

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **DISEÑO DE DOS SISTEMAS DE SECADO DE MAÍZ PARA EL SECTOR AGRÍCOLA DEL CANTÓN VENTANAS PROVINCIA DE LOS RÍOS, PROYECTO SENACYT-EPN-PETROCOMERCIAL**

#### **PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**WILSON ANÍBAL NOVOA CARRERA**  
wilnov17@hotmail.com

**JUAN CARLOS PALACIOS PILLAJO**  
nuevecaracteres@yahoo.es

**DIRECTOR: Ing. ADRIÁN PATRICIO PEÑA IDROVO, M.Sc.**  
patricio.pena@epn.edu.ec

**Quito, Mayo 2010**

## DECLARACIÓN

Nosotros, Palacios Pillajo Juan Carlos y Novoa Carrera Wilson Aníbal, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Palacios Pillajo Juan Carlos

---

Novoa Carrera Wilson Aníbal

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Palacios Pillajo Juan Carlos y Novoa Carrera Wilson Aníbal, bajo mi supervisión.

---

Ing. Adrián Patricio Peña Idrovo, M.Sc.  
DIRECTOR DEL PROYECTO

## AGRADECIMIENTO

A Dios porque me ha bendecido y cuidado toda mi vida, me ha dado fuerzas en los momentos que más he necesitado. Por su grandeza y luz, por su amor y gracia, por su paz y refugio, por su guía y voluntad.

A mi madre, Ana Rosario, mujer virtuosa porque su estima sobrepasa largamente a la de las piedras preciosas. Con voluntad trabaja con sus manos, ciñe de fuerzas sus lomos y esfuerza sus brazos. Fuerza y honra son su vestidura, abre su boca con sabiduría y considera los caminos de su casa.

A mis hermanas Sylvia y Patricia por su ayuda y apoyo incondicional, por ser pilar importante en mi vida.

A mi familia que de una u otra manera influyeron en mi vida, para que esto suceda.

A la Escuela Politécnica Nacional, a la Facultad de Ingeniería Mecánica y a sus profesores principalmente al Ingeniero Adrián Peña, al Ingeniero Oswaldo Acuña y al Ingeniero Jaime Vargas por lograr que este proyecto sea posible.

*Juan Carlos*

Mi gratitud al Ing. Adrián Peña por su acertada dirección y por todo el conocimiento otorgado para la realización de este proyecto. Al Ing. Oswaldo Acuña y al Ing. Jaime Vargas porque sin su asesoramiento este trabajo difícilmente se habría realizado.

Wilson Novoa Carrera

## DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido alcanzar uno de mis objetivos en mi camino, espero que sea de su agrado.

A mi madre Ana Rosario pues su trabajo no ha sido en vano, le entrego un fruto de su constancia. Bienaventurada, muchas mujeres hacen el bien mas tú sobrepasas a todas.

A mis hermanas, Sylvia y Patricia, sin ellas la vida no sería igual.

A mi cuñado David porque cuida de mi hermana y mi sobrino en todo momento.

A mi sobrino Juan David y para la nueva generación de mi familia, espero ser un buen ejemplo.

A mi familia porque hay un solo camino para poder lograr las cosas, el camino correcto.

A mis amigos y compañeros de la Facultad de Ingeniería Mecánica, por todos los momentos compartidos.

*Juan Carlos*

Este trabajo es dedicado a: a mi esposa, mi hijo, a mis padres, mis hermanos, y mis abuelos, por todo el apoyo recibido durante la realización de este proyecto de titulación.

Wilson Novoa Carrera

## CONTENIDO

CONTENIDO.....	i
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	x
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xii
RESUMEN .....	xv
PRESENTACIÓN .....	xvi
Capítulo I.....	1
1 Generalidades del grano de maíz .....	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Estructura del maíz .....	3
1.3 Composición del grano de maíz.....	4
1.4 Secado del maíz .....	5
1.5 Almacenamiento del maíz.....	6
1.6 Usos del maíz .....	8
1.7 El maíz en el Ecuador .....	10
1.7.1 Influencia económica y social del maíz en el Ecuador.....	10
1.7.2 Cultivo de maíz amarillo duro en el Ecuador .....	11
1.7.3 Producción de maíz amarillo duro en el Ecuador .....	13
1.7.4 Cultivo de maíz amarillo duro en la provincia de Los Ríos .....	13
1.7.5 Producción de maíz amarillo duro en la provincia de Los Ríos .....	15
1.7.6 Fuente de exportación .....	16
Capítulo II.....	17
2 El secado de granos .....	17
2.1 Principios fundamentales del secado .....	18
2.2 Métodos de secado .....	19
2.2.1 Secado solar o natural.....	19
2.2.2 Secado artificial .....	20
2.3 Parámetros del secado artificial .....	20
2.3.1 Condiciones del aire ambiente .....	21

2.3.2	Temperatura de secado.....	21
2.3.3	Presión estática y flujo de aire .....	22
2.3.4	Velocidad de secado .....	22
2.3.5	Humedad inicial del producto.....	23
2.3.6	Altura del lecho de granos .....	23
2.4	Tipos de secadores.....	23
2.4.1	De acuerdo al método de operación.....	23
2.4.1.1	Secadores continuos.....	24
2.4.1.2	Secadores discontinuos .....	24
2.4.2	Equipos de secado .....	24
2.4.2.1	Secadores de platos perforados.....	24
2.4.2.2	Secadores de tamices transportadores .....	25
2.4.2.3	Torres de secado .....	26
2.4.2.4	Secadores rotatorios .....	28
2.4.2.5	Secadores de lecho fluidizado.....	28
2.4.2.6	Secadores de lecho fijo.....	29
2.4.3	Selección de equipo de secado .....	30
2.5	Elementos principales que constituyen un secador de lecho fijo .....	31
2.5.1	Cámara de secado .....	31
2.5.2	Plancha perforada .....	31
2.5.3	Cámara de distribución de aire con expansión gradual.....	32
2.5.4	Ventilador .....	32
2.5.5	Quemador.....	32
2.6	Higroscopicidad.....	33
2.6.1	Humedad del maíz.....	33
2.6.2	Contenido de humedad en base húmeda.....	33
2.6.3	Contenido de humedad en base seca .....	33
2.6.4	Humedad de equilibrio.....	34
2.6.5	Humedad libre .....	35
2.6.6	Medición de la humedad de los granos .....	36
2.6.7	Medición de la humedad al final del proceso de secado .....	37

2.7	Psicrometría .....	38
2.7.1	Propiedades termodinámicas fundamentales .....	38
2.7.1.1	Temperatura de bulbo seco .....	38
2.7.1.2	Temperatura de bulbo húmedo .....	38
2.7.1.3	Volumen específico.....	38
2.7.1.4	Entalpía específica.....	39
2.7.1.5	Humedad relativa .....	39
2.7.1.6	Contenido de agua.....	39
2.7.2	Carta psicrométrica.....	39
2.7.3	Estudio psicrométrico del secado .....	40
2.7.3.1	Proceso de calentamiento del aire .....	41
2.7.3.2	Proceso de humidificación del aire.....	43
2.7.3.2.1	Cantidad de agua a evaporar .....	43
2.7.3.2.2	Cantidad de aire seco para evaporar el agua contenida en el maíz...44	
2.8	Transferencia de calor en secadores .....	45
2.8.1	Transferencia de calor en lechos.....	45
2.8.1.1	Conducción.....	45
2.8.1.2	Convección .....	46
2.8.1.3	Radiación.....	46
2.8.2	Carga térmica .....	47
2.9	Caída de presión en el secador de lecho fijo .....	47
2.9.1	Caída de presión en el lecho de granos .....	47
2.9.1.1	Esfericidad del grano de maíz.....	48
2.9.1.2	Porosidad del lecho de granos de maíz .....	49
2.9.2	Caída de presión en la plancha perforada.....	49
2.10	Propiedades y características de las mezclas gaseosas reactivas.....	49
2.10.1	Poder calórico.....	50
2.10.2	Densidad de una mezcla gaseosa.....	52
2.10.3	Densidad relativa o gravedad específica de una mezcla gaseosa ...	53
2.10.4	Peso molecular de la mezcla.....	53
2.10.5	Viscosidad de una mezcla .....	54



2.10.6	Fracciones másicas y volumétricas de una mezcla aire-gas .....	55
2.10.7	Límites de inflamabilidad .....	55
2.10.7.1	Límite inferior de inflamabilidad .....	55
2.10.7.2	Límite superior de inflamabilidad .....	56
2.10.8	Propiedades termodinámicas del LPG .....	56
2.10.9	Relación másica aire/combustible del LPG .....	57
2.11	Tiempo de secado .....	58
Capítulo III	.....	60
3	Análisis de campo .....	60
3.1	Descripción de secadores utilizados en el cantón Ventanas.....	61
3.2	Centro de secado “Comercial Peña” .....	61
3.2.1	Descripción de los secadores de este centro de secado.....	61
3.2.2	Descripción del proceso de secado.....	63
3.2.3	Mediciones realizadas .....	64
3.2.3.1	Datos iniciales.....	64
3.2.3.2	Datos finales .....	64
3.2.3.3	Mediciones del ventilador.....	65
3.2.3.4	Datos del motor del ventilador.....	66
3.2.3.5	Medidas del quemador.....	67
3.2.4	Costo de energía del secado.....	69
3.2.5	Problemas del proceso de secado.....	69
3.2.5.1	Deficiente distribución de aire .....	69
3.2.5.1.1	Estado actual.....	69
3.2.5.1.2	Posible solución.....	71
3.2.5.2	Pérdida de calor a los alrededores.....	71
3.2.5.2.1	Estado actual.....	71
3.2.5.2.2	Posible solución.....	73
3.3	Centro de secado “Tierra Fértil” .....	74
3.3.1	Descripción de los secadores de este centro de secado.....	74
3.3.2	Descripción del proceso de secado.....	76
3.3.3	Mediciones realizadas .....	76
3.3.3.1	Datos iniciales.....	76

3.3.3.2	Datos finales .....	77
3.3.3.3	Mediciones del ventilador.....	77
3.3.3.4	Datos del motor del ventilador.....	78
3.3.3.5	Quemador.....	79
3.3.4	Costo de energía del secado.....	79
3.3.5	Problemas con el proceso de secado.....	79
3.3.5.1	Deficiencia en la distribución de aire .....	79
3.3.5.1.1	Estado actual.....	80
3.3.5.1.2	Posible solución.....	81
3.3.5.2	Pérdida de calor a los alrededores.....	81
3.3.5.2.1	Estado actual.....	81
3.3.5.2.2	Posible solución.....	81
3.4	Propuestas seleccionadas para el mejoramiento.....	82
3.5	Acotación final.....	83
Capítulo IV.....		84
4	Diseño de un secador rectangular y un circular de lecho fijo y sistema de movimiento.....	84
4.1	Diseño de un secador de lecho fijo tipo rectangular.....	85
4.1.1	Condición, parámetros y datos para el diseño.....	85
4.1.2	Determinación de las dimensiones del secador.....	87
4.1.3	Selección de la plancha perforada.....	88
4.1.3.1	Diseño de la estructura soporte para la plancha perforada .....	90
4.1.4	Selección del ventilador .....	92
4.1.4.1	Caída de presión en la distribución de aire de secado .....	93
4.1.4.1.1	Caída de presión en la expansión gradual.....	93
4.1.4.2	Caída de presión en el lecho de granos .....	95
4.1.4.3	Caída de presión en la plancha perforada.....	95
4.1.4.4	Caída de presión total.....	96
4.1.4.5	Potencia del motor para el ventilador .....	96
4.1.5	Tiempo de secado .....	96
4.1.6	Selección de la capacidad del quemador .....	100
4.1.7	Cámara de combustión.....	101

4.1.8	Costo de energía del secado.....	101
4.2	Diseño de un secador de lecho fijo tipo circular .....	102
4.2.1	Condición, parámetros y datos para el diseño.....	102
4.2.2	Diseño de la cámara de secado .....	103
4.2.2.1	Selección de refuerzos para la cámara de secado.....	104
4.2.3	Selección de la plancha perforada.....	106
4.2.3.1	Diseño de la estructura soporte para la plancha perforada .....	107
4.2.4	Selección del ventilador.....	109
4.2.4.1	Caída de presión en la distribución de aire de secado .....	110
4.2.4.1.1	Caída de presión en la expansión gradual.....	110
4.2.4.2	Caída de presión en el lecho de granos .....	111
4.2.4.3	Caída de presión en la plancha perforada.....	112
4.2.4.4	Caída de presión total .....	112
4.2.4.5	Potencia del motor para el ventilador .....	112
4.2.5	Tiempo de secado .....	113
4.2.6	Selección de la capacidad del quemador .....	115
4.2.7	Cámara de combustión.....	116
4.2.8	Costo de energía del secado.....	116
4.3	Diseño de un sistema movimiento mediante paletas agitadoras para el secador de lecho fijo tipo circular.....	117
4.3.1	Diseño de paletas agitadoras .....	117
4.3.1.1	Determinación de la masa de maíz a mover .....	119
4.3.1.2	Cálculo de la fracción de masa a mover.....	119
4.3.1.3	Diseño de elementos mecánicos del sistema de movimiento.....	121
4.3.1.3.1	Selección del motorreductor .....	122
4.3.1.3.2	Selección de catalinas y cadena.....	123
4.3.1.3.3	Diseño del eje de transmisión .....	127
4.3.1.3.4	Selección de rodamientos .....	129
4.3.1.3.5	Dimensionamiento del eje portador de las paletas.....	131
4.3.1.3.6	Dimensionamiento del soporte de conexión de las paletas.....	133
	Capítulo V.....	136
5	Conclusiones y recomendaciones.....	136

5.1 Conclusiones.....	136
5.2 Recomendaciones.....	137
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	139
ANEXOS .....	141

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Distribución de las principales partes del grano. ....	4
Tabla 1.2 Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz (%). ....	4
Tabla 1.3 Contenido máximo de humedad para un almacenamiento de un año (o menos) a humedad relativa del 70% y a una temperatura de 27 °C. ....	8
Tabla 1.4 Superficie cultivada en principales provincias del Ecuador (Datos al 2008). ....	12
Tabla 1.5 Producción nacional de maíz amarillo duro (Año 2008). ....	13
Tabla 1.6 Porcentaje provincial en la producción total de maíz amarillo duro en el Ecuador. ....	13
Tabla 1.7 Los Ríos: Estadísticas cantonales del cultivo maíz amarillo duro (Año 2008). ....	15
Tabla 1.8 Los Ríos: Producción de maíz amarillo duro (Año 2008). ....	15
Tabla 2.1 Temperatura máxima del aire en contacto con el producto. ....	21
Tabla 2.2 Presión del ambiente a diferentes altitudes. ....	44
Tabla 2.3 Viscosidad de los gases a 32°F. ....	54
Tabla 2.4 Propiedades del LPG. ....	56
Tabla 3.1 Secadores circulares. ....	62
Tabla 3.2 Datos iniciales de secado, secador circular. ....	64
Tabla 3.3 Datos finales de secado, secador circular. ....	64
Tabla 3.4 Mediciones realizadas en el ventilador, secador circular. ....	65
Tabla 3.5 Datos del motor del ventilador, secador circular. ....	66
Tabla 3.6 Datos del tanque de LPG, secador circular. ....	68
Tabla 3.7 Datos del LPG. ....	68
Tabla 3.8 Secadores rectangulares. ....	76

Tabla 3.9 Datos iniciales de secado, secador rectangular. ....	76
Tabla 3.10 Valores finales de secado, secador rectangular. ....	77
Tabla 3.11 Mediciones realizadas en el ventilador, secador rectangular. ....	77
Tabla 3.12 Datos del motor del ventilador. ....	78
Tabla 3.13 Datos del tanque de LPG, secador rectangular. ....	79
Tabla 4.1 Datos para el diseño. ....	86
Tabla 4.2 Dimensiones del secador de lecho fijo. Recomendaciones. ....	87
Tabla 4.3 Potencia requerida del motor en función de la velocidad de secado. ....	92
Tabla 4.4 Valores de $k'$ . ....	94
Tabla 4.5 Características del ventilador. ....	96
Tabla 4.6 Datos de las propiedades del agua y aire a 50 °C. ....	98
Tabla 4.7 Potencia requerida del motor en función de la velocidad de secado. ....	109
Tabla 4.8 Características del ventilador. ....	113
Tabla 4.9 Coeficiente de rozamiento de algunos alimentos. ....	118
Tabla 4.10 Capacidad de potencia nominal (en Hp) de cadenas de rodillos de paso simple y un solo cordón con rueda dentada de 17 dientes. ....	123
Tabla 4.11 Factor de servicio $K_s$ . ....	124
Tabla 4.12 Factores de corrección para los dientes $K_1$ . ....	125
Tabla 4.13 Factores para cadenas de cordones múltiples $K_2$ . ....	125

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Granos de maíz. ....	2
Figura 1.2 Estructura del grano de maíz: corte longitudinal. ....	3
Figura 1.3 Ecuador: Principales provincias en las que se cultiva maíz amarillo duro. ....	12
Figura 1.4 Los Ríos: Mapa provincial del cultivo maíz amarillo duro. ....	14
Figura 2.1 Secador de platos perforados. ....	25
Figura 2.2 Recorrido del lecho permeable en un secador con circulación a través de sólidos de 3 unidades. ....	26
Figura 2.3 Turbosecador. ....	27
Figura 2.4 Secador rotatorio. ....	28
Figura 2.5 Secador continuo de lecho fluidizado. ....	29

Figura 2.6 Secador de lecho fijo, de capa estática o estacionaria.....	30
Figura 2.7 Curva de equilibrio de humedad, a) general, b) del maíz.....	35
Figura 2.8 Humedad en diferentes capas del grano.....	37
Figura 2.9 Carta Psicrométrica a 0m msnm. ....	40
Figura 2.10 Esquema psicrométrico del calentamiento del aire .....	41
Figura 2.11 Esquema del volumen de control en la reacción de combustión.....	50
Figura 2.12 Curvas de secado. ....	58
Figura 3.1 Secadores circulares.....	62
Figura 3.2 Secador circular de 8 m de diámetro en funcionamiento. ....	63
Figura 3.3 Ventilador centrífugo. ....	65
Figura 3.4 Plancha perforada.....	66
Figura 3.5 Quemador del secador circular. ....	67
Figura 3.6 Tanque de almacenamiento de LPG.....	68
Figura 3.7 Configuración actual de la distribución del aire de secado en el secador circular (sin expansión gradual).....	70
Figura 3.8 Configuración actual de la distribución del aire de secado en el secador circular, a) vista superior, b) vista lateral. ....	70
Figura 3.9 Distribución de aire con expansión gradual para el secador circular a) vista superior, b) vista lateral.....	71
Figura 3.10 Quemador sin cámara de combustión.....	72
Figura 3.11 Oxidación en el ventilador y quemador .....	73
Figura 3.12 Quemador con cámara de combustión, vista superior. ....	74
Figura 3.13 Primer secador de lecho fijo rectangular. ....	75
Figura 3.14 Segundo secador de lecho fijo rectangular. ....	75
Figura 3.15 Configuración actual de la distribución del aire de secado en el secador rectangular (sin expansión gradual).....	80
Figura 3.16 Configuración actual de la distribución del aire de secado en el secador rectangular a) vista superior, b) vista lateral. ....	80
Figura 3.17 Distribución de aire con expansión gradual para el secador rectangular a) vista superior, b) vista lateral.....	81
Figura 3.18 Puerta del secador pandeada .....	83
Figura 4.1 Distribución de presión en la cámara de secado.....	88
Figura 4.2 Estructura soporte a) vista superior, b) vista lateral. ....	90

Figura 4.3 Distribución de columnas, vista superior.....	92
Figura 4.4 Configuración para la distribución de aire a) vista superior, b) vista lateral. ....	93
Figura 4.5 Curva de velocidad de secado del maíz.....	97
Figura 4.6 Refuerzos para la plancha de acero.....	105
Figura 4.7 Diagrama de cuerpo libre del perfil (vista lateral). ....	106
Figura 4.8 Estructura soporte a) vista superior, b) vista lateral. ....	107
Figura 4.9 Distribución de columnas, vista superior. ....	109
Figura 4.10 Configuración para la distribución de aire a) vista superior b) vista lateral. ....	110
Figura 4.11 Configuración del sistema de paletas, vista superior. ....	117
Figura 4.12 Vista superior del secador mostrando en área sombreada la fracción de maíz que será movida según el diseño. ....	119
Figura 4.13 Diagrama de cuerpo libre en las paletas. ....	120
Figura 4.14 Esquema del sistema de paletas con sus elementos.....	122
Figura 4.15 Configuración de las catalinas y cadena. ....	126
Figura 4.16 Diagrama de cuerpo libre del eje de transmisión. ....	128
Figura 4.17 Diagrama de fuerza cortante y momento flector del eje.....	128
Figura 4.18 Esquema del eje portador de las paletas. ....	131
Figura 4.19 Ubicación de cargas en el eje portador de paletas.....	132
Figura 4.20 Elemento sometido a flexión. ....	134

## ÍNDICE DE ANEXOS

### ANEXO A

#### EQUIPOS EMPLEADOS PARA LAS MEDICIONES

##### ANEXO A-I

Equipos empleados para mediciones del proceso de secado.

##### ANEXO B

#### CÁLCULOS DEL SECADOR RECTANGULAR

##### ANEXO B-I

Selección de la plancha perforada

##### ANEXO B-II

Diseño de la estructura soporte para la plancha perforada.

**ANEXO B-III**

Cálculo del flujo de aire.

**ANEXO C****CÁLCULOS DEL SECADOR CIRCULAR****ANEXO C-I**

Diseño de la cámara de secado.

**ANEXO C-II**

Selección de refuerzos para la cámara de secado.

**ANEXO C-III**

Selección de la plancha perforada.

**ANEXO C-IV**

Diseño de la estructura soporte para la plancha perforada.

**ANEXO C-V**

Cálculo del flujo de aire.

**ANEXO D****CÁLCULOS DEL SISTEMA DE MOVIMIENTO PARA EL SECADOR CIRCULAR****ANEXO D-I**

Cálculo del eje de transmisión

**ANEXO E****MATERIALES Y EQUIPOS CONSTRUCTIVOS****ANEXO E-I**

Planchas perforadas.

**ANEXO E-II**

Perfil estructural "G".

**ANEXO E-III**

Tubo estructural cuadrado.

**ANEXO E-IV**

Ventilador.

**ANEXO E-V**

Quemador.

**ANEXO E-VI**

Motorreductor.

**ANEXO E-VII**



Catalinas y piñones.

ANEXO E-VIII

Eje de transmisión.

ANEXO F

COSTO DEL SECADOR Y PROTOCOLO DE PRUEBAS

ANEXO F-I

Costo del secador.

ANEXO F-II

Protocolo de pruebas.

ANEXO G

PLANOS

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

$\dot{m}_a$	Flujo de aire a calentar
$\emptyset_s$	Esfericidad
$C_c$	Carga crítica que soporta el material
$C_o$	Capacidad de carga estática
$F_a$	Esfuerzo admisible a compresión
$I_a$	Índice de trabajo del elemento
$Nu_D$	Número de Nusselt
$\dot{Q}$	Rapidez de transferencia de calor, capacidad
$R_h$	Radio hidráulico del secador
$R_c$	Velocidad de secado en el periodo de velocidad constante
$S_{xx}$	Módulo de flexión
$X_0$	Factor radial
$Y_0$	Factor axial
$r_{min}$	Radio de giro mínimo de la sección
$t_s$	Tiempo de secado
$\alpha_r$	Factor de intercambio
$\Delta P$	Caída de presión
$C_p$	Calor específico del aire
E	Módulo de elasticidad del acero
F.S.	Factor de seguridad

$h$	Entalpía, coeficiente de transferencia de calor
$Pr$	Número de Prandtl
$T$	Temperatura
$T$	Torque ejercido por la catalina
$\Phi$	Ángulo de rozamiento
$A$	Área
$C$	Distancia entre centros
$D$	Diámetro
$Fr$	Fuerza de rozamiento
$H$	Altura
$I$	Momento de inercia
$J$	Momento polar de inercia
$K$	Conductividad térmica del material, factor de corrección, coeficiente
$L$	Longitud
$M$	Masa, momento
$N$	Normal
$P$	Presión, carga, potencia
$Q$	Caudal
$R$	Constante universal del aire, reacción
$Re$	Número de Reynolds
$S$	Resistencia, esfuerzo
$V$	Volumen
$W$	Humedad específica
$d$	Diámetro del eje
$e$	Espesor
$f$	Esfuerzo, factor de esfuerzos estáticos
$g$	Gravedad
$k$	Factor, coeficiente, relación de presiones
$l$	Longitud
$m$	Masa
$n$	Factor de seguridad
$p$	Paso de la cadena
$q$	Flujo de calor
$v$	Volumen específico, velocidad

$\alpha$	Porcentaje del aire primario
$\varepsilon$	Fracción de espacios vacíos (Porosidad)
$\lambda$	Relación de esbeltez
$\mu$	Viscosidad, coeficiente de rozamiento
$\rho$	Densidad
$\sigma$	Esfuerzo, constante de Stefan Boltzmann
$\tau$	Esfuerzo
$\omega$	Velocidad angular
$\phi$	Humedad

## RESUMEN

El proyecto de titulación establece el diseño de dos sistemas de secado de maíz para pequeños agricultores del cantón Ventanas provincia de Los Ríos.

El capítulo primero se refiere a las generalidades del grano de maíz duro, se describe criterios de secado y almacenamiento para obtener un producto de calidad. Así mismo, la influencia económica que tiene en el cantón Ventanas, provincia de Los Ríos.

El capítulo segundo establece el estudio teórico del secado, se indican los tipos de secadores para el secado artificial de grano. Se estudia la higroscopicidad para conocer las propiedades del maíz, la psicrometría para conocer el comportamiento del aire, la transferencia de calor que existe en el lecho de granos y parámetros del gas licuado de petróleo (LPG).

El capítulo tercero describe el análisis de campo en el cantón Ventanas provincia de Los Ríos sobre los secadores existentes en esta localidad.

En el capítulo cuarto se realiza el diseño del secador de lecho fijo rectangular y circular, se diseña y selecciona los elementos que conforman los secadores, con el objeto de mejorar el tiempo de secado y consumo de energía. Además se analiza y diseña un sistema de mecánico de paletas agitadoras para el secador circular.

Finalmente en el capítulo quinto se indican las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron del proyecto.

## PRESENTACIÓN

El uso del gas licuado de petróleo en el proceso de secado de granos en la Provincia de Los Ríos especialmente en el cantón Ventanas producía escasez de cilindros de 15 kg, El presidente de la República del Ecuador por medio de un decreto, establece que Austro gas sea el proveedor de dicho combustible mediante la centralización de LPG con tanques de almacenamiento de 2 toneladas métricas. Sin embargo, existe un desperdicio de energía debido a la baja eficiencia del proceso y de los equipos utilizados. Por lo que nace la necesidad de dar un uso más eficiente al combustible, optimizar el tiempo de secado y mejorar la calidad final del grano.

Del resultado del estudio de campo se sabe que los pequeños agricultores asociados en centros de secado, secan el maíz principalmente en dos tipos de secadores de lecho fijo, rectangulares y circulares.

Para solucionar el problema se analizó y diseñó un sistema de secado circular con un sistema de movimiento mediante paletas agitadoras, esto tomando en cuenta el nivel de desarrollo local y las ventajas sociales.

De éste proyecto se prevé una disminución en el tiempo de secado, reducción del consumo de combustible y por consiguiente un ahorro en el costo del secado.

# **CAPÍTULO I**

## **1 GENERALIDADES DEL GRANO DE MAÍZ**

El presente capítulo aborda las generalidades del grano de maíz duro, describiendo su estructura, composición, el uso para el que es destinado, etc. acotando criterios de secado y almacenamiento para obtener un producto de calidad.

También se realiza un recorrido en la influencia económica y social que tiene en el Ecuador, centrándose en la provincia de Los Ríos y específicamente en el cantón Ventanas, viendo además el papel que desempeña como fuente de exportación.

## 1.1 INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays*) mostrado en la figura 1.1, es uno de los cereales cultivados más productivos. Fue el primer cereal a ser sometido a rápidas e importantes transformaciones tecnológicas en su forma de cultivo. El maíz ocupa actualmente la tercera posición entre los cereales más cultivados, después del trigo (*Triticum vulgare*) y el arroz (*Oryza sativa*).

Este cereal es usado sobre todo para alimentación animal (80%), principalmente para el ganado, cerdos, y pollería, el 20% es usado como alimento para los humanos, dónde sus aplicaciones son diversas. El maíz se emplea como mazorca, o en formas procesadas como el aceite, almidón, dulcificante y harina. Tal es su versatilidad que sus derivados también pueden encontrarse en medicamentos como: la aspirina y antibióticos, en los cosméticos y jabones, y en un rango ancho de productos industriales.

Además de los beneficios comerciales, el maíz ofrece también varias ventajas científicas significantes (es una gramínea importante para las investigaciones).



Figura 1.1 Granos de maíz.

**Fuente:** <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maiz.htm>

## 1.2 ESTRUCTURA DEL MAÍZ

Los granos de maíz se desarrollan mediante la acumulación de los productos de la fotosíntesis, la absorción a través de las raíces y el metabolismo de la planta de maíz en la inflorescencia femenina denominada espiga. Esta estructura puede contener diferente número de granos según el número de hileras, el diámetro y longitud de la mazorca. El peso del grano puede variar mucho, de aproximadamente 19 a 30 g por cada 100 granos. Durante la recolección, las panojas de maíz son arrancadas manual o mecánicamente de la planta. Se pelan las brácteas que envuelven la mazorca y luego se separan los granos a mano o, más a menudo, mecánicamente.

El grano de maíz se denomina en botánica cariósipide o cariopsis; cada grano contiene el revestimiento de la semilla, o cubierta seminal, y la semilla, como se ve en la figura 1.2. En la figura se muestran también las cuatro estructuras físicas fundamentales del grano: el pericarpio, cáscara o salvado; el endospermo; el germen o embrión; y la piloriza (tejido inerte en que se unen el grano y el carozo).

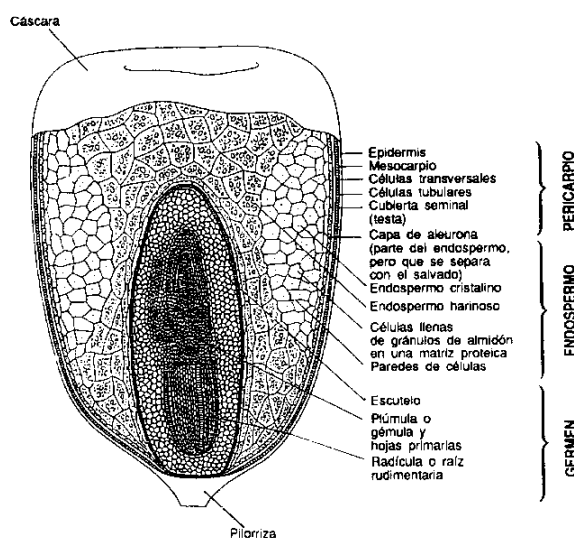


Figura 1.2 Estructura del grano de maíz: corte longitudinal.

Fuente: <http://www.fao.org/docrep/t0395s/t0395s00.htm>

La distribución de las distintas partes del grano se indica en la tabla 1.1. Al endospermo, la parte de mayor tamaño, corresponde cerca del 83 por ciento del peso del grano, en tanto que el germen equivale por término medio al 11 por



ciento y el pericarpio al 5 por ciento. El resto está constituido por la pilorriza, estructura cónica que junto con el pedicelo une el grano a la espiga.

Tabla 1.1 Distribución de las principales partes del grano.

<b>Estructura</b>	<b>Porcentaje de distribución [%]</b>
Pericarpio	5-6
Aleurona	2-3
Endospermo	80-85
Germen	10-12

Fuente: <http://www.fao.org/docrep/t0395s/t0395s00.htm>

### 1.3 COMPOSICIÓN DEL GRANO DE MAÍZ

La composición de un grano de maíz seco es importante ya que estos granos poseen sustancias alimenticias como proteínas, grasas, etc., la composición alimenticia del grano de maíz es: <sup>1</sup>

- 13% de humedad.
- 87% de materia seca; de la cual:

Tabla 1.2 Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz (%).

<b>Componente químico</b>	<b>Pericarpio</b>	<b>Endospermo</b>	<b>Germen</b>
Proteínas	3,7	8,0	18,4
Extracto etéreo	1,0	0,8	33,2
Fibra cruda	86,7	2,7	8,8
Cenizas	0,8	0,3	10,5
Almidón	7,3	87,6	8,3
Azúcar	0,34	0,62	10,8

Fuente: <http://www.fao.org/docrep/t0395s/t0395s00.htm>

Las partes principales del grano de maíz difieren considerablemente en su composición química, como se observa en la tabla 1.2. La cubierta seminal o pericarpio se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda,

<sup>1</sup><http://www.monografias.com/trabajos45/conservación-semillas-maiz/conservacion-semillas-maiz.shtml>

aproximadamente el 87 por ciento, la que a su vez está formada fundamentalmente por hemicelulosa (67 por ciento), celulosa (23 por ciento) y lignina (0,1 por ciento). El endospermo, en cambio, contiene un nivel elevado de almidón (87 por ciento), aproximadamente 8 por ciento de proteínas y un contenido de grasas crudas relativamente bajo.

Por último, el germen se caracteriza por un elevado contenido de grasas crudas, el 33 por ciento por término medio, y contiene también un nivel relativamente elevado de proteínas (próximo al 20 por ciento) y minerales.

## **1.4 SECADO DEL MAÍZ**

Normalmente el maíz se recoge del campo con un contenido de 20-25% de humedad, el cual es alto para un almacenamiento correcto.

Para reducir la humedad del grano se puede usar el secado natural solar o el secado artificial. En cualquiera de ambos casos es imprescindible saber en que momento se debe detener el secado.

En todo proceso de secado debe evitarse que éste se produzca demasiado rápido, que supere los niveles adecuados y que el movimiento de los granos sea excesivo, lo que podría causar que la cubierta de la semilla se rompa o se dañe. Un secado en exceso podría quebrar el grano y dañar la cubierta de la semilla, blanqueándola, tostándola, decolorándola, haciéndole perder su poder germinativo y produciendo cambios en su valor nutritivo. En granos con un alto contenido de humedad, el secado acelerado ocasiona su endurecimiento, y la superficie del grano atrapa la humedad en sus capas interiores (FAO, 1970).

El secado del grano ayuda a prevenir la germinación de las semillas y el crecimiento de bacterias y hongos, y retarda considerablemente el desarrollo de ácaros e insectos, las semillas de este cereal son atacadas durante el almacenamiento, si no poseen un porcentaje de humedad adecuado, por estos provocando daños en la calidad del grano utilizado tanto para la siembra como la destinada para el consumo humano.

Cuando la humedad del grano se encuentra entre 45 y 60% puede tener lugar el proceso de germinación. Por debajo de 45% y entre 18 y 20%, la respiración de los granos y de los microorganismos es extremadamente alta y el calentamiento puede alcanzar temperaturas lo suficientemente elevadas como para matar el germen. Cuando la humedad del grano se encuentra entre 14 y 20%, pueden crecer mohos y la infección es más severa en granos rajados o rotos. Los granos con menos de 14% de humedad no proporcionan un ambiente favorable para la reproducción y el desarrollo de los insectos de los granos almacenados.

La semilla y el grano deben ser llevados a un nivel de contenido de humedad que garantice un almacenamiento seguro. Esto puede ser hecho por los agricultores en sus propias fincas usando procesos de secado tradicional, rústicos, más o menos económicos, o puede ser hecho con la ayuda de secadores mecánicos, con un mayor costo, pero con la posibilidad de obtener un producto de mejor calidad.

El secado artificial se desarrolla por medio del uso de aire a temperatura ambiente y de métodos mecánicos que permiten que éste circule a través del grano, o de aire calentado por encima de ese nivel con el auxilio o no de medios mecánicos. Los métodos artificiales incluyen el uso de calentadores que actúan directa o indirectamente sobre el grano, con o sin ventilación.

## **1.5 ALMACENAMIENTO DEL MAÍZ**

La conservación eficaz del maíz, al igual que la de otros cereales y leguminosas alimenticias, se basa esencialmente en las condiciones ecológicas reinantes durante el almacenamiento, en las características físicas, químicas y biológicas del grano, en la duración del almacenamiento, y, por último, en el tipo y características funcionales del local de almacenamiento.

Los factores de importancia que influyen al respecto son de dos clases: en primer lugar, los de origen biótico, que comprenden todos los elementos o agentes vivos que encontrándose en condiciones favorables para su desarrollo utilizarán el

grano como fuente de elementos de nutrición y con ello ocasionarán su deterioro. Se trata fundamentalmente de insectos, microorganismos, roedores y aves. En segundo lugar están los factores no bióticos, que comprenden la humedad relativa, la temperatura y el tiempo transcurrido. Las características físicas y bioquímicas del grano influyen en los efectos de dichos factores bióticos y no bióticos. La baja conductividad térmica del grano, su capacidad de absorción de agua, su estructura, su composición química, su ritmo de respiración y calentamiento, la textura y consistencia del pericarpio y el método y condiciones del secado influyen en los cambios que tienen lugar durante el almacenamiento.

Christensen (1967) midió algunos cambios ocurridos en el maíz almacenado durante dos años con contenidos de humedad de 14,5 y 15,2 por ciento y a temperaturas de 12, 20 y 25°C. Los cambios se evaluaron en lo tocante al aspecto, la invasión de hongos, el porcentaje de germinación y el valor final de acidez lipídica. Las muestras almacenadas a 25°C se deterioraron rápidamente en ambos niveles de contenido de humedad. Las características las muestras con un contenido de humedad del 15,2 por ciento se vieron alteradas ligeramente al cabo de seis meses a 12°C, pero fueron considerablemente alteradas una vez transcurridos dos años. El maíz almacenado con un contenido de humedad del 14,5 por ciento mantuvo su condición originaria al ser guardado a 12°C durante el período de dos años, y sólo cambió levemente al cabo de año y medio a 20°C. Se observó una gran variabilidad de la interacción insectos-hongos; en algunas regiones en que se cultiva maíz los insectos han producido graves daños en las mazorcas en fase de maduración, mientras que en otras zonas en las que los insectos habían ocasionado daños similares hubo una aparición relativamente difundida de aflatoxinas en los granos en el momento de la recolección.

Christensen y Sauer (1982) analizaron las consecuencias de la invasión de hongos en los granos de cereales, encontrando que éstos reducen la calidad y clase de los granos a través de la pérdida de materia seca, decoloración, calentamiento, formación de pulpa y contaminación por micotoxinas.

El grano almacenado no puede exceder cierto nivel de humedad en su interior. El nivel de humedad depende en gran medida de las condiciones locales. El grado de humedad en el grano puede mantenerse estable durante su almacenado dependiendo de las condiciones bajo las cuales se encuentra. Para mantener el almacenamiento se han establecido que los granos deben encontrarse en un contenido de humedad mostrado en la tabla 1.3.

Tabla 1.3 Contenido máximo de humedad para un almacenamiento de un año (o menos) a humedad relativa del 70% y a una temperatura de 27 °C.

<b>Tipo de grano</b>	<b>Contenido máximo de humedad</b>
Trigo	13,5
Maíz	13,5
Arroz en cáscara	15
Arroz pilado	13
Sorjo	13,5
Mijo	16
Frejoles	15
Garbanzos	15

**Fuente:** FAO, Arias C., Manual de Manejo Poscosecha de Granos a Nivel Rural, Santiago, Chile, 1993, pág. 184.

## **1.6 USOS DEL MAÍZ**

El maíz por tradición ha sido un producto con fines forrajeros, sin embargo tiene muchos usos y sus productos secundarios son más numerosos aún. De los granos de maíz se hace harina y ésta se consume principalmente en forma de tortillas, tamales, pinole (tostado y pulverizado), etc.

La bebida indígena en los Andes, y fuera de ellos, es la chicha, bebida espirituosa semejante a la cerveza que se elabora con maíz fermentado.

El almidón calentado y pulverizado se convierte en dextrina. En esta forma se emplea para preparar pastas adherentes y mucílagos, como el de los sellos de correo y de las solapas de los sobres.

Por sus características de alta eficiencia de conversión de recursos y alta producción por hectárea, el cultivo de maíz es probablemente uno de los más

aptos para la producción de almidón y en consecuencia de sus derivados como etanol, plásticos, etc. La producción de almidón va de la mano de los híbridos actuales de alto potencial de rendimiento, ya que el almidón del endospermo constituye la mayor proporción en peso del grano y porque, en general, los mayores rendimientos se han conseguido en base a un incremento del contenido de almidón y a una disminución de los contenidos de aceite y proteínas en el grano. La producción de almidón de maíz ofrece un gran potencial de aplicaciones en la industria y un número creciente de subproductos. En cuanto a sus derivados se destaca su uso como fuente de combustible (etanol). Esta aplicación está creciendo en EE.UU. donde su empleo en mezclas con naftas permite lograr un combustible más limpio y renovable. Otro ejemplo de producto derivado del almidón de maíz es el jarabe de alta fructosa, de parte de este jarabe se obtiene azúcar de maíz o glucosa, empleado como endulzante de bebidas gaseosas.

De los granos germinados se separan los gérmenes, los cuales se secan, trituran y se extrae de ellos, por presión, aceite de maíz. El aceite de maíz es más rico en ácidos grasos oleico y linoleico que contribuyen a una mejor salud alimentaria además de permitir una mejor estabilidad frente a la cocción, dicho aceite se utiliza como alimento y también en la fabricación de los barnices, pinturas, cauchos artificiales, y jabones. El residuo sirve aún como forraje.

Es importante destacar que, además de las aplicaciones ya señaladas, hay otras áreas de interés para la utilización industrial de maíz como es el empleo del almidón en industrias de plastificados, resinas, adhesivos, lacas, saborizantes, fluido de frenos, plásticos biodegradables, dextrina y dextrosa (para alimentación y uso en drogas farmacéuticas). Se han desarrollado nuevos polímeros a partir de almidón de maíz. GoodYear y Dupont tienen patentes sobre polímeros de uso en neumáticos que reemplazan al poliéster y nylon respectivamente.

## **1.7 EL MAÍZ EN EL ECUADOR**

### **1.7.1 INFLUENCIA ECONÓMICA Y SOCIAL DEL MAÍZ EN EL ECUADOR**

En condiciones normales, la superficie anual dedicada al cultivo de maíz duro en el país es de 350 mil ha., de las cuales 230 mil ha. se siembran en el ciclo de invierno y 120 mil ha. en verano. Las principales provincias maiceras son la siguientes: el 35% del área maicera se siembra en Manabí, un 27% en Los Ríos y un 23% en Guayas.<sup>2</sup> La mayor parte del área sembrada utilizan el 70 u 80% de mano de obra durante la labor del cultivo, lo que da una gran importancia económica y social para esas provincias ya que utilizan gran cantidad de gente generando empleo.

Este cultivo ha sido tradicional en el desarrollo de nuestra agricultura, constituyendo un alimento básico en la alimentación humana, del ganado y de las aves. En la parte que se relaciona a las industrias existe gran adquisición de grano de maíz con el que fabrican alimento balanceado, destinado en un 80% para la industria avícola, el 15% para el camarón, mientras que el restante 5% se destina para ganadería bovina, ovina y otros animales.<sup>3</sup> En nuestro país la creciente demanda de ésta gramínea ya sea para el consumo directo en la alimentación humana o para suministrar alimento a otros sectores de la producción, para la industria en general o para su exportación, hace evidente la necesidad de manejar a éste cultivo en forma adecuada para lograr una mayor producción y una eficiente comercialización.

La producción nacional de ésta gramínea varía debido a diferentes factores. En nuestro país, el rendimiento estimado por hectárea es de 3.7 t para el nivel tecnificado, encontrándose por debajo de los internacionales comparados con el de los Estados Unidos que es de 7.9 t por hectárea y Argentina 5 t por hectárea.<sup>4</sup> Esto a pesar de que nuestro país por encontrarse en una ubicación geográfica

---

<sup>2</sup> [www.sica.gov.ec](http://www.sica.gov.ec)

<sup>3</sup> [www.sica.gov.ec/agrocadenas/maiz.html](http://www.sica.gov.ec/agrocadenas/maiz.html)

<sup>4</sup> [www.sica.gov.ec](http://www.sica.gov.ec)

estratégica en el planeta cuenta con regiones de excepcionales características climáticas que le permiten desarrollar una amplia diversidad de cultivos tanto tradicionales como no tradicionales. Los rendimientos más altos se obtienen en Los Ríos 3.7 t/ha, seguidos por los de Guayas 3 t/ha y Manabí con los más bajos 2 t/ha.<sup>5</sup>

Entre los factores que limitan el alcance de los niveles de producción para que cumplan con las expectativas del mercado local e internacional, tenemos: la falta de asistencia técnica y transferencia de tecnología, fallas en el sistema de comercialización y la escasez de líneas de crédito sobre todo para los pequeños y medianos productores, que son las que a la final se convierten en barreras que impiden un normal desarrollo dentro de esta actividad, produciéndose de ésta manera un estancamiento en el incremento de los ingresos de los productores maiceros y de divisas para el país.

La provincia de Los Ríos se destaca como una de las principales productoras de maíz amarillo en el Ecuador. Con un alto componente de participación de pequeños productores, pero con el 80% del área sembrada a manos de medianos propietarios, la actividad maicera se desenvuelve principalmente en los cantones centrales de Palenque, Ventanas, Mocache y Vinces (Ibíd.).<sup>6</sup>

### **1.7.2 CULTIVO DE MAÍZ AMARILLO DURO EN EL ECUADOR**

El maíz amarillo duro es un cultivo de carácter extensivo que se siembra en casi todas las provincias, especialmente en la Costa. Para las Unidades de Producción Agrícolas este producto representa la principal fuente de ingresos. Además es la materia prima más utilizada por la industria fabricante de balanceado.

Las principales provincias en donde se realiza el cultivo de ésta gramínea son Manabí, Los Ríos, Guayas y Loja, como se muestra en la figura 1.3.

