayor control en el proceso de secado.</li> <li>• Incremento en el tiempo de secado.</li> <li>• Menor productividad en tiempo y consumo de combustible.</li> <li>• Bajo costo de operación.</li> <li>• Costo medio de mantenimiento de equipos (radiadores).</li> <li>• Se mantiene la calidad del grano.</li> <li>• Los equipos se mantienen más limpios porque no se genera humo.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

### 5.3. Costo-beneficio

Para el análisis de costos se tomarán en cuenta los costos de la inversión a realizar en el equipo (ver tabla VII), la mano de obra de fabricación e instalación y los insumos necesarios para la instalación del sistema de distribución de vapor asciende a Q. 135 157,88 (inversión inicial).

La inversión inicial incluye la estructura para distribución de vapor y las modificaciones de una secadora; si se requiere modificar una secadora adicional el costo es menor (Q. 62 832,38) porque ya se tiene instalada la distribución de vapor hasta el *manifold* que distribuye vapor a secadoras (ver figuras 21 y 22).

Para secar 22 700 kilos, de granza se necesitan 1 032 kilos de cascarilla de arroz o 85 galones de diésel, si el costo de 1 galón de diésel es de Q. 31,00 y el costo de un kilo de cascarilla es de Q. 0,60 entonces se obtiene.

Para el secado con diésel:

$$31,00 * \frac{Q}{\text{galón de diésel}} * \frac{85 \text{ galones de diesel}}{22\,700 \text{ kg granza}} = 0,1161 \text{ Q/kg de granza}$$

Lo que equivale a 5,27 Q/quintales.

Para el secado con vapor:

$$0,60 * \frac{Q}{\text{kg de cascarilla}} * \frac{1,032 \text{ kg de cascarilla}}{22\,700 \text{ kg granza}} = 0,0273 \text{ Q/kg de granza}$$

Lo que equivale a 1,24 Q/quintales.

Tomando en cuenta idealmente como factor determinante en los costos del proceso de secado únicamente el combustible utilizado, debido a que los costos de mano de obra, maquinaria, materia prima, etc. son los mismos en ambos procesos, la cosecha de granza nacional dura alrededor de 5 meses, y en total se reciben aproximadamente 180 000 quintales de granza; la cantidad mensual varía debido a que es un cultivo que depende de las condiciones climáticas para poder ser cosechado, para este caso se asume que el proceso de recepción es contante por lo cual se estima que se recibe un promedio mensual de 36 000 quintales.

Con los datos anteriores se obtiene el costo total de la cosecha; con el proceso actual asciende a los Q. 948 600,00 y mensualmente Q. 189 720,00.

### **5.3.1. Análisis de costo-beneficio de los dos sistemas de secado**

Para el análisis de costo-beneficio y comparación del sistema actual con el sistema propuesto, se asume que las 6 secadoras tienen la misma carga de trabajo todos los días que dura la cosecha, por lo cual se obtiene que cada secadora, independientemente del sistema con el que cuente (diésel o vapor), deba secar 6 000 quintales de granza mensualmente.

Si la inversión inicial es de Q. 135 157,88, el costo por quintal de granza secado con el sistema a base de diésel es de Q. 5,27; el costo por quintal de granza secado con el sistema a base de vapor es Q. 1,24; si se compara con el proceso costo mensual del proceso actual, se obtiene la tabla XVII.

Tabla XVII. **Flujo de efectivo al implementar el sistema propuesto en un equipo**

MES	0	1	2	3	4	5
Ci	135 157,88					
Ca		189 720,00	189 720,00	189 720,00	189 720,00	189 720,00
Cp		165 540,00	165 540,00	165 540,00	165 540,00	165 540,00
<b>Flujo</b>	<b>-135 157,88</b>	<b>24 180,00</b>				

Fuente: elaboración propia.

En donde:

- Ci: costo inversión, en este caso únicamente la inversión inicial del sistema propuesto a instalar en una secadora.
- Ca: costo actual, es el costo mensual del proceso de secado actual con las seis secadoras con el sistema actual.
- Cp: costo propuesto, es el costo mensual del proceso de secado con cinco secadoras con el sistema actual y una secadora con el sistema propuesto.
- Flujo: es la diferencia del costo actual y el costo propuesto; también se considera como el flujo de efectivo o beneficios.

