

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **DISEÑO DE UNA MÁQUINA SECADORA VERTICAL PARA MAÍZ CON UNA CAPACIDAD DE 2000 KG**

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

**VICTORIA BELÉN GUANO REYES**

**(vico\_belen@hotmail.com)**

**ALEX ROBERTO ROCHA GUAMÁN**

**(alex\_pi18@hotmail.com)**

**DIRECTOR: ING. LEONARDO PATRICIO FLORES TAMAYO Msc.**

**(patricio.flores@epn.edu.ec)**

**COLABORADOR: ING. ALCÍVAR BALMENDAR JARAMILLO CARRIÓN Msc.**

**(abaljar@hotmail.com)**

**Quito, Julio de 2013**

## DECLARACIÓN

Nosotros, Victoria Belén Guano Reyes y Alex Roberto Rocha Guamán, 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 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 normativa institucional vigente.

---

Victoria Belén Guano Reyes

---

Alex Roberto Rocha Guamán

## CERTIFICACIÓN

Certifico que bajo mi supervisión, el presente proyecto de titulación fue realizado en su totalidad por los señores: Victoria Belén Guano Reyes y Alex Roberto Rocha Guamán.

---

Ing. Patricio Flores Tamayo Msc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

---

Ing. Alcívar Jaramillo Carrión Msc.

COLABORADOR

## DEDICATORIA

*Este trabajo está dedicado a las siguientes personas:*

*A mi hermano Pedro Pablo, mi ángel de la guarda, que aunque no estés presente físicamente has sido mi inspiración y mi razón para poder culminar mis metas.*

*Te tengo en mi mente*

*A mis padres Pedro y Carmen que son las personas más importantes en mi vida, que siempre han estado a mi lado en todo momento enseñándome y formando mi camino hacia futuro en base a su amor y a su apoyo incondicional. Gracias por su esfuerzo y cariño diario.*

*Los amo mucho*

*A mi abuelita Lucila, que ha sido mi ejemplo de formación en valores, gracias por su bendición diaria,*

*La quiero mucho*

**VICTORIA BELÉN**

*El presente proyecto de titulación se lo dedico a mis padres Héctor y Piedad por todas las noches de desvelo, días de trabajo, esfuerzos realizados e infinidades de labores que tuvieron que realizar para la culminación de mi formación como Ingeniero.*

*Gracias Papitos*

*A mis hermanos Wladimir y Frank, a mis cuñadas Piedad y Marisol y a mi sobrina Denisse quienes con su compañía y consejos ayudaron a mantenerme los ánimos muy en alto en los momentos difíciles.*

*Gracias por estar a mi lado.*

*A la memoria de mi abuelito José María Guamán Loachamin y mi tío Julio Raúl Rocha Tayupanta que compartieron sus alegrías y enseñanzas mientras se encontraron a nuestro lado.*

*Los llevare siempre en mi corazón.*

**ALEX**

## AGRADECIMIENTOS

*A mis padres, quienes con su ejemplo y apoyo supieron guiar y orientarme para llegar a culminar con éxito mis sueños y objetivos planteados desde un inicio*

*Mi imperecedero agradecimiento a la Escuela Politécnica Nacional, en especial a la Facultad de Ingeniería Mecánica por acogerme en su seno y formar mi vida académica y profesional.*

*Muchas gracias a los Ingenieros Patricio Flores y Alcívar Jaramillo quienes con sus conocimientos, nos orientaron para poder culminar el desarrollo de este proyecto.*

*A mi compañero, amigo y mucho más Alex, quien desde el inicio de la carrera hasta el día de hoy supo brindarme su paciencia y comprensión. Además, me ha apoyado siempre y ha sido mi fuerza en todo momento.*

*En sí gracias a todas aquellas personas: familiares, amigos miguelinos y guayperos, que directa e indirectamente estuvieron brindándome su ayuda con sus palabras y su intensa compañía a lo largo de este tiempo.*

*“AD ALTIORA SEMPER”*

*VICTORIA BELÉN*

*A mi familia por brindarme su apoyo incondicional en todos los momentos difíciles para culminar con el estudio de mi carrera.*

*Mi más sincero agradecimiento a la Escuela Politécnica Nacional, a la Facultad de Ingeniería Mecánica y a sus profesores, de manera especial a los Ingenieros Patricio Flores, Alcívar Jaramillo y Jorge Escobar quienes que con su asesoramiento permitieron el desarrollo del presente proyecto.*

*A mi compañera, amiga y mucho más Belén, quien ha compartido conmigo su cariño y comprensión en los momentos de alegría y tristeza, no solo en el desarrollo del estudio de la carrera si no en la vida diaria, siendo un pilar fundamental para la conclusión del presente proyecto.*

*ALEX*

## CONTENIDO

	pp.
DECLARACIÓN .....	I
CERTIFICACIÓN .....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
CONTENIDO .....	V
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XII
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	XVI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XVII
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XX
SIMBOLOGÍA .....	XXII
RESUMEN .....	XXV
PRESENTACIÓN .....	XXVI
<b>CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DE LAS SEMILLAS DE MAÍZ DURO.....</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ESTRUCTURA DEL MAÍZ.....	1
1.3 COMPOSICIÓN DEL MAÍZ DURO. ....	2
1.3.1 DENSIDAD DE LOS GRANOS DE MAÍZ.....	4
1.4 CARACTERÍSTICAS DE LA REGIÓN AMAZÓNICA DEL ECUADOR...	4
1.5 CONDICIONES AMBIENTALES .....	5
1.5.1 PRECIPITACIÓN.....	5
1.5.2 TEMPERATURA .....	6
1.6 SITUACIÓN DEL MAÍZ DURO EN EL ECUADOR .....	6
1.6.1 TIPOS DE MAÍZ EN LA REGIÓN AMAZÓNICA.....	7
1.6.2 PRODUCCIÓN DE MAÍZ DURO EN LA REGIÓN AMAZÓNICA .....	8
1.6.3 PRECIO DEL MAÍZ DURO EN EL ECUADOR.....	11
1.6.3.1 Precio del maíz duro en la Región Amazónica .....	11
<b>CAPÍTULO 2: PARÁMETROS FUNCIONALES DEL DISEÑO.....</b>	<b>13</b>
2.1 SECADO DE GRANOS .....	13
2.2 MÉTODOS DE SECADO.....	13

2.2.1	SECADO SOLAR O NATURAL.....	14
2.2.2	SECADO ARTIFICIAL.....	14
2.3	CLASIFICACIÓN DE LOS SECADORES VERTICALES PARA GRANOS (TIPO TORRE).....	15
2.3.1	DE FLUJO MIXTO (CABALLETES).....	15
2.3.2	DE FLUJO CRUZADO (DE COLUMNAS).....	17
2.3.3	DE PERSIANAS.....	19
2.3.4	SECADORAS DE FLUJO CONTRACORRIENTE.....	20
2.3.5	SECADORAS DE FLUJO CONCURRENTE.....	22
2.4	ELEMENTOS PRINCIPALES DE LOS SECADORES VERTICALES..	23
2.4.1	CÁMARA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE.....	24
2.4.1.1	Intercambiador de calor.....	24
2.4.1.2	Fuente de energía.....	25
2.4.1.3	Generador de aire.....	25
2.4.2	CÁMARA DE SECADO.....	25
2.4.2.1	Calefactor.....	26
2.4.3	ALIMENTADOR.....	26
2.4.4	VENTILADOR.....	27
2.4.4.1	Ventiladores axiales.....	27
2.4.4.2	Ventiladores centrífugos.....	27
2.5	PARÁMETROS DE SECADO DE GRANOS.....	28
2.5.1	HIGROSCOPICIDAD.....	28
2.5.1.1	Humedad de la semilla.....	29
2.5.1.2	Merma de secado.....	32
2.5.2	PSICROMETRÍA.....	33
2.5.2.1	Condiciones del Aire en el Ambiente.....	33
2.5.2.2	Carta Psicométrica.....	35
2.5.2.3	Procesos psicrométricos relacionados con el secado.....	37
2.5.3	CINEMÁTICA DEL SECADO.....	41
2.5.3.1	Temperatura de secado.....	42
2.5.3.2	Velocidad de secado.....	42
2.5.3.3	Secado a velocidad constante o secado de bulbo húmedo (Rc).....	45
2.5.3.4	Tiempo de secado en condiciones constantes.....	46

2.5.3.5	Secado por difusión durante el período de velocidad decreciente. ....	48
2.5.3.6	Tiempo Total de Secado .....	51
2.5.4	TRANSFERENCIA DE CALOR .....	51
2.5.4.1	Conducción .....	52
2.5.4.2	Convección.....	52
2.5.4.3	Radiación .....	53
2.6	PRESIONES INTERNAS EN LOS SILOS DEBIDO A LOS MATERIALES GRANULARES SEGÚN EL EURO-CÓDIGO ENV 1991-4 .....	53
2.6.1	FORMAS DE VACIADO .....	54
2.6.1.1	Flujo másico .....	54
2.6.1.2	Flujo de embudo.....	55
2.6.2	EURO-CÓDIGO ENV 1991-4 .....	55
<b>CAPÍTULO 3: DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES PARA LA</b>		
	<b>MÁQUINA SECADORA.....</b>	<b>56</b>
3.1	DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES .....	56
3.1.1	PLANIFICACIÓN DE LA ENCUESTA .....	56
3.1.1.1	Objetivo de la encuesta.....	56
3.1.1.2	Información requerida.....	56
3.1.1.3	Diseño del cuestionario .....	56
3.1.1.4	Determinación de la población .....	56
3.1.1.5	Determinación del número de encuestas .....	57
3.1.1.6	Trabajo de campo.....	58
3.1.1.7	Conteo y codificación de resultados .....	59
3.2	FUNCIÓN DE DESPLIEGUE DE LA CALIDAD.....	68
3.2.1	VOZ DEL USUARIO .....	68
3.2.2	ANÁLISIS DE LA COMPETENCIA.....	69
3.2.3	VOZ DEL INGENIERO .....	71
3.2.4	MATRIZ DE RELACIONES .....	71
3.2.5	EVALUACIÓN TÉCNICA.....	72
3.2.6	MATRIZ DE CORRELACIÓN .....	72
3.3	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	72
3.4	MODULARIDAD DE UN PRODUCTO .....	73

3.4.1	CONCEPTOS.....	74
3.4.1.1	Módulos funcionales.....	74
3.4.1.2	Módulos constructivos.....	74
3.4.2	CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA MODULAR.....	74
3.4.2.1	Módulos de la máquina.....	75
3.4.2.2	Soluciones para cada Módulo.....	75
3.4.3	CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	93
3.4.3.1	Método ordinal corregido de criterios ponderados.....	93
3.4.4	SOLUCIÓN FINAL DE LA MÁQUINA.....	104
<b>CAPÍTULO 4: DISEÑO DEL SECADOR.....</b>		<b>105</b>
4.1	DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CABALLETES EN UN NIVEL, DIÁMETROS DEL SECADOR Y DE LA CÁMARA DE AIRE CALIENTE.....	105
4.2	TIEMPO DE SECADO.....	109
4.2.1	ESFERICIDAD DE LOS GRANOS.....	109
4.2.2	ÁREA DEL SECADO.....	111
4.2.3	DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD CRÍTICA $X_C$ .....	112
4.2.4	MASA FINAL DE MAÍZ POR NIVEL.....	113
4.2.5	TIEMPO DE SECADO A VELOCIDAD CONSTANTE.....	114
4.2.6	TIEMPO DE SECADO A VELOCIDAD DECRECIENTE.....	115
4.2.7	TIEMPO DE DIFUSIÓN.....	116
4.2.7.1	Coefficiente de difusión líquida $d_l$ .....	116
4.2.7.2	Tiempo de difusión.....	117
4.3	CÁLCULO DE ALTURAS Y VOLÚMENES DE LAS PARTES DEL SECADOR.....	118
4.3.1	TOLVA.....	119
4.3.1.1	Volumen de maíz en la tolva.....	120
4.3.2	CÁMARA DE SECADO.....	122
4.3.2.1	Altura de la cámara de secado.....	122
4.3.3	CÁMARA DE REPOSO.....	124
4.3.4	DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE NIVELES DE CABALLETES Y REVOLUCIONES POR MINUTO (RPM) DEL TORNILLO TRANSPORTADOR.....	126

4.3.5	TORNILLO SIN FIN.....	128
4.3.5.1	Selección de las propiedades del material a transportar .....	129
4.3.5.2	Selección del tipo de paso y hélice del tornillo sin fin .....	129
4.3.5.3	Selección del diámetro del tornillo .....	130
4.3.5.4	Capacidad volumétrica por RPM.....	130
4.3.5.5	Espesor de la hélice .....	131
4.3.5.6	Diámetro del eje del tornillo transportador.....	137
4.3.5.7	Selección del tipo de canal.....	141
4.3.5.8	Capacidad del tornillo.....	141
4.3.6	DIMENSIONAMIENTO TOTAL DE LA MÁQUINA SECADORA DE MAÍZ.....	143
4.4	DISEÑO DE LAS PARTES DEL SECADOR .....	143
4.4.1	DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE LA LÁMINA PARA LAS PARTES DEL SECADOR .....	143
4.4.1.1	Propiedades del maíz para el cálculo de silos.....	143
4.4.2	CÁLCULO DE LA EXCENTRICIDAD .....	144
4.4.3	DETERMINACIÓN DEL TIPO DE SILO .....	144
4.4.4	PRESIONES HORIZONTALES SOBRE LA PARED.....	145
4.4.5	DETERMINACIÓN DEL PUNTO CRÍTICO EN EL CILINDRO Y ESTADO DE TENSIONES .....	146
4.4.6	CABALLETES .....	149
4.4.6.1	Cálculo de la soldadura en los caballetes .....	157
4.5	ESTRUCTURA.....	161
4.5.1	ANILLO RIGIDIZADOR .....	161
4.5.2	COLUMNAS DE LA CÁMARA DE SECADO .....	162
4.5.3	NÚMERO DE SUJETADORES .....	168
4.5.4	ESTRUCTURA DE UNIÓN DE LA CÁMARA DE AIRE CALIENTE Y ANILLO EXTERIOR.....	172
4.5.4.1	Soldadura de la unión de la cámara interna con la externa.....	179
4.5.5	DISEÑO DE LA PLACA BASE .....	183
4.5.5.1	Soldadura entre la columna y la placa base.....	183
4.5.5.2	Placa base.....	184
4.5.5.3	Pernos de anclaje.....	189

4.5.6	ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL SECADOR.....	190
4.6	POTENCIA EN EL ÁRBOL .....	195
4.6.1	POTENCIA NECESARIA PARA MOVER EL ESPIRAL .....	195
4.6.2	POTENCIA NECESARIA PARA MOVER EL MATERIAL .....	196
4.6.3	TORQUE DEL EJE DEL TRANSPORTADOR .....	197
4.7	SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO.....	197
4.8	SELECCIÓN DE RODAMIENTOS.....	198
4.8.1	RODAMIENTO PARA EL PUNTO C.....	201
4.8.2	RODAMIENTO PARA EL PUNTO B .....	202
4.9	ANÁLISIS DE ENERGÍA.....	203
4.9.1	FLUJO DE AIRE.....	203
4.9.1.1	Masa final de maíz .....	203
4.9.1.2	Masa de agua.....	203
4.9.1.3	Masa de aire seco .....	203
4.9.1.4	Volumen de aire seco.....	204
4.9.1.5	Presión del vapor de agua.....	204
4.9.1.6	Presión del aire seco .....	204
4.9.1.7	Volumen específico del aire seco a condiciones ambiente .....	204
4.9.1.8	Masa de aire seco a condiciones ambiente.....	204
4.9.1.9	Flujo de masa de aire seco a condiciones ambiente .....	205
4.9.1.10	Flujo de volumen de aire seco a condiciones ambiente .....	205
4.9.1.11	Flujo de masa de maíz seco.....	205
4.9.2	TEMPERATURA DE SECADO .....	206
4.9.2.1	BALANCE DE ENTALPÍAS .....	207
4.10	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AIRE.....	211
4.10.1	TIPOS DE COMBUSTIBLES.....	211
4.10.1.1	Gas Licuado de Petróleo (GLP) .....	211
4.10.1.2	Diesel 2 .....	212
4.10.2	ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL AIRE .....	212
4.10.2.1	Sistema a GLP .....	213
4.10.2.2	Sistema a Diesel.....	213
4.11	SELECCIÓN DEL QUEMADOR .....	216
4.12	DISEÑO DEL CONDUCTO DE TRANSPORTE DEL	

	AIRE CALIENTE.....	216
4.12.1	DISEÑO DE LA TUBERÍA DEL TRANSPORTE DEL AIRE DE SECADO .....	217
4.12.2	DUCTO DE SALIDA DEL AIRE USADO .....	218
4.12.3	PÉRDIDAS: DE FLUJO Y EN LOS ACCESORIOS.....	219
4.12.3.1	Pérdidas primarias o pérdidas por fricción .....	219
4.12.3.2	Pérdidas secundarias debido a los accesorios o pérdidas menores.....	225
4.12.3.3	Pérdidas hidráulicas .....	227
4.12.4	CÁLCULO DE LA PRESIÓN NECESARIA DEL VENTILADOR.....	228
4.12.5	CÁLCULO DE LA CAÍDA DE PRESIÓN EN EL LECHO DE GRANOS .....	229
4.12.6	CAÍDA DE PRESIÓN TOTAL .....	230
4.13	SELECCIÓN DEL VENTILADOR .....	230
4.13.1	SOPORTE DEL VENTILADOR .....	231
4.14	PROTOCOLO DE PRUEBAS .....	235
4.14.1	VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES .....	235
4.14.2	FUNCIONAMIENTO EN VACÍO.....	236
4.14.3	FUNCIONAMIENTO CON CARGA .....	236
	<b>CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE COSTOS .....</b>	<b>237</b>
5.1	COSTOS INVOLUCRADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA A DISEÑAR.....	237
5.1.1	COSTOS INDIRECTOS .....	237
5.1.1.1	Costos de manutención.....	237
5.1.1.2	Costos de materiales consumibles .....	238
5.1.1.3	Costos de ingeniería.....	238
5.1.2	COSTOS DIRECTOS.....	239
5.1.2.1	Costos de mano de obra .....	239
5.1.2.2	Costos de materiales .....	239
5.1.2.3	Costos de elementos normalizados.....	240
5.1.2.4	Costos de maquinado.....	241
5.1.3	COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA .....	244
5.2	AMORTIZACIÓN DE LA MÁQUINA.....	245

<b>CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>247</b>
6.1 CONCLUSIONES.....	247
6.2 RECOMENDACIONES .....	248
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>249</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>251</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- 1: Estructura del maíz .....	2
Figura 1- 2: Mapa de la región amazónica del Ecuador .....	4
Figura 1- 3: Maíz duro tipo Tusilla .....	8
Figura 2- 1: Tipos de secado natural.....	14
Figura 2- 2: Sistema de funcionamiento general de una secadora por caballetes. ....	16
Figura 2- 3: Corte de una cámara de secado de caballetes .....	16
Figura 2- 4: Esquema de una secadora de caballetes .....	17
Figura 2- 5: Esquema de una secadora de columnas .....	18
Figura 2- 6: Gradiente de temperatura .....	18
Figura 2- 7: Partes de una secadora de columnas.....	19
Figura 2- 8: Esquema de una secadora de columnas .....	20
Figura 2- 9: Esquema del proceso de secado con flujo contracorriente .....	21
Figura 2- 10: Secado combinado .....	21
Figura 2- 11: Movimiento del aire y de los granos dentro del secador .....	22
Figura 2- 12: Secador de flujo concurrente .....	23
Figura 2- 13: Configuración básica de un secador.....	24
Figura 2- 14: Intercambiador de calor .....	24
Figura 2- 15: Cámara de secado y cámara de distribución del aire en el secador de lecho fijo.....	26
Figura 2- 16: Tipos de alimentadores de granos: a) horizontal, b) tornillo sin fin, c) Transportador de Banda tipo Artesa.....	27
Figura 2- 17: Contenido de humedad en un grano de maíz .....	29
Figura 2- 18: Curva del equilibrio higroscópico EH .....	30
Figura 2- 19: Curva higroscópica de la semilla de maíz .....	31

Figura 2- 20: Esquema para una carta psicrométrica.....	36
Figura 2- 21: Proceso de calentamiento del aire .....	37
Figura 2- 22: Calentamiento del aire .....	38
Figura 2- 23: Enfriamiento evaporativo .....	40
Figura 2- 24: Humidificación del aire .....	40
Figura 2- 25: Curva humedad - tiempo.....	42
Figura 2- 26: Curva de la velocidad de secado .....	43
Figura 2- 27: Gráfica de las ecuaciones del período de velocidad decreciente ...	50
Figura 2- 28: Tolva de flujo de masa .....	54
Figura 2- 29: Tolva de flujo de embudo.....	55
Figura 3- 1: Mapa de la división política del cantón Tena, Provincia de Napo. ....	58
Figura 3- 2: Casa de la calidad .....	68
Figura 3- 3: Tolva circular.....	76
Figura 3- 4: Tolva rectangular .....	77
Figura 3- 5: Transporte neumático de los granos de maíz .....	78
Figura 3- 6: Transporte por medio de bandas. ....	79
Figura 3- 7: Transporte por medio de un tornillo sin fin interno. ....	79
Figura 3- 8: Transporte por medio de un tornillo sin fin externo. ....	80
Figura 3- 9: Lámina inclinada con perforaciones.....	81
Figura 3- 10: Distribuidora de eje vertical con paletas.....	82
Figura 3- 11: Cámara circular.....	82
Figura 3- 12: Mesa vibradora. ....	83
Figura 3- 13: Reabastecimiento neumático.....	84
Figura 3- 14: Reabastecimiento mediante un tornillo sin fin externo. ....	85
Figura 3- 15: Compresor .....	88
Figura 3- 16: Ventilador centrífugo .....	89
Figura 3- 17: Motor con aletas.....	89
Figura 3- 18: Secador de caballetes.....	90
Figura 3- 19: Secador cilíndrico.....	91
Figura 3- 20: Secador de caballetes.....	91
Figura 3- 21: Solución 1C, para el módulo 1 .....	99
Figura 3- 22: Solución 2B, para el módulo 2. ....	103
Figura 3- 23: Solución final de la máquina secadora de maíz. ....	104

Figura 4- 1: Caballete como tronco de pirámide de un caballete .....	106
Figura 4- 2: Distribución de caballetes y conducto de aire .....	107
Figura 4- 3: Dimensionamiento de la cámara de secado .....	107
Figura 4- 4: Volumen no ocupado por el grano en la cámara de secado, debido al caballete.....	108
Figura 4- 5: Dimensiones de un grano de maíz.....	110
Figura 4- 6: Partes de la cámara de secado.....	118
Figura 4- 7: Ángulo de inclinación de la tolva .....	119
Figura 4- 8: Medidas de la tolva .....	119
Figura 4- 9: Dimensiones de las tolvas .....	120
Figura 4- 10: Dimensiones de los caballetes y nivel.....	122
Figura 4- 11: Partes de la cámara de reposo .....	124
Figura 4- 12: Dimensiones de la cámara de reposo.....	126
Figura 4- 13: Paso medio helicoidal sencillo .....	129
Figura 4- 14: Dimensionamiento del tornillo sin fin.....	130
Figura 4- 15: Área de la raíz de la hélice sometida al esfuerzo cortante .....	132
Figura 4- 16: Fuerza y esfuerzos producidos en la hélice .....	133
Figura 4- 17: Esfuerzos en los puntos de la raíz de la hélice .....	133
Figura 4- 18: Momentos de inercia en el rectángulo .....	134
Figura 4- 19: Esfuerzos en el punto crítico de la hélice .....	135
Figura 4- 20: Análisis del desplazamiento .....	136
Figura 4- 21: Análisis de la tensión de Von Mises.....	136
Figura 4- 22: Análisis del Factor de Seguridad.....	137
Figura 4- 23: Distribución de las fuerzas sobre las hélices del tornillo sin fin.....	137
Figura 4- 24: Esfuerzos normales y cortantes .....	138
Figura 4- 25: Medidas del tornillo sin fin.....	141
Figura 4- 26: Dimensiones de la cámara de secado .....	143
Figura 4- 27: Esfuerzos tangenciales y longitudinales .....	147
Figura 4- 28: Distribución de los caballetes.....	150
Figura 4- 29: Distribución de fuerzas en el caballete.....	151
Figura 4- 30: Sección y puntos críticos del caballete .....	154
Figura 4- 31: Momentos de inercia en el rectángulo .....	154

Figura 4- 32: Análisis del desplazamiento .....	156
Figura 4- 33: Análisis de la Tensión de Von Mises.....	156
Figura 4- 34: Análisis del Factor de Seguridad.....	157
Figura 4- 35: Distribución de fuerza sobre los caballetes y la soldadura.....	158
Figura 4- 36: Dimensionamiento de la soldadura .....	159
Figura 4- 37: Cordón de soldadura.....	160
Figura 4- 38: Aro Rigidizador.....	162
Figura 4- 39: Masa que soporta las columnas de rigidez .....	163
Figura 4- 40: Esfuerzo vs relación $\frac{Le}{r}$ .....	165
Figura 4- 41: Longitud efectiva de columnas.....	166
Figura 4- 42: Análisis desplazamiento.....	167
Figura 4- 43: Análisis de la Tensión de Von Mises.....	168
Figura 4- 44: Análisis de factor de seguridad .....	168
Figura 4- 45: Peso de la cámara de aire caliente .....	173
Figura 4- 46: Perfil utilizado en las vigas .....	175
Figura 4- 47: Análisis de diseño del perfil.....	176
Figura 4- 48: Inercia y distancia al centro de gravedad para el perfil .....	177
Figura 4- 49: Número de vigas radiales para el perfil.....	178
Figura 4- 50: Análisis desplazamiento.....	178
Figura 4- 51: Análisis de la Tensión de Von Mises.....	179
Figura 4- 52: Análisis de factor de seguridad .....	179
Figura 4- 53: Aplicación de la fuerza sobre la viga soldada .....	180
Figura 4- 54: Inercia y distancia al centro de gravedad para el perfil .....	180
Figura 4- 55: Dimensiones del cordón de soldadura .....	181
Figura 4- 56: Soldadura de la unión de la cámara interna con la externa. ....	182
Figura 4- 57: Placas base de columnas .....	185
Figura 4- 58: Distribución de fuerzas sobre la placa base.....	187
Figura 4- 59: Pernos sujetos a la placa base .....	189
Figura 4- 60: Masa del secador sin carga .....	191
Figura 4- 61: Análisis desplazamiento.....	193
Figura 4- 62: Análisis de la Tensión de Von Mises.....	194
Figura 4- 63: Análisis de factor de seguridad .....	194
Figura 4- 64: Diagrama de cuerpo libre del eje del tornillo sin fin.....	198

Figura 4- 65: Dimensiones del transportador .....	200
Figura 4- 66: Fuerzas en el plano XZ para los puntos B y C .....	200
Figura 4- 67: Proceso de secado .....	207
Figura 4- 68: Dimensiones del ducto de aire .....	217
Figura 4- 69: Altura del canal de salida del ducto de aire.....	218
Figura 4- 70: Partes del ducto de aire .....	219
Figura 4- 71: Medidas de la cámara de combustión.....	220
Figura 4- 72: Distancias de las secciones rectas de la tubería y diámetro de ducto de salida del aire.....	223
Figura 4- 73: Medidas de las tuberías en forma de codos .....	225
Figura 4- 74: Pérdidas en la contracción .....	226
Figura 4- 75: Curvas características ventilador centrífugo .....	231
Figura 4- 76: Diagrama de cuerpo libre del pie de amigo.....	232
Figura 4- 77: Diagrama de cuerpo libre del tramo A-B .....	232
Figura 4- 78: Diagrama de cuerpo libre del nodo B.....	233
Figura 4- 79: Análisis desplazamiento.....	234
Figura 4- 80: Análisis de la Tensión de Von Mises.....	234
Figura 4- 81: Análisis de factor de seguridad .....	235

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1- 1: Porcentaje de producción de maíz duro seco en la Región Amazónica.....	10
Gráfico 3- 1: Número de hectáreas sembradas.....	59
Gráfico 3- 2: Quintales por cosecha por hectárea .....	60
Gráfico 3- 3: Precio del maíz en el mercado .....	60
Gráfico 3- 4: Formas de secado del maíz .....	61
Gráfico 3- 5: Tiempo de reposo del terreno.....	62
Gráfico 3- 6: Personal para la cosecha .....	63
Gráfico 3- 7: Servicio eléctrico.....	63
Gráfico 3- 8: Usos de la energía.....	64
Gráfico 3- 9: Problemas en los granos de maíz .....	65
Gráfico 3- 10: Magnitud de los problemas en el maíz. ....	65

Gráfico 3- 11: Variación del precio del maíz.....	66
Gráfico 3- 12: Acciones en contra de la disminución del precio del maíz.....	67
Gráfico 3- 13: Función global de la máquina secadora de maíz.....	74
Gráfico 3- 14: Módulos de la máquina a diseñar. ....	75
Gráfico 3- 15: Módulo 1 de alimentación y dosificación de granos de maíz. ....	76
Gráfico 3- 16: Módulo 2 de secado de granos de maíz. ....	87
Gráfico 3- 17: Módulo 3 de almacenamiento y salida de granos de maíz.....	92
Gráfico 4- 1: Curva de secado para el maíz.....	112
Gráfico 4- 2: Curva de velocidad de secado para el maíz.....	113
Gráfico 4- 3: Curva resultante de la Presión horizontal en función de la atura...	146
Gráfico 4- 4: Diagramas de cuerpo libre y momento flector del caballete .....	153
Gráfico 4- 5: Esfuerzos y momentos de la viga .....	176
Gráfico 4- 6: Higroscopia de secado .....	207

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- 1: Composición nutricional para granos de maíz. ....	3
Tabla 1- 2: Densidad de los granos de maíz.....	4
Tabla 1- 3: Porcentajes de Precipitaciones en las estaciones del INAMHI en la Región Amazónica.....	5
Tabla 1- 4: Temperaturas máximas y mínimas de la Región Amazónica.....	6
Tabla 1- 5: Producción del Maíz Amarillo Duro en el Ecuador .....	7
Tabla 1- 6: Otras variedades de maíces en la Amazonía.....	8
Tabla 1- 7: Producción de maíz duro seco en la Región Amazónica .....	9
Tabla 1- 8: Precio del maíz duro seco en $\left[\frac{cent}{kg}\right]$ de la Región Amazónica .....	12
Tabla 2- 1: Contenido de Humedad de equilibrio (Equilibrio Higroscópico) de las semillas con diferentes HR a 25°C.....	31
Tabla 2- 2: Condiciones Ambientales en la Ciudad de Tena.....	36
Tabla 2- 3: Propiedades de la ciudad del Tena .....	37
Tabla 2- 4: Temperatura máxima del aire para el secado de algunos productos agrícolas, en función de su uso. ....	42
Tabla 2- 5: Porcentaje de extracción de agua por hora, para los rangos de humedad comunes a cada cereal.....	46

Tabla 3- 1: Número de hectáreas sembradas .....	59
Tabla 3- 2: Quintales por cosecha por hectárea.....	59
Tabla 3- 3: Precio del maíz en el mercado .....	60
Tabla 3- 4: Formas de secado del maíz .....	61
Tabla 3- 5: Tiempo de reposo del terreno .....	62
Tabla 3- 6: Personal para la cosecha.....	62
Tabla 3- 7: Servicio eléctrico .....	63
Tabla 3- 8: Usos de la energía .....	64
Tabla 3- 9: Problemas en los granos de maíz.....	64
Tabla 3- 10: Magnitud de los problemas en el maíz.....	65
Tabla 3- 11: Variación del precio del maíz .....	66
Tabla 3- 12: Acciones en contra de la disminución del precio del maíz .....	66
Tabla 3- 13: Lista de las demandas del usuario para el diseño de la máquina ....	69
Tabla 3- 14: Lista de las características técnicas .....	71
Tabla 3- 15: Especificaciones técnicas para la máquina secadora .....	73
Tabla 3- 16: Alternativas para el módulo 1 .....	86
Tabla 3- 17: Alternativas para el módulo 2.....	92
Tabla 4- 1: Diámetro en función de la longitud de la plancha.....	105
Tabla 4- 2: Parámetros para el diseño del secador.....	109
Tabla 4- 3: Propiedades termo-físicas del aire a 56°C .....	109
Tabla 4- 4: Medidas de granos.....	110
Tabla 4- 5: Masa final de maíz de acuerdo al número de pasadas .....	114
Tabla 4- 6: Cálculo del tiempo de secado en función de la velocidad constante.....	115
Tabla 4- 7: Cálculo del tiempo de secado en función de la velocidad decreciente.....	116
Tabla 4- 8: Tiempos de reposo en función del número de pasadas.....	118
Tabla 4- 9: Tiempos de las diferentes partes del secador en función del número de revoluciones .....	127
Tabla 4- 10: Tiempo total de permanencia del maíz en el proceso de secado ..	128
Tabla 4- 11: Propiedades de los materiales granulados .....	144
Tabla 4- 12: Espesores y factores de seguridad .....	149
Tabla 4- 13: Propiedades geométricas para el cordón de la soldadura .....	160

Tabla 4- 14: Precarga en función del número de sujetadores .....	172
Tabla 4- 15: Propiedades geométricas para el perfil. ....	177
Tabla 4- 16: Determinación del número de vigas para la estructura. ....	178
Tabla 4- 17: Propiedades geométricas para el perfil. ....	181
Tabla 4- 18: Determinación de la garganta de soldadura y el factor de seguridad .....	182
Tabla 4- 19: Dimensiones de la placa base según el espesor .....	188
Tabla 4- 20: Longitud efectiva para los pernos de anclaje .....	190
Tabla 4- 21: Unidad de factor de eficiencia .....	197
Tabla 4- 22: Factor de dureza $fH$ .....	202
Tabla 4- 23: Datos para el secado .....	206
Tabla 4- 24: Propiedades del GLP .....	212
Tabla 4- 25: Propiedades del diesel .....	212
Tabla 4- 26: Análisis de precios de los combustibles .....	214
Tabla 4- 27: Datos principales de cada sistema de combustible.....	215
Tabla 4- 28: VPN para el sistema con GLP .....	215
Tabla 4- 29: VPN para el sistema con GLP.....	216
Tabla 4- 30: Coeficiente de pérdidas debido a accesorios (codos) $Kc$ . ....	225
Tabla 5- 1: Costos de manutención.....	237
Tabla 5- 2: Costos de materiales consumibles.....	238
Tabla 5- 3: Costos de ingeniería .....	238
Tabla 5- 4: Valor total de los costos indirectos .....	239
Tabla 5- 5: Costos de mano de obra .....	239
Tabla 5- 6: Costos de materiales.....	240
Tabla 5- 7: Costos de elementos normalizados .....	240
Tabla 5- 8: Costos de corte .....	241
Tabla 5- 9: Costos de doblado .....	242
Tabla 5- 10: Costos de rolado .....	243
Tabla 5- 11: Costos de soldadura .....	243
Tabla 5- 12: Costo total de maquinado .....	244
Tabla 5- 13: Valor total de los costos directos.....	244
Tabla 5- 14: Costo total del equipo.....	244
Tabla 5- 15: Cantidad de quintales en función del número de UPAs .....	245

Tabla 5- 16: Tiempo de secado en función de la cantidad de quintales .....	245
Tabla 5- 17: Detalle de las variables a utilizar .....	246

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: TEMPERATURA Y PRECIPITACIONES .....	252
ANEXO 2: PRODUCCIÓN DE MAÍZ DURO EN EL ECUADOR A NIVEL PROVINCIAL .....	259
ANEXO 3: PRECIOS MENSUALES PROMEDIOS DEL MAÍZ A NIVEL NACIONAL .....	261
ANEXO 4: CARTA PSICROMÉTRICA PARA LA CIUDAD DEL TENA.....	264
ANEXO 5: EURO-CÓDIGO ENV 1991-4 .....	267
ANEXO 6: DISEÑO DEL CUESTIONARIO PARA LA ENCUESTA .....	279
ANEXO 7: NÚMERO DE UPAS Y SUPERFICIE SEMBRADAS PARA LA PROVINCIA DE NAPO.....	281
ANEXO 8: REALIZACIÓN DE LAS ENCUESTAS .....	283
ANEXO 9: PRODUCTOS DE LA COMPETENCIA PARA LA MÁQUINA SECADORA .....	285
ANEXO 10: CASA DE LA CALIDAD .....	291
ANEXO 11: MÓDULOS DE LA MÁQUINA.....	292
ANEXO 12: VOLUMEN DE MAÍZ POR NIVEL.....	293
ANEXO 13: TIEMPO DE SECADO EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE PASADAS.....	295
ANEXO 14: TORNILLO SIN FIN .....	299
ANEXO 15: CATÁLOGOS DE ACEROS DIPAC.....	303
ANEXO 16: SELECCIÓN DEL TIPO DE CANAL .....	311
ANEXO 17: FACTORES DE CAPACIDAD .....	316
ANEXO 18: CATÁLOGO DE ELECTRODOS TIG .....	318
ANEXO 19: CÁLCULO DE SUJETADORES.....	320
ANEXO 20: DIMENSIONES DE ROSCAS.....	322
ANEXO 21: SOLDADURA Y DISEÑO DE UNIONES PERMANENTES .....	324
ANEXO 22: CATÁLOGO DE PERNOS DE ANCLAJE.....	326

ANEXO 23: POTENCIA DEL TORNILLO.....	328
ANEXO 24: POTENCIA PARA MOVER EL MATERIAL .....	330
ANEXO 25: MOTOREDUCTOR.....	332
ANEXO 26: SELECCIÓN DE RODAMIENTOS.....	334
ANEXO 27: CATÁLOGO DEL QUEMADOR.....	344
ANEXO 28: DIAGRAMA DE MOODY .....	347
ANEXO 29: COEFICIENTES DE RESISTENCIA – DILATACIÓN GRADUAL ...	349
ANEXO 30: CATÁLOGO DEL VENTILADOR .....	351
ANEXO 31: HOJA DE PROTOCOLO DE PRUEBAS .....	353
ANEXO 32: PROFORMAS PARA COSTOS.....	356