---

<sup>5</sup> [www.sica.gov.ec](http://www.sica.gov.ec)

<sup>6</sup> <http://www.cidap.org.ec/aplicaciones/publicaciones/archivos/los%20rios.pdf>



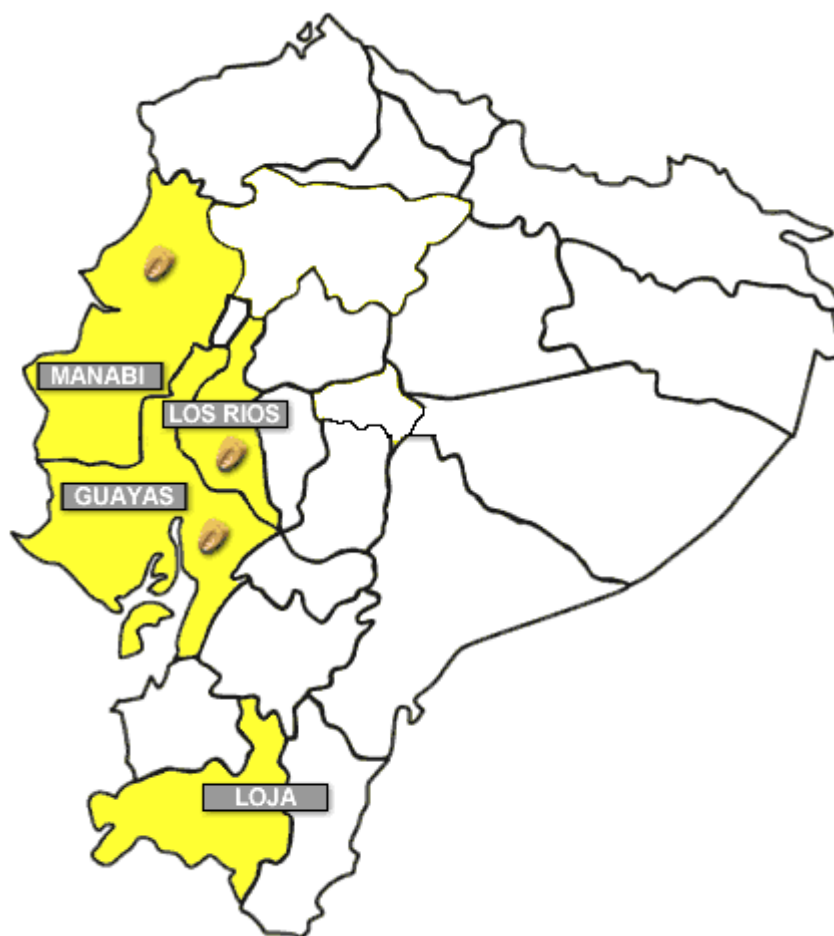


Figura 1.3 Ecuador: Principales provincias en las que se cultiva maíz amarillo duro.

**Fuente:** [http://www.sica.gov.ec/cadenas/maiz/docs/mapa\\_maicero\\_ecuador.htm](http://www.sica.gov.ec/cadenas/maiz/docs/mapa_maicero_ecuador.htm)

Las hectáreas cultivadas de maíz amarillo duro en las principales provincias del Ecuador se describen en la tabla 1.4.

Tabla 1.4 Superficie cultivada en principales provincias del Ecuador (Datos al 2008).

Provincias	Superficie sembrada (ha)
Guayas	46.447
Los Ríos	94.353
Manabí	67.391
Loja	10.000
<b>Total</b>	<b>218.191</b>

**Fuente:** MAG 2008.

### 1.7.3 PRODUCCIÓN DE MAÍZ AMARILLO DURO EN EL ECUADOR

La producción nacional del ciclo de invierno y del ciclo de verano en toneladas métricas se especifica en la tabla 1.5.

Tabla 1.5 Producción nacional de maíz amarillo duro (Año 2008).

<b>Producción nacional</b>	<b>(t)</b>
Invierno	608.817
Verano	31.183
<b>Total</b>	<b>640.000</b>

**Fuente:** MAG 2008.

En el Ecuador las provincias que tienen mayor aportación en la producción de maíz amarillo duro son Manabí, Los Ríos y Guayas tal como se observa en la tabla 1.6.

Tabla 1.6 Porcentaje provincial en la producción total de maíz amarillo duro en el Ecuador.

<b>Provincia</b>	<b>Porcentaje de producción de maíz</b>
Guayas	21 %
Los Ríos	33 %
Manabí	22 %
Loja	8 %
Pichincha	1 %
Imbabura	1 %
Otras Provincias	14 %
<b>Total</b>	<b>100 %</b>

**Fuente:** [http://www.sica.gov.ec/cadenas/maiz/docs/mapa\\_maicero\\_ecuador.htm](http://www.sica.gov.ec/cadenas/maiz/docs/mapa_maicero_ecuador.htm)

### 1.7.4 CULTIVO DE MAÍZ AMARILLO DURO EN LA PROVINCIA DE LOS RÍOS

La provincia de Los Ríos es una de las provincias más importantes en el cultivo de maíz amarillo duro. Los cantones centrales de la provincia de Los Ríos fueron los que registraron la mayor cantidad de superficie cosechada de maíz de todo el

Ecuador, ellos son en su orden: Palenque, Ventanas, Mocache y Vinces, que son los cantones que registran una superficie cultivada de maíz superior a las 10.000 hectáreas cada uno, tal como se observa en la figura 1.4.

La cosecha del ciclo de invierno es realizada entre los meses de abril y julio y la cosecha del ciclo de verano es realizada entre los meses de septiembre y octubre.

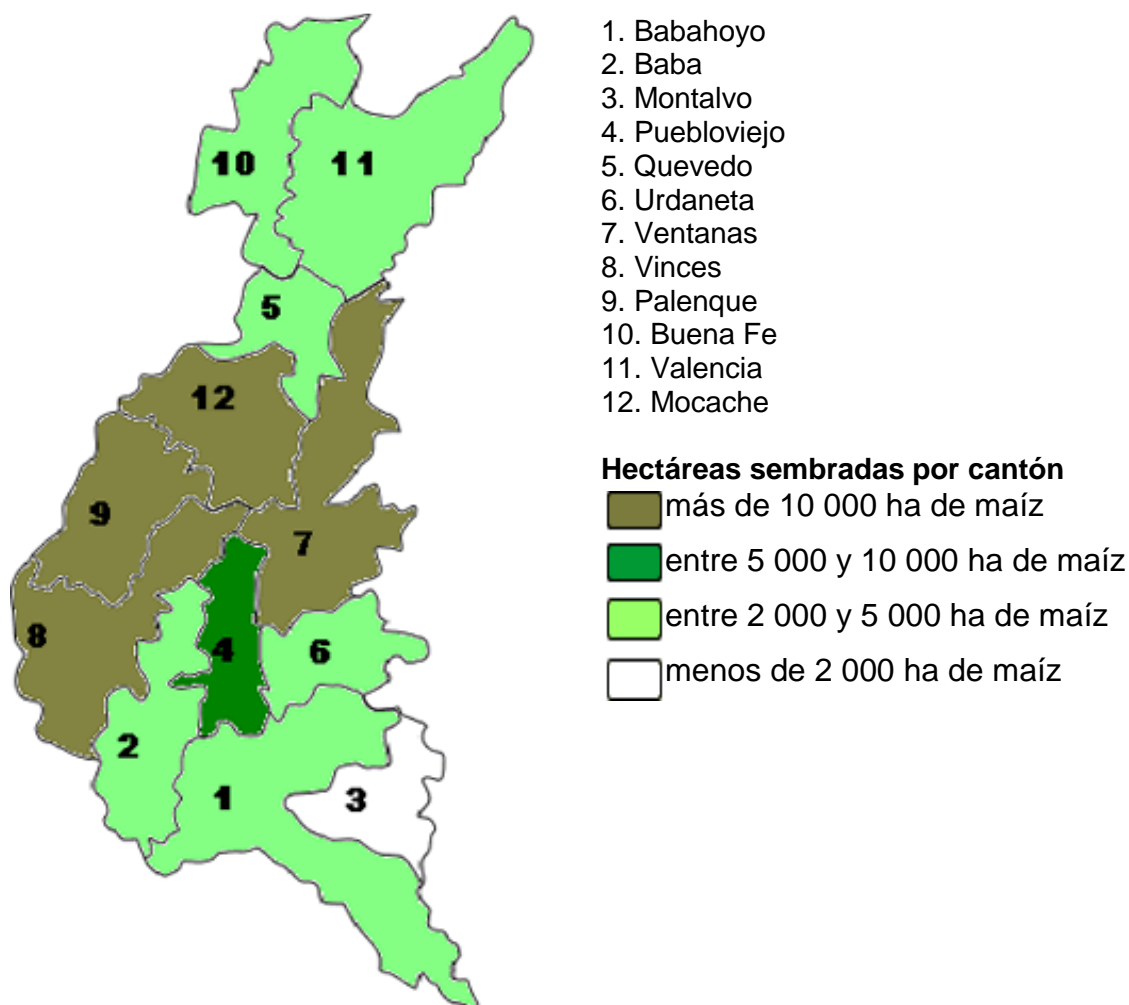


Figura 1.4 Los Ríos: Mapa provincial del cultivo maíz amarillo duro.

Fuente: [http://www.sica.gov.ec/cadenas/maiz/docs/mapa\\_los\\_rios.htm](http://www.sica.gov.ec/cadenas/maiz/docs/mapa_los_rios.htm)

En la tabla 1.7 se especifica cual es la superficie sembrada en ciertos cantones de la provincia de Los Ríos.

Tabla 1.7 Los Ríos: Estadísticas cantonales del cultivo maíz amarillo duro (Año 2008).

<b>Cantón</b>	<b>Superficie sembrada (ha)</b>
Baba	1.800
Pueblo viejo	6.500
Quevedo	5.130
Ventanas	31.428
Vinces	8.000
Palenque	21.000
Mocache	12.000
Buena fe	3.335
Valencia	3.960
Urdaneta	1.200
<b>TOTAL</b>	<b>94.353</b>

Fuente: MAG 2008.

### 1.7.5 PRODUCCIÓN DE MAÍZ AMARILLO DURO EN LA PROVINCIA DE LOS RÍOS

La aportación de los cantones de la provincia de Los Ríos en la producción de maíz se indica en la tabla 1.8.

Tabla 1.8 Los Ríos: Producción de maíz amarillo duro (Año 2008).

<b>Cantón</b>	<b>Producción estimada (t)</b>
Baba	4.927
Pueblo viejo	16.521
Quevedo	23.269
Ventanas	85.533
Vinces	21.898
Palenque	57.153
Mocache	32.659
Buena fe	15.127
Valencia	17.962
Urdaneta	3.266
<b>TOTAL</b>	<b>278.316</b>

Fuente: MAG 2008.

### **1.7.6 FUENTE DE EXPORTACIÓN**

El principal destino de venta de la producción del maíz duro a nivel internacional es Colombia. El maíz amarillo ecuatoriano es especialmente atractivo para las industrias de consumo humano en Colombia por varias razones: su calidad y frescura, su rendimiento industrial y disponibilidad cercana.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> [www.sica.gov.ec/agrocadenas/maiz.html](http://www.sica.gov.ec/agrocadenas/maiz.html)

## **CAPÍTULO II**

### **2 EL SECADO DE GRANOS**

El capítulo establece el estudio teórico del secado, enunciando los métodos de secado para las gramíneas, en donde se establecen los parámetros principales que influyen en este proceso.

Se indaga, describe y representa los tipos de secadores más importantes que se utilizan y se comercializan para el secado artificial de granos, poniendo énfasis en el secador de lecho fijo, detallando los elementos principales que constituyen este secador y exponiendo además datos y criterios básicos para el diseño de los mismos.

Se define la higroscopicidad, importante para el conocimiento de las diferentes humedades de los granos y para la utilización en posteriores ecuaciones, se realiza un estudio imprescindible de la psicrometría en donde se describe cada una de las propiedades termodinámicas fundamentales, necesario para entender el comportamiento del aire en el proceso de secado, así mismo, se proporciona la teoría para conocer la transferencia de calor que existe en el lecho de granos.

Finalmente se determinan los parámetros de comportamiento del LPG, combustible principal utilizado en este proyecto.

## 2.1 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DEL SECADO

El secado de granos consiste en separar cantidades pequeñas de agua con el fin de reducir el contenido de agua residual hasta un valor aceptable. El contenido de agua de una gramínea seca varía de un tipo a otro. Cuando un producto no contiene agua se denomina totalmente seco; pero lo más común es que el grano contenga algo de agua.

Los granos que se secan presentan diferentes formas y poseen propiedades diferentes. El agua que ha de vaporizarse puede estar sobre la superficie del sólido, completamente en el interior del sólido, o parte en el exterior y parte en el interior.

El secado es una operación importante, entre algunas razones por las que se lo aplica se encuentran las siguientes:

- Facilitar el manejo posterior del producto.
- Permitir el empleo satisfactorio del mismo.
- Preservar los productos durante el almacenamiento y transporte.

Todas las semillas constituyen un material vivo higroscópico con una estructura completa y heterogénea, de la que el agua es parte fundamental. Dado que la semilla es higroscópica, su contenido de humedad depende de la temperatura y la humedad relativas del aire. El factor determinante de esta relación es la presión de vapor húmedo que existe en la semilla y en el aire que la rodea. Siempre que la presión del vapor dentro de la semilla sea superior a la del aire circundante, el vapor saldrá de la semilla. Si el gradiente de la presión de vapor se invierte, también se invertirá el movimiento de la humedad, es decir, entrará en la semilla. Cuando las dos presiones de vapor son iguales, no hay movimiento neto de vapor, y en ese punto el contenido de humedad de la semilla se halla en estado de equilibrio con la atmósfera circundante.

La semilla de los cereales alcanza su maduración fisiológica y funcional cuando su contenido de humedad oscila entre 35 y 45 por ciento, según el cultivo. En esta fase del desarrollo la semilla ha llegado a su máxima facultad germinativa y vigor.

Por consiguiente, cuanto antes se coseche la semilla después de estar madura, mejor será la calidad de la semilla, suponiendo que ésta pueda secarse eficazmente para un seguro almacenamiento con contenido de humedad que oscile entre 10 y 14 por ciento. Además de las pérdidas de poder germinativo y de vigor, la prolongación de la exposición en el campo antes de la cosecha, una vez alcanzada su maduración fisiológica, suele tener por resultado pérdidas de rendimiento, como consecuencia del encamado, el desgrane, las enfermedades y los daños ocasionados por los insectos.

La recolección de la semilla con elevado contenido de humedad; por ejemplo 30 a 35 por ciento en el maíz plantea problemas inmediatos y graves, ya que con esos niveles de humedad la semilla se calentará y se deteriorará rápidamente. El contenido de humedad de la semilla durante el almacenamiento es el factor que influye de manera más importante en la pérdida de vigor, el desarrollo de hongos puede comenzar cuando el grano contiene una humedad de entre 12 a 14 por ciento, el calentamiento debido a mayores tasas de respiración y actividad de los microorganismos comienza con el 16 por ciento, y la semilla empezará a germinar con un contenido de humedad de 35 a 60 por ciento. La enorme influencia que ejerce el contenido de humedad sobre la longevidad de la semilla hace que el secado artificial sea casi obligatorio en la producción de semilla de alta calidad.

## **2.2 MÉTODOS DE SECADO**

Para el secado de gramíneas existen dos métodos que pueden ser utilizados y se los clasifica como sigue:

### **2.2.1 SECADO SOLAR O NATURAL**

El producto se deja expuesto a las corrientes de aire y a la temperatura del medio ambiente, esto se lo puede realizar en la planta o en patios de concreto. Esto se realiza una vez que el producto a secar ha alcanzado la madurez fisiológica.



Las ventajas de este proceso es que no se tienen gastos en combustibles para calentamiento del aire y también que se puede trabajar con cantidades considerables de grano dependiendo de la infraestructura.

Varias de las desventajas de este proceso son que no se puede utilizar durante todo el año debido al cambio climático que sufren las regiones, el producto también puede sufrir daño por plagas e insectos y además la lluvia puede causar que el secado se realice heterogéneamente.

### **2.2.2 SECADO ARTIFICIAL**

Para que se puedan aumentar las producciones agrícolas es necesario secar los productos en plazos relativamente cortos, y cualesquiera que sean las condiciones ambientales. Por consiguiente, hay que recurrir al secado artificial.

Mediante el funcionamiento de un ventilador se hace circular el aire de secado hacia el lecho de granos que se encuentra en una cámara denominada de secado. En el proceso de calentamiento del aire se puede utilizar varios tipos de combustibles, esto se determinará de acuerdo a los requerimientos existentes.

### **2.3 PARÁMETROS DEL SECADO ARTIFICIAL<sup>8</sup>**

Los parámetros que influyen en la tasa de secado, cuando se secan granos con aire forzado, son: la temperatura y la humedad relativa ambiente, la temperatura y el flujo de aire de secado, el contenido de humedad inicial y de equilibrio de los granos, la temperatura y, dado el caso, el movimiento de granos dentro del secador. El tipo de grano y las condiciones en la fase de campo también pueden influir en su tasa de secado.

Los parámetros de secado citados no son independientes. Esto quiere decir que influyen en la tasa de secado como un conjunto de factores y no aisladamente. El manejo adecuado de dichos parámetros permite determinar el equipamiento apropiado para las condiciones específicas de secado.

---

<sup>8</sup> <http://www.fao.org/docrep/x5059S/x5059S02.htm>

### 2.3.1 CONDICIONES DEL AIRE AMBIENTE

La temperatura y humedad relativa del aire ambiente tienen poca influencia en la tasa de secado pero determinan la cantidad de energía que se debe utilizar en el proceso de secado. Por tanto cuando la temperatura ambiente es baja la cantidad de energía necesaria será mayor y por ende el costo de secado.

### 2.3.2 TEMPERATURA DE SECADO

El parámetro de mayor flexibilidad que influye significativamente en la tasa y eficiencia de secado y en la calidad del producto final. Un aumento de la temperatura significa un menor consumo de energía por unidad de agua evaporada y una mayor tasa de secado. Pero, temperaturas muy elevadas pueden causar daños al grano. La temperatura de secado, junto con los flujos de aire y de granos, determina la cantidad de agua evaporada en un secador. Ha quedado perfectamente establecido que las temperaturas del aire de secado superiores a 60°C son perjudiciales para la calidad de la semilla.<sup>9</sup> La tabla 2.1 muestra la temperatura de secado de varias gramíneas.

Tabla 2.1 Temperatura máxima del aire en contacto con el producto.

Producto	Uso final	Temperatura Máx. (°C)
Maíz	Semilla	40
	Consumo	60
Arroz con cáscara	Semilla	45
	Consumo	50
Frijol	Semilla	40
	Consumo	45
Café	Comercio	50
Soja	Semilla	40
	Consumo	60
Cacahuete con cáscara	Semilla	30
	Consumo	35
Sorgo	Semilla	40
	Consumo	60

**Fuente:** FAO, Arias C., Manual de Manejo Poscosecha de Granos a Nivel Rural, Santiago, Chile, 1993, pág. 159.

<sup>9</sup> [www.los-seibos.com/teoria/processem.pdf](http://www.los-seibos.com/teoria/processem.pdf)

### 2.3.3 PRESIÓN ESTÁTICA Y FLUJO DE AIRE

La pérdida de carga de un flujo de aire a través de una capa de granos, conocida generalmente como resistencia al flujo de aire y denominada presión estática, influye en el flujo de aire y, en consecuencia, en la tasa de secado. Para determinado tamaño de ventilador, cuanto menor sea el espesor de la capa de granos y menor la cantidad de impurezas en ella, mayor será el flujo de aire y también la tasa de secado.

El flujo de aire que se utiliza para el secado de granos en los secadores de lecho fijo varía entre 400 y 5 000 m<sup>3</sup>/min, de acuerdo al tamaño de la máquina y a la potencia de los ventiladores.<sup>10</sup>

La presión que el ventilador suministra al aire se debe calcular considerando que el producto presenta mayor resistencia al paso del aire.

### 2.3.4 VELOCIDAD DE SECADO

Se entiende por velocidad de secado a la velocidad con que el aire de secado pasa a través de los granos, también se la enuncia como los puntos de humedad que se extraen en una unidad de tiempo generalmente una hora. En el caso del maíz no conviene extraer más de 5 puntos de humedad/hora.

La velocidad de secado es también dependiente del tipo de grano, algunos granos como las semillas pequeñas se secan con mayor facilidad, debido a que pierden su humedad con mayor rapidez que las de mayor tamaño. Se ha observado que el maíz, por ejemplo, necesita más tiempo para secarse que el trigo. La velocidad de secado recomendada para granos es de 0,25 a 2,5 m/s.<sup>11</sup>

---

<sup>10</sup>[http://www.fastonline.org/CD3WD\\_40/INPHO/VLIBRARY/X0028S/ES/X0028S06.HTM#5.%20RE%20CUPERACI&OACUTE;N%20DE%20CALOR](http://www.fastonline.org/CD3WD_40/INPHO/VLIBRARY/X0028S/ES/X0028S06.HTM#5.%20RE%20CUPERACI&OACUTE;N%20DE%20CALOR)

<sup>11</sup> GUACHAMÍN C., Diseño de un secador de cacao fino, Proyecto previa a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, Escuela Politécnica Nacional, 2007, pág. 63.

### **2.3.5 HUMEDAD INICIAL DEL PRODUCTO**

El contenido de humedad inicial también influye en la tasa de secado. Cuanto más elevado sea el contenido de humedad de un producto, mayor será la cantidad de agua evaporada por unidad de energía. Con elevados contenidos de humedad, las fuerzas de adsorción de la estructura celular del material sobre las moléculas de agua, son menores que cuando el contenido de humedad del producto es más bajo. En consecuencia, se utiliza un mayor porcentaje de energía disponible para evaporar la humedad contenida en los granos más secos.

### **2.3.6 ALTURA DEL LECHO DE GRANOS**

La altura de la capa de granos a secarse en los equipos de lecho fijo tipo rectangular debe estar entre 0.40 y 0.60 metros,<sup>12</sup> si se secan con una altura superior se puede presentar problemas por falta de uniformidad de secado. Para evitar este problema se recomienda revolver los granos, de modo que al final del proceso su contenido de humedad sea uniforme.

## **2.4 TIPOS DE SECADORES**

Los secadores pueden tener diferentes tipos de clasificaciones, lo más importante es que a la hora de la selección se debe considerar el rendimiento y la economía de cada uno de ellos.

### **2.4.1 DE ACUERDO AL MÉTODO DE OPERACIÓN**

Se pueden clasificar en secadores continuos y discontinuos.

---

<sup>12</sup> FAO, Arias C., Manual de Manejo Poscosecha de Granos a Nivel Rural, Santiago, Chile, 1993, pág. 137.

#### **2.4.1.1 Secadores continuos**

Secan en menor tiempo grandes cantidades de producto de forma continua.

#### **2.4.1.2 Secadores discontinuos**

Se usan para el secado en pequeña y mediana escala, el grano permanece en una cámara hasta que sea secado.

### **2.4.2 EQUIPOS DE SECADO**

En este espacio se cita un número reducido de secadores de los muchos tipos comerciales que existen.

#### **2.4.2.1 Secadores de platos perforados**

En la figura 2.1 se ilustra un secador discontinuo de platos preformados. Constan de una cámara rectangular de chapa metálica que contiene dos carretones para soportar los bastidores. Cada bastidor lleva varios platos perforados poco profundos.

Placas deflectoras distribuyen el aire de manera uniforme sobre los platos. Una parte del aire húmedo se expulsa de forma continua a través del conducto de descarga.

Este tipo de secadores resultan convenientes cuando la producción es pequeña. Se puede secar casi cualquier grano, pero es necesario mano de obra que manipule los bastidores con las placas para el ingreso y salida de producto.

Son más utilizados en el secado de materiales como colorantes y productos farmacéuticos.

El secado por circulación de aire sobre capas estacionarias de sólidos es lento, con ciclos de secado de 3 a 48 horas por carga.

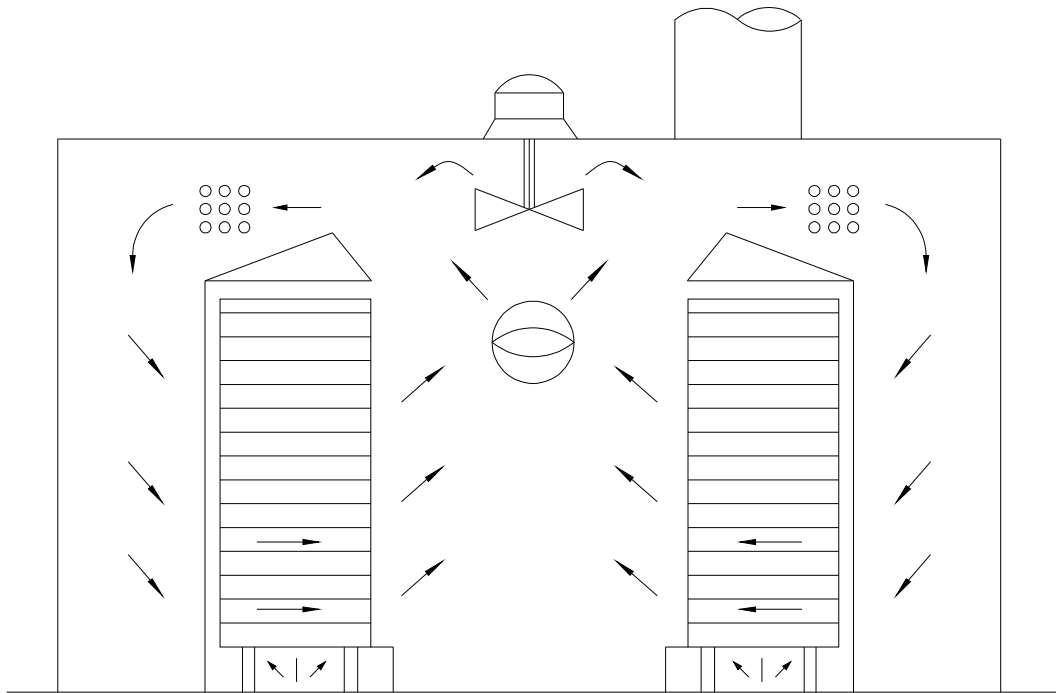


Figura 2.1 Secador de platos perforados.

**Fuente:** McCabe W., Operaciones unitarias en Ingeniería Química, 7ma. Edición, McGraw-Hill, México, 2007, pág. 854.

#### 2.4.2.2 Secadores de tamices transportadores

Un secador típico de tamiz transportador con circulación a través de sólidos es representado en la figura 2.2.

Una capa de granos a secar se transporta lentamente sobre un tamiz metálico que se mueve a través de una cámara o túnel de secado.

La cámara está provista de varias secciones separadas, cada una tiene su ventilador y calentador.

Las dimensiones típicas de los secadores de tamiz transportador son de 2 m de ancho y de 4 a 50 m de largo, dando tiempos de secado de 5 a 120 minutos.

El tamaño mínimo del tamiz es de 30 mallas. Materiales gruesos, escamosos o fibrosos se pueden secar con circulación a través de sólidos sin ningún pretratamiento y sin pérdidas de material.

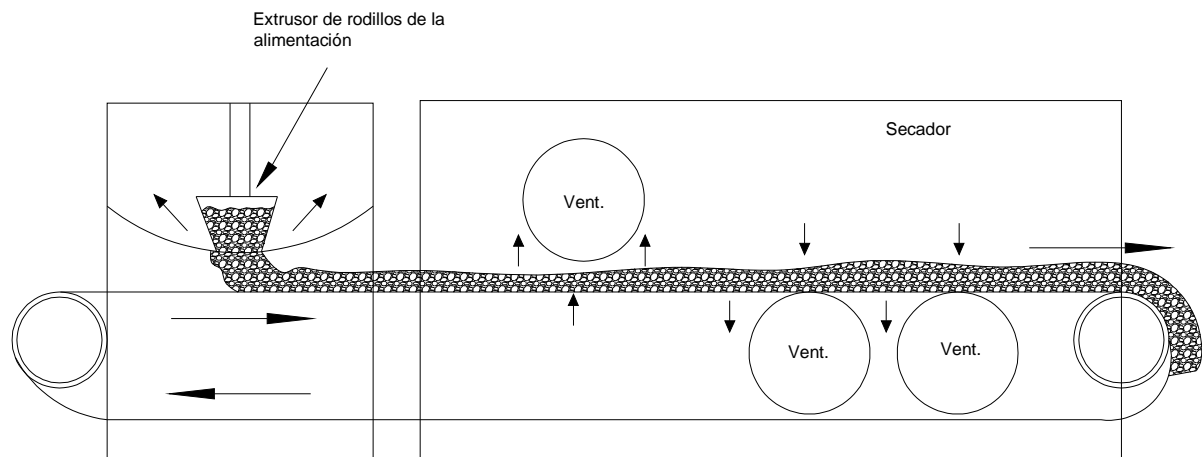


Figura 2.2 Recorrido del lecho permeable en un secador con circulación a través de sólidos de 3 unidades.

**Fuente:** McCabe W., Operaciones unitarias en Ingeniería Química, 7ma. Edición, McGraw-Hill, México, 2007, pág. 855.

### 2.4.2.3 Torres de secado

Este tipo contiene una serie de bandejas circulares montadas una sobre otra con un eje central rotatorio.

La carga sobre la bandeja superior se expone a la corriente de aire caliente que pasa a lo largo de la bandeja. Luego el grano cae a la bandeja de abajo, de esta forma se traslada a través del equipo, y por último es depositado en el recipiente recolector en la base.

El flujo del aire puede ser paralelo o a contracorriente. El turbosecador que se representa en la figura 2.3, es una torre de secado con recirculación interna del gas caliente. Las velocidades del aire son generalmente entre 0.6 a 2.4 m/s.

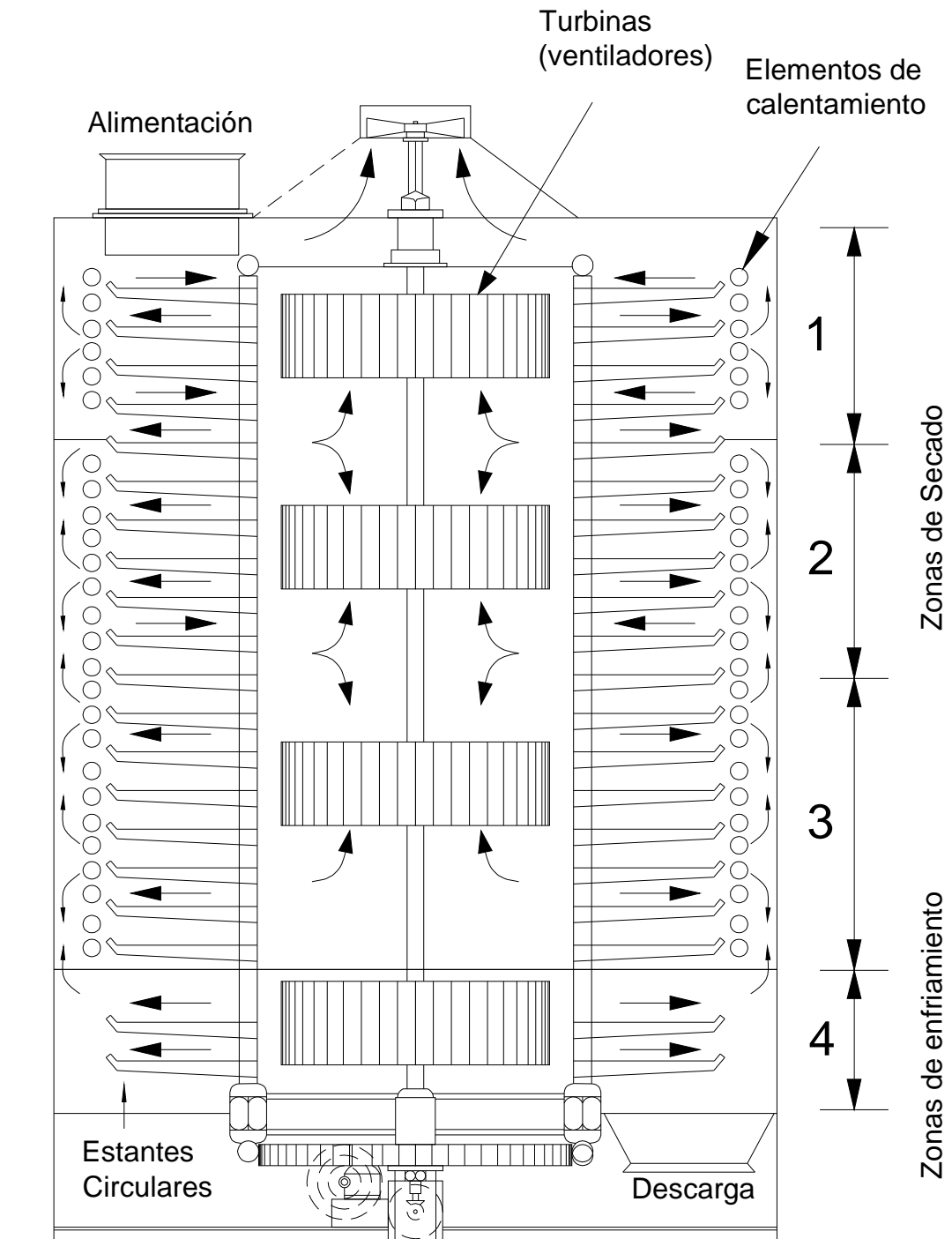


Figura 2.3 Turbosecador.

**Fuente:** McCabe W., Operaciones unitarias en Ingeniería Química, 7ma. Edición, McGraw-Hill, México, 2007, pág. 856.



#### 2.4.2.4 Secadores rotatorios

Consta de una carcasa cilíndrica giratoria, horizontal o ligeramente inclinada. Cuando gira la carcasa, pestañas internas levantan los sólidos y caen en forma de lluvia dentro del cilindro.

En la figura 2.4 se representa un secador rotatorio adiabático que opera con aire caliente en contracorriente.

Los secadores rotatorios se usan convenientemente para sal, azúcar y todo tipo de materiales granulares y cristalinos que deben mantenerse limpios y que no deben exponerse directamente a gases de combustión.

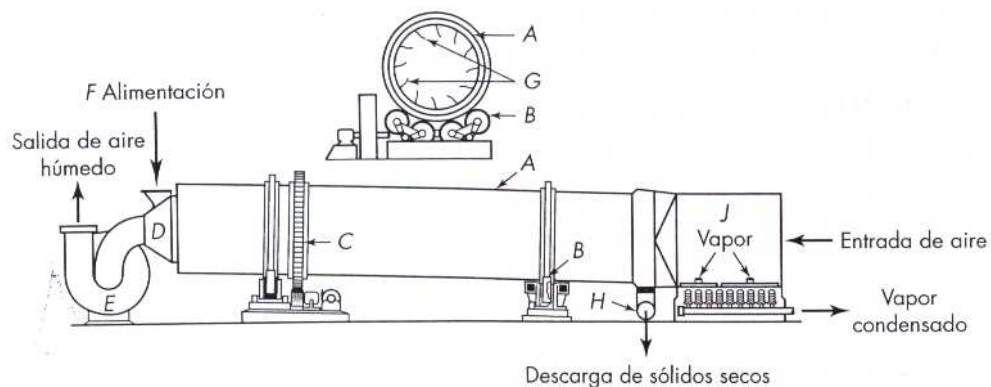


Figura 2.4 Secador rotatorio.

**Fuente:** McCabe W., Operaciones unitarias en Ingeniería Química, 7ma. Edición, McGraw-Hill, México, 2007, pág. 857.

#### 2.4.2.5 Secadores de lecho fluidizado

Tal como se muestra en la figura 2.5, las partículas se fluidizan con aire en una unidad de lecho hirviente. Las mezclas y la transferencia de calor son muy rápidas. El producto se retira en el fondo por las partes laterales y se alimenta por la parte superior.

En el secador que se ilustra en la figura 2.5 hay una distribución al azar de los tiempos de residencia, siendo el tiempo medio típico de permanencia de 30 a 120 s cuando sólo se vaporiza agua superficial, y de 15 a 30 min si también hay difusión interna.

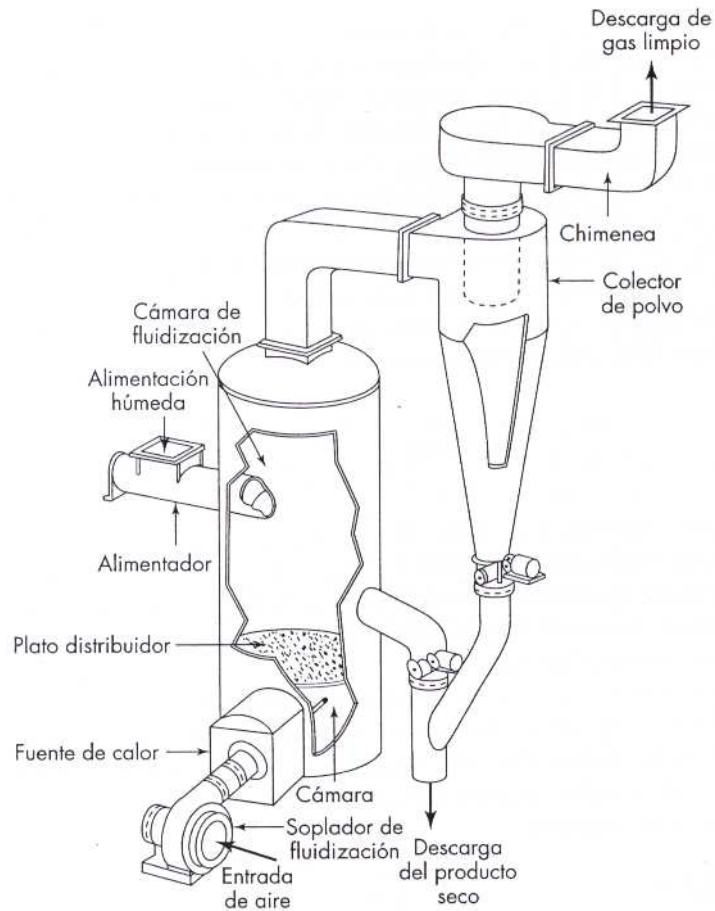


Figura 2.5 Secador continuo de lecho fluidizado.

**Fuente:** McCabe W., Operaciones unitarias en Ingeniería Química, 7ma. Edición, McGraw-Hill, México, 2007, pág. 861.

#### 2.4.2.6 Secadores de lecho fijo

Los secadores de lecho fijo se caracterizan por tener la sección de secado y enfriamiento en posición horizontal plana. Tienen una cámara de secado plana de dimensiones determinadas de acuerdo a la capacidad de secado.

La secadora horizontal de lecho fijo es también llamada de capa estacionaria, que trabaja en tandas. La ilustración de la figura 2.6 muestra una secadora de estas características.

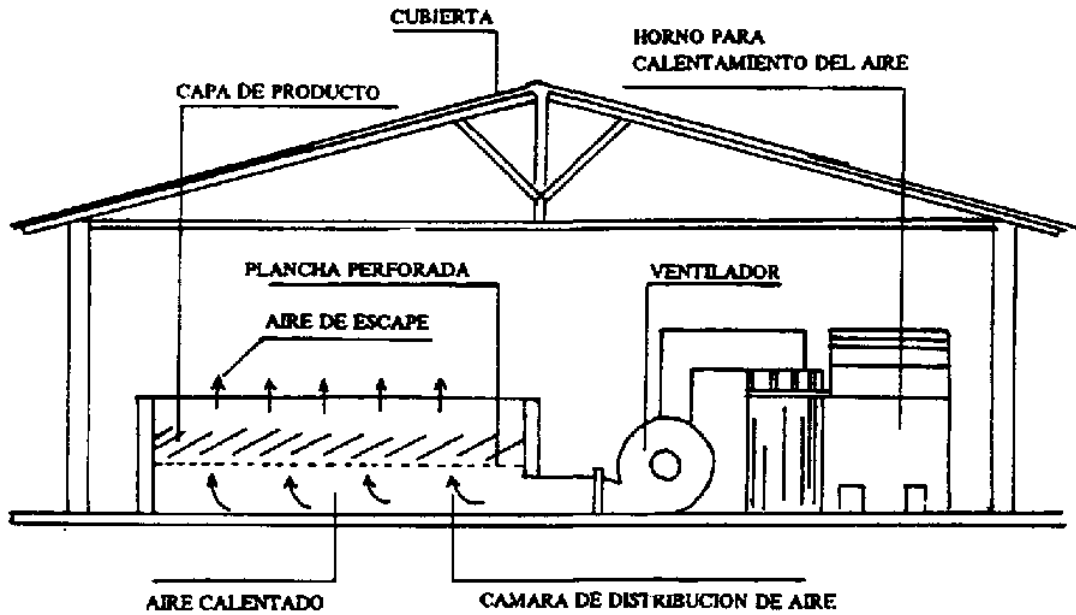


Figura 2.6 Secador de lecho fijo, de capa estática o estacionaria.

Fuente: [http://www.fastonline.org/CD3WD\\_40/INPHO/VLIBRARY/X0028S/ES/X0028S1K.GIF](http://www.fastonline.org/CD3WD_40/INPHO/VLIBRARY/X0028S/ES/X0028S1K.GIF)

Este sistema, consiste en colocar el grano húmedo en el secador, mantenerlo en él hasta que es secado, y luego enfriado en el mismo. Posteriormente, el grano es extraído, y el secador se vuelve a llenar con otra tanda.

Adolece del inconveniente del espesor del lecho de grano que ocasiona un secado disparejo, pues el grano en contacto con la base perforada caliente sufre un sobrecalentamiento y un secado excesivo, mientras que en el lado opuesto el grano está más húmedo y poco caliente.

### 2.4.3 SELECCIÓN DE EQUIPO DE SECADO

Las consideraciones más importantes son la facilidad de operación, el producto a obtenerse en la forma deseada y velocidad especificada.

La decisión final se basa en los costos de inversión y de operación. Pero detalladamente hay que tomar en cuenta los costos de todo el proyecto y no solo del secado para tomar la mejor decisión.

## **2.5 ELEMENTOS PRINCIPALES QUE CONSTITUYEN UN SECADOR DE LECHO FIJO**

Los elementos principales de un secador de lecho fijo tienen importancia en su diseño y selección, debido a que de éstos depende el uso adecuado tanto de materiales, combustible, electricidad, etc. Estos elementos se describen a continuación:

### **2.5.1 CÁMARA DE SECADO**

La cámara de secado se encuentra sobre la plancha perforada y en ella se coloca el material que va a ser secado. Sus dimensiones varían en función de la cantidad de granos que se va a secar. Debe estar provista de puertas en sus paredes laterales con el objetivo de permitir la descarga del producto.

Es construida de planchas de acero A-36, ya que éste presenta características favorables estructuralmente hablando, tales como: alta resistencia por unidad de peso, ductilidad, facilidad constructiva, facilidad de montaje, soldabilidad.

### **2.5.2 PLANCHA PERFORADA**

La cámara de secado está separada de la cámara de distribución de aire por una lámina o plancha metálica perforada. Esta tiene el objetivo de sustentar el producto y permitir el paso de aire por la masa de granos; debe tener las siguientes características:

- La lámina debe tener perforaciones que permitan el paso del aire de secado, estas perforaciones deben ser circulares en un mínimo del 10 por ciento de su superficie total.<sup>13</sup>
- El diámetro de los orificios no debe ser superior a 6 mm, y la distancia entre centros no debe superar los 20 mm.<sup>14</sup>

---

<sup>13</sup> FAO, Arias C., Manual de Manejo Poscosecha de Granos a Nivel Rural, Santiago, Chile, 1993, pág. 138.

<sup>14</sup> COSTALES, R., Tesis previa a la obtención del título de ingeniero mecánico en la especialización de ingeniería mecánica, Estudio del secado de granos mediante fluidización, 1995, pág. 58.

### **2.5.3 CÁMARA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE CON EXPANSIÓN GRADUAL**

La cámara de distribución de aire está debajo de la plancha perforada. La altura de esta cámara se dimensiona de modo que la velocidad del aire proveniente de la expansión gradual sea la menor posible, para evitar pérdidas de la presión del ventilador y facilitar la distribución del aire en la masa de granos. Generalmente se construye con una altura de 0,5 m.<sup>15</sup>

La expansión gradual es la parte del secador que conecta el ventilador con la cámara de distribución de aire. Su principal función es reducir la velocidad del aire que sale del ventilador, se debe calcular de modo que el ángulo de abertura sea el menor posible para que la pérdida de presión no sea elevada; sin embargo, se debe tener en cuenta su longitud para no aumentar innecesariamente el tamaño del conjunto.

### **2.5.4 VENTILADOR**

El tipo de ventilador más empleado en el secador de lecho fijo es el centrífugo de aspas inclinadas hacia atrás, debido a la presión que debe vencer en el sistema, se recomienda que el ventilador esté conectado al motor por medio de correas o bandas de transmisión, ya que el aire caliente de secado pasa por el ventilador.

### **2.5.5 QUEMADOR**

Es utilizado para calentar el aire para el secado, el combustible que se emplea depende de la disponibilidad presente en el sitio de secado.

---

<sup>15</sup> FAO, Arias C., Manual de Manejo Poscosecha de Granos a Nivel Rural, Santiago, Chile, 1993, pág. 138.

## **2.6 HIGROSCOPICIDAD**

La higroscopicidad es la propiedad que tienen los granos para absorber o entregar humedad a la atmósfera que circunda hasta que se encuentren en equilibrio con ella, los materiales higroscópicos contienen humedad absorbida la cual ejerce una presión de vapor interior.

### **2.6.1 HUMEDAD DEL MAÍZ**

Los granos no pueden conservarse almacenados si no están secos. La cuestión es determinar cuándo un grano se considera "seco". Como término general, para los cereales, una humedad del 14% se considera el límite para estimarlo como "seco". Pero este valor es relativo, pues depende de diversos factores, así por ejemplo en un clima frío, un cereal puede conservarse a 15% de humedad, pero en un clima cálido, la humedad de conservación deberá estar entre 12 - 13%.

### **2.6.2 CONTENIDO DE HUMEDAD EN BASE HÚMEDA**

La medición de la humedad del grano se fija sobre la llamada "base húmeda", es decir, indica el porcentaje que representa el peso de agua con relación a su valor total que incluye al peso de la materia seca sin humedad.

El contenido de humedad en base húmeda es utilizado comercialmente para indicar el contenido de humedad en los granos, y es el dato que dan los humidímetros comúnmente utilizados.

### **2.6.3 CONTENIDO DE HUMEDAD EN BASE SECA**

En ciertas operaciones, sobre todo para trabajos científicos, es preferible usar la humedad en "base seca", que es la cantidad de agua que tiene el grano en relación a la cantidad de materia seca. Esta humedad será siempre mayor que la anterior.

Las relaciones entre ambas expresiones son las siguientes:

$$\phi_h = \frac{\phi_s}{100 - \phi_s} 100 \quad [\text{Ec. 2.1}]$$

$$\phi_s = \frac{\phi_h}{100 - \phi_h} 100 \quad [\text{Ec. 2.2}]$$

Donde:

$\phi_h$ : Humedad en base húmeda. [%]

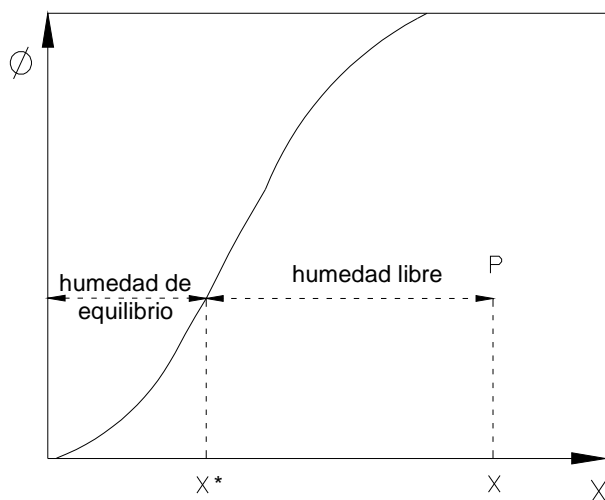
$\phi_s$ : Humedad en base seca. [%]

Todas las transacciones comerciales se efectúan sobre base húmeda, pero sin embargo, hay muchas opiniones relativas a que la comercialización de los granos debiera hacerse sobre materia seca.