Con estos datos se puede calcular el VAN, tomando como referencia una tasa de interés mensual de 7 % (rentabilidad mínima requerida).

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

$$VAN = -135\,157,88 + \frac{24\,180}{1,07} + \frac{24\,180}{1,07^2} + \frac{24\,180}{1,07^3} + \frac{24\,180}{1,07^4} + \frac{24\,180}{1,07^5}$$

$$VAN_1 = -36\,015,11$$

Al calcular la TIR del flujo de efectivo de la tabla XVII e igualar a 0, el VAN se obtiene la siguiente fórmula:

$$0 = -135\,157,88 + \frac{24\,180}{(1 + TIR)} + \frac{24\,180}{(1 + TIR)^2} + \frac{24\,180}{(1 + TIR)^3} + \frac{24\,180}{(1 + TIR)^4} + \frac{24\,180}{(1 + TIR)^5}$$

O bien se puede realizar en Excel, como se muestra en la figura 34, con el comando TIR en el flujo de efectivo; de donde se obtiene una tasa interna de retorno  $TIR_1 = -3,60\%$ .

Figura 34. **Cálculo de TIR**

Mes	0	1	2	3	4	5
Flujo de efectivo	(135,157.88)	24,180.00	24,180.00	24,180.00	24,180.00	24,180.00
				=TIR(D41:I41)		

Fuente: elaboración propia.

Otro aspecto a evaluar es el análisis de costo-beneficio en donde se tiene como costo las inversiones realizadas, y como beneficios el ahorro al implementar el sistema; según la tabla XVII se tiene de costos Q. 135 157,88 y de beneficios mensuales Q. 24 180,00, durante los cinco meses de cosecha.

Al realizar el cálculo del valor actual de los costos y beneficios se obtiene como VA(O) Q. 135 157,88 y como VA (I) Q. 99 142,77; al aplicar la fórmula se obtiene:

$$\frac{B}{C} = \frac{VA(I)}{VA(O)} = \frac{99\ 142,77}{135\ 157,88}$$

$$B/C_1 = 0,73$$

### **5.3.2. Proyección de costo-beneficio considerando el total de secadoras**

Para poder determinar la viabilidad y rentabilidad del proyecto se realizarán dos proyecciones en donde se determinarán los flujos de caja en cada uno de los casos. Cabe recordar que modificar una secadora adicional requiere una inversión de Q. 62 832,38 y que el interés mensual es 7 % (rentabilidad mínima requerida).

La proyección del caso A se realiza con la inversión inicial y adicionalmente en el primer mes se invierte en la modificación de una secadora adicional; es decir que se utilizarán 4 secadoras con el sistema de secado actual y 2 secadoras con el sistema de secado propuesto.

El flujo de efectivo del caso A se puede ver en la tabla XVIII.

Tabla XVIII. **Flujo de efectivo de la proyección A**

MES	0	1	2	3	4	5
Ci	135 157,88	62 832,38				
Ca		189 720,00	189 720,00	189 720,00	189 720,00	189 720,00
Cp		141 360,00	141 360,00	141 360,00	141 360,00	141 360,00
<b>Flujo</b>	<b>-135 157,88</b>	<b>- 14 472,38</b>	<b>48 360,00</b>	<b>48 360,00</b>	<b>48 360,00</b>	<b>48 360,00</b>

Fuente: elaboración propia.

En donde:

- Ci: costo inversión, en este caso únicamente la inversión inicial del sistema propuesto a instalar en una secadora.
- Ca: costo actual, es el costo mensual del proceso de secado actual con las seis secadoras con el sistema actual.
- Cp: costo propuesto, es el costo mensual del proceso de secado con cuatro secadoras con el sistema actual y dos secadoras con el sistema propuesto.
- Flujo: es la diferencia del costo actual y el costo propuesto; también se considera como el flujo de efectivo o beneficios.

Con los datos anteriores se obtiene:

$$VAN_A = -135\,157,88 + \frac{(-14\,472)}{1,07} + \frac{48\,360}{1,07^2} + \frac{48\,360}{1,07^3} + \frac{48\,360}{1,07^4} + \frac{48\,360}{1,07^5}$$

$$VAN_A = 4\,405,82$$

Al calcular la TIR del flujo de efectivo de la tabla XVIII en Excel, se obtiene la tasa interna de retorno  $TIR_A = 7,95 \%$ .