## SIMBOLOGÍA

$h_{ccs}$	Altura de la cámara de secado parte cilíndrica, [ $m^3$ ]
$h_c$	Altura de los caballetes, [ $mm$ ]
$h_{Tac}$	Altura para la tolva de aire caliente, [ $mm$ ]
$h_T$	Altura para la tolva de contenido de maíz, [ $mm$ ]
$A_s$	Área de secado, [ $m^2$ ]
$A_b$	Área de la base de la cámara de secado, [ $m^2$ ]
$\dot{Q}$	Calor, [ $kJ$ ]
$C_p$	Calor específico, [ $\frac{kJ}{kg \text{ maíz seco} \cdot K}$ ]
$Q_{eq}$	Capacidad Equivalente, [ $\frac{ft^3}{h}$ ]
$Q_{re}$	Capacidad requerida del tornillo, [ $\frac{ft^3}{h}$ ]
$D_L$	Coefficiente de difusión líquida, [ $\frac{m^2}{h}$ ]
$\mu$	Coefficiente de rozamiento de la pared, [ <i>adimensional</i> ]
$k$	Coefficiente de transferencia de calor por conducción, [ $\frac{W}{m \cdot K}$ ]
$R$	Constante universal del aire, [ $\frac{kg \text{ agua } m^3}{kg \cdot K}$ ] = 0,287
$H_{bh}$	Contenido de humedad en base húmeda, [ <i>fracción</i> ]
$\gamma$	Densidad de la carga, [ $\frac{KN}{m^3}$ ]
$\rho_a$	Densidad del aire, [ $\frac{Kg}{m^3}$ ]
$\delta_{comb}$	Densidad del combustible, [ $\frac{kg}{m^3}$ ]
$\rho_m$	Densidad del maíz, [ $\frac{Kg}{mm^3}$ ]
$d_c$	Diámetro del canal, [ $m$ ]
$d_{ac}$	Diámetro del ducto de aire caliente, [ $m$ ]
$d_s$	Diámetro del secador, [ $m$ ]
$d_{pa}$	Diámetro del tornillo de anclaje [ $mm$ ]
$d_{tor}$	Diámetro del transportador, [ $mm$ ]
$d_{ee}$	Diámetro equivalente, [ $m$ ]
$\varepsilon$	Emisividad, [ <i>adimensional</i> ]
$H_{fg}$	Entalpía del aire, [ $\frac{kJ}{kg}$ ]
$\emptyset_s$	Esfericidad, [ <i>adimensional</i> ]
$\sigma_z$	Esfuerzo normal sobre el eje, [ $MPa$ ]

$\tau_{yz}$	Esfuerzo cortante, [MPa]
$e$	Espesor de la hélice, [mm]
$FS$	Factor de seguridad
$\dot{m}_{as}$	Flujo de aire de aire seco, $\left[\frac{kg}{h}\right]$
$\dot{m}_{ms}$	Flujo de masa de maíz seco, $\left[\frac{kg}{min}\right]$
$Q$	Flujo de calor, [W]
$F_{me}$	Fuerza del maíz sobre la hélice, [N]
$F_{MTS}$	Fuerza que el maíz eje sobre la tolva, [N]
$F_{pa}$	Fuerza sobre el perno de anclaje [N]
$F_{TE}$	Fuerza total sobre la estructura, [N]
$F_{EC}$	Fuerza total sobre las vigas, [N]
$\frac{dT}{dx}$	Gradiente de temperatura en la dirección x.
$g_{sol}$	Garganta de la soldadura, [mm]
$g$	Gravedad, $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
$\omega$	Humedad absoluta, $\left[\frac{kg\ agua}{kg\ aire\ seco}\right]$
$X_c$	Humedad crítica
$H_{bh}$	Humedad del maíz en base húmeda, [%]
$\varphi$	Humedad relativa, [adimensional]
$H_{bs}$	Humedad del grano en base seca, [fracción]
$l_h$	Longitud de la hélice [mm]
$l$	Longitud del caballete, [mm]
$L_T$	Longitud del tornillo, [mm]
$m_{h_2O}$	Masa de agua contenida en los granos, [kg]
$m_a$	Masa de aire ambiente, [kg]
$m_{as}$	Masa de aire seco, [kg]
$M_m$	Masa de maíz = 2000 [kg]
$m_{fm}$	Masa seca del grano, [kg]
$N_c$	Número de caballetes por nivel, [adimensional]
$n_h$	Número de hélices, [adimensional]
$t$	Paso del tornillo, [m]
$q$	Pérdidas, [kJ]
$P_{as}$	Presión de aire seco, [kPa]
$P$	Presión del ambiente, [kPa]

$P_v$	Presión de vapor de agua, [kPa]
$P_{Total}$	Potencia en el árbol, [HP]
$z$	Profundidad, [m]
$P_p$	Poder calórico del combustible, $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$
$S_y$	Resistencia a la fluencia, [MPa]
$S_{esf}$	Superficie de la esfera, [m <sup>2</sup> ]
$T_{bh}$	Temperatura de bulbo húmedo, [°C]
$T_{bs}$	Temperatura de bulbo seco, [°C]
$T$	Temperatura del aire caliente, [°K]
$T_{sec}$	Temperatura de secado, [°C]
$T_g$	Temperatura en el grano, [°C]
$t_{secado}$	Tiempo de secado, [h]
$t_{cs}$	Tiempo en la cámara de secado, [min]
$T$	Torque en el eje, $\left[\frac{N}{mm}\right]$
$v_s$	Velocidad de secado, $\left[\frac{m}{s}\right]$
$G$	Velocidad másica del aire de secado, $\left[\frac{kg}{h*m^2}\right]$
$\mu$	Viscosidad dinámica del aire, $\left[\frac{Ns}{m^2}\right]$
$v_{as}$	Volumen de aire seco, [m <sup>3</sup> ]
$V_{esf}$	Volumen de la esfera, [m <sup>3</sup> ]
$V_{Tac}$	Volumen de la tolva de aire caliente, [m <sup>3</sup> ]
$V_{MCB}$	Volumen de maíz en el cuello de botella, [m <sup>3</sup> ]
$V_{MCS}$	Volumen de maíz en la cámara de secado, [m <sup>3</sup> ]
$V_s$	Volumen de maíz a secar, [m <sup>3</sup> ]
$V_{comb}$	Volumen del combustible, [m <sup>3</sup> ]
$V_T$	Volumen total de la tolva, [m <sup>3</sup> ]
$V_{TCS}$	Volumen total de maíz en la cámara de secado, [m <sup>3</sup> ]
$V_{TN}$	Volumen total de un nivel, [m <sup>3</sup> ]

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación se origina en la necesidad de contribuir con el sector agrícola amazónico principalmente en el sector del Tena Provincia de Napo, mediante la propuesta del diseño de una máquina secadora vertical, que aporte con el tratamiento post-cosecha de granos de maíz duro, cumpliendo así con los requerimientos necesarios para obtener un producto de alta calidad y una eficiente comercialización.

El proyecto consta de seis capítulos, los cuales se detallan a continuación:

**CAPÍTULO I.** Presenta una introducción general sobre a las propiedades y características de los granos de maíz. Se realiza un estudio de la Región Amazónica del Ecuador, tomando como puntos principales el análisis climatológico, la producción y costos de maíz duro a nivel provincial.

**CAPÍTULO II.** Establece el estudio teórico del secado, se indican los tipos de secadores artificiales y las partes que lo conforman. Se realiza el estudio de las propiedades del maíz por higroscopia, del comportamiento del aire mediante el análisis psicométrico y de la forma de secado de acuerdo a los procesos de transferencia de calor.

**CAPÍTULO III.** Se desarrolla un proceso de evaluación cuantitativa mediante evaluación de encuestas, tanto a productores como a trabajadores en la Ciudad de Tena, para determinar formas producción, tratamiento y comercialización del maíz duro. Se selecciona la mejor alternativa de diseño y funcionamiento para la máquina por medio de criterios de evaluación.

**CAPÍTULO IV.** Se realiza el diseño y selección de los elementos que conforman las diferentes partes del secador, satisfaciendo el tiempo de secado y el consumo de energía para el secador en el tratamiento de los granos de maíz.

**CAPÍTULO V.** Contiene un análisis económico detallado para cada una de las partes que conforman el mecanismo y así obtener el costo total de la construcción de la máquina, en base a recopilación de catálogos y proformas.

**CAPÍTULO VI.** Recoge las conclusiones y recomendaciones obtenidas a la lo largo de la realización del presente proyecto de titulación.

## PRESENTACIÓN

La creciente demanda de la producción de granos de maíz duro, tanto para la industria como el consumo local, hace evidente la necesidad de manejar el producto con la finalidad de obtener una mejor calidad y una eficiente comercialización.

El porcentaje de humedad que se encuentra presente en el grano es de gran influencia, ya que afecta directamente en el valor del producto por quintal. Tomando en cuenta que el contenido de humedad de la semilla en el momento de la madurez fisiológica está por encima del 30%, por lo que en muchos ambientes tropicales, como por ejemplo el Cantón Tena Provincia Napo, la semilla no debe ser cosechada con tales niveles de humedad.

En base al estudio de campo realizado, se determina que los productores de maíz duro seco realizan siembras entre 2 a 5 hectáreas, con una cantidad de cosecha por hectárea de 20 quintales, obteniendo una cantidad mínima de 2000 kg por cosecha.

Es por ello que nuestra propuesta de proyecto de titulación es proporcionar un diseño para una máquina secadora de granos de maíz duro, con la finalidad de ayudar a los agricultores y mejorar la comercialización del producto, mediante la disminución del tiempo de secado, reducción del consumo de combustible y por consiguiente un ahorro en el costo de secado.

# CAPÍTULO 1

## GENERALIDADES DE LAS SEMILLAS DE MAÍZ DURO

### 1.1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años la producción de semillas ha experimentado un avance significativo, debido principalmente a la necesidad de obtener mayor producción y productividad en los cultivos, para suplir la continua demanda de alimentos por parte de una población cada día más exigente. La economía nacional basada en las industrias moviliza una gran cantidad de dinero para la compra de maíz con el que se fabrica el alimento balanceado, donde se destina en un 80% para la industria avícola, el 15% para el camarón, mientras que el restante 5% se destina para la ganadería bovina, ovina y otros animales.<sup>1</sup>

Es por ello, que la calidad del producto a encontrarse en el mercado debe cumplir con especificaciones que influyen directamente en el precio, unas de ellas se basa en la humedad presente en la semilla en el lugar de cosecha. En base a lo antes expuesto, se proyecta la necesidad de la construcción de dispositivos que permitan mejorar las propiedades del producto.

### 1.2 ESTRUCTURA DEL MAÍZ<sup>2</sup>

La planta de maíz pertenece al grupo de las plantas angiospermas, en donde, la semilla está constituida de la siguiente manera:

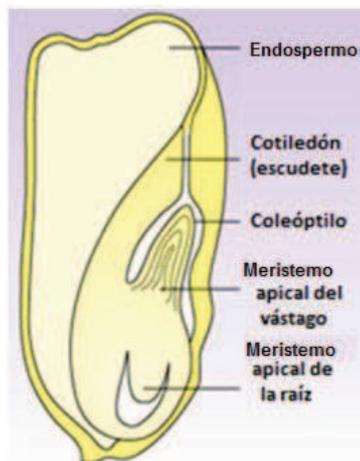
- El embrión.- que se desarrolla a partir de la ovocélula fecundada.
- La reserva de alimento.- que consiste en el endospermo o deriva de éste.
- La cubierta de la semilla.- que se desarrolla de la capa o capas más externas del óvulo.

---

<sup>1</sup> Delac A.; "La Economía del maíz duro en el Ecuador"; [en línea]; <<http://www.buenastareas.com/ensayos/La-Econom%C3%ADa-Del-Ma%C3%ADz-Duro-En/1586157.html>>; [Consulta: 20 de enero de 2012].

<sup>2</sup> "La vida de las plantas"; [en línea]; Monografías Mendel; Perú; Capítulo 35; <<http://monografiasmendel.com/index.php?topic=46>>; [Consulta: 20 de enero de 2012]

En las monocotiledóneas, en donde poseen un único cotiledón, es conocido el maíz como escudete, el cual absorbe las reservas alimenticias del endospermo. El coleóptilo, es una vaina que encierra al meristemo apical del vástago; es la primera que aparece por encima del suelo después de que la semilla germina.



**Figura 1- 1:** Estructura del maíz<sup>2</sup>

Las diferencias entre estructura y composición del maíz, dependen de la forma de cultivo, de las prácticas de manejo, del clima, del suelo y de los métodos de cosecha y post-cosecha.

La dureza endospermica otorga al maíz una resistencia mecánica, ésta propiedad es deseable para poder mantener la integridad del grano durante las operaciones de cosecha y post-cosecha. La dureza se debe a complejas interacciones entre los componentes del endospermo, principalmente las proteínas y el almidón.<sup>3</sup>

### **1.3 COMPOSICIÓN DEL MAÍZ DURO.**

Los granos de maíz son redondos, duros y suaves al tacto. El endospermo está constituido de almidón duro, con solo una pequeña parte de almidón blando en el centro. El maíz duro germina de mejor manera que otros tipos de maíz, particularmente en suelos húmedos. Es de madurez temprana y se seca rápidamente una vez alcanzada la madurez fisiológica. Está menos sujeto a daños de insectos, mohos en el campo y en el almacenamiento.

<sup>3</sup> Robutti J.; "Calidad y usos del maíz"; [en línea]; INTA Pergamino, Buenos Aires – Argentina; <<http://www.biblioteca.org.ar/libros/210719.pdf>>; [Consulta: 20 de enero de 2012]

Algunos maíces duros cultivados para el comercio tienen granos de colores anaranjado-amarillentos o blanco-cremosos, aunque existe una amplia gama de colores, por ejemplo, amarilla, anaranjada, blanca, crema, verde, púrpura, rojo, azul y negro. El endospermo del grano de maíz es la zona más importante para el almacenamiento de carbohidratos y de proteínas.

En los tipos de maíces comunes, el endospermo comprende cerca del 84% del peso seco del grano, el embrión abarca el 10% y el pericarpio y el escutelo componen el restante 6%.

El maíz es usado en más formas distintas que cualquier otro cereal; las formas principales en que se utiliza es como alimento humano, ya sea doméstico o industrial; alimento para animales y fermentado para varios productos industriales.

En la tabla 1-1, se detalla la composición nutricional para granos del maíz duro:

**Tabla 1- 1:** Composición nutricional para granos de maíz.<sup>4</sup>

<b>Composición del maíz por cada 100 gr.</b>		
	<b>Seco</b>	<b>Fresco</b>
<b>Agua</b>	10,3 gr.	75,9 gr.
<b>Calorías</b>	365 Kcal	86 Kcal
<b>Grasa</b>	4,7 gr.	1,18 gr.
<b>Proteína</b>	9,4 gr.	3,22 gr.
<b>Hidratos de carbono</b>	74,2 gr.	19,02 gr.
<b>Fibra</b>	1 gr.	2,7 gr.
<b>Potasio</b>	287 mg	270 mg
<b>Fósforo</b>	210 mg	89 mg
<b>Hierro</b>	2,7 mg	0,52 mg
<b>Sodio</b>	35 mg	15 mg
<b>Manganeso</b>	0,48 mg	0,16 mg
<b>Magnesio</b>	127 mg	37 mg
<b>Calcio</b>	7 mg	2 mg
<b>Cinc</b>	2,21 mg	0,45 mg
<b>Selenio</b>	15,5 mcg	0,6 mcg
<b>Vitamina C</b>	0	6,8 mg
<b>Vitamina A</b>	469 UI	281 UI
<b>Vitamina B1 (Tiamina)</b>	0,38 mg	0,20 mg
<b>Vitamina B2 (Riboflavina)</b>	0,20 mg	0,06 mg
<b>Vitamina E</b>	0,78 mg	0,090 mg
<b>Niacina</b>	3,62 mg	1,7 mg

<sup>4</sup> “El maíz como alimento”; [en línea]; Bonatical; <<http://www.botanical-online.com/maizpropiedades.htm>>; [Consulta: 20 de enero de 2012].

### 1.3.1 DENSIDAD DE LOS GRANOS DE MAÍZ

La densidad del maíz - peso por volumen unitario- tiene mucha importancia tanto para el almacenamiento como para la comercialización. El contenido de humedad y la densidad en análisis están relacionados mutuamente; cuanto más elevado sea el nivel de humedad, menor será la densidad específica.

Tabla 1- 2: Densidad de los granos de maíz.<sup>5</sup>

ESPECIE	DENSIDAD $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
Maíz desgranado	715
Maíz en mazorca	450

## 1.4 CARACTERÍSTICAS DE LA REGIÓN AMAZÓNICA DEL ECUADOR

En el Ecuador, la Región Amazónica es una de las cuatro regiones naturales del país. Comprende las Provincias de Orellana, Pastaza, Napo, Sucumbíos, Morona Santiago, Zamora Chinchipe. Se extiende sobre un área de 120.000 km<sup>2</sup> de exuberante vegetación, propia de los bosques húmedo-tropicales.<sup>6</sup>

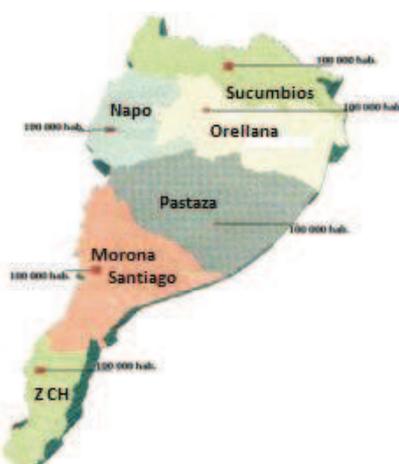


Figura 1- 2: Mapa de la región amazónica del Ecuador<sup>7</sup>

<sup>5</sup> Econ. Arévalo F.; MAGAP - SIGAGRO; Enero 2011; [Consulta: 20 de enero de 2012]

<sup>6</sup> Fernando J; "Etnias de la Amazonia"; [en línea]; <<http://www.buenastareas.com/ensayos/%C3%89tinias-De-La-Amazonia/1833411.html>>; [Consulta: 20 de enero de 2012].

<sup>7</sup> "Región Amazónica"; [en línea]; Instituto Geográfico Militar; <<http://www.efemerides.ec/1/mayo/oriental.htm>>; [Consulta: 20 de enero de 2012]

## 1.5 CONDICIONES AMBIENTALES

### 1.5.1 PRECIPITACIÓN

Los valores de las precipitaciones registradas en la región amazónica mediante promedios mensuales, son irregulares en su distribución espacial, por lo tanto se registran porcentajes de variación positivas y negativas de las precipitaciones en las diferentes provincias en donde se encuentran las estaciones del INAMHI, las mismas que son: Lago Agrio, Pastaza, Macas, Nuevo Rocafuerte, Tena, y Puyo; para lo cual sus valores se encuentran detallados en la tabla 1-3.

**Tabla 1- 3:** Porcentajes de Precipitaciones en las estaciones del INAMHI en la Región Amazónica

PORCENTAJE DE PRECIPITACIONES [%]						
ESTACIÓN	Meses					
	jul-12 <sup>8</sup>	ago-12 <sup>9</sup>	sep-12 <sup>10</sup>	oct-12 <sup>11</sup>	nov-12 <sup>12</sup>	dic-12 <sup>13</sup>
Lago Agrio	5	-59	-19	-11	-26	-26
El Coca	--	-17	-28	2	-8	27
Nuevo Rocafuerte	38	-27	21	-16	-50	-54
Pastaza	-28	-34	-13	0	-24	-59
Puyo	28	-2	-64	3	7	22
Macas	4	-20	-41	-37	-8	-47

<sup>8</sup> “Estudios e investigaciones meteorológicas – Estadística climatológica”; [en línea]; Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI); Quito – Ecuador; <[http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bmensual/julio/bol\\_jul\\_2012.pdf](http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bmensual/julio/bol_jul_2012.pdf)>; [Consulta: 04 de enero de 2013].

<sup>9</sup> “Estudios e investigaciones meteorológicas – Estadística climatológica”; [en línea]; Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI); Quito – Ecuador; <[http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bmensual/agosto/bol\\_ago\\_2012.pdf](http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bmensual/agosto/bol_ago_2012.pdf)>; [Consulta: 04 de enero de 2013].

<sup>10</sup> “Estudios e investigaciones meteorológicas – Estadística climatológica”; [en línea]; Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI); Quito – Ecuador; <[http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bmensual/septiembre/bol\\_sept\\_2012.pdf](http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bmensual/septiembre/bol_sept_2012.pdf)>; [Consulta: 04 de enero de 2013].

<sup>11</sup> “Estudios e investigaciones meteorológicas – Estadística climatológica”; [en línea]; Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI); Quito – Ecuador; <[http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bmensual/octubre/bol\\_oct\\_2012.pdf](http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bmensual/octubre/bol_oct_2012.pdf)>; [Consulta: 04 de enero de 2013].

<sup>12</sup> “Estudios e investigaciones meteorológicas – Estadística climatológica”; [en línea]; Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI); Quito – Ecuador; <[http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bmensual/noviembre/bol\\_nov\\_2012.pdf](http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bmensual/noviembre/bol_nov_2012.pdf)>; [Consulta: 04 de enero de 2013].

<sup>13</sup> “Estudios e investigaciones meteorológicas – Estadística climatológica”; [en línea]; Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI); Quito – Ecuador; <[http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bdecadal/diciembre/decada1/bol\\_dic\\_dec1.pdf](http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bdecadal/diciembre/decada1/bol_dic_dec1.pdf)>; [Consulta: 04 de enero de 2013].

### 1.5.2 TEMPERATURA

El clima del bosque tropical siempre es caliente y húmedo; con temperaturas que promedian los 27.9°C durante la temporada seca y 25.8°C durante la temporada lluviosa<sup>14</sup>.

De acuerdo a datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), se realizó un promedio de los meses de julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre del 2012, expuestos en el ANEXO 1 pp. 253 - 258, para obtener los valores de temperaturas máximas y mínimas de la Región Amazónica, tomando en cuenta las ciudades en las cuales el INAMHI posee estaciones de trabajo, las mismas que son: Lago Agrio, El Coca, Nuevo Rocafuerte, Pastaza, Puyo y Macas.

**Tabla 1- 4:** Temperaturas máximas y mínimas de la Región Amazónica

TEMPERATURA MÁXIMA	TEMPERATURA MÍNIMA
34,4 °C	15,1 °C

### 1.6 SITUACIÓN DEL MAÍZ DURO EN EL ECUADOR.<sup>14</sup>

Según el Plan de Mejora Competitiva de la Cadena de Balanceados, la baja productividad del agro ecuatoriano es un grave problema para la cadena de balanceados, por lo tanto, el rendimiento de maíz duro amarillo en el Ecuador, mediante un promedio realizado entre los años 2007 y 2011 es de 3,19 T/ha; ésta es una cifra muy baja, comparada con los valores de 10 T/ha en EE.UU. y las 5,6 T/ha en Argentina, mostradas en las estadísticas de la FAO, en el 2009.

<sup>14</sup> Tiempo y clima"; [en línea]; Reserva Ecológica Kapawi; <<http://www.kapawi.com/es/el-bosque-humedo-tropical/tiempo-y-clima.html>>; [Consulta: 20 de enero de 2012].

**Tabla 1- 5:** Producción del Maíz Amarillo Duro en el Ecuador<sup>15</sup>

<b>MAÍZ AMARILLO</b>			
<b>Años</b>	<b>Superficie cosechada</b>	<b>Producción de grano seco y limpio</b>	<b>Rendimiento</b>
	Hectáreas	Toneladas	T/ha
2007	250340	605293	2,42
2008	250095	787129	3,15
2009	259585	765320	2,95
2010	261280	723839	2,77
2011	228000	727322	3,19

En total son 60 000 toneladas de maíz importado y 20 000 de maíz nacional, que representa alrededor del 25% del cupo establecido para la cosecha de verano, pues el resto lo podrán adquirir los socios en forma libre a cualquier proveedor nacional.<sup>16</sup>

### **1.6.1 TIPOS DE MAÍZ EN LA REGIÓN AMAZÓNICA**

Los maíces duros son los más comunes en las zonas tropicales de América, y en Ecuador se cultivan en los valles tropicales y subtropicales de la Costa y Amazonía.

Un tipo de maíz duro que existe en la Zona Amazónica es la denominada Tusilla, de mazorca delgada y flexible, que gusta de tierra húmeda, sin embargo su ciclo vegetativo es muy largo, grano pequeño, bajo rendimiento, tamaño de planta muy alto entre otras.

<sup>15</sup> "Rendimiento de maíz, el talón de Aquiles de la cadena"; [en línea]; Asociación Ecuatoriana de Fabricantes de Alimentos Balanceados AFABA; 2da. Quincena de julio 2011; <[http://www.afaba.org/site/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=61&Itemid=37](http://www.afaba.org/site/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=61&Itemid=37)>; [Consulta: 20 de enero de 2012]

<sup>16</sup> "AFABA asignó los cupos para 80 000 toneladas de maíz"; [en línea]; Asociación Ecuatoriana de Fabricantes de Alimentos Balanceados AFABA; 2da. Quincena de septiembre 2011; <[http://www.afaba.org/site/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=61&Itemid=37](http://www.afaba.org/site/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=61&Itemid=37)>; [Consulta: 20 de enero de 2012]



**Figura 1- 3:** Maíz duro tipo Tusilla<sup>17</sup>

Otras variedades mejoradas que se dan en la región Amazónica son más bajas, tolerantes a enfermedades y de altos rendimientos, entre las variedades adaptadas a la zona podemos citar las siguientes: Brasilia, INIAP H-551, cuyas principales características presentamos a continuación:

**Tabla 1- 6:** Otras variedades de maíces en la Amazonía<sup>18</sup>

BRASILIA	INIAP 551
Ciclo del cultivo (días): 115	Ciclo del cultivo (días): 120
Rendimiento qq/ha: 70	Rendimiento qq/ha: 60
Altura de la planta: 2,4 m.	Altura de la planta: 2,30
Cobertura de la mazorca: completa	Cobertura de la mazorca: completa

### 1.6.2 PRODUCCIÓN DE MAÍZ DURO EN LA REGIÓN AMAZÓNICA

Partiendo de datos reales obtenidos por el Ministerio de Agricultura, Ganadería Acuacultura y Pesca (MAGAP), el cual mediante estadísticas a partir del año 2000 hasta el 2010, se puede observar que de la producción de grano seco y limpio en la Región Amazónica aporta en un menor porcentaje que otras regiones del Ecuador, tales datos se encuentran globalizados y detallados en la tabla A-1 del ANEXO 2 pp. 260.

De acuerdo con la finalidad del proyecto, en la tabla 1-7 pp. 9, se analiza la producción de maíz duro seco y limpio en las diferentes provincias del Oriente, basados en los datos del ANEXO 2 pp. 260. Se considera que la cosecha se

<sup>17</sup> "Nuevo tipo de maíz para el trópico húmedo"; [en línea]; La Noticia al Instante; <<http://www.lanoticialinstante.com/index.php?sec=not&idnot=7697>>; [Consulta: 20 de enero de 2012].

<sup>18</sup> "Guía del cultivo de maíz"; [en línea]; Corporación Ecuatoriana de Cafetaleros y Cafetaleros (CORECAF); Variedades; <[http://www.corecaf.org/archivos/file33\\_Cartilla\\_Maiz.pdf](http://www.corecaf.org/archivos/file33_Cartilla_Maiz.pdf)>; [Consulta: 09 de noviembre de 2011].

realiza manualmente, cuando el grano tiene un 20% de humedad, luego de lo cual se somete al secado hasta bajar a un 12% y obtener un buen secado del maíz.<sup>19</sup>

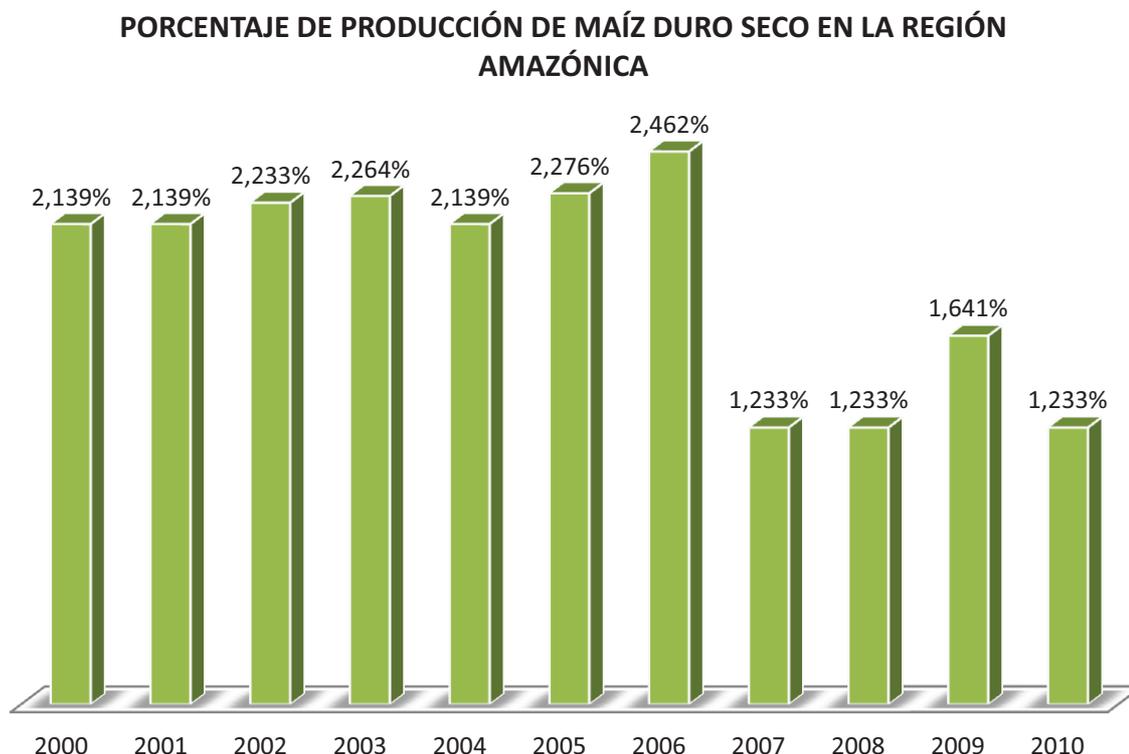
Tabla 1- 7: Producción de maíz duro seco en la Región Amazónica

<b>MAÍZ DURO SECO: PRODUCCIÓN EN LA REGIÓN AMAZÓNICA</b>											
<b>SERIE HISTÓRICA 2000-2010</b>											
<b>PROVINCIA</b>	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
	<b>Producción en grano seco y limpio (Tn).</b>										
<b>TOTAL NACIONAL</b>	422548	490000	404250	485345	387750	671786	591585	605293	787129	765320	723839
Morona Santiago	1772	1996	1318	2187	1580	2545	2520	1218	1583	819	1456
Napo	1183	1348	1356	1358	1067	2145	1996	1059	1377	2377	1266
Orellana	2492	2890	2907	2933	2287	4598	4280	2270	2951	5097	2714
Pastaza	143	165	109	181	131	211	209	101	131	68	121
Sucumbios	1610	1867	1878	1895	1477	2970	2765	1466	1906	3293	1753
Zamora Chinchipe	1908	2212	1460	2424	1751	2820	2793	1349	1755	908	1613
<b>PRODUCCIÓN ANUAL (REGIÓN AMAZÓNICA)</b>	9037	10479	9028	10988	8292	15288	14563	7462	9703	12562	8923
<b>PORCENTAJE DE PRODUCCIÓN DE LA REGIÓN AMAZÓNICA A NIVEL NACIONAL</b>	2,139	2,139	2,233	2,264	2,133	2,276	2,462	1,233	1,233	1,641	1,233

<sup>19</sup> "Guía del cultivo de maíz"; [en línea]; Corporación Ecuatoriana de Cafetaleras y Cafetaleros (CORECAF); Cosecha y Post- cosecha; <[http://www.corecaf.org/archivos/file33\\_Cartilla\\_Maiz.pdf](http://www.corecaf.org/archivos/file33_Cartilla_Maiz.pdf)>; [Consulta: 20 de enero de 2012].

Las tablas expuestas en la tabla A-1 del ANEXO 2 pp. 260, globalizan la producción de maíz duro seco para todas las provincias del Ecuador, pero dado que el proyecto se basa solo para las provincias del Oriente, se tomó en consideración todos los valores anuales para cada una de las seis provincias, consecuentemente se realizó un análisis global por año de la Región, y comparando con los valores a nivel nacional, se puede comprender, que la producción de maíz duro seco en la zona del Oriente es baja (Gráfico 1-1), debido a que en ella circulan factores de variación de temperatura en el clima y cantidad de humedad en el suelo, lo cual hace que los índices de producción sean bajos y no alcance a los altos estándares que presentan tanto las provincias de la costa como las de la sierra.

Los valores presentados en la tabla A-1 del ANEXO 2 pp. 260, se encuentra en función del último censo agrícola realizado hasta el año 2010, manteniendo una tendencia en los valores para los presentes años



**Gráfico 1- 1:** Porcentaje de producción de maíz duro seco en la Región Amazónica

### **1.6.3 PRECIO DEL MAÍZ DURO EN EL ECUADOR<sup>20</sup>**

En el año 2011 a nivel nacional, se impuso un precio sobrevalorado alrededor de 3 a 5 dólares por quintal de maíz duro amarillo, el nuevo precio del maíz es USD 3,25 más que el del año 2010, sin embargo fue aceptado por la industria de balanceados considerando la difícil situación que atraviesa el agro ecuatoriano.

Los industriales y varios gremios, firmaron un convenio para ajustar en 15,25 dólares el quintal de maíz amarillo con 13% de humedad y 1% de impurezas, sin embargo el Consejo Consultivo del Maíz no ratificó, dando como resultado, según la Secretaría de Agricultura un precio de USD 16,50.

Otros gremios, lo cuales buscan sobresalir al mercado nacional, pretenden que el quintal tenga un valor entre 17 y 18 dólares, sin visualizar el perjuicio que se ocasionaría a la canasta familiar, pues el costo de los huevos y la carne sufriría una importante inflación.

#### **1.6.3.1 Precio del maíz duro en la Región Amazónica**

Dado a que no se puede precisar un valor constante para el precio de la producción del maíz duro, debido a los diversos factores dados en toda la región amazónica. Se trabaja con datos otorgados por el MAGAP (tabla A-2 del ANEXO 3 pp. 262), el cual ha evaluado al producto a nivel nacional, directamente con valores obtenidos de los productores en las diferentes zonas desde el año 2000 hasta el 2009.

Los valores tabulados en la tabla 1-8 pp. 12, son únicamente datos de las Provincias que conforman la Región Amazónica, en la cual, se detalla los valores de costos de maíz duro de acuerdo a los años en los cuales ha existido producción, en este caso, únicamente se tiene que las ferias de venta del producto se han desarrollado para los años 2007 y 2008, de acuerdo al último censo agrícola nacional, en donde el costo del maíz en USD hasta la presente fecha, está en un rango de 0,20 a 0,30 centavos por kilogramo.

---

<sup>20</sup> "USD 16,50, el nuevo precio del maíz duro"; [en línea]; Asociación Ecuatoriana de Fabricantes de Alimentos Balanceados AFABA; Boletín mayo 2011; <[http://www.afaba.org/site/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=61&Itemid=37](http://www.afaba.org/site/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=61&Itemid=37)>; [Consulta: 20 de enero de 2012].

Tabla 1- 8: Precio del maíz duro seco en  $\left[\frac{\text{cent}}{\text{kg}}\right]$  de la Región Amazónica<sup>5</sup>

PRECIO DEL MAÍZ DURO SECO EN $\left[\frac{\text{cent}}{\text{kg}}\right]$ DE LA REGIÓN AMAZÓNICA														
AÑO	FERIAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
2007	Morona Santiago							0,19	0,20	0,20				0,20
	Napo								0,20	0,20				0,20
	Pastaza									0,19	0,20			0,20
	Zamora Chinchiipe				0,23	0,21								0,22
	Sucumbíos							0,19	0,21	0,21		0,24		0,21
<b>PROMEDIO DEL COSTO DEL MAÍZ DURO POR REGIÓN (2007)</b>													<b>0,21</b>	
2008	Napo					0,25				0,27	0,27			0,26
	Pastaza	0,24	0,25	0,27	0,26	0,26		0,26	0,25	0,28	0,28	0,28		0,26
	Zamora Chinchiipe	0,27	0,27	0,29	0,28	0,27							0,29	0,28
	Sucumbíos								0,27	0,25	0,24	0,24	0,24	0,25
	<b>PROMEDIO DEL COSTO DEL MAÍZ DURO POR REGIÓN (2008)</b>													<b>0,26</b>

## **CAPÍTULO 2**

### **PARÁMETROS FUNCIONALES DEL DISEÑO**

Ha sido tradición de los pequeños agricultores la utilización de métodos naturales para el secado de los granos. Sin embargo, esto no garantiza la calidad del producto y como consecuencia su precio en el mercado disminuye. Las máquinas secadoras de granos han reducido el tiempo de secado conservando las propiedades nutritivas durante el almacenamiento y la tecnología ha evolucionado en función de las cantidades de producción, de las zonas climáticas y de las exigencias de calidad de los granos.

#### **2.1 SECADO DE GRANOS**

El secado es una operación unitaria en la cual ocurre una reducción del contenido de humedad de cierto producto, hasta un nivel que se considera seguro para su almacenamiento. Así el secado de granos se puede definir como un proceso en el que hay un intercambio simultáneo de calor y producto (masa), entre el aire caliente y los granos

La remoción de la humedad de un producto es conocida como secado o deshidratación. Aunque estos términos se usan indistintamente, el secado se refiere a la remoción de humedad hasta alcanzar un contenido de humedad en equilibrio con el aire atmosférico normal, es decir, se le extrae parcialmente la humedad a niveles óptimos de conservación. En tanto, en la deshidratación se busca eliminar la mayor cantidad de humedad posible.

#### **2.2 MÉTODOS DE SECADO**

Para definir el secado se lo puede realizar de distintas maneras, todo depende del enfoque que se desea adoptar. Para estudios teóricos se pone mayor énfasis en los mecanismos de transferencia de energía y de materia. En general se realiza una clasificación en función del movimiento del aire.