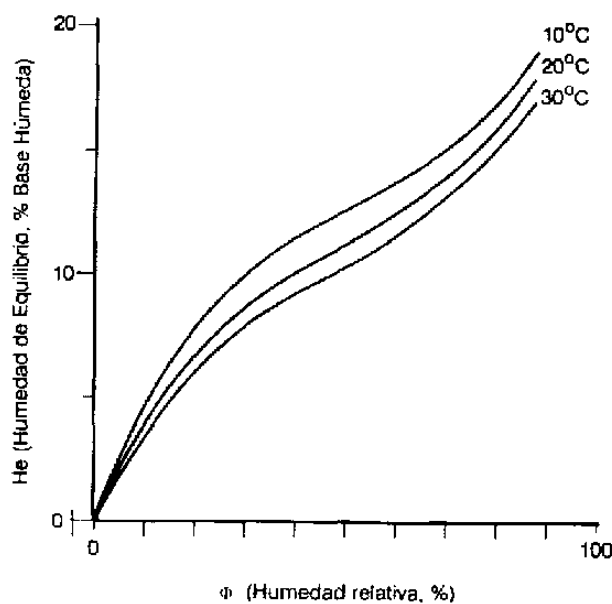
#### 2.6.4 HUMEDAD DE EQUILIBRIO

La humedad de equilibrio es aquella humedad específica que un material higroscópico adquiere cuando se mantiene en contacto con aire, a temperatura y humedad constantes, hasta llegar al equilibrio.

Con el diagrama de fases se puede conocer el sentido en que variará la humedad del cuerpo puesto en contacto con aire húmedo; si el punto representativo está a la derecha de la curva de equilibrio (punto P en la figura 2.7a), la humedad X tiende a disminuir, pues es superior al valor  $X^*$  de equilibrio con el aire de la misma humedad relativa  $\phi$ . Si el punto P estuviese a la izquierda, la humedad del cuerpo tendería a aumentar a expensas del vapor de agua recibido del aire húmedo. La figura 2.7 b indica la humedad de equilibrio del maíz.



(a)



(b)

Figura 2.7 Curva de equilibrio de humedad, a) general, b) del maíz.

**Fuente:** PEREIRA J., Secado de granos psicrometría higroscopia, Santiago de Chile, 1991, Documento de la FAO.

### 2.6.5 HUMEDAD LIBRE

La humedad que puede perder el grano después de un contacto suficientemente prolongado con aire de condiciones constantes se llama humedad libre, y depende tanto de la humedad del producto como de la humedad relativa del aire.



### 2.6.6 MEDICIÓN DE LA HUMEDAD DE LOS GRANOS

Los medidores de humedad llamados "humedímetros", empleados durante el acopio de granos, deben estar correctamente regulados. Al realizar las mediciones se debe tomar las siguientes consideraciones:

a) El humidímetro debe estar adecuadamente calibrado.

b) Efectuar las correcciones por temperatura de los granos. Si un grano está caliente, y no se corrige por temperatura, el valor que indica el humidímetro puede ser hasta un punto mayor que la realidad. Por el contrario, si el grano está frío, puede indicar un punto menor que la humedad real del grano.

Afortunadamente existen hoy en el mercado nuevos medidores de humedad que hacen automáticamente la corrección por temperatura.

c) Se debe tener en cuenta el revenido del grano. Este término "revenido" se aplica a un proceso que se produce en los granos que han sido secados artificialmente, y que es tanto más notable cuanto más severo haya sido dicho secado. Se manifiesta el revenido por un aumento de la humedad del grano después de varias horas de haber pasado por la secadora.

Es posible entonces que un grano, al salir de la secadora, y al medir su humedad, se encuentre en un 13,5%, pero al transcurrir unas horas, ésta se incrementa hasta un 14,5%. Este fenómeno se debe a que los humidímetros corrientemente empleados en el acopio de granos miden más la humedad superficial de la semilla que la interna. Cuando se hace un secado rápido, lo que se pierde con mayor velocidad es la humedad de las capas externas, mientras que las internas todavía conservan una humedad mayor (figura 2.8).

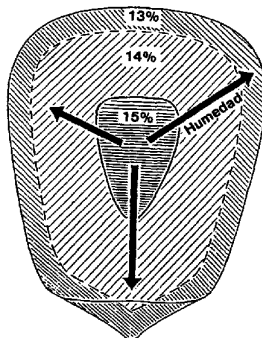


Figura 2.8 Humedad en diferentes capas del grano.

**Fuente:** [http://www.fastonline.org/CD3WD\\_40/INPHO/VLIBRARY/X0028S/ES/X0028S00.HTM](http://www.fastonline.org/CD3WD_40/INPHO/VLIBRARY/X0028S/ES/X0028S00.HTM)

Con el transcurso del tiempo esa humedad interna migra hacia el exterior, y ello se refleja en la nueva medición del humidímetro.

Lo que se aconseja es guardar la muestra en un recipiente hermético (por ejemplo, un frasco de vidrio bien lleno y cerrado) y medir la humedad no menos de 5 horas después, acción que permitirá hacer una medición real de la humedad existente en el grano.

### 2.6.7 MEDICIÓN DE LA HUMEDAD AL FINAL DEL PROCESO DE SECADO

Es recomendable no tomar directamente la muestra dentro de la secadora, sino en una porción libre alejada de la máquina, después de que toda la masa de granos haya sido removida y mezclada. Si se extrae la muestra dentro de la secadora, es posible que el grano que está en la parte inferior esté más seco que el resto, especialmente del que se encuentra en la parte superior. La humedad del grano varía en la parte superior e inferior de la secadora, de manera que se aconseja medir la humedad en el grano que se haya mezclado durante el movimiento de transporte.

Otra recomendación es no medir la humedad en muestras sucias, pues el humidímetro también mide la humedad de las impurezas, que puede ser diferente a la del grano.

## **2.7 PSICROMETRÍA**

En el secado a temperatura baja, la velocidad de secado depende de la capacidad del aire para evaporar la humedad, la cual es determinada por las condiciones psicrométricas del aire, la temperatura y la humedad relativa.

### **2.7.1 PROPIEDADES TERMODINÁMICAS FUNDAMENTALES**

Hay diversas propiedades termodinámicas fundamentales ligadas a las propiedades del aire húmedo.

A continuación se presenta una breve descripción de cada una de estas propiedades.

#### **2.7.1.1 Temperatura de bulbo seco**

La temperatura de bulbo seco es la verdadera temperatura del aire húmedo y con frecuencia solo se le denomina temperatura del aire; es la temperatura del aire que marca un termómetro común. Libre de influencia a radiación.

#### **2.7.1.2 Temperatura de bulbo húmedo**

La temperatura de bulbo húmedo es la temperatura de equilibrio que se alcanza cuando la mezcla aire seco y vapor de agua pasa por un proceso de enfriamiento hasta llegar a la saturación.

Se la determina empleando un termómetro cuyo bulbo se ha recubierto con un tejido empapado de líquido puesta en contacto con una cantidad mayor de aire húmedo.

#### **2.7.1.3 Volumen específico**

El volumen específico del aire húmedo se define como el volumen que ocupa la mezcla de aire seco y vapor de agua por unidad de aire seco.

#### **2.7.1.4 Entalpía específica**

La entalpía de la mezcla de aire seco y vapor de agua es la energía del aire húmedo por unidad de masa de aire seco.

#### **2.7.1.5 Humedad relativa**

La humedad relativa es la relación entre la cantidad de vapor que contiene una masa de aire y la que contendría si estuviese saturada a la misma temperatura.

#### **2.7.1.6 Contenido de agua**

La humedad absoluta es la relación entre el peso del vapor y el de aire contenidos en una masa unitaria de aire seco.

### **2.7.2 CARTA PSICROMÉTRICA**

Las propiedades termodinámicas de la mezcla de aire seco y vapor de agua que constituyen el aire atmosférico se pueden presentar adecuadamente en forma de gráfico, recibiendo el nombre de carta psicrométrica y mostrada en la figura 2.9. La carta psicrométrica se construye para una presión atmosférica determinada.

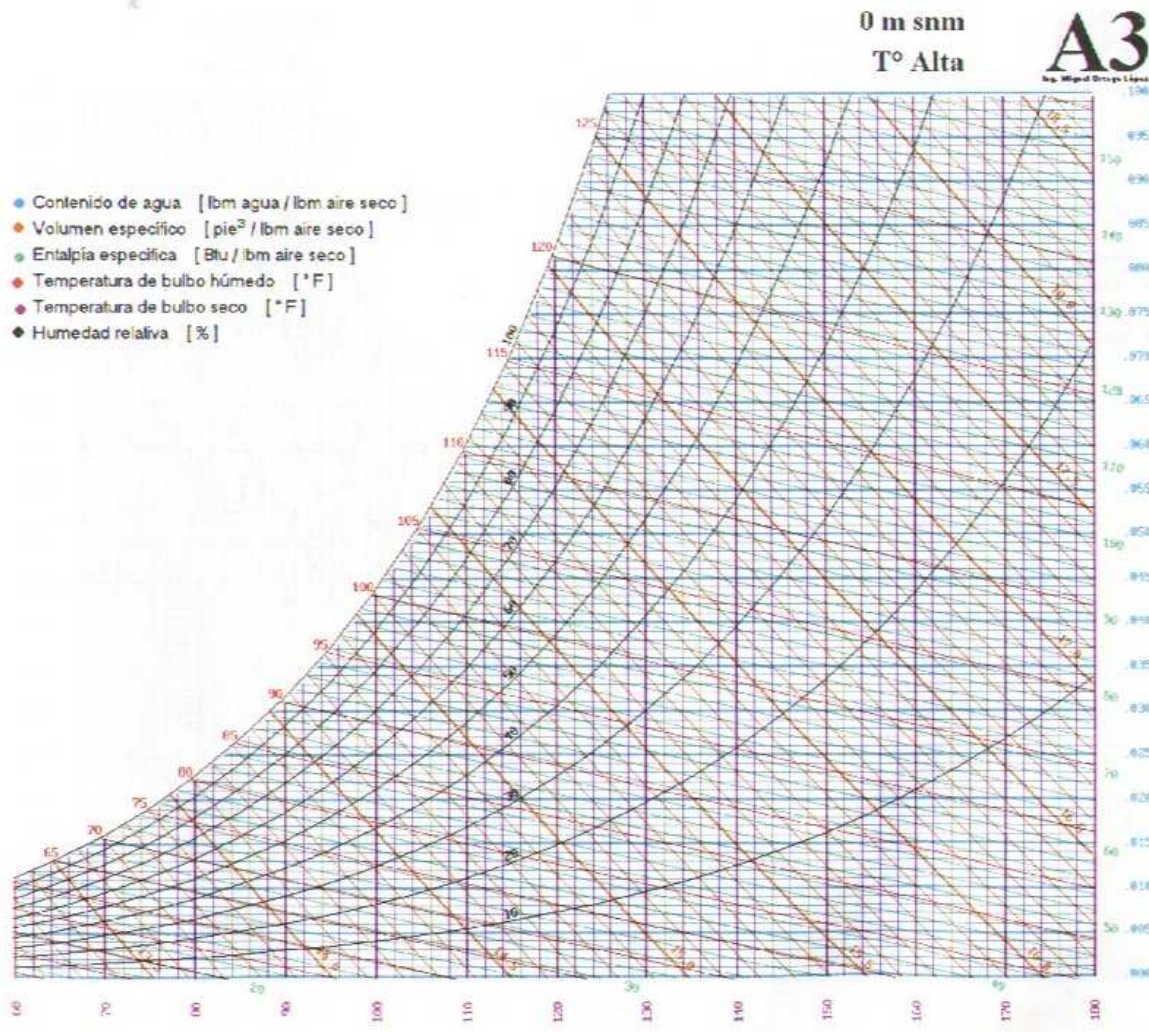


Figura 2.9 Carta Psicrométrica a 0m msnm.

**Fuente:** Cartas Psicrométricas, Ing. Miguel Ortega, Ing. Adrián Peña; Escuela Politécnica Nacional.

### 2.7.3 ESTUDIO PSICROMÉTRICO DEL SECADO

Considerando un lecho de granos que se está secando por el paso de una corriente de aire de temperatura y humedad constantes sobre su superficie.

El calor es suministrado únicamente por la corriente de aire además el aire que abandona la superficie no está saturado. Entonces, el aire que pasa sobre la superficie los granos se enfriarán aumentando su humedad relativa, siguiendo la línea de bulbo húmedo. La temperatura superficial permanecerá constante e igual a la temperatura de bulbo húmedo en todos sus puntos.

El estudio psicrométrico del secado permite conocer la manera que se modifican las condiciones del aire al someterlo al proceso de calentamiento. Existiendo una relación definida de equilibrio en el sistema aire-agua que se representa por medio de una carta psicrométrica.

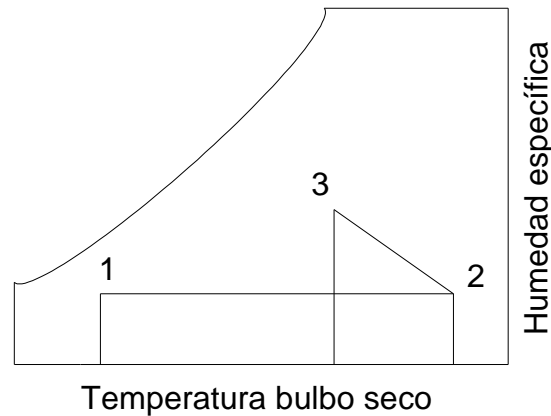


Figura 2.10 Esquema psicrométrico del calentamiento del aire

1-2 Proceso de calentamiento del aire

2-3 Proceso de humidificación del aire

**Fuente:** Propia.

### 2.7.3.1 Proceso de calentamiento del aire

El proceso de calentamiento del aire corresponde a la línea 1-2 de la figura 2.10, en donde la humedad específica del aire se mantiene constante, el aumento de la temperatura del aire se logra por el calor transferido desde un quemador. La rapidez de transferencia de calor necesaria para alcanzar el punto 2 del gráfico es la siguiente:

$$\dot{Q} = \dot{m}_a(h_2 - h_1) \quad ^{16} \quad \text{[Ec. 2.3]}$$

Donde:

$\dot{Q}$ : Rapidez de transferencia de calor, [kJ/s]

$\dot{m}_a$ : Flujo de aire a calentar, [kg/s]

$h_2$ : Entalpía del aire a la temperatura a la entrada al secador, [kJ/kg]

$h_1$ : Entalpía del aire a la temperatura ambiente, [kJ/kg]

<sup>16</sup> CENGEL, Y, Termodinámica, Cuarta Edición, McGraw-Hill, México, 2003.

Es posible visualizar al aire atmosférico como una mezcla de aire seco (aire con cero contenido de humedad) y vapor de agua (también referido como humedad). La cantidad de vapor de agua en el aire tiene un impacto importante en muchos procesos como el secado, para determinar el flujo de aire a calentar para secar una cantidad determinada de maíz se procede de la siguiente manera:<sup>17</sup>

$$P_{v1} = \phi_a P_{s1} \quad [\text{Ec. 2.4}]$$

Donde:

$\phi_a$ : Humedad relativa del ambiente, [%]

$P_v$ : Presión parcial del vapor de agua, [N/m<sup>2</sup>]

$P_s$ : Presión parcial del vapor en la mezcla saturada, [N/m<sup>2</sup>]

La presión del aire seco en el estado 1 es igual a:

$$P_{as} = P - P_v \quad [\text{Ec. 2.5}]$$

Donde:

$P$ : Presión total del aire húmedo, [kPa]

$P_v$ : Presión parcial del vapor de agua, [kPa]

$P_{as}$ : Presión parcial del aire seco, [kPa]

El volumen específico del aire a condiciones ambiente se determina con la ecuación:

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_a} \quad [\text{Ec. 2.6}]$$

Donde:

$v_1$ : Volumen específico del aire seco, [m<sup>3</sup>/kg]

$R$ : Constante universal del aire = 0.287 [kPa m<sup>3</sup> /kg °K]

$T_1$ : Temperatura ambiente, [°K]

$P_{as}$ : Presión parcial del aire seco, [Pa] de la ecuación  $P_{as} = P - P_v$

---

<sup>17</sup> CENGEL, Y, Termodinámica, Cuarta Edición, McGraw-Hill, México, 2003, pág. 106.

El flujo de aire que se necesita es:

$$m_a = \frac{V_{as}}{v_1} \quad [\text{Ec. 2.7}]$$

### 2.7.3.2 Proceso de humidificación del aire

El proceso de humidificación del aire corresponde a la línea 2-3 de la carta psicrométrica de la figura 2.10.

La humidificación se logra poniendo al aire caliente, a una determinada temperatura correspondiente a una determinada humedad, en contacto con el lecho de granos.

En este proceso se mantiene constante la temperatura de bulbo húmedo. La cantidad de humedad removida por el aire en el proceso de secado, está dada por el siguiente balance de materia.

$$m_w = m_a(W_3 - W_2) \quad [\text{Ec. 2.8}]$$

Donde:

$m_w$ : Masa de agua, [kg]

$m_a$ : Masa de aire, [kg]

$W_2$ : Humedad específica a la entrada del secador, [kg agua / kg aire seco]

$W_3$ : Humedad específica a la salida del secador, [kg agua / kg aire seco]

#### 2.7.3.2.1 Cantidad de agua a evaporar

La cantidad de agua a evaporar es igual a la diferencia entre la masa inicial del maíz y la masa final del maíz.

$$m_w = M_{im} - M_{fm} \quad [\text{Ec. 2.9}]$$

Donde:

$m_w$ : Cantidad de agua a evaporar, [kg]

$M_{im}$ : Masa inicial del maíz, [kg]

$M_{fm}$ : Masa final del maíz, [kg]



La masa final se calcula con la siguiente expresión:

$$M_{fm} = M_{im} - (M_{im}PQ) \quad [\text{Ec. 2.10}]$$

Donde:

$PQ$  : Porcentaje de la cantidad de agua a evaporar [adimensional]

$$PQ = \left( \frac{\phi_i - \phi_f}{100 - \phi_f} \right) \quad [\text{Ec. 2.11}]$$

Donde:

$\phi_i$ : Humedad inicial del maíz en base húmeda, [%]

$\phi_f$ : Humedad final del maíz en base húmeda, [%]

### 2.7.3.2.2 Cantidad de aire seco para evaporar el agua contenida en el maíz

El volumen de aire seco necesario para secar determinada cantidad de granos es:

$$V_{as} = \frac{m_a RT}{P} \quad [\text{Ec. 2.12}]$$

Donde:

$V_{as}$ : Volumen de aire seco, [m<sup>3</sup>]

$m_a$ : Masa de aire seco, [kg]

$R$ : Constante universal del aire [kPa m<sup>3</sup>/Kg °K] = 0.287

$T$ : Temperatura del aire caliente, [°K]

$P$ : Presión del ambiente, [kPa]

La presión del ambiente a las diferentes altitudes se da a conocer en la siguiente tabla 2.2.

Tabla 2.2 Presión del ambiente a diferentes altitudes.

Altura [m]	Presión [psia]	Presión [kPa]
0	14,7	101,35
500	13,8	95,15
1000	13	89,63
1500	12,3	84,81
2000	11,5	79,29
2500	10,8	74,46
2800	10,4	71,71
3000	10,2	70,33

**Fuente:** Cartas Psicrométricas, Ing. Miguel Ortega, Ing. Adrián Peña; Escuela Politécnica Nacional

## 2.8 TRANSFERENCIA DE CALOR EN SECADORES

Para realizar un estudio sobre el secado se debe analizar todas las formas de transferencia de calor presentes en el proceso. Esto dependerá de la geometría del secador, altura del lecho, velocidad de entrada del fluido.

El secado de granos es un proceso termodinámico, pero en ciertas circunstancias se complica debido a la difusión entre el grano y el gas, se pueden secar las gramíneas simplemente elevando la temperatura por encima de la de ebullición del agua. También se puede secar granos húmedos con exposición a vapor altamente sobrecalentado aquí el proceso es netamente de transferencia de calor. En la mayoría de secadores la temperatura superficial depende de las velocidades de transferencia de masa y de calor. Sin embargo, muchos secadores se diseñan solo con base a consideraciones de transferencia de calor.

### 2.8.1 TRANSFERENCIA DE CALOR EN LECHOS

Intervienen los tres modos de transferencia de calor: Conducción, Convección y radiación. Sin embargo, la inclusión de cada uno de ellos en el análisis, depende de las condiciones existentes en el proceso.

Cada uno tiene su relativa importancia, dependiendo de las circunstancias; y en general la tasa de transferencia de calor es gobernada por el lecho.

#### 2.8.1.1 Conducción

La ecuación de Fourier determina el flujo de calor por conducción:

$$q_{cond} = -K \frac{dT}{dx} \quad 18 \quad \text{[Ec. 2.13]}$$

Donde:

K: Conductividad térmica del material, [W/m °C]

dT/dx: Gradiente de temperatura en la dirección de flujo x, [°C/m]

---

<sup>18</sup> INCROPERA, F. Fundamentos de Transferencia de Calor, 4ta. Edición, México, 1999.

### 2.8.1.2 Convección

La transferencia de calor por convección se produce por el movimiento de un fluido que puede ser un gas o un líquido.

La convección puede ser libre cuando el movimiento es producido por la diferencia de densidades dentro del fluido, o forzada cuando existe un elemento externo que proporciona el movimiento al fluido.

La ecuación que describe la transferencia de calor por convección es la ecuación de calor de Newton:

$$q_{conv} = h(T_f - T_s) \quad ^{19} \quad \text{[Ec. 2.14]}$$

Donde:

h: Coeficiente de transferencia de calor, [W/m<sup>2</sup>.°C]

T<sub>f</sub>: Temperatura del fluido, [°C]

T<sub>s</sub>: Temperatura de la superficie, [°C]

### 2.8.1.3 Radiación

La transferencia de calor por radiación se da entre dos superficies que tengan diferentes temperaturas. No es necesaria la presencia de alguna sustancia entre ellas. La ecuación que define este modo de transferencia de calor es:

$$q_{rad} = \alpha_r \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad ^{20} \quad \text{[Ec. 2.15]}$$

Donde:

$\alpha_r$ : Factor de intercambio

$\sigma$ : Constante de Stefan Boltzmann;  $5.6697 \times 10^{-8}$  [W/m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>]

T<sub>1</sub>: Temperatura de la superficie caliente, [°K]

T<sub>2</sub>: Temperatura de la superficie fría, [°K]

La emisividad de la superficie y la distribución geométrica determinan el factor de intercambio.

<sup>19</sup> INCROPERA, F. Fundamentos de Transferencia de Calor, 4ta. Edición, México, 1999.

<sup>20</sup> HOWARD J.R. Fluidized Bed Technology Principles and Applications, Bristol y New York, Adam Hilger, 1989.72-73p

En general, cuando los lechos tienen temperaturas bajo los 600 °C, la transferencia de calor por radiación no es significativa.<sup>21</sup>

## 2.8.2 CARGA TÉRMICA

El calor que se debe aplicar al secador es para lo siguiente:

- 1) Calentar los granos hasta la temperatura de evaporación.
- 2) Evaporar el agua.
- 3) Calentar los granos hasta su temperatura final.
- 4) Calentar el vapor hasta su temperatura final.
- 5) Calentar el aire u otro gas agregado hasta su temperatura final.

Todos los puntos son despreciables con respecto al segundo punto, es decir que el calor se utiliza para evaporar el agua.

## 2.9 CAÍDA DE PRESIÓN EN EL SECADOR DE LECHO FIJO

La principal caída de presión que sucede en los secadores de lecho fijo es en el lecho de granos.

### 2.9.1 CAÍDA DE PRESIÓN EN EL LECHO DE GRANOS

Una adecuada ventilación a través de la masa de los granos garantiza un buen intercambio de calor, sobre todo si esta en continuo movimiento el producto.

La siguiente expresión determina la caída de presión por el lecho de los granos:

$$\Delta P_{lg} = \left( \frac{H_{lg} Re_g \mu_a^2}{\rho_a^2 D_g^3} \right) \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \left[ \left( \frac{1.24 Re_g}{1-\varepsilon} \right) + 368 \right] \quad [Ec. 2.16]$$

Donde:

<sup>21</sup> KUNII D. LEVENSPIEL, O., Fluidization Engineering. 4ta. Edición. Florida. R. Krieger Publishing Company, Inc. 1987. 245p.

<sup>22</sup> PORTILLA A., BRACERO G., Apuntes de seminario de diseño de secadores, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, pág. 32.

$$Re_g = \frac{Mat D_g}{A_g \mu_a}$$

$\Delta P_{lg}$ : Caída de presión en el lecho de granos, [Pa]

$H_{lg}$ : Altura del lecho de granos, [m]

$D_g$ : Diámetro de los granos, [m]

$\rho_a$ : Densidad del aire en la cámara de secado, [kg/m<sup>3</sup>]

$\varepsilon$ : Fracción de espacios vacíos (Porosidad), [adimensional]

$\mu_a$ : Viscosidad dinámica del fluido, [Ns/m<sup>2</sup>]

$Mat$ : Flujo de aire sobre los granos, [kg/s]

$A_g$ : Área del lecho de granos, [m<sup>2</sup>]

### 2.9.1.1 Esfericidad del grano de maíz

De acuerdo a la ecuación de la caída de presión en el lecho de granos se necesita el diámetro del grano del maíz, pero es conocido que estos granos no son esféricos, por ello se define el diámetro equivalente promedio, si las partículas no son esféricas, de la siguiente manera:

d<sub>pd</sub> = diámetro de la esfera que tiene el mismo volumen de la partícula.

El parámetro que representa la cercanía de la forma del sólido a una esfera es la esfericidad ( $\emptyset_s$ ), para partículas con formas irregulares, la esfericidad es determinada por:

$$\emptyset_s = \left[ \left( \frac{c}{b} \right)^2 \left( \frac{d}{c} \right) \right]^{1/2} \quad [Ec. 2.17]$$

Donde b, c, d son la máxima, intermedia y mínima dimensión respectivamente del sólido, mutuamente perpendiculares.

Para esferas  $\emptyset_s = 1$ , y  $0 < \emptyset_s < 1$ , para cualquier otra forma de partícula, donde el rango más usual es:  $0,6 < \emptyset_s < 0,95$ .

---

<sup>23</sup> COSTALES R., Estudio del secado de granos mediante fluidización, Tesis previa al obtención del título de Ingeniero Mecánico en la especialización de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, 1995, pág. 30

El producto entre la esfericidad y el diámetro equivalente promedio de la partícula se denomina diámetro equivalente efectivo ( $d_{ee}$ ), que es un parámetro que define la forma y medida de una mezcla de sólidos de diferente geometría a la esférica.

$$d_{ee} = \Phi_s d_{pd} \quad [\text{Ec. 2.18}]$$

### 2.9.1.2 Porosidad del lecho de granos de maíz

En el lecho existen espacios libres entre los granos que están en contacto, llamado porosidad del lecho de granos, gracias a esta porosidad en el lecho el flujo de aire caliente puede circular por los granos permitiendo el secado.

La porosidad existente en el lecho influye en la caída de presión que experimenta el flujo de aire caliente debido a que mientras mayor es el espacio entre los granos más fácil es la circulación del aire caliente por los mismos.

La porosidad para un lecho de granos de maíz es de 0,3.<sup>24</sup>

### 2.9.2 CAÍDA DE PRESIÓN EN LA PLANCHA PERFORADA

La caída de presión en la plancha perforada es aproximadamente igual al 10% de la caída de presión en el lecho.<sup>25</sup>

$$\Delta P_{pp} = 0,1 \Delta P_g \quad [\text{Ec. 2.19}]$$

## 2.10 PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS GASEOSAS REACTIVAS

Las propiedades y parámetros de las mezclas gaseosas son:

- a. Poder calórico
- b. Densidad

<sup>24</sup> [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lim/carvajal\\_v\\_li/capitulo6.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/carvajal_v_li/capitulo6.pdf)

<sup>25</sup> COSTALES R., Estudio del secado de granos mediante fluidización, Tesis previa al obtención del título de Ingeniero Mecánico en la especialización de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, 1995, pág. 40

- c. Densidad relativa o gravedad específica
- d. Peso Molecular
- e. Viscosidad
- f. Fracciones másicas y volumétricas de una mezcla aire-combustible
- g. Límites de inflamabilidad

### 2.10.1 PODER CALÓRICO

Según la definición de poder calórico superior<sup>26</sup>, el agua de los productos de combustión debe salir en estado líquido.

La figura 4.1 indica cuales son las consideraciones para obtener el poder calórico. En este caso es necesario tener en estado de referencia común para todas las sustancias. El estado de referencia elegido es 25°C (77°F) y 1 atm, que se conoce como Estado de Referencia. Los valores de las propiedades en el estado de referencia estándar se indican mediante un superíndice (°)(como  $h^{\circ}$  y  $u^{\circ}$ )<sup>27</sup>

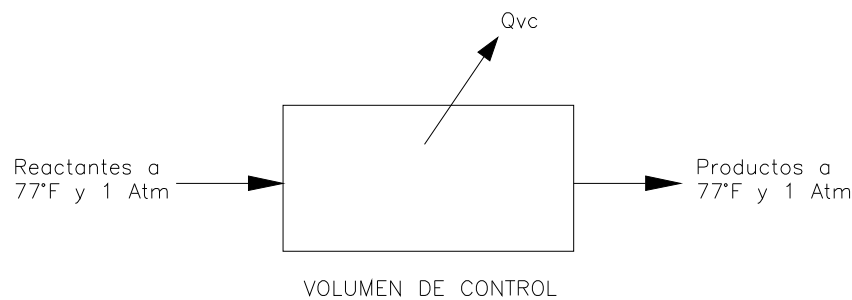


Figura 2.11 Esquema del volumen de control en la reacción de combustión.

**Fuente:** Propia.

Donde,  $Q_{vc}$  = Calor liberado en el volumen de control.

De aquí,

$$Q_{VC} = \sum_P n_s h_s - \sum_R n_e h_e$$

Donde:

$n_s$ : Número de moles de productos.

<sup>26</sup> SALVI, G. "La combustión, teoría y aplicaciones" Ed. Dossat S.A. 1975.

<sup>27</sup> CENGEL, Y, "Termodinámica", 4ta Edición, McGraw-Hill, 2003.

ne: Número de moles de reactantes.

hs: Entalpía de los productos.

he: Entalpía de los reactantes.

Siendo:

$$\bar{h} = \bar{h}^{\circ f} + (h_T - h_{25^{\circ}\text{C}})_{1 \text{ atm}}$$

Las condiciones en las cuales entran los reactantes y los productos son las estándares, por lo tanto el calor cedido por el volumen de control (V.C.) queda en función de las entalpías de formación.

$$Q_{VC} = \sum_P n_s \bar{h}_{f^{\circ}s} - \sum_R n_e \bar{h}_{f^{\circ}e}$$

En forma general:

$$Q_{VC} = n_C (\bar{h}_{P_o} - \bar{h}_{R_o}) = n_C \bar{h}_{RPO} \quad [\text{Ec. 2.20}]$$

Donde:

$\bar{h}_{RPO}$ : Entalpía de combustión a condiciones estándar, [kJ/kmol comb]

$n_C$ : Número de moles de combustible.

Considerando una mezcla de varios combustibles que sale del volumen de control es:

$$Q_{VC} = \sum n_{Ci} \bar{h}_{RPOi} \quad [\text{Ec. 2.21}]$$

Un gas combustible puede ser considerado como una mezcla o como un gas cualquiera, por lo tanto:

$$Q_{VC} = \bar{h}_{RPOm} = \sum n_{Ci} \bar{h}_{RPOi}$$

La entalpía de combustión  $\bar{h}_{RPO}$  se definiría también como el poder calórico de combustión, cuya notación en este caso será  $\bar{H}$ .

Entonces:

$$\bar{H}_m = \sum \frac{n_{Ci}}{n_{Cm}} \bar{H}_i$$



Además:

$$\begin{aligned} n_{cm} &= \sum n_{ci} \\ \overline{H}_m &= \sum b_i \overline{H}_i \end{aligned} \quad [\text{Ec. 2.22}]$$

Donde:

$H_m$ : Poder calórico de una mezcla (molar).

$H_i$ : Poder calórico del gas i-ésimo (molar).

$b_i$ : Fracción molar del gas.

Además si  $\overline{H} = MN$  y  $b_i = m_i \frac{M_m}{M_i}$ , la ecuación 2.22 queda:

$$\begin{aligned} H_m M_m &= \sum m_i \frac{M_m}{M_i} H_i M_i \\ H_m &= \sum m_i H_i \end{aligned} \quad [\text{Ec. 2.23}]$$

Donde:

$M_m$ : Peso molecular de la mezcla. [kg/kmol]

$M_i$ : Peso molecular del gas i, [kg/kmol]

$m_i$ : Fracción másica del gas i.

$H$ : Poder calórico superior, [kJ/kg combustible]

### 2.10.2 DENSIDAD DE UNA MEZCLA GASEOSA

Por definición:

$$\rho = \frac{W}{V}$$

Para una mezcla  $W = \sum W_i$

Además:

$$W_i = V_i \rho_i$$

Luego:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{\sum \rho_i V_i}{V} = \sum \frac{V_i}{V} \rho_i \\ \rho &= \sum b_i \rho_i \end{aligned} \quad [\text{Ec. 2.24}]$$

Donde:

$\rho$ : Densidad, [kg/m<sup>3</sup>]

$W$ : Masa de gas, [kg]

$V$ : Volumen, [m<sup>3</sup>]

### 2.10.3 DENSIDAD RELATIVA O GRAVEDAD ESPECÍFICA DE UNA MEZCLA GASEOSA

Por definición:

$$G = \frac{\rho}{\rho_{aire}} \text{ a condiciones estándar (25°C y 1 atm)}$$

$$G = \frac{\sum b_i \rho_i}{\rho_a} = \sum b_i \frac{\rho_i}{\rho_a}$$

$$G = \sum b_i G_i$$

[Ec. 2.25]

Donde:

$G$ : Gravedad específica.

### 2.10.4 PESO MOLECULAR DE LA MEZCLA

Por definición:

$$M = \frac{w}{n}$$

Reemplazamos en:

$$W = \sum W_i$$

$$nM = \sum n_i M_i$$

Además:

$$n = \sum n_i$$

$$M = \sum b_i M_i$$

[Ec. 2.26]

Donde:

$M$ : Peso molecular, [kg/kmol]

### 2.10.5 VISCOSIDAD DE UNA MEZCLA

La viscosidad de una mezcla de gases, no se puede evaluar con suficiente exactitud aplicando los principios de mezclas de gases ideales, como ocurre con la densidad; sobre todo si la mezcla contiene hidrógeno.

Con métodos experimentales de cálculo se obtienen valores aceptables, como es la fórmula empírica de Heming-Zipper<sup>28</sup>, y tiene la siguiente forma:

$$\mu = \frac{\sum b_i \sqrt{M_i T_{c_i}} \mu_i}{\sum b_i \sqrt{M_i T_{c_i}}}$$

Donde:

$\mu$ : Viscosidad de la mezcla.

$b_i$ : Fracción volumétrica o molar.

$M_i$ : Peso molecular del gas componente.

$T_{c_i}$ : Temperatura crítica del gas componente.

$\mu_i$ : Viscosidad del gas componente.

Para la presente, el diseño del secador se lo hará bajo condiciones estándar. Los valores de viscosidad no varían apreciablemente entre 0°C a 25°C (32°F a 77°F) por lo cual bien se puede utilizar tablas con valores de viscosidad para componentes a 32°F, tal como se muestra en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Viscosidad de los gases a 32°F.

GAS	$\mu \times 10^{-6} \text{ lbr}/\text{ft} - \text{seg}$	$\sqrt{MT_c}$
Aire	11.449	61.99
CH <sub>4</sub>	6.84	55.00
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	5.77	96.00
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	5.03	128.00
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	4.63	157.00
CO <sub>2</sub>	7.28	116.00

**Fuente:** HARNING, F. Transporte de fluidos por tuberías, España, 1975.

<sup>28</sup> HARNING, F. Transporte de fluidos por tuberías, España, 1975.

### 2.10.6 FRACCIONES MÁSICAS Y VOLUMÉTRICAS DE UNA MEZCLA AIRE-GAS

En los quemadores se trabaja con mezclas aire-gas de diversos porcentajes, de los cuales es necesario conocer las fracciones tanto másicas como molares o volumétricas de los componentes. En función de la relación másica aire/combustible ( $r_{a/c}$ ) y el porcentaje de aire primario “ $\alpha$ ”. De lo cual se obtiene:

$$m_a = \frac{\alpha r_{a/c}}{\alpha r_{a/c} + 1}; \quad m_c = \frac{1}{\alpha r_{a/c} + 1}$$

Donde:

$m_a$ : Fracción másica del aire.

$m_c$ : Fracción másica del combustible.

$\alpha$ : Porcentaje del aire primario.

$r_{a/c}$ : Relación estequiométrica aire/combustible.

Conociendo las fracciones másicas se puede determinar las fracciones volumétricas, entonces:

$$b_a = \frac{\alpha r_{a/c} M_c}{\alpha r_{a/c} M_c + M_a}; \quad b_c = \frac{M_a}{\alpha r_{a/c} M_c + M_a} \quad [\text{Ec. 2.27}]$$

Donde:

$M_a, M_c$  = pesos moleculares del aire y combustible respectivamente.

### 2.10.7 LÍMITES DE INFLAMABILIDAD

Una mezcla (gas-aire-combustible) es inflamable si se puede propagar la llama, la misma que es iniciada por un estímulo externo.

#### 2.10.7.1 Límite inferior de inflamabilidad

Representa el porcentaje de gas, más pequeño mezclado con aire, el cual se oxidará sin la continua aplicación de calor de una fuente exterior.

### 2.10.7.2 Límite superior de inflamabilidad

Es el porcentaje de gas, más grande mezclado con aire, de tal manera que el combustible actúa como diluyente y la combustión no puede autopropagarse.

Los límites de inflamabilidad se ven afectados por.

- Temperatura
- Presión
- La forma y el tamaño del recipiente
- La presión de polvo metálico (impurezas) en la mezcla combustible.

Los ítems a y b son los de mayor importancia.

### 2.10.8 PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL LPG

El gas licuado de petróleo (LPG) es un combustible que se obtiene de dos procesos coordinados, “destilación combinada y craqueo térmico”, del petróleo cuya composición química aproximada es:<sup>29</sup>

Propano  $C_3H_8$  70% volumen

Butano  $C_4H_{10}$  30% volumen

De los análisis aplicados al LPG se tiene las características mostradas en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Propiedades del LPG.

Poder calórico superior		[Btu/lbm]	21 396,52
Densidad		[Lbm/ft <sup>3</sup> ]	0,13925
Gravedad específica		[-]	1,823
Peso molecular		[lbm/lbmol]	51,00
Límites de inflamabilidad	Superior	[% de gas aire]	9,18
	Inferior		1,97
Fracciones másicas (mi)		[%]	$C_3H_8 = 43,2$
			$C_4H_{10} = 56,8$
Fracciones molares (bi)		[%]	$C_3H_8 = 70$
			$C_4H_{10} = 30$

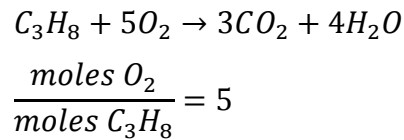
**Fuente:** HARNING, F. Transporte de fluidos por tuberías, España, 1975.

<sup>29</sup> HARNING, F. Transporte de fluidos por tuberías, España, 1975.

### 2.10.9 RELACIÓN MÁSCICA AIRE/COMBUSTIBLE DEL LPG

Esta relación se denotará como “ $r_{a/c}$ ”; y es la cantidad de aire requerida para oxidar estequiométricamente una masa unitaria de combustible.

De la ecuación química de oxidación del propano, se tiene:

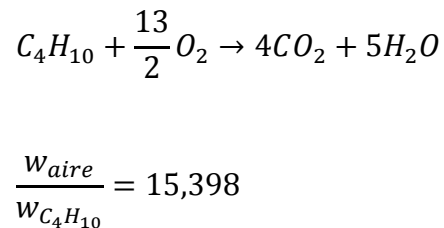


De la composición del aire, y reemplazando el valor de número de moles se tiene:

$$\frac{\frac{0,2099}{29} w_{aire}}{\frac{w_{C_3H_8}}{44,09}} = 5$$

$$\frac{w_{aire}}{w_{C_3H_8}} = 15,613$$

De la combustión estequiométrica del butano se tiene:



La cantidad de aire necesario para producir una combustión completa con el LPG, es:

$$w_a = 15,61 w_{C_3H_8} + 15,398 w_{C_4H_{10}}$$

Si se divide para la masa de LPG, queda:

$$\frac{w_{aire}}{w_{GLP}} = 15,61 m_{C_3H_8} + 15,398 m_{C_4H_{10}}$$

De la tabla 2.4.

$$\frac{w_{aire}}{w_{GLP}} = 15,61(0,4313) + 15,398(0,568)$$

$$r_{a/c} = 15,39$$

## 2.11 TIEMPO DE SECADO

El tiempo de secado se determina a partir de la curva de la velocidad de secado, figura 2.12.

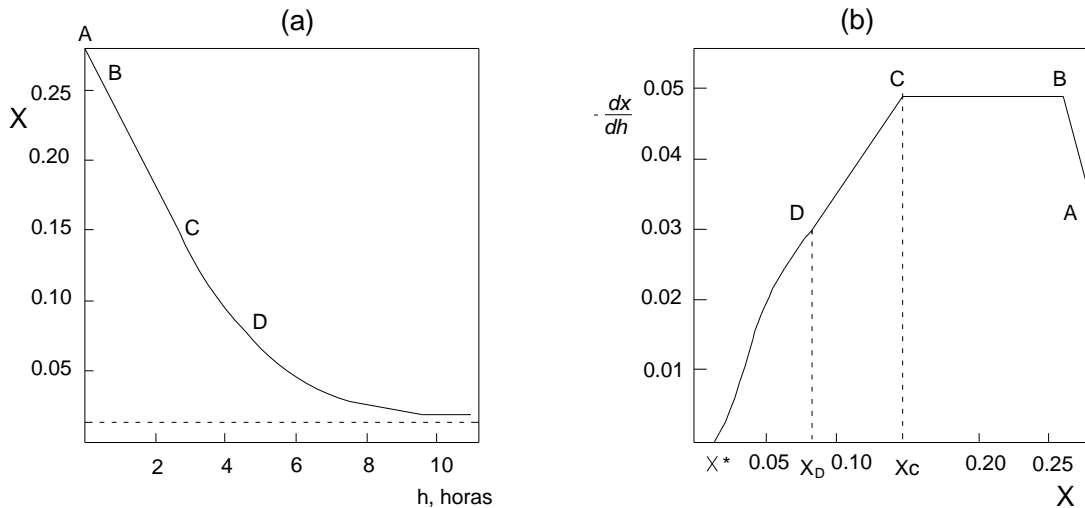


Figura 2.12 Curvas de secado.

**Fuente:** VIAN, Elementos de Ingeniería Química, 5ta. Edición, 1976, pág.485.

En la figura 2.12a la humedad disminuye continuamente desde el valor inicial (punto A) y finalmente se aproxima como límite a la humedad de equilibrio que corresponde a las condiciones del aire. Por diferenciación gráfica o tabular se obtiene la curva de la figura 2.12b (curva de velocidad de secado), en la que aparecen varios tramos: el AB correspondiente al llamado período de inducción, en el que el mecanismo de secado no ha llegado a estabilizarse; sigue después un periodo (tramo BC) que se caracteriza por la constancia de velocidad de secado; al alcanzarse la humedad crítica (punto C) la velocidad de secado empieza a disminuir, alcanzando prácticamente el valor 0 cuando la humedad libre se anula (o sea cuando la humedad del material es igual a la de equilibrio con el aire de secado).

Se distinguen dos periodos importantes: el período de velocidad constante (tramo BC) y periodo de velocidad decreciente (tramo CD).

El tiempo de secado puede ser estimado utilizando la siguiente ecuación:

$$t_s = \frac{m_{mf}}{A_{tc}R_c} \left( \phi_i - \phi_c + \phi_c \ln \frac{\phi_c}{\phi_f} \right)^{30} \quad [\text{Ec. 2.28}]$$

Donde:

$t_s$ : Tiempo de secado, [h]

$m_{mf}$ : Masa de granos de maíz “secos”, [kg]

$A_{tc}$ : Área de transferencia de calor, [m<sup>2</sup>]

$R_c$ : Velocidad de secado en el periodo de velocidad constante, [kg/m<sup>2</sup>·h]

$\phi_i$ : Humedad inicial del maíz, [%]

$\phi_c$ : Humedad crítica del maíz, [%]

$\phi_f$ : Humedad final del maíz, [%]

---

<sup>30</sup> McCabe. W, Operaciones unitarias de Ingeniería Química, 2007, pág. 849



## **CAPÍTULO III**

### **3 ANÁLISIS DE CAMPO**

El capítulo establece el análisis de campo en el cantón Ventanas provincia de Los Ríos sobre los secadores existentes en esta localidad. Se realiza una descripción de dos centros de secado específicos, el primero llamado “Comercial Peña”, donde se levantó la información del proceso de secado y de los equipos utilizados en el mismo particularmente en el secador de lecho fijo tipo circular.

En el segundo centro conocido como “Tierra Fértil”, se realizó las mediciones pertinentes específicamente en el secador de lecho fijo tipo rectangular.

Los dos tipos de secadores se toman como modelos de los demás secadores de la localidad, para conocer cuales son sus condiciones de operación y diseño.

### **3.1 DESCRIPCIÓN DE SECADORES UTILIZADOS EN EL CANTÓN VENTANAS**

En el cantón Ventanas provincia de Los Ríos, en donde existen varios centros de secado asociados, así como independientes. De la visita se pudo constatar que en éste cantón existen tipos de secadores básicos:

- 1) Secador de lecho fijo tipo rectangular.
- 2) Secador de lecho fijo tipo circular.
- 3) Secador de flujo continuo de columna.

En Ventanas los centros de secado para maíz emplean en su mayoría equipos de lecho fijo, ya sea de tipo rectangular o circular. Es por ello que el mejoramiento se va a realizar a éste tipo de secadores.

Los datos se obtuvieron en dos centros de secado, el primero llamado “Comercial Peña”, donde existen secadores en su mayoría circulares y en un segundo centro llamado “Tierra Fértil” con secadores rectangulares. Estos centros de secado facilitaron sus instalaciones para realizar el levantamiento de información.