El costo-beneficio según el flujo de efectivo de la tabla XVIII se tiene como costo inicial Q. 135 157,88, costo de modificar otra secadora Q. 62 832,38 y como beneficios mensuales, Q. 48 360,00 durante los cinco meses de cosecha.

El cálculo del valor actual los costos  $VA(O)$  es Q. 193 879,73 y el valor actual de los beneficios es  $VA(I)$  Q. 198 285,55; al aplicar la fórmula se obtiene:

$$\frac{B}{C} = \frac{VA(I)}{VA(O)} = \frac{198\,285,55}{193\,879,73}$$

$$B/C_A = 1,02$$

La proyección del caso B se realiza con la inversión inicial y adicionalmente en el primer mes se invierte en la modificación de dos secadoras; los tres meses siguientes se invierte en una secadora más, respectivamente. Es decir que se inicia con 3 secadoras; el segundo mes son 4, en el tercer mes son 5 y en los meses cuarto y quinto, son 6 secadoras las que estarán instaladas en el sistema de secado propuesto.

Por lógica, se inicia con 3 secadoras, el segundo mes son 2, el tercer mes solo una y el cuarto y quinto mes ninguna secadora con el sistema de secado propuesto. El flujo de efectivo del caso B se puede ver en la tabla XIX.

Tabla XIX. **Flujo de efectivo de la proyección B**

MES	0	1	2	3	4	5
Ci	135 157,88	125 664,76	62 832,38	62 832,38	62 832,38	
Ca		189 720,00	189 720,00	189 720,00	189 720,00	189 720,00
Cp		117 180,00	93 000,00	68 820,00	44 640,00	44 640,00
<b>Flujo</b>	<b>-135 157,88</b>	<b>- 53 124,76</b>	<b>33 887,62</b>	<b>58 067,62</b>	<b>82 247,62</b>	<b>145 080,00</b>

Fuente: elaboración propia.

En donde:

- Ci: costo inversión, en este caso únicamente la inversión inicial del sistema propuesto a instalar en una secadora.
- Ca: costo actual, es el costo mensual del proceso de secado actual con las seis secadoras con el sistema actual.
- Cp: costo propuesto, es el costo mensual del proceso de secado, el cual varía dependiendo de la inversión de la modificación de los nuevos equipos con el sistema propuesto.
- Flujo: es la diferencia del costo actual y el costo propuesto; también se considera como el flujo de efectivo o beneficios.

Con los datos anteriores se obtiene:

$$VAN_A = -135\,157,88 + \frac{(-53\,124)}{1,07} + \frac{33\,887}{1,07^2} + \frac{58\,067}{1,07^3} + \frac{82\,247}{1,07^4} + \frac{145\,080}{1,07^5}$$

$$VAN_B = 58\,378,4$$

Al calcular la TIR del flujo de efectivo de la tabla XVIII en Excel, se obtiene la tasa interna de retorno  $TIR_B = 15,28 \%$  (el doble del caso A).

Según el flujo de efectivo de la tabla XVIII, el cálculo del valor actual de los costos,  $VA(O)$  es Q. 406 706,28 y el valor actual de los beneficios es  $VA(I)$  Q. 465 084,67 al aplicar la fórmula se obtiene:

$$\frac{B}{C} = \frac{VA(I)}{VA(O)} = \frac{465\,084,67}{406\,706,28}$$

$$B/C_B = 1,14$$

Para ayudar a tomar la mejor decisión, en la tabla XX se proyectan los costos y beneficios anuales después de la implementación del sistema propuesto en cada una de las opciones. Tomando en cuenta que el costo del mantenimiento anual por secadora a es Q. 15 000,00.

Tabla XX. **Beneficios anuales proyectados**

<b>COSTO</b>	<b>Opción 1</b>	<b>Opción A</b>	<b>Opción B</b>
Costo de mantenimiento	Q 15 000,00	Q 30 000,00	Q 90 000,00
Costo actual	Q 948 600,00	Q 948 600,00	Q 948 600,00
Costo propuesto	Q 827 700,00	Q 706 800,00	Q 223 200,00
Ahorro (actual – propuesto)	Q 120 900,00	Q 241 800,00	Q 725 400,00
Beneficio neto esperado	Q 105 900,00	Q 211 800,00	Q 635 400,00

Fuente: elaboración propia.