### 2.2.1 SECADO SOLAR O NATURAL

Se entiende por secado natural aquel en el cual el movimiento del aire se realiza por acción de los vientos y en donde la evaporación de la humedad se deriva del potencial de secado del aire y de la influencia directa de la energía solar<sup>21</sup>.

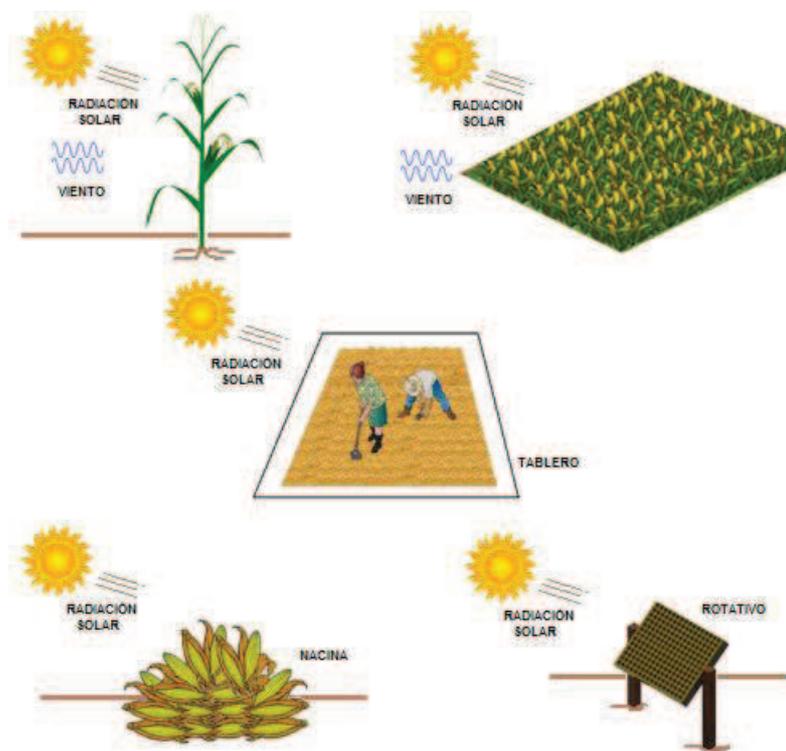


Figura 2- 1: Tipos de secado natural<sup>22</sup>

### 2.2.2 SECADO ARTIFICIAL

En función al creciente aumento de la producción agrícola, se hace necesario reducir el tiempo de secado, aumentando la cantidad a secar, independientemente de las condiciones ambientales del lugar. Como su nombre lo indica, las propiedades físicas del aire son modificadas por medio de un ventilador, que lo fuerza a pasar por la masa de granos, los mismos que se encuentran en una cámara contenedora y un quemador que permite aumentar la temperatura del aire de secado.

<sup>21</sup> Dalpasquale, De Queiroz, Marques, Sinicio ; "Secado de granos: natural, solar y a bajas temperaturas"; [en línea]; <<http://www.fao.org/docrep/x5058s/x5058S03.htm>>; [Consulta: 25 de enero de 2012]

<sup>22</sup> Botta G.; "Manejo postcosecha"; [en línea]; <[http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=higroscopicidad%20en%20granos&source=web&cd=4&ved=0CE0QFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.agro.unlpam.edu.ar%2Fcatredras-ppt%2FManejo%2520Postcosecha.ppt&ei=M\\_3hT\\_agN4yC8QsrkJCGCA&usg=AFQjCNGb6-tBhLqFe9Co\\_FuKkj36X35MOW&cad=rja](http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=higroscopicidad%20en%20granos&source=web&cd=4&ved=0CE0QFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.agro.unlpam.edu.ar%2Fcatredras-ppt%2FManejo%2520Postcosecha.ppt&ei=M_3hT_agN4yC8QsrkJCGCA&usg=AFQjCNGb6-tBhLqFe9Co_FuKkj36X35MOW&cad=rja)>; [Consulta: 25 de enero de 2012]

## **2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS SECADORES VERTICALES PARA GRANOS (TIPO TORRE)**

Las máquinas secadoras se clasifican de acuerdo al proceso empleado.

- En máquinas de procesos en lotes, en donde el material se introduce en el equipo y el proceso termina cuando el grano se encuentra completamente seco.
- En máquinas de procesos continuos, en donde el material se añade sin interrupción al equipo de secado y se obtiene el grano seco con un régimen continuo<sup>23</sup>.

Una secadora vertical contiene una serie de bandejas, dispuestas unas encima de otras, sobre un eje central rotatorio. El grano a secar se introduce sobre la bandeja superior y se expone a una corriente de aire o gas caliente que pasa sobre la bandeja.

Después, el grano es descargado por medio de una compuerta y pasa inmediatamente a la bandeja inferior. De esta forma, el grano circula a través de la secadora, descargándose por el fondo de la torre.<sup>24</sup>

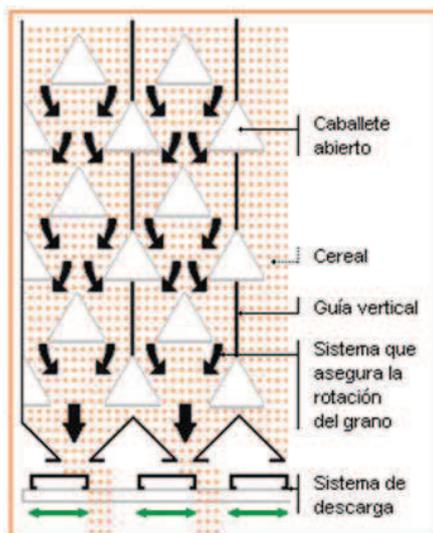
### **2.3.1 DE FLUJO MIXTO (CABALLETES)**

Este tipo de secadores realizan un secado más homogéneo del grano, en donde el aire fluye en tres formas distintas dentro de la masa de los granos, los acompaña, los atraviesa y va en contra, evitando en gran medida los problemas que poseen las secadoras de columnas (figura 2-2 pp.16).

---

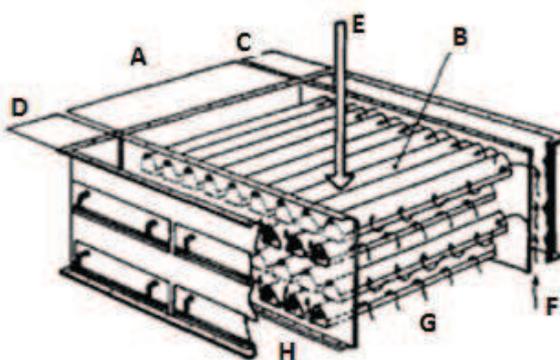
<sup>23</sup> Acaro, Castillo, Cueva, Jaramillo; "Secadora de granos mixta solar-gas: Generalidades sobre las secadoras de granos"; [en línea]; Loja – Ecuador; 2010; <<http://es.scribd.com/doc/35793661/generalidades-sobre-las-secadoras-de-granos>>; [Consulta: 25 de enero de 2012]

<sup>24</sup> "Secado I.- Definición: La Operación de Secado"; [en línea]; <<http://www.scribd.com/doc/27036363/SECADO-I-Definicion-La-Operacion-de-Secado>>; [Consulta: 25 de enero de 2012]



**Figura 2- 2:** Sistema de funcionamiento general de una secadora por caballetes.<sup>25</sup>

Generalmente utilizan menor energía para mover el aire a través de los granos y por lo tanto son más eficientes. Estos equipos han sido diseñados para acondicionar granos con alto porcentaje de humedad aún en una sola operación, utilizando el sistema de secado de todo calor y realizando seca-aireación (figuras 2-3 y 2-4 pp. 17). Permiten mediante una válvula, secar y enfriar los granos en el último tramo de su recorrido, logrando obtener un producto acondicionado para su inmediata comercialización.

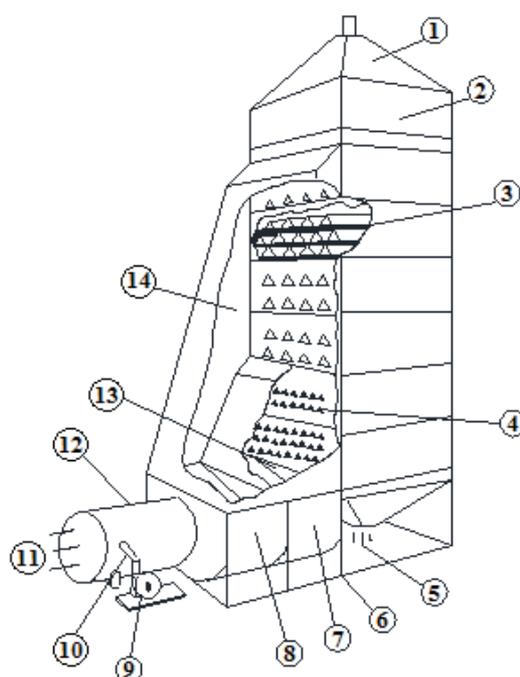


A: cámara de secado; B: caballetes; C: plenum de aire caliente; D: plenum de aire usado; E: dirección del grano; F: ingreso del aire caliente; G: aire caliente mezclándose con el grano; H: salida del aire usado

**Figura 2- 3:** Corte de una cámara de secado de caballetes<sup>26</sup>

<sup>25</sup> Casado C.; "Secadoras por caballete"; [en línea]; CEDAR S.A.; Santa Fe – Argentina; <<http://www.viarural.com.ar/viarural.com.ar/insumosagropecuarios/agricolas/secadoras-de-granos/cedar/secadoras-sce.htm>>; [Consulta: 26 de enero de 2012]

<sup>26</sup> De Dios C.; "Secado de granos y secadoras"; [en línea]; Depósito de documentos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Santiago – Chile; 1996; <<http://es.scribd.com/doc/63424023/22/Secadoras-de-flujo-continuo>>; Consulta: 27 de enero de 2012 []



1. Entrada de granos, 2. Depósito de granos, 3. Cámara de secado de caballetes, 4. Cámara de enfriamiento, 5. Descarga de granos, 6. Bastidor, 7. Plenum de aire frío, 8. Ventilador de aire caliente, 9. Ventilador para el aire de combustión, 10. Conducto de aire para la combustión, 11. Entrada de aire, 12. Cámara de combustión, 13. Plenum de aire frío, 14. Plenum de aire caliente

**Figura 2- 4:** Esquema de una secadora de caballetes<sup>27</sup>

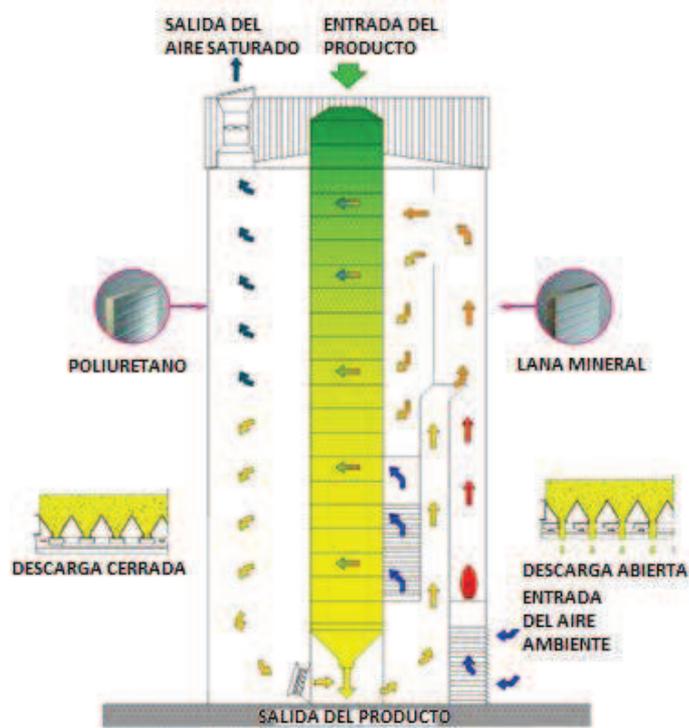
Su óptimo funcionamiento se basa en la utilización de gas oíl o mezclas, o a su vez la utilización de gas natural o gas propano (GLP) leña o cualquier residuo vegetal resultan como alternativa de combustible. Todos ellos pueden ser usados en forma de calor directo o indirecto.<sup>28</sup>

### 2.3.2 DE FLUJO CRUZADO (DE COLUMNAS)

Las columnas son canaletas auto limpiantes que posibilitan la formación de una sola columna de producto. La configuración de las canaletas del secador de columna evita la caída de granos durante la carga, la acumulación de impurezas y reduce los riesgos de incendios. Permite a los usuarios poder secar productos con hasta un 4% de impurezas, proporcionando un secado más homogéneo y con buena eficiencia energética (figura 2-5 pp. 18).

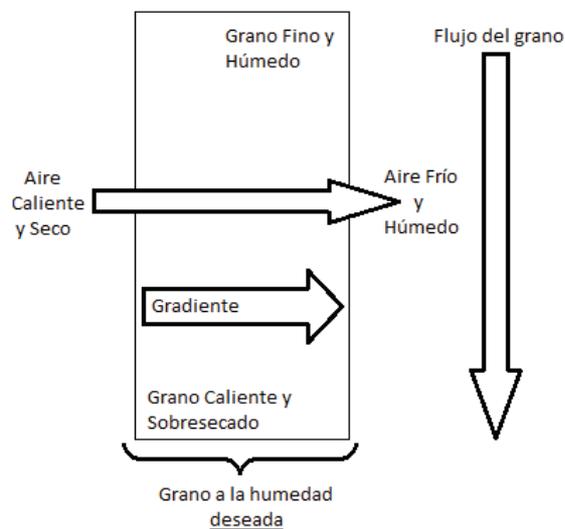
<sup>27</sup> De Dios C.; "Secado de granos y secadoras"; [en línea]; Depósito de documentos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Santiago – Chile; 1996; <[http://www.cd3wd.com/cd3wd\\_40/INPHO/VLIBRARY/X0028S/GIF/X0028S16.GIF](http://www.cd3wd.com/cd3wd_40/INPHO/VLIBRARY/X0028S/GIF/X0028S16.GIF)>; [Consulta: 27 de enero de 2012]

<sup>28</sup> Casado C.; "Secadoras por caballete"; [en línea]; CEDAR S.A.; Santa Fe – Argentina; <<http://www.cedar.com.ar/productos.asp?pid=4>>; [Consulta: 25 de enero de 2012]



**Figura 2- 5:** Esquema de una secadora de columnas<sup>29</sup>

En las secadoras de columnas se produce un importante gradiente de temperatura y humedad del grano a través de la columna (figura 2-6).



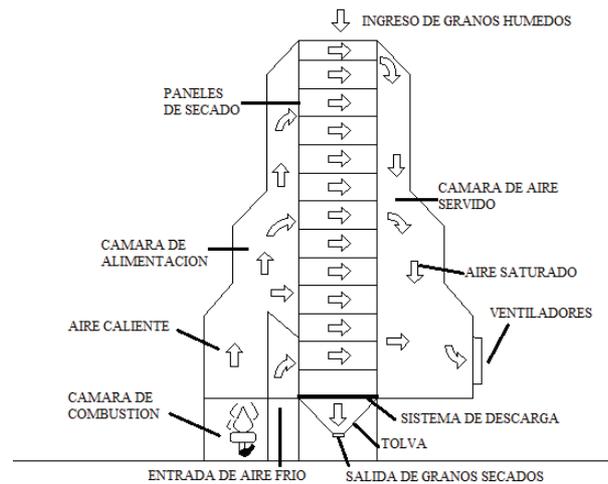
**Figura 2- 6:** Gradiente de temperatura<sup>30</sup>

El distribuidor de alimentación de éste tipo de máquina, se ubica bajo la boquilla de entrada de alimentación en la parte superior de la columna. De igual manera,

<sup>29</sup> "Secador continuo con recuperación de calor"; [en línea]; Zanin F. Ili; Venezia – Italia; <<http://www.zanin-italia.com/es/macchinari/essiccatoi/CR.html>>; [Consulta:10 de enero de 2012]

<sup>30</sup> Rodríguez M., "Secadoras de Granos"; [en línea]; APOSGRAN – INTA-Purdue; 2006; <[http://www.bccba.com.ar/bcc/images/maier/MAIER\\_material04.pdf](http://www.bccba.com.ar/bcc/images/maier/MAIER_material04.pdf)>; [Consulta:12 de enero de 2012]

en la parte del fondo se emplea un distribuidor de gas de barrido, sobre un dispositivo de descarga vibratorio. Los elementos de calentamiento internos, que contienen el líquido de transferencia de calor, (vapor, agua caliente, aceite caliente) se ubican en la sección superior de la columna. Los deflectores verticales se instalan en el recipiente bajo las placas de calentamiento y sobre el distribuidor del gas de barrido (figura 2-7).



**Figura 2- 7:** Partes de una secadora de columnas<sup>31</sup>

Los granos se mueven hacia la parte baja del secador por acción de la gravedad. Cuando los granos pasan por los elementos de calentamiento interno, la transferencia de calor conductivo aumenta la temperatura del producto. Al emplear un mecanismo de transferencia de calor conductivo, la cantidad de gas de depuración se reduce al mínimo y queda determinado no por los requisitos de calentamiento sino por la fuerza motriz parcial del diferencial de presión y por la eficacia del contacto del gas/sólido.<sup>32</sup>

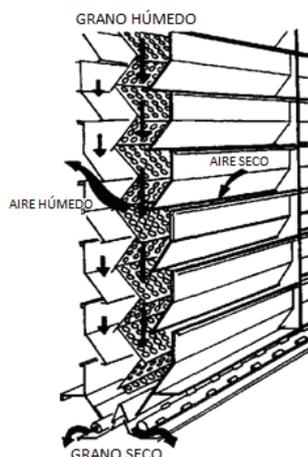
### 2.3.3 DE PERSIANAS

Las secadoras de persianas tienen su cuerpo principalmente formado por tres tabiques verticales, para lo cual, los dos tabiques exteriores son abiertos en las dos caras y el tabique de la parte media contiene una forma de zigzag con

<sup>31</sup> De Dios C.; "Secado de granos y secadoras"; [en línea]; Depósito de documentos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Santiago – Chile; 1996; <<http://www.fao.org/docrep/x5028s/X5028S24.GIF>>; [Consulta: 25 de enero de 2012]

<sup>32</sup> "Secador de Columna"; [en línea]; Grupo Especializado de Asistencia (GEA) Process Engineering S.A. de C.V.; México – México; <[http://www.gea-niro.com.mx/lo-que-suministros/secadores/Barr\\_Rosin/secador-de-columna.htm](http://www.gea-niro.com.mx/lo-que-suministros/secadores/Barr_Rosin/secador-de-columna.htm)>; [Consulta: 10 de enero de 2012]

grandes perforaciones (figura 2-8). Este sistema permite que el grano situado en el costado por donde ingresa el aire caliente descienda más rápidamente que el grano situado en el costado opuesto, con esto se asegura un secado y enfriado más homogéneo y una limpieza total del producto.



**Figura 2- 8:** Esquema de una secadora de columnas<sup>33</sup>

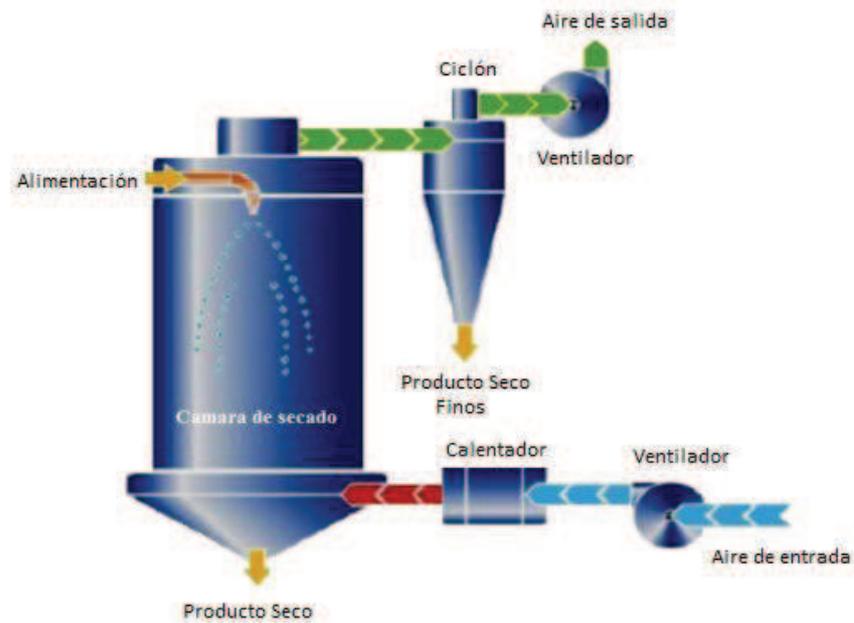
A este tipo de secadores se los conoce también con el nombre de secadores de cascada, ya que, estas máquinas están formadas por uno o dos planos inclinados llamados persianas, a través de las cuales los granos descienden en forma de una cascada continua. Es muy apto para el secado de pequeñas semillas, ya que permite la reducción del caudal de aire para el secado.<sup>34</sup>

#### 2.3.4 SECADORAS DE FLUJO CONTRACORRIENTE

La secadora de flujo contracorriente, corresponde a un sistema relacionado con un silo secador. En este tipo de secadora los granos atraviesan la máquina desde su parte superior hasta la inferior, caso contrario ocurre con la circulación del aire. El sistema de secado que se produce, es muy eficiente energéticamente, ya que, recoge una máxima carga de humedad de aire, el cual sale a través del grano más húmedo (muy saturado). El espesor de la masa influirá en gran cantidad, ya que a mayor espesor incrementa la resistencia al paso del aire, produciendo una disminución de la capacidad de secado (figura 2-9 pp. 21).

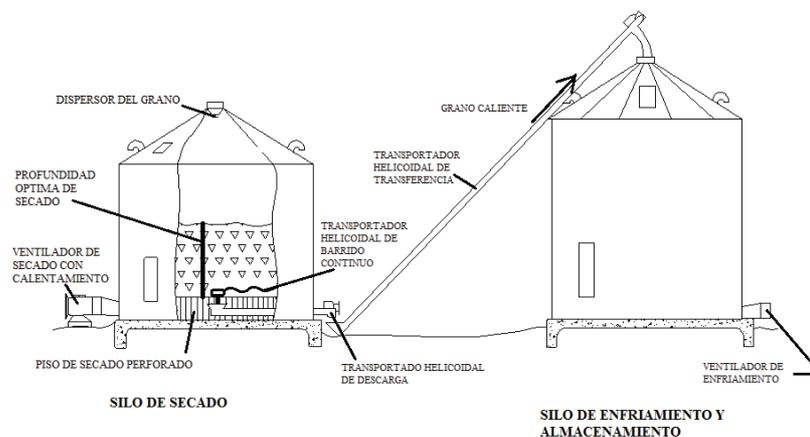
<sup>33</sup> De Dios C.; "Secado de granos y secadoras"; [en línea]; Depósito de documentos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Santiago – Chile; 1996; <<http://www.fao.org/docrep/X5028S/X5028S1A.GIF>>; [Consulta: 11 de enero de 2012]

<sup>34</sup> Acaro, Castillo, Cueva, Jaramillo; "Secadora de granos mixta solar-gas: Generalidades sobre las secadoras de granos"; [en línea]; Loja – Ecuador; 2010; <<http://es.scribd.com/doc/35793661/generalidades-sobre-las-secadoras-de-granos>>; [Consulta: 11 de enero de 2012]



**Figura 2- 9:** Esquema del proceso de secado con flujo contracorriente<sup>35</sup>

A este equipo se le puede aplicar una combinación llamado secado combinado, ya que su funcionamiento se da en caliente, pero para el enfriamiento se considera un silo separado (figura 2-10), por lo que todo el proceso se realizaría en forma continua.<sup>36</sup>



**Figura 2- 10:** Secado combinado<sup>37</sup>

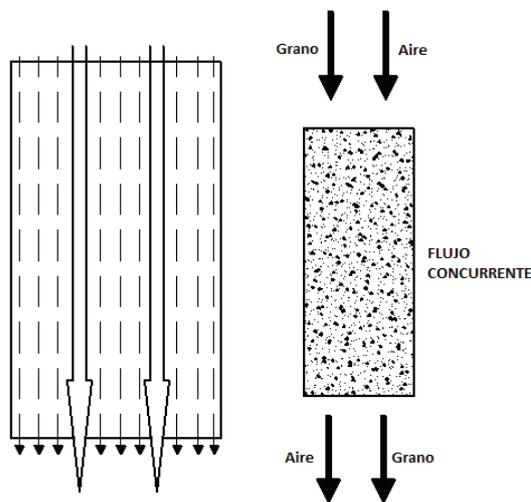
<sup>35</sup> Acaro X., Castillo C., Cueva L.; "Diseño preliminar de una secadora de granos de arquitectura mixta solar – gas licuado de petróleo"; [en línea]; Loja – Ecuador; 2011; <[http://cepra.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/745/1/Secadora-Mixta\\_solar-gas.pdf](http://cepra.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/745/1/Secadora-Mixta_solar-gas.pdf)>; [Consulta: 12 de enero de 2012].

<sup>36</sup> De Dios C.; "Secado de granos y secadoras"; [en línea]; Depósito de documentos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Santiago – Chile; 1996; <<http://www.fao.org/docrep/X5028S/X5028S02.htm#3.%20Secadoras%20de%20flujo%20contracorriente>>; [Consulta: 12 de enero de 2012]

<sup>37</sup> De Dios C.; "Secado de granos y secadoras"; [en línea]; Depósito de documentos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Santiago – Chile; 1996; <<http://www.fao.org/docrep/X5028S/X5028S1B.GIF>>; [Consulta: 12 de enero de 2012]

### 2.3.5 SECADORAS DE FLUJO CONCURRENTE<sup>38</sup>

En estas secadoras el grano fluye en la misma dirección que el aire (figura 2-11).



**Figura 2- 11:** Movimiento del aire y de los granos dentro del secador<sup>38</sup>

Tienen la ventaja que todos los granos reciben el mismo tratamiento. No existen gradientes de humedad ni temperatura. Son muy eficientes y no provocan incremento en la susceptibilidad a la rotura del grano después de secado.

El aire de secado que entra tiene que estar en un promedio entre 230 y 285°C. El grano se calienta en un tiempo de 6 a 15 min y durante este periodo se traslada por la torre. Seguidamente, los granos entran en una sección de acondicionamiento de 45 a 90 min para equilibrar la temperatura dentro de los granos. Como segundo paso, los granos se mueven a una segunda sección de calentamiento, para finalmente pasar a la sección de enfriado antes de que se produzca la descarga del producto. Todos estos pasos minimizan la tensión producida por el calor en los granos, y permite el secado de los más delicados sin la necesidad de maltratarlos, ni fisurarlos.

Los consumos de energía son altos ya que, esta máquina requiere un flujo de aire con alta velocidad, presión y temperatura (figura 2-12 pp.23).

<sup>38</sup> Willians D., Gracey A.; "Mantenimiento y funcionamiento de silos"; [en línea]; Organización de las Naciones para la Agricultura y la Alimentación; Capítulo 3; pp. 88; Roma – Italia; 1996; <[http://books.google.com.ec/books?id=kJ1q-leaxg8C&pg=PA87&lpg=PA87&dq=Secadoras+de+flujo+concurrente&source=bl&ots=BN1\\_kyxpFP&sig=r5b\\_kieLMNtvX9fRAeERhOKpj0M&hl=es&sa=X&ei=rgsPT6aQJYznggemveCDBA&ved=0CF0Q6AEwCA#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.ec/books?id=kJ1q-leaxg8C&pg=PA87&lpg=PA87&dq=Secadoras+de+flujo+concurrente&source=bl&ots=BN1_kyxpFP&sig=r5b_kieLMNtvX9fRAeERhOKpj0M&hl=es&sa=X&ei=rgsPT6aQJYznggemveCDBA&ved=0CF0Q6AEwCA#v=onepage&q&f=false)>; [Consulta: 12 de enero de 2012]

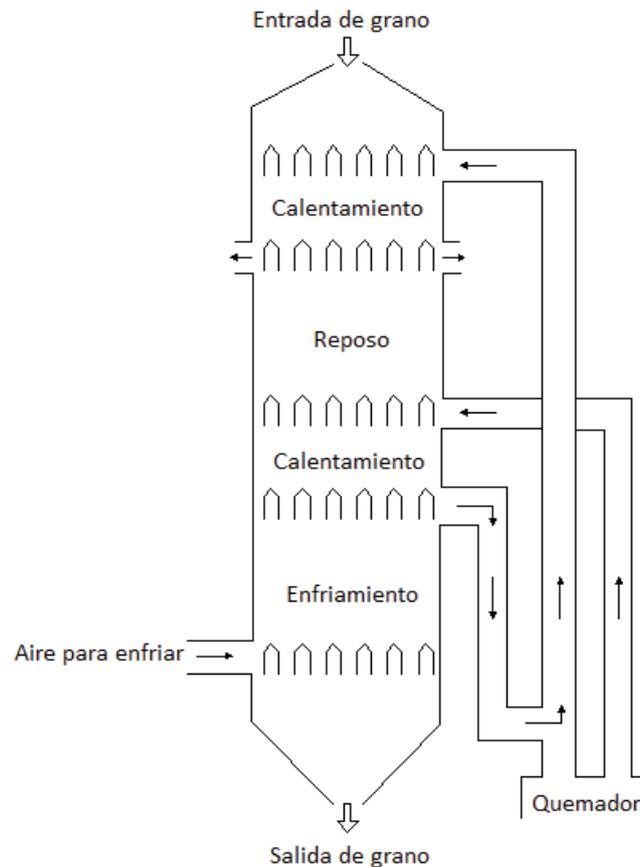


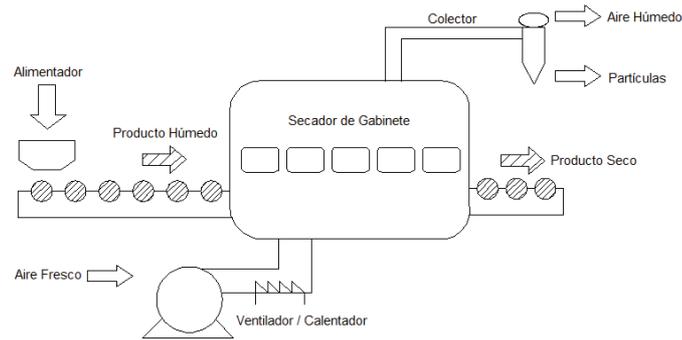
Figura 2- 12: Secador de flujo concurrente<sup>38</sup>

## 2.4 ELEMENTOS PRINCIPALES DE LOS SECADORES VERTICALES<sup>39</sup>

La configuración básica de un secador consiste de un sistema que genere aire caliente; el cual puede estar compuesto de un ventilador y de una serie de hilos de resistencias eléctricas de Nicromo (Níquel-Cromo) para generar calor, también debe contar con un colector y un alimentador.

El arreglo final de estos componentes es característico de cada tipo de secador. La figura 2-13 pp. 24, muestra el esquema básico de un secador.

<sup>39</sup> "Partes de un secador"; [en línea]; Universidad de las Américas Puebla; Capítulo 1; pp. 11 – 13; <[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/meie/carrillo\\_a\\_j/capitulo1.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/meie/carrillo_a_j/capitulo1.pdf)>; [Consulta: 13 de enero de 2012].



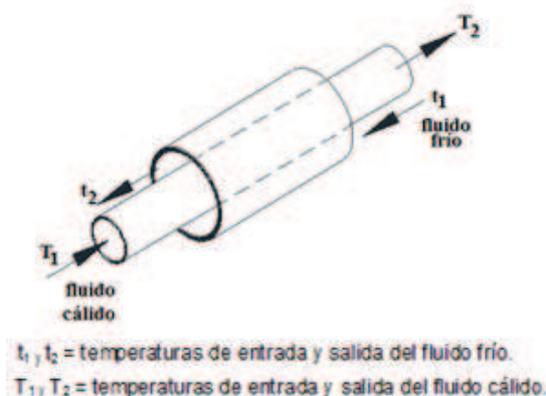
**Figura 2- 13:** Configuración básica de un secador<sup>39</sup>

### 2.4.1 CÁMARA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE<sup>40</sup>

Una cámara de acondicionamiento de aire es aquella que permite realizar varios procesos termodinámicos utilizando variables de proceso tales como la temperatura, humedad del aire por medio de rocío de agua, y enfriamiento con un evaporador de ciclo de refrigeración, para lo cual es alimentado por medio de un ventilador centrífugo.

#### 2.4.1.1 Intercambiador de calor

Un intercambiador de calor es un equipo utilizado para enfriar, calentar o ambas acciones a la vez, a un fluido dependiendo de las características iniciales a las que se encuentre, mediante la circulación de corrientes a distintas temperaturas las cuales fluyen sin mezclarse (figura 2-14). La transferencia de calor se realiza a través de una pared metálica o de un tubo que separa ambos fluidos.



**Figura 2- 14:** Intercambiador de calor<sup>40</sup>

<sup>40</sup> Rodríguez J.; "Introducción a la termodinámica"; [en línea]; Capítulo 18; pp. 663; <<http://www.radiadoresgallardo.cl/topintercambiaodres.pdf>>; [Consulta: 12 de enero de 2012]

#### 2.4.1.2 Fuente de energía<sup>41</sup>

Para que se dé el calentamiento del aire dentro de un secador de granos se tiene como principales fuentes de energía, los siguientes:

- a) Combustibles.- tales como leña, residuos agrícolas y derivados del petróleo
- b) Energía eléctrica.- mediante resistencias eléctricas
- c) Captación de energía solar.

#### 2.4.1.3 Generador de aire

Los secadores de aire cuentan con un sistema que permite la entrada de aire a diferentes velocidades de flujo, por tal razón se utilizan ventiladores o motores para los sistemas de refrigeración además de extractores de aire los mismos que son polarizados de manera inversa para que puedan trabajar como generadores de aire.

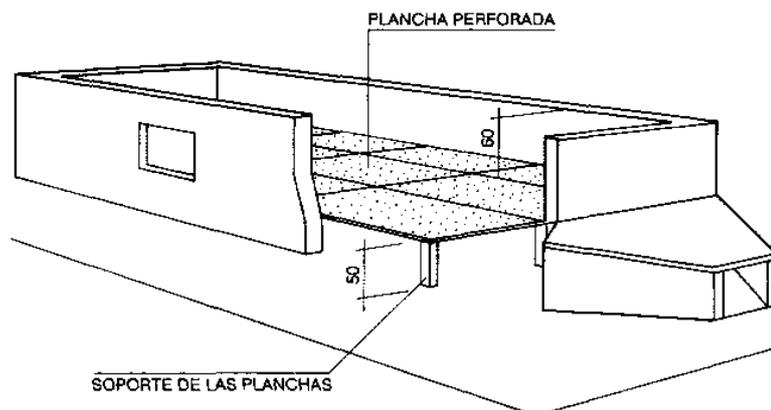
#### 2.4.2 CÁMARA DE SECADO<sup>42</sup>

La cámara de secado se encuentra instalada sobre una construcción cubierta, de manera de que pueda funcionar incluso en condiciones meteorológicas adversas y en la noche. Se debe realizar la construcción para que su uso y manejo ofrezca un alto grado de seguridad tanto para el operador como para la calidad del producto. La temperatura del aire de secado es controlada mediante un sensor de temperatura colocado en la entrada de la cámara de distribución del aire, para evitar que se recaliente. Es recomendable de que el piso de la máquina sea de una plancha metálica perforada, para evitar que haya altos valores de pérdida de carga. Se cuenta con aberturas laterales para la descarga manual o mecánica del producto y un sistema de boquilla para facilitar el ensacado, en caso de ser necesario (figura 2-15 pp. 26).

---

<sup>41</sup> Dalpasquale V., Marques D., Sinicio R., Oliveira D.; "Secado de granos a altas temperaturas"; [en línea]; Depósito de documentos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Santiago – Chile; 1991; <<http://www.fao.org/docrep/x5059S/x5059S0g.gif>>; [Consulta: 17 de enero de 2012]

<sup>42</sup> Acaro X., Castillo C., Cueva L.; "Diseño preliminar de una secadora de granos de arquitectura mixta solar – gas licuado de petróleo"; [en línea]; Loja – Ecuador; 2011; <[http://cepra.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/745/1/Secadora-Mixta\\_solar-gas.pdf](http://cepra.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/745/1/Secadora-Mixta_solar-gas.pdf)>; [Consulta: 13 de enero de 2012]



**Figura 2- 15:** Cámara de secado y cámara de distribución del aire en el secador de lecho fijo.<sup>43</sup>

### 2.4.2.1 Calefactor

Existen dos tipos de calefactores.

#### 2.4.2.1.1 Calefactor directo

Lugar en donde el aire al ser combinado con gases de combustión de escape es calentado.

#### 2.4.2.1.2 Calefactor indirecto

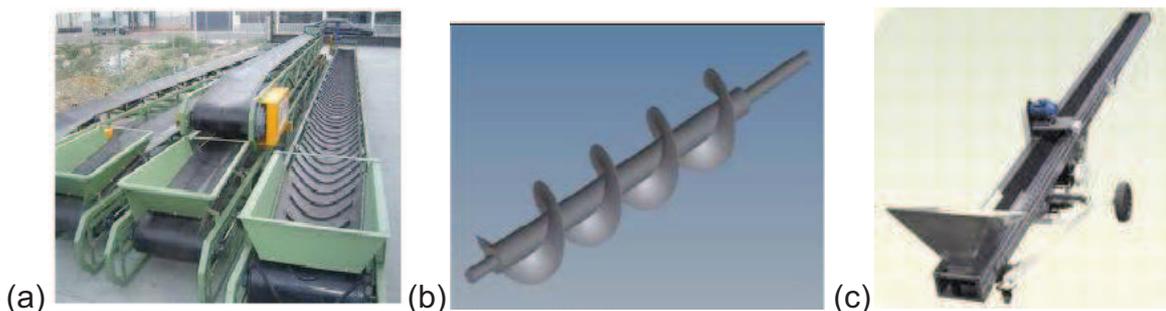
Lugar en donde el aire o su producto son calentados a través de placas de resistencias eléctricas.