### **3.2 CENTRO DE SECADO “COMERCIAL PEÑA”**

#### **3.2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS SECADORES DE ESTE CENTRO DE SECADO**

El centro de secado posee cinco secadores de lecho fijo de los cuales cuatro son circulares y uno rectangular. En este centro se enfoca el estudio en el secador circular, figura 3.1 y tabla 3.1.



Figura 3.1 Secadores circulares.

Fuente: Propia.

Tabla 3.1 Secadores circulares.

Secador	Diámetro (m)
1	6
2	6
3	7
4	8

Fuente: Propia.

Las mediciones se realizaron en el secador de 8 m de diámetro, figura 3.2.



Figura 3.2 Secador circular de 8 m de diámetro en funcionamiento.

Fuente: Propia.

### 3.2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE SECADO

Se distribuye el grano de maíz hasta una altura de lecho de 0,3 m, el proceso de secado se inicia poniendo en funcionamiento el ventilador y posteriormente se enciende el quemador. El secado se realizó durante 6 horas, tiempo en el que el quemador y el ventilador estuvieron en funcionamiento sin detenerse, cuando el operario considera seco el grano procede a apagar el quemador y a continuación el ventilador.

El grano permanece estático durante el tiempo de secado y no existe intervención del operario, éste solamente se encarga de realizar la medición de la humedad del grano con métodos empíricos hasta que considera que se encuentra seco. Para establecer el contenido de humedad los operarios no utilizan el humidímetro, por no poseer este equipo en el centro de secado. La consideración de cuando el grano está seco se expresa de acuerdo a la experiencia adquirida.

### 3.2.3 MEDICIONES REALIZADAS

El objetivo es mejorar los sistemas de secado existentes actualmente para disminuir el uso de combustible y tiempo de secado. La toma de datos se enfoca hacia estos fines y los equipos utilizados para las mediciones se indican en el ANEXO A.

#### 3.2.3.1 Datos iniciales

Valores iniciales obtenidos en el centro de secado antes del proceso de secado (tabla 3.2).

Tabla 3.2 Datos iniciales de secado, secador circular.

<b>Secador circular</b>	
Diámetro interior	8 [m]
Altura del lecho de granos	0,3 [m]
<b>Granos de maíz</b>	
Masa a secar	11 309 [kg]
Porcentaje de humedad inicial en base húmeda	30 [%H <sub>h</sub> ]
<b>Temperatura ambiente</b>	
Temperatura en bulbo húmedo	25 [°C]
Temperatura en bulbo seco	28 [°C]
<b>Temperatura de secado</b>	
Temperatura en bulbo seco	34 [°C]
<b>Temperatura del aire después del lecho</b>	
Temperatura en bulbo húmedo	24 [°C]
Temperatura en bulbo seco	26 [°C]

Fuente: Propia.

#### 3.2.3.2 Datos finales

La tabla 3.3 muestra los valores al final del proceso de secado; el contenido de humedad final del maíz no cumple con el requerido, de 14,5% en base húmeda.

Tabla 3.3 Datos finales de secado, secador circular.

Humedad final del maíz	16,7 [%H <sub>h</sub> ]
Tiempo de secado	6 horas

Fuente: Propia.

### 3.2.3.3 Mediciones del ventilador

El ventilador empleado en los secadores es del tipo centrífugo de construcción local, figura 3.3. Para determinar el caudal, se realizaron mediciones de la velocidad del aire a la entrada del ventilador con la ayuda de un anemómetro y se midió el área de entrada, las mediciones realizadas se indican en la tabla 3.4.



Figura 3.3 Ventilador centrífugo.

Fuente: Propia.

Tabla 3.4 Mediciones realizadas en el ventilador, secador circular.

<b>Velocidad a la entrada del ventilador</b>	
Velocidad 1 [ft/min]	2 800
Velocidad 2 [ft/min]	2 850
Velocidad 3 [ft/min]	2 750
Velocidad 4 [ft/min]	2 950
Velocidad 5 [ft/min]	2 920
<b>Entrada del ventilador</b>	
Diámetro [m]	0,96

Fuente: Propia.

De la tabla 3.4 se establece una velocidad promedio del aire de 2 854 ft/ min (14,5 m/s); y considerando el área de ingreso se obtiene un caudal de 10,5 m<sup>3</sup>/s.

Para determinar la velocidad de secado, se midieron las láminas que forma parte de la plancha perforada, estas son de medidas 2000 x 1000 x 2 mm con un diámetro de agujero de 5mm, que según el ANEXO E-I, esta plancha tiene un porcentaje perforado de 35% y se muestra en la figura 3.4.

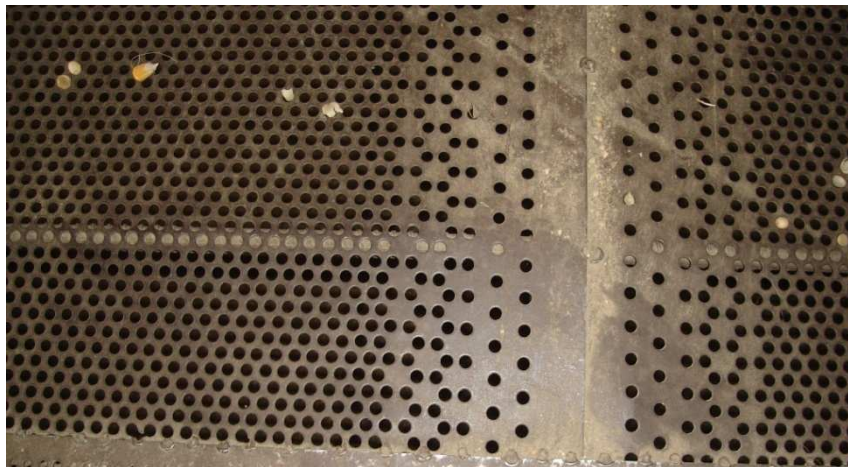


Figura 3.4 Plancha perforada.

**Fuente:** Propia.

El caudal de aire caliente de 10,5 m<sup>3</sup>/s atraviesa por todos los agujeros de la plancha perforada, por lo tanto, si se divide para el área perforada se determina una velocidad promedio del aire de secado de 1,06 m/s.

#### 3.2.3.4 Datos del motor del ventilador

El ventilador emplea un motor eléctrico cuyas características técnicas se indican en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Datos del motor del ventilador, secador circular.

<b>Motor</b>	
Marca	WEG
Potencia	20 [HP]
rpm	1 760
Factos de servicio	1,15
Voltaje	220/380/440



Hz	60
Rendimiento	90,2%
cos $\phi$	0,83

**Fuente:** Propia.

Para determinar el costo de la energía eléctrica se utilizó las tarifas proporcionadas por la Corporación Nacional de Electricidad, CNEL, que provee dicho servicio a los centros del cantón Ventanas. La tarifa activa media para el consumo de energía eléctrica es de 0,058 USD/kWh, y el costo de la demanda media es 4,129 USD/kVA mensual.

El consumo de electricidad en el tiempo del proceso de secado del motor de 20 HP utilizado en el horario que corresponde a tarifa activa media es de 5,81 USD.

### 3.2.3.5 Medidas del quemador

El quemador, de LPG, indicado en la figura 3.5 es de fabricación local y no muestra ninguna especificación, sin embargo, para medir el consumo de combustible, se observó el contador del tanque de almacenamiento de LPG, figura 3.6.



Figura 3.5 Quemador del secador circular.

**Fuente:** Propia.





Figura 3.6 Tanque de almacenamiento de LPG.

Fuente: Propia.

Del tanque de almacenamiento de LPG se establecieron los valores que muestra la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Datos del tanque de LPG, secador circular.

Capacidad	4 [m <sup>3</sup> ]
Medida inicial en el contador	52%
Medida final en el contador	48%

Fuente: Propia.

El proveedor de LPG de la zona, AUSTROGAS, en su página web tiene los valores de las propiedades del combustible mostrados en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Datos del LPG.

Densidad del líquido a 16°C	480 [kg/m <sup>3</sup> ]
Densidad del gas a 16°C	1,965 [kg/m <sup>3</sup> ]
Poder calórico superior	13,89 [kWh/kg]

Fuente: <http://www.austrogas.com.ec>

El tanque tiene al inicio del secado 52% de líquido y 48% de gas y al final del secado el contador muestra 48% de líquido y 52% de gas, con lo que se tiene un consumo de gas de 81,12 kg.

El costo del LPG, proporcionado en la administración de este centro de secado, es de 0,297679 USD/kg, entonces el costo del combustible para el proceso de secado es de 24,15 USD.

### **3.2.4 COSTO DE ENERGÍA DEL SECADO**

La energía que consume el secador para secar 11 309 kg en un tiempo de 6 horas es energía eléctrica del motor del ventilador con un costo de 5,81 USD y combustible LPG del quemador con un costo de 24,15 USD. El costo de energía es 29,96 USD. El costo de energía para el secado es 2,65 USD/t.

### **3.2.5 PROBLEMAS DEL PROCESO DE SECADO**

#### **3.2.5.1 Deficiente distribución de aire**

##### *3.2.5.1.1 Estado actual*

El secador debe presentar una expansión gradual en el ducto para la distribución del aire de secado, lo que no se observa en este tipo de secadores, según se indican en las figuras 3.7 y 3.8.



Figura 3.7 Configuración actual de la distribución del aire de secado en el secador circular (sin expansión gradual).

Fuente: Propia.

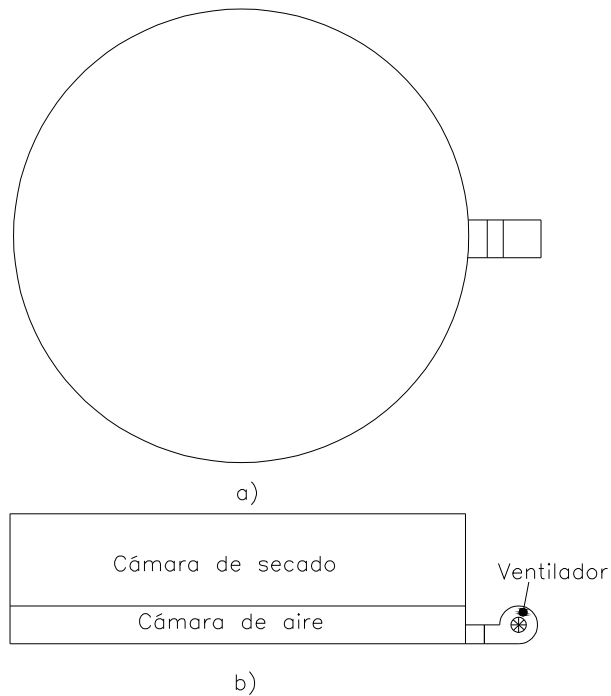


Figura 3.8 Configuración actual de la distribución del aire de secado en el secador circular, a) vista superior, b) vista lateral.

Fuente: Propia.

### 3.2.5.1.2 Posible solución

Debe establecerse una expansión gradual, la misma que conectará el ventilador con la cámara de distribución de aire, figura 3.9. Esta expansión podría construirse de mampostería o de plancha de acero.

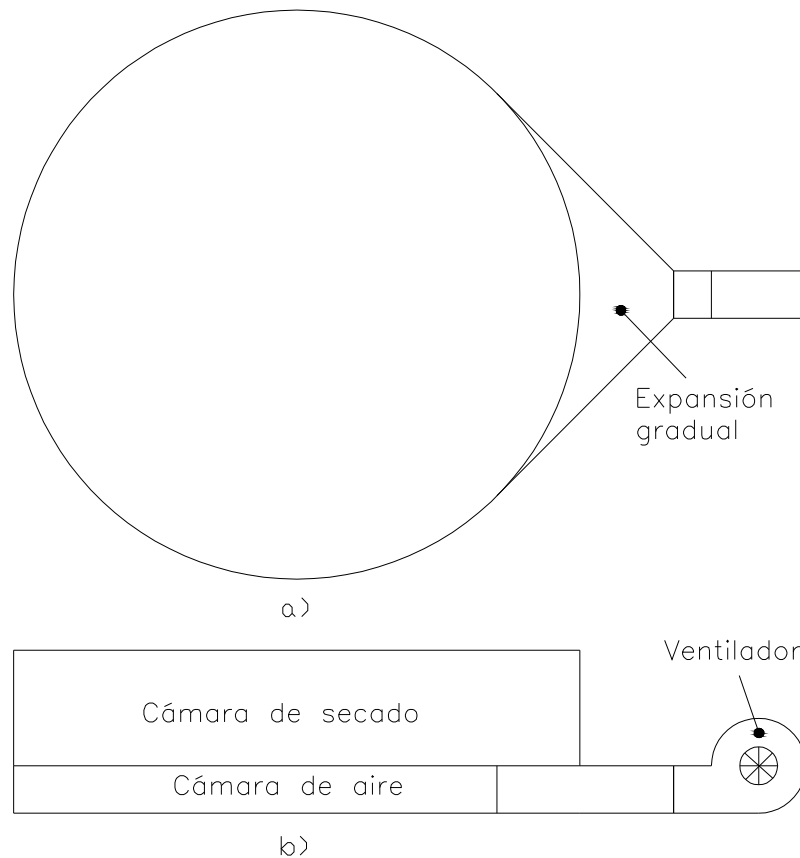


Figura 3.9 Distribución de aire con expansión gradual para el secador circular a) vista superior, b) vista lateral.

**Fuente:** Propia

## 3.2.5.2 Pérdida de calor a los alrededores

### 3.2.5.2.1 Estado actual

El quemador no dispone de una cámara de combustión que permita desarrollar y aislar la llama, produciéndose pérdidas en la combustión y transferencia de calor con los alrededores.



Figura 3.10 Quemador sin cámara de combustión.

**Fuente:** Propia

La figura 3.10 permite observar que la llama no se desarrolla adecuadamente, debido a que el quemador no está provisto de su cámara de combustión, y el ventilador succiona a la llama a una velocidad tal que no permite que todo el gas se combusione.

El tipo de quemador y su combustión además de influir en el tiempo de secado también produce deterioro del ventilador disminuyendo su vida útil (figura 3.11).



Figura 3.11 Oxidación en el ventilador y quemador

**Fuente:** Propia

#### 3.2.5.2.2 *Posible solución*

Diseñar y construir una cámara de combustión para el quemador para controlar la combustión y tener una llama completamente desarrollada, figura 3.12.

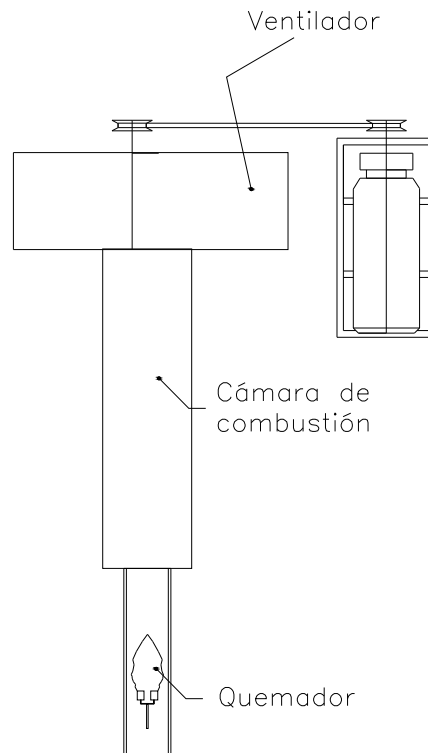


Figura 3.12 Quemador con cámara de combustión, vista superior.

Fuente: Propia

### 3.3 CENTRO DE SECADO “TIERRA FÉRTIL”

#### 3.3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS SECADORES DE ESTE CENTRO DE SECADO

El centro de secado Tierra Fértil dispone de dos secadores de lecho fijo tipo rectangular, figuras 3.13 y 3.14. Las dimensiones de los secadores se indican en la tabla 3.8.





Figura 3.13 Primer secador de lecho fijo rectangular.

Fuente: Propia.



Figura 3.14 Segundo secador de lecho fijo rectangular.

Fuente: Propia.



Tabla 3.8 Secadores rectangulares.

Secador	Largo (m)	Ancho (m)
1	8,64	3,3
2	11,8	3,64

Fuente: Propia.

### 3.3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE SECADO

El proceso de secado duró 11 horas, con los procedimientos siguientes:

- 1) Se pone en funcionamiento el ventilador y a continuación se enciende el quemador.
- 2) Después de cinco horas se apaga el quemador, funciona solo el ventilador.
- 3) Un operario ingresa al secador a mover el grano con una pala de madera aproximadamente 2 horas.
- 4) Se enciende el quemador por aproximadamente 4 horas.
- 5) Se apaga el quemador y el ventilador terminando el proceso de secado.

Igual que el centro de secado “Comercial Peña”, éste centro no posee de un humidímetro para verificar el contenido de humedad del grano, depende del criterio del operario si el grano se encuentra seco, con base a su experiencia.

### 3.3.3 MEDICIONES REALIZADAS

Las mediciones se realizaron en el secador número dos, tabla 3.8, los equipos utilizados en las mediciones se describen en el ANEXO A.

#### 3.3.3.1 Datos iniciales

Los datos iniciales necesarios se describen en la tabla 3.9.

Tabla 3.9 Datos iniciales de secado, secador rectangular.

Secador rectangular	
Largo	11,8 [m]
Ancho	3,64 [m]

Altura del lecho de granos	0,33 [m]
<b>Granos de maíz</b>	
Masa a secar	10 630,62 [kg]
Porcentaje de humedad inicial en base húmeda	30 [%H <sub>h</sub> ]
<b>Temperatura ambiente</b>	
Temperatura en bulbo húmedo	25 [°C]
Temperatura en bulbo seco	28 [°C]
<b>Temperatura de secado</b>	
Temperatura en bulbo seco	34 [°C]
<b>Temperatura del aire después del lecho</b>	
Temperatura en bulbo húmedo	24 [°C]
Temperatura en bulbo seco	26 [°C]

Fuente: Propia.

### 3.3.3.2 Datos finales

La tabla 3.10 indica los valores al final del proceso de secado. El porcentaje de humedad es mayor al requerido para el almacenamiento y comercialización como sucede con el secador circular.

Tabla 3.10 Valores finales de secado, secador rectangular.

Humedad final del maíz	15,7 [%H <sub>h</sub> ]
Tiempo de secado	11 horas

Fuente: Propia.

### 3.3.3.3 Mediciones del ventilador

El ventilador es similar al del secador circular; se realizaron mediciones de la velocidad del aire a la entrada del ventilador con la ayuda de un anemómetro y se determinó el área de entrada. Las mediciones realizadas se indican en la tabla 3.11.

Tabla 3.11 Mediciones realizadas en el ventilador, secador rectangular.

<b>Velocidad a la entrada del ventilador</b>	
Velocidad 1 [ft/min]	2 400
Velocidad 2 [ft/min]	2 300
Velocidad 3 [ft/min]	2 800
Velocidad 4 [ft/min]	2 850

Velocidad 5 [ft/min]	2 600
<b>Entrada del ventilador</b>	
Diámetro [m]	0,6

Fuente: Propia.

Con base a las mediciones se establece la velocidad promedio del aire de 2 590 ft/ min (13,16 m/s), y de acuerdo al diámetro por donde ingresa se obtiene un caudal de 3,72 m<sup>3</sup>/s.

La plancha perforada donde se tiene el lecho de grano es similar a la que se muestra en la figura 3.4, con la diferencia en que las medidas son de 2000 x 1000 x 1 mm con un diámetro de agujero de 4mm, que según el ANEXO E-I, esta plancha tiene un porcentaje perforado de 40%.

Tomando en cuenta estos datos y dividiendo el caudal para el área perforado se determina que la velocidad de secado es 0,22 m/s.

#### 3.3.3.4 Datos del motor del ventilador

El motor eléctrico presenta las características técnicas indicadas en la tabla 3.12.

Tabla 3.12 Datos del motor del ventilador.

<b>Motor</b>	
Marca	WEG
Potencia	10 [HP]
rpm	1 735
Factos de servicio	1,15
Voltaje	220/440
Hz	60
cos φ	0,97

Fuente: Propia.

El consumo de electricidad durante el proceso de secado del motor de 10 HP utilizado en el horario que corresponde a tarifa activa media es de 5,32 USD.

### 3.3.3.5 Quemador

El quemador del secador es de construcción similar al que se indicó anteriormente y los valores de consumo de LPG se determinaron a través del contador del tanque de almacenamiento, tabla 3.13.

Tabla 3.13 Datos del tanque de LPG, secador rectangular.

Capacidad	4 [m <sup>3</sup> ]
Medida inicial en el contador	90%
Medida final en el contador	84%

Fuente: Propia.

Con base a la tabla 3.13 se obtiene que el consumo de combustible es 121,69 kg, el costo del LPG es de 0,297679 USD/kg;<sup>31</sup> siendo el costo del combustible para el proceso de secado de 36,22 USD.

### 3.3.4 COSTO DE ENERGÍA DEL SECADO

La energía que consume el secador para secar 10 630,62 kg en un tiempo de 11 horas es energía eléctrica del motor del ventilador con un costo de 5,32 USD y combustible LPG del quemador con un costo de 36,22 USD. El costo de energía es 41,54 USD. El costo de energía para el secado es 3,91 USD/t.

### 3.3.5 PROBLEMAS CON EL PROCESO DE SECADO

Los problemas que se tienen en este centro son similares a los mencionados en el secador circular, y se describen a continuación.

#### 3.3.5.1 Deficiencia en la distribución de aire

<sup>31</sup> Valor proporcionado por la administración del centro de secado.

### 3.3.5.1.1 Estado actual

No existe una expansión gradual que ayude a distribuir y contralar la velocidad del aire que sale del ventilador como se muestra en las figuras 3.15 y 3.16.



Figura 3.15 Configuración actual de la distribución del aire de secado en el secador rectangular (sin expansión gradual).

Fuente: Propia.

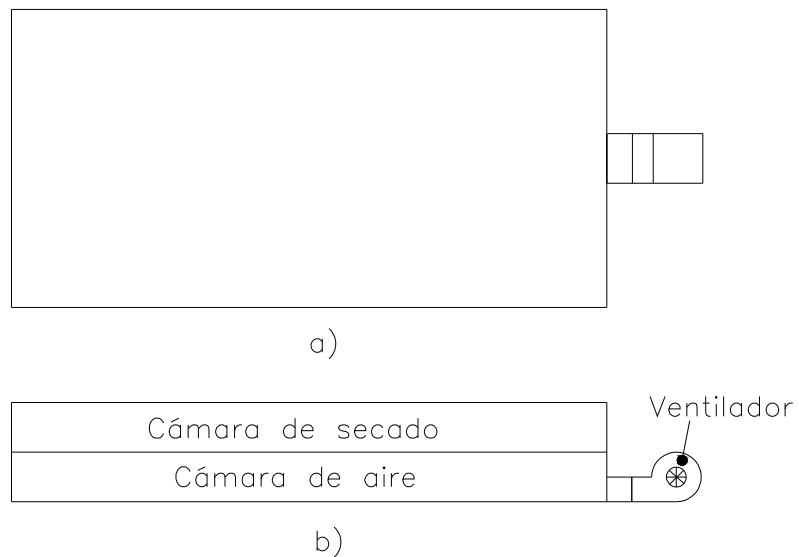


Figura 3.16 Configuración actual de la distribución del aire de secado en el secador rectangular a) vista superior, b) vista lateral.

Fuente: Propia.

### 3.3.5.1.2 Posible solución

Establecer de una distribución de aire mediante una expansión gradual, figura 3.17.

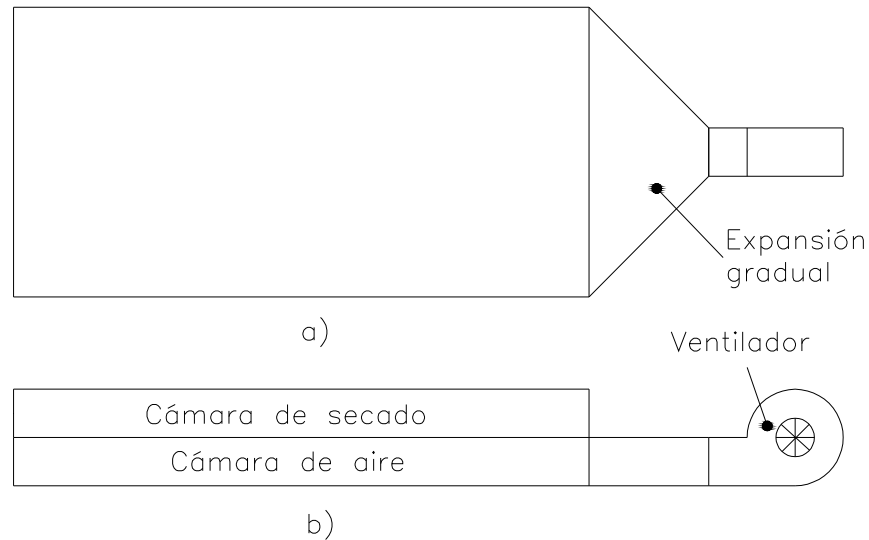


Figura 3.17 Distribución de aire con expansión gradual para el secador rectangular a) vista superior, b) vista lateral.

Fuente: Propia.

## 3.3.5.2 Pérdida de calor a los alrededores

### 3.3.5.2.1 Estado actual

El quemador no posee una cámara de combustión como se indicó en el secador circular, por lo que son válidas las mismas observaciones.

Varios centros de secado en Ventanas utilizan secadores de lecho fijo con el mismo principio de funcionamiento, es decir, que cualquier innovación a este tipo de secador beneficia a muchos centros de secado.

### 3.3.5.2.2 Posible solución

Se plantea como solución la misma que del secador circular, establecer una cámara de combustión para el quemador.

### **3.4 PROPUESTAS SELECCIONADAS PARA EL MEJORAMIENTO**

En general las propuestas para lograr el mejoramiento del sistema de secado son:

- **Expansión gradual a la distribución de aire**

Se establecerá la adición de una expansión gradual con lo que se deberá calcular la caída de presión que debe vencer el ventilador, además se tomará en cuenta la teoría existente para cualquier cambio que se deba realizar.

- **Cámara de combustión**

Se diseñará una cámara de combustión para el quemador.

- **Sistema de movimiento de grano**

Se diseñará un sistema de paletas agitadoras para proveer de movimiento al grano de maíz, buscando un secado uniforme y que el coeficiente de convección aumente, logrando una mayor velocidad de transferencia de calor y por lo tanto una disminución del tiempo de secado.

- **Aumentar la velocidad de secado**

Se aumentará la velocidad de secado.

- **Aumentar la temperatura de secado**

Se aumentará la temperatura de secado.

### 3.5 ACOTACIÓN FINAL

No solamente el proceso de secado presenta deficiencia, también existen problemas en la forma de construir y los materiales utilizados en el secador. La figura 3.18 muestra que el maíz contra la pared ha logrado que la puerta pandee, provocando la salida del maíz almacenado.



Figura 3.18 Puerta del secador pandeada

**Fuente:** Propia.



## **CAPÍTULO IV**

### **4 DISEÑO DE UN SECADOR RECTANGULAR Y UN CIRCULAR DE LECHO FIJO Y SISTEMA DE MOVIMIENTO**

Se realiza el diseño del secador de lecho fijo rectangular y circular con base a condiciones iniciales y parámetros necesarios, que fueron tomados del análisis de campo, teoría y criterios de varios autores especializados en el tema.

Se describe la condición, parámetros y datos para el diseño, con éstos y con mediciones realizadas en el análisis de campo se efectúa el diseño y selección de cada uno de los elementos que conforman los secadores, con el objeto de mejorar el tiempo de secado y consumo de energía.

Se analiza y diseña un sistema de mecánico de paletas agitadoras para mover el lecho del secador tipo circular. Este sistema tiene como objetivo mejorar el sistema de secado.

## **4.1 DISEÑO DE UN SECADOR DE LECHO FIJO TIPO RECTANGULAR**

### **4.1.1 CONDICIÓN, PARÁMETROS Y DATOS PARA EL DISEÑO**

- **Condición**

Secar aproximadamente 10 toneladas métricas de maíz en un secador de lecho fijo tipo rectangular para el cantón Ventanas, disminuyendo el tiempo de secado y el consumo de energía. Finalmente obtener un producto con un contenido de humedad en base húmedo de alrededor de 14,5%.

- **Parámetros**

Los parámetros que se van a utilizar para el diseño del secador son:

- Velocidad de secado, que para el secado de granos se recomienda que este comprendida entre 0,25 y 2,5 m/s.<sup>32</sup>
- Temperatura de secado, que para el maíz destinado para el consumo es de máximo 60°C.<sup>33</sup>

- **Datos**

Los datos que se utilizarán en el diseño se indican en la tabla 4.1.

---

<sup>32</sup> GUACHAMÍN C., Diseño de un secador de cacao fino, Proyecto previa a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, Escuela Politécnica Nacional, 2007, pág. 63.

<sup>33</sup> FAO, Arias C., Manual de Manejo Poscosecha de Granos a Nivel Rural, Santiago, Chile, 1993, pág. 159.

Tabla 4.1 Datos para el diseño.

<b>Maíz</b>	
Ángulo de rozamiento contra la pared: <sup>34</sup>	$\Phi' = 18^\circ$
Ángulo de rozamiento interno del maíz: <sup>35</sup>	$\Phi = 27^\circ$
Densidad del maíz: <sup>35</sup>	$\rho_m = 750 \text{ kg/m}^3$
Diámetro equivalente efectivo final del maíz: <sup>36</sup>	$D_{mf} = 0,007 \text{ m}$
Diámetro equivalente efectivo inicial del maíz: <sup>38</sup>	$D_{mi} = 0,012 \text{ m}$
Humedad crítica del maíz: <sup>37</sup>	$\phi_c = 18,2 \%$
Humedad de equilibrio del maíz a condiciones iniciales del ambiente: <sup>38</sup>	$\phi_e = 14,5 \%$
Humedad final del maíz: <sup>39</sup>	$\phi_f = 14,5\%$
Humedad inicial del maíz: <sup>38</sup>	$\phi_i = 30\%$
Porcentaje de espacios vacíos: <sup>40</sup>	$\varepsilon = 30\%$
<b>Condiciones ambientales<sup>41</sup></b>	
Temperatura ambiente de bulbo seco:	$T_{ahs} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
Temperatura ambiente de bulbo húmedo:	$T_{abh} = 28,2 \text{ }^\circ\text{C}$
Humedad relativa del ambiente:	$\phi_a = 79 \%$
<b>Acero</b>	
Densidad de acero:	$\rho_{ac} = 7\,850 \text{ kg/m}^3$
Esfuerzo a la fluencia acero A-36:	$S_y = 2\,536,37 \text{ kg/cm}^2$
Módulo de elasticidad del acero:	$E = 2 \times 10^{10} \text{ kg/m}^2$

Fuente: Propia.

<sup>34</sup> RAVENET J., Silos, Editores Técnicos Asociados, Barcelona, 1982. Tabla 59.

<sup>35</sup> FAO, Arias C., Manual de Manejo Poscosecha de Granos a Nivel Rural, Santiago, Chile, 1993, pág. 233.

<sup>36</sup> Análisis de campo.

<sup>37</sup> Estudio de la cinética del secado de granos, Centro de Investigación de energía, pág. 62.

<sup>38</sup> FAO, De Dios Carlos, Secado de granos y secadoras.

<sup>39</sup> FAO, Arias C., Manual de Manejo Poscosecha de Granos a Nivel Rural, Santiago, Chile, 1993, pág. 184.

<sup>40</sup> [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lim/carvajal\\_v\\_li/capitulo6.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/carvajal_v_li/capitulo6.pdf)

<sup>41</sup> [www.freemeteo.com](http://www.freemeteo.com)

#### 4.1.2 DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DEL SECADOR

Las dimensiones del secador están de acuerdo a la capacidad de secado, que en éste caso es alrededor de 10 toneladas métricas; se inicia considerando los siguientes dos casos:

- 1) Utilizar las dimensiones de un secador de este tipo existente en el cantón Ventanas.

Las medidas de la cámara de secado del secador existente aproximadamente son:

Largo = 11,8 [m]

Ancho = 3,64 [m]

En este secador se utiliza una altura de lecho de granos de 0,33 m, con lo que, de acuerdo al largo y ancho del secador y a la densidad del maíz, se tiene una masa de maíz a secar de 10631 kg.

- 2) Definir las dimensiones de acuerdo a recomendaciones de la FAO.

En la tabla 4.2 se muestra las dimensiones recomendadas para la construcción de un secador rectangular de lecho fijo, las cuales se recomiendan en base a láminas o planchas perforadas de 2 x 1 m, que es la medida estándar existente en el mercado.

Tabla 4.2 Dimensiones del secador de lecho fijo. Recomendaciones.

Tamaño del secador	Dimensiones	
	Largo (m)	Ancho (m)
1	6	4
2	5	4
3	6	3
4	5*	3
5	4	3
6	4*	2,5

\* Tamaño para el cual es necesario cortar la chapa perforada de 2x1 m.

**Fuente:** FAO, Arias C., Manual de Manejo Poscosecha de Granos a Nivel Rural, Santiago, Chile, 1993, pág. 139.

En la tabla 4.2 se observa que existen varios tamaños de secador, pero, además se recomienda que la altura máxima del lecho de granos sea de 0,5 m,<sup>42</sup> con lo que se tiene que ninguno de estos secadores tiene la capacidad de secar aproximadamente 10631 kg.

Por lo tanto, el secador tendrá las dimensiones aproximadas a la del secador existente en la localidad.

Este tipo de secador es construido en el cantón Ventanas de mampostería, para este proyecto se mantendrán las principales características constructivas locales.

#### 4.1.3 SELECCIÓN DE LA PLANCHA PERFORADA

La plancha perforada soporta la presión vertical o presión sobre el fondo producida por la masa de granos de maíz. Durante el secado la cámara se llena hasta una altura de 0,33 m, sin embargo, después del secado la cámara de secado se llena completamente, usándose para almacenar el maíz, por lo tanto se partirá del segundo caso debido a que esta presión será mayor, tal como se muestra en la figura 4.1.

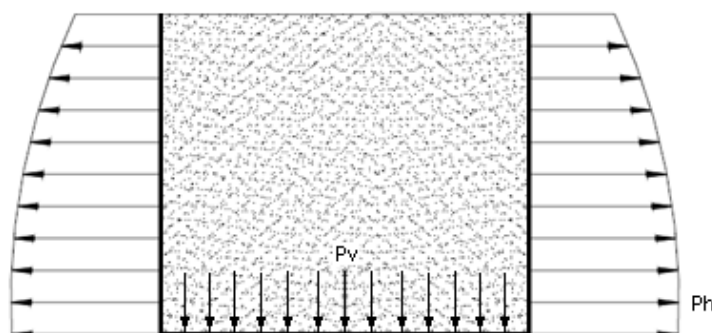


Figura 4.1 Distribución de presión en la cámara de secado.

Fuente: Propia.

<sup>42</sup> FAO, Arias C., Manual de Manejo Poscosecha de Granos a Nivel Rural, Santiago, Chile, 1993, pág. 139.

Para determinar el espesor de plancha perforada se debe calcular la presión máxima que puede existir sobre las paredes de la cámara de secado, ésta es la presión lateral de PLATONOV y su ecuación es:<sup>43</sup>

$$P_{hP} = 2,32 P_{hJ} = 733,31 \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$$

La presión lateral que producen los granos en las paredes de la cámara de secado se determina mediante la siguiente ecuación:<sup>44</sup>

$$P_{hJ} = \frac{\rho_m R_h}{\mu'} \left( 1 - e^{-\frac{\mu' k_H}{R_h}} \right) = 316,08 \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$$

La presión vertical se determina con la relación entre la presión lateral y la presión vertical:

$$P_v = \frac{P_{hP}}{k} = 1\,950,29 \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$$

Mediante sumatoria de fuerzas que se ejerce sobre la plancha perforada, se determina el espesor de la misma:

$$e_{pp} \geq \frac{0,77 \times D_{is} \times P_v}{2 \times \sigma_{adm}}$$

Del cálculo mostrado en el ANEXO B-I, se obtiene que el espesor de la plancha perforada debe ser mayor a 1 mm.

Además la FAO expone que la lámina puede ser de 1,5 mm de espesor, debe tener perforaciones que permitan el paso del aire de secado y estas deben ser circulares en un mínimo del 10 por ciento de su superficie total,<sup>45</sup> otro autor enuncia que el diámetro de los orificios no debe ser superior a 6 mm, y la distancia entre centros no debe superar los 20 mm.<sup>46</sup>

<sup>43</sup> <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3180/1/31298-4.pdf>

<sup>44</sup> RAVENET J., Silos, Editores Técnicos Asociados, Barcelona, 1977, pág. 8.

<sup>45</sup> FAO, Arias C., Manual de Manejo Poscosecha de Granos a Nivel Rural, Santiago, Chile, 1993, pág. 138.

<sup>46</sup> COSTALES, R., Tesis previa a la obtención del título de ingeniero mecánico en la especialización de ingeniería mecánica, Estudio del secado de granos mediante fluidización, 1995, pág. 58.

Por lo tanto, de acuerdo a los cálculos realizados y criterios de autores, la plancha perforada que seleccionada es de 3 mm de espesor con agujeros de diámetro 3 mm y un porcentaje de área perforada de 23%, ANEXO E-I.

#### 4.1.3.1 Diseño de la estructura soporte para la plancha perforada

La plancha perforada debe soportarse por medio de una estructura la misma que debe ser lo más simple posible y no se convierta en un obstáculo para la distribución del aire de secado. El material que se va a utilizar para el soporte será varilla de construcción ya que éste permite la distribución en la cámara de aire así como en la plancha perforada.

La estructura soporte observada de los equipos de secado del cantón Ventanas, tienen una separación entre varillas de 0,5 m entre sí, tal como se muestra en la figura 4.2.

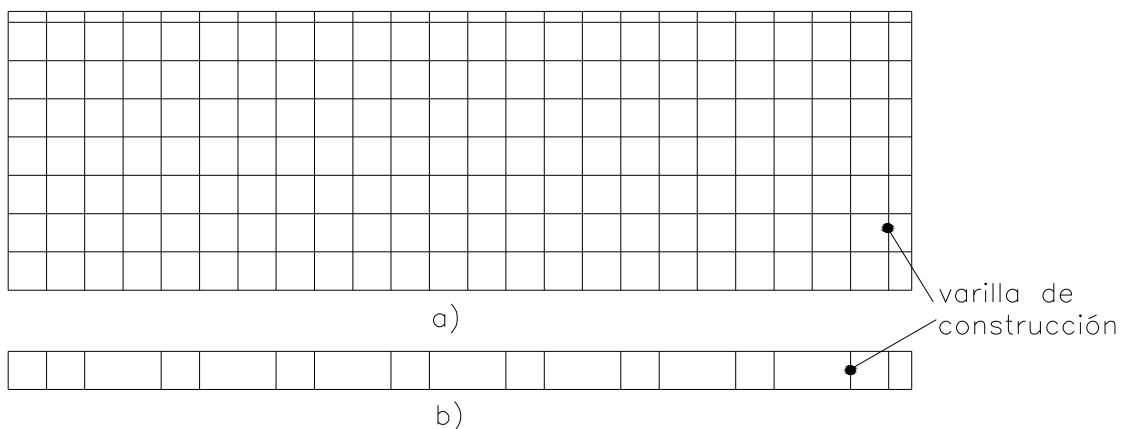


Figura 4.2 Estructura soporte a) vista superior, b) vista lateral.

**Fuente:** Propia.

La masa total que soportará la estructura es la masa de granos de maíz más la masa de la plancha perforada y la masa de la estructura soporte superior, ésta masa total también es soportada por la mampostería del secador, sin embargo, por seguridad se considera que sólo la estructura soporta toda la masa.

La masa total a soportar es  $m_t = 39\,939,05\text{ kg}$ .

La varilla trabaja como columna, para determinar su diámetro se utiliza la relación de esbeltez de un elemento sometido a compresión, que no debe exceder de 200<sup>47</sup>:

$$\lambda = \frac{kl_c}{r_{min}} = 108,33$$

El diámetro resultante de la varilla es de 12 mm. La carga crítica que soporta el material del que ésta hecho la varilla (acero A-42) es:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_{yA-42}}} = 96,95$$

Como  $\lambda > C_c$ , el esfuerzo admisible a compresión es:

$$F_a = \frac{12 \times \pi^2 \times E}{23 \times \lambda^2} = 877,58 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

El esfuerzo real a compresión es:

$$f_a = 0,85 \times F_a = 745,94 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

La carga que soporta cada columna es:

$$P_{sc} = f_a A_{sc} = 843,64 [kg]$$

El número de columnas que deben colocarse se calcula con la ecuación:

$$n_c = \frac{m_t}{P_{sc}} \cong 46$$

Del resultado obtenido se colocarán 48 columnas y se distribuyen uniformemente tal como se indica en la figura 4.3. Los cálculos se detallan en el ANEXO B-II.

---

<sup>47</sup> AISC, Manual of Steel construction, Eighth Edition, 1980, pág. 5-29.



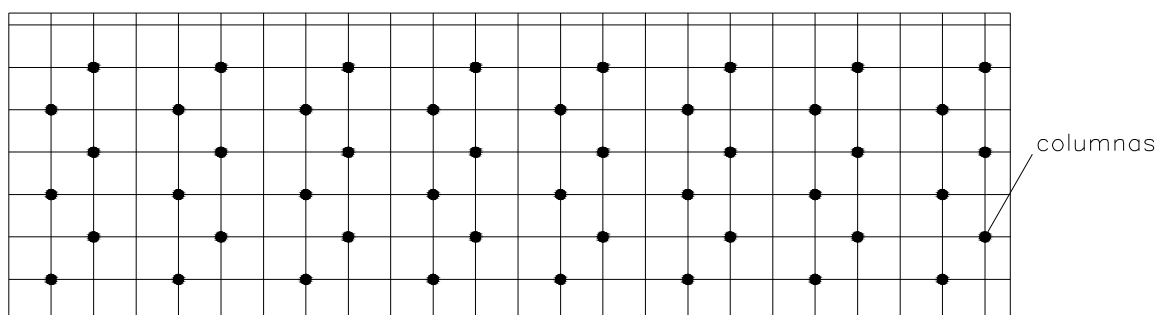


Figura 4.3 Distribución de columnas, vista superior.

Fuente: Propia.

#### 4.1.4 SELECCIÓN DEL VENTILADOR

El ventilador necesario para el secador es un ventilador centrífugo de aspas inclinadas hacia atrás debido a la presión estática que debe vencer, debe acoplarse a un motor por medio de poleas y bandas debido a la temperatura del aire de secado. Para seleccionar el ventilador es necesario conocer la caída de presión en todo el sistema y el caudal del aire.

La caída de presión y el caudal del aire es función de la velocidad de secado, la misma debe estar comprendida entre 0,25 y 2,5 m/s, la tabla 4.3 muestra la potencia del motor en función de la velocidad de secado.

Tabla 4.3 Potencia requerida del motor en función de la velocidad de secado.

Velocidad de secado [m/s]	Caudal de aire [m <sup>3</sup> /s]	Caída de presión total [Pa]	Potencia del motor requerida [HP]
0,25	2,47	156,64	0,60
0,5	4,94	224,30	1,71
1	9,88	392,70	5,98
1,5	14,82	605,20	13,82
2	19,76	861,79	26,25
2,5	24,70	1162,47	44,26

Fuente: Propia

La potencia máxima del motor debe ser 30 HP debido a que los centros de acopio no disponen de potencias eléctricas instaladas de gran capacidad. La velocidad

de secado será de 2 m/s, el cálculo de la potencia para éste caso se desarrolla a continuación.

#### 4.1.4.1 Caída de presión en la distribución de aire de secado

La configuración para la distribución del aire de secado se establece en la figura 4.4.

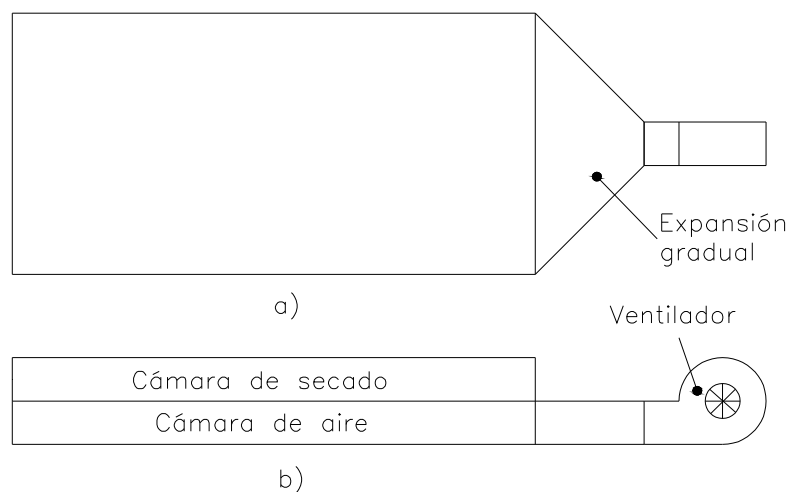


Figura 4.4 Configuración para la distribución de aire a) vista superior, b) vista lateral.

**Fuente:** Propia.

##### 4.1.4.1.1 Caída de presión en la expansión gradual

El área de secado es:

$$A_s = LA = 42,95 [m^2]$$

El área perforada es:

$$A_p = A_s \times 0,23 = 9,88 [m^2]$$

El área perforada es el área por la que va a fluir el aire de secado, por lo tanto, el caudal es:  $Q = 19,76 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$

La velocidad a la entrada de la expansión es:

$$v_{ee} = \frac{Q}{A_{ee}} = 79,04 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

La velocidad a la salida de la expansión es:

$$v_{se} = \frac{Q}{A_{se}} = 10,85 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Diámetro hidráulico a la entrada de la expansión:<sup>48</sup>

$$D_{ee} \cong \frac{4A}{p} = 0,5 \text{ [m]}$$

Diámetro hidráulico a la salida de la expansión:

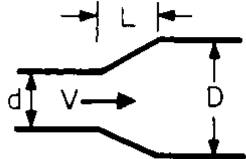
$$D_{se} = 0,879 \text{ [m]}$$

La caída de presión de determina con la siguiente ecuación:<sup>49</sup>

$$\Delta P_e = \rho_a k' \left[ 1 - \left( \frac{D_{ee}}{D_{se}} \right)^2 \right]^2 \frac{v_m^2}{2}$$

La longitud de la expansión es 1,57 m y el coeficiente k' se toma de la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Valores de k'.

	$(D-d)/2L$	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,80
	k'	0,14	0,20	0,47	0,76	0,95	1,05	1,10

**Fuente:** MARKS', Standard Handbook for Mechanical Engineers, Tenth Edition, McGraw-Hill, New York, 1996, pág. 3-51.

$$\Delta P_e = 1,085 \frac{kg}{m^3} \times 0,2 \times \left[ 1 - \left( \frac{0,5m}{0,879m} \right)^2 \right]^2 \times \frac{\left( 44,94 \frac{m}{s} \right)^2}{2} = 100 \text{ [Pa]}$$

<sup>48</sup> FOX, McDonald, Introducción a la mecánica de fluidos, McGraw-Hill, 2da. Edición, México, 1995, pág. 396.