#### 5.4. Comparación de resultados

Para comparar y analizar cada una de las posibles opciones, detalladas en los incisos anteriores, de implementación del diseño propuesto, se plantea la tabla XXI en donde se comparan VAN, TIR y B/C de cada una de las opciones, para determinar cuál sería la mejor alternativa para la implementación del sistema propuesto.

Tabla XXI. **Comparación de resultados**

Opción	Cantidad secadoras	Inversión	VAN	TIR	B/C
Opción 1	1	Q 135 157,88	Q -36 015,11	- 3,60 %	0,73
Opción A	2	Q 197 990,26	Q 4 405,82	7,95 %	1,02
Opción B	6	Q 449 319,78	Q 58 378,40	15,28 %	1,14

Fuente: elaboración propia.

Al comparar los resultados se obtiene que la opción 1:

- Genera un VAN negativo, lo que refleja que la inversión a realizar produciría pérdidas por debajo de la rentabilidad exigida en el periodo de tiempo analizado. Posiblemente al extender el periodo de análisis más allá de los 5 meses se hubieran generados resultados positivos, pero esto no es viable debido a la naturaleza del proceso.
- La TIR es negativa, lo que indica que no es aconsejable realizar el proyecto de inversión porque el proyecto da una rentabilidad menor que la rentabilidad mínima requerida.

- La relación beneficio-costo (B/C) es menor que 1; el proyecto no es apropiado porque los beneficios calculados son menores que los costos calculados.
- No es recomendable implementar el sistema propuesto según la opción 1 (únicamente en una secadora).

Al comparar los resultados se obtiene que la opción A:

- Genera un VAN positivo, lo cual refleja que la inversión producirá ganancias por encima de la rentabilidad exigida para el periodo de tiempo analizado.
- La TIR es positiva, por lo que es aconsejable realizar el proyecto de inversión porque el proyecto da una rentabilidad mayor que la rentabilidad mínima requerida (7 %); sin embargo únicamente la supera en 0,95 %.
- La relación beneficio-costo (B/C) es mayor que 1; el proyecto es apropiado porque los beneficios calculados son mayores que los costos calculados.
- Es recomendable implementar el sistema propuesto según la opción A (en dos secadoras).

Al comparar los resultados se obtiene que la opción B:

- Genera un VAN positivo mucho mayor que en la opción A; esto refleja que la inversión producirá ganancias por encima de la rentabilidad exigida para el periodo de tiempo determinado.
- La TIR es positiva, incluso el doble de la opción A; por lo que es aconsejable realizar el proyecto de inversión porque el proyecto da una rentabilidad mayor que la rentabilidad mínima requerida.
- La relación beneficio-costos (B/C) es mayor que 1 (incluso mayor que la opción A); el proyecto es apropiado porque los beneficios calculados son mayores que los costos calculados.
- Es recomendable implementar el sistema propuesto según la opción B (en seis secadoras), porque a pesar de que requiere una mayor inversión, el tiempo de recuperación de la inversión es menor y los beneficios a largo plazo serán mayores.

### **5.5. Plan de implementación del sistema propuesto**

Al analizar los datos y comparando los costos de implementación del sistema propuesto con los costos actuales del proceso, la recomendación es implementar dicha propuesta en un total de seis de las secadoras. En el anexo 4 se presenta el plan de implementación propuesto en el cual se detallan las actividades a realizar, los responsables, materiales a utilizar, fechas estimadas de realización, porcentaje de avance de cada actividad, etc, datos importantes para el seguimiento respectivo en la implementación del sistema propuesto, en el resto de secadoras.



## CONCLUSIONES

1. El secado de granos provenientes del campo es el proceso vital en toda industria arrocera, porque del proceso de secado depende la calidad del grano y la preservación en su almacenamiento, para que los procesos de molienda sean más eficientes.
2. El diseño del sistema de secado propuesto considera el aprovechamiento de los recursos de los que actualmente se disponen, teniendo que sustituir en las secadoras el quemador del equipo actual por un intercambiador de calor e instalar la tubería necesaria para el transporte de dicho vapor.
3. La capacitación técnica del personal involucrado en cada una de las etapas del proceso de secado es fundamental para la realización de un buen secado, siempre y cuando se le brinden todos los recursos necesarios (herramientas, insumos, equipo, etc.) para que puedan realizar correctamente el trabajo asignado, tomando en cuenta las medidas de seguridad en todo momento.
4. La implementación del sistema propuesto genera muchos beneficios cualitativos (no cuantificados en este trabajo) relacionados con la reducción del impacto ambiental al sustituir un combustible derivado del petróleo, como el diésel, por vapor proveniente de la reutilización de la cascarilla de arroz.