### 2.4.3 ALIMENTADOR

Los alimentadores más comunes utilizados en los secadores para sólidos húmedos como para granos de maíz son los transportadores de tornillos, mesas rodantes y bandejas vibratorias como se muestra en la figura 2-16 pp. 27.

En algunos casos se tienen que utilizar alimentadores especiales en secadores de cama ancha para asegurar la expansión uniforme del alimento.

<sup>43</sup> Dalpasquale V., Marques D., Sinicio R., Oliveira D.; "Secado de granos a altas temperaturas"; [en línea]; Depósito de documentos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Santiago – Chile; 1991; <<http://www.fao.org/docrep/x5059S/x5059S0g.gif>>; [Consulta: 13 de enero de 2012]



**Figura 2- 16:** Tipos de alimentadores de granos: a) horizontal, b) tornillo sin fin<sup>44</sup>, c) Transportador de Banda tipo Artesa<sup>45</sup>.

#### 2.4.4 VENTILADOR<sup>46</sup>

El ventilador es un mecanismo que sopla o aspira aire en forma continua, por acción aerodinámica, el mismo que transforma la energía mecánica en cinética y mueve una cantidad de aire a través de un sistema conectado a él, generando presión estática suficiente para vencer las resistencias al movimiento del aire.

##### 2.4.4.1 Ventiladores axiales

En este caso, el escurrimiento del aire es paralelo al eje de rotación, este eje es el mismo del motor de impulsión.

##### 2.4.4.2 Ventiladores centrífugos.

Los ventiladores centrífugos se componen de un rotor que gira al interior de una carcasa en espiral. El aire entra al rotor axialmente y luego el ventilador lo mueve del centro a la periferia por acción de la fuerza centrífuga. Estos ventiladores se ocupan en el secado a bajas temperaturas. El calentamiento del aire por los ventiladores aumenta el potencial de secado del aire. Los ventiladores axiales calientan más el aire porque se aprovecha la energía que libera el motor eléctrico.

<sup>44</sup> Escobar J., Correa A., Gómez H.; "Diseño conceptual de una máquina peletizadora de alimento para aves de corral para una producción de 1 tonelada diaria"; [en línea]; Universidad Nacional de Colombia; 2010; <<http://www.engormix.com/ma-avicultura/manejo/articulos/disenio-conceptual-maquina-peletizadora-t3077/124-p0.htm>>; [Consulta: 03 de abril de 2012]

<sup>45</sup> COMAIZ; [en línea]; México – México; <<http://www.comaiz.mx/maquinaria-agricola/victor/>>; [Consulta: 04 de abril de 2012]

<sup>46</sup> Dalpasquale V., Marques D., Sinicio R., Oliveira D.; "Secado de granos : natural, solar y a bajas temperaturas"; [en línea]; Depósito de documentos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Santiago – Chile; 1991;<<http://www.fao.org/docrep/x5058S/x5058S08.htm#Ventiladores>>; [Consulta: 17 de enero de 2012]

## 2.5 PARÁMETROS DE SECADO DE GRANOS<sup>47</sup>

Cuando se realiza el secado por medio de aire forzado se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros: temperatura y humedad relativa ambiental, el flujo y temperatura del aire de secado, el contenido de humedad inicial y de equilibrio de los granos, la temperatura de los granos dentro del secador y si es el caso la velocidad de los mismos; el tipo de grano a secar y las condiciones en las cuales se ha desarrollado en el 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.

En el interior del secador se deben controlar los siguientes parámetros:

- Temperatura del secado
- Humedad del flujo de aire
- Flujo de aire
- Flujo del producto

### 2.5.1 HIGROSCOPICIDAD

La higroscopicidad es la capacidad de los materiales para absorber la humedad atmosférica. Para cada tipo de sustancia existe una humedad denominada de equilibrio, es decir, que el material ni capta ni libera humedad al ambiente. Si la humedad ambiente es menor que este valor de equilibrio el material se secará y si la humedad ambiente es mayor se humedecerá.

Los granos son materiales higroscópicos, donde su contenido de humedad varía de acuerdo a las condiciones de temperatura y humedad relativa del aire ambiente donde se encuentran. El grano puede ganar humedad (absorción) o perder humedad (desorción).

---

<sup>47</sup> Dalpascuale V., Marques D., Sinicio R., Oliveira D.; "Secado de granos a altas temperaturas"; [En Línea]; Depósito de documentos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Santiago – Chile; 1991; <[www.fao.org/docrep/x5059S/x5059S02.htm](http://www.fao.org/docrep/x5059S/x5059S02.htm)>; [Consulta: 10 de enero de 2012]

### 2.5.1.1 Humedad de la semilla<sup>48</sup>

La cantidad de agua presente en la semilla a secar, viene relacionada con el contenido de humedad en base seca y el contenido de humedad en base húmeda. Para ello se considera que el grano húmedo está formado por una parte completamente seca y una cierta cantidad de agua (figura 2-17).

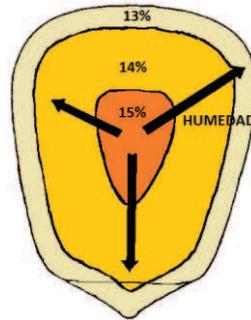


Figura 2- 17: Contenido de humedad en un grano de maíz<sup>49</sup>

#### 2.5.1.1.1 Humedad en base húmeda

Se la define como la cantidad total de agua que posee el grano. Esta medida se la obtiene mediante equipos denominados humidímetros utilizados en el comercio, o se obtiene mediante la relación (2-1):

$$H_{bh} = \frac{m_{h_2o}}{m_{h_2o} + m_{fm}} = \frac{m_{h_2o}}{m_t} \quad (2- 1)$$

Donde:

$H_{bh}$  = Contenido de humedad en base húmeda, [fracción]

$m_{h_2o}$  = Masa de agua contenida en los granos, [kg]

$m_{fm}$  = Masa seca del grano, [kg]

<sup>48</sup> Velásquez J., Monteros A., Tapia C.; "Semillas, Tecnología de producción y conservación"; Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP); Ecuador; [Consulta: 25 de enero de 2012].

<sup>49</sup> De Dios C.; "Secado de granos y secadoras"; Depósito de documentos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Santiago - Chile, 1996, pp. 173; [Consulta: 21 de junio de 2012]

### 2.5.1.1.2 Humedad en base seca

Para el caso de estudios científicos se utiliza esta humedad, que definida como la cantidad de agua que tiene el grano en relación con su cantidad de materia seca, ecuación (2-2).

$$H_{bs} = \frac{m_{h_2O}}{m_{fm}} * 100\% \quad (2-2)$$

Donde:

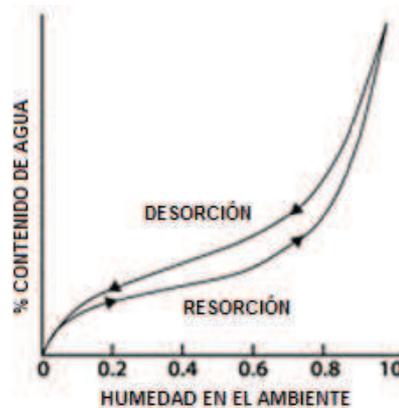
$H_{bs}$  = Humedad del grano en base seca, [fracción]

Se pueden obtener valores mayores a 100%, siempre y cuando la cantidad de agua sea mucho mayor que la cantidad de masa seca.

Si se relacionan las ecuaciones (2-1) pp. 29 y (2-2), se pueden obtener la humedad en base húmeda en función de la humedad en base seca, de la siguiente manera, ecuación (2-3):

$$H_{bh} = \frac{H_{bs}}{H_{bs}+1} \quad (2-3)$$

Dado que la semilla es higroscópica, es decir, absorberá o perderá humedad en función de la humedad relativa (HR) del aire, así se tiene que para cada punto de HR, la semilla tendrá un porcentaje de humedad, lo cual se denomina Equilibrio Higroscópico (EH). Entretanto, la relación entre la HR y la humedad de las semillas no es lineal, ya que se presenta como una curva en forma de S, siendo acentuada en bajas y altas humedades relativas de 30 a 70%. (Figura 2-18)

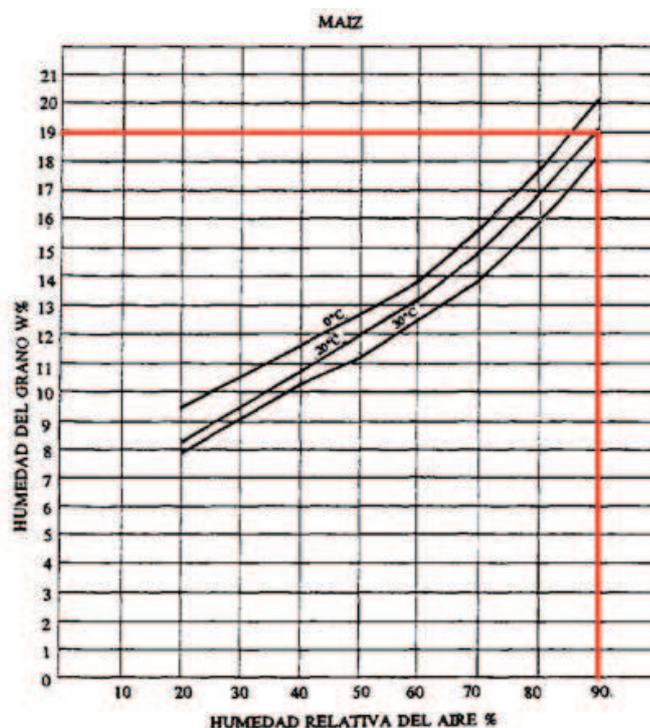


**Figura 2- 18:** Curva del equilibrio higroscópico EH

Como la máquina a diseñar es para la Ciudad de Tena que posee una humedad relativa del 90%, se tiene que la humedad de la semilla que es de 19%. Estos valores se pueden determinar mediante una curva higroscópica de las semillas.<sup>50</sup>

**Tabla 2- 1:** Contenido de Humedad de equilibrio (Equilibrio Higroscópico) de las semillas con diferentes HR a 25[°C]

HR [%] a 25[°C]	CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA SEMILLA DE MAIZ [%]
15	6,0
30	8,5
40	9,8
60	12,5
65	13,0
70	13,5
75	14,8
80	16,5
90	19,0
100	24,2



**Figura 2- 19:** Curva higroscópica de la semilla de maíz<sup>51</sup>

<sup>50</sup> "Cantón Tena"; [en línea]; G.A.D Provincia de Napo;  
 <[http://www.napo.gob.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=24&Itemid=46&lang=es](http://www.napo.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=24&Itemid=46&lang=es)>;  
 [Consulta: 25 de enero de 2012]

<sup>51</sup> De Dios C.; "Secado de granos y secadoras"; [en línea]; Depósito de documentos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Santiago – Chile; 1996,  
 <<http://www.fao.org/docrep/X5028S/X5028S11.GIF>>; [Consulta: 25 de enero de 2012]

Los factores principales que influyen en el EH de las semillas son:

- a) Los constituyentes químicos, debido a que en las semillas oleaginosas el aceite no se mezclan con el agua y entran en EH con contenidos de humedad más bajos.
- b) La temperatura ambiental, cuando más alta es la temperatura ambiental, más baja será la humedad de las semillas. En el proceso de absorción de agua, las semillas entran en EH con contenidos de humedad más bajos que si estuvieran en el proceso de desorción (pérdida de agua) (Peske & villela 2000). Para entender mejor el proceso de secado es necesario conocer algunas propiedades físicas del aire.

#### 2.5.1.2 Merma de secado

En primer lugar se debe establecer una diferencia entre merma y pérdida, ya que en algunas ocasiones se las considera similares, por lo tanto:

- Merma es una porción que se consume naturalmente o se subtrae de alguna cosa que se produce en productos transportados o almacenados. El sentido de merma es una pérdida natural o normal que se establece de común acuerdo
- Pérdida es una carencia de algo, es ocasionada por error, mal uso o por acción delictuosa.

Para el caso del secado de los granos de maíz, la merma es la reducción de una cantidad de agua por acción de la extracción de humedad, mientras si se produce una pérdida sería cuando se seca excesivamente el grano por debajo de una base admitida, problema que se conoce por "sobre secado" que puede ser por un defecto del uso de la secadora.

La cantidad de agua a evaporar es igual a la diferencia entre la masa inicial de maíz y la masa final del maíz (ecuación (2-4)).

$$m_{H_2O} = M_{iM} - M_{fM} \quad (2-4)$$

Donde:

$m_{h_2O}$  = Cantidad de agua a evaporar (masa de agua en los granos), [kg]

$M_{iM}$  = Masa inicial del maíz, [kg]

$M_{fM}$  = Masa final del maíz, [kg]

La masa final se calcula con la siguiente expresión (2-5):

$$M_{fM} = M_{iM} - (M_{iM} * \phi) \quad (2-5)$$

Donde:

$\phi$  = Porcentaje de la cantidad de agua a evaporar (merma), [adimensional]

Por lo tanto se tiene la siguiente expresión (2-6):

$$\phi = \left( \frac{H_{bhi} - H_{bhf}}{100 - H_{bhf}} \right) \quad (2-6)$$

$H_{bhi}$  = Humedad inicial del maíz en base húmeda, [%]

$H_{bhf}$  = Humedad final del maíz en base húmeda, [%]

## 2.5.2 PSICROMETRÍA

Se define psicrometría a la ciencia que estudia las propiedades termodinámicas del aire húmedo y el efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales mediante métodos para controlar las características térmicas del aire húmedo, esto se lleva a cabo a través del uso de tablas psicrométricas o de la carta psicrométrica.<sup>52</sup>

### 2.5.2.1 Condiciones del Aire en el Ambiente

Las condiciones a las cuales se encuentran la temperatura y la humedad relativa del aire en el ambiente no son de mucha importancia para el secado a altas temperaturas, estos parámetros tienen poca influencia sobre la tasa de secado, en cambio determinan la cantidad de energía necesaria para alcanzar la temperatura de secado. Donde, sí la temperatura del ambiente es menor, mayor será la cantidad de energía necesaria para calentar el aire.

<sup>52</sup> Agudelo, J.; "Psicrometría"; [en línea]; Universidad de Antioquia; pp. 3; <<http://es.scribd.com/doc/20252103/Psicrometria>>; [Consulta: 21 de junio de 2012]

### 2.5.2.1.1 Temperatura de Bulbo Seco

La temperatura de bulbo seco corresponde a la temperatura ambiental tal y como se la mide normalmente. Es decir se escoge un lugar sombrío donde se coloca un termómetro de mercurio o alcohol, y por medio de las corrientes de aire se logra conocer la temperatura a la cual se encuentra el medio.

### 2.5.2.1.2 Temperatura de Bulbo Húmedo

Esta temperatura es obtenida mediante un termómetro de mercurio, el cual es cubierto su bulbo por una mecha de algodón saturada con agua y la presencia de flujo de aire sobre la misma. Donde la evaporación del agua produce un descenso de la temperatura respecto a la temperatura de bulbo seco.

### 2.5.2.1.3 Humedad Absoluta<sup>53</sup>

La cantidad de vapor de agua presente en el aire puede determinarse de varias maneras, la más lógica de ellas podría ser precisar directamente de la masa de vapor de agua presente en una unidad de masa de aire seco, a la que se le denomina humedad absoluta o específica (conocida también como *relación de humedad*) representada por medio de  $\omega$ :

$$\omega = \frac{m_v}{m_{as}} \quad (2-7)$$

$$\omega = 0.622 \frac{P_v}{P_a} = 0.622 \frac{P_v}{P - P_v} \quad (2-8)$$

Donde:

$$\omega = \text{Humedad absoluta, } \left[ \frac{\text{kg agua}}{\text{kg aire seco}} \right]$$

$$m_v = \text{Masa de vapor, [kg]}$$

$$m_{as} = \text{Masa de aire seco, [kg]}$$

$$P_v = \text{Presión de vapor, [kPa]}$$

$$P_a = \text{Presión de aire seco, [kPa]}$$

<sup>53</sup> Cengel Y., Boles M.; "Termodinámica"; Quinta edición; Mc Graw Hill; México – México; 2002; pp. 733 – 739; [Consulta: 18 de enero de 2012]

$P$  = Presión del ambiente, [kPa]

#### 2.5.2.1.4 Humedad Relativa

Se define como la cantidad de humedad que el aire contiene ( $m_v$ ) con respecto a la cantidad máxima de humedad que el aire puede llegar a contener a una misma temperatura.

La humedad relativa varía de 0 a 1 para el aire saturado, por lo que el valor de humedad relativa es expresado en porcentaje, dando así una idea de la cantidad de vapor de agua que contiene una mezcla aire-vapor de agua.

La cantidad de humedad que el aire puede contener depende de su temperatura. Por lo tanto, la humedad relativa del aire cambia con la temperatura aunque su humedad específica permanezca constante.

$$\varphi = \frac{m_v}{m_g} = \frac{P_v}{P_g} \quad (2-9)$$

$$P_g = P_{sat@T} \quad (2-10)$$

Donde:

$\varphi$  = Humedad relativa, [adimensional]

$P_g$  = Presión de saturación, [kPa]

#### 2.5.2.2 Carta Psicométrica<sup>54</sup>

Una carta psicrométrica, es una gráfica que contiene las propiedades del aire, tales como temperatura, volumen, presión, etc.

Se las utiliza para determinar, cómo varían las propiedades antes mencionadas al cambiar la humedad en el aire.

---

<sup>54</sup> "Psicometría"; [en línea]; Capítulo 13; pp. 180; < [http://www.valycontrol.com.mx/mt/mt\\_cap\\_13.pdf](http://www.valycontrol.com.mx/mt/mt_cap_13.pdf)>; [Consulta: 22 de junio de 2012]

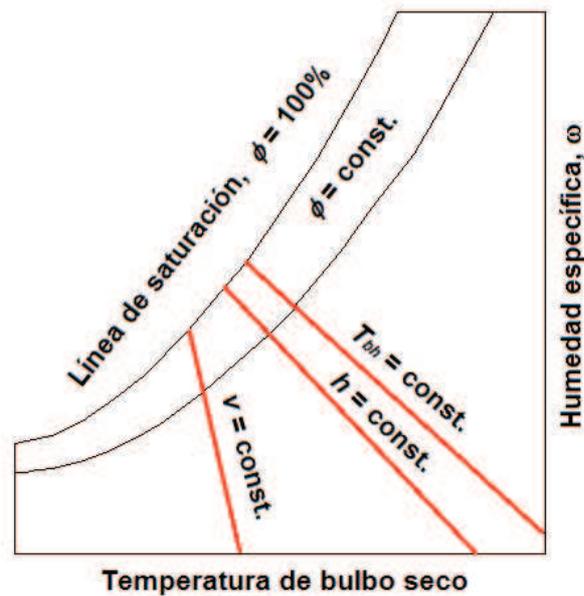


Figura 2- 20: Esquema para una carta psicrométrica<sup>55</sup>

La carta psicrométrica puede basarse en datos obtenidos a la presión atmosférica normal al nivel de mar, o puede estar basada en presiones menores que la atmosférica, o sea, para lugares a mayores alturas sobre el nivel del mar.

Existen muchos tipos de cartas psicrométricas, cada una con sus propias características. Sin embargo, para determinar qué tipo de carta utilizar, se debe seleccionar de acuerdo al rango de temperatura y el tipo de aplicación.

Dado que la máquina secadora es para el sector del Oriente, específicamente para la Ciudad de Tena, Provincia de Napo se utiliza una carta psicrométrica basada en los siguientes parámetros:

Tabla 2- 2: Condiciones Ambientales en la Ciudad de Tena<sup>56</sup>

CONDICIONES AMBIENTALES EN LA CIUDAD DE TENA	
Temperatura de bulbo húmedo	$T_{bh} = 23,89^{\circ}C = 75^{\circ}F$
Temperatura de bulbo seco	$T_{bs} = 25^{\circ}C = 77^{\circ}F$
Humedad relativa del ambiente	$\varphi = 90\%$

<sup>55</sup> Cengel Y., Boles M.; "Termodinámica"; Quinta edición; Mc Graw Hill; México – México; 2002; pp. 726; [Consulta: 25 de junio de 2012]

<sup>56</sup> Análisis de campo en el cantón Tena; fuente propia

**Tabla 2- 3:** Propiedades de la ciudad del Tena<sup>57</sup>

PROPIEDADES DE LA CIUDAD DEL TENA	
Altura sobre el nivel del mar	500 msnm
Presión del ambiente	95,15 [KPa]

En la figura A-8 del ANEXO 4 pp. 266 se muestran las cartas psicrométricas de la Ciudad de Tena, en donde se detallan los parámetros expuestos en las tablas 2–2 pp. 36 y 2-3, para la realización de los cálculos necesarios para el diseño de la máquina.

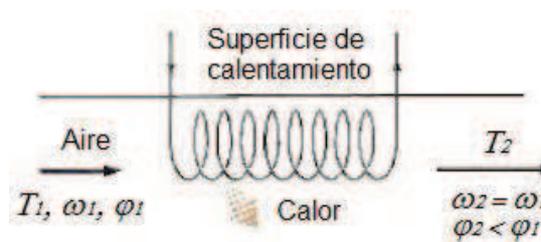
### 2.5.2.3 Procesos psicrométricos relacionados con el secado

Dado a que el proceso principal de la máquina es el secado de los granos mediante el paso de una corriente de temperatura y humedad constantes sobre la superficie. Se presentan dos procesos psicrométricos, fundamentalmente en el sistema aire – agua:

- a) Calentamiento del aire
- b) Humidificación del aire

#### 2.5.2.3.1 Calentamiento del aire

Para el proceso de calentamiento del aire, la cantidad de humedad en el aire permanece constante [ $\omega$ ] ya que no se añade humedad ni se elimina aire y la humedad relativa disminuye [ $\phi$ ] (figura 2-21).<sup>58</sup>



**Figura 2- 21:** Proceso de calentamiento del aire<sup>58</sup>

<sup>57</sup> Ortega, M., Peña, A.; "Cartas Psicrométricas"; Escuela Politécnica Nacional; Editorial IMPRIMA; Quito – Ecuador; 1996; pp. 5 y 33. [Consulta: 25 de junio de 2012]

<sup>58</sup> Cengel Y., Boles M.; "Termodinámica"; Quinta edición; Mc Graw Hill; México – México; 2002; pp. 730. [Consulta: 28 de junio de 2012]

Dicho proceso de calentamiento procederá en la dirección de aumento de la temperatura de bulbo seco, siguiendo una línea de humedad específica constante en la carta psicrométrica, la cual aparece como una línea horizontal (1-2), esto se encuentra detallado en la figura 2-22.

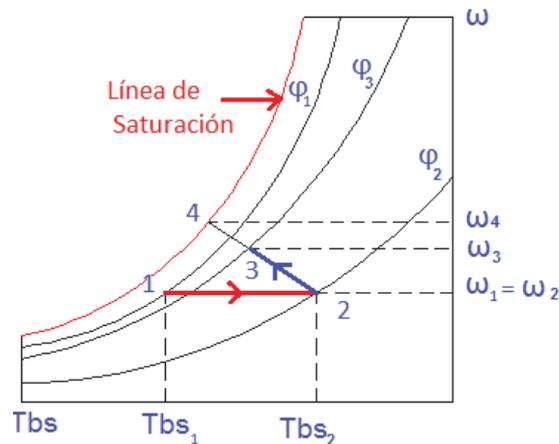


Figura 2- 22: Calentamiento del aire<sup>59</sup>

La rapidez de transferencia de calor necesaria para alcanzar el punto 2 de la figura 2-22, es la siguiente (2-11)<sup>58</sup>:

$$\dot{Q} = \dot{m}_a(h_2 - h_1) \quad (2- 11)$$

Donde:

$\dot{Q}$  = Rapidez de transferencia de calor,  $\left[\frac{kJ}{s}\right]$

$\dot{m}_a$  = Flujo de aire a calentar,  $\left[\frac{kg}{s}\right]$

$h_2$  = Entalpía del aire a la temperatura en entrada al secador,  $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

$h_1$  = Entalpía del aire a la temperatura ambiente,  $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

La cantidad de humedad en el aire se especifica por completo mediante la temperatura y la humedad relativa. Y la presión de vapor se relaciona con la humedad relativa  $[\phi]$  mediante ecuación (2-12) pp. 39<sup>60</sup>:

<sup>59</sup> Fuente propia

<sup>60</sup> Cengel Y., Boles M.; "Termodinámica"; Capítulo 3; Quinta edición; Mc Graw Hill; México – México; 2002; pp. 149. [Consulta: 28 de junio de 2012]

$$P_v = \varphi * P_{sat} \quad (2- 12)$$

$P_v$  = Presión de vapor de agua, [kPa]

$\varphi$  = Humedad relativa del ambiente, [%]

$P_{sat}$  = Presión de saturación del agua a la temperatura específica, [kPa]

La presión del aire seco es igual a:

$$P_{as} = P - P_v \quad (2- 13)$$

Donde:

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

$P$  = Presión del ambiente, [kPa]

$P_v$  = Presión del vapor de agua, [kPa]

El volumen específico del aire en condiciones normales, se determina mediante la siguiente ecuación (2-14):

$$v_{as} = \frac{R*T}{P_{as}} \quad (2- 14)$$

Donde:

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

$R$  = Constante universal del aire,  $\left[\frac{kg \text{ agua } m^3}{kg \text{ } ^\circ K}\right] = 0,287$

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

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

#### 2.5.2.3.2 Humidificación del aire

Un proceso de deshidratación desde el punto de vista del sistema aire – agua se reduce a un proceso de humidificación del aire. La humidificación es un proceso mediante el cual se incrementa la humedad específica del aire.

La humidificación del aire o también enfriamiento evaporativo se basa en un sencillo principio: cuando el agua se evapora, el calor latente de evaporación se absorbe del cuerpo del agua y del aire de los alrededores; como resultado, tanto el agua como el aire se enfrían durante el proceso (figura 2-23).

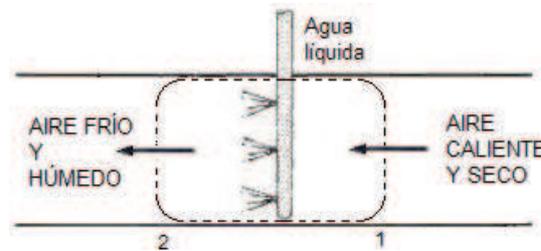


Figura 2- 23: Enfriamiento evaporativo<sup>61</sup>

El proceso de humidificación del aire corresponde a la línea (2-3) detallada en el gráfico de la carta psicrométrica y dibujada en la figura 2-24.

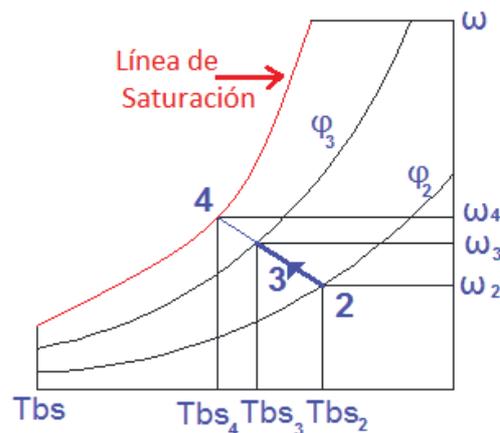


Figura 2- 24: Humidificación del aire<sup>62</sup>

La humedad extraída del producto en forma de vapor absorbe calor del aire, motivo por el cual baja la temperatura del aire, por lo tanto, durante la deshidratación se tiene como resultado un proceso de humidificación del aire con enfriamiento. La cantidad de humedad removida por el aire en el proceso de secado, está dada por el siguiente balance de materia.

$$m_{H_2O} = m_{as}(\omega_3 - \omega_2) \quad (2- 15)$$

<sup>61</sup> Cengel Y., Boles M.; "Termodinámica"; Capítulo 3; Quinta edición; Mc Graw Hill; México – México; 2002; pp. 734. [Consulta: 28 de junio de 2012]

<sup>62</sup> Fuente propia

Donde:

$m_{h_2O}$  = Masa de agua, [kg]

$m_{as}$  = Masa de aire seco, [kg]

$\omega_2$  = Humedad específica a la entrada del secador,  $\left[ \frac{kg \text{ agua}}{kg \text{ aire seco}} \right]$

$\omega_3$  = Humedad específica a la salida del secador,  $\left[ \frac{kg \text{ agua}}{kg \text{ aire seco}} \right]$

El volumen de aire seco para secar una determinada cantidad de granos de maíz viene dado por la expresión (2-16):

$$V_{as} = \frac{m_a * R * T}{P} \quad (2-16)$$

Donde:

$V_{as}$  = Volumen de aire seco, [ $m^3$ ]

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

$R$  = Constante universal del aire,  $\left[ \frac{kg \text{ agua } m^3}{kg \text{ } ^\circ K} \right] = 0,287$

$T$  = Temperatura del aire caliente, [ $^\circ K$ ]

$P$  = Presión del ambiente, [kPa]

### 2.5.3 CINEMÁTICA DEL SECADO

Para determinar el tiempo de secado es necesario efectuar ensayos de velocidad de secado del material con el que se va a trabajar, los mismos que se realizan en condiciones constantes de secado en donde las propiedades del aire (presión, temperatura, humedad y velocidad) permanecen constantes con el tiempo y varían muy poco desde la entrada hasta la salida

### 2.5.3.1 Temperatura de secado<sup>63</sup>

La temperatura del aire de secado influye directamente en la temperatura del grano, es por ello que dependiendo del tipo a secar se determina una temperatura admisible que no altere las propiedades que se desean obtener al final del proceso.

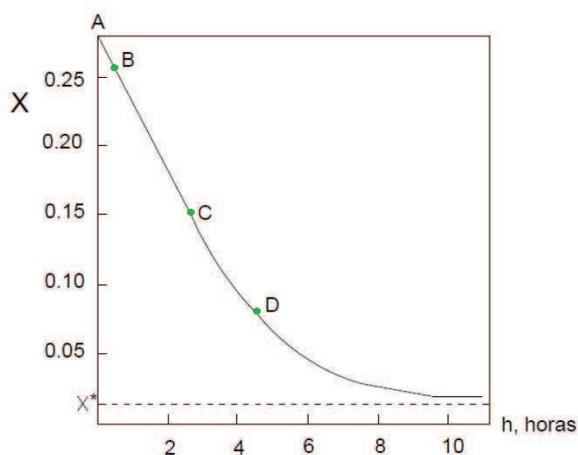
**Tabla 2- 4:** Temperatura máxima del aire para el secado de algunos productos agrícolas, en función de su uso.<sup>63</sup>

PRODUCTO	USO FINAL	TEMPERATURA MÁX. [°C]
Maíz	Semilla	40
	Consumo	60
Café	Comercio	50

### 2.5.3.2 Velocidad de secado

#### 2.5.3.2.1 Velocidad de secado por convección

La velocidad de secado de algún objeto, se calcula por la pérdida de humedad en la unidad de tiempo. Si una cantidad de granos son secados en un lecho, el contenido de humedad  $X$  (definido como peso de agua por unidad de peso de sólido seco) es determinado como una función de tiempo  $t$ , dando como resultado la curva de  $X$  contra  $t$  ( $-\frac{dx}{dt}$ ) dibujada en la figura 2-25.

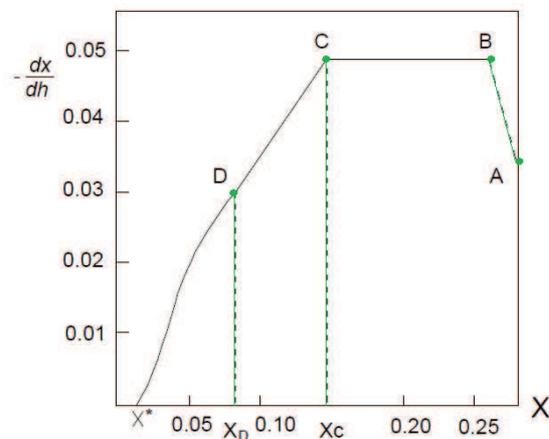


**Figura 2- 25:** Curva humedad - tiempo<sup>64</sup>

<sup>63</sup> Arias C.; "Manual de manejo pos cosecha de granos a nivel rural"; [en Línea]; Santiago – Chile; 1993; <<http://www.fao.org/docrep/X5027S/x5027S0b.htm#Secado%20en%20lecho%20fijo>> ; [Consulta: 19 de enero de 2012]

En esta curva se muestra que la humedad disminuye continuamente desde el valor inicial (punto A) o también llamado punto de contenido crítico de humedad ( $X_{cr}$ ) y finalmente se aproxima como gráfica de límite a la humedad de equilibrio ( $X^*$ ) que corresponde a las condiciones constantes del aire. En cualquier punto de la curva, la cantidad de humedad removible permanente ( $X - X^*$ ) se conoce como el contenido de humedad libre.

La velocidad de secado, puede ser determinada en cualquier punto derivando la curva de  $X$  contra  $t$ ; ésta gráfica es una forma alterna de representar el secado característico de un material como se muestra en la figura 2-26.



**Figura 2- 26:** Curva de la velocidad de secado<sup>64</sup>

En donde, el tramo AB (que puede no existir o presentar diversas formas) es el período de inducción en el que el mecanismo de secado no ha llegado a estabilizarse aún; el tramo BC se caracteriza por la constancia de velocidad de secado llegando a la humedad crítica (punto C) en donde la velocidad de secado empieza a disminuir alcanzando el valor de 0, es decir, la humedad del material llega a ser igual a la de equilibrio con el aire de secado. Para lo cual finalmente se distinguen dos períodos de secado:

- Período de velocidad constante, tramo CB
- Período de velocidad decreciente, en donde la velocidad varía linealmente con la humedad, tramo CD y en el segundo tramo se pierde la relación.

<sup>64</sup> Vian, A., Ocon, J.; "Elementos de Ingeniería Química"; Editorial Ángel; España; Capítulo 17; Sec.: 17-5; pp. 185; [Consulta: 03 de julio de 2012]

Atendiendo al mecanismo de secado, para definir cuantitativamente la velocidad es conveniente referir a ésta a la unidad de área de superficie de secado. Por definición.

$$R = \frac{M_s}{A} \left( -\frac{dX}{dt} \right) \quad (2-17)$$

Donde:

$R$  = Velocidad de secado,  $\left[ \frac{m}{s} \right]$

$M_s$  = Masa del sólido seco,  $[kg]$

$A$  = Área de superficie expuesta,  $[m^2]$

$dX$  = Diferencial de humedad

$dt$  = Diferencial de tiempo.

#### 2.5.3.2.2 Velocidad de secado por conducción

Para la velocidad de secado por conducción, se toma en consideración el caso de un sólido que se encuentra dentro de un recipiente cerrado, el mismo que es calentado externamente y al que se lo ha proveído de los medios para retirar el vapor. Por lo que para un instante dado la velocidad de secado dependerá del aporte de calor al material.

$$\frac{dR}{dt} = \frac{10^3}{H_{fg}} \frac{dQ}{dt} \quad (2-18)$$

Donde:

$Q$  = Flujo de calor,  $[W]$

$H_{fg}$  = Calor latente de vaporización en la superficie de secado, a la temperatura establecida,  $\left[ \frac{KJ}{kg} \right]$ .

#### 2.5.3.2.3 Velocidad de secado por radiación

El tipo de transferencia de calor por radiación se da especialmente en secadores infrarrojos, pero se lo puede considerar como una corrección de los tipos de transferencia anteriormente mencionados.

### 2.5.3.3 Secado a velocidad constante o secado de bulbo húmedo ( $R_c$ )<sup>65</sup>

Este mecanismo se encuentra determinado por la evaporación desde una superficie líquida, es por ello que la presión parcial y humedad en la superficie serán también la presión parcial de saturación y humedad de saturación a la temperatura de bulbo húmedo, donde la presencia del sólido (grano) no afecta a este mecanismo. Existe una variación en la evaporación de un líquido puro y uno con la presencia de sólidos con un valor no mayor del 20%. Esta velocidad quedará determinada por la siguiente ecuación (2-19):

$$R_c = \frac{h_c(T_g - T_s)}{H_{fg}} \quad (2-19)$$

Donde:

$R_c$  = Velocidad constante de secado,  $\left[\frac{kg}{s \cdot m^2}\right]$

$T_g$  = Temperatura en el grano,  $[^{\circ}C]$

$T_s$  = Temperatura de secado,  $[^{\circ}C]$

$H_{fg}$  = Entalpía,  $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

El valor del coeficiente de convección varía dependiendo de la dirección del flujo del aire<sup>65</sup>:

- Flujo paralelo: en donde la velocidad de secado se encuentra entre un rango de 0,61 a 7,6  $\left[\frac{m}{s}\right]$ .

$$h_c = 0,0204G^{0,8} \quad (2-20)$$

- Flujo perpendicular: en donde la velocidad de secado se encuentra entre un rango de 0,9 a 4,6  $\left[\frac{m}{s}\right]$ .

$$h_c = 1.17G^{0,37} \quad (2-21)$$

Donde:

---

<sup>65</sup> Vian A; "Elementos de Ingeniería Química"; Madrid; Editorial Aguilar; 1980, pp. 488-489; [Consulta: 03 de julio de 2012]

$$G = v_s * 3600 * \rho_a \quad (2- 22)$$

$h_c$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección,  $\left[\frac{W}{m^2 * K}\right]$

$v_s$  = Velocidad de secado,  $\left[\frac{m}{s}\right]$

$\rho_a$  = Densidad del aire,  $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

$G$  = Velocidad másica del aire de secado,  $\left[\frac{kg}{h * m^2}\right]$

Para cada tipo de grano es independiente la velocidad de extracción del agua por hora, para no sufrir deterioro en los mismos. Es por eso que si se sobrepasa este valor al secar artificialmente, no se podrá asegurar su calidad.

**Tabla 2- 5:** Porcentaje de extracción de agua por hora, para los rangos de humedad comunes a cada cereal.<sup>66</sup>

GRANO	% DE EXTRACCIÓN POR HORA
Maíz – Sorgo – Girasol	Menos de 5%
Trigo	Menos de 4%
Soja	Menos de 3%
Arroz	Menos de 1%

#### 2.5.3.4 Tiempo de secado en condiciones constantes<sup>63</sup>

La duración del secado se puede deducir sencillamente una vez evaluada la velocidad de secado. Separando las variables en la ecuación (2–23), e integrando entre las humedades inicial y final.

$$t = \frac{M_s}{A_s} \int_{X_2}^{X_1} dX / R \quad (2- 23)$$

Para calcular la integral del segundo miembro se distinguen los períodos de secado a velocidad constante y velocidad decreciente.