<sup>49</sup> MATAIX, C., Mecánica de Fluidos y máquinas hidráulicas, 2<sup>da</sup> Edición, México, 1982, pág. 239

#### 4.1.4.2 Caída de presión en el lecho de granos

La caída de presión en el lecho de granos se calcula cuando existen las condiciones de mayor obstáculo para el paso del aire, este caso es cuando el grano tiene el diámetro equivalente efectivo final de 0,007 m.

El flujo de aire es:  $Mat = \rho_a Q = 21,44 \left[ \frac{kg}{s} \right]$

Reynolds es:  $Re_g = \frac{Mat D_g}{A_s \mu_a} = 179,16$

$$\Delta P_{lg} = \left( \frac{H_{lg} Re_g \mu_a^2}{\rho_a^2 D_m^3} \right) \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \left[ \left( \frac{1,24 Re_g}{1 - \varepsilon} \right) + 368 \right]$$

$$\Delta P_{lg} = \left( \frac{0,33m \times 179,16 \times \left( 1,95 \times 10^{-5} \frac{N \cdot s}{m^2} \right)^2}{\left( 1,085 \frac{kg}{m^3} \right)^2 \times (0,007m)^3} \right) \times \frac{(1 - 0,3)^2}{0,3^3} \times \left[ \left( \frac{1,24 \times 179,16}{1 - 0,3} \right) + 368 \right]$$

$$\Delta P_{lg} = 692,54 [Pa]$$

#### 4.1.4.3 Caída de presión en la plancha perforada

La caída de presión en la plancha perforada es aproximadamente igual al 10% de la caída de presión en el lecho.<sup>50</sup>

$$\Delta P_{pp} = 0,1 \Delta P_{lg}$$

$$\Delta P_{pp} = 0,1 \times 692,54 Pa$$

$$\Delta P_{pp} = 69,25 [Pa]$$

<sup>50</sup> COSTALES R., Estudio del secado de granos mediante fluidización, Tesis previa al obtención del título de Ingeniero Mecánico en la especialización de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, 1995, pág. 40

#### 4.1.4.4 Caída de presión total

La caída de presión total es:

$$\Delta P_T = \Delta P_{lg} + \Delta P_{pp} + \Delta P_e$$

$$\Delta P_T = 692,54 Pa + 69,25 Pa + 100 Pa$$

$$\Delta P_T = 861,79 [Pa]$$

#### 4.1.4.5 Potencia del motor para el ventilador

$$P = Q \Delta P_T$$

$$P = 19,76 \frac{m^3}{s} \times 861,79 Pa$$

$$P = 17,02 [kW] = 22,83 [HP]$$

El factor de servicio del motor es 1,15 por lo tanto la potencia requerida es:

$$P_{req} = 22,83 \times 1,15$$

$$P_{req} = 26,25 [HP] \cong 30 [HP]$$

El ventilador debe tener las características descritas en la tabla 4.5.

Tabla 4.5 Características del ventilador.

Caudal Q	20 [m <sup>3</sup> /s]	71 136 [m <sup>3</sup> /h]
Caída de presión	862 [Pa]	88 [mm c.a.]
Potencia motor	22 [kW]	30 [HP]

Fuente: Propia.

El ventilador seleccionado es un ventilador que entrega un caudal de 44 004 ft<sup>3</sup>/min (74 763 m<sup>3</sup>/h) y vence una caída de presión estática de 3,5" c.a. (89 mm c.a.), tal como puede observarse en el ANEXO E-IV.

#### 4.1.5 TIEMPO DE SECADO

El tiempo de secado es función de la velocidad y temperatura de secado, la velocidad de secado se definió que será de 2 m/s, es decir que para disminuir el

tiempo de secado se debe aumentar la temperatura de secado, así en el análisis de campo de midió que la temperatura de secado es 34 °C, entonces para cumplir el objetivo del proyecto ésta se aumentará y asumirá que es 50°C.

El tiempo de secado se determina a partir de la curva de la velocidad de secado del maíz, que se muestra en la figura 4.5.

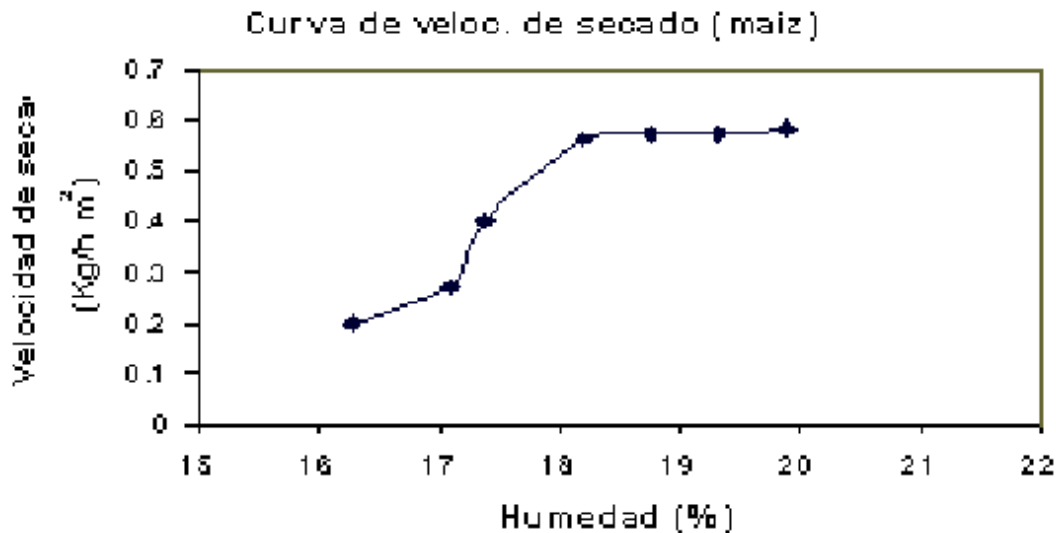


Figura 4.5 Curva de velocidad de secado del maíz.

**Fuente:** Estudio de la cinética del secado de granos, Centro de Investigación de energía, pág. 62.

La ecuación para estimar el tiempo de secado es:<sup>51</sup>

$$t_s = \frac{m_{mf}}{A_{tc}R_c} \left( \phi_i - \phi_c + \phi_c \ln \frac{\phi_c}{\phi_f} \right)$$

Donde:

$t_s$ : Tiempo de secado, [h]

$m_{mf}$ : Masa de granos de maíz "secos", [kg]

$A_{tc}$ : Área de transferencia de calor, [m<sup>2</sup>]

$R_c$ : Velocidad de secado en el periodo de velocidad constante, [kg/m<sup>2</sup>·h]

$\phi_i$ : Humedad inicial del maíz, [%]

$\phi_c$ : Humedad crítica del maíz, [%]

$\phi_f$ : Humedad final del maíz, [%]

<sup>51</sup> McCabe. W, Operaciones unitarias de Ingeniería Química, 2007, pág. 849.

Los datos de las propiedades del agua y aire a la temperatura de secado se indican en la tabla 4.6.

Tabla 4.6 Datos de las propiedades del agua y aire a 50 °C.

<b>Agua</b>	
Entalpia de vaporización a 50 °C: <sup>52</sup>	$h_{fg} = 2\,382,7 \text{ kJ/kg}$
<b>Aire de secado</b> <sup>53</sup>	
Calor específico del aire a 50 °C:	$C_p = 1,0079 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$
Coeficiente de conducción del aire a 50 °C:	$K_a = 0,028 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
Densidad del aire de secado a $T = 50^\circ\text{C}$ :	$\rho_a = 1,085 \text{ kg/m}^3$
Viscosidad dinámica del aire a 50 °C:	$\mu_a = 1,95 \times 10^{-5} \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$
Número de Prandtl a 50 °C:	$Pr = 0,70378$

**Fuente:** Propia

Volumen unitario del maíz:

$$V_m = \frac{\pi}{6} D_{mm}^3 = 4,489 \times 10^{-7} [\text{m}^3]$$

Volumen total solamente de maíz:

$$V_{Tm} = V_s(1 - \varepsilon)$$

$$V_{Tm} = 14,17 \text{ m}^3 \times (1 - 0,3) = 9,922 [\text{m}^3]$$

Numero de maíces en la cámara de secado:

$$N_m = \frac{V_{Tm}}{V_m} = \frac{9,922}{4,489 \times 10^{-7}} = 22,102 \times 10^6 [\text{maices}]$$

Área de transferencia de calor del maíz:

$$A_{tc} = N_m \pi D_{mm}^2 = 6\,266,76 [\text{m}^2]$$

Número de Reynolds:

<sup>52</sup> CENGEL Y., Termodinámica, Cuarta Edición, McGraw-Hill, México, 2003, pág. 728.

<sup>53</sup> INCROPERA F., Fundamentos de Transferencia de Calor, Cuarta Edición, Prentice Hall, México, 1999, pág. 839.

$$Re = \frac{D_{mm} v_s \rho_a}{\mu_a} = 1\,057,18$$

La ecuación para obtener el coeficiente de convección en lechos con flujo perpendicular al lecho es:<sup>54</sup>

$$Nu_D = \frac{h D_{mm}}{K} = 1,17 Re^{0,585} Pr^{1/3}$$

Donde:

$Nu_D$ : Número de Nusselt

Resolviendo la ecuación se obtiene el coeficiente de convección

$$h = 180,25 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

La velocidad de secado es:

$$R_c = \frac{h(T_s - T_{abh})}{h_{fg@T_s}} = 1,65 \times 10^{-3} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ s}} \right]$$

De la figura 4.5 se obtiene la humedad crítica del maíz que es 18,2%, entonces el tiempo total de secado es:

$$t_s = \frac{8\,706,48 \text{ kg}}{6\,266,77 \text{ m}^2 \times 1,65 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ s}}} \left( 30 - 18,2 + 18,2 \ln \frac{18,2}{14,5} \right)$$

$$t_s = 13\,418,51 \text{ [s]} = 3,73 \text{ [h]}$$

El tiempo de secado será de 3 horas y 44 minutos, este tiempo de secado es estimado y se lo debe comprobar realizando las pruebas en el secador.

En el libro “Secado de granos y secadoras” se establece la velocidad de secado a los puntos de humedad que se extraen en una hora, se expresa también que no conviene extraer más de 5 puntos/hora en el caso del maíz.<sup>55</sup> Igualmente en el

<sup>54</sup> McCabe. W, Operaciones unitarias de Ingeniería Química, 2007, pág. 850.

<sup>55</sup>



cuadro 3 del libro se observa que para disminuir la humedad de 30% a 14,5%, se debe extraer 18,32 puntos de humedad,<sup>56</sup> es decir que dividiendo los puntos totales que se debe extraer para los puntos que se pueden extraer en una hora, se tiene que el tiempo mínimo en el que se puede secar el grano es máximo 3,6 horas. Por lo tanto de acuerdo al resultado obtenido se concluye que el tiempo de secado es apropiado y la temperatura de secado que se asumió es la adecuada.

#### 4.1.6 SELECCIÓN DE LA CAPACIDAD DEL QUEMADOR

La capacidad del quemador sería la capacidad que se necesita para calentar el flujo de aire más las pérdidas calculadas y se determina mediante la ecuación:<sup>57</sup>

$$\dot{Q}_q = \dot{m}_a (h_{@T_s} - h_{@T_{abs}})$$

Donde:

$\dot{Q}_q$ : Capacidad del quemador, [kJ/s]

$\dot{m}_a$ : Flujo de aire a calentar, [kg/s]

$h_{@T_s}$ : Entalpía del aire a la temperatura de secado, [kJ/kg]

$h_{@T_{abs}}$ : Entalpía del aire a temperatura ambiente, [kJ/kg]

El flujo de aire es  $\dot{m}_a = 9,18 \left[ \frac{kg}{s} \right]$ , el cálculo desarrollado se encuentra en el ANEXO B-III.

La entalpía del aire se calcula con la siguiente ecuación:

$$h = 1.0054T + W (2501.3 + 1.8704T)$$

Donde:

T: Temperatura de bulbo seco del aire, [°C]

W: Humedad específica del aire, [kg agua/kg aire seco]

De aquí se calcula:

$$h_{@50^\circ C} = 91,78 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_{@25^\circ C} = 65,9 \text{ [kJ/kg]}$$

---

<sup>56</sup>

[http://www.fastonline.org/CD3WD\\_40/INPHO/VLIBRARY/X0028S/ES/X0028S02.HTM#5.%20MER%20DE%20SECADO](http://www.fastonline.org/CD3WD_40/INPHO/VLIBRARY/X0028S/ES/X0028S02.HTM#5.%20MER%20DE%20SECADO)

<sup>57</sup> CENGEL Y., Termodinámica, Cuarta Edición, McGraw-Hill, México, 2003.

$$\dot{Q}_q = 9,18 \frac{kg}{s} \times 25,88 \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{Q}_q = 237,58 \left[ \frac{kJ}{s} \right]$$

$$\dot{Q}_q = 810\,650,76 \left[ \frac{Btu}{h} \right] \cong 900\,000 \left[ \frac{Btu}{h} \right]$$

Se selecciona un quemador industrial para gas LPG de 900 000 Btu/h tal como se indica en el ANEXO E-V.

#### **4.1.7 CÁMARA DE COMBUSTIÓN**

De acuerdo con las dimensiones del secador y capacidad del quemador la cámara de combustión será similar a la que se establece en el plano 1.2579.003.

#### **4.1.8 COSTO DE ENERGÍA DEL SECADO**

De acuerdo al secador rectangular diseñado con las mejoras se tiene un tiempo de secado de 3,73 horas, tiempo en el que se tendrá consumo de energía eléctrica del motor del ventilador de 30 HP, que de acuerdo a la tarifa activa media se tiene un costo de 5,42 USD; y consumo de combustible LPG del quemador de 900 000 Btu/h con un costo de 21,08 USD, obteniendo un costo de energía de 26,5 USD. El costo de energía para el secado es 2,49 USD/t.

## 4.2 DISEÑO DE UN SECADOR DE LECHO FIJO TIPO CIRCULAR

Las mediciones del análisis de campo se realizaron en el secador de 8 m de diámetro, sin embargo, en la tabla 3.1 se observa que el secador de diámetro 6 m es el que existe en mayor número, y son los más utilizados en el centro de secado. Se realizará el diseño de éste secador.

### 4.2.1 CONDICIÓN, PARÁMETROS Y DATOS PARA EL DISEÑO

- **Condición**

Secar aproximadamente 6,3 toneladas métricas de maíz en un secador de lecho fijo tipo circular para el cantón Ventanas, disminuyendo el tiempo de secado y el consumo de combustible LPG. Finalmente obtener un producto con un contenido de humedad en base húmedo de alrededor de 14,5%.

- **Parámetros**

Los parámetros que se van a utilizar para el diseño del secador son:

- Velocidad de secado, que para el secado de granos se recomienda que este comprendida entre 0,25 y 2,5 m/s.<sup>58</sup>
- Temperatura de secado, que para el maíz destinado para el consumo es de máximo 60°C.<sup>59</sup>

- **Datos**

Los datos que se utilizarán en el diseño son los mismos que se mostraron en la tabla 4.1.

---

<sup>58</sup> GUACHAMÍN C., Diseño de un secador de cacao fino, Proyecto previa a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, Escuela Politécnica Nacional, 2007, pág. 63.

<sup>59</sup> FAO, Arias C., Manual de Manejo Poscosecha de Granos a Nivel Rural, Santiago, Chile, 1993, pág. 159.

#### 4.2.2 DISEÑO DE LA CÁMARA DE SECADO

El diámetro interior de la cámara de secado del secador circular es 6 m, ya los secadores de ésta medida existen en mayor número, y son los más utilizados

La altura del lecho de grano es de 0,3 m, sin embargo la altura de la cámara de secado es de 1,02 m debido a que después de realizar el secado el grano seco es almacenado en el mismo secador, además la cámara de secado de éste tipo de secador es construida de plancha de acero de medidas estándar 1,22 x 2,44 m, las misma que serán aprovechadas.

La presión que soporta la pared de la cámara de secado (plancha de acero) es la presión horizontal o presión lateral, tal como se indica en la figura 4.1.

La máxima presión que puede existir sobre la pared de la cámara de secado es la presión lateral de PLATONOV y su ecuación es:<sup>60</sup>

$$P_{hP} = 2,32 \times P_{hJ} = 640,34 \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$$

La ecuación para conocer la presión lateral que producen los granos sobre la pared de la cámara de secado es:<sup>61</sup>

$$P_{hJ} = \frac{\rho_m R_h}{\mu'} \left( 1 - e^{-\frac{\mu' k_H}{R_h}} \right)$$

Radio hidráulico del secador es:

$$R_h = \frac{D_{is}}{4} = 1,5 [m]$$

Tangente del ángulo de rozamiento del maíz contra la pared es:

$$\mu' = \tan \Phi' = 0,325$$

Relación entre presión horizontal y vertical:

<sup>60</sup> <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3180/1/31298-4.pdf>

<sup>61</sup> RAVENET J., Silos, Editores Técnicos Asociados, Barcelona, 1977, pág. 8.

$$k = \frac{1 - \sin \Phi}{1 + \sin \Phi} = 0,376$$

Presión lateral según JANSSEN es:

$$P_{hJ} = 276,01 \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$$

La ecuación para determinar el esfuerzo admisible de la plancha de acero es:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{F.S.}$$

Las planchas de acero comúnmente comercializadas son de acero tipo A-36, y con planchas de este tipo de acero se construirá la cámara de secado, por lo tanto el esfuerzo admisible del acero A-36 con un factor de seguridad de 2 es:

$$\sigma_{adm} = 1,2 \times 10^7 \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$$

El espesor de la plancha de acero es:

$$e_p \geq \frac{P_{hP} D_{is}}{2\sigma_{adm}}$$

De acuerdo a los cálculos realizados y mostrados en el ANEXO C-I el espesor de la plancha será de 3 mm para la cámara de secado.

Para evitar el pandeo de las planchas, los esfuerzos laterales deben ser absorbidos mediante la colocación de refuerzos exteriores, los mismos que se calculan a continuación.

#### 4.2.2.1 Selección de refuerzos para la cámara de secado

La cámara de secado se reforzará con perfiles de acero, los mismos que resisten la tensión producida en la plancha de acero A-36, tal como se indica en la figura 4.6.

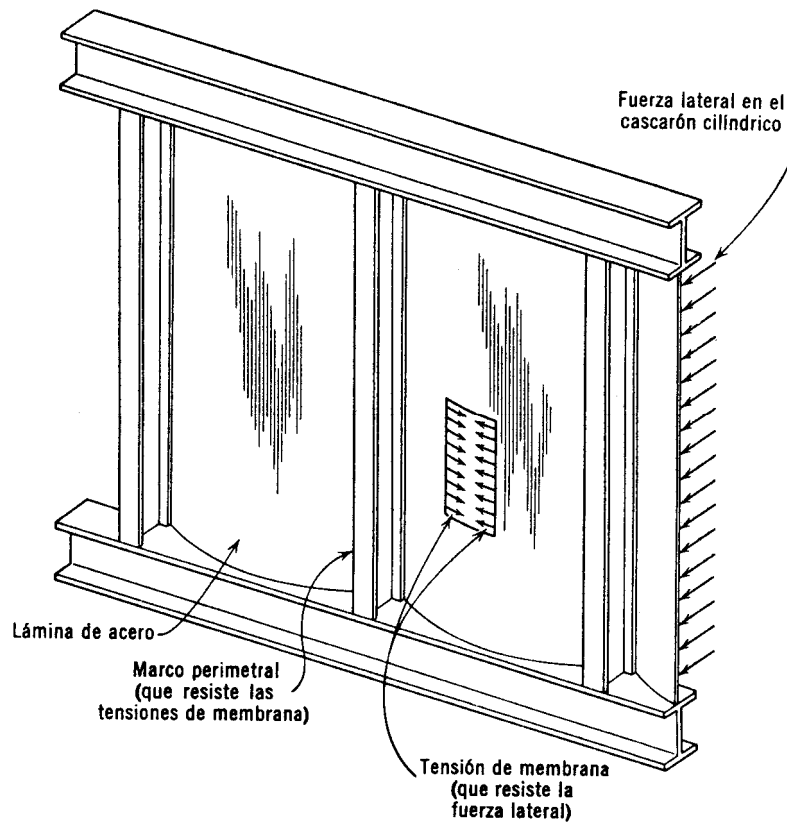


Figura 4.6 Refuerzos para la plancha de acero.

Fuente: BRESLER B., Diseño de Estructuras de Acero, 1990.

La carga total que soportan los perfiles es:

$$P_T = P_{hP} A_{lcs} = 12\,311,53 \text{ [kg]}$$

Se colocan perfiles alrededor del perímetro exterior de la cámara de secado separados aproximadamente 1 m equidistantes entre si, es decir el número total de perfiles es de 19.

La carga que soporta cada perfil es:

$$P_p = \frac{P_T}{19} = 647,98 \text{ [kg]}$$

El diagrama de la carga que soporta cada perfil se indica en la figura 4.7.

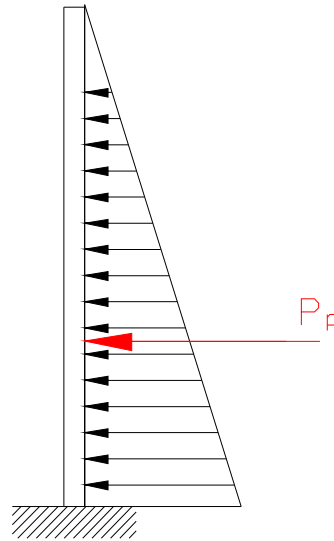


Figura 4.7 Diagrama de cuerpo libre del perfil (vista lateral).

Fuente: Propia.

El momento máximo que soporta el perfil es:

$$M_{m\acute{a}x} = P_p \frac{l_p}{3} = 220,31 \text{ [kg} \cdot \text{m]}$$

El módulo de flexión es:

$$S_{xx} \geq \frac{M_{m\acute{a}x}}{\sigma_{adm}} = 18,36 \text{ [cm}^3\text{]}$$

De los resultados obtenidos de los cálculos mostrados en el ANEXO C-II, se selecciona un perfil estructural G 100 x 50 x 15 x 3 mm que tienen un  $S_{xx} = 19,60 \text{ cm}^3$ , que puede verse en el ANEXO E-II.

### 4.2.3 SELECCIÓN DE LA PLANCHA PERFORADA

La presión vertical que soporta la plancha perforada es la misma que la mostrada en la figura 4.1.

Para conocer el espesor y seleccionar la plancha perforada se calcula de la presión vertical con la relación entre la presión horizontal y la presión vertical.

La presión vertical es:

$$P_v = \frac{P_{hP}}{k} = 1\,703,03 \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$$

Mediante sumatoria de fuerzas que se ejerce sobre la plancha perforada, se determina el espesor de la misma:

$$e_{pp} \geq \frac{0,77 \times D_{is} \times P_v}{2 \times \sigma_{adm}}$$

Del cálculo mostrado en el ANEXO C-III, y criterios descritos en el apartado 4.1.3, se selecciona la plancha perforada de 3 mm de espesor con agujeros de diámetro 3 mm y un porcentaje de área perforada de 23%, que permite ver el ANEXO E-I.

#### 4.2.3.1 Diseño de la estructura soporte para la plancha perforada

La estructura soporte observada en los equipos de secado del cantón ventanas, tienen una separación entre varillas de 0,5 m entre sí, tal como se muestra en la figura 4.8. Del cálculo realizado en el secador rectangular se determinó que la varilla de construcción para la estructura soporte es de diámetro 12 mm, ésta también se utilizará en este secador.

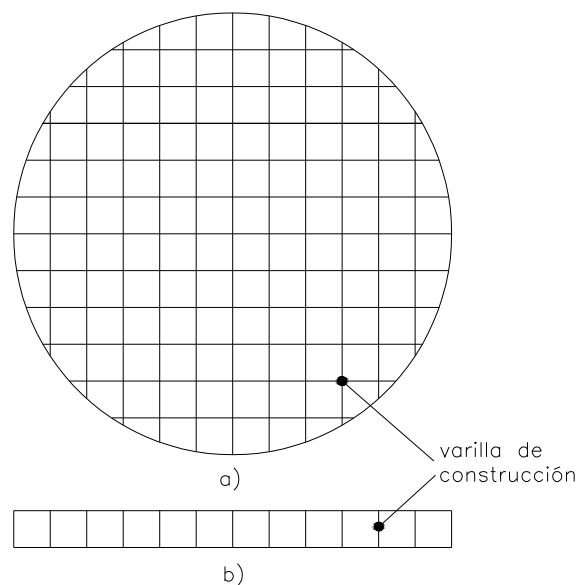


Figura 4.8 Estructura soporte a) vista superior, b) vista lateral.

Fuente: Propia.



Masa total a soportar:

$$m_t = m_{tm} + m_{pp} + m_{es} = 22\,240,57 \text{ [kg]}$$

La relación de esbeltez es:

$$\lambda = \frac{kl_c}{r_{min}} = 108,33$$

La carga crítica que soporta el elemento es:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_{yA-42}}} = 96,95$$

Como  $\lambda > C_c$ , el esfuerzo admisible a compresión es:

$$F_a = \frac{12 \times \pi^2 \times E}{23 \times \lambda^2} = 877,58 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

El esfuerzo real a compresión es:

$$f_a = 0,85 \times F_a = 745,94 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

La carga que soporta cada columna es:

$$P_{sc} = f_a A_{sc} = 843,64 \text{ [kg]}$$

El número de columnas es:

$$n_c = \frac{m_t}{P_{sc}} \cong 27 \text{ columnas}$$

El número de columnas de la estructura soporte será 28 (ver cálculos en anexo C-IV) y se distribuyen uniformemente tal como se establece en la figura 4.9 y puede apreciarse también en el plano 1. 2579.106.

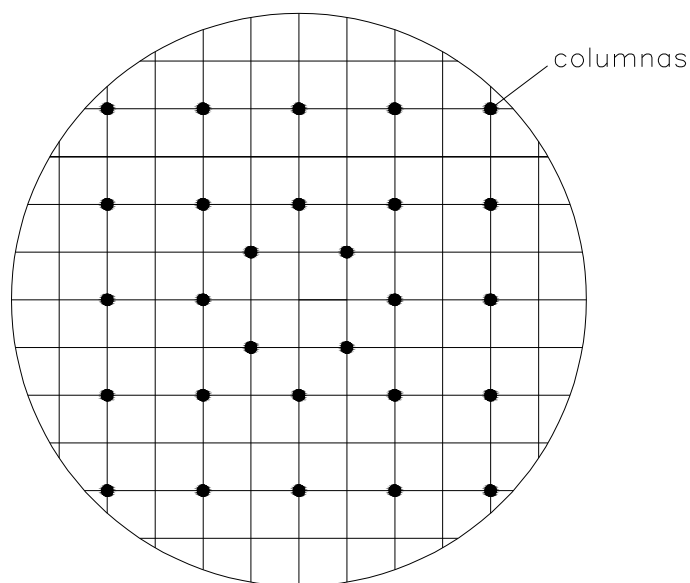


Figura 4.9 Distribución de columnas, vista superior.

Fuente: Propia.

#### 4.2.4 SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Para seleccionar el ventilador es necesario conocer la caída de presión en todo el sistema y el caudal del aire. La tabla 4.7 muestra la potencia del motor en función de la velocidad de secado para el secador circular.

Tabla 4.7 Potencia requerida del motor en función de la velocidad de secado.

Velocidad de secado [m/s]	Caudal de aire [m <sup>3</sup> /s]	Caída de presión total [Pa]	Potencia del motor requerida [HP]
0,25	1,63	56,17	0,14
0,5	3,25	123,28	0,62
1	6,50	290,29	2,91
1,5	9,75	501,02	7,53
<b>2</b>	<b>13,01</b>	<b>755,49</b>	<b>15,15</b>
2,5	16,26	1053,69	26,41

Fuente: Propia

La tabla 4.7 permite observar que se puede realizar el secado hasta con una velocidad de 2,5 m/s, sin embargo se tomará la velocidad secado de 2 m/s,

debido a que el motor que se necesita es de 20 HP y el motor existente en el secador actual tiene ésta potencia, es decir que se mantendrán los mismos motores, el cálculo de la potencia del motor para el ventilador se calcula a continuación.

#### 4.2.4.1 Caída de presión en la distribución de aire de secado

La configuración para la distribución del aire de secado a ser diseñada se establece en la figura 4.10.

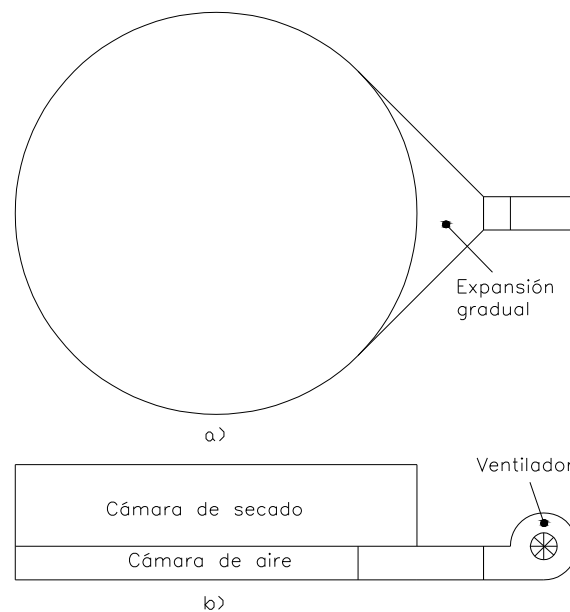


Figura 4.10 Configuración para la distribución de aire a) vista superior b) vista lateral.

Fuente: Propia.

##### 4.2.4.1.1 Caída de presión en la expansión gradual

El área de secado es:

$$A_s = \frac{\pi D_{is}^2}{4} = 28,27 [m^2]$$

El área perforada es:

$$A_p = A_s \times 0,23 = 6,5 [m^2]$$

El área perforada es el área por la que va a fluir el aire de secado, por lo tanto, el caudal es:  $Q = 13,01 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$

La velocidad a la entrada de la expansión es:

$$v_{ee} = \frac{Q}{A_{ee}} = 52,04 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

La velocidad a la salida de la expansión es:

$$v_{se} = \frac{Q}{A_{se}} = 6,13 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Diámetro hidráulico a la entrada de la expansión:<sup>62</sup>

$$D_{ee} \cong \frac{4A}{p} = 0,5 \text{ [m]}$$

Diámetro hidráulico a la salida de la expansión:

$$D_{se} = 0,895 \text{ [m]}$$

La longitud de la expansión es 1,871 m (ver plano 1.2579.114) y el coeficiente  $k'$  se toma de la tabla 4.4. La caída de presión se determina con la siguiente ecuación:<sup>63</sup>

$$\Delta P_e = \rho_a k' \left[ 1 - \left( \frac{D_{ee}}{D_{se}} \right)^2 \right]^2 \frac{v_m^2}{2}$$

$$\Delta P_e = 1,085 \times 0,2 \times \left[ 1 - \left( \frac{0,5}{0,895} \right)^2 \right]^2 \frac{29,09^2}{2} = 43,45 \text{ [Pa]}$$

#### 4.2.4.2 Caída de presión en el lecho de granos

La caída de presión en el lecho de granos se calcula cuando existen las condiciones de mayor obstáculo para el paso del aire, este caso es cuando el grano tiene el diámetro equivalente efectivo final de 0,007 m.

<sup>62</sup> FOX, McDonald, Introducción a la mecánica de fluidos, McGraw-Hill, 2da. Edición, México, 1995, pág. 396.

<sup>63</sup> MATAIX, C., Mecánica de Fluidos y máquinas hidráulicas, 2<sup>da</sup> Edición, México, 1982, pág. 239

El flujo de aire es:  $Mat = \rho_a Q = 14,12 \left[ \frac{kg}{s} \right]$

Reynolds es:  $Re_g = \frac{Mat D_g}{A_s \mu_a} = 179,16$

$$\Delta P_{lg} = \left( \frac{H_{lg} Re_g \mu_a^2}{\rho_a^2 D_m^3} \right) \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \left[ \left( \frac{1,24 Re_g}{1 - \varepsilon} \right) + 368 \right]$$

$$\Delta P_{lg} = \left( \frac{0,3m \times 179,16 \times \left( 1,95 \times 10^{-5} \frac{N \cdot s}{m^2} \right)^2}{\left( 1,085 \frac{kg}{m^3} \right)^2 \times (0,007m)^3} \right) \times \frac{(1 - 0,3)^2}{0,3^3} \times \left[ \left( \frac{1,24 \times 179,16}{1 - 0,3} \right) + 368 \right]$$

$$\Delta P_{lg} = 629,58 [Pa]$$

#### 4.2.4.3 Caída de presión en la plancha perforada

La caída de presión en la plancha perforada es aproximadamente igual al 10% de la caída de presión en el lecho.<sup>64</sup>

$$\Delta P_{pp} = 0,1 \times \Delta P_{lg} = 62,96$$

#### 4.2.4.4 Caída de presión total

La caída de presión total es:

$$\Delta P_T = \Delta P_{lg} + \Delta P_{pp} + \Delta P_e = 755,49 [Pa]$$

#### 4.2.4.5 Potencia del motor para el ventilador

$$P = Q \Delta P_T$$

$$P = 13,01 \frac{m^3}{s} \times 755,49 Pa$$

<sup>64</sup> COSTALES R., Estudio del secado de granos mediante fluidización, Tesis previa al obtención del título de Ingeniero Mecánico en la especialización de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, 1995, pág. 40

$$P = 9,83 [kW] = 13,18 [HP]$$

El factor de servicio del motor es 1,15 por lo tanto la potencia requerida es:

$$P_{req} = 13,18 \times 1,15$$

$$P_{req} = 15,15 [HP] \cong 20 [HP]$$

El ventilador debe tener las características descritas en la tabla 4.8.

Tabla 4.8 Características del ventilador.

Caudal Q	13 [m <sup>3</sup> /s]	46 836 [m <sup>3</sup> /h]
Caída de presión	755 [Pa]	77 [mm c.a.]
Potencia motor	15 [kW]	20 [HP]

Fuente: Propia.

El ventilador seleccionado es un ventilador que entrega un caudal de 27 792 ft<sup>3</sup>/min (47 218 m<sup>3</sup>/h) y vence una caída de presión estática de 3,5" c.a. (89 mm c.a.), como permite ver el ANEXO E-IV.

#### 4.2.5 TIEMPO DE SECADO

Definida la velocidad de secado, el tiempo de secado es función de la temperatura de secado, en el análisis de campo de midió que la temperatura de secado es 34 °C, entonces para cumplir el objetivo del proyecto, ésta se aumentará y asumirá que es 50°C.

El tiempo de secado se determina a partir de la curva de la velocidad de secado del maíz, que se muestra en la figura 4.5.

La ecuación para estimar el tiempo de secado es:<sup>65</sup>

$$t_s = \frac{m_{mf}}{A_{tc} R_c} \left( \phi_i - \phi_c + \phi_c \ln \frac{\phi_c}{\phi_f} \right)$$

<sup>65</sup> McCabe. W, Operaciones unitarias de Ingeniería Química, 2007, pág. 849

Los datos de las propiedades del agua y aire a la temperatura de secado se indican en la tabla 4.6.

Volumen unitario del maíz:

$$V_m = \frac{\pi}{6} D_{mm}^3 = 4,489 \times 10^{-7} [m^3]$$

Volumen total solamente de maíz:

$$V_{Tm} = V_s(1 - \varepsilon)$$

$$V_{Tm} = 8,48m^3 \times (1 - \varepsilon) = 5,936 [m^3]$$

Numero de maíces en la cámara de secado:

$$N_m = \frac{V_{Tm}}{V_m} = \frac{5,936}{4,489 \times 10^{-7}} = 13,223 \times 10^6 [maices]$$

Área de transferencia de calor del maíz:

$$A_{tc} = N_m \pi D_{mm}^2 = 3\,749,22 [m^2]$$

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{D_{mm} v_s \rho_a}{\mu_a} = 1\,057,18$$

La ecuación para obtener el coeficiente de convección en lechos con flujo perpendicular al lecho es:<sup>66</sup>

$$Nu_D = \frac{h D_{mm}}{K} = 1,17 Re^{0,585} Pr^{1/3}$$

Donde:

$Nu_D$ : Número de Nusselt

Resolviendo la ecuación se obtiene el coeficiente de convección

$$h = 180,25 [W/m^2 K]$$

---

<sup>66</sup> McCabe. W, Operaciones unitarias de Ingeniería Química, 2007, pág. 850

$$R_c = \frac{h(T_s - T_{abh})}{h_{fg@T_s}} = 1,65 \times 10^{-3} \left[ \frac{kg}{m^2 s} \right]$$

De la figura 4.5 se obtiene la humedad crítica del maíz que es 18,2%, entonces el tiempo total de secado es:

$$t_T = \frac{5\,207,72\,kg}{3749,22\,m^2 \times 1,65 \times 10^{-3} \frac{kg}{m^2 s}} \left( 30 - 18,2 + 18,2 \ln \frac{18,2}{14,5} \right)$$

$$t_T = 13\,415,66 \text{ [s]} = 3,73 \text{ [h]}$$

De acuerdo al resultado obtenido y a criterios descritos en el apartado 4.1.5, el tiempo de secado de 3 horas y 44 minutos es apropiado, sin embargo este tiempo es estimado, y se lo debe comprobar realizando las pruebas en el secador.

#### 4.2.6 SELECCIÓN DE LA CAPACIDAD DEL QUEMADOR

La capacidad del quemador se determina mediante la ecuación:<sup>67</sup>

$$\dot{Q}_q = \dot{m}_a (h_{@T_s} - h_{@T_{abs}})$$

El flujo de aire es  $\dot{m}_a = 5,5 \left[ \frac{kg}{s} \right]$ , el cálculo desarrollado se encuentra en el ANEXO C-V.

La entalpía del aire se calcula con la siguiente ecuación:

$$h = 1.0054T + W (2501.3 + 1.8704T)$$

De aquí se calcula:

$$h_{@50^\circ C} = 91,78 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{@25^\circ C} = 65,9 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_q = 5,5 \frac{kg}{s} \times 25,88 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_q = 142,34 \left[ \frac{kJ}{s} \right]$$

<sup>67</sup> CENGEL Y., Termodinámica, Cuarta Edición, McGraw-Hill, México, 2003.



$$Q_q = 485\,684,01 \left[ \frac{\text{Btu}}{\text{h}} \right] \cong 500\,000 \left[ \frac{\text{Btu}}{\text{h}} \right]$$

Se selecciona un quemador industrial para gas LPG de 500 000 Btu/h, ver ANEXO E-V.

#### **4.2.7 CÁMARA DE COMBUSTIÓN**

De acuerdo con las dimensiones del secador y capacidad del quemador la cámara de combustión será similar a la que se establece en el plano 1.2579.003.

#### **4.2.8 COSTO DE ENERGÍA DEL SECADO**

Con base en el secador circular diseñado con las mejoras se tiene un tiempo de secado de 3 horas y 44 minutos, tiempo en el que se tendrá consumo de energía eléctrica del motor del ventilador de 20 HP en la tarifa de potencia activa media, con un costo de 3,61 USD; y consumo del combustible LPG del quemador de 600 000 Btu/h con un costo de 11,71 USD; obteniendo un costo de energía de 15,32 USD. El costo de energía para el secado es 2,41 USD/t.

### 4.3 DISEÑO DE UN SISTEMA MOVIMIENTO MEDIANTE PALETAS AGITADORAS PARA EL SECADOR DE LECHO FIJO TIPO CIRCULAR

#### 4.3.1 DISEÑO DE PALETAS AGITADORAS

El sistema mecánico de paletas agitadoras permitirá el movimiento del grano y ayudará a la homogenización en el secado, aumentará la capacidad de transferencia de calor y masa entre el aire caliente y la superficie del grano.

Además de insertar paletas al sistema es importante su diseño, donde se contempla, la forma, dimensiones, el número de paletas, etc. De esta forma, como es lógico, se entiende que pueden haber demasiados tipos de diseños. Sin embargo se trata en este caso de tener la menor resistencia posible pero sin afectar la movilidad del grano.

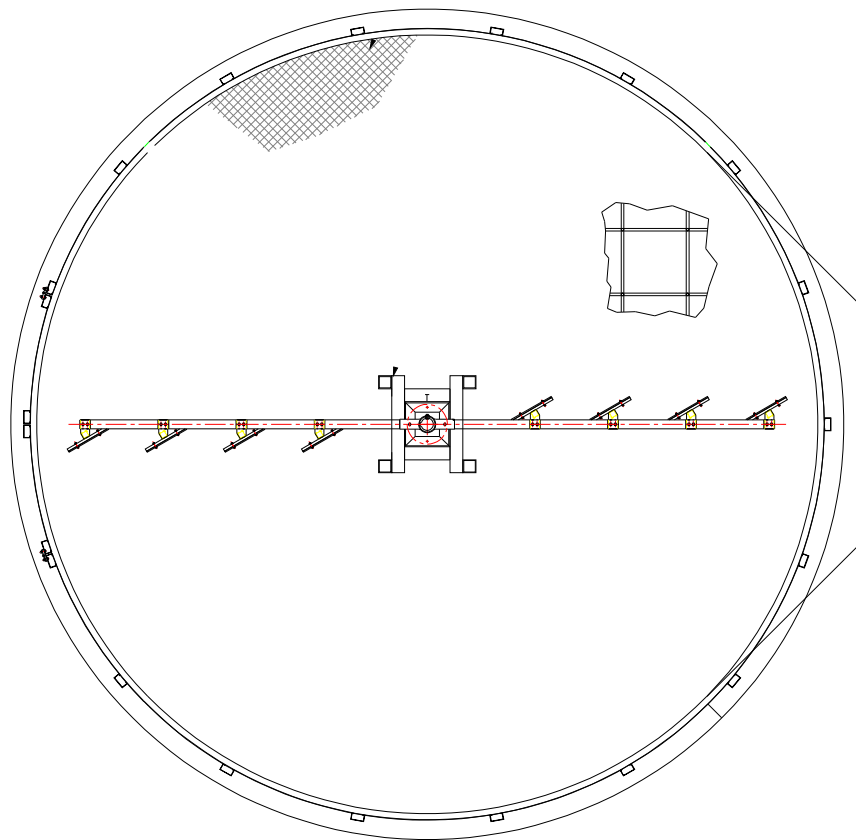


Figura 4.11 Configuración del sistema de paletas, vista superior.

Fuente: Propia.

La figura 4.11 establece la configuración básica que son dos ejes alrededor del centro del secador, en cada uno de los cuales están 4 paletas ubicadas a 30° de inclinación con respecto a los ejes cruzados.

La longitud de cada paleta es de 347 mm (observar plano 1.2579.002).

Esta inclinación sirve para disminuir los efectos de la resistencia que ofrece el maíz.

El análisis de fuerzas que intervienen en el sistema, considerando que el movimiento tiene velocidad constante, por lo tanto, no van a existir aceleraciones angulares.

La fuerza de mayor influencia es de rozamiento que existirá entre el maíz y la chapa perforada. La dinámica del rozamiento entre los granos es compleja, y por lo tanto se tomará como si fueran un sólido compacto. Se debe encontrar el coeficiente de rozamiento del grano con las paredes y la plancha perforada, algunos se indican en la tabla 4.9.

Tabla 4.9 Coeficiente de rozamiento de algunos alimentos.

ÁNGULO DE TALUD NATURAL Y COEFICIENTE DE FROTAMIENTO EN LAS PAREDES		
MATERIA ENSILADA	ÁNGULO DE TALUD NATURAL	COEFICIENTE DE FROTAMIENTO
Arroz	24° a 26°	0,394 a 0,601
Avena	26° a 28°	0,359 a 0,466
Cacahuete con cáscara	38°	
Cacahuete sin cáscara	26° a 30°	
Café comercial	24° a 26°	
Cebada	25° a 29°	0,325 a 0,456
Guisantes	24° a 26°	0,268 a 0,466
Lino	23° a 26°	0,308 a 0,414
Maíz	26° a 29°	0,308 a 0,424
Malta	21° a 23°	0,325 a 0,445
Sorgo	33°	
Trigo	24° a 26°	0,361 a 0,466
Harina	35° a 45°	0,577 a 0,840

**Fuente:** FAO, De Lucia M, La ingeniería en el desarrollo, Manejo y tratamiento de granos poscosecha.

Se selecciona el coeficiente más bajo para el diseño que es de 0,308 para el maíz.

#### 4.3.1.1 Determinación de la masa de maíz a mover

Según la configuración de las paletas, no toda la masa se mueve, sino solo una parte. La figura 4.12 muestra la fracción de masa que será movida.

Se asume que la fracción de masa a moverse se realizará alrededor del eje como si fuera un sólido compacto.

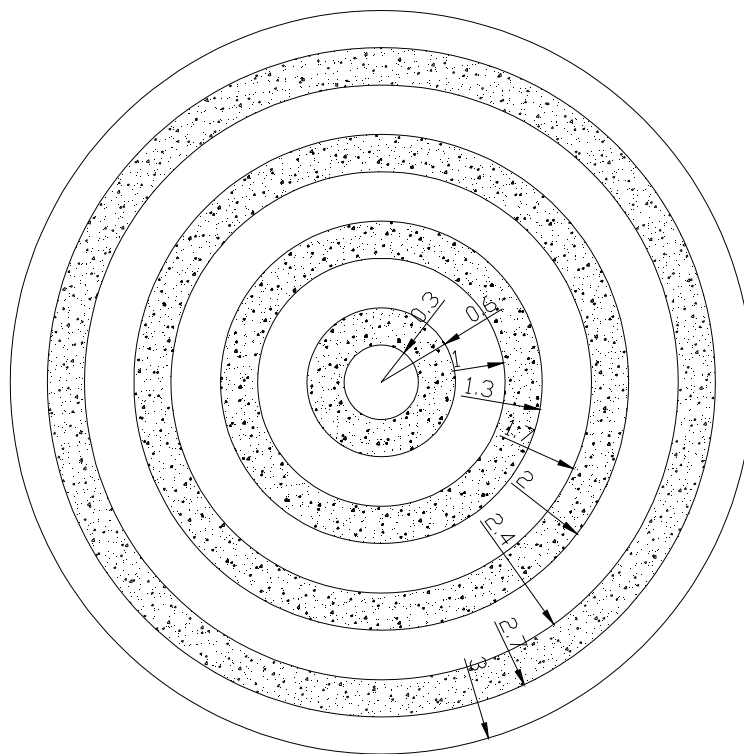


Figura 4.12 Vista superior del secador mostrando en área sombreada la fracción de maíz que será movida según el diseño.

Fuente: Propia.