5. Al comparar la productividad y eficiencia de ambos sistemas, se evidencia cierta ventaja a favor del sistema actual, sin embargo estas diferencias no son significativas para determinar o encaminar las decisiones de la implementación o no del sistema propuesto.
6. Contar con el equipo de laboratorio adecuado y específico para cada uno de los análisis realizados es indispensable para generar la certeza de que los resultados obtenidos en cada análisis son confiables, y evitar ambigüedades que puedan generar conflictos con los productores.
7. Cada uno de los parámetros de calidad del grano analizado, en ambos sistemas, cumplen las especificaciones definidas por parte de Arrozgua. En otras palabras la aplicación del sistema de secado a base de vapor no genera ninguna variación en la calidad de los granos de granza seca.
8. Resultados del análisis de costo beneficios indican que la implementación del sistema propuesto es rentable a corto plazo si se realiza por lo menos en dos secadoras y obtendrá mayores beneficios a mediano plazo si se implementa según la opción B, aunque esta requiera una mayor inversión inicial.

## RECOMENDACIONES

1. Programar capacitaciones específicas en temas de secado de granos para elevar el nivel técnico del personal y que puedan aportar soluciones a situaciones que se presenten en el proceso e implementar mejoras.
2. Realizar calibraciones periódicas a los equipos de laboratorio, como mínimo una vez al año con una empresa especializada que extienda certificados de calibración, para tener la certeza de que las mediciones realizadas con estos equipos son confiables.
3. Los costos de los mantenimientos requeridos por los equipos instalados deben ser presupuestados cada año, para que se ejecuten sin tener que incurrir en costos adicionales durante la época de cosecha.
4. La implementación del sistema propuesto es viable y tiene muchos más beneficios si se implementa en seis de las secadoras según la proyección B; no se han considerado el total de secadoras para tener un alternativas de secado, con secado a base de diésel, en caso de llegarse a requerir.
5. Implementar fumigaciones del producto previo a ser almacenado en el silo, con fungicidas y plaguicidas que tengan capacidad residual, para que el producto pueda ser almacenado durante un tiempo prudente y que presente los menores riesgos de contaminación o descomposición.
6. Calcular los costos de los beneficios relacionados con la reducción del impacto ambiental a obtener en la implementación del sistema propuesto.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Guatemalteca del Arroz. *Manual de convenio de arroz*. Guatemala: ARROZGUA, 2004. 70 p.
2. CASANOVA, Francisco. *Formación profesional, productividad y trabajo decente*, Boletín No.153. [en línea]. <<http://www.cinterfor.org.uy/public/spanish/region/ampro/cinterfor/publ/boletin/153/pdf/casanov.pdf>>. [Consulta: 14 de septiembre de 2012]
3. DE DIOS, Carlos Alberto. *Secado de granos y secadoras*. Serie tecnología postcosecha. Santiago de Chile: Hemisferio Sur, 1996. 224 p.
4. FROLA, C.A. *Uso de combustible en el agro. Acopio y comercio de granos en la Argentina*. Argentina: Federación de Centros de Acopiadores de Cereales, Convención Nacional, Villa Carlos Paz, octubre, 1982.
5. MÁRQUES PEREIRA, Daniel Antonio; SINICIO, Roberto; OLIVEIRA FILHO, Delly. *Secado de granos a altas temperaturas*. Chile: Oficina Regional de la FAO, 1991. 77 p.
6. SEAT. *XVII Convenio colectivo SEAT S.A. 2006, BOE No. 74*. [en línea]. <<http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2006-5588>>. [Consulta: 15 de febrero de 2013].