<sup>66</sup> Rodríguez J.C., Bartosik R.; "Secado de granos"; [en línea]; Santiago – Argentina; 2006; <<http://www.cosechaypostcosecha.org/data/folletos/FolletoSecadoGranos.pdf>>; [Consulta: 20 de enero de 2012]

#### 2.5.3.4.1 Tiempo de secado en el período de velocidad constante

Para el cálculo del tiempo a una velocidad constante, la ecuación (2-24), se integra de la siguiente manera:

$$t_c = \frac{M_s * H_{fg} (X_1 - X_c)}{A_s * h * (T_g - T_s)} \quad (2-24)$$

Donde:

$$R_c = \text{Velocidad constante, } \left[ \frac{Kg}{m^2 * h} \right]$$

$$M_s = \text{Masa del sólido seco, } [kg]$$

$$A_s = \text{Área de secado, } [m^2]$$

$$X_c = \text{Humedad crítica}$$

#### 2.5.3.4.2 Tiempo de secado en el período de velocidad decreciente <sup>63</sup>

En el caso general no se conoce la relación analítica entre R y X, la integración de la ecuación (2-25), puede efectuarse entonces por método gráfico.

En donde, R varía linealmente con X, como ocurre en muchos casos de sólidos.

$$R = aX + b \quad (2-25)$$

$$dR = a dX \quad (2-26)$$

Donde:

$$a \text{ y } b = \text{Constantes}$$

Sustituyendo  $dX$ , se obtiene para el tiempo de secado en el período de velocidad decreciente la siguiente expresión:

$$t_d = \frac{M_s}{a * A_s} \int_{R_2}^{R_1} \frac{dR}{R} = \frac{M_s}{a * A_s} \ln \left( \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (2-27)$$

Donde:

$$R_1 \text{ y } R_2 = \text{Velocidad de secado para las humedades inicial y final, } \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Como  $a$  es la pendiente de la curva de la velocidad de secado, se la puede escribir de la siguiente manera.

$$a = \frac{R_c - R}{X_c - X} \quad (2-28)$$

Donde:

$R$  = Velocidad en el primer punto,  $\left[\frac{m}{s}\right]$

$R_c$  = Velocidad en el segundo punto crítico,  $\left[\frac{m}{s}\right]$

$X_c$  = Contenido de humedad libre en el primer punto crítico

$X$  = Contenido de humedad libre en el segundo punto crítico

Reemplazando las ecuaciones (2-28) en (2-27) pp. 47, se tiene:

$$t_d = \frac{M_s * (X_c - X)}{A_s * (R_c - R)} \ln \left( \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (2-29)$$

En algunas situaciones una sola recta que pasa a través del origen representa todo el período de velocidad decreciente, el punto  $(X_c, R_c)$ , está situado sobre la línea, cuando se puede hacer esta aproximación la ecuación se puede simplificar teniendo en cuenta que  $(b, R, X)$  desaparecen y que  $a = R_c / X_c$  y que  $R_c / R_2 = X_c / X_2$ . Por lo tanto la ecuación del tiempo de secado a velocidad decreciente es:

$$t_d = \frac{M_s * X_c}{A_s * R_c} \ln \left( \frac{X_c}{X_2} \right) \quad (2-30)$$

#### 2.5.3.5 Secado por difusión durante el período de velocidad decreciente.

Se define como difusión al movimiento de las moléculas de una región de alta concentración a otra de menor concentración, producido por la energía cinética de las moléculas. La velocidad de difusión es una función del tamaño de la molécula y de la temperatura.

Cuando la difusión líquida de la humedad controla la velocidad de secado en el período de velocidad decreciente, pueden aplicarse las ecuaciones de difusión. Usando las concentraciones como  $X$  kg humedad libre / kg sólido seco, en lugar

de las concentraciones en kg mol humedad / m<sup>3</sup>, la segunda ley de Fick para difusión de estado no estacionario puede escribirse como:

$$\frac{\partial x}{\partial t} = D_L \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} \quad (2-31)$$

Donde:

$D_L$  = Coeficiente de difusión líquida,  $\left[\frac{m^2}{h}\right]$

$x$  = Distancia en el sólido,  $[m]$

Este tipo de difusión suele ser característico de los secados relativamente lentos de materiales no granulares como el jabón, gelatina y pegamentos, así como en las últimas etapas del secado de agua combinadas en arcillas, madera, textiles, cuero, papel, alimentos, almidones y otros sólidos hidrófilos.

Una de las principales dificultades para analizar los datos de secado por difusión consiste en que la distribución inicial de la humedad no es uniforme en todo el sólido al principio, si este período de velocidad decreciente va precedido por otro secado a velocidad constante. Durante el secado por difusión, la resistencia a la transferencia de masa del vapor de agua desde la superficie suele ser bastante pequeña y la difusión en el sólido controla la velocidad de secado. Entonces, el contenido de humedad en la superficie está en equilibrio a un valor de  $X^*$ . Esto significa que el contenido de humedad libre  $X$  en la superficie es esencialmente cero.

Si se supone que la distribución inicial de humedad es uniforme en el tiempo  $t=0$ , la ecuación (2-31), puede integrarse para obtener la siguiente expresión:

$$\frac{X_t - X^*}{X_{t1} - X^*} = \frac{X}{X_1} = \frac{8}{\pi^2} \left[ e^{-DLt(\pi/2x_1)^2} + \frac{1}{9} e^{-9DLt(\pi/2x_1)^2} + \frac{1}{25} e^{-25DLt(\pi/2x_1)^2} + \dots \right] \quad (2-32)$$

Donde

$X$  = Contenido promedio de humedad libre al tiempo  $t$  h.

$X_1$  = Contenido promedio de humedad libre al tiempo  $t = 0$ .

$X^*$  = Contenido de humedad libre de equilibrio.

$x_1 = \frac{1}{2}$  del espesor.

La ecuación (2-32) pp. 49, supone que  $D_L$  es constante, pero rara vez es constante, y varía con el contenido de agua, la temperatura y la humedad. Para tiempo de secado largos, el único término de la ecuación (2-31) pp. 49 que tiene importancia es el primero; por lo tanto la expresión se transforma en:

$$\frac{X}{X_1} = \frac{8}{\pi^2} e^{-D_L t \left(\frac{\pi}{2x_1}\right)^2} \quad (2-33)$$

Al despejar el tiempo de secado se tiene:

$$t = \frac{4x_1^2}{\pi^2 D_L} \ln \frac{8X_1}{\pi^2 X} \quad (2-34)$$

#### 2.5.3.5.1 Difusión del líquido

La difusividad  $[D_L]$  suele ser menor con contenidos de humedad pequeños que con contenidos de humedad altos, en cuyo caso se determina experimentalmente un valor promedio de  $[D_L]$  en el intervalo de humedades considerando. La línea A (figura 2-27) corresponde a la ecuación (2-34), donde se gráfica  $\ln \left(\frac{X}{X_1}\right)$  o  $\ln \left(\frac{X}{X_C}\right)$  en función de  $\frac{D_L t}{x_1^2}$ . Esta gráfica muestra una curvatura en la línea para valores de  $\frac{X}{X_C}$  entre 1,0 y 0,6 y una línea recta para  $\frac{X}{X_C} < 0,6$ .

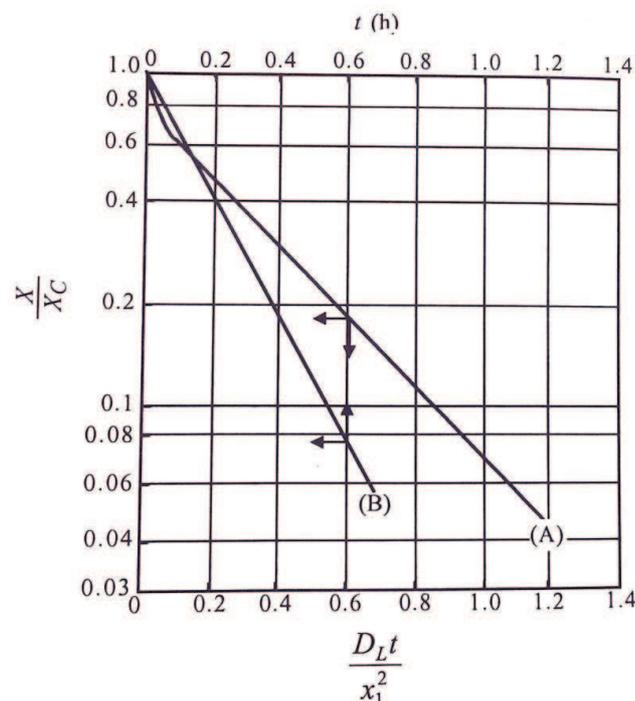


Figura 2- 27: Gráfica de las ecuaciones del período de velocidad decreciente

Cuando los datos experimentales muestran que el movimiento de la humedad sigue la ley de difusión, las difusividades experimentales promedio se pueden calcular como sigue para diferentes intervalos de concentración. Se selecciona un valor de  $\frac{x}{x_c}$  por ejemplo 0,4. Con base en una gráfica experimental similar a la de la curva B de la figura 2-27 pp. 50, se obtiene el valor experimental de  $t$ . Con la curva A, a un valor de  $\frac{x}{x_c} = 0,4$ , se lee el valor teórico de  $\left(\frac{D_L t}{x_1^2}\right)_{teorico}$ . Entonces, sustituyendo los valores conocidos de  $t$  y  $x_1$  en la ecuación (2-34) pp. 50, se obtiene el valor promedio experimental de  $D_L$ .

$$D_L = \left(\frac{D_L t}{x_1^2}\right)_{teorico} \frac{x_1^2}{t} \quad (2-35)$$

### 2.5.3.6 Tiempo Total de Secado

El tiempo total de secado será igual a la suma de los tiempos en cada periodo tanto a velocidad constante como a velocidad variable.

$$t_T = t_c + t_d \quad (2-36)$$

$$t_T = \frac{M_s}{A_s * R_c} \left[ (X_1 - X_c) + X_c \ln \left( \frac{X_c}{X_2} \right) \right]$$

Donde:

$X_1$  = Humedad inicial del grano

$X_2$  = Humedad final del grano

$X_c$  = Humedad crítica

## 2.5.4 TRANSFERENCIA DE CALOR <sup>67</sup>

En el proceso de secado para un sólido existen dos procesos fundamentales y simultáneos:

- Transmisión de calor al sólido para evaporar el líquido presente en el mismo.

<sup>67</sup> Incropera F., De Wit D.; "Fundamentos de Transferencia de Calor"; Editorial Pearson; Cuarta Edición; México; pp. 2-10; [Consulta: 18 de enero de 2012].

- Transferencia de masa en humedad interna y líquido evaporado.

Para ello se define la transferencia de calor como la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas, es decir, siempre que exista una diferencia de temperaturas entre cuerpos existirá una transferencia de calor hasta llegar al equilibrio termodinámico.

#### 2.5.4.1 Conducción

Se define como conducción a la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia debido a las interacciones entre las mismas. Este tipo de transferencia obedece a la ecuación (2-37):

$$q_{conduc} = -k \frac{dT}{dx} \quad (2-37)$$

Donde:

$k$  = Coeficiente de transferencia de calor por conducción,  $\left[ \frac{W}{m^{\circ}K} \right]$

$\frac{dT}{dx}$  = Gradiente de temperatura en la dirección  $x$ .

#### 2.5.4.2 Convección

Este tipo de transferencia de calor ocurre entre un fluido en movimiento y una superficie, siempre y cuando exista una diferencia de temperatura entre los mismos. Este tipo de transferencia obedece a la ecuación (2-38):

$$q_{conv} = h_c(T_s - T_{\infty}) \quad (2-38)$$

Donde:

$q_{conv}$  = Flujo de calor por unidad de área,  $\left[ \frac{W}{m^{\circ}K} \right]$

$h_c$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección,  $\left[ \frac{W}{m^2^{\circ}K} \right]$

$T_s$  = Temperatura de la superficie,  $[^{\circ}C]$

$T_{\infty}$  = Temperatura de la corriente libre,  $[^{\circ}C]$

### 2.5.4.3 Radiación

La radiación térmica es definida como la energía emitida por la materia que se encuentra a temperatura finita. La gran diferencia entre la transferencia de calor por conducción y convección de la transferencia de calor por radiación se da debido a que ésta no necesita un medio de transmisión. Obedece a la siguiente ecuación (2-39) de transferencia:

$$q_{rad} = \varepsilon E_b(T_s^*) - \alpha G = \varepsilon \sigma (T_s^{*4} - T_{alred}^{*4}) \quad (2-39)$$

Donde:

$\varepsilon$  = Emisividad, [adimensional]

$E_b$  = Potencia emisividad superficial,  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$T_s^*$  = Temperatura de la superficie, [K]

$\alpha$  = Absortividad, [adimensional]

$\sigma$  = Constante de Stefan-Boltzmann =  $5,67 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4}\right]$

$G$  = Irradiación,  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$T_{alred}^*$  = Temperatura de los alrededores, [K]

## 2.6 PRESIONES INTERNAS EN LOS SILOS DEBIDO A LOS MATERIALES GRANULARES SEGÚN EL EURO-CÓDIGO ENV 1991-4

Se presentan dos tipos de presiones internas debido al almacenamiento de materiales granulados;

- Las presiones normales
- Las presiones verticales.

Las últimas debidas a la fricción existente entre el material almacenado y las paredes del silo. La presión normal es la que produce esfuerzos circunferenciales y longitudinales, por tal razón, se toma mayor atención a los esfuerzos circunferenciales que son mayores que los esfuerzos longitudinales. Existen también esfuerzos de compresión en las paredes tanto del cuerpo cilíndrico como del cono, debido al material almacenado.

### 2.6.1 FORMAS DE VACIADO

De la forma en que se desaloje el material almacenado en un silo, influirá decisivamente en la aparición de fenómenos de segregación de partículas.

#### 2.6.1.1 Flujo másico<sup>68</sup>

El flujo másico en silos presenta un patrón de flujo “primero en entrar-primero en salir” permitiendo que todo el material esté en movimiento durante la descarga. Este tipo de flujo se caracteriza por ser uniforme y confiable; la densidad de alimento es independiente de la carga de sólidos en el cilindro; no existen regiones estancadas de material eliminando así la posibilidad de apelmazamiento o contaminación; la separación por tamaño de los componentes del material almacenado es minimizada; y por último, el tiempo de residencia es uniforme permitiendo la de-aireación efectiva de los materiales finos.



Figura 2- 28: Tolva de flujo de masa<sup>69</sup>

<sup>68</sup> "Ingeniería Funcional de Silos y Tolvas"; [en línea]; Jenike & Johanson; 2011; <<http://www.jenike.com/Servicios/Silo-Hopper-Design.html>>; [Consulta: 16 de agosto de 2012].

### 2.6.1.2 Flujo de embudo<sup>68</sup>

Estos silos presentan un patrón de flujo “primero en entrar-último en salir” en donde solo parte del material se mueve durante la descarga y el resto de la material permanece estancado. Este tipo de patrón de flujo es aceptable si el sólido a granel es suficientemente grueso, no presenta tendencia de apelmazamiento, presenta libre fluidez (no es cohesivo) y la separación de sus componentes (segregación) no es importante.

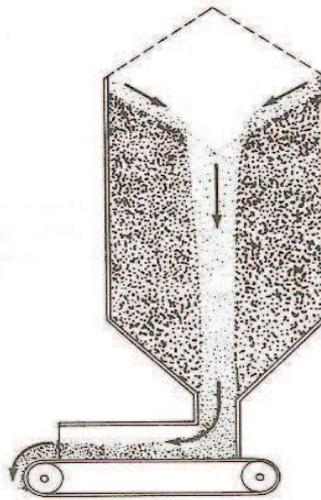


Figura 2- 29: Tolva de flujo de embudo<sup>69</sup>

### 2.6.2 EURO-CÓDIGO ENV 1991-4<sup>70</sup>

El Euro-código ENV 1991, describe los principios generales y las acciones para el desarrollo de proyecto estructural de depósitos y silos. Es por tal razón que para el desarrollo del diseño del secador se ha tomado como modelo a seguir el EURO-CÓDIGO ENV 1991-4, el mismo que se encuentra detallado en el ANEXO 5 pp. 268 - 278.

<sup>69</sup> Bladón, S.; “Operaciones Mecánicas en la Ingeniería Agroindustrial”; [en línea]; Unidad III: Fundamentos de Operaciones con Sólidos; <[<sup>70</sup> “Bases de Proyecto y Acciones en Estructuras”; \[en línea\]; Euro códigos UNE-ENV1991-4; Parte 4: Acciones en silos y depósitos; Norma Europea Experimental; 1998; < \[http://sirio.ua.es/cat/UNE-ENV\\\_1991-4=1998.pdf\]\(http://sirio.ua.es/cat/UNE-ENV\_1991-4=1998.pdf\)>; \[Consulta: 27 de Julio de 2012\].](https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:sXmsK5RtzPkJ:slbn.files.wordpress.com/2010/08/unidad-iii_tema1_almacen-de-solidos.pptx+flujo+de+embudo&hl=es&gl=ec&pid=bl&srcid=ADGEESj4upCZyP9kOxCOAZGJLBJR_TW1rs_xNn5l8pXf2asN6yRCIjBjUIEW8y_XrbLI0yXDmcbgcla44KXjaBhJDLU45TES-_3sZXFwck_zU--pt_rlGdNNiwp0n43G-Mr9S6Df2Zkq&sig=AHIEtbSApEuqyNeRui6Tsfj2SjRXkISNg>; [Consulta: 16 de Agosto de 2012].</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

## **CAPÍTULO 3**

# **DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES PARA LA MÁQUINA SECADORA**

### **3.1 DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES**

El diseño de la máquina secadora tiene como propósito fundamental satisfacer las necesidades de los productores agrícolas de maíz duro en la zona Amazónica del Ecuador, principalmente en la Ciudad de Tena, Provincia de Napo. Es por este motivo, que se desarrollará un proceso de evaluación cuantitativa mediante evaluación de encuestas, tanto a productores como a trabajadores de la zona.

#### **3.1.1 PLANIFICACIÓN DE LA ENCUESTA**

##### **3.1.1.1 Objetivo de la encuesta**

Obtener información necesaria de los productores y trabajadores de maíz para el diseño de una máquina secadora de maíz

##### **3.1.1.2 Información requerida**

La información que se requiere, estará relacionada con la producción, costos, factores de almacenamiento y secado del maíz duro seco en la Ciudad de Tena.

##### **3.1.1.3 Diseño del cuestionario**

El diseño del cuestionario consiste en formular las preguntas adecuadas, relacionadas con el manejo de los granos de maíz después de la cosecha, las cuales nos permitirán conocer cómo se realiza el sistema de secado, forma y complementos de cómo trabajan los productores actualmente en la zona, para lo cual se ha desarrollado un cuestionario detallado en el ANEXO 6 pp. 280, para levantar la información necesaria.

##### **3.1.1.4 Determinación de la población**

La población que será evaluada mediante la encuesta, serán los productores y trabajadores agrícolas encargados del cultivo de maíz duro en el sector de la

Ciudad de Tena. Se trabaja en este cantón, debido a que posee mayor productividad de maíz, alrededor del 80%, en comparación con los de más cantones pertenecientes a la Provincia de Napo

### 3.1.1.5 Determinación del número de encuestas

Para el número de encuestas, se utiliza la ecuación (3-1)<sup>71</sup>, del tamaño de la muestra, que permite obtener un número representativo del grupo de personas a estudiar. Se toma una muestra para una población finita, en este caso la población son los sectores agrícolas en donde se produce el maíz duro dentro de la Ciudad de Tena, dichos datos generalizados se encuentran tabulados en la tabla A-4 del ANEXO 7 pp. 282, con los detalles del número de UPAs y superficie sembrada.

$$\eta = \frac{Z_c^2 * pq * N}{(N-1)e^2 + Z_c^2 * pq} \quad (3-1)$$

Donde:

$\eta$  = Tamaño de la muestra: es el número representativo del grupo de personas que se desea estudiar es decir, el número de encuestas que se debe realizar.

$p$  = Proporción de la muestra a favor (probabilidad de éxito).

$q$  = Proporción de la muestra en contra (probabilidad de fracaso).

Como no se conoce la proporción de la muestra a favor o en contra se toma un valor del 50% para  $p$  y  $q$ .

$N$  = Población: es el grupo de personas que se va a estudiar, las cuales son la población productora de maíz duro (939 UPAs)<sup>72</sup>

$Z_c$  = Nivel de confianza: mide la confiabilidad de los resultados. Se utiliza valores de 95% (1.96) o de 90% (1.65). Tomando en cuenta que a mayor nivel de confianza, mayor confiabilidad tiene los resultados y mayor cantidad de encuestas se debe realizar, es por ello que se trabajará con el valor de 1.96.

<sup>71</sup> Pita, S.; "Determinación del tamaño muestral"; [en línea]; Coruña – España; 2010; <<http://www.fisterra.com/mbe/investiga/9muestras/9muestras2.asp>>; [Consulta: 14 de febrero de 2012]

<sup>72</sup> "Censo Nacional Agropecuario"; [en línea]; Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC; <[http://www.inec.gov.ec/estadisticas/index.php?option=com\\_remository&Itemid=&func=startdown&id=68&lang=es&TB\\_iframe=true&height=250&width=800](http://www.inec.gov.ec/estadisticas/index.php?option=com_remository&Itemid=&func=startdown&id=68&lang=es&TB_iframe=true&height=250&width=800)>; [Consulta: 22 de marzo de 2012]

$e$  = Grado de error: mide el porcentaje de error que puede haber en los resultados. Lo usual es utilizar valores entre 5% y 10%. Tomando en consideración que a menor margen de error, mayor validez tendrán los resultados, sin embargo mayor número de encuestas se realizará, considerando que el número de personas dedicadas a la agricultura de maíz en la zona es minoritario se utiliza el valor del 10% como grado de error.

$$\eta = 87.21 \approx 90$$

Del resultado, se realiza una aproximación a 100 encuestas, para tener una mejor valoración porcentual al momento de realizar la evaluación de las mismas.

### 3.1.1.6 Trabajo de campo

Una vez realizado el cuestionario, se procede al trabajo de campo, en donde se hace efectiva la encuesta. Para ello, se determinó los siguientes parámetros:

- ¿Quiénes son los encargados de realizar las encuestas?

Los estudiantes Guano Reyes Victoria Belén y Rocha Guamán Alex Roberto, estudiantes de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional. (Figura A-13 del ANEXO 8 pp. 284).

- Lugar en dónde se realizará la encuesta.

La encuesta se realizó en la Ciudad de Tena, Provincia de Napo, principalmente en las parroquias de: Misahuallí, Puerto Napo y Ahuano y zonas aledañas en el lugar de trabajo de los agricultores.



**Figura 3- 1:** Mapa de la división política del cantón Tena, Provincia de Napo.<sup>73</sup>

<sup>73</sup> "División política del cantón Tena"; [en línea]; <<http://www.oocities.org/regionamazonica/paginas/identidad/ide23.html>>; [Consulta: 14 de mayo de 2012].

### 3.1.1.7 Cuento y codificación de resultados

Una vez realizadas las encuestas, se procede a contabilizar y codificar los resultados mediante un análisis estadístico.

#### 3.1.1.7.1 Datos de la encuesta y análisis de resultados

##### 1. ¿Cuántas hectáreas siembra por cosecha?

Tabla 3- 1: Número de hectáreas sembradas

¿Cuántas hectáreas siembra por cosecha?		
	Frecuencia	Porcentaje
De 1 a 5 hectáreas	97	97,0
De 5 a 10 hectáreas	3	3,0
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100,0</b>

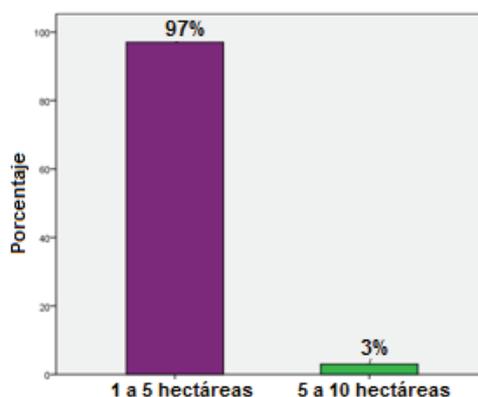


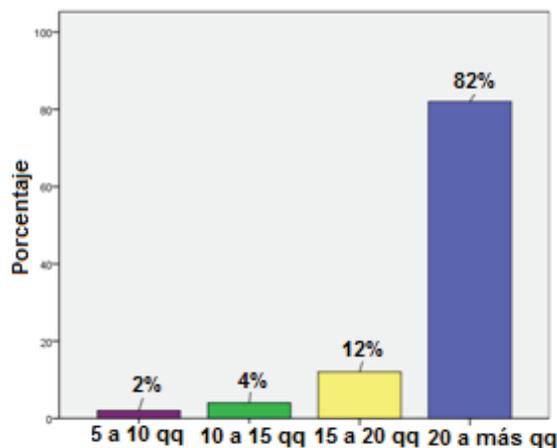
Gráfico 3- 1: Número de hectáreas sembradas

De acuerdo al estudio realizado, se determinó que la mayor cantidad de agricultores realizan su cultivo en un área de 1 a 5 hectáreas debido a que no son productores mayoritarios y la cantidad de terrenos aptos para el trabajo es reducida.

##### 2. ¿Cuántos quintales obtiene por cosecha por hectárea?

Tabla 3- 2: Quintales por cosecha por hectárea

¿Cuántos quintales obtiene por cosecha por hectárea?		
	Frecuencia	Porcentaje
De 5 a 10 qq	2	2,0
De 10 a 15 qq	4	4,0
De 15 a 20 qq	12	12,0
De 20 a más qq	82	82,0
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100,0</b>



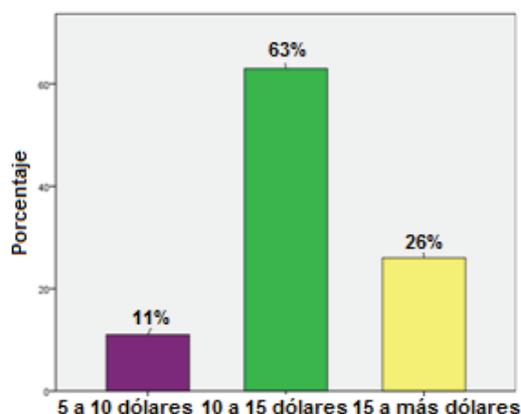
**Gráfico 3- 2:** Quintales por cosecha por hectárea

De acuerdo con los datos recopilados, se determina que la producción varía en cantidades superiores a los 20 quintales por hectárea. Sin embargo, existen cantidades de 20 a 40 quintales por hectárea cuando la siembra es artesanal y de 60 a 80 quintales al tratarse de una siembra tecnificada, en este caso, se realiza mediante el uso de la semilla tipo Trueno, entregada por el MAGAP y el uso de maquinaria agrícola.

### 3. ¿Cuál es el precio de maíz duro seco en el mercado local?

**Tabla 3- 3:** Precio del maíz en el mercado

¿Cuál es el precio de maíz duro seco en el mercado local?		
\$ / qq	Frecuencia	Porcentaje
5 a 10 dólares	11	11,0
10 a 15 dólares	63	63,0
15 a más dólares	26	26,0
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100,0</b>



**Gráfico 3- 3:** Precio del maíz en el mercado

En base a la respuesta obtenida, el valor del precio de maíz varía en un intervalo de 10 a 15 dólares por quintal, con una tendencia a los 12 y 13 dólares debido a que la calidad del maíz en la zona es baja. Por lo tanto no se comercializa en grandes cantidades.

#### 4. ¿En qué forma usted seca la producción de maíz?

Tabla 3- 4: Formas de secado del maíz

¿En qué forma usted seca la producción de maíz?		
	Frecuencia	Porcentaje
En la misma planta	57	57,0
En tendal	31	31,0
Con máquina secadora	12	12,0
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100,0</b>

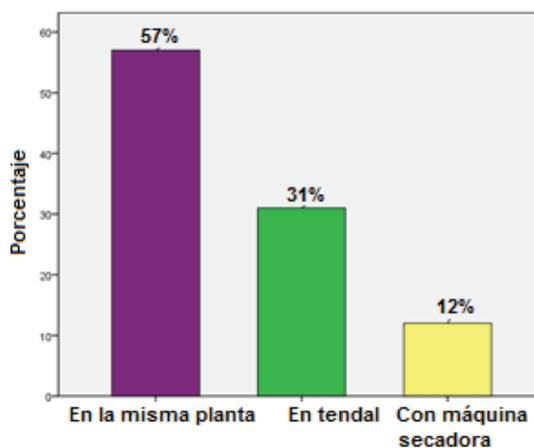


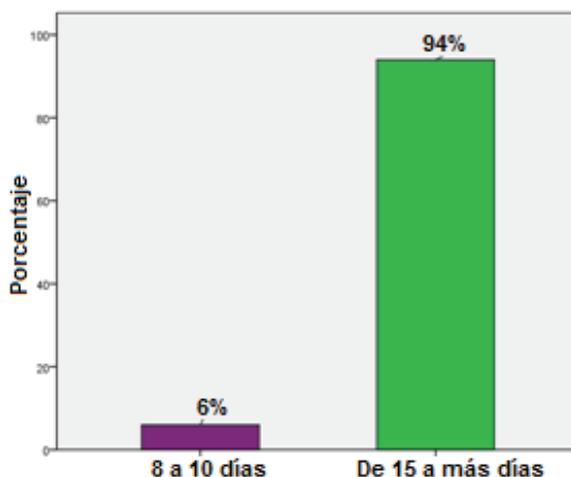
Gráfico 3- 4: Formas de secado del maíz

La mayoría de agricultores realiza el secado de los granos en la misma planta, debido a que no cuentan con una máquina secadora, el 31% de encuestados secan los granos utilizando la técnica del tendal, es decir, transportan el maíz cosechado del lugar de siembra a un sector aledaño a sus hogares y lo dejan secar al ambiente; sin embargo, un 12% de encuestados utilizan máquinas secadoras manuales y artesanales.

**5. ¿Cuánto tiempo usted necesita para volver a sembrar en el terreno cosechado?**

**Tabla 3- 5:** Tiempo de reposo del terreno

<b>¿Cuánto tiempo usted necesita para volver a sembrar en el terreno cosechado?</b>		
	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
8 a 15 días	6	6,0
De 15 a más	94	94,0
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100,0</b>



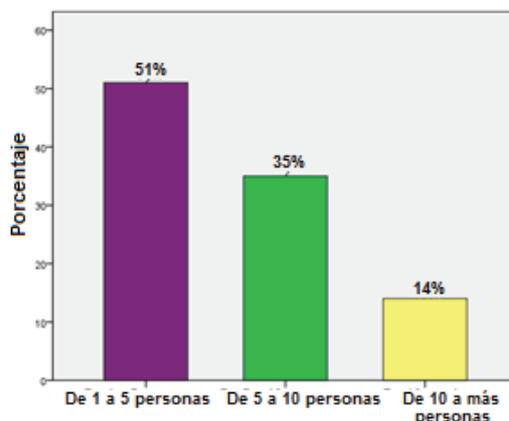
**Gráfico 3- 5:** Tiempo de reposo del terreno

Al realizar una siembra artesanal, la mayor cantidad de personas entrevistadas prefieren dejar un tiempo de reposo al suelo de 6 meses aproximadamente y así esperar a la siguiente temporada de siembra.

**6. ¿Cuántas personas necesitan para la cosecha del maíz por hectárea?**

**Tabla 3- 6:** Personal para la cosecha

<b>¿Cuántas personas necesitan para la cosecha del maíz por hectárea?</b>		
	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
De 1 a 5 personas	51	51,0
De 5 a 10 personas	35	35,0
De 10 a más personas	14	14,0
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100,0</b>



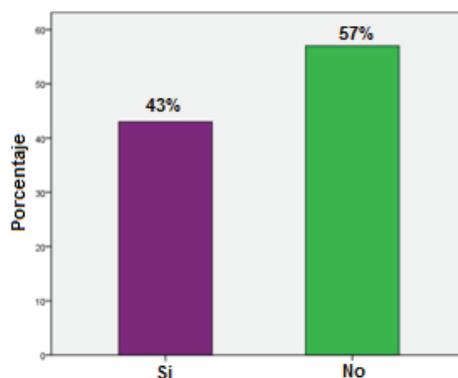
**Gráfico 3- 6:** Personal para la cosecha

Debido a que la cantidad de hectáreas sembradas se encuentra en un intervalo de 1 a 5, las personas utilizan de 1 a 5 trabajadores para la cosecha, los cuales en algunos casos son miembros de una misma familia. El 14% de encuestados, contrata un grupo de trabajadores para la cosecha que superan las 10 personas, ya que se realiza un contrato verbal por tarea realizada.

### **7. ¿Cuenta con electricidad en su lugar de trabajo y zonas aledañas a los terrenos de siembra?**

**Tabla 3- 7:** Servicio eléctrico

<b>¿Cuenta con electricidad en su lugar de trabajo y zonas aledañas a los terrenos de siembra?</b>		
	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Si	43	43,0
No	57	57,0
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100,0</b>



**Gráfico 3- 7:** Servicio eléctrico

De acuerdo con los resultados en la encuesta, las personas no cuentan con electricidad en los lugares en donde realizan la siembra del maíz, en contraste a

este resultado, dichas personas si cuentan con electricidad en la vivienda donde almacenan los granos antes de venderlo.

**8. ¿La electricidad con la que usted cuenta le permite trabajar con motores eléctricos?**

Tabla 3- 8: Usos de la energía

<b>¿La electricidad con la que usted cuenta le permite trabajar con motores eléctricos?</b>		
	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Si	13	13,0
No	87	87,0
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100,0</b>

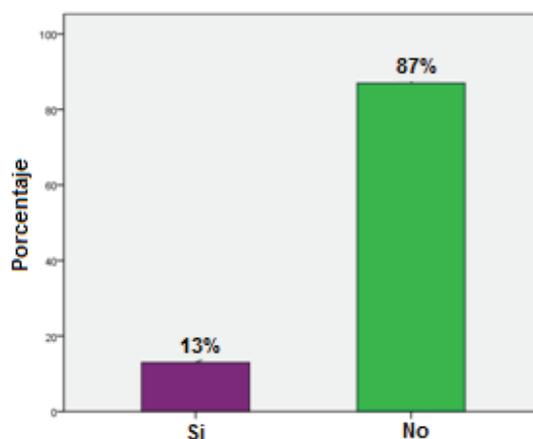


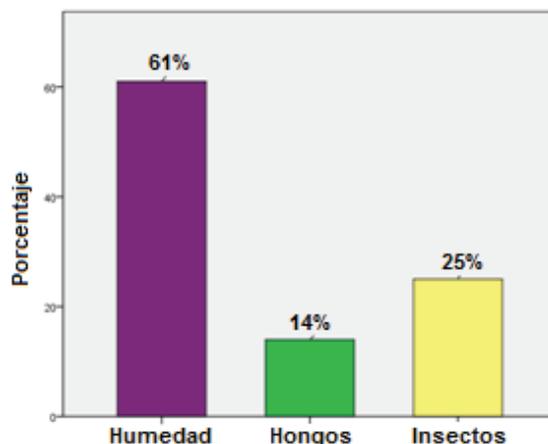
Gráfico 3- 8: Usos de la energía

Son muy pocos los agricultores que tienen un servicio eléctrico trifásico, es decir que es permisible trabajar con motores eléctricos, el servicio con el que cuentan es únicamente monofásico lo cual permite trabajar solo con energía de uso doméstico. Sin embargo un 13% cuenta con electricidad, quienes son dueños de máquinas secadoras artesanales.

**9. ¿Cuál es el problema más importante que afecta al maíz ya cosechado?**

Tabla 3- 9: Problemas en los granos de maíz

<b>¿Cuál es el problema más importante que afecta al maíz ya cosechado?</b>		
	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Humedad	61	61,0
Hongos	14	14,0
Insectos	25	25,0
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100,0</b>



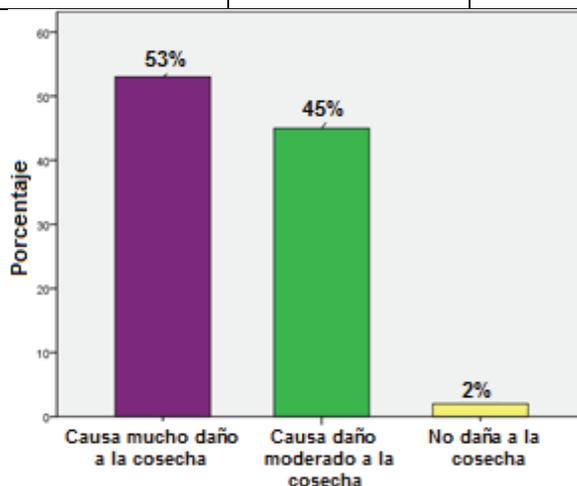
**Gráfico 3- 9:** Problemas en los granos de maíz

El problema más importante que afecta a la cosecha del maíz es la humedad debido a que el clima de la zona es cálido-húmedo, sin embargo también están los insectos y plagas entre ellos el gorgojo, que se alimentan de los granos disminuyendo la calidad del producto.

**10. En su opinión, de acuerdo a su respuesta en la pregunta anterior, este problema:**

**Tabla 3- 10:** Magnitud de los problemas en el maíz.

En su opinión, de acuerdo a su respuesta en la pregunta anterior, este problema:		
	Frecuencia	Porcentaje
Causa mucho daño a la cosecha	53	53,0
Causa daño moderado a la cosecha	45	45,0
No daña a la cosecha	2	2,0
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100,0</b>



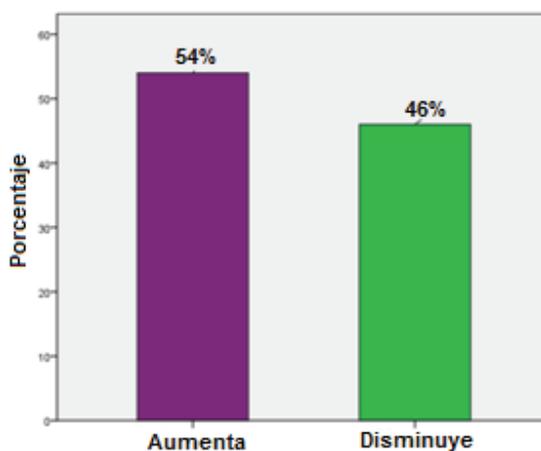
**Gráfico 3- 10:** Magnitud de los problemas en el maíz.