#### 4.3.1.2 Cálculo de la fracción de masa a mover

Según la figura 4.13 desde el centro hacia fuera se denomina respectivamente A1, A2, A3, y A4, a las zonas sombreadas, se tiene:

$$A1 = \pi(0,6^2 - 0,3^2) = 0,848 [m^2]$$

$$A2 = \pi(1,3^2 - 1^2) = 2,167 [m^2]$$

$$A_3 = \pi(2^2 - 1,7^2) = 3,487 [m^2]$$

$$A_4 = \pi(2,7^2 - 2,4^2) = 4,806 [m^2]$$

El sumatorio de las 4 áreas:

$$A_{total} = 11,308 [m^2]$$

Se obtiene la fracción de masa a mover dividiendo el  $A_{total}$  para el área del secador, no influye la altura del lecho ya que es constante.

$$Fracción\ a\ moverse = \frac{11,308m^2}{\frac{\pi}{4}(6)^2m^2} = 0,4$$

La distribución de la fuerza de fricción en las paletas se tiene según la figura 4.13.

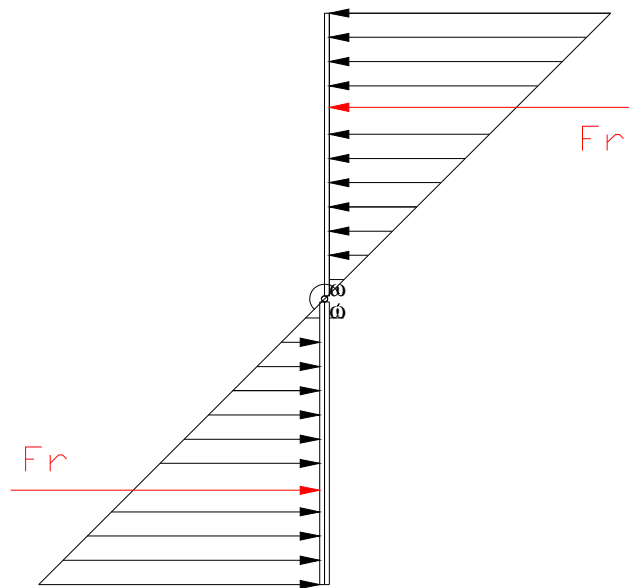


Figura 4.13 Diagrama de cuerpo libre en las paletas.

Fuente: Propia.

Para el análisis la fuerza de rozamiento del cilindro va aumentando conforme va alejándose del centro de giro, y también hay que entender que si se pudiera dividir el lecho de granos en dos partes, una para cada juego de paletas, y además, el maíz se lo pusiera en forma lineal a las paletas en lugar de circular, se podría observar como la figura 4.13, de donde se concluye que cuando existe una

distribución de fuerzas de este tipo la resultante se encuentra a (2/3) de su longitud de paleta del centro de giro, entonces se tiene:

$$Fr_{total} = \mu \times 0,4 N \times \cos(30)$$

$$Fr_{total} = \mu \times 0,4 mg \times \cos(30)$$

$$Fr_{total} = 0.308 \times 0,4 \times 6\,360 kg \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times \cos(30)$$

$$Fr_{total} = 6\,657,87 [N]$$

$$\sum M_z = 0$$

$$M = 4 \left( \frac{Fr_{total}}{4} \right) \times \left( \frac{2L}{3} \right)$$

$$M = 13\,315,74 [N \cdot m]$$

$$P = M\omega$$

$$P = 13\,315,74 N \cdot m \times \frac{8 rev}{min} \times \frac{min}{60s} \times \frac{2\pi}{rev}$$

$$P = 11\,155,36 [W] = 14,96 [HP] \cong 15 [HP]$$

#### 4.3.1.3 Diseño de elementos mecánicos del sistema de movimiento

El diseño de las paletas para el movimiento del grano, se encuentra constituido de varios elementos: motorreductor (el cual será la fuente del movimiento), sistema de catalinas y cadena (para aumentar el torque y disminuir la velocidad angular de las paletas), eje motriz, sistema de paletas y de varios elementos menores.

Por esta razón es necesario determinar la posición de cada uno de ellos en el secador, así como también realizar su dimensionamiento.

La figura 4.14 indica un corte en la cual se encuentra el sistema de transmisión de movimiento.

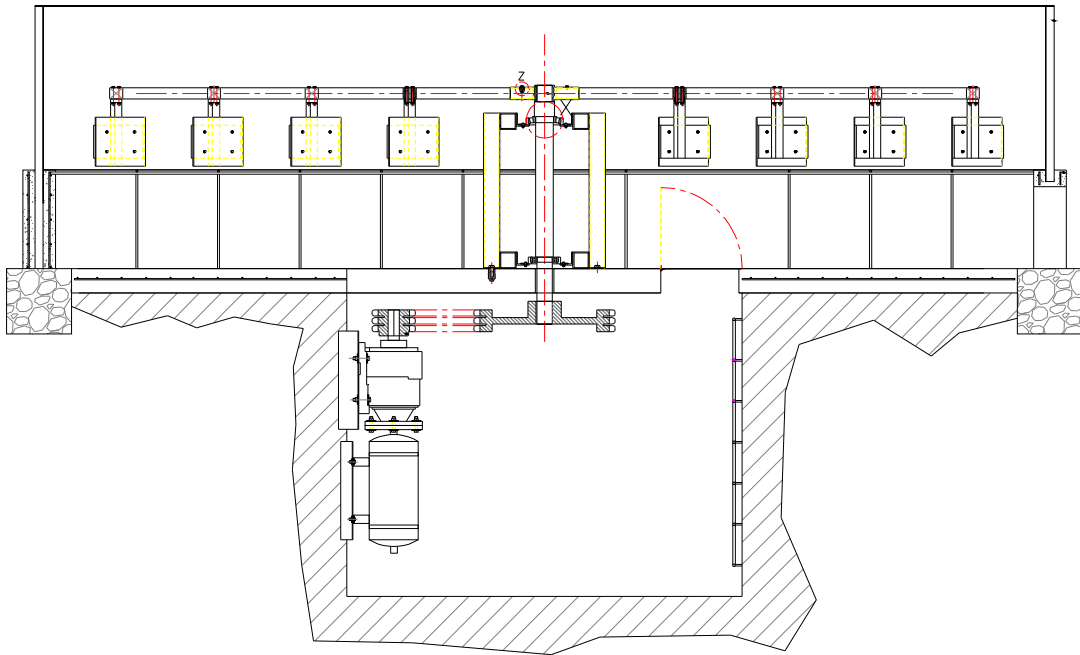


Figura 4.14 Esquema del sistema de paletas con sus elementos.

**Fuente:** Propia.

#### 4.3.1.3.1 Selección del motorreductor

De cálculos se obtuvo una potencia necesaria para el motor de 15 hp. Lo que en realidad se necesita, es aumentar el torque por lo menos hasta el torque necesario a vencer, y la velocidad angular tendrá menor importancia para el propósito. Por esta razón se escogerá un motor al cual se le pueda adaptar una caja de reducción que baje las revoluciones lo máximo como sea posible.

El motorreductor debe ser similar a: Motor/brida Siemens 20hp, 1760 rpm, 3 fases, Factor de servicio F.S.=0.91; y Reductor/línea 70/2, 44.5/1 PAM42/350, (ver ANEXO E-VI). Este equipo puede adquirirse localmente.

El torque entregado por este motorreductor es de 3407 N-m, y la velocidad angular final es de 40 rpm aproximadamente. Con estos datos se debe seleccionar el sistema de reducción final.

#### 4.3.1.3.2 Selección de catalinas y cadena

Para seleccionar el sistema de reducción final se escogerá el tipo por catalinas y cadena. No debe quedar duda de que, un sistema por poleas y banda no puede realizar este trabajo debido a las bajas revoluciones por minuto y por ende un alto torque, y por medio de engranes el costo sería elevado.

En la tabla 4.10 se tienen los tipos de cadena a escogerse según la potencia a transmitir. Se procede a obtener la potencia de diseño, de acuerdo a la ecuación:

$$P_r' = K_1 K_2 P_r \quad 68 \quad [\text{Ec. 4.1}]$$

Tabla 4.10 Capacidad de potencia nominal (en Hp) de cadenas de rodillos de paso simple y un solo cordón con rueda dentada de 17 dientes.

Velocidad de la rueda rpm	Número ANSI de cadena					
	25	35	40	41	50	60
50	0.05	0.16	0.37	0.20	0.72	1.24
100	0.09	0.29	0.69	0.38	1.34	2.31
150	0.13*	0.41*	0.99*	0.55*	1.92*	3.32
200	0.16*	0.54*	1.29	0.71	2.50	4.30
300	0.23	0.78	1.85	1.02	3.61	6.20
400	0.30*	1.01*	2.40	1.32	4.67	8.03
500	0.37	1.24	2.93	1.61	5.71	9.81
600	0.44*	1.46*	3.45*	1.90*	6.72*	11.6
700	0.50	1.68	3.97	2.18	7.73	13.3
800	0.56*	1.89*	4.48*	2.46*	8.71*	15.0
900	0.62	2.10	4.98	2.74	9.69	16.7
1000	0.68*	2.31*	5.48	3.01	10.7	18.3
1200	0.81	2.73	6.45	3.29	12.6	21.6
1400	0.93*	3.13*	7.41	2.61	14.4	18.1
1600	1.05*	3.53*	8.36	2.14	12.8	14.8
1800	1.16	3.93	8.96	1.79	10.7	12.4
2000	1.27*	4.32*	7.72*	1.52*	9.23*	10.6
2500	1.56	5.28	5.51*	1.10*	6.58*	7.57
3000	1.84	5.64	4.17	0.83	4.98	5.76

Tipo A

Tipo B

Tipo C

<sup>68</sup> SHIGLEY, J. Manual de Diseño Mecánico, 4ta Ed., McGraw-Hill, 1989, pág. 821.



Velocidad de la rueda rpm	Número ANSI de cadena								
	80	100	120	140	160	180	200	240	
50	2.88	5.32	9.33	14.4	20.9	28.9	38.4	61.8	
100	5.38	10.3	17.4	26.9	39.1	54.0	71.6	115.	
150	7.75	14.8	25.1	38.8	56.3	77.7	103.	166.	
200	10.0	19.2	32.5	50.3	72.9	101.	134.	215.	
300	14.5	27.7	46.8	72.4	105.	145.	193.	310.	
400	18.7	35.9	60.6	93.8	136.	188.	249.	359.	
500	22.9	43.9	74.1	115.	166.	204.	222.	0	
600	27.0	51.7	87.3	127.	141.	155.	169.		
700	31.0	59.4	89.0	101.	112.	123.	0		
800	35.0	63.0	72.8	82.4	91.7	101.			
900	39.9	52.8	61.0	69.1	76.8	84.4			
1000	37.7	45.0	52.1	59.0	65.6	72.1			
1200	28.7	34.3	39.6	44.9	49.9	0			
1400	22.7	27.2	31.5	35.6	0				
1600	18.6	22.3	25.8	0					
1800	15.6	18.7	21.6						
2000	13.3	15.9	0						
2500	9.56	0.40							
3000	7.25	0							

Fuente: Shigley Joseph, Manual de diseño mecánico.

Donde  $H'_{r}$ , es la potencia nominal totalmente corregida.

El factor de servicio  $K_s$  de la tabla 4.11 se emplea para considerar las variaciones en las máquinas impulsora e impulsada. Multiplíquese por  $K_s$  la potencia calculada o dada para obtener la de diseño.

Tabla 4.11 Factor de servicio  $K_s$ .

Maquinaria Impulsada	Máquina impulsora		
	Motor de combustión interna con transmisión hidráulica	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna con transmisión mecánica
Sin choques	1.00	1.00	1.2
Choques moderados	1.2	1.3	1.4
Choques fuertes	1.4	1.5	1.7

Fuente: Shigley Joseph, Manual de diseño mecánico.

El factor de corrección para los dientes  $K_1$  y el factor para cadenas de cordones múltiples  $K_2$ , se indican en las tablas 4.12 y 4.13 respectivamente.

Tabla 4.12 Factores de corrección para los dientes K1.

Número de dientes en la rueda dentada impulsora	Factor de corrección $K_1$ para los dientes	Número de dientes en la rueda dentada impulsora	Factor de corrección $K_1$ para los dientes
11	0.53	22	1.29
12	0.62	23	1.35
13	0.70	24	1.41
14	0.78	25	1.46
15	0.85	30	1.73
16	0.92	35	1.95
17	1.00	40	2.15
18	1.05	45	2.37
19	1.11	50	2.51
20	1.18	55	2.66
21	1.26	60	2.80

Fuente: Shigley Joseph; Manual de diseño mecánico.

Tabla 4.13 Factores para cadenas de cordones múltiples K2.

Número de cordones	K2
1	1.0
2	1.7
3	2.5
4	3.3

Fuente: Shigley Joseph; Manual de diseño mecánico.

Se tiene:

$K_1 = 0,53$  por ser un piñón de 11 dientes normalizado.

$K_2 = 2,5$  será de 3 cordones para transmitir dicha potencia.

$K_s = 1$  sin choques.

Por tanto, la potencia de diseño será:

$$P = 1(20) \text{ HP}$$

$$P = 20 \text{ [HP]}$$

Para el propósito se selecciona la triple cadena No. 160 (ANEXO E-VII). Esta configuración de la cadena existe entre los fabricantes.<sup>69</sup>

Entonces, extrapolando para 40 rpm se tiene la potencia nominal:

$$P_{\text{nom}} = 0,53 \times 2,5 \times 18,4$$

$$P_{\text{nom}} = 24,38 \text{ [HP]}$$

<sup>69</sup> INTERMEC, La transmisión de cadenas por cadena de rodillos.

Con lo cual se demuestra que es admisible. Ahora se observa cual es la disposición según el fabricante (ver ANEXO E-VII), entonces se tiene:

Piñón 160B11, que tiene 11 dientes y diámetro  $D=203,5$

Piñón 160B60, que tiene 60 dientes y diámetro  $D=999,8$

En este caso particular se requiere una reducción de 5 veces la velocidad. Se comprueba la relación de transmisión.

$$R = \frac{999,8}{203,5} = 4,91$$

Con lo cual se obtiene una relación de transmisión que está bordeando a 5.

La figura 4.15 establece la ubicación de las catalinas, con estos valores se calcula la longitud de cadena.

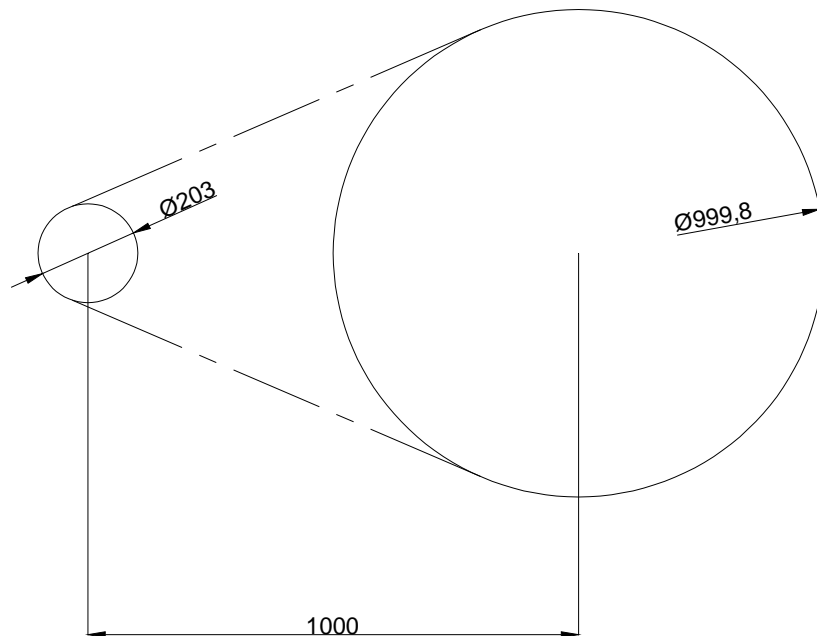


Figura 4.15 Configuración de las catalinas y cadena.

Fuente: Propia.

La longitud de una cadena se determina en función del número de pasos. Es preferible tener un número par de estos, pues de otro modo sería necesario un

eslabón de compensación. La longitud aproximada puede obtenerse por la siguiente ecuación:

$$\frac{L}{p} = \frac{2C}{p} + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 \left(\frac{C}{p}\right)} \quad [\text{Ec. 4.2}]$$

Donde:

L: Longitud de la cadena, [cm]

p: Paso de la cadena

C: Distancia entre centros

$N_1$ : Número de dientes en la rueda menor

$N_2$ : Número de dientes en la rueda mayor

$$\frac{L}{p} = \frac{2(100\text{cm})}{5,08\text{cm}} + \frac{11 + 60}{2} + \frac{(60 - 11)^2}{4\pi^2 \left(\frac{86,85}{5,08}\right)}$$

$$\frac{L}{p} = 79$$

El número par de pasos más aproximado es 80 por tanto ese será el del diseño.

En general, la distancia entre centros no debe exceder de 80 pasos: de 30 a 50 pasos sería un mejor valor.<sup>70</sup>

En este caso es  $(1000/50,8)=20$ , que no está en el rango óptimo pero cumple la primera condición.

#### 4.3.1.3.3 Diseño del eje de transmisión

Para transmitir el movimiento al grano es necesario un eje de transmisión, el cual debe estar dimensionado conforme a las necesidades de su aplicación.

En el plano 1.2579.104 se tiene dimensiones del eje, estas son derivadas del diseño del secador tomando en cuenta las distancias libres y las dimensiones de los elementos utilizados para el montaje.

<sup>70</sup> SHIGLEY, J. Manual de Diseño Mecánico. 4ta Ed. McGraw-Hill. 1989. Pg 824

Del análisis del eje se puede establecer el DCL (diagrama de cuerpo libre del eje), mostrado en la figura 4.16.

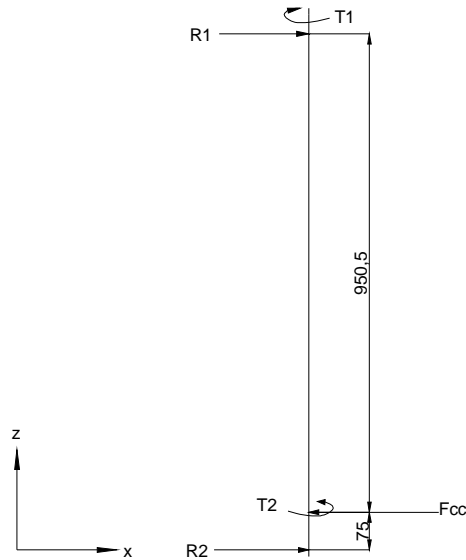


Figura 4.16 Diagrama de cuerpo libre del eje de transmisión.

Fuente: Propia.

De este análisis se determinan las reacciones, para luego obtener el diagrama de cortante y momento flector, figura 4.17.

$$R1 = 2\,419,1 \text{ [N]}$$

$$R2 = 30\,658,5 \text{ [N]}$$

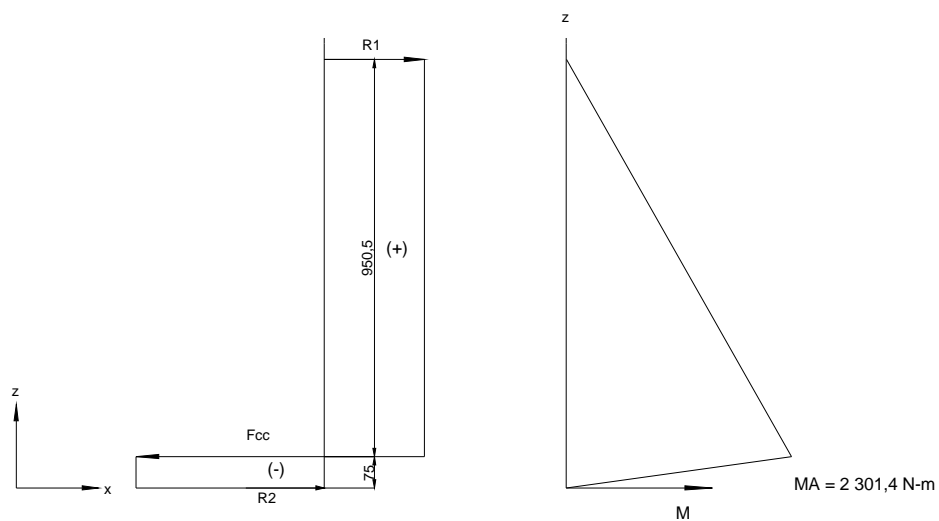


Figura 4.17 Diagrama de fuerza cortante y momento flector del eje.

Fuente: Propia.

Se analiza el elemento mediante las teorías de falla estática, en este caso se utiliza la teoría de Von Mises.

$$\sigma = \frac{32 \times M}{\pi \times d^3}$$

Con lo que se obtiene un diámetro de 0,0921 [m]. Su cálculo detallado se establece en el ANEXO D-I.

#### 4.3.1.3.4 Selección de rodamientos <sup>71</sup>

En la técnica de rodamientos se distingue entre sollicitación dinámica y sollicitación estática. Una sollicitación estática tiene lugar si el movimiento relativo entre los aros es nulo o muy lento ( $<10^{-1} \text{ min}^{-1}$ ). En estos casos se analizará la seguridad contra deformaciones plásticas elevadas en los caminos de rodadura y en los cuerpos rodantes.

- **Rodamientos sollicitados estáticamente**

Bajo esta sollicitación se calcula el factor de esfuerzos estáticos  $f_s$ , para demostrar que se ha elegido un rodamiento con suficiente capacidad de carga.

$$f_s = \frac{C_o}{P_o} \quad [\text{Ec. 4.3}]$$

Siendo:

- $f_s$ : Factor de esfuerzos estáticos
- $C_o$ : Capacidad de carga estática, [kN]
- $P_o$ : Carga estática equivalente

Donde:

$$P_o = X_0 F_r + Y_0 F_a$$

Siendo:

- $F_a$ : Carga axial

---

<sup>71</sup> MANUAL DE RODAMIENTOS FAG, Catálogo WL 41 520/3 SB

$X_0$ : Factor radial

$Y_0$ : Factor axial

En general se pretende conseguir los siguientes valores

$f_s = 1,5 \dots 2,5$  para exigencias elevadas

$f_s = 1,0 \dots 1,5$  para exigencias normales

$f_s = 0,7 \dots 1$  para exigencias reducidas

Para los dos tipos de rodamientos se trabajará con la mayor carga radial que es  $F = 30\,659\text{ N}$

Se debe calcular la carga axial que es simplemente el peso del eje, con los ejes portadores de paletas.

Entonces:

$$P = \left( \pi \frac{d_{eje}^2}{4} L_{eje} + \pi \frac{d_{portador}^2}{4} L_{portador} \right) \rho_{acero}$$

$$P = \left( \pi \frac{(0,11m)^2}{4} \times 1,5m + \pi \frac{(0,0635m)^2}{4} \times 6m \right) \times 7\,850 \frac{kg}{m^3}$$

$$P = 0,0142 \cong 260\text{ kg}$$

Debido a los demás elementos conformantes del sistema se le añadirá un factor de incertidumbre de 2. Entonces:

$$P = 2 \times 260 \cong 520\text{ kg}$$

Esta carga será soportada por el rodamiento de anillos cónicos, por lo que los otros dos rodamientos soportarán solo la carga radial, por tanto:

$$\text{Si } \frac{F_a}{F_r} \leq 0,8 \rightarrow P_0 = F$$

Entonces se selecciona el rodamiento según el diámetro del eje que es 95 mm. Rodamiento FAG 6029 de diámetro 95 mm, con  $C_0 = 81,5\text{ kN}$ .

Luego:

$$f_s = \frac{81,5}{30,66} = 2,65$$

Como se observa el rodamiento tendrá un factor alto de esfuerzos estáticos, y soportará las cargas.

El rodamiento escogido es el rodamiento de rodillos cónicos FAG-30222-A, con  $C_o = 415 \text{ kN}$ , y como se observa el resultado de  $f_s > 1$ , por lo cual es suficiente para el diseño.

#### 4.3.1.3.5 Dimensionamiento del eje portador de las paletas

Considerando que existen cuatro paletas por eje, tal como se indica en el plano 1. 2579.104, y que sus fuerzas se incrementan linealmente desde el centro hacia fuera, la fuerza resultante estará aplicada a  $2/3$  de la longitud del eje, desde el centro. Esto simplemente obedece a la ubicación de la fuerza resultante de una distribución continua de carga triangular, como se presenta en este caso. Entonces se tiene como en la figura 4.18.

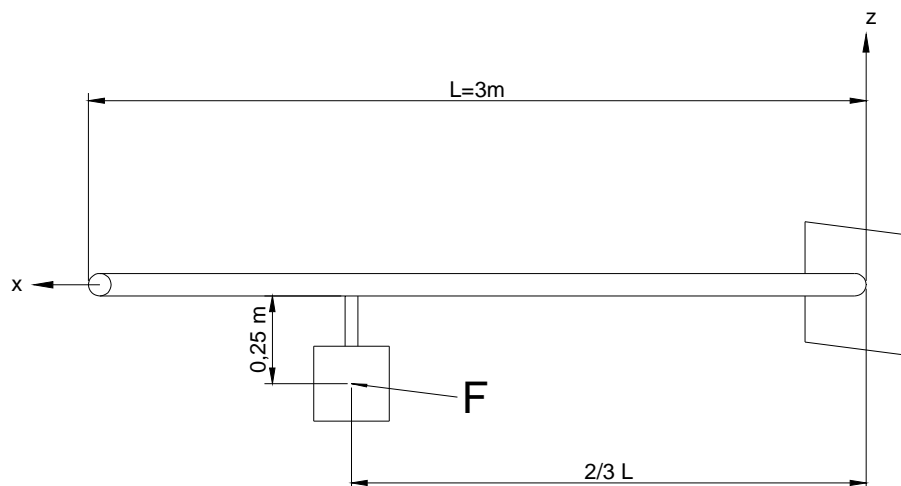


Figura 4.18 Esquema del eje portador de las paletas.

**Fuente:** Propia.

Como se observa, la fuerza al ser transportada al eje producirá un par de torsión, y la acción de la fuerza en sí, como se observa en la figura 4.19.



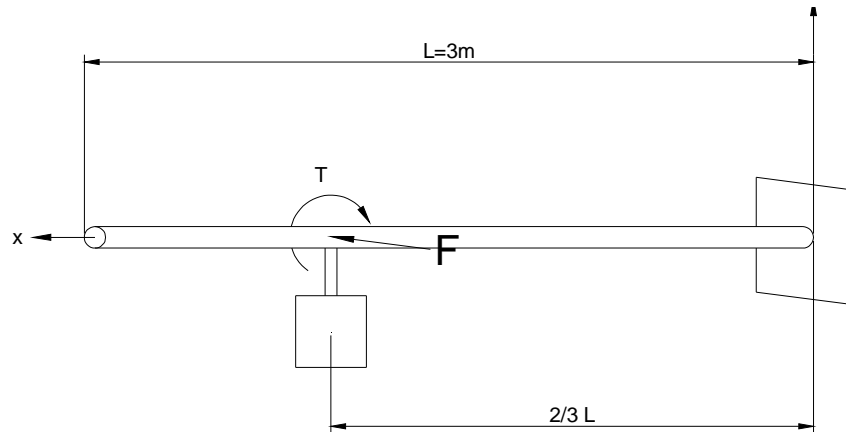


Figura 4.19 Ubicación de cargas en el eje portador de paletas.

Fuente: Propia.

El material usado será el mismo que del eje de transmisión.

La fuerza que se tiene es igual a  $\frac{1}{4}$  de la fuerza total, entonces:

$$F = \left(\frac{1}{4}\right) F_{total} = \left(\frac{1}{4}\right) 6\,657,87 \text{ N}$$

$$F = 1\,664,46 \text{ [N]} = 169,84 \text{ [kgf]}$$

Luego se tiene:

$$M = 169,84 \text{ kgf} \times 2,2 \frac{\text{lbf}}{\text{kgf}} \times \left(\frac{2}{3}\right) \times 3 \text{ m} \times \frac{1 \text{ pulg}}{0,0254 \text{ m}}$$

$$= 29\,421,1 \text{ [lbf} \cdot \text{pulg]}$$

$$T = 169,84 \text{ kgf} \times 2,2 \frac{\text{lbf}}{\text{kgf}} \times 29,45 \text{ cm} \times \frac{1 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 4\,332,25 \text{ [lbf} \cdot \text{pulg]}$$

Entonces se obtiene los esfuerzos en función del diámetro:

$$\sigma_x = \frac{Mc}{I} = \frac{M(d/2)}{\frac{\pi d^4}{64}} = \frac{32M}{\pi d^3} = \frac{32 \times 29\,421,1 \text{ lbf} \cdot \text{pulg}}{\pi \times d^3}$$

$$\sigma_x = \frac{299\,681}{d^3}$$

$$\tau_{yz} = \frac{Tr}{J} = \frac{16T}{\pi d^3} = \frac{22\,964}{d^3}$$

Luego se obtiene el esfuerzo de Von Mises:

$$\sigma^{\square} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{yz}^2}$$

$$\sigma^{\square} = \sqrt{\left(\frac{299\,681}{d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{22\,964}{d^3}\right)^2}$$

$$\sigma^{\square} = \frac{302\,309}{d^3} \quad (1)$$

Y se tiene la relación:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma^{\square}}$$

Donde del material se tiene que:  $S_y = 54$  Kpsi

Se escoge un factor de seguridad  $n=2,2$  (debido a disminución en la sección debido a las variaciones que se deben hacer para el montaje)

Por tanto,

$$\sigma^{\square} = \frac{S_y}{\eta} = \frac{54}{2,2} = 24,54 \text{ [kpsi]} \quad (2)$$

Reemplazando 2 en 1 se obtiene:

$$d^3 = \frac{302\,309 \text{ lbf} \cdot \text{pulg}}{\sigma^{\square}} = \frac{302\,309 \text{ lbf} \cdot \text{pulg}}{24\,540 \frac{\text{lbf}}{\text{pulg}^2}} = 12,31$$

$$d = 2,3 \text{ [pulg]}$$

#### 4.3.1.3.6 Dimensionamiento del soporte de conexión de las paletas

Este diseño se lo hará con la carga mayor que se aplica a las paletas ya que, ésta disminuye conforme disminuye el radio del eje portador de las paletas.

Esta carga corresponde al anillo más externo desplazado que se muestra en la figura 4.13.

$$F_4 = A_4 h \rho_m 0,308 x \cos(30)$$

$$F_4 = 4,806 \text{ m}^2 x 0,3 x 750 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} x 0,308 x 0,867$$

$$F_4 = 289 \text{ [kg]} \cong 290 \text{ [kg]}$$

De la figura 4.18, se observa que la carga está ubicada a 0,25 m de la punta del vástago donde está la paleta, con estos datos se puede realizar el dimensionamiento ya que el elemento está sometido a flexión, como se muestra en la figura 4.20.

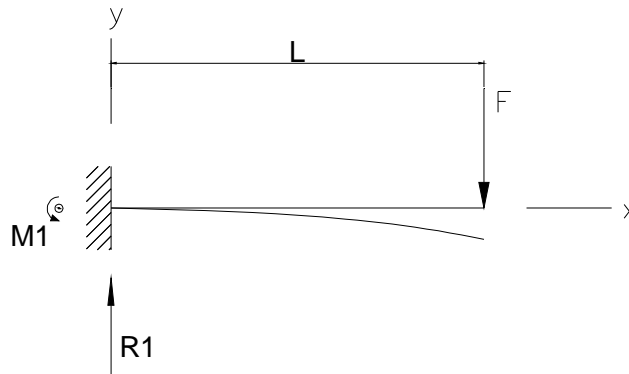


Figura 4.20 Elemento sometido a flexión.

Fuente: Propia.

De esta configuración se obtiene que el momento flector sea:

$$M1 = FL = 290kg \times \frac{9,8 N}{kg} \times 0,25 m$$

$$M1 = 710,5 [N \cdot m] = 6.279,5 [lb \cdot pulg]$$

Luego,

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

Se selecciona el material y las características del mismo para evaluar el factor de seguridad. El material será tubo cuadrado estructural de acero A-36, por tanto, se selecciona un tipo para realizar los cálculos, en este caso, de 2x2x3/16 pulg.  $I=0,668 \text{ pulg}^4$ , ver ANEXO E-III.

$$\sigma = \frac{6\,279,5 \text{ lb} \cdot \text{pulg} \times 1 \text{ pulg}}{0,668 \text{ pulg}^4}$$

$$\sigma = 9\,400,5 [\text{psi}]$$

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{36 \text{ kpsi}}{9,4 \text{ kpsi}} = 3,83$$

Como se observa el factor de seguridad es alto, y considerando que es de las secciones más pequeñas, tomada del manual del AISC.

## CAPÍTULO V

### 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- El análisis de campo muestra que el secador rectangular es un sistema que satisface la necesidad de los propietarios de los centros de secado cuando secan una determinada cantidad de maíz, sin embargo, es un sistema con un rendimiento energético bajo.
- Por la geometría que tienen los secadores de lecho fijo, es necesario una mayor presión en el secador rectangular que en el secador circular. Lo que demanda un equipo de ventilación de mayor potencia.
- El diseño y selección de los equipos se realiza con una masa de granos de maíz y una altura de lecho que no difiera de manera considerable de un secador a otro. Teóricamente se obtiene que el tiempo de secado disminuya para los dos sistemas, en el secador de lecho fijo tipo circular, de 6 horas a 3 horas con 44 minutos; y en el secador rectangular de 11 horas a 3 horas con 44 minutos.
- Mediante el planteamiento de la utilización de las mejoras necesarias en cada uno de los secadores, se logra que en el secador rectangular disminuya el costo de secado de 3,91 USD/t a 2,49 USD/t que representa un ahorro del 36%, y que en el secador circular disminuya de 2,65 USD/t a 2,41 USD/t que representa un ahorro de 9%.
- Los cálculos para el diseño de las mejoras se realizan para que el grano de maíz tenga una humedad final de 14,5%  $H_h$ , que es la recomendada para el almacenamiento y la comercialización; a diferencia de las medidas realizadas en campo, que dio una humedad final de 15,6%  $H_h$  en el secador rectangular y 16,7%  $H_h$  en el secador circular.
- El proceso de secado que se aplica en el país por parte del sector agroindustrial de mediana y baja producción, son de baja o ninguna tecnología, se basan principalmente en conocimientos empíricos.

- Las mejoras que se pueden implementar a los actuales sistemas de secado pueden ayudar a aumentar la eficiencia de los procesos, pero en realidad aún falta tecnificar los procesos de poscosecha.
- El sistema de movimiento que se diseña en el proyecto ayudará a los sistemas de secado de lecho fijo a homogenizar el secado y mejorar la transferencia de calor hacia el grano reduciendo los tiempos y la calidad de secado.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la agrupación de pequeños agricultores adquiera el equipo de medición de humedad del grano conocido como “Humedímetro”, como se mostró ninguno de los dos centros de secado cumplía con la humedad base que se necesita para la comercialización y almacenamiento seguro de esta gramínea.
- En este proyecto se han diseñado las mejoras que pueden implementarse al secador de lecho fijo tipo rectangular debido a que son muchos los centros de secado que utilizan este sistema sin embargo se recomienda que éste sea reemplazado por el secador circular con movimiento de grano mediante un sistema de paletas.
- Se recomienda que el quemador no se encienda desde el inicio del secado, sino que solamente trabaje el ventilador por un tiempo aproximado de 1 hora, por el alto contenido inicial de humedad del grano.
- Al observar la planilla de luz facilitada por el propietario del centro de secado “Comercial Peña”, se observó que el factor de potencia era de 0,67 el cuál es bajo, por lo que es penalizado, teniendo que pagar un mayor costo por la energía eléctrica consumida, por lo que se recomienda que realice un arreglo de la red eléctrica ya que el factor de potencia permitido está en el rango de  $0,92 \leq Fp < 1$ .
- Se debería crear un departamento o un ente en el país que dedique su labor al estudio de alternativas de secado para las condiciones locales, y de las cuales se pueda tener un producto final que será un potencial

mejoramiento de todo el proceso, esto, sin duda con la debida transferencia de conocimientos de países desarrollados en el tema.

- En lo posible se debería dar una ayuda técnica a este sector agroindustrial, para que los procesos sean de mayor conocimiento y se transforme en un sistema de mayor tecnificación y eficiencia.
- El sector privado en esta área se encuentra muy bien planteado, pero el conocimiento no se transfiere ya que son secretos de las empresas, y por ende ganan de ellos, sin embargo se pueden establecer lineamientos por parte de las autoridades para que este sector no monopolice el mercado y exista oportunidades para la gente que ha trabajado en este aspecto durante varios años.
- Se recomienda que nuevos secadores se construyan en base al estudio realizado en éste proyecto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AISC, Manual of Steel construction, Eighth Edition, 1980.
- BOWLES J., Diseño de Acero Estructural, Limusa, México, 1991.
- Cartas Psicrométricas, Ing. Miguel Ortega, Ing. Adrián Peña; Escuela Politécnica Nacional.
- CENGEL, Y, Termodinámica, Cuarta Edición, McGraw-Hill, México, 2003.
- COSTALES, R., Tesis previa a la obtención del título de ingeniero mecánico en la especialización de ingeniería mecánica, Estudio del secado de granos mediante fluidización, 1995.
- DIPAC; Catálogo de Perfiles Estructurales.
- Estudio de la cinética del secado de granos, Centro de Investigación de energía.
- FAO, Arias C., Manual de Manejo Poscosecha de Granos a Nivel Rural, Santiago, Chile, 1993.
- FAO, De Dios, Secado de granos y secadoras, Santiago, Chile, 1996.
- FAO, De Lucia M, La ingeniería en el desarrollo, Manejo y tratamiento de granos poscosecha.
- FOX, McDonald, Introducción a la mecánica de fluidos, McGraw-Hill, 2da. Edición, México, 1995.
- GUACHAMÍN C., Diseño de un secador de cacao fino, Proyecto previa a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, Escuela Politécnica Nacional, 2007.
- HARNING, F. Transporte de fluidos por tuberías, España, 1975.
- HOWARD J.R. Fluidized Bed Technology Principles and Applications, Bristol y New York, Adam Hilger, 1989.
- INCROPERA, F. Fundamentos de Transferencia de Calor, 4ta. Edición, México, 1999.
- INEN; Código de Dibujo Técnico Mecánico; Quito, 1981.
- INTERMEC, La transmisión de cadenas por cadena de rodillos.
- IVAN BOHMAN, catálogo de ejes de transmisión.



- KUNII D. LEVENSPIEL, O., Fluidization Engineering. 4ta. Edición. Florida. R. Krieger Publishing Company, Inc. 1987.
- MANUAL DE RODAMIENTOS FAG, Catálogo WL 41 520/3 SB.
- MARKS', Standard Handbook for Mechanical Engineers, Tenth Edition, McGraw-Hill, New York, 1996.
- MATAIX, C., Mecánica de Fluidos y máquinas hidráulicas, 2<sup>da</sup> Edición, México, 1982.
- McCabe W., Operaciones unitarias en Ingeniería Química, 7ma. Edición, McGraw-Hill, México, 2007.
- PORTILLA A., BRACERO G., Apuntes de seminario de diseño de secadores, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica.
- RAVENET J., Silos, Editores Técnicos Asociados, Barcelona, 1982.
- REPER METAL, catálogo de planchas perforadas.
- SALVI, G. "La combustión, teoría y aplicaciones" Ed. Dossat S.A., 1975.
- SHIGLEY, J. Manual de Diseño Mecánico, 4ta Ed., McGraw-Hill, 1989.
- VIAN, Elementos de Ingeniería Química, 5<sup>ta</sup> Edición, Madrid-España, 1976.
- [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lim/carvajal\\_v\\_li/capitulo6.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/carvajal_v_li/capitulo6.pdf)
- <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3180/1/31298-4.pdf>
- <http://www.austrogas.com.ec>
- <http://www.cidap.org.ec/aplicaciones/publicaciones/archivos/los%20rios.pdf>
- <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maiz.htm>
- [http://www.fastonline.org/CD3WD\\_40/INPHO/VLIBRARY/X0028S/ES/X0028S00.HTM](http://www.fastonline.org/CD3WD_40/INPHO/VLIBRARY/X0028S/ES/X0028S00.HTM)
- <http://www.fao.org/docrep/t0395s/t0395s00.htm>
- <http://www.monografias.com/trabajos45/conservaciónmaiz/conservacion-semillas-maiz.shtml>
- [www.freemeteo.com](http://www.freemeteo.com)
- [www.los-seibos.com/teoria/processem.pdf](http://www.los-seibos.com/teoria/processem.pdf)
- [www.sica.gov.ec](http://www.sica.gov.ec)

# ANEXOS

# **ANEXO A**

## **EQUIPOS EMPLEADOS PARA LAS MEDICIONES**

ANEXO A-I

Equipos empleados para mediciones del proceso de secado.

## ANEXO A-I

### Equipos empleados para mediciones del proceso de secado.

#### Humedímetro

Este equipo es utilizado para la medición de la humedad del grano, no solo del maíz sino para varias gramíneas como el arroz, soya, café, cacao, etc. El medidor entrega el porcentaje de humedad en base húmeda y se lo muestra en la figura.



Figura A.1 Humedímetro.

#### Anemómetro

El anemómetro es utilizado para medir la velocidad del aire, este equipo esta graduado en ft/min, y su rango es de 0 a 3500 ft/min, se lo muestra en la figura



Figura A.2 Anemómetro.

### **Termómetro**

Utilizado para medir la temperatura ambiente en bulbo seco y en bulbo húmedo.

# **ANEXO B**

## **CÁLCULOS DEL SECADOR RECTANGULAR**

ANEXO B-I

Selección de la plancha perforada

ANEXO B-II

Diseño de la estructura soporte para la plancha perforada.

ANEXO B-III

Cálculo del flujo de aire.

## ANEXO B-I

### Selección de la plancha perforada

La presión lateral es:

$$P_{hj} = \frac{\rho_m R_h}{\mu'} \left( 1 - e^{-\frac{\mu' k_H}{R_h}} \right)$$

Diámetro hidráulico del secador es:

$$D_{is} \cong \frac{4A}{P}$$

$$D_{is} \cong \frac{4 \times 11,8m \times 3,64m}{30,88m}$$

$$D_{is} \cong 5,56 [m]$$

Radio hidráulico:

$$R_h = \frac{D_{is}}{4}$$

$$R_h = \frac{5,56m}{4}$$

$$R_h = 1,39 [m]$$

$$\mu' = \tan \Phi'$$

Donde:

$\Phi'$ : Ángulo de rozamiento del maíz contra la pared, [°]

$$\mu' = \tan 18^\circ$$

$$\mu' = 0,325$$

$$k = \frac{1 - \sin \Phi}{1 + \sin \Phi}$$

Donde:

$\Phi$  = Ángulo de rozamiento interno, [°]

$$k = \frac{1 - \sin 27^\circ}{1 + \sin 27^\circ}$$

$$k = 0,376$$

$$P_{hJ} = \frac{\rho_m R_h}{\mu'} \left( 1 - e^{-\frac{\mu' k_H}{R_h}} \right)$$

$$P_{hJ} = \frac{750 \frac{kg}{m^3} \times 1,39m}{0,325} \left( 1 - e^{-\frac{0,325 \times 0,376}{1,39m} \times 1,18m} \right)$$

$$P_{hJ} = 316,08 \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$$

Según PLATONOV la presión lateral es:<sup>72</sup>

$$P_{hP} = 2,32 \times 316,08 \frac{kg}{m^2}$$

$$P_{hP} = 733,31 \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$$

La presión vertical es:

$$k = \frac{P_{hP}}{P_v}$$

$$P_v = \frac{733,31 \frac{kg}{m^2}}{0,376}$$

$$P_v = 1\,950,29 \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$$

Mediante sumatoria de fuerzas que se ejerce sobre la plancha perforada, se determina el espesor de la misma así:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$P_v A_{\text{útil}} = \sigma_l A_{\text{lateral}}$$

$$P_v \left( \frac{\pi D_{is}^2}{4} - 0,23 \frac{\pi D_{is}^2}{4} \right) = \sigma_l \pi D_{is} e_{pp}$$

$$e_{pp} = \frac{0,77 \times D_{is} \times P_v}{4 \times \sigma_l}$$

$$\sigma_t = 2\sigma_l$$

<sup>72</sup> <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3180/1/31298-4.pdf>



$$e_{pp} = \frac{0,77 \times D_{is} \times P_v}{2 \times \sigma_t}$$

$$e_{pp} \geq \frac{0,77 \times D_{is} \times P_v}{2 \times \sigma_{adm}}$$

$$e_{pp} \geq \frac{0,77 \times 5,56m \times 1\,950,29 \frac{kg}{m^2}}{2 \times 1,2 \times 10^7 \frac{kg}{m^2}}$$

$$e_{pp} \geq 3 \times 10^{-4} [m]$$

$$e_{pp} \geq 0,3 [mm]$$

## ANEXO B-II

### Diseño de la estructura soporte para la plancha perforada

Masa total a soportar:

$$m_t = m_{tm} + m_{pp} + m_{es}$$

Masa total de maíz en la cámara de secado:

$$m_{tm} = V_{cs}\rho_m$$

$$m_{tm} = 50,68m^3 \times 750 \frac{kg}{m^3}$$

$$m_{tm} = 38\,012,52 [kg]$$

Masa de la plancha perforada:

$$m_{pp} = V_{pp}\rho_{ac}$$

$$m_{pp} = Ae_{pp}\rho_{ac}$$

$$m_{pp} = 11,8m \times 3,64m \times 0,003m \times 0,77 \times 7\,850 \frac{kg}{m^3}$$

$$m_{pp} = 778,87 [kg]$$

Masa de la estructura soporte:

$$m_{es} = \frac{\pi D_v^2}{4} L_{es}\rho_{ac}$$

$$m_{es} = \frac{\pi \times (8 \times 10^{-3})^2 m^2}{4} \times 166,32m \times 7\,850 \frac{kg}{m^3}$$

$$m_{es} = 65,63 [kg]$$

$$m_t = 38\,012,52kg + 778,87kg + 65,63kg$$

$$m_t = 38\,857,02 [kg]$$

La varilla trabaja como columna, para determinar su diámetro se utiliza la relación de esbeltez de un elemento sometido a compresión, que no debe exceder de  $200^{73}$ , por lo tanto:

$$\lambda = \frac{kl_c}{r_{min}}$$

Donde:

$\lambda$ : Relación de esbeltez, [adimensional]

$k$ : Factor de apoyo, [adimensional]

$l_c$ : Longitud de la columna, [m]

$r_{min}$ : Radio de giro mínimo de la sección, [m]

El factor de apoyo para condiciones de extremo, en el que los dos extremos están empotrados, es 0,65.<sup>74</sup>

$$r_{min} = \frac{0,65 \times 0,5m}{200}$$

$$r_{min} = 1,625 \times 10^{-3} [m]$$

La varilla debe tener un  $r_{min}$  igual a  $1,625 \times 10^{-3}$  m. El diámetro de una sección circular es 4 veces el radio mínimo, es decir, el diámetro de la varilla debe ser mayor a 6,5 mm. Las varillas existentes en el mercado tienen un diámetro comprendido entre 8 y 32 mm, por lo tanto se utiliza la varilla de menor diámetro.