7. SEDITESA. *Cómo prevenir los golpes de ariete en las tuberías de vapor*. Hoja técnica No. 7. Paris: LLOBREGAT, DE L'HOSPITALET. Servicios y distribuciones Técnicas, S.A. 5 p.
8. SPIRAX SARCO. *Distribución de vapor*. Guía de referencia técnica TR-GCM-11. Argentina: 1999. 64 p.
9. SPIRAX SARCO. *Purga de vapor y eliminación de aire*. Guía de referencia técnica TR-GCM-03. Argentina: 1999. 118 p.
10. TRACOGNA, Alessandra; et al. *Guía del análisis costes-beneficios de los proyectos de inversión*. Paris: FEDER, Fondo de Cohesión e ISPA, 2003. 114 p.
11. TRUJILLO ESTRADA, Hert. *Diseño de manual de mantenimiento preventivo de la red de distribución de vapor del hospital general San Juan De Dios*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 233 p.

## ANEXOS

### Anexo 1. Formato de identificación de muestras de secado

Formato de indentificación de muestra			
Secadora no.:	<input type="text"/>	Fecha análisis:	<input type="text"/>
Muestra no.:	<input type="text"/>	Humedad	<input type="text"/>
Responsable	<input type="text"/>		

Fuente: empresa ALCSA.

## Anexo 2. Formato de control de secado de granza

Responsable Inicio: <input style="width: 200px;" type="text"/>		Secadora No. <input style="width: 50px;" type="text"/>				
Fecha: _____		Hora: _____				
Humedad: _____		Código operadores: _____				
Muestra		Vapor		Granza		Comentarios
No.	Hora	P	T	% H	T	
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
Responsable final: <input style="width: 200px;" type="text"/>		Producto fumigado: <input style="width: 30px;" type="checkbox"/> SÍ <input style="width: 30px;" type="checkbox"/> NO				
Fecha: _____		Hora: _____				
Humedad: _____		Código operadores: _____				
Rendimientos:						Almacenado en silo: <input style="width: 50px;" type="text"/>
I	R	%E	%Q	B		

Fuente: empresa ALCSA.

Anexo 3. **Formato cumplimiento de normas del personal de secado**

											✓	Cumple										
											X	No cumple										
Área: _____ Supervisor: _____ Fecha: _____											Nombre											
											Hora											
<b>1. Cumple higiene del personal</b>																						
1.1 Verificar el proceso de lavado de manos																						
1.2 Uñas limpias y cortas																						
1.3 Cabello corto y barba afeitada																						
<b>2. Cumple hábitos dentro de la planta</b>																						
2.1 Uniforme completo, limpio y en buen estado																						
2.2 Uso de redcilla correctamente																						
2.3 No ingresa cualquier objeto personal																						
2.4 No Ingresa alimentos, chicles o comida																						
2.5 No ingresa vidrio, plástico, metal o madera																						
2.8 No Presenta Indicios de consumo de alcohol																						
2.9 No Presenta Indicios de consumo de cigarro																						
<b>3. Cumple seguridad industrial</b>																						
3.1 Zapatos industriales																						
3.2 Casco																						
3.3 Equipo especial para la tarea a realizar																						
<b>4. Salud del personal</b>																						
4.1 No presenta señales de enfermedad o heridas																						
Estas casillas aplican en caso que el 4.1 no cumple	4.2 Heridas cubiertas con vendas																					
	4.3 Fiebre, gripe o tos																					
	4.5 Diarrea																					
	4.6 Dolor de cabeza, mareos																					
	4.7 Otro																					
Acciones a tomar: (En caso de que no cumpla cualquier aspecto anterior se tendrá que llenar la casilla de acciones a tomar)																						

Fuente: empresa ALCA.

## Anexo 4. Plan de implementación del sistema propuesto

TITULO DEL PROYECTO: Sistema de generación de vapor para secado de granza nacional