El mayor problema que afecta a los granos de maíz es la humedad, éste causa mucho daño a la cosecha, debido a que lo descompone y lo pudre, por lo que no es posible su comercialización y por ende el precio tiende a disminuir.

**11. En la última cosecha con respecto a cosechas anteriores, ¿el precio del maíz?**

**Tabla 3- 11:** Variación del precio del maíz

En la última cosecha con respecto a cosechas anteriores, ¿el precio del maíz?		
	Frecuencia	Porcentaje
Aumenta	54	54,0
Disminuye	46	46,0
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100,0</b>



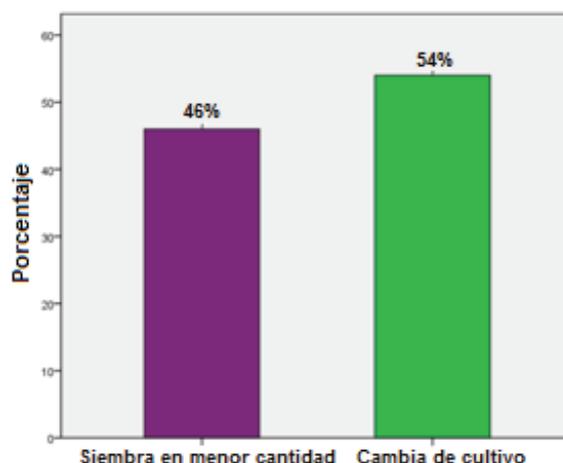
**Gráfico 3- 11:** Variación del precio del maíz

El precio de los quintales de maíz varía, en poca cantidad permaneciendo entre los 12 y 13 dólares de acuerdo con el análisis realizado en la pregunta 3 pp. 60.

**12. ¿En el caso de que el precio de maíz haya disminuido que acción toma usted?**

**Tabla 3- 12:** Acciones en contra de la disminución del precio del maíz

¿En el caso de que el precio de maíz haya disminuido que acción toma usted?		
	Frecuencia	Porcentaje
Siembra en menor cantidad	46	46,0
Cambia de cultivo	54	54,0
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100,0</b>



**Gráfico 3- 12:** Acciones en contra de la disminución del precio del maíz

Después de la cosecha y de acuerdo con la variación del precio del maíz, la mayor cantidad de personas prefieren cambiar de cultivo, debido a que el clima es un factor que afecta en gran cantidad, principalmente en invierno, por lo que la gente opta en sembrar otros productos, haciendo que los terrenos descansen para la nueva cosecha.

### **Conclusiones de las encuestas:**

- Después de un análisis general a todas las respuestas de las encuestas, se puede determinar que los parámetros de diseño que se va a tomar en consideración son: la capacidad, tipos de energía y forma de secado, están acorde a las necesidades y requerimientos de los agricultores y dueños de la producción de maíz
- Uno de los puntos fundamentales que necesita el proyecto son los aspectos relevantes al diseño, por lo tanto una pregunta importante para la encuesta es aquella que consulte a los productores las necesidades principales que ellos consideran para el proceso de secado de los granos de maíz.
- Después de la encuesta realizada y de los datos obtenidos sobre la producción de maíz duro seco en la zona se determinó la capacidad de la máquina para el secado, con un valor de 2000 kg debido a que la producción de maíz es de 20 quintales por hectárea.

## 3.2 FUNCIÓN DE DESPLIEGUE DE LA CALIDAD

La *Función de Despliegue de la Calidad* (Quality Function Deployment - QFD) o también conocida como **Casa de la Calidad**, es una representación gráfica para el diseño correcto de un producto (figura 3-2). Ésta herramienta permite entre otras cosas, entender mejor las prioridades de los clientes y buscar cómo responder de forma rápida y eficaz dichas necesidades.<sup>74</sup>

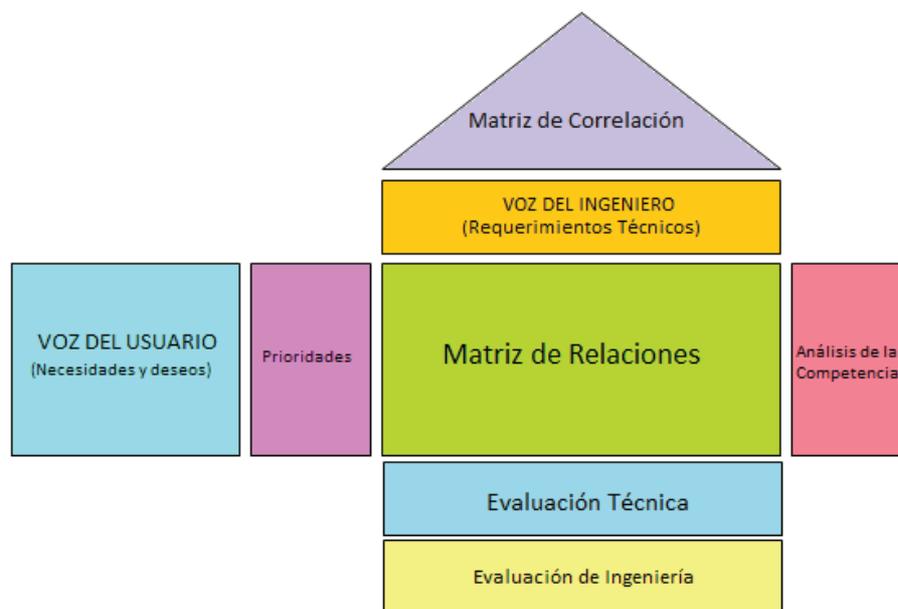


Figura 3- 2: Casa de la calidad <sup>75</sup>

### 3.2.1 VOZ DEL USUARIO

La voz del usuario representa la respuesta del “Qué”, el cual es necesario para el desarrollo del proyecto. Éstos normalmente se derivan de los requerimientos del cliente, también es conocido como la “Voz del Consumidor”. Desafortunadamente, los requerimientos del cliente son usualmente muy generales, vagos y difíciles de implantar de manera directa. Por lo tanto, se necesita una descripción más detallada.<sup>76</sup> Para llevar a cabo este primer paso, se recogen las ideas de los usuarios relacionados con la producción de maíz, obtenidos mediante las

<sup>74</sup> “Casa De La Calidad o Función de Despliegue de la Calidad (QFD)”; [en línea];

<[http://www.gestiondecualidadtotal.com/casa\\_de\\_la\\_calidad.html](http://www.gestiondecualidadtotal.com/casa_de_la_calidad.html)>; [Consulta: 14 de febrero de 2012].

<sup>75</sup> Carissa R.; “Procesos de Fabricación”; [en línea]; <<http://es.scribd.com/doc/77817786/35/Casa-de-la-Calidad>>; [Consulta: 20 de marzo de 2012]

<sup>76</sup> Dornberger U.; “Requerimientos de diseño”; [en línea]; Manual Quality Function Deployment (QFD) Para Servicios; pp. 8; <[http://www.in4in.net/fileadmin/user\\_upload/Downloads/Guia\\_QFD\\_Servicios.pdf](http://www.in4in.net/fileadmin/user_upload/Downloads/Guia_QFD_Servicios.pdf)>; [Consulta: 20 de marzo de 2012]

encuestas realizadas en la sección 3.1.1. pp. 56. A partir de la selección y la definición puntual de las ideas tomadas, se obtiene una lista con las demandas más importantes y su clasificación según la percepción de los usuarios.

**Tabla 3- 13:** Lista de las demandas del usuario para el diseño de la máquina

Nº	DEMANDA	CLASIFICACIÓN
1	Que seque el maíz	Básica
2	Que se reduzca la humedad en los granos de maíz	Unidimensional
3	Que tenga una capacidad de 2000 kg.	Básica
4	Que el proceso de secado sea semi-automático.	Estimulante
6	Que consuma poca cantidad de gas (GLP)	Básica
7	Que se requieran de 1 a 2 operarios para el trabajo.	Unidimensional
8	Que sea de fácil operación	Básica

### 3.2.2 ANÁLISIS DE LA COMPETENCIA<sup>77</sup>

- En la columna A, se realiza la evaluación del cumplimiento del producto a diseñar. Dado que el producto (la máquina de secado) aún no está diseñada, se fija un valor mínimo de 1 respecto a cada una de las demandas.

- En la columna B y C, se evalúan el cumplimiento de los productos de la competencia, para la cual se toman como referencias dos tipos de máquinas secadoras de maíz:

#### a) Máquina artesanal

Esta máquina fue construida por los agricultores del sector del Tena, debido a la necesidad que tienen de secar el maíz para la comercialización. En la zona son pocas las personas que cuentan con este sistema realizado en sus propias casas, los demás productores buscan otras alternativas de secado lo cual no garantiza un grado de humedad del grano aceptable para la venta. Las imágenes de las características de ésta máquina se detallan en la figura A-14 del ANEXO 9 pp. 286 - 288.

<sup>77</sup> Riba C.; "Diseño Concurrente"; Cataluña – España; 2002; pp. 179 y 180; [Consulta: 20 de marzo de 2012].

b) Máquina por catálogo

Esta máquina no se encuentra en el mercado local, sin embargo presenta características más eficientes para el secado, su capacidad es mucho mayor a la necesaria para la zona debido a que no se tiene una gran producción de maíz que esté acorde con este tipo de máquinas. El catálogo de esta máquina se encuentra en la figura A-15 del ANEXO 9 pp. 289-290.

.La evaluación para cada uno de los productos de las competencias, se lo realiza con valores de 1 como no muy eficiente a 5 como muy eficiente.

- En la columna D, se toma en consideración los objetivos de la máquina a cumplir con relación a las demandas de los clientes, para lo cual se fijó niveles que van desde 1 (poco importante) a 5 (muy importante).
- En la columna E, se evalúa el índice de mejora, que indica el grado de mejoramiento que los agricultores y dueños proponen para cada demanda, se evalúa mediante la siguiente fórmula:

$$E = \frac{D}{A} \geq 1 \quad (3-2)$$

- En la columna F, se trabaja con el factor de venta para cada demanda, se evalúa a partir de niveles de 1, 1.2, y 1.5; tomando como referencia que las demandas básicas son las que proporcionarían un máximo factor de venta.
- En la columna G, la importancia de cada función de la máquina es un ítem que se define en función de la percepción de los usuarios, para lo cual se aplica una ponderación de 1 (como poca importancia) a 5 (como muy importante).
- Finalmente en la columnas H e I, se establece una ponderación (columna G), y una ponderación porcentual (columna H) para cada una de las demandas del cliente, para lo cual, la ponderación se trabaja mediante la siguiente fórmula:

$$H = E * F * G \quad (3-3)$$

La ponderación porcentual es un porcentaje sobre el total de las demandas de los agricultores, las cuales tiene un número de 7.

**Nota:** Todos los datos de las columnas enumeradas desde la A hasta la I, dentro del análisis de la competencia, se encuentran tabuladas en la Casa de la Calidad en el ANEXO 10 pp. 291.

### 3.2.3 VOZ DEL INGENIERO

El siguiente paso después de completar la lista de requerimientos del cliente (los productores de maíz), es la definición del “¿Cómo?”. Para ello es necesario definir cómo cada requerimiento del cliente será satisfecho por el servicio.

**Tabla 3- 14:** Lista de las características técnicas

N°	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	COEFICIENTE/UNIDAD
1	Tolerancias mínimas de ajuste y holgura	<i>mm</i>
2	Resistencia a la fatiga	<i>Pa</i>
3	Frecuencia de vibración	<i>s<sup>-1</sup></i>
4	Peso de la máquina	<i>Kg</i>
5	Nivel de ruido	<i>dB</i>
6	Volumen de la máquina	<i>m<sup>3</sup></i>
7	Potencia del motor	<i>KW</i>
8	Tiempo de secado	<i>s</i>
9	Cantidad de calor	<i>Kcal</i>
10	Temperatura del aire	<i>°C</i>
11	Flujo de aire	$\frac{m^3}{s}$
12	Flujo volumétrico de granos	$\frac{m^3}{s}$
13	Altura del secador	<i>m</i>
14	Altura de la entrada de grano	<i>m</i>
15	Altura de la salida del grano	<i>m</i>

### 3.2.4 MATRIZ DE RELACIONES

Ésta matriz muestra las relaciones entre la voz del usuario y la del ingeniero. En este paso se analiza hasta qué punto se puede predecir el cumplimiento de las

demandas dadas por los agricultores, a partir de las características técnicas elegidas dadas por el ingeniero, para lo cual se establecen tres niveles: fuerte = 9, mediano = 3 y débil = 1 (simbolizados en la casa de la calidad, ANEXO 10 pp. 291, por un círculo con punto, un círculo y un triángulo respectivamente). En el caso de no existir relación se deja un espacio en blanco equivalente a cero.

### 3.2.5 EVALUACIÓN TÉCNICA

La evaluación técnica se realiza después de haber completado el cuadro de correlaciones, se evalúa la incidencia de cada una de las características técnicas. Para ello se calcula la incidencia para cada característica técnica en función del sumatorio de todos los valores de incidencia<sup>78</sup> por medio de la siguiente fórmula:

$$INCIDENCIA = \sum_{i=0}^n (Valoración\ correlación\ x\ Ponderación)_i \quad (3-4)$$

Los resultados obtenidos en la tabla de incidencias (ANEXO 10 pp. 291), permiten observar que 4 de las características técnicas establecidas poseen valores de incidencia altos, los mismos que forman un porcentaje 75.07% de la incidencia sobre la mejora del producto, por lo que en el momento del diseño se debe tomar en consideración para que cumplir con los objetivos planteados.

### 3.2.6 MATRIZ DE CORRELACIÓN

La matriz de correlación identifica qué requerimientos se apoyan entre sí y entre cuales existe conflicto de correlación. Las correlaciones positivas favorecen el desarrollo del servicio y las correlaciones negativas permiten identificar cuáles son las características de diseño más importantes para el servicio.<sup>79</sup> (ANEXO 10 pp. 291).

## 3.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS<sup>80</sup>

Las especificaciones técnicas son documentos, en los cuales se definen las normas, exigencias y procedimientos a ser empleados y aplicados en el desarrollo de un proyecto, en este caso para el desarrollo de máquina secadora de maíz.

<sup>78</sup> Riba C.; "Diseño Concurrente"; Cataluña – España; 2002; pp. 181. [Consulta: 20 de marzo de 2012]

<sup>79</sup> Dornberger U.; "Requerimientos de diseño"; [en línea]; Manual Quality Function Deployment (QFD) Para Servicios; pp. 24; <[http://www.in4in.net/fileadmin/user\\_upload/Downloads/Guia\\_QFD\\_Servicios.pdf](http://www.in4in.net/fileadmin/user_upload/Downloads/Guia_QFD_Servicios.pdf)>; [Consulta: 20 de marzo de 2012]

<sup>80</sup> Riba C.; "Diseño Concurrente"; Cataluña – España; 2002; pp. 85-88; [Consulta: 21 de marzo de 2012]

**Tabla 3- 15:** Especificaciones técnicas para la máquina secadora

DISEÑO		PRODUCTO		Fecha inicial	29/11/2011	
Guano R. Victoria	Rocha G. Alex	MÁQUINA SECADORA VERTICAL PARA MAÍZ CON UNA CAPACIDAD DE 2000 Kg		Última Revisión	29/04/2013	
				Página	1 / 1	
ESPECIFICACIONES						
CONCEPTO	FECHA	PROPONE	R/D	DESCRIPCIÓN		
Función	20/03/2013	C	R	Secar granos de maíz duro		
Dimensiones	20/03/2013	I	R	Capacidad para 2000 Kg.		
Movimiento	20/03/2013	I	R	Alimentación de granos en sentido vertical.		
		I	D	Realimentación de granos en sentido vertical		
Energía	20/03/2013	I	R	Energía eléctrica		
		I	MD	Accionamientos térmicos.		
Materiales	20/03/2013	C	R	Material de trabajo: granos de maíz duro		
Vida útil y mantenimiento	20/03/2013	C	D	Fácil montaje y desmontaje para mantenimiento y transporte		
		F + M	D	Garantía de 1 año		
SIMBOLOGÍA						
Propone	C= Cliente		I= Ingeniero	M= Marketing	F= Fabricación	
R/D	R= Requerimiento		MR= Modificación de Requerimiento		NR= Nuevo Requerimiento	
	D= Deseo		MD= Modificación de Deseo		ND= Nuevo Deseo	

### 3.4 MODULARIDAD DE UN PRODUCTO<sup>81</sup>

Los productos modulares son aquellos que están organizados según una estructura de diversos bloques constructivos, orientada a ordenar e implantar las distintas funciones y a facilitar las operaciones de composición del producto. Los bloques constructivos se llaman módulos, y su organización estructura modular.

<sup>81</sup>Riba C.; "Diseño Concurrente"; Cataluña – España; 2002; pp. 126 - 132. [Consulta: 20 de marzo de 2012]

### 3.4.1 CONCEPTOS

#### 3.4.1.1 Módulos funcionales

Son aquellos módulos que ayudan a organizar e implantar las funciones de un producto y que prestan una especial atención a la interfase de conexión y a los flujos de señales, de energía y de materiales con el entorno, por lo tanto, exigen un esfuerzo importante durante las etapas de definición y de diseño conceptual.

La función global de la máquina a ser diseñada se la ha definido como “Secar maíz duro” y su representación se la muestra a continuación:



**Gráfico 3- 13:** Función global de la máquina secadora de maíz

#### 3.4.1.2 Módulos constructivos

Son aquellos módulos que colaboran a implantar la fabricación, facilitan las tareas de planificación de la producción y disminuyen los costos. Por lo tanto, su implantación exige una especial atención en la elaboración de la estructura del proceso de fabricación y un esfuerzo concurrente de los responsables de ingeniería de fabricación desde las primeras etapas del proyecto.

### 3.4.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA MODULAR

El diseño de productos basados en una estructura modular requiere un esfuerzo adicional, especialmente en las etapas de definición y de diseño conceptual.

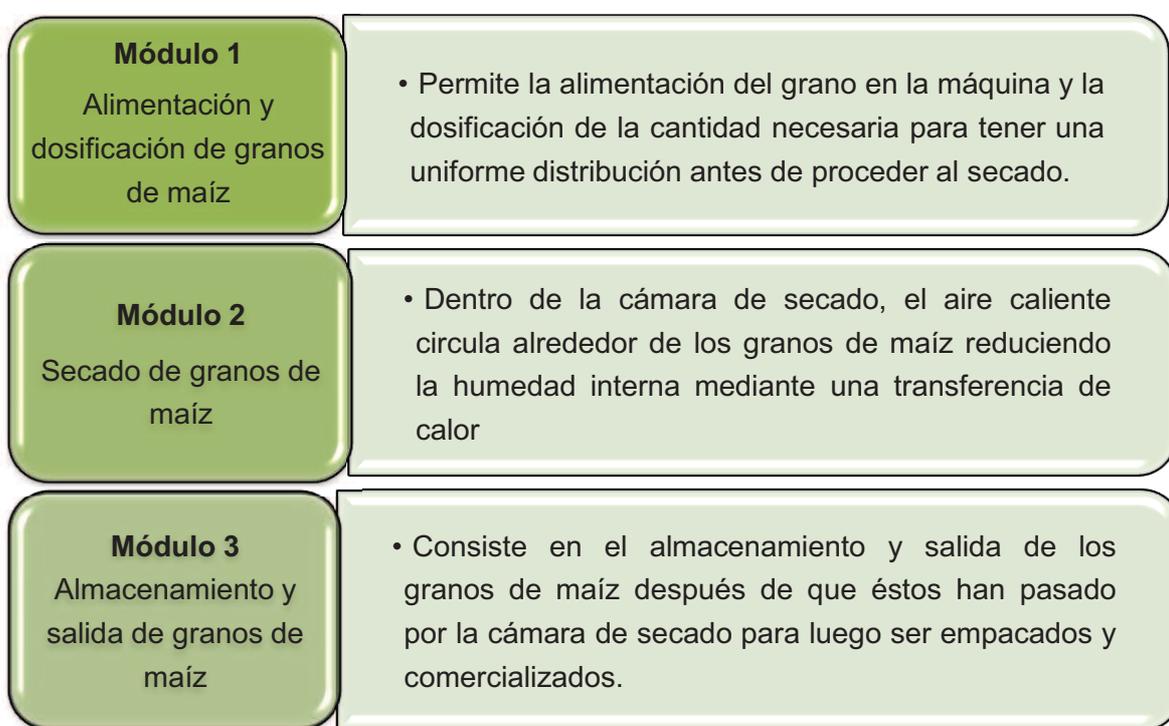
Las principales ventajas de la estructura modular para el fabricante y el usuario son:

- a) Facilita la división del proyecto y posibilita la realización del diseño de diferentes módulos, lo que permite acortar el tiempo total de diseño
- b) Facilita el montaje, ya que implica componentes bien definidos con interfases claramente establecidas

- c) Facilita la racionalización de gamas de productos al establecer módulos comunes y concentrar las opciones en módulos con variantes
- d) El mantenimiento es más sencillo, ya que simplifica la detección y el diagnóstico, se facilita el desmontaje y montaje y la puesta a punto es más fiable

### 3.4.2.1 Módulos de la máquina

A partir de las funciones y subfunciones establecidas se ha llegado a definir tres módulos de operación, en los que se agrupan las funciones y subfunciones enlistados en el gráfico 3-14.



**Gráfico 3- 14:** Módulos de la máquina a diseñar.

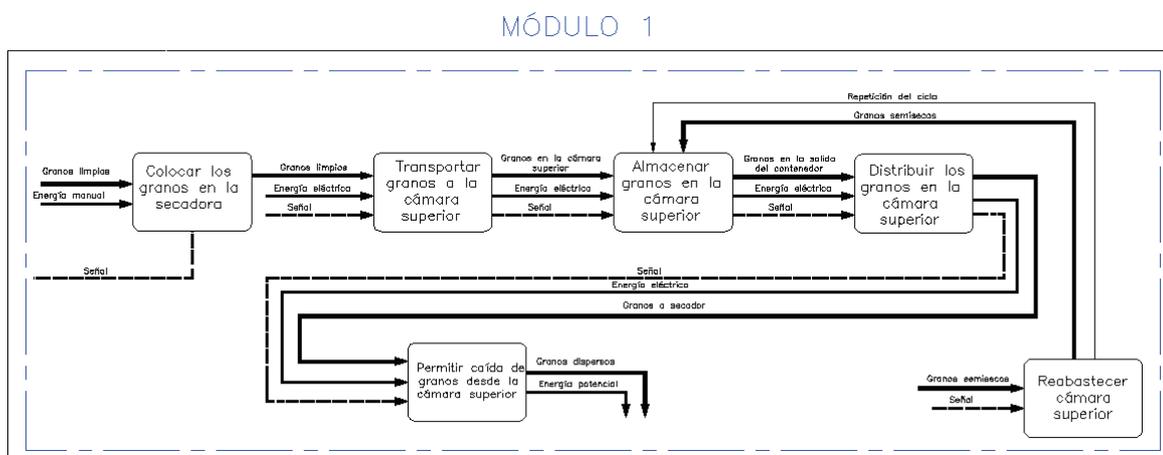
Los módulos para el diseño de la máquina secadora de maíz se encuentran en mayor detalle en el ANEXO 11 pp. 292.

### 3.4.2.2 Soluciones para cada Módulo

#### 3.4.2.2.1 Soluciones para las alternativas en el módulo 1.

Este módulo consta con las siguientes funciones:

**Gráfico 3- 15:** Módulo 1 de alimentación y dosificación de granos de maíz.



De acuerdo a las funciones que se realiza en el módulo 1, se proponen las siguientes soluciones, para luego ser combinadas y obtener diferentes opciones de alternativas para el diseño de éste módulo.

### 1) Colocar los granos en la secadora.

La entrada de los granos de maíz a la máquina debe ser mediante un elemento que permita la circulación rápida de los mismos, que sea de fácil y acorde con la estatura de los operarios. Existen varios elementos que permiten la entrada, entre ellos se tienen:

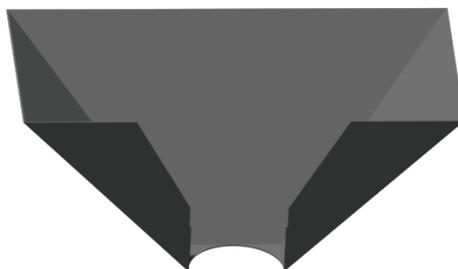
- *Uso de una tolva circular*



**Figura 3- 3:** Tolva circular

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Facilitar el transporte de los granos</li> <li>→ Posee un diseño sin ángulos ni recodos</li> <li>→ La caída del grano es directa y rápida</li> <li>→ Se la puede encontrar en el mercado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Se llena con facilidad y los granos pueden caer.</li> </ul>

- *Uso de una tolva rectangular*



**Figura 3- 4:** Tolva rectangular

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Mayor capacidad de almacenamiento.</li> <li>→ Permite recibir el producto desde cualquier sistema de distribución.</li> <li>→ El ingreso del grano es más rápido debido a su dimensión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Ocupa mucho espacio debido a que es de mayor tamaño</li> <li>→ Al ser más grande, abarca mayor cantidad de material, por lo que se necesita de una mayor fuerza para el movimiento de los granos.</li> <li>→ Es necesario su diseño y construcción de acuerdo a la necesidad.</li> </ul>

- *Ingreso de granos en forma manual.*

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ El operador controla la cantidad de granos para el ingreso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Pago adicional a una persona para abastecer el producto.</li> <li>→ Mucho trabajo físico por parte del operario.</li> <li>→ Mayor tiempo en el proceso.</li> </ul>

## 2) Transportar granos a la cámara superior.

Debido a que el diseño de la máquina es vertical, se presenta tres soluciones para realizar el ascenso de los granos hacia el secador.

- *Transporte neumático*

Éste sistema cuenta con un conjunto de tuberías, el primero son conductos rectangulares de gran tamaño que permiten la circulación de grandes cantidades

de granos de maíz desde la entrada hacia la cámara de almacenamiento. El segundo son tubos pequeños por los cuales circula el aire emitido por un ventilador centrífugo, el mismo que ejerce una presión de aire para que los granos puedan ascender.



Figura 3- 5: Transporte neumático de los granos de maíz

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Ascenso rápido de los granos a la cámara de almacenado.</li> <li>→ Control de la intensidad de entrada del aire a la máquina.</li> <li>→ Utiliza el aire como fluido de transporte y movimiento de los granos.</li> <li>→ Permite la circulación de grandes cantidades de maíz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Pérdidas de potencia al existir pérdidas del fluido (aire).</li> <li>→ Alto costo en la elaboración de la tubería para el transporte.</li> <li>→ El sistema es de gran tamaño, por lo que ocupa mucho espacio de trabajo.</li> </ul>

- *Transporte por medio de bandas*

En éste sistema se hace uso de unas bandas transportadoras, las mismas que mediante el uso de motor permiten el ascenso de los granos hacia la cámara de almacenado. Este sistema necesita de una inclinación especial para que los granos por motivo de la gravedad no tiendan a descender.

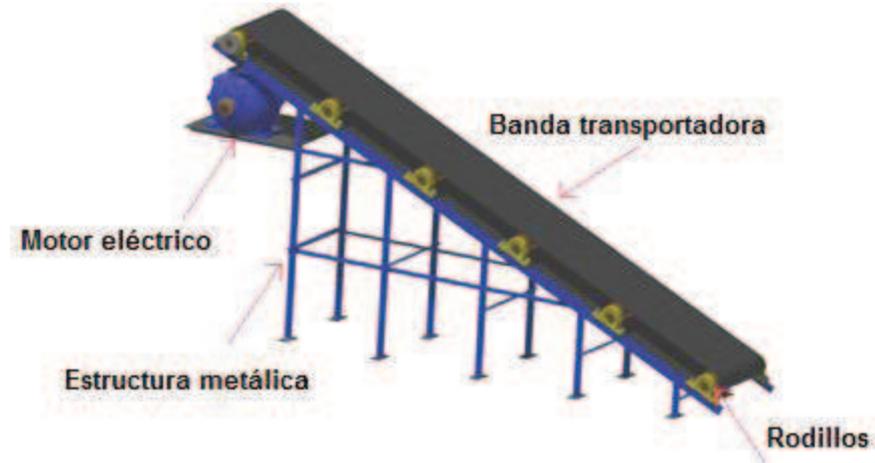


Figura 3- 6: Transporte por medio de bandas.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>→ Es más económico en relación a los otros sistemas.</p>	<p>→ Se necesita de mayor espacio de trabajo.</p> <p>→ La distribución de grano debe ser uniforme.</p> <p>→ Se debe determinar el grado de inclinación para que los granos no desciendan.</p>

- *Transporte por medio de un tornillo sin fin interno.*

Este sistema cuenta con un tornillo sin fin dentro la estructura de secado, la cual permite mediante su movimiento rotatorio el ascenso de los granos y a su vez su distribución directa hacia el contenedor en la cámara de secado.

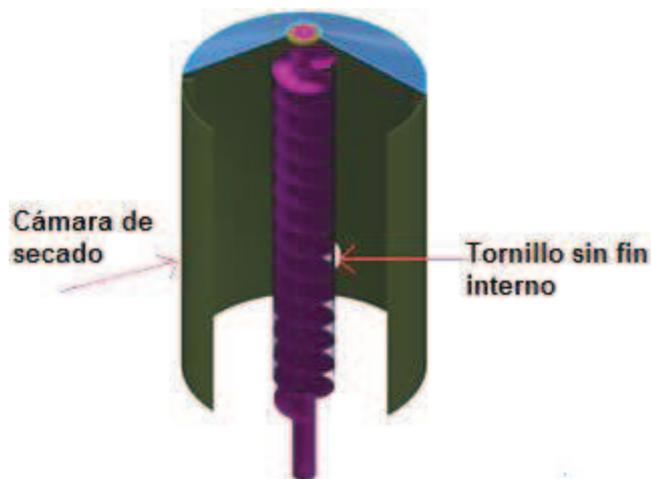
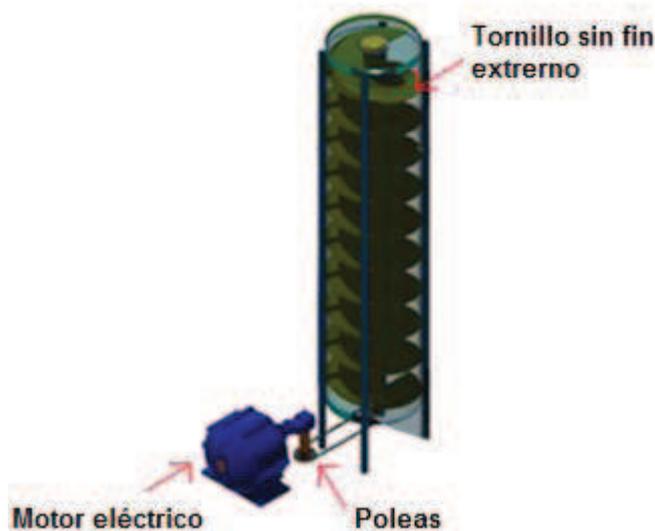


Figura 3- 7: Transporte por medio de un tornillo sin fin interno.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Caída directa de los granos hacia la cámara de secado.</li> <li>→ Ocupa menor espacio de trabajo debido a que está dentro del secador.</li> <li>→ Las pérdidas por potencia son pequeñas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Existe el peligro que los granos se muelan durante el proceso.</li> <li>→ Se tiene que diseñar y elaborar el tornillo sin fin y la cámara de secado.</li> </ul>

- *Transporte por medio de un tornillo sin fin externo.*

Este sistema cuenta con un tornillo sin fin en la parte exterior de la máquina secadora, el cual permite mediante su movimiento rotatorio el ascenso de los granos. Para este equipo es necesario un aditamento para que los granos puedan ingresar a la cámara de secado.



**Figura 3- 8:** Transporte por medio de un tornillo sin fin externo.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Ocupa menor espacio de trabajo debido a que es un transportador vertical.</li> <li>→ Las pérdidas por potencia son pequeñas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Existe el peligro que los granos se muelan durante el proceso.</li> <li>→ Se tiene que diseñar y elaborar el tornillo sin fin y la cámara de secado.</li> <li>→ La caída de los granos hacia la cámara de secado no es directa.</li> </ul>

### 3) Almacenar, distribuir y permitir caída de los granos desde la cámara superior

- *Distribución mediante una lámina inclinada con perforaciones*

Este sistema permite la caída del grano de manera uniforme debido a las perforaciones que posee, no necesita de una fuerza externa para su movimiento. Para este sistema se requiere que el ingreso de los granos tenga mayor fuerza para que se dé un auto distribución de los mismos hacia la cámara de secado.

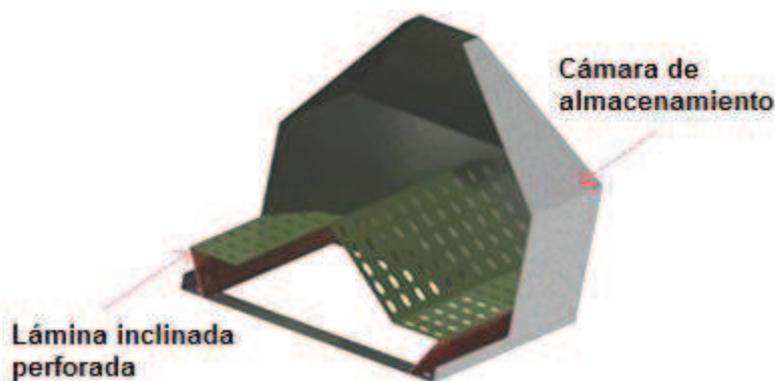


Figura 3- 9: Lámina inclinada con perforaciones.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Distribución de los granos uniforme a la cámara de secado.</li> <li>→ Caída rápida y directa de los granos.</li> <li>→ No necesita de agentes externos para su funcionamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Los granos se pueden quedar en los espacios donde no existan las perforaciones.</li> <li>→ No existe un control en la caída los granos hacia la cámara de secado.</li> <li>→ La fabricación de la misma presenta grados de complejidad debido a su forma.</li> </ul>

- *Distribuidora de eje vertical con paletas*

Los granos de maíz se distribuyen en un recipiente cilíndrico mediante la acción de paletas cuyo eje se encuentra dispuesto de manera vertical, las mismas que se mueven debido a un motor.

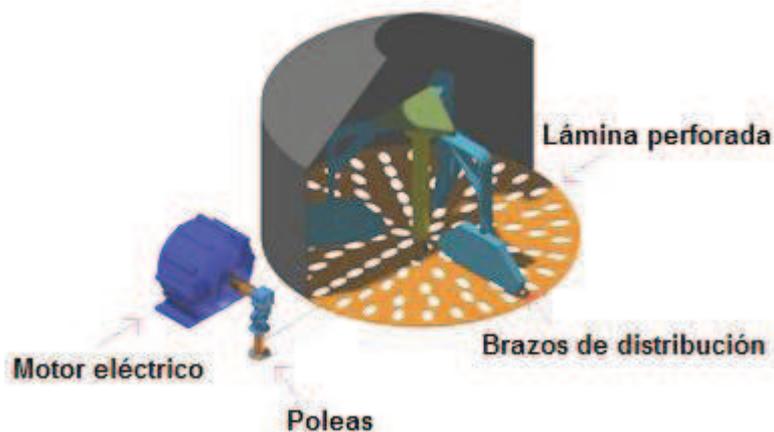


Figura 3- 10: Distribuidora de eje vertical con paletas

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Bajo desgaste en el recipiente y las aspas.</li> <li>→ Funcionamiento simple</li> <li>→ Mejor distribución de los granos en la secadora</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ La distribución de grano no es uniforme.</li> <li>→ Dificil mantenimiento por causa de daño de una de las aspas.</li> <li>→ Uso de energía eléctrica.</li> <li>→ Acumulación de granos en las paredes.</li> </ul>

- *Cámara circular*

La distribución de los granos hacia el compartimiento de secado se realiza en la parte interna de un cilindro hueco que permite que los granos fluyan libremente.



Figura 3- 11: Cámara circular

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Mejor distribución de los granos en el compartimiento.</li> <li>→ Caída uniforme de los granos.</li> <li>→ No existe acumulación de granos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Uso de mecanismo interno para la distribución de los granos</li> <li>→ Montaje con complicación.</li> </ul>

- *Distribución mediante una mesa vibradora*

Se realiza un movimiento vibratorio al conjunto de resortes, lámina perforada y un motor, el cual permita la distribución de los granos uniformemente hacia la cámara

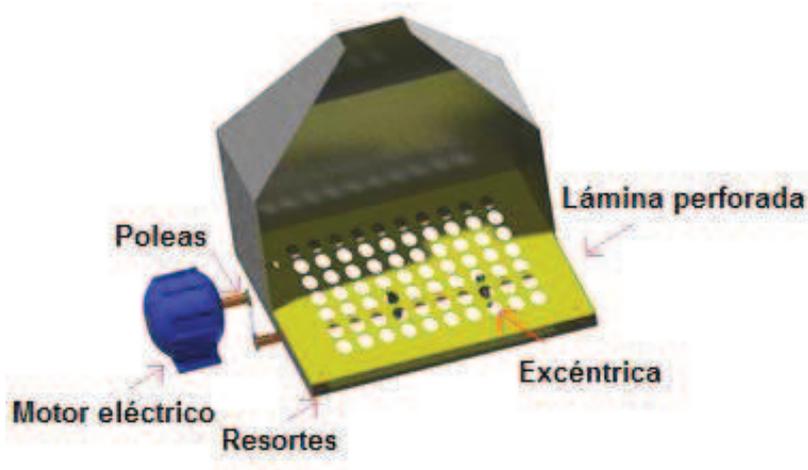


Figura 3- 12: Mesa vibradora.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Mejor distribución de los granos en el compartimiento.</li> <li>→ Caída uniforme de los granos.</li> <li>→ No existe acumulación de granos en compartimientos no perforados</li> <li>→ Control del movimiento para la caída de los granos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Es necesario otro elemento (motor) que permita la vibración del sistema.</li> <li>→ Uso de energía eléctrica.</li> <li>→ Montaje y fabricación con complicación.</li> </ul>

#### 4) Reabastecer granos a la cámara superior.

- *Reabastecimiento neumático*

De la misma forma que el sistema anterior de la pp. 78, se utiliza un sistema neumático con conductos rectangulares para el reabastecimiento de los granos de maíz y tubos pequeños por los cuales circula el aire emitido por un ventilador centrífugo.