El nuevo  $\lambda$  es:

$$\lambda = \frac{0,65 \times 0,5m}{2 \times 10^{-3}m}$$

$$\lambda = 162,5$$

La carga crítica que puede soportar el acero A-42, material de la varilla, es:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_{yA-42}}}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 2 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2}}{4.200 \frac{kg}{cm^2}}}$$

<sup>73</sup> AISC, Manual of Steel construction, Eighth Edition, 1980, pág. 5-29.

<sup>74</sup> BOWLES J., Diseño de Acero Estructural, Limusa, México, 1991, pág. 299.

$$C_c = 96,95$$

Como  $\lambda > C_c$ , el esfuerzo admisible a compresión es:

$$F_a = \frac{12 \times \pi^2 \times E}{23 \times \lambda^2}$$

Donde:

$F_a$ : Esfuerzo admisible a compresión, [kg/cm<sup>2</sup>]

$$F_a = \frac{12 \times \pi^2 \times 2 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2}}{23 \times 162,5^2}$$

$$F_a = 390,01 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

El esfuerzo real a compresión es:

$$I_a = \frac{f_a}{F_a}$$

Donde:

$I_a$  = Índice de trabajo del elemento, [adimensional]

$f_a$  = Esfuerzo real a compresión, [kg/cm<sup>2</sup>]

Según el valor del índice de trabajo el elemento se define como:

$I_a \ll 1$ : Elemento sobredimensionado.

$I_a > 1$ : Elemento falla.

$I_a = 1$ : Óptimo

El valor del índice de trabajo por lo general está entre 0,85 y 1,05.

Según la teoría se toma  $I_a = 0,85$ , entonces:

$$f_a = 0,85 \times 390,01 \frac{kg}{cm^2}$$

$$f_a = 312 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

La carga que soporta cada columna es:

$$f_a = \frac{P_{sc}}{A_{sc}}$$

Donde:

$P_{sc}$  = Carga que soporta cada columna, [kg]

$A_{sc}$  = Área que soporta la carga, [cm<sup>2</sup>]

$$P_{sc} = 312 \frac{kg}{cm^2} \times 0,503cm^2$$

$$P_{sc} = 156,83 [kg]$$

El número de columnas es:

$$n_c = \frac{38\,857,02kg}{156,83kg}$$

$$n_c \cong 248 \text{ columnas}$$

La columna debe soldarse en cada nodo de la estructura, y según la figura solo existen 161 nodos, por lo que no puede utilizarse esta varilla. Debido a esto se toma la el siguiente diámetro de varilla que es de 12 mm y se recalcula, de donde se obtiene un número de columnas de 46.

## ANEXO B-III

### Cálculo del flujo de aire

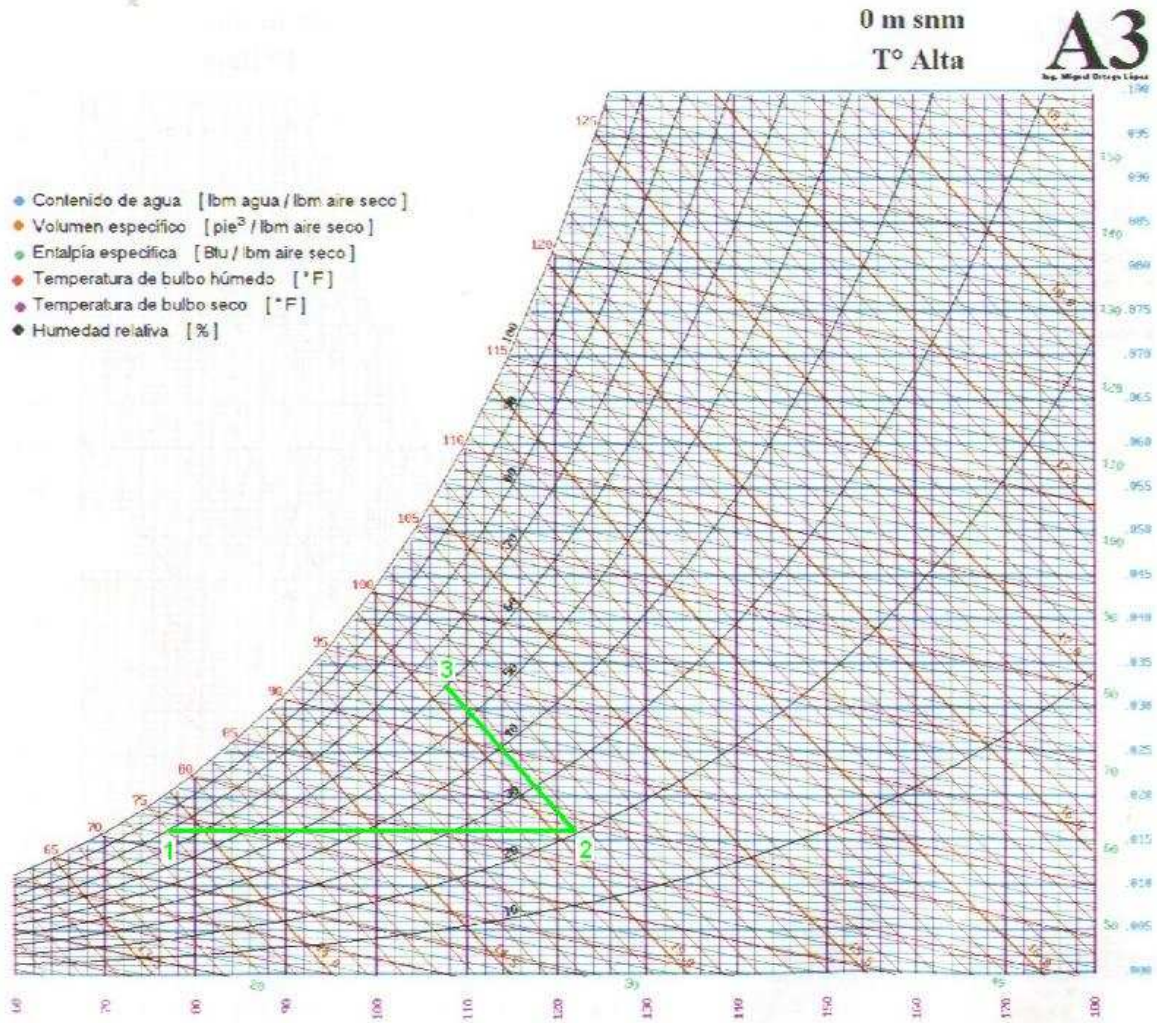


Figura B.1 Carta Psicrométrica a 0 msnm T° Alta.

**Fuente:** Cartas Psicrométricas, Ing. Miguel Ortega, Ing. Adrián Peña; Escuela Politécnica Nacional.

La cantidad de aire seco que se necesita para evaporar el agua contenida en el maíz es:

$$m_{as} = \frac{m_w}{(W_3 - W_2)}$$

De la figura B.1 se obtienen los valores correspondientes.

Punto 2:

Temperatura bulbo seco: 50°C o 122°F

Humedad específica: 0,016[kg agua/kg aire seco]

Punto 3:

Del análisis de campo se midió que la temperatura de bulbo seco después del lecho es 26 °C, lo que da una humedad relativa de 60%.

Humedad específica: 0,0325 [kg agua/kg aire seco]

### Cálculo de la cantidad de agua a evaporar

La cantidad de agua que se necesita remover con el aire caliente para disminuir la humedad de los granos de 30% a 14,5% para una masa de granos de 10 630,62 kg es:

$$PQ = \left( \frac{\phi_i - \phi_f}{100 - \phi_f} \right)$$

$$PQ = \left( \frac{30 - 14,5}{100 - 14,5} \right)$$

$$PQ = 0,181$$

$$M_{fm} = M_{im} - (M_{im}PQ)$$

$$M_{fm} = 10\,630,62\text{kg} - (10\,630,62 \times 0,181)\text{kg}$$

$$M_{fm} = 8\,706,48 \text{ [kg]}$$

$$m_w = M_{im} - M_{fm}$$

$$m_w = 10\,630,62\text{kg} - 8\,703,43\text{kg}$$

$$m_w = 1\,924,14 \text{ [kg agua]}$$

Por lo tanto:

$$m_{as} = \frac{1\,924,14\text{kg agua}}{(0,0325 - 0,016) \frac{\text{kg agua}}{\text{kg aire seco}}}$$

$$m_{as} = 116\,614,55 \text{ [kg aire seco]}$$

El volumen de aire seco es entonces:

$$V_{as} = \frac{m_a RT_a}{P}$$

$$V_{as} = \frac{116\,614,55\text{kg} \times 0,287 \frac{\text{kPa} \cdot \text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times 323\text{K}}{101,35\text{kPa}}$$

$$V_{as} = 106\,662,9 \text{ [m}^3 \text{aire seco]}$$

La presión parcial de vapor de agua es:

$$P_{v1} = \phi_a P_{s1}$$

$$P_{v1} = 0,79 \times 3,169\text{kPa}$$

$$P_{v1} = 2,504 \text{ [kPa]}$$

La presión en el punto 1 de la carta psicrométrica es igual a:

$$P_{as} = P - P_v$$

$$P_{as} = 101,38\text{kPa} - 2,504\text{kPa}$$

$$P_{as} = 98,876 \text{ [kPa]}$$

El volumen específico del aire seco a condiciones ambiente es:

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_a}$$

$$v_1 = \frac{0,287 \frac{\text{kPa} \cdot \text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times 298\text{K}}{98,876\text{kPa}}$$

$$v_1 = 0,865 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]$$

La masa de aire ambiente que se necesita es:

$$m_a = \frac{V_{as}}{v_1}$$

$$m_a = \frac{106\,662,9 \text{ m}^3}{0,865 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}$$

$$m_a = 123\,309,71 \text{ [kg]}$$



El tiempo de secado se determinó que es 3,73 horas, entonces el flujo de aire es:

$$\dot{m}_a = \frac{m_a}{t_s}$$

$$\dot{m}_a = \frac{123\,309,71\text{kg}}{3,73\text{h}}$$

$$\dot{m}_a = 9,18 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

# ANEXO C

## CÁLCULOS DEL SECADOR CIRCULAR

ANEXO C-I

Diseño de la cámara de secado.

ANEXO C-II

Selección de refuerzos para la cámara de secado.

ANEXO C-III

Selección de la plancha perforada.

ANEXO C-IV

Diseño de la estructura soporte para la plancha perforada.

ANEXO C-V

Cálculo del flujo de aire.

## ANEXO C-I

### Diseño de la cámara de secado

La cámara de secado tendrá las siguientes dimensiones:

Diámetro interior de la cámara de secado = 6 [m]

Altura de la cámara de secado = 1,02 [m]

Presión lateral según JANSSEN es:<sup>75</sup>

$$P_{hJ} = \frac{\rho_m R_h}{\mu'} \left( 1 - e^{-\frac{\mu' k H}{R_h}} \right)$$

Radio hidráulico del secador es:

$$R_h = \frac{D_{is}}{4}$$

$$R_h = \frac{6m}{4}$$

$$R_h = 1,5 [m]$$

Tangente del ángulo de rozamiento del maíz contra la pared es:

$$\mu' = \tan \Phi'$$

$$\mu' = \tan 18^\circ$$

$$\mu' = 0,325$$

Relación entre presión horizontal y vertical

$$k = \frac{1 - \sin \Phi}{1 + \sin \Phi}$$

$$k = \frac{1 - \sin 27^\circ}{1 + \sin 27^\circ}$$

$$k = 0,376$$

Reemplazando datos la presión de JANSSEN es:

---

<sup>75</sup> RAVENET J., Silos, Editores Técnicos Asociados, Barcelona, 1977, pág. 8.

$$P_{hJ} = \frac{750 \frac{kg}{m^3} \times 1,5m}{0,325} \left( 1 - e^{-\frac{0,325 \times 0,376}{1,5m} \times 1,02m} \right)$$

$$P_{hJ} = 276,01 \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$$

La máxima presión que puede existir sobre las paredes de la cámara de secado es la presión lateral de PLATONOV y su ecuación es:<sup>76</sup>

$$P_{hP} = 2,32 \times P_{hJ}$$

$$P_{hP} = 2,32 \times 276,01 \frac{kg}{m^2}$$

$$P_{hP} = 640,34 \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$$

La ecuación para determinar el esfuerzo admisible de la plancha de acero es:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{F.S.}$$

Donde:

$\sigma_{adm}$ : Esfuerzo admisible del acero, [kg/cm<sup>2</sup>]

$S_y$ : Esfuerzo a la fluencia del acero, [kg/cm<sup>2</sup>]

$F.S.$ : Factor de seguridad

$$\sigma_{adm} = \frac{2\,536,37 \frac{kg}{cm^2}}{2}$$

$$\sigma_{adm} = 1\,268,185 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$\sigma_{adm} = 1,2 \times 10^7 \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$$

El espesor de la plancha de acero es:

$$e_p \geq \frac{P_{hP} D_{is}}{2 \sigma_{adm}}$$

$$e_p \geq \frac{640,34 \frac{kg}{m^2} \times 6m}{2 \times 1,2 \times 10^7 \frac{kg}{m^2}}$$

<sup>76</sup> <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3180/1/31298-4.pdf>

$$e_p \geq 2 \times 10^{-4} [m]$$

$$e_p \geq 0,2 [mm]$$

## ANEXO C-II

### Selección de refuerzos para la cámara de secado

La carga total que soportarán los perfiles es:

$$P_T = P_{hp} A_{lcs}$$

Donde:

$P_T$ : Carga total, [kg]

$A_{lcs}$ : Área lateral de la cámara de secado, [m<sup>2</sup>]

$$P_T = 640,34 \frac{kg}{m^2} \times \pi \times 6m \times 1,02m$$

$$P_T = 12\,311,53 [kg]$$

La carga que soportará cada perfil es:

$$P_p = \frac{P_T}{19}$$

$$P_p = \frac{12\,311,53kg}{19}$$

$$P_p = 647,98 [kg]$$

El momento máximo que soporta el perfil es:

$$M_{m\acute{a}x} = P_p \frac{l_p}{3}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 647,98kg \times \frac{1,02m}{3}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 220,31 [kg \cdot m]$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M_{m\acute{a}x}}{S_{xx}} \leq \sigma_{adm}$$

$$S_{xx} \geq \frac{M_{m\acute{a}x}}{\sigma_{adm}}$$

$$S_{xx} \geq \frac{220,31kg \cdot m}{1,2 \times 10^7 \frac{kg}{m^2}}$$

$$S_{xx} \geq 1,8 \times 10^{-5} [m^3]$$

$$S_{xx} \geq 18,36 [cm^3]$$

Se selecciona un perfil estructural G 100 x 50 x 15 x 3 mm que tienen un  $S_{xx} = 19,60 \text{ cm}^3$ , (ver ANEXO E-II).

## ANEXO C-III

### Selección de la plancha perforada

La presión vertical es:

$$k = \frac{P_{hp}}{P_v}$$

$$P_v = \frac{640,34 \frac{kg}{m^2}}{0,376}$$

$$P_v = 1\,703,03 \frac{kg}{m^2}$$

El espesor de la plancha perforada es:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$P_v A_{\text{útil}} = \sigma_l A_{\text{lateral}}$$

$$P_v \left( \frac{\pi D_{is}^2}{4} - 0,23 \frac{\pi D_{is}^2}{4} \right) = \sigma_l \pi D_{is} e_{pp}$$

$$e_{pp} = \frac{0,77 \times D_{is} \times P_v}{4 \times \sigma_l}$$

$$\sigma_t = 2\sigma_l$$

$$e_{pp} = \frac{0,77 \times D_{is} \times P_v}{2 \times \sigma_t}$$

$$e_{pp} \geq \frac{0,77 \times D_{is} \times P_v}{2 \times \sigma_{adm}}$$

$$e_{pp} \geq \frac{0,77 \times 6m \times 1\,703,03 \frac{kg}{m^2}}{2 \times 1,2 \times 10^7 \frac{kg}{m^2}}$$

$$e_{pp} \geq 3 \times 10^{-4} [m]$$

$$e_{pp} \geq 0,3 [mm]$$



## ANEXO C-IV

### Diseño de la estructura soporte para la plancha perforada

Masa total a soportar:

$$m_t = m_{tm} + m_{pp} + m_{es}$$

Masa total de maíz en la cámara de secado:

$$V_{cs} = \frac{\pi D_{is}^2}{4} H_{cs}$$

$$V_{cs} = \frac{\pi \times 6^2 m^2}{4} \times 1,02 m$$

$$V_{cs} = 28,84 [m^3]$$

$$m_{tm} = V_{cs} \rho_m$$

$$m_{tm} = 28,84 m^3 \times 750 \frac{kg}{m^3}$$

$$m_{tm} = 21\,630 [kg]$$

Masa de la plancha perforada:

$$m_{pp} = V_{pp} \rho_{ac}$$

$$m_{pp} = \frac{\pi D_{is}^2}{4} e_{pp} \rho_{ac}$$

$$m_{pp} = \frac{\pi \times 6^2 m^2}{4} \times 0,003 m \times 0,77 \times 7\,850 \frac{kg}{m^3}$$

$$m_{pp} = 512,71 [kg]$$

Masa de la estructura soporte:

Del resultado obtenido en el secador rectangular, la varilla de construcción que se utilizará para la estructura soporte de este secador también será de diámetro 12 mm, entonces:

$$m_{es} = \frac{\pi D_v^2}{4} L_{es} \rho_{ac}$$

$$m_{es} = \frac{\pi \times 0,012^2 m^2}{4} \times 110,23 m \times 7850 \frac{kg}{m^3}$$

$$m_{es} = 97,86 [kg]$$

$$m_t = 21630 kg + 512,71 kg + 97,86 kg$$

$$m_t = 22240,57 [kg]$$

La relación de esbeltez es:

$$\lambda = \frac{kl_c}{r_{min}}$$

$$\lambda = \frac{0,65 \times 0,5 m}{3 \times 10^{-3} m}$$

$$\lambda = 108,33$$

La carga crítica que soporta el elemento es:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_{yA-42}}}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 2 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2}}{4200 \frac{kg}{cm^2}}}$$

$$C_c = 96,95$$

Como  $\lambda > C_c$ , el esfuerzo admisible a compresión es:

$$F_a = \frac{12 \times \pi^2 \times E}{23 \times \lambda^2}$$

Donde:

$F_a$ : Esfuerzo admisible a compresión, [kg/cm<sup>2</sup>]

$$F_a = \frac{12 \times \pi^2 \times 2 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2}}{23 \times 108,33^2}$$

$$F_a = 877,58 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

El esfuerzo real a compresión es:

$$f_a = 0,85 \times 877,58 \frac{kg}{cm^2}$$

$$f_a = 745,94 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

La carga que soporta cada columna es:

$$f_a = \frac{P_{sc}}{A_{sc}}$$

$$P_{sc} = 745,94 \frac{kg}{cm^2} \times 1,131 cm^2$$

$$P_{sc} = 843,64 [kg]$$

El número de columnas es:

$$n_c = \frac{22\,240,57 kg}{843,64 kg}$$

$$n_c \cong 27 \text{ columnas}$$

## ANEXO C-V

### Cálculo del flujo de aire

De acuerdo a la expresión para el cálculo de la cantidad de aire seco, se necesitan los valores de humedad específica entre los puntos en los que sucede el proceso de humidificación, los mismos que se obtienen de la carta Psicrométrica, tal como se indica en la figura C.1.

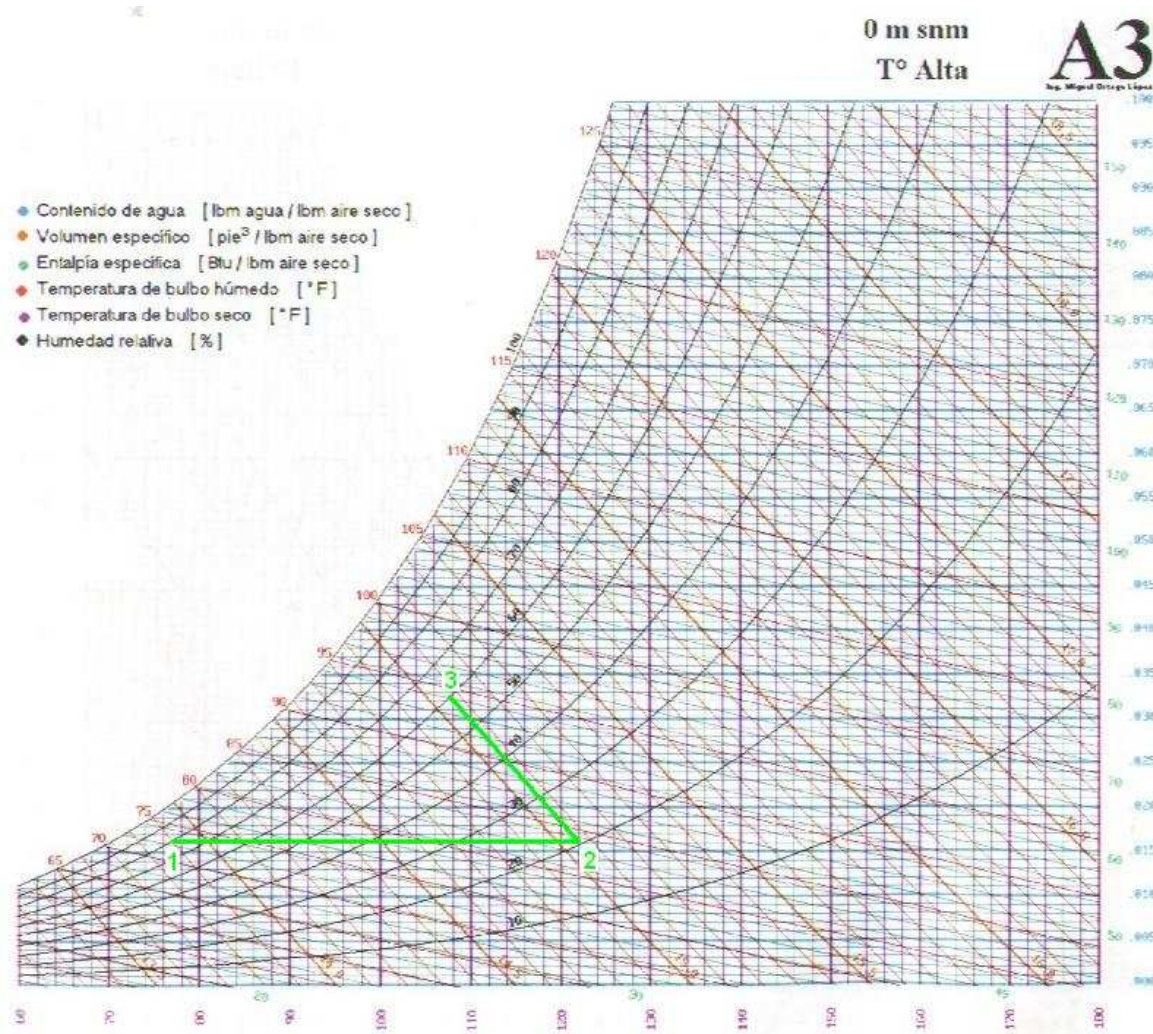


Figura C.1 Carta Psicrométrica a 0 msnm T° Alta.

**Fuente:** Cartas Psicrométricas, Ing. Miguel Ortega, Ing. Adrián Peña; Escuela Politécnica Nacional.

La masa de aire seco es:

$$m_{as} = \frac{m_w}{(W_3 - W_2)}$$

Punto 2:

Temperatura bulbo seco: 50°C o 122°F

Humedad específica: 0,016[kg agua/kg aire seco]

Punto 3:

Suponiendo que el aire sale al ambiente con una humedad relativa de 60%

Humedad específica: 0,0325 [kg agua/kg aire seco]

### **Cálculo de la cantidad de agua a evaporar**

La cantidad de agua a evaporar es igual a la diferencia entre la masa inicial del maíz y la masa final del maíz.

Por lo general la humedad con la que el grano llega para el proceso de secado es de 24% sin embargo existe ocasiones en la que el grano llega a los centros de secado con un porcentaje de humedad de 30%, por lo que para el diseño se usará éste último dato.

La cantidad de agua que se necesita remover con el aire caliente para disminuir la humedad de los granos de 30% a 13,5% para una masa de granos de 6.360 kg es:

$$PQ = \left( \frac{\phi_i - \phi_f}{100 - \phi_f} \right)$$

$$PQ = \left( \frac{30 - 14,5}{100 - 14,5} \right)$$

$$PQ = 0,181$$

$$M_{fm} = M_{im} - (M_{im}PQ)$$

$$M_{fm} = 6\,360\text{kg} - (6\,360 \times 0,181)\text{kg}$$

$$M_{fm} = 5\,207,02 \text{ [kg]}$$

$$m_w = M_{im} - M_{fm}$$

$$m_w = 6\,360\text{kg} - 5\,207,02\text{kg}$$

$$m_w = 1\,152,98 \text{ [kg agua]}$$

Por lo tanto:

$$m_{as} = \frac{1\,152,98 \text{ kg agua}}{(0,0325 - 0,016) \frac{\text{kg agua}}{\text{kg aire seco}}}$$

$$m_{as} = 69\,877,58 \text{ [kg aire seco]}$$

El volumen de aire seco es entonces:

$$V_{as} = \frac{m_{as}RT_a}{P}$$

$$V_{as} = \frac{73\,621,82 \text{ kg} \times 0,287 \frac{\text{kPa} \cdot \text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times 323 \text{ K}}{101,35 \text{ kPa}}$$

$$V_{as} = 63\,914,37 \text{ [m}^3 \text{ aire seco]}$$

La presión parcial de vapor de agua es:

$$P_{v1} = \phi_a P_{s1}$$

$$P_{v1} = 0,79 \times 3,169 \text{ kPa}$$

$$P_{v1} = 2,504 \text{ [kPa]}$$

La presión en el punto 1 de la carta psicrométrica es igual a:

$$P_a = P - P_v$$

$$P_a = 101,38 \text{ kPa} - 2,504 \text{ kPa}$$

$$P_a = 98,876 \text{ [kPa]}$$

El volumen específico del aire seco a condiciones ambiente es:

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_a}$$

$$v_1 = \frac{0,287 \frac{\text{kPa} \cdot \text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times 298 \text{ K}}{98,876 \text{ kPa}}$$

$$v_1 = 0,865 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]$$

La masa de aire ambiente que se necesita es:

$$m_a = \frac{V_{as}}{v_1}$$

$$m_a = \frac{63\,914,37\,m^3}{0,865\,\frac{m^3}{kg}}$$

$$m_a = 73\,889,44\,[kg]$$

El tiempo de secado se determinó que es 3,73 horas, entonces el flujo de aire es:

$$\dot{m}_a = \frac{m_a}{t_s}$$

$$\dot{m}_a = \frac{73\,889,44kg}{3,73h}$$

$$\dot{m}_a = 5,5\left[\frac{kg}{s}\right]$$

# **ANEXO D**

## **CÁLCULOS DEL SISTEMA DE MOVIMIENTO PARA EL SECADOR CIRCULAR**

ANEXO D-I

Cálculo del eje de transmisión



## ANEXO D-I

### Cálculo del eje de transmisión

Del análisis del eje se puede establecer el DCL (diagrama de cuerpo libre del eje), mostrado en la figura D.1.

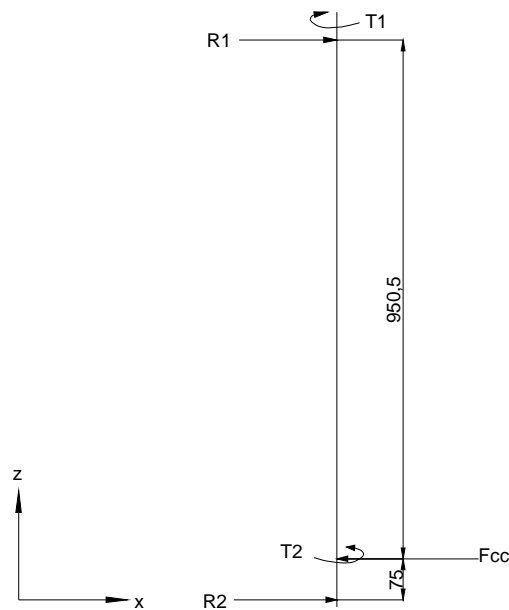


Figura D.1 Diagrama de cuerpo libre del eje de transmisión.

Fuente: Propia.

Donde:

F<sub>cc</sub>: Fuerza ejercida por la catalina

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>: Reacciones de los cojinetes

T<sub>1</sub>: Torque ejercido por la catalina

T<sub>2</sub>: Torque igual a T<sub>1</sub> generado por la resistencia del maíz

De este análisis se determinan las reacciones, para luego obtener el diagrama de cortante y momento flector.

Con este último diagrama se encontrará el diámetro de diseño del eje, como sigue:

$$\sum M_{yR2} = 0$$

$$F_{cc} \times 75 - R1 \times 1\,025,5 = 0$$

$$R1 = \frac{F_{cc} \times 75}{1\,025,5}$$

$$R1 = \frac{F_{cc} \times 75}{1\,025,5}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$R1 + R2 - F_{cc} = 0$$

$$R2 = F_{cc} - R1$$

F<sub>cc</sub> se determina mediante la relación:

$$F_{cc} = \frac{T2}{\frac{D}{2}}$$

$$F_{cc} = \frac{3\,407 \text{ N} \cdot \text{m}}{\frac{0,206 \text{ m}}{2}}$$

$$F_{cc} = 33\,077,67 \text{ [N]}$$

Luego se tiene:

$$R1 = 2\,419,1 \text{ [N]}$$

$$R2 = 30\,658,5 \text{ [N]}$$

Ahora se obtiene los diagramas de fuerza cortante y de momento flector, los mismos que se muestran en la figura D.2.

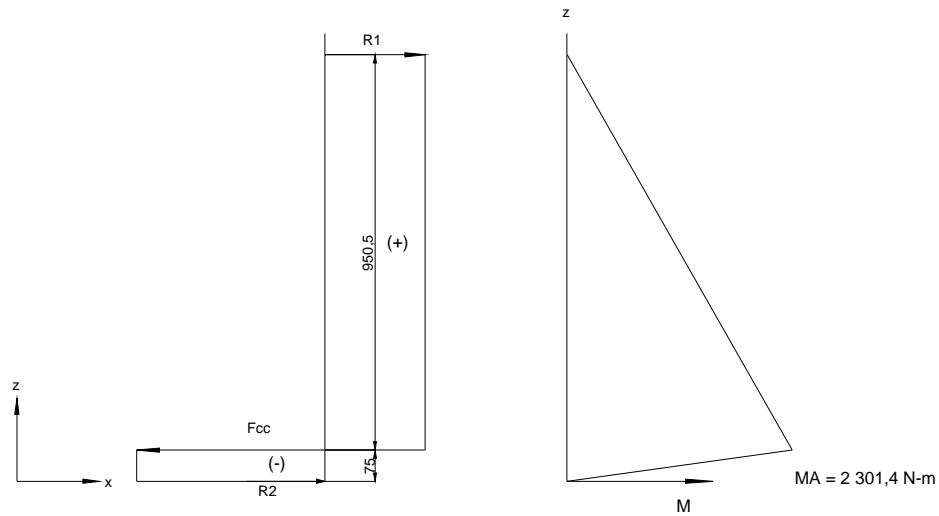


Figura D.2 Diagrama de fuerza cortante y momento flector del eje.

Fuente: Propia.

Se analiza el elemento mediante las teorías de falla estática, en este caso se utilizará la teoría de Von Mises.

$$M = 2\,327,7 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

$$T = 13\,315,7 \text{ [lbf} \cdot \text{pulg]}$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{M \times (d/2)}{\frac{\pi \times d^4}{64}} = \frac{32 \times M}{\pi \times d^3} = \frac{32 \times 2\,327,7 \text{ N} \cdot \text{m}}{\pi \times d^3}$$

$$\sigma = \frac{23\,709,7 \text{ N} \cdot \text{m}}{d^3}$$

$$\tau = \frac{Tr}{J} = \frac{16 T}{\pi d^3} = \frac{83\,095,2 \text{ N} \cdot \text{m}}{d^3}$$

Luego se obtiene el esfuerzo de Von Mises:

$$\sigma^{\square} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{yz}^2}$$

$$\sigma^{\square} = \sqrt{\left(\frac{23\,709,7}{d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{83\,095,2}{d^3}\right)^2}$$

$$\sigma^{\square} = \frac{145\,864,62}{d^3} \quad (1)$$

Y se tiene la relación:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma^{\square}}$$

Donde del material se tiene que:  $S_y = 54 \text{ Kpsi}$

Se escoge un factor de seguridad  $n=2$

Por tanto:

$$\sigma^{\square} = \frac{S_y}{\eta} = \frac{54}{2,2} = 27 \text{ [kpsi]} = 186,42 \text{ [MPa]} \quad (2)$$

Reemplazando 2 en 1 se obtiene:

$$d^3 = \frac{145\,864,62 \text{ N} \cdot \text{m}}{\sigma^{\square}} = \frac{145\,864,62 \text{ N} \cdot \text{m}}{1,8642 \times 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = 7,824 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

Luego,

$$d = 0,0921 \text{ [m]}$$

$$d = 92,1 \text{ [mm]}$$

# ANEXO E

## MATERIALES Y EQUIPOS CONSTRUCTIVOS

ANEXO E-I

Planchas perforadas.

ANEXO E-II

Perfil estructural "G".

ANEXO E-III

Tubo estructural cuadrado.

ANEXO E-IV

Ventilador.

ANEXO E-V

Quemador.

ANEXO E-VI

Motorreductor.

ANEXO E-VII

Catalinas y piñones.

ANEXO E-VIII

Eje de transmisión.

## ANEXO E-I

### Planchas perforadas

**Proveedor: REPER METAL**

D	T	%	Espesor																	
			0,5	0,8	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10						
0,5	1,25	14,5	●																	
0,8	1,60	22,5	●																	
0,8	2	14,5		●																
1	2	23	●	●	●															
1,2	2,25	14,5		●																
1,5	3	23	●	●	●	●														
1,8	3	33			●															
2	3,5	30	●	●	●	●	●													
2	4	23						●												
2,5	4	35	●	●	●	●	●													
2,5	5	23						●	●											
3	5	33	●	●	●	●	●	●												
3	6	23											●							
3,5	5	44	●	●	●	●	●													
3,5	6	31						●		●										
4	6	40	●	●	●	●	●													
4	7	30						●		●	●									
5	7	46	●	●	●	●	●													
5	8	35						●		●	●	●								
6	8,5	44	●	●	●	●	●													
6	10	33						●		●	●	●	●	●						
7	10	44			●	●														
7	11	37						●		●	●	●	●	●						
8	11	48			●	●														
8	12	40						●		●	●	●	●	●						
8	15	26																	●	
8	Aboc.	4,5						●												
9	13	45			●	●														
9	14	37						●		●	●	●	●	●						
10	14	46			●	●	●													
10	15	40						●		●	●	●	●	●						
10	18	28																	●	●
12	16	51			●	●														
12	17	45						●		●	●	●	●	●						
12	20	32																	●	●
14	20	44																	●	●
15	18	63			●	●														
15	22	42						●		●	●	●	●	●						
15	24	35																	●	●
15	Aboc.	22,5						●												
20	25	58			●	●														
20	27	49						●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
30	37	60			●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
50	62	59						●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

D = Diámetro del agujero [mm]

T = Separación entre centros [mm]

% = Porcentaje perforado de la plancha.

Dimensiones: 1 x 2 m.

Material: Acero A-36

## ANEXO E-II

### Perfil estructural "G"



**DIPAC**<sup>®</sup>  
PRODUCTOS DE ACERO



### PERFILES ESTRUCTURALES CORREAS "G"

#### Especificaciones Generales

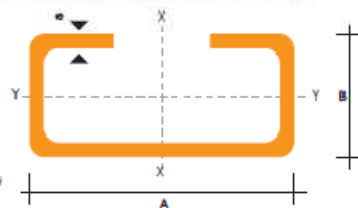
<b>Norma</b>	INEN 1 623: 2000
<b>Otras calidades</b>	Previa consulta
<b>Largo normal</b>	6mts
<b>Otros largos</b>	Previa consulta
<b>Espesores</b>	Desde 1.5mm hasta 12mm.
<b>Acabado</b>	Natural
<b>Otro acabado</b>	Previa consulta



CORREAS "G"

DIMENSIONES				PESOS			PROPIEDADES					
A	B	C	e	6 metros	1 metro	SECCION	EJE X-X			EJE Y-Y		
mm	mm	mm	mm	Kg	Kg	cm <sup>2</sup>	I	W	I	I	W	I
							cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
60	30	10	1.5	9.19	1.53	1.95	11.02	3.67	2.38	2.43	1.25	1.12
60	30	10	2	11.94	1.99	2.54	13.98	4.66	2.35	3.01	2.85	1.09
60	30	10	3	16.98	2.83	3.61	18.9	6.3	2.29	3.87	3.69	1.04
80	40	15	1.5	13.18	2.20	2.80	27.43	6.86	3.13	6.39	2.53	1.51
80	40	15	2	16.68	2.78	3.54	35.30	8.81	3.16	8.07	3.18	1.51
80	40	15	3	24.06	4.01	5.11	49.00	12.30	3.10	10.80	4.27	1.46
100	50	15	2	20.40	3.40	4.34	69.20	13.80	4.00	15.00	4.57	1.86
100	50	15	3	29.70	4.95	6.31	97.80	19.60	3.94	20.50	6.25	1.80
100	50	20	4	40.26	6.71	8.55	126.70	25.34	3.85	28.50	9.05	1.83
100	50	25	5	51.12	8.52	10.86	152.51	30.50	3.75	36.52	12.09	1.83
125	50	15	2	22.80	3.80	4.84	116.00	18.60	4.91	16.20	4.69	1.83
125	50	15	3	33.24	5.54	7.06	165.00	26.50	4.84	22.20	6.43	1.77
125	50	20	4	44.99	7.49	9.55	217.00	34.70	4.77	30.90	9.32	1.80
125	50	25	5	57.00	9.50	12.11	264.32	42.29	4.67	39.88	12.46	1.82
125	50	30	6	70.78	11.78	14.73	307.13	49.14	4.56	48.69	15.81	1.81
150	50	15	2	25.14	4.14	5.34	179.00	23.80	5.79	17.10	4.78	1.79
150	50	15	3	36.78	6.13	7.81	255.00	34.00	5.72	23.50	6.56	1.73
150	50	20	4	49.68	8.28	10.50	337.00	44.90	5.65	32.90	9.52	1.77
150	75	25	5	74.70	12.45	15.86	545.36	72.71	5.86	117.22	24.17	2.72
150	75	30	6	93.42	15.57	19.23	641.40	85.52	5.77	114.47	30.57	2.74
175	50	15	2	27.48	4.58	5.84	258.00	29.40	6.64	17.90	4.85	1.75
175	50	15	3	40.32	6.72	8.56	369.00	42.20	6.57	24.60	6.66	1.70
175	75	25	4	65.40	10.9	13.90	653.00	74.60	6.84	105.00	20.90	2.75
175	75	25	5	80.58	13.43	17.11	785.95	89.82	6.78	123.88	24.63	2.69
175	75	30	6	100.74	16.79	20.73	929.39	106.22	6.70	152.84	31.19	2.72
200	50	15	2	29.94	4.99	6.36	356.00	35.60	7.56	18.60	4.85	1.72
200	50	15	3	43.86	7.31	9.31	507.00	50.70	7.45	25.10	6.57	1.65
200	75	25	4	70.20	11.70	14.90	895.00	89.50	7.64	110.00	21.30	2.71
200	75	25	5	86.52	14.42	18.37	1080.00	108.00	7.67	129.62	25.02	2.66
200	75	30	6	108.00	18.00	22.23	1282.17	128.21	7.59	160.15	31.73	2.68
250	75	25	4	79.80	13.30	16.90	1520.00	122.00	9.48	118.00	21.70	2.64
250	100	25	5	109.98	18.33	23.36	2219.24	177.54	9.75	285.26	39.24	3.49
250	100	30	6	135.48	22.58	28.23	2647.38	219.79	9.68	383.54	55.58	3.69
300	100	30	4	100.80	16.80	21.30	2860.00	191.00	11.60	274.00	38.30	3.58
300	100	35	5	126.60	21.10	26.90	3560.00	237.00	11.50	351.00	49.90	3.62
300	100	35	6	154.74	25.79	31.80	4170.00	278.00	11.40	404.00	57.40	3.56

También en galvanizado e inoxidable



## ANEXO E-III

## Tubo estructural cuadrado



**DIPAC**<sup>®</sup>  
PRODUCTOS DE ACERO

**DISERVICIOS**

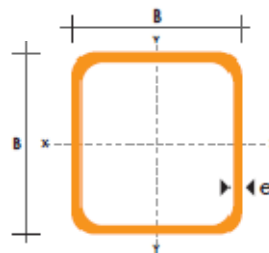
## TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

### Especificaciones Generales

<b>Norma</b>	ASTM A-500
<b>Recubrimiento</b>	Negro o galvanizado
<b>Largo normal</b>	6 mts.
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Dimensiones</b>	Desde 20mm a 100mm
<b>Espesor</b>	Desde 2,0mm a 3,0mm



DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A	ESPESOR	PESO	AREA	I	W	i
mm	mm	Kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84





ANEXO E-IV

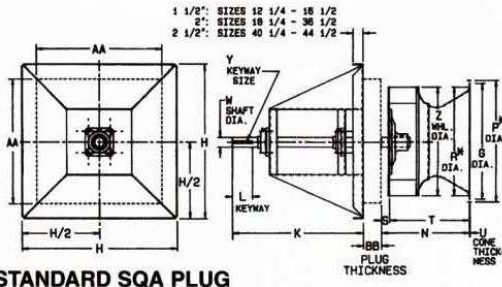
Ventilador



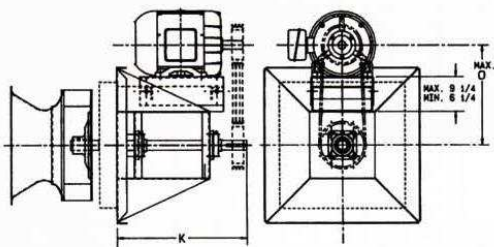








STANDARD SQA PLUG



STANDARD SQA PLUG WITH ADJUSTABLE MOTOR BASE

MOTOR FRAME	ADJUSTABLE MOTOR BASE DRIVE CENTERS			
	FOR SIZES 12-1/4 — 16-1/2		FOR SIZES 18-1/4 — 44-1/2	
	MINIMUM	MAXIMUM	MINIMUM	MAXIMUM
56 143-145	15-1/4	16-3/4	16-3/4	16-1/4
182-184	16-1/4	17-3/4	17-3/4	19-1/4
213-215	N/A	N/A	18-1/2	20
254-256	N/A	N/A	19-1/2	21
* 284-286	N/A	N/A	20-1/4	21-3/4
† 324-326	N/A	N/A	21-1/4	22-3/4

\* Sizes 27 - 44-1/2 only. † Sizes 40-1/4 and 44-1/2 only.

STANDARD PLUG DIMENSIONS (INCHES) ±1/8

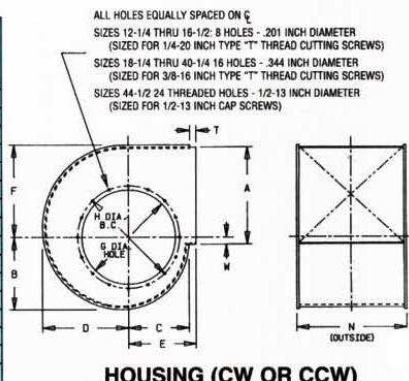
FAN SIZE	W (SHAFT DIA.)			Y (KEYWAY SIZE)			G	H	H/2	K	L	N	O	P*	R*	S	T	U	Z	AA
	CL I	CL II	CL III	CL I	CL II	CL III														
12-1/4	1-7/16	1-11/16	1-15/16	3/8 x 3/16	3/8 x 3/16	1/2 x 1/4	14 3/8	23	11-1/2	20	2-1/2	10-25/32	18-7/8	15	13 5/8	31/32	9 13/16	16 GA	13 3/8	18
13-1/2	1-7/16	1-11/16	1-15/16	3/8 x 3/16	3/8 x 3/16	1/2 x 1/4	15 3/4	23	11-1/2	20	2-1/2	11-7/8	18-7/8	16-1/2	15-1/8	1-1/16	10-13/16	16 GA	14-13/16	18
15	1-7/16	1-11/16	1-15/16	3/8 x 3/16	3/8 x 3/16	1/2 x 1/4	17-3/8	23	11-1/2	20	2-1/2	13-3/16	18-7/8	18-1/8	16-3/4	1-9/32	11-29/32	16 GA	16 7/16	18
16-1/2	1-7/16	1-11/16	1-15/16	3/8 x 3/16	3/8 x 3/16	1/2 x 1/4	19-3/8	23	11-1/2	20	2-1/2	14-15/32	18-7/8	20-1/8	18-1/2	1-15/32	13	16 GA	18-1/16	18
18-1/4	1-11/16	1-15/16	2-3/16	3/8 x 3/16	1/2 x 1/4	1/2 x 1/4	21-1/4	31	15-1/2	27-3/4	3-1/2	16-1/8	22-1/8	22-1/4	20-1/4	1-23/32	14-13/32	16 GA	19-15/16	27-3/8
20	1-11/16	1-15/16	2-3/16	3/8 x 3/16	1/2 x 1/4	1/2 x 1/4	23-1/4	31	15-1/2	27-3/4	3-1/2	17-5/8	22-1/8	24-1/16	22-1/8	1-7/8	15-3/4	16 GA	21-13/16	27-3/8
22-1/4	1-11/16	1-15/16	2-3/16	3/8 x 3/16	1/2 x 1/4	1/2 x 1/4	25-1/2	31	15-1/2	27-3/4	3-1/2	19-5/8	22-1/8	26-1/8	24-9/16	2-5/32	17-15/32	16 GA	24-1/4	27-3/8
24-1/2	1-11/16	1-15/16	2-3/16	3/8 x 3/16	1/2 x 1/4	1/2 x 1/4	28	31	15-1/2	27-3/4	3-1/2	21-9/16	22-1/8	29	27	2-3/16	19-3/8	14 GA	26-11/16	27-3/8
27	1-15/16	2-3/16	2-7/16	1/2 x 1/4	1/2 x 1/4	5/8 x 5/16	31-1/8	48	24	31	4-1/2	23-3/4	22-7/8	32-3/16	29-3/4	2-3/4	21	14 GA	29-3/8	43
30	1-15/16	2-3/16	2-7/16	1/2 x 1/4	1/2 x 1/4	5/8 x 5/16	34-1/2	48	24	31	4-1/2	26-11/32	22-7/8	35-3/8	33	3-3/32	23-1/4	14 GA	32-5/8	43
33	1-15/16	2-3/16	2-7/16	1/2 x 1/4	1/2 x 1/4	5/8 x 5/16	37-7/8	48	24	31	4-1/2	29	22-7/8	38-3/4	36-15/16	3-13/32	25-19/32	14 GA	35-13/16	43
36-1/2	1-15/16	2-3/16	2-7/16	1/2 x 1/4	1/2 x 1/4	5/8 x 5/16	42-1/8	48	24	31	4-1/2	32	22-7/8	43	40	3-23/32	28-9/32	14 GA	39-5/8	43
40-1/4	N/A	N/A	2-7/16	N/A	N/A	5/8 x 5/16	45-1/4	55	27-1/2	34-3/8	4-1/2	35-1/4	23-7/8	46-1/2	44	3-31/32	31-9/32	14 GA	43-7/16	50
44-1/2	N/A	N/A	2-7/16	N/A	N/A	5/8 x 5/16	50-1/8	55	27-1/2	34-3/8	4-1/2	38-15/16	23-7/8	51-1/4	48-3/4	4-13/32	34-17/32	12 GA	48	50

\*P\* is recommended bolt circle diameter for inlet cone mounting. \*T\* is recommended inlet hole size for inlet cone (and for wheel removal). Dimension "BB" for optional plug thicknesses equals 2, 4, or 6 inches.