AREA: Secado de granza nacional

#	Actividad	Responsable	Materiales / Referencia	Fecha	% Avance				Observaciones
					25	50	75	100	
1	Diseño de sistema de secado	Jefe de calidad	Computadora	feb-13				<input checked="" type="checkbox"/>	Completo
2	Fabricación e instalación de manifold, que distribuye el vapor a las secadoras	Jefe de taller	Lámina adecuada para el proceso, ver capítulo 3 y figura 24	mar-13				<input checked="" type="checkbox"/>	Completo
3	Fabricación e instalación de campana de inducción generadora de flujo de aire	Jefe de taller	Capítulo 4 y figuras 25 y 30	abr-13				<input checked="" type="checkbox"/>	Completo
4	Instalación de tubería que alimenta el vapor a la secadora de prueba	Jefe de taller	Tubería y equipo de distribución de vapor (Ver tabla VII)	may-13				<input checked="" type="checkbox"/>	Completo
5	Instalación de Intercambiador de calor en secadora de prueba	Jefe de taller	Intercambiador de calor Capítulo 4 y figura 31	may-13				<input checked="" type="checkbox"/>	Completo
6	Instalación de tubería de condensado	Jefe de taller	Tubería y equipo de distribución y control de condensado	may-13				<input checked="" type="checkbox"/>	Completo
7	Capacitación de personal en el uso y cuidados del sistema propuesto	Jefe de calidad	Computadora, capital humano competente, capítulo 3	may-13				<input checked="" type="checkbox"/>	Personal responsable con capacidad de operar equipos que utilicen vapor
8	Prueba de funcionamiento de secadora con vapor	Jefe de calidad	500 quintales de granza para secar.	jun-13				<input checked="" type="checkbox"/>	Capacidad de la secadora es la misma en ambos procesos
9	Análisis de características de calidad de secado con vapor	Jefe de calidad	Granza limpia y seca, capítulos 4	jun-13				<input checked="" type="checkbox"/>	La calidad de la granza es la misma en ambos procesos
10	Comparación de tiempos de secado	Jefe de calidad	FO-AR-005 Control de secado de granza nacional	jun-13				<input checked="" type="checkbox"/>	El tiempo de secado similar en ambos procesos
11	Análisis de costos y comparación de costo-beneficio entre los dos sistemas	Jefe de calidad	FO-AR-005 Control de secado de granza nacional	jun-13				<input checked="" type="checkbox"/>	Q1,24 por qq secado con cascarilla y Q5,25 por qq con diésel. Ahorro de Q2 005,00 en secar 500 quintales
12	Fabricación e instalación de campana de inducción, secadoras 2 y 3	Jefe de taller	Capítulo 4 y figuras 25 y 30	jul-13					

Continuación del anexo 4.

**TITULO DEL PROYECTO:** Sistema de generación de vapor para secado de granza nacional  
**AREA:** Secado de granza nacional

#	Actividad	Responsable	Materiales / Referencia	Fecha	% Avance				Observaciones
					25	50	75	100	
13	Instalación de tubería que alimenta el vapor a la secadoras 2 y 3	Jefe de taller	Tubería y equipo de distribución de vapor (Ver tabla VII)	jul-13					
14	Instalación de intercambiador de calor en secadora 2 y 3	Jefe de taller	Intercambiador de calor, Capítulo 4 y figura 31	jul-13					
15	Instalación de tubería de condensado en secadora 2 y 3	Jefe de taller	Tubería y equipo de distribución y control de condensado (Ver tabla VII)	jul-13					
16	Fabricación e instalación de campana de inducción secadoras 4 y 5	Jefe de taller	Capítulo 4 y figuras 25 y 30	ago-13					
17	Instalación de tubería que alimenta el vapor a la secadoras 4 y 5	Jefe de taller	Tubería y equipo de distribución de vapor	ago-13					
18	Instalación de intercambiador de calor en secadora 4 y 5	Jefe de taller	Intercambiador de calor. Capítulo 4 y figura 31	ago-13					
19	Instalación de tubería de condensado en secadora 4 y 5	Jefe de taller	Tubería y equipo de distribución y control de condensado	ago-13					
20	Fabricación e instalación de campana de inducción secadoras 6	Jefe de taller	Capítulo 4 y figuras 25 y 30	sep-13					
21	Instalación de tubería que alimenta el vapor a la secadoras 6	Jefe de taller	Tubería y equipo de distribución de vapor	sep-13					
22	Instalación de intercambiador de calor en secadora 6	Jefe de taller	Intercambiador de calor, capítulo 4 y figura 31	sep-13					
23	Instalación de tubería de condensado en secadora 6	Jefe de taller	Tubería y equipo de distribución y control de condensado	sep-13					
26	Reporte real de costos totales de toda la cosecha.	Jefe de calidad	Computadora, FO-AR-005	nov-13					Reportar al final de la cosecha (Diciembre 2013)

f: \_\_\_\_\_  
 Responsable de seguimiento

f: \_\_\_\_\_  
 Gerente de área

Fuente: elaboración propia