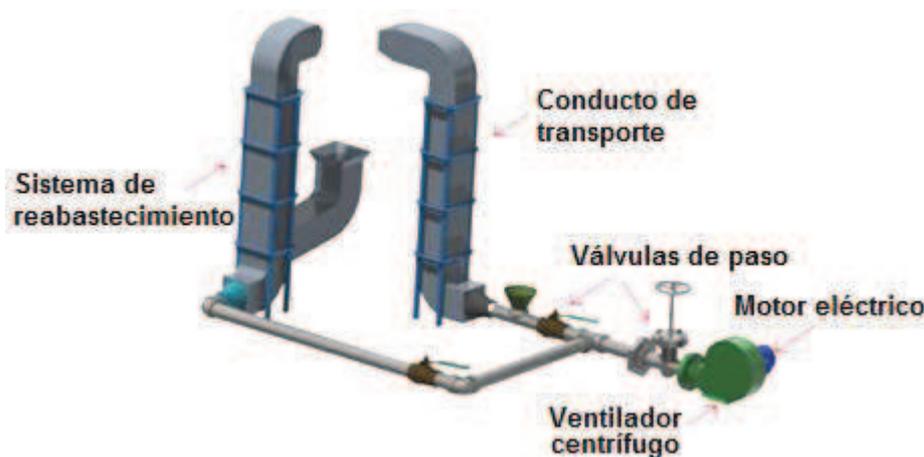


Figura 3- 13: Reabastecimiento neumático.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Ascenso rápido de los granos a la cámara de almacenado.</li> <li>→ Utiliza el aire como fluido de transporte y movimiento de los granos.</li> <li>→ Debido a su capacidad, permite la circulación de grandes cantidades de maíz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Alto costo en la elaboración de la tubería para el transporte.</li> <li>→ El sistema es de gran tamaño, por lo que ocupa mucho espacio de trabajo.</li> </ul>

- *Reabastecimiento por medio de bandas*

Se utiliza bandas transportadoras (ver pp. 79), tanto para el ingreso de los granos como para el reabastecimiento. Para este sistema es necesaria la intervención de un operario que deberá retirar los granos semi-húmedos y trasladarlos nuevamente hacia la banda para que se dé el proceso de realimentación.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
→ Su diseño y construcción es más económico en relación con los otros sistemas.	→ Se necesita de mayor espacio de trabajo. → Es necesario la intervención de un operador para volver a reabastecer los granos en la banda.

- *Reabastecimiento mediante un tornillo sin fin interno*

Este sistema cuenta con un tornillo sin fin dentro la estructura del secador, la cual permite mediante su movimiento rotatorio el ascenso y la realimentación de los granos con una distribución directa hacia el contenedor en la cámara de secado.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
→ Ocupa menor espacio de trabajo → Las pérdidas por potencia son pequeñas. → Reabastecimiento continuo.	→ Los granos se pueden moler durante el proceso. → Se diseña y elabora el tornillo sin fin y la cámara de secado.

- *Reabastecimiento mediante un tornillo sin fin externo*

Utiliza el mismo procedimiento que el sistema anterior (ver pp. 81), es decir, el uso de un tornillo sin fin para el ascenso de los granos hacia la cámara superior, en este caso para el reabastecimiento de los mismos. Cuenta con una salida en la parte superior y dos entradas en la parte inferior, una para la entrada y otra para el reabastecimiento de los granos.



Figura 3- 14: Reabastecimiento mediante un tornillo sin fin externo.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Mayor capacidad</li> <li>→ Ocupa menor espacio de trabajo.</li> <li>→ Las pérdidas por potencia son pequeñas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Existe el peligro que los granos se muelan durante el proceso.</li> <li>→ Se tiene que diseñar y elaborar el tornillo sin fin</li> <li>→ Costo elevado para su fabricación</li> <li>→ Mayor tiempo de trabajo</li> </ul>

### 3.4.2.2.2 Determinación de alternativas para el módulo 1

**Tabla 3- 16:** Alternativas para el módulo 1

FUNCIONES	SOLUCIONES			
Colocar los granos en la secadora.	Tolva circular	Manual	Tolva rectangular	
Transportar granos a la cámara superior.	Transporte neumático	Bandas transportadoras	Tornillo sin fin interno	Tornillo sin fin externo
Almacenar, distribuir y permitir caída de los granos desde la cámara superior.	Lámina inclinada con perforaciones	Distribuidora de eje vertical	Cámara cilíndrica	Mesa vibratoria
Reabastecer granos a la cámara superior.	Transporte neumático	Bandas transportadoras	Tornillo sin fin interno	Tornillo sin fin externo
<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>Alternativa 1A</b>	<b>Alternativa 1B</b>	<b>Alternativa 1C</b>	<b>Alternativa 1D</b>

### 3.4.2.2.3 Soluciones para las alternativas en el módulo 2.

Este módulo consta con las siguientes funciones:

## MÓDULO 2

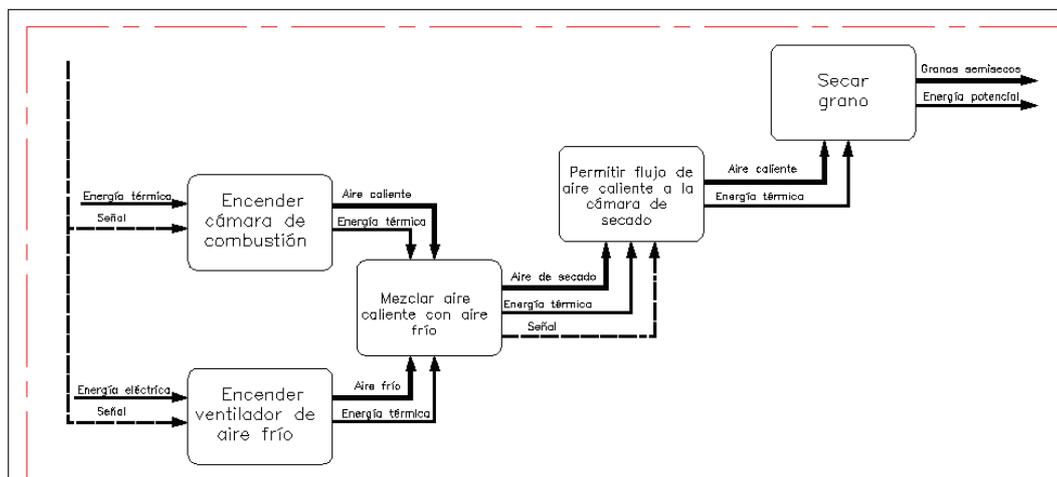


Gráfico 3- 16: Módulo 2 de secado de granos de maíz.

Para determinar la alternativa más adecuada para el sistema de trabajo del módulo 2, se ha determinado algunas soluciones, entre las cuales están:

### 1) Encender cámara de combustión.

- *Encendido por chispa eléctrica*

El sistema trabaja con una fuente de energía eléctrica, utiliza un botón pulsador que produce en el interior de la cámara, una chispa que la encienda directamente.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>→ Encendido más rápido.</p> <p>→ No es un sistema muy peligroso para el operario, debido a que llama se enciende después del contacto eléctrico.</p>	<p>→ Necesita una fuente de energía eléctrica para su encendido.</p>

- *Encendido por chispa con pila.*

El sistema utiliza como fuente de energía una batería o pila, para que mediante un botón pulsador se produzca en el interior una chispa que encienda directamente la cámara de combustión.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Encendido más rápido, por medio de un botón.</li> <li>→ Riesgo bajo.</li> <li>→ No usa energía eléctrica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Es necesario cambiar la batería después de algún tiempo.</li> </ul>

- *Encendido manual*

En este sistema, el operario es el encargado de llevar la flama hacia el interior la cámara de combustión para su encendido.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Se puede realizar el encendido varias veces.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Es de mucho peligro el encendido de la llama para el operario.</li> <li>→ Se necesita de un espacio cerrado para que el viento no apague la flama</li> </ul>

## 2) Inducción del aire caliente en la cámara de secado.

La entrada de aire caliente y de aire frío hacia la cámara de secado es muy importante ya que los granos no pueden estar sometidos a altas temperaturas debido que pueden llegar a romperse, es por eso que es necesario el flujo de aire frío para que regule la temperatura interna del grano y no exista daños.

- *Compresor*

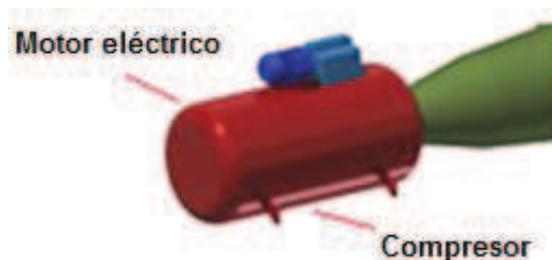


Figura 3- 15: Compresor

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Al inicio del funcionamiento necesita un tiempo de carga.</li> <li>→ Mantiene una reserva de aire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ En funcionamiento es muy ruidoso</li> <li>→ Utiliza energía eléctrica</li> </ul>

- *Ventilador centrífugo*

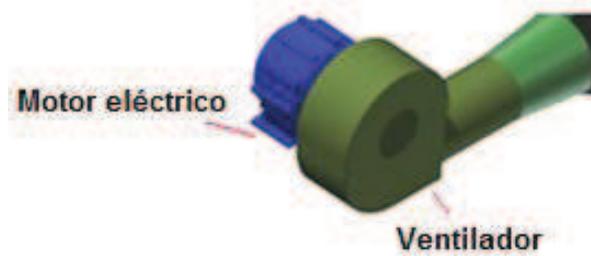


Figura 3- 16: Ventilador centrífugo

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Su precio es menor.</li> <li>→ Se puede conseguir con facilidad en el mercado</li> <li>→ Posee una facilidad para la regulación de aire</li> <li>→ Proporcionan mayores presiones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Sus geometrías son limitadas.</li> <li>→ Posee caudales bajos.</li> </ul>

- *Motor eléctrico y aletas*



Figura 3- 17: Motor con aletas

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Posee mayor vida útil</li> <li>→ Fácil mantenimiento</li> <li>→ Proporciona elevados caudales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Mayor precio</li> <li>→ Al dañarse alguna aleta es necesario comprar uno nuevo o diseñar una aleta nueva</li> </ul>

### 3) Cámara de secado

La cámara de secado es un sistema muy importante, ya que de su forma depende que los granos distribuyan de manera uniforme su humedad interna y así se realice el proceso de secado de los mismos.

- *Secador por placas perforadas*

Este sistema cuenta con unas placas perforadas, colocadas en forma inclinada y alternadas dentro del secador. Posee dos entradas de aire, una superior para el aire caliente y la inferior para el aire frío.

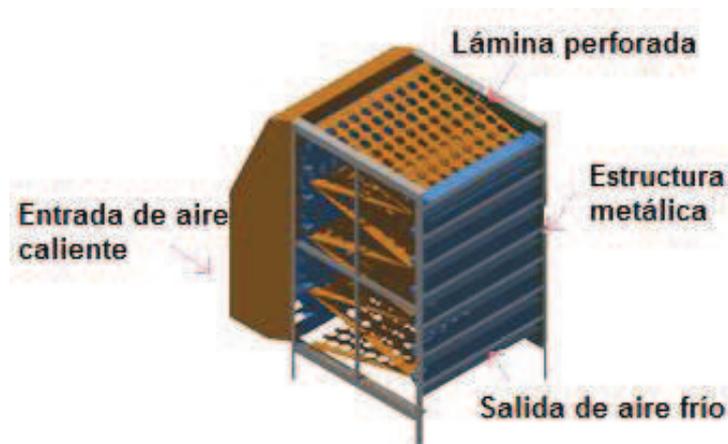


Figura 3- 18: Secador de caballetes

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ No ocupa mucho espacio de trabajo.</li> <li>→ La caída del grano es libre.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Caída de los granos más lento.</li> <li>→ Los granos se pueden almacenar en los lugares donde no exista perforaciones.</li> <li>→ Difícil mantenimiento.</li> </ul>

- *Secador cilíndrico de caballetes*

Este tipo de secador por su forma cilíndrica no ocupa mucho espacio de trabajo. Su interior está dividido en dos compartimentos, por la parte posterior se realiza el ingreso de aire caliente y el lado opuesto permite la salida del mismo y el ingreso del aire frío.

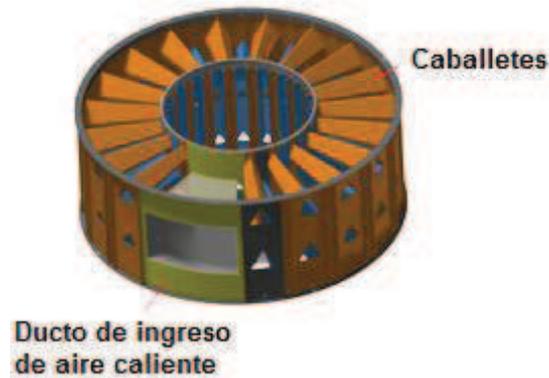


Figura 3- 19: Secador cilíndrico

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>→ Al ser un secador cilíndrico ocupa menos espacio de trabajo.</p> <p>→ La caída del grano es libre por lo que en su interior se encuentra caballetes que permiten la caída sin contratiempos.</p> <p>→ El aire caliente y frío es distribuido en igual proporción a todos los granos durante la caída.</p>	<p>→ Al tener un partimiento hueco ocupa menos espacio para el secado de los granos por una distribución no uniforme de los mismos.</p> <p>→ Difícil mantenimiento.</p>

- *Secador de caballetes*

El secador de caballetes posee una forma rectangular, en su interior cuenta con tiras triangulares colocadas en forma horizontal para la caída de granos. Posee dos compartimientos, la parte superior donde para el ingreso de aire caliente y la parte inferior donde ingresa el aire frío para regular la temperatura de los granos.

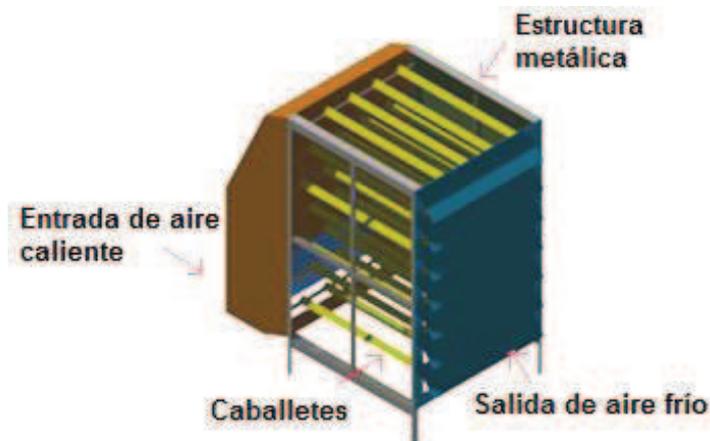


Figura 3- 20: Secador de caballetes

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ La caída del grano es libre.</li> <li>→ La distribución de los granos es uniforme</li> <li>→ Fácil mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ La caída de los granos es muy rápida por lo que sería necesario realizar una retroalimentación, para que puedan perder humedad.</li> </ul>

#### 3.4.2.2.4 Determinación de alternativas para el módulo 2

Tabla 3- 17: Alternativas para el módulo 2

FUNCIONES	SOLUCIONES		
Encender cámara de combustión	Encendido por chispa eléctrica (CC)	Encendido por chispa con pila (CA)	Encendido manual
Mezclar aire frío con aire caliente	Compresor	Ventilador centrífugo	Motor eléctrico y aletas
Cámara de secado	Secador de placas perforadas	Secador cilíndrico de caballetes	Secador de caballetes
ALTERNATIVAS	<b>Alternativa 2A</b>	<b>Alternativa 2B</b>	<b>Alternativa 2C</b>

#### 3.4.2.2.5 Soluciones para el módulo 3.

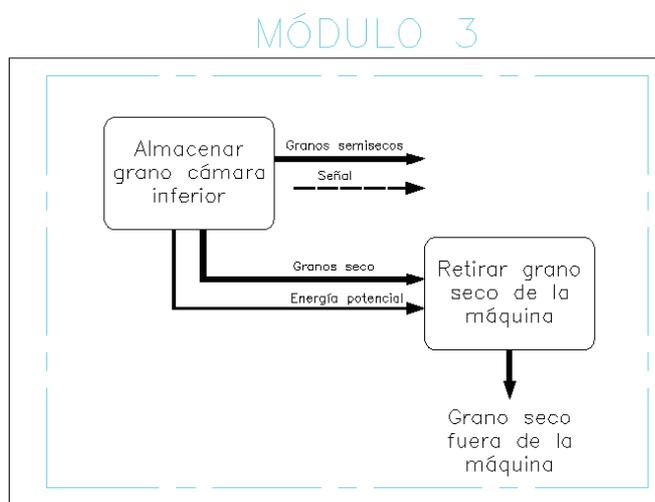


Gráfico 3- 17: Módulo 3 de almacenamiento y salida de granos de maíz

Dado que el módulo 3 no presenta alternativas para las funciones, se realiza una única solución, el mismo que consiste en una cámara rectangular para la caída de los granos, y en la parte inferior dos compuertas para el reabastecimiento cuando el grano este semi-húmedo conectada directamente con las tuberías de realimentación y la otra directo para ser empacado después de estar completamente seco.

### 3.4.3 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Para la selección de alternativas se van a considerar los parámetros obtenidos en las especificaciones técnicas descritos en la tabla 3-15 pp. 73, que ayudarán a la selección de los sistemas para el diseño y fabricación de la máquina, y serán evaluadas por el método ordinal corregido de criterios ponderados.

#### 3.4.3.1 Método ordinal corregido de criterios ponderados<sup>82</sup>

Para decidir entre algunas soluciones basta conocer el orden de preferencia de su evaluación global, es por ello, que se utiliza el método ordinal corregido de criterios ponderados, que sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio permite obtener resultados globales suficientemente significativos.

Se basa en un análisis tabulado, donde cada criterio (o solución, para un determinado criterio) se confronta con los restantes criterios (o soluciones) y se asignan los valores siguientes:

- 1 = Si el criterio de las filas es superior (o mejor;  $>$ ) que el de las columnas
- 0,5 = Si el criterio de las filas es equivalente ( $=$ ) al de las columnas
- 0 = Si el criterio de las filas es inferior (o peor;  $<$ ) que el de las columnas

Luego, para cada criterio (o solución), se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios (o soluciones) al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio (o solución).

---

<sup>82</sup> Riba C.; "Diseño Concurrente"; Cataluña – España; 2002; pp. 59-62; [Consulta: 20 de marzo de 2012].

Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio.

#### *3.4.3.1.1 Método de residuos ponderados para el módulo 1*

Dado que el módulo 1 está encargado del ingreso, transporte, reabastecimiento y salida de los granos de maíz dentro de la cámara de secado, se ha determinado factores de evaluación para su funcionamiento, que son:

**Capacidad:** debe soportar y transportar 2000 kg de granos de maíz hacia la cámara de secado y permitir que los granos fluyan libremente.

**Peso:** estos sistemas no deben ser pesados, debido a que los lugares de secado no son en el mismo lugar en donde se realiza la cosecha, por lo que deben permitir su transporte de un lugar a otro.

**Tamaño:** al tomar en cuenta que el lugar de trabajo no es muy amplio y que los agricultores cuentan con pequeñas hectáreas para el secado, se debe tomar en cuenta que el sistema se adapte y principalmente ocupe el menor espacio posible.

**Precio:** la instalación de estos sistemas no debe ser costosa, debido a que hay que tomar en cuenta que también existen otros elementos de la máquina que son de mayor importancia debido a la función que ejercen y en donde se debe poner mayor atención.

**Potencia:** debido a que la máquina secadora es de forma vertical, los granos necesitan un medio para poder subir, por lo que cada máquina deberá aplicar la potencia necesaria para la realización de este movimiento.

Teniendo en cuenta la importancia de cada uno de los factores para las distintas alternativas que se dan para la realización del módulo 1, se realiza los siguientes cálculos para determinar cuál es la mejor solución para el desarrollo de máquina.

- **Evaluación del peso específico de cada criterio**

La capacidad y el tamaño de la máquina tienen una relación semejante debido a que si aumenta la capacidad para el almacenamiento por causa de una mayor

cantidad de granos pues directamente aumenta el tamaño para una mejor distribución de los mismos. Adicionalmente, ya que el módulo 1 está relacionado con el movimiento de los granos, pues es necesario tomar en consideración la potencia la máquina que depende de los dos primeros factores antes mencionados. El peso no es un factor de mayor importancia ya que éste varía de acuerdo al material a utilizar en la construcción del sistema. Finalmente el precio es el factor final debido a que depende de los factores anteriores, ya que dará un valor numérico a todo el conjunto de la máquina de secado. Por lo tanto se tiene:

$$\text{Capacidad} = \text{Tamaño} > \text{Potencia} > \text{Peso} > \text{Precio}$$

CRITERIO	Capacidad	Tamaño	Potencia	Peso	Precio	$\Sigma + 1$	PONDERACIÓN
Capacidad		0,5	1	1	1	4,5	0,30
Tamaño	0,5		1	1	1	4,5	0,30
Potencia	0	0		1	1	3	0,20
Peso	0	0	0		1	2	0,13
Precio	0	0	0	0		1	0,07
					<b>SUMA</b>	<b>15</b>	<b>1,0</b>

- Evaluación del peso específico del criterio **capacidad**.

Para la evaluación de la capacidad de los sistemas para transporte de granos se determina que los tornillos sin fin poseen mayor capacidad para transportar debido a que traslada el producto en grandes cantidades y de manera continua, el sistema de bandas permite el ascenso en menor cantidad y finalmente el sistema neumático que no permite el transporte de grandes proporciones. Por lo tanto, evaluando el sistema de mayor a menor capacidad se tiene:

$$\text{Alternativas: } 1C = 1D > 1B > 1A$$

CRITERIO	1A	1B	1C	1D	$\Sigma + 1$	PONDERACIÓN
1A		0	0	0	1	0,1
1B	1		0	0	2	0,2
1C	1	1		0,5	3,5	0,35
1D	1	1	0,5		3,5	0,35
				<b>SUMA</b>	<b>10</b>	<b>1,0</b>

- Evaluación del peso específico del criterio **tamaño**

En orden de mayor a menor en relación al espacio de trabajo que ocupa cada sistema, se tiene que la banda transportadora ocupa mayor espacio de trabajo debido a que necesita una inclinación para que la carga no tienda a deslizarse, seguido del sistema neumático que por causa de las tuberías es muy extenso, el tornillo sin fin externo no ocupa espacio en comparación con los otros dos debido a su forma, finalmente el tornillo sin fin interno es la mejor solución ya que está dentro de la cámara secadora, reduciendo el área de trabajo y facilitando el movimiento de los operarios.

Dado que uno de los objetivos de la máquina a diseñar, es reducir el espacio de trabajo se evalúan a los sistemas de menor tamaño como más importante, por lo tanto:

Alternativas: 1C > 1D > 1A > 1B

CRITERIO	1A	1B	1C	1D	$\Sigma + 1$	PONDERACIÓN
1A		1	0	0	2	0,2
1B	0		0	0	1	0,1
1C	1	1		1	4	0,4
1D	0	1	1		3	0,3
				<b>SUMA</b>	<b>10</b>	<b>1,0</b>

- Evaluación del peso específico del criterio **potencia**.

Para la evaluación de los sistemas de acuerdo a su potencia, los tornillos sin fin generan mayor potencia debido a que transportan mayor cantidad de granos, en segundo lugar la banda transportadora ya que traslada cierta cantidad de granos y finalmente el sistema neumático debido a su sistema de tuberías limita el flujo abundante de granos.

Es por ello, que el sistema de mejor potencia será el más importante para la evaluación, por lo tanto:

Alternativas: 1C = 1D > 1B > 1A

CRITERIO	1A	1B	1C	1D	$\Sigma + 1$	PONDERACIÓN
1A		0	0	0	1	0,1
1B	1		0	0	2	0,2
1C	1	1		0,5	3,5	0,35
1D	1	1	0,5		3,5	0,35
				<b>SUMA</b>	<b>10</b>	<b>1,0</b>

- Evaluación del peso específico del criterio **peso**.

En comparación desde el sistema más pesado hasta el menos pesado en cada sistema se tiene que el sistema neumático tiene mayor peso que los demás debido a su sistema de tuberías lo cual es muy extenso, los tornillos sin fin externo e interno poseen el mismo peso sin embargo son más livianos que las tuberías, finalmente la banda transportadora debido a su estructura es liviana ya que únicamente cuenta con los ejes y la banda. Para la evaluación se considera como la alternativa más importante al sistema de menor peso, por lo tanto:

Alternativas:      1A   >   1C   =   1D   >   1B

CRITERIO	1A	1B	1C	1D	$\Sigma + 1$	PONDERACIÓN
1A		1	1	1	4	0,4
1B	0		0	0	1	0,1
1C	0	1		0,5	2,5	0,25
1D	0	1	0,5		2,5	0,25
				<b>SUMA</b>	<b>10</b>	<b>1,0</b>

- Evaluación del peso específico del criterio **precio**.

El precio es un factor importante para la evaluación de los sistemas, por lo tanto el sistema que posee mayor precio en su diseño es el transporte neumático debido a su complejidad en su conjunto de tuberías y válvulas, seguido de la banda transportadora que por su sistema de bandas, ejes y estructura tiene un precio menor que el sistema neumático; lo tornillos sin fin son más económicos, sin embargo el tornillo externo tiene un precio mayor que el interno ya que éste necesita de elementos adicionales para el ingreso de los granos a la cámara de

secado. Evaluando los sistemas desde el más económico hasta el más caro para el diseño, se tiene.

Alternativas: 1C > 1D > 1B > 1A

CRITERIO	1A	1B	1C	1D	$\Sigma + 1$	PONDERACIÓN
1A		0	0	0	1	0,1
1B	1		0	0	2	0,2
1C	1	1		1	4	0,4
1D	1	1	0		3	0,3
				<b>SUMA</b>	<b>10</b>	<b>1,0</b>

- Tabla de conclusiones

Después del análisis de los factores de evaluación expuestos para determinar la mejor alternativa para el módulo 1, se realiza el producto entre los valores de la ponderación de la tabla de evaluación del peso específico de cada criterio en general con los valores de evaluación del peso específico de cada criterio individualmente, obteniendo así la tabla de conclusiones:

CONCLUSIÓN	Capacidad	Tamaño	Potencia	Peso	Precio	$\Sigma$	PRIORIDAD
1A	0,03	0,06	0,02	0,052	0,006	0,168	3
1B	0,06	0,03	0,04	0,013	0,012	0,155	4
1C	0,105	0,12	0,07	0,0325	0,024	0,351	<b>1</b>
1D	0,105	0,09	0,07	0,0325	0,018	0,315	2

Después de la evaluación planteada, se determina que la solución más adecuada para este módulo es la **alternativa 1C**, debido a que cumple con las necesidades que se requiere y presenta mayor eficiencia para el trabajo.



**Figura 3- 21:** Solución 1C, para el módulo 1

#### *3.4.3.1.2 Método de residuos ponderados para el módulo 2*

El módulo 2 cumple con las funciones de encendido de la cámara de combustión, mezcla del aire caliente con el frío y la generación de calor dentro de la cámara de secado, es por eso que se ha determinado factores de evaluación para su óptimo funcionamiento:

**Seguridad:** Es muy importante tener en cuenta el cuidar la integridad de los operarios debido a que se trabajará con altas temperaturas, por esta razón se debe evitar cualquier fallo o accidente que perjudique la vida tanto de los operarios como de las personas de los alrededores.

**Fiabilidad:** el grado de rendimiento de los equipos debe ser alto para tener menor necesidad de intervención de los operarios para evitar paros imprevistos

**Tiempo:** es un factor importante, ya que de él depende que el ciclo de secado de los granos se realice en mayor o menor tiempo y de igual manera la retroalimentación.

**Temperatura:** el ingreso de aire caliente y frío debe ser controlado para que no existan daños en el interior de los granos y para que alcancen la humedad adecuada.

**Costo:** debido a que son sistemas de funcionamiento fuerte, se debe tomar en consideración cuál de ellas presenta la factibilidad de un costo adecuado para el usuario.

Teniendo en cuenta la importancia de cada uno de los factores para las tres alternativas presentadas para del módulo 2, se realiza los siguientes cálculos para determinar cuál de éstas es la mejor solución para el diseño y desarrollo de la máquina a realizar.

- Evaluación del peso específico de cada criterio

La seguridad y la fiabilidad son dos factores muy importantes para la evaluación de una máquina, es por eso que en una evaluación de mayor a menor importancia estos están en primer y segundo lugar. El tiempo es un factor importante dado a que el sistema a diseñar depende de la temperatura de secado pues puede reducirse o alargarse dependiendo de las circunstancias. Y finalmente el factor es el costo, el mismo que no debe representar valores excesivos, ya que deben ser accesibles para el diseño.

Seguridad = Fiabilidad > Tiempo > Costo

CRITERIO	Seguridad	Fiabilidad	Tiempo	Costo	$\Sigma + 1$	PONDERACIÓN
Seguridad		0,5	1	1	3,5	0,35
Fiabilidad	0,5		1	1	3,5	0,35
Tiempo	0	0		1	2	0,2
Costo	0	0	0		1	0,1
				<b>SUMA</b>	<b>10</b>	<b>1,0</b>

- Evaluación del peso específico del criterio **seguridad**.

Dado que la seguridad es un factor importante en el desarrollo de una máquina, se toma al sistema de la alternativa 2B como la más segura para ser manipulada por los operadores, en segundo plano la alternativa 2A ya que su encendido por chispa puede causar problemas y en tercer lugar la alternativa 2C ya que su trabajo de encendido es manual y puede ser peligroso.

Alternativas:                    2B > 2A > 1C

CRITERIO	2A	2B	2C	$\Sigma + 1$	PONDERACIÓN
2A		0	1	2	0,33
2B	1		1	3	0,5
2C	0	0		1	0,17
			<b>SUMA</b>	<b>6</b>	<b>1,0</b>

- Evaluación del peso específico del criterio **fiabilidad**.

Como se mencionó anteriormente la fiabilidad y la seguridad que presente la máquina es importante para su operación por lo que se tiene que las alternativas 2A y 2B presentan una fiabilidad mayor en comparación con la alternativa 2C, ya que se trata de que la intervención de los usuarios sea mínima y esta alternativa necesita del encendido personal.

Alternativas:                    2A = 2B > 2C

CRITERIO	2A	2B	2C	$\Sigma + 1$	PONDERACIÓN
2A		0,5	1	2,5	0,416
2B	0,5		1	2,5	0,416
2C	0	0		1	0,176
			<b>SUMA</b>	<b>6</b>	<b>1,0</b>

- Evaluación del peso específico del criterio **tiempo**.

Dado que el tiempo de secado es un factor importante, se tiene que la alternativa 2B permite un secado más rápido ya que su encendido es por chispa y la caída de los granos por los caballetes permite un flujo continuo para un mejor secado, la alternativa 2C que de igual manera posee un sistema de caballetes permite un

secado continuo pero su encendido conforme más tiempo que el de chispa, en tercer lugar la alternativa 2A que con encendido de chispa consume más tiempo de secado debido al uso de placas perforadas ya que por ellas no circula en forma rápida los granos por lo que se tiene:

Alternativas:                    2B > 2C > 2A

CRITERIO	2A	2B	2C	$\Sigma + 1$	PONDERACIÓN
2A		0	0	1	0,17
2B	1		1	3	0,5
2C	1	0		2	0,33
			<b>SUMA</b>	<b>6</b>	<b>1,0</b>

- Evaluación del peso específico del criterio **costo**.

El sistema de mayor costo es la alternativa 2A ya que trabaja con un sistema eléctrico tanto para el encendido como para el funcionamiento del compresor y las placas perforadas necesitan ser diseñadas; la alternativa 2B tiene un costo menor, debido a su forma cilíndrica con caballetes y al uso de energía por causa del ventilador y finalmente el sistema más económico es la alternativa 2C ya que su diseño no es tan complejo y su encendido es manual, por lo que necesita de otros elementos adicionales. Por lo tanto evaluando desde los sistemas menos económico hasta el más costoso se tiene:

Alternativas:                    2C > 2B > 2A

CRITERIO	2A	2B	2C	$\Sigma + 1$	PONDERACIÓN
2A		0	0	1	0,17
2B	1		0	2	0,33
2C	1	1		3	0,5
			<b>SUMA</b>	<b>6</b>	<b>1,0</b>

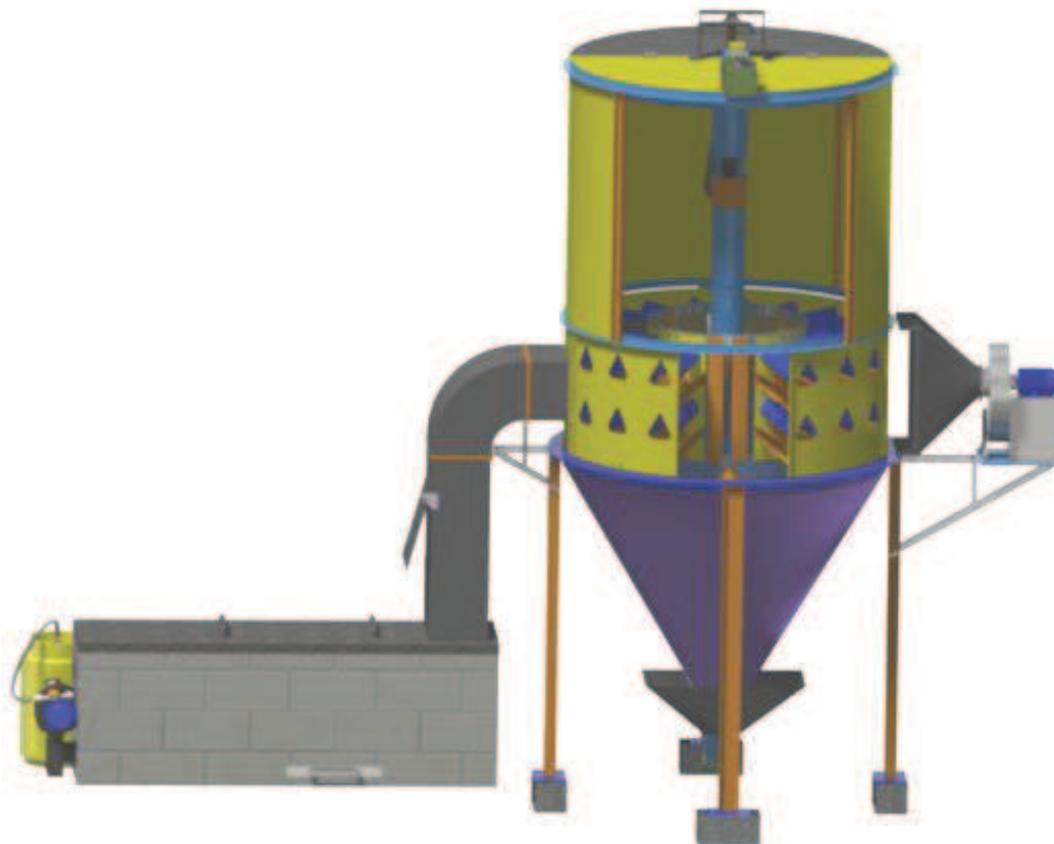
- Tabla de conclusiones

Después del análisis de los factores de evaluación expuestos para determinar la mejor alternativa para el módulo 2, se realiza el producto entre los valores de la ponderación de la tabla de evaluación del peso específico de cada criterio en

general con los valores de evaluación del peso específico de cada criterio individualmente, obteniendo así la tabla de conclusiones:

CONCLUSIÓN	Seguridad	Fiabilidad	Tiempo	Costo	$\Sigma$	PRIORIDAD
2A	0,1155	0,147	0,032	0,016	0,3105	2
2B	0,175	0,147	0,1	0,033	0,455	1
2C	0,056	0,056	0,066	0,05	0,228	3

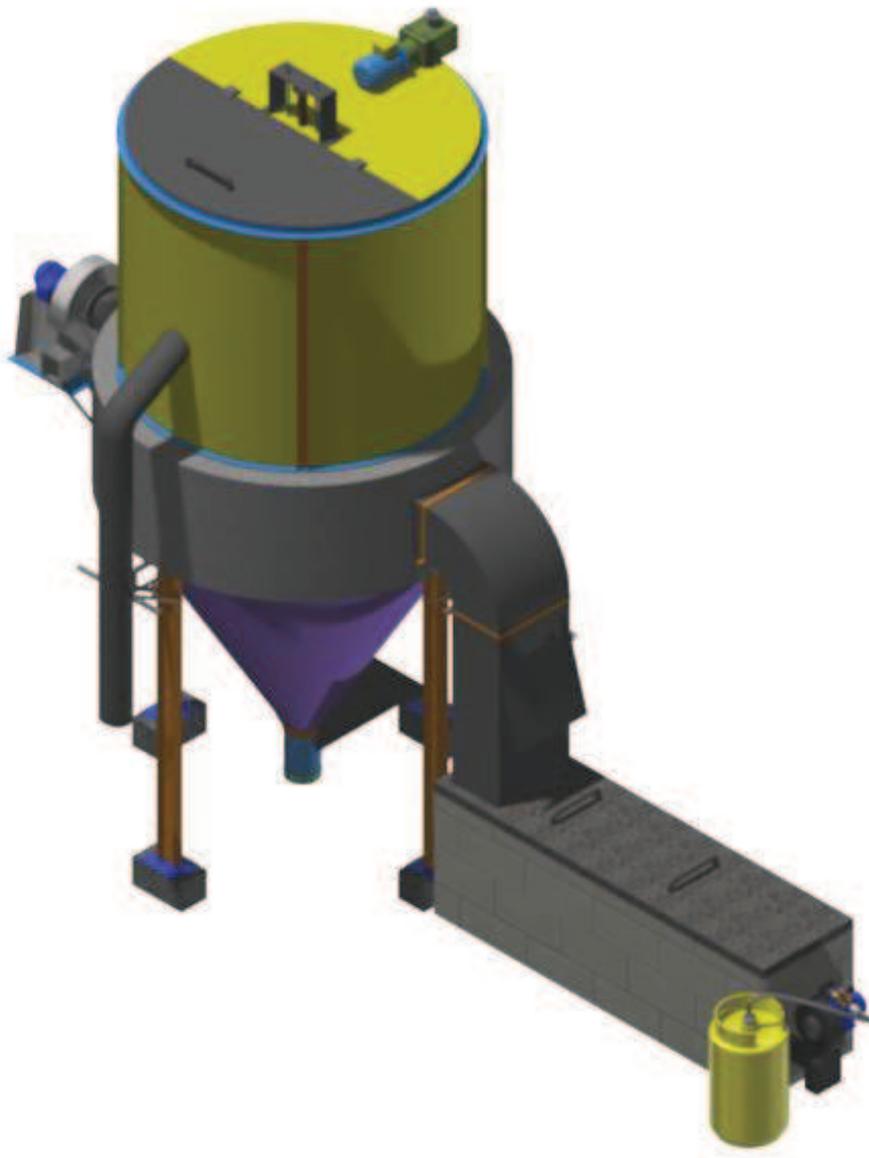
Después de la evaluación planteada, se determina que la solución más adecuada para este módulo es la **alternativa 2B**, debido a que cumple con las necesidades que se requiere y es más eficiente para el trabajo.