HOUSING DIMENSIONS (INCHES)

FAN SIZE D/44	A	B	C	D	E	F	G	H	N		T
	SISW		100%								
—	10-7/8	7-15/32	6-1/8	8-9/32	7-31/32	9-1/2	9-3/4	10-3/4	7-11/16	1-9/16	1-1/2
—	14-3/16	8-17/32	7-3/32	10-5/32	8-27/32	10-13/16	11	12	8-23/32	3-9/16	1-1/2
12-1/4	14-1/8	10-15/32	8-11/16	12-15/32	11-5/16	13-1/4	13-5/8	15	10-21/32	1-3/32	2-13/16
13-1/2	15-13/16	11-1/2	9-1/2	13-23/32	12-1/16	14-9/16	15-1/8	16-1/2	11-3/4	1-15/32	2-13/16
15	17-3/16	12-3/4	10-9/16	15-7/32	12-7/8	16-5/32	16-5/8	18-1/8	13-1/16	1-9/32	2-13/16
16-1/2	19-1/8	14	11-19/32	16-23/32	13-7/8	17-3/4	18-1/2	20-1/8	14-11/32	1-5/8	2-13/16
18-1/4	20-3/4	15-23/32	13-1/16	18-23/32	15-3/8	19-7/8	20-1/4	22-1/4	15-7/8	1-3/8	2-13/16
20	23-7/16	17-5/32	14-7/32	20-7/16	16-5/16	21-23/32	22-1/16	24-1/16	17-3/8	2-1/4	2-13/16
22-1/4	25-9/16	19	15-13/16	22-21/32	18	24-3/32	24-1/2	26-1/8	19-3/8	1-31/32	3-5/16
24-1/2	28-3/16	20-7/8	17-11/32	24-29/32	19-1/4	26-1/2	27	29	21-5/16	2-7/32	3-5/16
27	31-9/16	22-15/16	19-1/32	27-3/8	20-7/8	29-1/8	29-3/4	32-3/16	23-1/2	2-31/32	3-5/16
30	34-3/8	25-3/8	21-1/16	30-5/16	22-9/16	32-1/4	33	35-3/8	26-3/32	2-19/32	3-7/16
33	38-5/16	27-27/32	23-1/16	33-1/4	24-5/8	35-3/8	36-5/16	38-3/4	28-3/4	3-7/16	3-13/16
36-1/2	42	30-3/4	25-15/32	36-3/4	27-1/2	39-1/8	40	43	31-3/4	3-3/8	4-3/16
40-1/4	46-1/2	33-27/32	28	40-1/2	30-1/16	43-1/8	44	46-1/2	35	3-29/32	5
44-1/2	51-1/16	37-11/32	30-29/32	44-11/16	32-15/16	47-9/16	48-3/4	51-1/4	38-11/16	3-31/32	5-1/2

NOTE: Sizes 40-1/4 AND 44-1/2 are furnished with housing stiffeners in place.



HOUSING (CW OR CCW)

**ANEXO E-V****Quemador****RETENA S.A.**Av. de la Prensa N47-296 y Rio Topo  
Quito-Ecuador**RUC: 1790508943001**Telf. 2240-668  
Fax. 2446-237**PROFORMA**

N: 15701 - VM

**CLIENTE:** ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
**ATENCION:**  
**TELEFONO:**Pagina: 1 de 1  
FECHA: 27/10/2009

CODIGO	DETALLE	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
99-001	Quemador industrial para gas LPG marca BECKETT con una capacidad de combustion de 800.000 a 1 400.000 BTU/h completo con motro de 1/2 HP 120 VAC - 60 Hz quemador modelo CG15	1.00	4,962.00	4,962.00
46-037	QUEMADOR Industrial marca Beckett/Gas capacidad de combustion de 300.000 / 600.000 BTU/Hora completo 120 VAC	2.00	1,213.43	2,426.86

**FORMA DE PAGO:** Cheque a favor de RETENA S.A.**TIEMPO DE VALIDEZ:** 10 Dias a partir de la fecha**TIEMPO DE ENTREGA:** De 4 a 6 semanas efectuado el pedido 46-037: 48 h**OBSERVACIONES:** 50% AL PEDIDO Y 50% CONTRA ENTREGA**SUBTOTAL:** \$ 7,388.86**IVA:** \$ 886.66**TOTAL:** \$ 8,275.52Los Precios descritos en la presente Proforma incluyen  
descuento especial de compra.



Heating Professionals  
Login

Username (email)

Password

Not registered?

Experience in the heating industry since 1937

Home   Products   Homeowner   Heating Professional   About Beckett   Contact Us

---

### Commercial Burner



## CG15

#### Features

- On/Off**
  - Standard
- Air Pressure Switch**
  - Standard
- Low Gas Pressure Switch**
  - Standard
- High Gas Pressure Switch**
  - Standard
- Main Shutoff Cock, Leak Test Cock, and Test Connections**
  - Standard

#### Specifications

- Capacities**
  - 800,000 to 1,400,000 BTU/hr input
- Fuels**
  - Natural Gas
  - Propane Gas
- Electrical Characteristics**
  - Motor: 1/2 hp, 3450 rpm
  - Power Supply: 120 V, 60Hz
  - Ignition: 6k 120v solid state igniter
  - Alternate Voltages or Frequency: Consult Customer Service

---

38251 Center Ridge Rd., North Ridgeville, OH 44039 | Phone: 440-327-1060 | Fax: 440-327-1064

© 2009 Beckett Corp. All rights reserved.

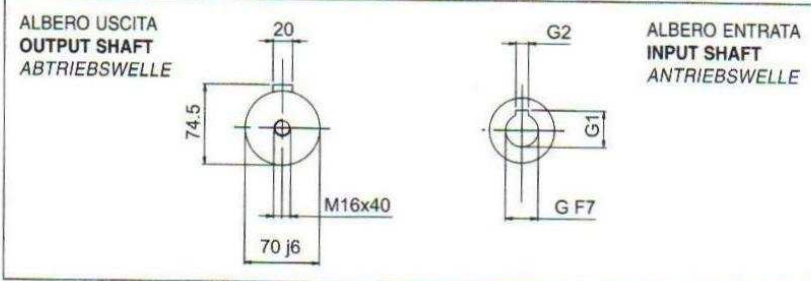
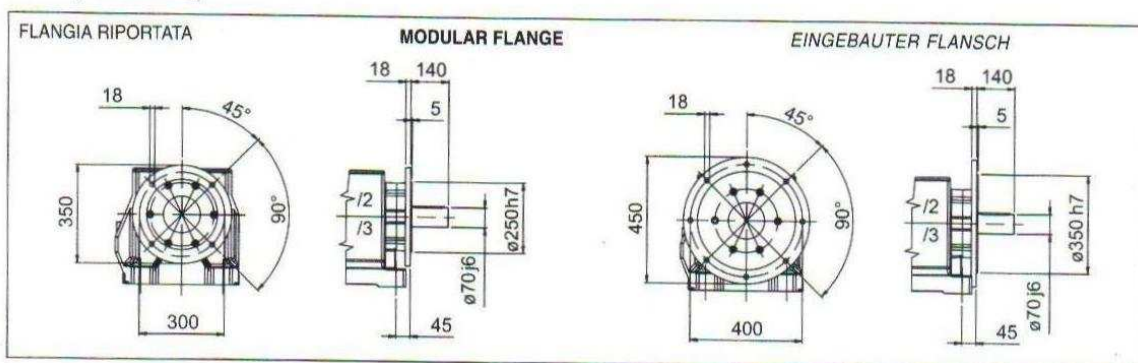
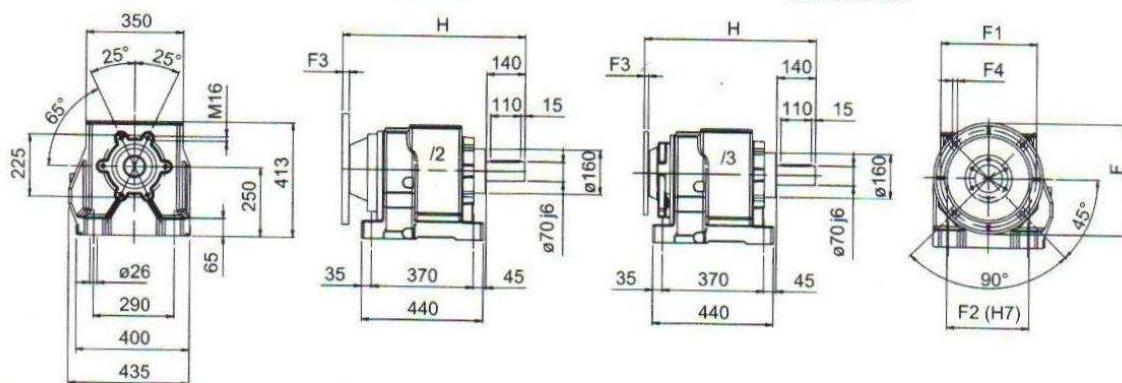




MNHL 70 PAM - MOTORIDUTTORE P.A.M.

MNHL 70 PAM - ARRANGED GEARED MOTORS

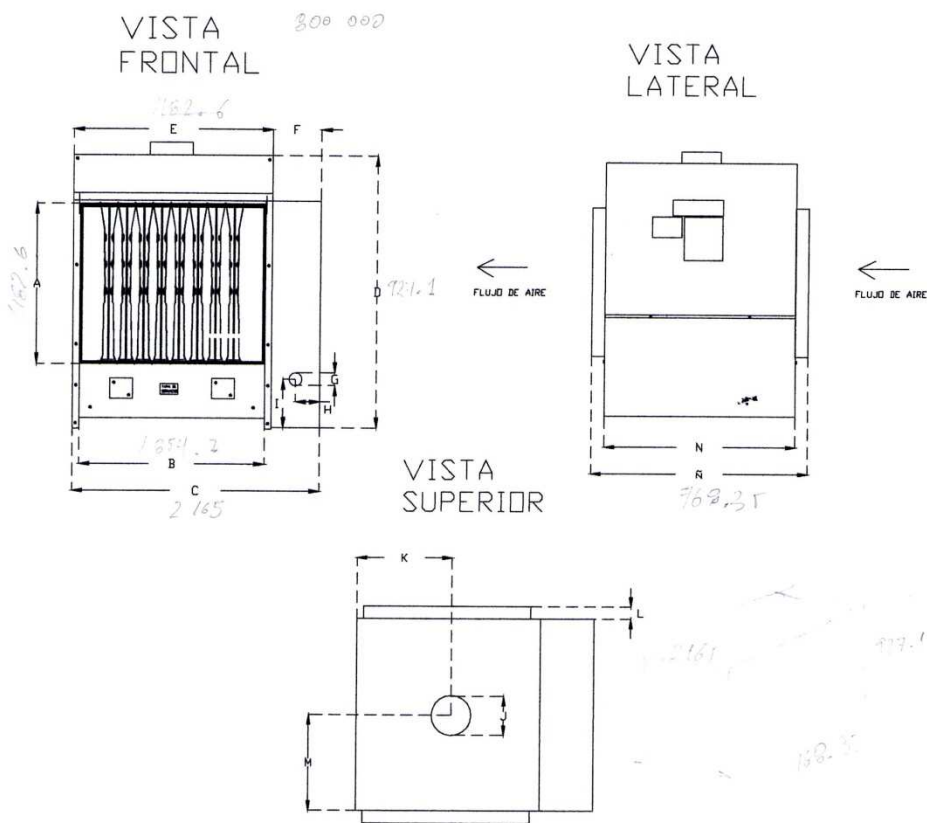
MNHL 70 PAM - GETRIEBE ZUM I.E.C. MOTORANBAU



70/2 - 70/3	G	G1	G2	F	F1	F2	F3	F4	H
/2 ... 132 B5	38	41,3	10	300	265	230	25	M12	658
/2F ... 132 B5									
/2 ... 160 B5	42	45,3	12	350	300	250	25	17	658
/2F ... 160 B5									
/2 ... 180 B5	48	51,8	14	350	300	250	25	17	658
/2F ... 180 B5									
/2 ... 200 B5	55	59,3	16	400	350	300	25	18	658
/2F ... 200 B5									
/2 ... 225 B5	60	64,4	18	450	400	350	25	18	658
/2F ... 225 B5									
/3 ... 90 B5	24	27,3	8	200	165	130	15	11,5	609
/3F ... 90 B5									
/3 ... 100-112 B5	28	31,3	8	250	215	180	15	14	612
/3F ... 100-112 B5									
/3 ... 132 B5	38	41,3	10	300	265	230	15	14	612
/3F ... 132 B5									
/3 ... 160 B5	42	45,3	12	350	300	250	19	14	642
/3F ... 160 B5									

Dimensiones de la cámara de combustión.

Dimensiones



MODELO	CAPACIDAD EN BTU/SALIDA	LLEGADA DE TUBERIA A REGULADOR	MEDIDAS EN PULGADAS															
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	N	
CDGN(B)(G)-3	75.000	0.75"	19	7.75	20	36.5	11	9	1.5	4	6	(1) 6	5.5	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-4	100.000	0.75"	19	10	22.25	36.5	13.25	9	1.5	4	6	(1) 6	6.62	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-5	125.000	0.75"	19	12.5	24.5	36.5	15.5	9	1.5	4	6	(1) 6	7.75	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-6	150.000	0.75"	19	14.5	26.75	36.5	17.75	9	1.5	4	6	(1) 6	8.87	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-7	175.000	0.75"	19	16.75	29	36.5	20	9	1.5	4	6	(1) 6	10	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-8	200.000	0.75"	19	19	31.25	36.5	22.25	9	1.5	4	6	(1) 8	11.12	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-9	225.000	0.75"	19	21.25	33.5	36.5	24.5	9	1.5	4	6	(1) 8	12.25	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-10	250.000	0.75"	19	23.5	33.75	36.5	26.75	9	1.5	4	6	(1) 8	13.37	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-11	275.000	0.75"	19	25.75	38	36.5	29	9	1.5	4	6	(1) 8	14.5	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-12	300.000	0.75"	19	28	40.25	36.5	31.25	9	1.5	4	6	(2) 8	10.41	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-13	325.000	0.75"	19	30.25	42.5	36.5	33.5	9	1.5	4	6	(2) 8	11.18	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-14	350.000	0.75"	19	32.5	44.75	36.5	35.75	9	1.5	4	6	(2) 8	11.91	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-15	375.000	0.75"	19	34.75	47	36.5	38	9	1.5	4	6	(2) 8	12.68	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-16	400.000	0.75"	19	37	49.25	36.5	40.25	9	1.5	4	6	(2) 8	13.41	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-17	425.000	0.75"	19	39.25	51.5	36.5	42.5	9	1.5	4	6	(3) 6	10.62	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-18	450.000	0.75"	19	41.5	53.75	36.5	44.75	9	1.5	4	6	(3) 6	11.18	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-19	475.000	0.75"	19	43.75	56	36.5	47	9	1.5	4	6	(3) 6	11.75	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-20	500.000	0.75"	19	46	58.25	36.5	49.25	9	1.5	4	6	(3) 8	12.31	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-21	525.000	0.75"	19	48.25	60.5	36.5	51.5	9	1.5	4	6	(3) 8	12.87	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-22	550.000	0.75"	19	50.5	62.75	36.5	53.75	9	1.5	4	6	(3) 8	13.43	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-23	575.000	0.75"	19	52.75	65	36.5	56	9	1.5	4	6	(4) 8	11.2	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-24	600.000	0.75"	19	55	67.25	36.5	58.25	9	1.5	4	6	(4) 8	11.65	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-25	625.000	0.75"	19	57.25	69.5	36.5	60.5	9	1.5	4	6	(4) 8	12.1	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-26	650.000	0.75"	19	59.5	71.75	36.5	62.75	9	1.5	4	6	(4) 8	12.55	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-27	675.000	0.75"	19	61.75	74	36.5	65	9	1.5	4	6	(4) 8	13	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-28	700.000	0.75"	19	64	76.25	36.5	67.25	9	1.5	4	6	(5) 8	11.2	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-29	725.000	0.75"	19	66.25	78.5	36.5	69.5	9	1.5	4	6	(5) 8	11.58	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-30	750.000	0.75"	19	68.8	80.75	36.5	71.75	9	1.5	4	6	(5) 8	11.95	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-31	775.000	0.75"	19	70.75	83	36.5	74	9	1.5	4	6	(5) 8	12.33	1.5	13.5	27	30.25	
CDGN(B)(G)-32	800.000	0.75"	19	73	85.25	36.5	76.25	9	1.5	4	6	(5) 8	12.70	1.5	13.5	27	30.25	

Dimensiones estimadas  
( ) No. de piezas según representado en el dibujo

# ANEXO E-VI

## Motorreductor



### MAQUINARIAS HENRIQUES C.A.

Somos Contribuyentes Especiales  
Resolución N° 6925

Cotización N° 067001

Quito, 20 de Noviembre de 2009

QP - 7051

Sr(es).

Código : 008258

EPN  
Atención: SR.WILSON NOBOA

Ruc/Céd. :

Estimados Señores:

Tenemos el agrado de presentar a Ustedes nuestra cotización de mercaderías, de acuerdo a sus requerimientos :

CODIGO	DESCRIPCION	CLASE	CANT.	UND	PRECIO UNIT.	DCTO %	TOTAL
MRSTP132	REDUCTOR/LINEA MHL 70/2 44.5/1 PAM42/350	43460	1.00	UND	3,815.00	20.00	3,052.00
MESIU119	MOTOR/BRIDA SIEMENS 20HP 1760RPM 3F	41300	1.00	UND	1,549.81	20.00	1,239.85
SUBTOTAL \$							4,291.85
% IVA							515.02
TOTAL USD\$							4,806.87

Condiciones de Pago:

Plazo de Entrega : Inmediato salvo venta previa, una vez recibida la orden de compra  
Validez de la Oferta : 5 días laborables

Por favor no dude en contactarse con nuestro Dpto. Técnico al 2436483 ó 2459656 o con personal de Ventas al 2273140 ó 6001200, si deseara mas información.

Esperamos poder servirle pronto.

Atentamente,

$n_1 = 1760 \text{ rpm}$

$n_2 = 40 \text{ rpm}$

$FS = 0,91$

Almacén Quito Norte  
qnorte@maquinarias-henriques.com

Torque = 3407 N.m

Transporte a ciudades fuera de Guayaquil y Quito corren por cuenta del cliente. Maquinarias Henriques se hará responsable de la mercadería hasta entregarla al transportador, en adelante es responsabilidad del cliente.†

Observaciones :

Digitado por : Yadira Montero ymontero@maquinarias-henriques.com



## ANEXO E-VII

### Catalinas y piñones

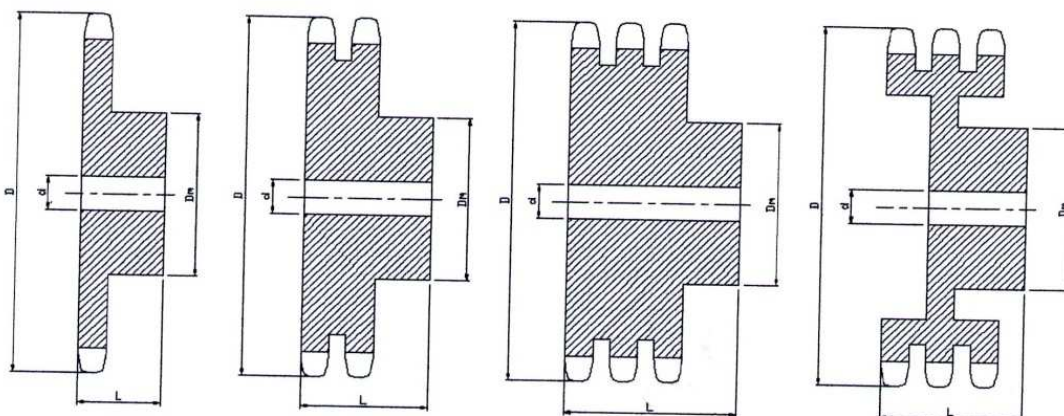
DISEÑO DE ELEMENTOS MECÁNICOS

Tabla 17-10 DIMENSIONES DE CADENAS DE RODILLOS ESTÁNDAR  
NORTEAMERICANAS — UN SOLO CORDÓN

Número ANSI de cadena	Paso pulg (mm)	Anchura pulg (mm)	Resistencia mínima a la tensión lb/ (N)	Peso medio lb/pie (N/m)	Diámetro de rodillo pulg (mm)	Espaciamento de cordones múltiples pulg (mm)
25	0.250 (6.35)	0.125 (3.18)	780 (3 470)	0.09 (1.31)	0.130 (3.30)	0.252 (6.40)
35	0.375 (9.52)	0.188 (4.76)	1 760 (7 830)	0.21 (3.06)	0.200 (5.08)	0.399 (10.13)
41	0.500 (12.70)	0.25 (6.35)	1 500 (6 670)	0.25 (3.65)	0.306 (7.77)	... ...
40	0.500 (12.70)	0.312 (7.94)	3 130 (13 920)	0.42 (6.13)	0.312 (7.92)	0.566 (14.38)
50	0.625 (15.88)	0.375 (9.52)	4 880 (21 700)	0.69 (10.1)	0.400 (10.16)	0.713 (18.11)
60	0.750 (19.05)	0.500 (12.7)	7 030 (31 300)	1.00 (14.6)	0.469 (11.91)	0.897 (22.78)
80	1.000 (25.40)	0.625 (15.88)	12 500 (55 600)	1.71 (25.0)	0.625 (15.87)	1.153 (29.29)
100	1.250 (31.75)	0.750 (19.05)	19 500 (86 700)	2.58 (37.7)	0.750 (19.05)	1.409 (35.76)
120	1.500 (38.10)	1.000 (25.40)	28 000 (124 500)	3.87 (56.5)	0.875 (22.22)	1.789 (45.44)
140	1.750 (44.45)	1.000 (25.40)	38 000 (169 000)	4.95 (72.2)	1.000 (25.40)	1.924 (48.87)
160	2.000 (50.80)	1.250 (31.75)	50 000 (222 000)	6.61 (96.5)	1.125 (28.57)	2.305 (58.55)
180	2.250 (57.15)	1.406 (35.71)	63 000 (280 000)	9.06 (132.2)	1.406 (35.71)	2.592 (65.84)
200	2.500 (63.50)	1.500 (38.10)	78 000 (347 000)	10.96 (159.9)	1.562 (39.67)	2.817 (71.55)
240	3.00 (76.70)	1.875 (47.63)	112 000 (498 000)	16.4 (239)	1.875 (47.62)	3.458 (87.83)

Fuente: recopilado de ANSI B29.1-1975.

### PIÑONES PARA CADENA ANSI No. 160




REF	D	SENCILLOS			REF	DOBLES			REF	TRIPLES		
		Dm	L	d		Dm	L	d		Dm	$\frac{D}{3}$	d
160B9	170,0	105	58	38,1	160-2B9	111	114	41,28	160-3B9	121	191	41,28
160B10	186,9	105	58	38,1	160-2B10	111	114	41,28	160-3B10	137	191	41,28
160B11	203,5	121	64	38,1	160-2B11	111	121	41,28	160-3B11	152	191	41,28
160B12	220,1	140	64	38,1	160-2B12	137	121	41,28	160-3B12	171	191	41,28
160B13	236,3	152	70	38,1	160-2B13	152	121	41,28	160-3B13	187	191	41,28
160B14	253,0	165	70	38,1	160-2B14	171	121	41,28	160-3B14	187	191	41,28
160B15	269,4	165	70	38,1	160-2B15	187	121	41,28	160-3B15	187	191	41,28
160B16	285,9	178	70	38,1	160-2B16	187	121	41,28	160-3B16	187	191	41,28
160B17	302,2	178	70	38,1	160-2B17	187	121	41,28	160-3B17	187	191	41,28
160B18	318,6	178	70	38,1	160-2B18	187	121	41,28	160-3B18	187	191	41,28
160B19	334,9	178	70	38,1	160-2B19	187	121	41,28	160-3B19	187	191	41,28
160B20	351,2	178	70	38,1	160-2B20	197	121	41,28	160-3B20	197	191	41,28
160B21	367,5	178	70	38,1	160-2B21	197	121	41,28	160-3B21	197	197	41,28
160B22	383,8	178	70	38,1	160-2B22	197	121	41,28	160-3B22	197	197	41,28
160B23	400,1	178	70	38,1	160-2B23	197	121	41,28	160-3B23	197	197	41,28
160B24	416,4	178	77	38,1	160-2B24	197	121	41,28	160-3B24	197	197	41,28
160B25	432,6	178	77	38,1	160-2B25	197	121	41,28	160-3B25	197	197	41,28
160B26	448,3	178	77	38,1	160-2B26	197	121	41,28	160-3B26	197	197	41,28
160B27	465,1	178	77	38,1	160-2B27	197	121	41,28	160-3B27	197	197	41,28
160B28	481,3	178	77	38,1	160-2B28	197	121	41,28	160-3B28	197	197	41,28
160B29	497,6	178	77	38,1	160-2B29	197	121	41,28	160-3B29	197	197	41,28
160B30	513,8	178	77	38,1	160-2B30	197	121	41,28	160-3B30	197	197	41,28
160B31	530,0	178	77	38,1	160-2B31	197	121	41,28	160-3B31	197	197	41,28
160B32	546,3	178	77	38,1	160-2B32	197	121	41,28	160-3B32	197	197	41,28
160B33	562,5	178	77	38,1	160-2B33	197	121	41,28	160-3B33	197	197	41,28
160B34	578,7	178	77	38,1	160-2B34	197	121	41,28	160-3B34	197	197	41,28
160B35	594,9	204	77	38,1	160-2B35	229	165	41,28	160-3B35	229	229	41,28
160B36	611,1	204	77	38,1	160-2B36	229	165	41,28	160-3B36	229	229	41,28
160B37	627,3	204	77	38,1	160-2B37	229	165	41,28	160-3B37	229	229	41,28
160B38	643,5	204	77	38,1	160-2B38	248	165	41,28	160-3B38	248	229	41,28
160B39	659,7	204	77	38,1	160-2B39	248	165	41,28	160-3B39	248	229	41,28
160B40	675,9	204	77	38,1	160-2B40	248	165	41,28	160-3B40	248	229	41,28
160B41	692,2	204	77	38,1	160-2B41	248	165	41,28	160-3B41	248	229	41,28
160B42	708,4	204	77	38,1	160-2B42	248	165	41,28	160-3B42	248	229	41,28
160B43	724,5	204	77	38,1	160-2B43	248	165	41,28	160-3B43	248	229	41,28
160B44	740,8	204	77	38,1	160-2B44	248	165	41,28	160-3B44	248	229	41,28
160B45	756,9	204	77	38,1	160-2B45	254	181	41,28	160-3B45	254	229	41,28
160B46	773,1	204	77	38,1	160-2B46	254	181	41,28	160-3B46	254	229	41,28
160B47	789,3	204	77	38,1	160-2B47	254	181	41,28	160-3B47	254	229	41,28
160B48	805,5	204	77	38,1	160-2B48	254	181	41,28	160-3B48	254	229	41,28
160B49	821,7	204	77	38,1	160-2B49	254	181	41,28	160-3B49	254	229	41,28
160B50	837,9	204	77	38,1	160-2B50	254	181	41,28	160-3B50	254	229	41,28
160B51	854,1	204	77	38,1	160-2B51	254	181	41,28	160-3B51	254	229	41,28
160B52	870,3	204	77	38,1	160-2B52	254	181	41,28	160-3B52	254	229	41,28
160B53	886,5	204	77	38,1	160-2B53	254	181	41,28	160-3B53	254	229	41,28
160B54	902,7	204	77	38,1	160-2B54	254	181	41,28	160-3B54	254	229	41,28
160B55	918,9	204	77	38,1	160-2B55	254	181	41,28	160-3B55	254	229	41,28
160B56	935,1	204	77	38,1	160-2B56	254	181	41,28	160-3B56	254	229	41,28
160B57	951,2	204	77	38,1	160-2B57	254	181	41,28	160-3B57	254	229	41,28
160B58	967,4	204	77	38,1	160-2B58	254	181	41,28	160-3B58	254	229	41,28
160B59	983,6	204	77	38,1	160-2B59	254	181	41,28	160-3B59	254	229	41,28
160B60	999,8	204	77	38,1	160-2B60	254	181	41,28	160-3B60	254	229	41,28

NOTA: para las referencias resaltadas, se debe tener en cuenta que por su tamaño son aligerados, como se puede apreciar en el último plano a la derecha, teniendo en cuenta que pueden ser dobles o triples.



## ANEXO E-VIII

## Eje de transmisión


AISI 1018

## Eje de transmisión - Tolerancia h10-h11

**GENERALIDADES:** Acero de bajo contenido de carbono.

**ANÁLISIS TÍPICO %**

SAE 1018	C	Mn	P	S
SAE 1018	0.15-0.20	0.60-0.90	0.040	0.050

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**

Suministrado laminado en frío (medidas pequeñas hasta 2 1/2) o torneado (medidas hasta 6"). Las medidas 7", 8", 9" y 10" son suministradas laminadas en caliente o torneado de desbaste.

Esfuerzo de cedencia, kg/mm <sup>2</sup>	mín. 31
Resistencia a la tracción, kg/mm <sup>2</sup>	51-71
Elongación, A5	20%
Reducción de área, Z	57%
Dureza	163HB

**APLICACIONES**

Donde se requiere aplicaciones con cargas mecánicas no muy severas, pero con ciertos grados de tenacidad importantes, como por ej.: pernos y tuercas, piezas de máquinas pequeñas, ejes, bujes, pasadores, grapas, etc. Factible de cementación con buena profundidad de penetración debido a su alto contenido de manganeso. Excelente soldabilidad.

**MEDIDAS EN STOCK**

**REDONDO**

PULGADAS	MM
1/4	0.28
5/16	0.4
3/8	0.6
1/2	1.0
3/4	1.6
5/8	2.2
7/8	3.0
1	4.0
1 1/4	5.0
1 1/8	6.2
1 3/8	7.5
1 1/2	8.9
1 3/4	12.2
2	15.9
2 1/4	20.1
2 1/2	24.8
2 3/4	30.0
3 1/4	35.8
3 1/2	42.0
3 3/4	48.7
4 1/2	55.9
5 1/2	63.6
3	80.5
4	99.4
5	120.2
6	143.1
7	197.0
8	255.0
9	397.0
10	328.5

**IVAN BOHMAN C.A.**

# **ANEXO F**

## **COSTO DEL SECADOR Y PROTOCOLO DE PRUEBAS**

ANEXO F-I

Costo del secador.

ANEXO F-II

Protocolo de pruebas.

## ANEXO F-I

### Costo del secador

Debido a que en el cantón Ventanas se requiere un sistema innovador de secado, se ha diseñado un equipo denominado “Secador circular con movimiento de grano mediante un sistema de paletas”, el costo total de éste es el que será desarrollado y se indica en la tabla F.1.

Tabla F.1 Costo total y parcial.

DESCRIPCIÓN	COSTO (USD)
Costo de materiales y mano de obra	12 739,20
Costo de equipos	16 731,00
Costo de diseño	1 500,00
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>31 024,20</b>

La descripción de cada uno de los costos parciales se describen a continuación.

El costo de los materiales y mano de obra se basan en Precios referenciales de la Cámara de la Construcción de Quito, Rubros Agosto 2009 y se describen en la tabla F.2.

Tabla F.2 Costos de materiales y mano de obra.

ITEM	Descripción	U	Cantidad	Costo unitario	Costo total
<b>1</b>	<b>MOVIMIENTOS DE TIERRAS</b>				
1.1	Replanteo y nivelación con equipo topográfico	m2	80,00	0,97	77,28
1.2	Excavación de plintos y cimientos	m3	20,52	5,98	122,71
1.3	Relleno compactado con material de mejoramiento: lastre y plancha compactadora	m3	12,07	23,20	279,97
1.4	Desalojo con volqueta	m3	11,05	3,61	39,90
				<b>Subtotal 1</b>	<b>519,86</b>
<b>2</b>	<b>ESTRUCTURA</b>				
2.1	Replanteo H.S. 140 kg/cm2	m3	8,00	103,48	827,82
2.2	Hormigón f'c=210 kg/cm2. Equipo: concretera 1 saco, vibrador. Encofrado con tablero contrachapado	m3	4,02	197,71	794,79
2.3	Plintos H. ciclopeo 180 Kg/cm2 - Equipo	m3	3,11	96,28	299,42
2.4	Malla electrosoldada Ø10mm c. 15cm	m2	49,80	13,47	670,63
2.5	Acero estructural. Equipo: soldadora	kg	2936,70	2,48	7294,76
				<b>Subtotal 2</b>	<b>9 887,42</b>
<b>3</b>	<b>INSTALACIONES ELECTRICAS</b>				
3.1	Salidas especiales	pto	4,00	42,08	168,31
3.2	Tablero eléctrico	u	1,00	2.070,00	2 070,00
				<b>Subtotal 3</b>	<b>2 238,31</b>
<b>4</b>	<b>OBRAS EXTERIORES</b>				
4.1	Limpieza final de la obra	m2	80,00	1,17	93,60
				<b>Subtotal 4</b>	<b>93,60</b>
	<b>TOTAL MATERIALES Y MANO DE OBRA</b>				<b>12 739,20</b>

**Nota:** Precios referenciales Cámara de la Construcción Quito, Rubros Agosto 2009.

Tabla F.3 Costos de equipos.

ITEM	Descripción	U	Cantidad	Costo unitario	Costo total
1	Transmisión	u	1,00	3000,00	3000,00
2	Paletas con eje	u	8,00	92,00	736,00
3	Ventilador y motor	u	1,00	4025,00	4025,00
4	Quemador tipo basuca	u	1,00	3450,00	3450,00
5	Fuente motriz y caja de reducción	u	1,00	5520,00	5520,00
	<b>TOTAL EQUIPOS</b>				<b>16731,00</b>

## **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SECADORA DE GRANOS**

### **MATERIALES Y MANO DE OBRA**

#### **1.- MOVIMIENTO DE TIERRAS**

##### **1.1 REPLANTEO Y NIVELACIÓN CON EQUIPO TOPOGRÁFICO (m<sup>2</sup>)**

Se entenderá por replanteo el proceso de trazado y marcado de puntos importantes, trasladando los datos de los planos al terreno y marcándolos adecuadamente, tomando en consideración la base para las medidas como paso previo a la construcción del proyecto.

##### **1.2 EXCAVACIÓN DE PLINTOS Y CIMIENTOS (m<sup>3</sup>)**

Se entenderá por excavación de plintos y cimientos en general, el excavar y quitar la tierra u otros materiales según las indicaciones de planos, sin el uso de maquinaria, y para volúmenes de menor cuantía, que no se puedan ejecutar por medios mecánicos.

Luego de haber realizado la limpieza y replanteo del terreno, se procederá a las excavaciones menores que se indiquen en los planos. Todas las operaciones y el equipo serán de tipo manual, por lo que se debe prever los cuidados y seguridades para los obreros y para las construcciones adyacentes.

##### **1.3 RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL DE MEJORAMIENTO (m<sup>3</sup>)**

Son las actividades destinadas al relleno y mejoramiento del suelo donde se cimentarán las obras civiles; plintos, contrapisos, etc.

##### **1.4 DESALOJO CON VOLQUETA (m<sup>3</sup>)**

Son las actividades destinadas al retiro del material proveniente de las excavaciones manuales.

## **2.- ESTRUCTURA**

### **2.1.- REPLANTILLO H.S. $f'c= 140 \text{ Kg. /cm}^2$ CON ENCOFRADO. EQUIPO: VIBRADOR Y BOMBA DE HORMIGONADO ( $\text{m}^3$ )**

Es el hormigón simple de determinada resistencia, que se lo utiliza para la conformación de la base sobre la que se colocará el piso de hormigón final. Dicha capa de hormigón tendrá un espesor de 5 cm y se la ejecutará de acuerdo a planos. El rubro Incluye el proceso de fabricación, vertido y curado del hormigón.

### **2.2.- HORMIGÓN H $210 \text{ Kg. /cm}^2$ ; EQUIPO: CONCRETERA, VIBRADOR, ENCOFRADO CON TABLERO CONTRACHAPADO**

El rubro consiste en la ejecución del muro circular que conforma la cámara de aire caliente de 20 cm de espesor, 60 cm de alto y un diámetro interior de 6 metros, como también la fundición del piso terminado mismo que tendrá un espesor de 20cm y se fundirá sobre el replantillo.

El muro se construirá sobre el plinto circular de hormigón ciclópeo, tanto el piso de la cámara de aire como el muro circular llevarán malla electrosoldada  $\varnothing 10$  cada 15 cm (ver planos adjuntos).

### **2.3.- PLINTOS H. CICLÓPEO $180 \text{ kg/cm}^2$**

Se refiere a la construcción de las bases soportantes del muro periférico de 60 cm de altura de la cámara de aire; estos plintos tendrán una dimensión de 40 x 40 con un diámetro interior de 5,80 metros (ver planos).

### **2.4.- MALLA ELECTROSOLDADA $\varnothing 10$ c. 15 cm. ( $\text{m}^2$ )**

Disponer de una estructura de refuerzo para el hormigón, y que consistirá en el suministro y colocación de malla electrosoldada de la clase, tipo y dimensiones que se indiquen en los planos. Incluye el proceso de cortado, colocación y amarre del acero estructural en malla. La malla electrosoldada de varillas que se utilice estará libre de toda suciedad, escamas sueltas, pintura, herrumbre u otra sustancia que perjudique la adherencia con el hormigón.



## **2.5.- ACERO ESTRUCTURAL; EQUIPO: SOLDADORA**

Serán las operaciones necesarias para cortar, doblar, barolar, soldar, pintar y otras para la fabricación y montaje de una estructura en perfil estructural, colocación del piso falso de lámina metálica perforada donde se colocará el grano a secar, con sus respectivos soportes y sistema de ductos para el ingreso del aire de secado. El objetivo es el disponer de una estructura elaborada en perfiles estructurales, conformados en frío, y que consistirá en la provisión, fabricación y montaje de dicha estructura, según planos y especificaciones del proyecto.

No se podrán reutilizar pernos retirados. No se permitirá el uso de electrodos que no se encuentren debidamente empacados en el original del fabricante; La suelda a utilizar será del tipo de arco (suelda eléctrica). Se utilizará electrodos 6011 de 1/8", se rechazará electrodos húmedos o dañados. De existir óxido, será retirada con cepillo de alambre, lija gruesa y desoxidante. Control de que los perfiles se encuentren libre de pintura, grasas y otro elemento que perjudique la calidad de los trabajos en ejecución.

Para proceder con la suelda, los elementos tendrán superficies paralelas, chaflanadas, limpias y alineadas; estarán convenientemente fijados, nivelados y aplomados, en las posiciones finales de cada pieza.

Aplicación de pintura anticorrosiva, que se incluye en éste rubro de acero estructural. Se procederá con la pintura anticorrosiva (tres manos), únicamente cuando las piezas se encuentren aprobadas y terminadas. Para su aplicación, los diferentes elementos de la estructura deberán estar limpios, sin óxido o grasa.

En éste rubro están incluidos los pernos de expansión, como también las perforaciones en las placas metálicas para anclaje de las columnas al piso (Plintos H 240 Kg. /cm<sup>2</sup>).

## **3.- INSTALACIONES ELÉCTRICAS y TABLERO**

La instalación de los puntos de tomas de fuerza para los motores se realizará desde la salida del transformador.

### **3.1.- CONEXIONES ELÉCTRICAS**

Se suministrará e instalará las salidas especiales con tubería metálica, conductores de cobre para la fase y neutro, y conexión a tierra. Las conexiones se realizarán a partir de las salidas del transformador.

### **3.2 TABLERO**

Un tablero donde se encuentre el centro de control de motores para corriente trifásica. Este centro de control incluirá interruptores automáticos de protección, arrancadores magnéticos con protección térmica para cada motor, botones de accionamiento y luces piloto correspondientes al sistema completo, regletas o borneras terminales para control y fuerza, alambrado interno de interconexión y letreros indicativos.

## **4.- OBRAS EXTERIORES**

### **4.1.- LIMPIEZA FINAL DE LA OBRA**

Este rubro consiste en la limpieza total de los ambientes intervenidos; pisos, paredes, estructuras metálicas equipos demás elementos existentes al interior como también de los espacios utilizados como circulaciones para la movilización y el transporte de materiales y equipos. El rubro incluye material, mano de obra y herramienta para su ejecución y entrega final.

## **EQUIPOS**

### **1.- FUENTE MOTRIZ, CAJA DE REDUCCIÓN Y TRANSMISIÓN (U)**

El sistema para transmisión ortogonal está compuesto de un motor trifásico de 20 HP 1760 rpm al que se acopla un reductor lineal de una reducción de 44.5: 1 (baja de 1760 hasta alrededor de 40 rpm), una de transmisión 8 a 1 por cadena (baja de 40 RPM a 5 RPM) y transmite un torque de 3400 N.m al eje de transmisión para mover a los ejes que contiene las paletas.

La instalación del sistema de transmisión es bajo el nivel del piso ver plano de referencia. El motor y la caja de transmisión deben ubicarse de forma perpendicular al horizonte, este rubro incluye chumaceras de apoyo para el eje de transmisión.

## **2.- PALETAS CON EJE (U)**

Consiste en el sistema revolutor del producto a secar, mismo que será ejecutado con placas de acero A36 de 10 mm de espesor con su respectivo sistema de anclaje a los ejes los cuales deben tener guías rodantes en sus extremos para que tengan dos puntos de apoyo (ver planos de detalle adjunto).

## **3.- VENTILADOR CON MOTOR (U)**

Ventilador centrífugo con un caudal de alrededor 27 792 ft<sup>3</sup>/min (47 218 m<sup>3</sup>/h) y vence una caída de presión estática de 3,5" c.a. (89 mm c.a.), el motor transmitirá el movimiento al ventilador mediante poleas y bandas, el ventilador puede ser de construcción local cumpliendo con las especificaciones requeridas para su correcto funcionamiento. El motor será trifásico de 20 Hp o similar, acoplado al ventilador.

## **4.- QUEMADOR TIPO BASUCA (U)**

Consiste en quemador tipo basuca de 500 000 BTU/hora mínimo, con control de encendido y las respectivas seguridades de llama. El quemador deberá contar con su cámara de combustión construida con refractarios.

## ANEXO F-II

### Protocolo de pruebas

El protocolo de pruebas se define como un proceso de pruebas necesarias para demostrar que el sistema cumple con los objetivos de funcionamiento planteados. Para el protocolo de pruebas del secador se han determinado las siguientes pruebas:

1. Prueba de velocidad del aire de secado.
2. Prueba de temperatura del aire de secado.
3. Prueba de velocidad angular del sistema de paletas.
4. Verificación del consumo de energía eléctrica del sistema de paletas.

#### Prueba de velocidad del aire de secado

Para realizar ésta prueba el secador debe estar sin carga y el ventilador debe estar en funcionamiento por lo menos 1 minuto, con la ayuda de un anemómetro medir la velocidad del aire a la salida de la cámara de aire en la plancha perforada en los puntos especificados en la figura F.1.

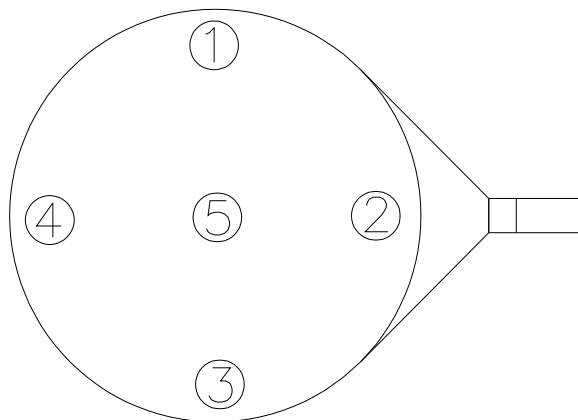


Figura F.1 Secador circular: Puntos de medición de velocidad de aire de secado.

### **Prueba de temperatura del aire de secado**

Para medir la temperatura del aire de secado, el secador debe estar sin carga. El quemador y ventilador deben estar en funcionamiento por lo menos 1 minuto y mediante un termómetro digital medir la temperatura de la plancha perforada en los puntos indicados en la figura F.1.

### **Prueba de velocidad angular del sistema de paletas**

Con la cámara de secado cargada, con un cronómetro y de manera visual verificar el número de revoluciones por minuto del sistema de paletas.

### **Verificación del consumo de energía eléctrica del sistema de paletas**

La verificación del consumo de energía se debe realizar con un multímetro digital. Poner en funcionamiento el sistema de paletas con la cámara de secado cargada con una altura de lecho de 0,2 m y medir el consumo de energía en un tiempo de 10 minutos, repetir la verificación con una altura de 0,25 m; 0,3 m y 0,35 m.

El protocolo de pruebas debe ser trasladado al formato indicado en la tabla F.1.

Tabla F.1 Formato del protocolo de pruebas para el secador.

<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS</b>			
<b>SECADOR CIRCULAR CON MOVIMIENTO DE GRANO MEDIANTE UN SISTEMA DE PALETAS</b>			
Nombre del operario:			
Fecha:			
<b>Velocidad del aire de secado</b>			
Punto	Resultado [m/s]	Aceptación	
		Si	No
1			
2			
3			
4			
5			
<b>Temperatura del aire de secado</b>			
Punto	Resultado [°C]	Aceptación	
		Si	No
1			
2			
3			
4			
5			
<b>Velocidad angular del sistema de paletas</b>			
Sistema de paletas	Resultado [rpm]	Aceptación	
		Si	No
<b>Verificación del consumo de energía eléctrica del sistema de paletas</b>			
Altura del lecho (m)	Resultado [kWh]	Aceptación	
		Si	No
0,2			
0,25			
0,3			
0,35			
<b>Observaciones:</b>			

Fuente: Propia

# **ANEXO G**

## **PLANOS**