**Figura 3- 22:** Solución 2B, para el módulo 2.

### 3.4.4 SOLUCIÓN FINAL DE LA MÁQUINA

Después de los análisis presentados, y uniendo las soluciones de cada uno de los tres módulos, se obtiene la solución general para el diseño de la máquina secadora de granos de maíz detallada en la figura 3-23.



**Figura 3- 23:** Solución final de la máquina secadora de maíz.

## CAPÍTULO 4

### DISEÑO DEL SECADOR

Después de obtener los datos y parámetros necesarios establecidos por los análisis de campo y determinación de alternativas, para la realización de la máquina secadora vertical de maíz, se procede al diseño de cada uno de los elementos que la conforman y cumplir el objetivo de reducción de la humedad de los granos mediante un tiempo de secado y consumo de energía.

#### 4.1 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CABALLETES EN UN NIVEL, DIÁMETROS DEL SECADOR Y DE LA CÁMARA DE AIRE CALIENTE

Para determinar el diámetro del secador se considera el tamaño de una plancha laminada estandarizada de medidas  $2440 \times 1220$  [mm] y utilizando la fórmula de perímetro, se determina los diámetros de la cámara de secado y conducto de aire caliente.

$$P = \pi * \phi \quad (4- 1)$$

$$\phi = \frac{P}{\pi}$$

Donde:

$\phi$  = Diámetro, [mm]

$P$  = Longitud de la plancha normalizada, [mm]

**Tabla 4- 1:** Diámetro en función de la longitud de la plancha

NÚMERO DE LÁMINAS	L [mm]	a [mm]	DIÁMETRO
1	2440	1220	776,7
1 ½	3660	1220	1165,01
2	4880	2440	1553,3

Para calcular el contenido de maíz en un nivel se debe conocer el número de caballetes, el volumen que ocupa cada uno de ellos y el volumen total de maíz que se encuentra en contacto con el aire caliente, por lo que se considera al volumen del caballete como un tronco de pirámide, como se lo puede visualizar en la figura 4-1.



**Figura 4- 1:** Caballete como tronco de pirámide de un caballete

Para la cual se trabaja con la ecuación (4-2), la misma que se deduce en función de la figura 4-1:

$$V_{cab} = \frac{h}{3} * (A + \hat{A} + \sqrt{A * \hat{A}}) \quad (4- 2)$$

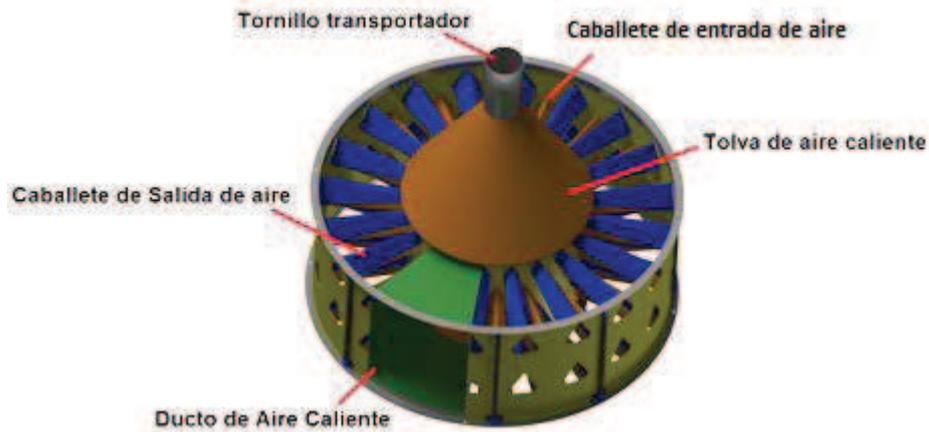
Donde:

$A$  = Área base pequeña del caballete, [ $mm^2$ ]

$\hat{A}$  = Área base grande del caballete, [ $mm^2$ ]

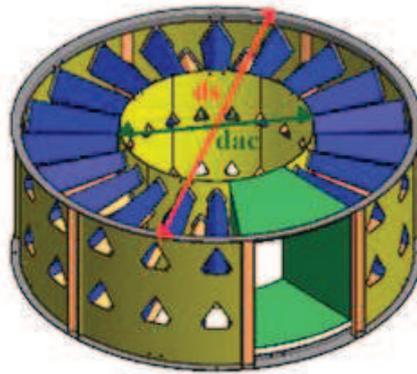
$l = h$  = Longitud del caballete, [ $mm$ ]

Para el cálculo del número de caballetes se trabaja con las partes que conforman la cámara de secado como se puede observar en la figura 4-2 pp. 107.



**Figura 4- 2:** Distribución de caballetes y conducto de aire

Para el cálculo se debe tener en cuenta el área de la parte circular que ocupa el maíz dentro de la cámara de secado, determinada por la ecuación (4-3).



**Figura 4- 3:** Dimensionamiento de la cámara de secado

$$A_b = \frac{\pi}{4} (d_s^2 - d_{ac}^2) \quad (4- 3)$$

Donde:

$A_b$  = Área de la base de la cámara de secado, [ $m^2$ ]

$d_s$  = Diámetro del secador, [ $m$ ]

$d_{ac}$  = Diámetro del ducto de aire caliente, [ $m$ ]

El volumen de maíz por nivel se obtiene mediante la diferencia entre el volumen total y el volumen ocupado por los caballetes.

$$V_{MN} = V_{TN} - V_{CN} \quad (4- 4)$$

Donde:

$V_{MN}$  = Volumen de maíz por nivel, [ $m^3$ ]

$V_{CN}$  = Volumen ocupado por los caballetes en un nivel, [ $m^3$ ]

Tomando en cuenta que:

$$V_{TN} = A_b * h_N \quad (4-5)$$

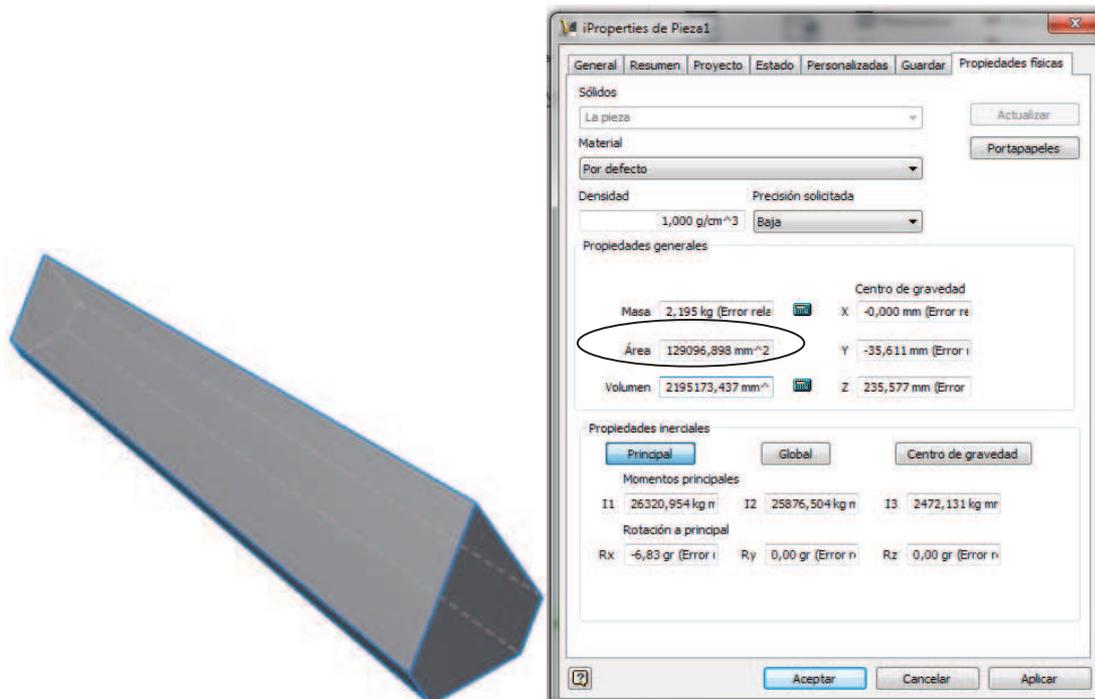
Donde:

$V_{TN}$  = Volumen total de un nivel, [ $m^3$ ]

$A_b$  = Área de la base de la cámara de secado, [ $m^2$ ]

$h_N$  = Altura de nivel, [ $m$ ]

Dado a que el secador es de tipo discontinuo o por lotes (Bach), se realiza la selección del caballete en función de la cantidad de maíz en la cámara de secado y determinando como parámetros de diseño los detallados en la tabla A-5 del ANEXO 12 pp. 294, para lo cual se encuentra el valor del volumen no ocupado por el grano en un caballete utilizando la herramienta informática Autodesk Inventor 2012, mostrando su resultado en la figura 4-4.



**Figura 4- 4:** Volumen no ocupado por el grano en la cámara de secado, debido al caballete.

En la tabla 4-2, se muestran los resultados obtenidos por medio del cálculo del número de caballetes, los diámetros del secador y la cámara de aire caliente y el volumen de maíz que se encuentra dentro de un nivel de secado.

**Tabla 4- 2:** Parámetros para el diseño del secador

CABALLETES POR NIVEL	CÁMARA AIRE SECO $\varnothing$ [mm]	DIÁMETRO SECADOR $\varnothing$ [mm]	VOLUMEN DE CABALLETE[m <sup>3</sup> ]	VOLUMENDE MAÍZ POR NIVEL [m <sup>3</sup> ]	ÁREA DE LA BASE DE LA CÁMARA DE SECADO [m <sup>2</sup> ]
18	757	1533	0,002	0,14	1,4

## 4.2 TIEMPO DE SECADO

Para el tiempo de secado se utiliza los parámetros del aire (tabla 4-3).

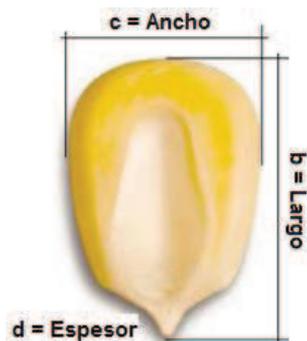
**Tabla 4- 3:** Propiedades termo-físicas del aire a 56°C<sup>83</sup>

FACTORES PARA UNA TEMPERATURA DE 56 [°C ]	
$h_{fg}$	2367,4 $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$
$\rho_a$	1,266 $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
$c_p$	1,007 $\left[\frac{kJ}{kg*K}\right]$
$\mu_a$	198,3x10 <sup>-7</sup> $\left[\frac{N*s}{m^2}\right]$
$k$	0,02779 $\left[\frac{W}{m*K}\right]$
$P_r$	0,7212
$\nu$	1,857x10 <sup>-5</sup> $\left[\frac{m^2}{s}\right]$

### 4.2.1 ESFERICIDAD DE LOS GRANOS

Para el cálculo de la esfericidad de un grano de maíz se toma las dimensiones del mismo como se detalla en la figura 4-5 y en la tabla 4-4 de la pp. 110.

<sup>83</sup> Incropera F., De Wit D.; "Fundamentos de Transferencia de Calor"; Editorial Pearson; Cuarta Edición; México; Apéndice A; pp. 839; [Consulta: 18 de enero de 2012].



**Figura 4- 5:** Dimensiones de un grano de maíz

**Tabla 4- 4:** Medidas de granos<sup>84</sup>

MEDIDAS	VALOR [mm]
b	11,95
c	9,11
d	4,6
Masa de 1000 granos	350 [g]

Para determinar el diámetro equivalente se parte de la siguiente ecuación:

$$d_{ee} = \phi_s * d_{pd} \quad (4- 6)$$

Donde:

$d_{ee}$  = Diámetro equivalente, [m]

$d_{pd}$  = Diámetro de la esfera que tiene el mismo volumen de la partícula, [m]

$\phi_s$  = Esfericidad, [adimensional]

En donde  $\phi_s$  y  $d_{pd}$  poseen las siguientes expresiones:

$$\phi_s = \left[ \left( \frac{c}{b} \right)^2 * \left( \frac{d}{c} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4- 7)$$

$$d_{pd} = \sqrt[3]{\frac{6 * V_{esf}}{\pi}} \quad (4- 8)$$

Donde:

<sup>84</sup> "INIAP –H-602 Nuevo Híbrido del Maíz Duro para el Litoral Ecuatoriano"; Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias INIAP; Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca MAGAP; 2009. [Consulta: 18 de enero de 2012].

$V_{esf}$  = Volumen de la esfera,  $[m^3]$

Reemplazando los valores de la tabla 4-4 pp. 110, en la ecuación (4-7) pp. 110, se tiene el siguiente valor:

$$\phi_s = \left[ \left( \frac{9,11}{11,95} \right)^2 * \left( \frac{4,6}{9,11} \right)^2 \right]^{1/2} = 0,38$$

Considerando que:

$$V_{1maíz} = V_{esf}$$

$$M_{1maíz} = 0,35 [g] = 3,5 \times 10^{-4} [Kg]$$

$$V_{1maíz} = \frac{3,5 \times 10^{-4} [Kg]}{715 [Kg/m^3]} = 4,895 \times 10^{-7} [m^3]$$

Se tiene que el diámetro de la esfera es:

$$d_{pd} = \sqrt[3]{\frac{6 * 4,895 \times 10^{-7}}{\pi}} = 9,78 \times 10^{-3} [m]$$

Una vez calculado cada uno de los valores, se remplazan en la ecuación (4-6) pp. 110, obteniendo:

$$d_{ee} = 0,38 * 9,78 \times 10^{-3} [m] = 3,72 \times 10^{-3} [m]$$

#### 4.2.2 ÁREA DEL SECADO

Dado a que a un grano se considera como una esfera y toda su superficie está expuesta al flujo de aire caliente, para conocer la superficie total expuesta se debe conocer la cantidad aproximada de granos que contiene un nivel.

$$S_{esf} = \pi * d_{ee}^2 \quad (4-9)$$

Donde:

$S_{esf}$  = Superficie de la esfera,  $[m^2]$

$$S_{esf} = \pi * (3,76 \times 10^{-3})^2 = 4,34 \times 10^{-5} [m^2]$$

Para el cálculo de la cantidad por nivel de granos de maíz, se trabaja con:

$$N_M = \frac{V_{MN}}{V_{1maíz}} \quad (4-10)$$

Donde:

$N_M$  = Cantidad de granos por nivel, [u]

$$N_M = \frac{0,14 [m^3]}{4,895 \times 10^{-7} [m^3]} = 2,86 \times 10^5 [\text{adimensional}]$$

Reemplazando los resultados de las ecuaciones (4-9) pp. 111 y (4-10), se obtiene la siguiente expresión:

$$A_S = S_{esf} * N_M \quad (4-11)$$

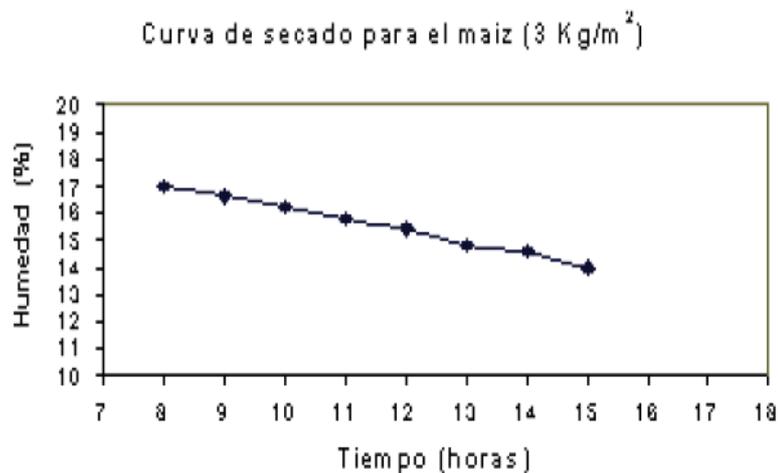
Donde:

$A_S$  = Área de secado, [ $m^2$ ]

$$A_S = 4,45 \times 10^{-5} [m^2] * 2,88 \times 10^5 [u] = 12,7 [m^2]$$

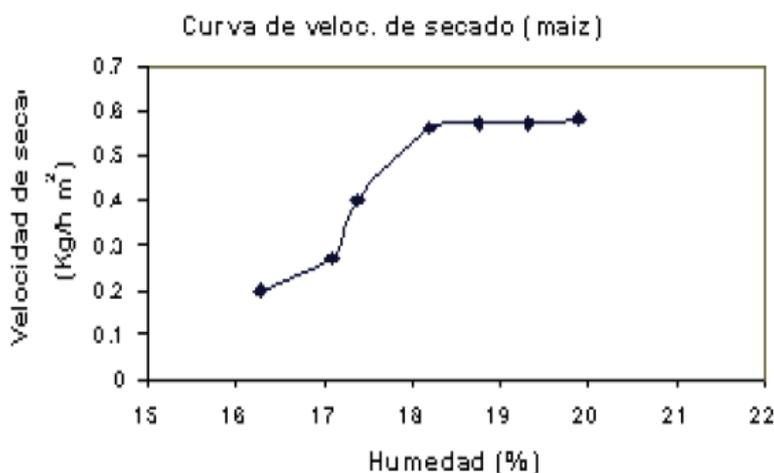
#### 4.2.3 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD CRÍTICA $X_C$

La humedad crítica se determina mediante la curva de secado, dicha curva es propia del tipo de material para secar. En el caso del maíz se obtiene la siguiente curva de secado (gráfico 4-1).



**Gráfico 4- 1:** Curva de secado para el maíz<sup>85</sup>

En función de la curva de secado para el maíz se determina la curva de velocidad de secado y la humedad crítica con un valor aproximado de **18,2%** como se puede observar en la curva de velocidad de secado (gráfico 4-2).



**Gráfico 4- 2:** Curva de velocidad de secado para el maíz<sup>85</sup>

#### 4.2.4 MASA FINAL DE MAÍZ POR NIVEL

Para el cálculo de la merma de secado se trabaja con la ecuación (2-6) pp. 33.

$$\phi = \left( \frac{19 - H_{bhf}}{100 - H_{bhf}} \right)$$

Dado que  $H_{bhf}$  es la humedad del maíz que se obtiene en función del número de pasadas, y utilizando la ecuación (2-5) pp. 33, se obtiene la masa final de maíz por cada nivel, la misma que está en función de la merma de secado.

$$M_{fM} = M_{iM} - (M_{iM} * \phi)$$

$$M_{fM} = 100,7[Kg] - (100,7[Kg] * \phi)$$

Los datos obtenidos, se encuentra tabulados en la tabla 4-5 pp. 114.

<sup>85</sup> Fonseca S., Bergues C., Rodríguez J., Griñan P., Hernández G.; "Estudio de la Cinética del secado de granos en el prototipo de secador solar. Análisis de los resultados"; [en línea]; Tecnología Química; vol. XXXII; No. 2; 2002; pp 61 y 62;

<

**Tabla 4- 5:** Masa final de maíz de acuerdo al número de pasadas

NÚMERO DE PASADAS	PÉRDIDA DE HUMEDAD POR PASADA [ $X_{fp}$ ]	CÁLCULO DE LA MERMA DE SECADO [ $\phi$ ]	MASA DEL MAÍZ AL FINAL POR PASADA [ $kg$ ]
1	12,00	0,080	92,7
2	15,50	0,041	96,5
3	16,67	0,028	97,9
4	17,25	0,021	98,6
5	17,60	0,017	99,0
6	17,83	0,014	99,3
7	18,00	0,012	99,5
8	18,13	0,011	99,6

#### 4.2.5 TIEMPO DE SECADO A VELOCIDAD CONSTANTE

Para el cálculo del tiempo de secado a velocidad constante por transferencia de calor por convección se emplea la ecuación (2-24) de la pp. 47.

$$t_c = \frac{M_s * H_{fg} (X_1 - X_c)}{A_s * h * (T_s - T_g)}$$

Dado a que se considera como un flujo perpendicular a la caída de los granos, el coeficiente de transferencia de calor por convección y la velocidad másica del aire seco vienen dadas por las ecuaciones (2-21) pp. 45 y (2-22) pp. 46.

$$h_c = 1,17G^{0,37}$$

$$G = v_s * 3600 * 1,06489 \left[ \frac{Kg}{m^2} \right]$$

Reemplazando valores en la ecuación del coeficiente de transferencia de calor por convección en función de la velocidad de secado se tiene:

$$h_c = 1,17 * [v_s * 3600 * 1,06489]^{0,37} \left[ \frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Por lo tanto, el tiempo de secado para el período de velocidad constante se encuentra en función de la masa seca de maíz, de la velocidad y área de secado. La masa y el área de secado están relacionadas de forma directa entre sí, debido

a que todo el grano se encuentra en contacto con el aire, es así que: Al aumentar la masa de secado aumenta el área de contacto con el aire caliente.

**Tabla 4- 6:** Cálculo del tiempo de secado en función de la velocidad constante

$v_s \left[ \frac{m}{s} \right]$	$G \left[ \frac{Kg}{h * m^2} \right]$	$h_c \left[ \frac{W}{m^2 * K} \right]$	$t_c [h]$		
			Número de pasadas		
			1	2	3 a 8
0,90	3450,2	23,8	3,2	3,3	3,4
1,00	3833,6	24,8	3,1	3,2	3,2
1,50	5750,4	28,8	2,6	2,8	2,8
1,75	6708,8	30,5	2,5	2,6	2,6
2,00	7667,2	32,0	2,4	2,5	2,5
2,25	8625,6	33,5	2,3	2,4	2,4
2,50	9584,0	34,8	2,2	2,3	2,3
2,75	10542,4	36,0	2,1	2,2	2,2
3,00	11500,8	37,2	2,0	2,1	2,2
3,25	12459,2	38,3	2,0	2,1	2,1
3,50	13417,6	39,4	1,9	2,0	2,0

En la tabla 4-6, se muestra el tiempo de secado a velocidad constante y la velocidad del aire para diferentes números de pasadas.

Tomando en cuenta que a partir de la tercera pasada los valores del tiempo se mantienen constantes.

#### 4.2.6 TIEMPO DE SECADO A VELOCIDAD DECRECIENTE

Como la velocidad de secado varía linealmente con la humedad, en los períodos de humedad próximos a la humedad crítica, se define al tiempo de secado para el período de velocidad variable mostrado en la tabla 4-7 pp. 116, basándose en la ecuación (2-30) pp. 48:

$$t_d = \frac{M_s * X_c}{A_s * R_c} \ln \left( \frac{X_c}{X_2} \right)$$

**Tabla 4- 7:** Cálculo del tiempo de secado en función de la velocidad decreciente.

$v_s \left[ \frac{m}{s} \right]$	$G \left[ \frac{Kg}{h * m^2} \right]$	$h_c \left[ \frac{W}{m^2 * K} \right]$	$t_c [h]$							
			Número de pasadas							
			1	2	3	4	5	6	7	8
0,90	3450,2	23,8	35,3	16,2	10,5	7,8	6,2	5,2	4,4	3,8
1,00	3833,6	24,8	33,9	15,6	10,1	7,5	6,0	5,0	4,2	3,7
1,50	5750,4	28,8	29,2	13,4	8,7	6,5	5,1	4,3	3,6	3,2
1,75	6708,8	30,5	27,6	12,6	8,2	6,1	4,9	4,0	3,4	3,0
2,00	7667,2	32,0	26,3	12,0	7,8	5,8	4,6	3,8	3,3	2,9
2,25	8625,6	33,5	25,1	11,5	7,5	5,6	4,4	3,7	3,1	2,7
2,50	9584,0	34,8	24,2	11,1	7,2	5,4	4,3	3,5	3,0	2,6
2,75	10542,4	36,0	23,3	10,7	7,0	5,2	4,1	3,4	2,9	2,5
3,00	11500,8	37,2	22,6	10,4	6,7	5,0	4,0	3,3	2,8	2,5
3,25	12459,2	38,3	21,9	10,1	6,5	4,9	3,9	3,2	2,7	2,4
3,50	13417,6	39,4	21,4	9,8	6,4	4,7	3,8	3,1	2,7	2,3

## 4.2.7 TIEMPO DE DIFUSIÓN

### 4.2.7.1 Coeficiente de difusión líquida $D_L$

El modelo difusivo se ajusta mejor cuando se incluye una dependencia lineal del diámetro característico (medio geométrico) con la humedad, arrojando coeficientes de difusividad que se correlacionan con la temperatura de entre<sup>86</sup>:

$$D_L = 1,907 \times 10^{-11} \left[ \frac{m^2}{s} \right] \text{ para } 30^\circ\text{C}$$

$$D_L = 6,495 \times 10^{-11} \left[ \frac{m^2}{s} \right] \text{ para } 90^\circ\text{C}$$

<sup>86</sup> Ordoñez M.; Gely M.; Pagano A.; "ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y DE LA CINÉTICA DE SECADO DE GRANOS DE MAIZ COLORADO DURO"; [en línea]; Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN); Facultad de Ingeniería; Núcleo TECSE (Tecnología de Semillas y Alimentos); Olavarría – Argentina; Agosto; 2011; pp. 168; <  
[http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=coeficiente%20de%20difusion%20liquida%20en%20los%20granos%20de%20maiz&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fdigitalnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F4052717.pdf&ei=pYNMUFJJK-p4AOD9oGQBQ&usg=AFQjCNFvxLZFEAPImNoB9GOQzHI-V\\_f0iQ&bvm=bv.44158598,d.dmg](http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=coeficiente%20de%20difusion%20liquida%20en%20los%20granos%20de%20maiz&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fdigitalnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F4052717.pdf&ei=pYNMUFJJK-p4AOD9oGQBQ&usg=AFQjCNFvxLZFEAPImNoB9GOQzHI-V_f0iQ&bvm=bv.44158598,d.dmg)>; [Consulta: 19 de diciembre de 2012]

Basándose en los datos anteriormente mencionados y dado a que la temperatura para el secado de los granos de maíz es de 56°C, se determina que el coeficiente de difusividad es de  $3,89 \times 10^{-11} \left[ \frac{m^2}{s} \right]$

#### 4.2.7.2 Tiempo de difusión

Para calcular el tiempo que se debe dejar en reposo al grano para recuperar el porcentaje de humedad perdida en su superficie, se utiliza la ecuación (2-34) pp. 50, del cálculo del tiempo de difusión.

$$t = \frac{4x_1^2}{\pi^2 D_L} \ln \frac{8X_1}{\pi^2 X}$$

Donde los valores respectivamente de  $X_1$  y  $X$  se expresan mediante las siguientes expresiones:

$$X_1 = X_i - X_f$$

$$X_1 = 19\% - 12\% = 7\%$$

$$X = X_{fp} - X_f$$

$$X = (X_i - \Delta X) - X_f$$

Por lo tanto, reemplazando valores se tiene:

$$t = \frac{4 * (2,3 \times 10^{-3})^2 [m^2]}{\pi^2 * 1,402 \times 10^{-7} \left[ \frac{m^2}{h} \right]} \ln \frac{8 * 0,07}{\pi^2 * X}$$

El tiempo de reposo que necesita el grano para recuperar la humedad pérdida está determinado por la variación de humedad debido al tiempo de permanencia en la cámara de secado.

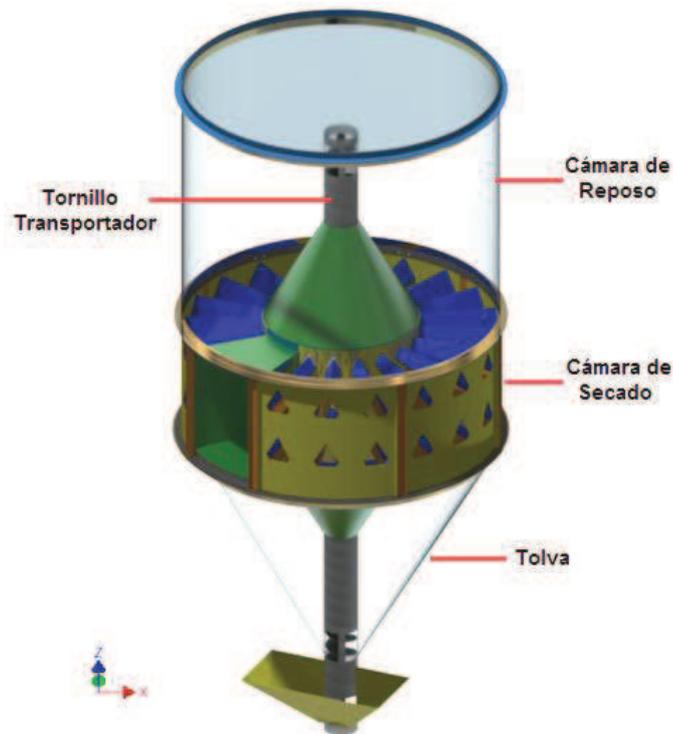
Los resultados obtenidos en la tabla 4-8 pp. 118, son calculados en función de la variación de humedad perdida en los granos dentro de la cámara de secado.

**Tabla 4- 8:** Tiempos de reposo en función del número de pasadas

NÚMERO DE PASADAS	$\Delta X$ VARIACIÓN DE HUMEDAD POR PASADA[%]	TIEMPO DE REPOSO [h]
1	7,00	No existe reposo
2	3,50	8,9
3	2,33	4,6
4	1,75	2,8
5	1,40	1,8
6	1,17	1,2
7	1,00	0,8
8	0,88	0,5
9	0,78	0,2

### 4.3 CÁLCULO DE ALTURAS Y VOLÚMENES DE LAS PARTES DEL SECADOR

La máquina secadora de granos de maíz consta de varias secciones de acuerdo a las diferentes funciones que presenta, los cuales se detallan en la figura 4-6:

**Figura 4- 6:** Partes de la cámara de secado.

### 4.3.1 TOLVA

El flujo interno del grano en el secador se encuentra definido por el flujo en la tolva inferior, por lo tanto, para garantizar un flujo másico en la tolva se escoge el ángulo de inclinación adecuado en función del coeficiente de rozamiento entre el grano y el metal con ayuda de la ecuación (A-2) y la figura A-10 del ANEXO 5 pp. 270, para una tolva de forma cónica.

$$\varphi_w = \arctan(0,3) = 16,7^\circ \approx 17^\circ$$

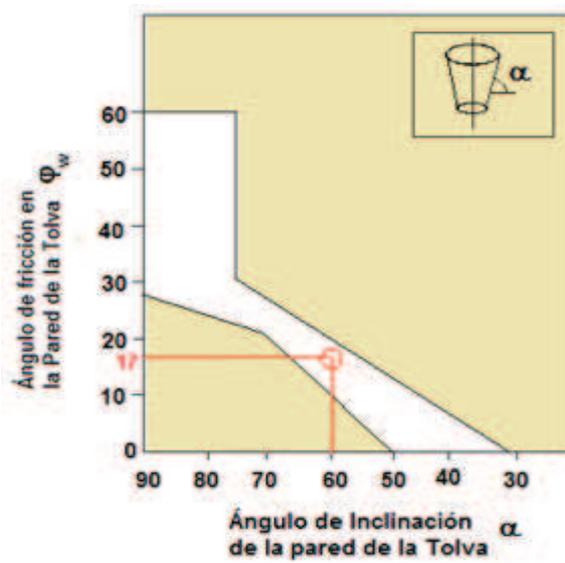


Figura 4- 7: Ángulo de inclinación de la tolva

Para el cálculo de las alturas tanto para la tolva de aire caliente como para la del contenido de maíz se realiza de forma geométrica, de acuerdo a las siguientes ecuaciones (4-12) y (4-13) pp. 120.

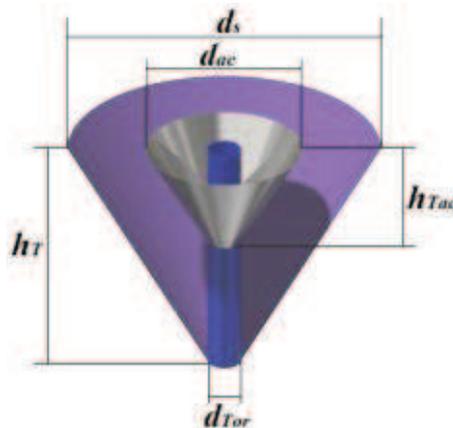


Figura 4- 8: Medidas de la tolva

Donde:

$d_s$  = Diámetro del secador, [mm]

$d_{da}$  = Diámetro del ducto de aire caliente, [mm]

$d_{tor}$  = Diámetro del transportador, [mm]

$$h_{Tac} = \left( \frac{d_{da} - d_{tor}}{2} \right) \tan(\alpha) \quad (4-12)$$

$$h_{TM} = \left( \frac{d_s - d_{tor}}{2} \right) \tan(\alpha) \quad (4-13)$$

Donde:

$h_{Tac}$  = Altura para la tolva de aire caliente, [mm]

$h_T$  = Altura para la tolva de contenido de maíz, [mm]

$$h_T = \left( \frac{1533 - 158}{2} \right) * \tan(60^\circ) = \mathbf{1190 [mm]}$$

$$h_{Tac} = \left( \frac{757 - 158}{2} \right) * \tan(60^\circ) = \mathbf{518 [mm]}$$

Los cálculos de las alturas de la tolva están detallados en la figura 4-9.

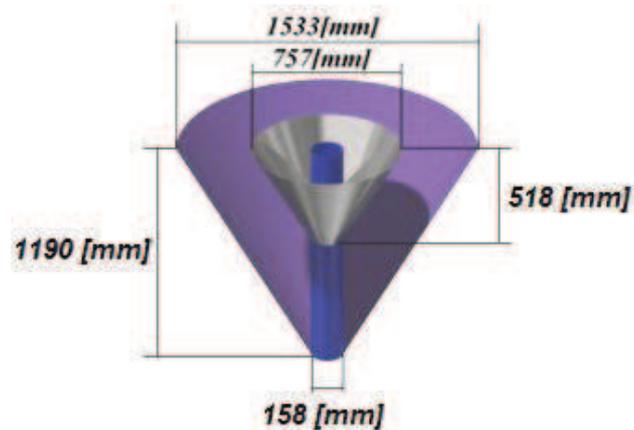


Figura 4- 9: Dimensiones de las tolvas

#### 4.3.1.1 Volumen de maíz en la tolva

El volumen de maíz dentro de la tolva se calcula mediante las ecuaciones para calcular un tronco de pirámide, restando el volumen ocupado por la tolva inferior.

$$V_{Tp} = \frac{1}{3} * \pi * h * (R^2 + r^2 + R * r) \quad (4- 14)$$

Donde:

$V_{Tp}$  = Volumen del tronco de pirámide, [ $m^3$ ]

$h$  = Altura, [ $m$ ]

$R$  = Radio del cilindro, [ $m$ ]

$r$  = Radio del canal, [ $m$ ]

$$V_T = \frac{1}{3} * \pi * 1,19 * (0,767^2 + 0,079^2 + 0,767 * 0,079) = \mathbf{0,816} [m^3]$$

$$V_{Tac} = \frac{1}{3} * \pi * 0,518 * (0,379^2 + 0,079^2 + 0,379 * 0,079) = \mathbf{0,097} [m^3]$$

Donde:

$V_T$  = Volumen total de la tolva, [ $m^3$ ]

$V_{Tac}$  = Volumen de la tolva de aire caliente, [ $m^3$ ]

El volumen de la parte cilíndrica viene dado por:

$$V_{CT} = \frac{\pi * d_c^2 * h_T}{4} \quad (4- 15)$$

Donde:

$V_{CT}$  = Volumen de la parte cilíndrica de la tolva, [ $m^3$ ]

$d_c$  = Diámetro del canal, [ $m$ ]

$h$  = Altura, [ $m$ ]

$$V_{CT} = \frac{\pi * 0,158^2 * 0,672}{4} = \mathbf{0,013} [m^3]$$

Para el cálculo del maíz en la tolva se utiliza lo siguiente:

$$V_{MT} = V_T - (V_{CT} + V_{Tac}) \quad (4- 16)$$

Donde:

$V_{MT}$  = Volumen de maíz en la tolva, [ $m^3$ ]

$$V_{MT} = 0,816 m^3 - (0,013 + 0,097 m^3) = 0,706 [m^3]$$

### 4.3.2 CÁMARA DE SECADO

#### 4.3.2.1 Altura de la cámara de secado

Tomando en cuenta que el análisis del número de niveles dentro de la cámara de secado se realiza en forma iterativa, el mismo que se realizará posteriormente, se establece para ejemplo de cálculo un número de niveles igual a cuatro, valor con el cual se determina la altura para la cámara de secado, dado a que dicha cámara está conformada por caballetes intercalados de ingreso de aire caliente y salida del aire utilizado; por lo tanto, la altura de la cámara de secado será igual a la altura de cuatro caballetes.

$$h_{nivel} = 140 [mm] ; L_{cab} = 388 [mm]$$

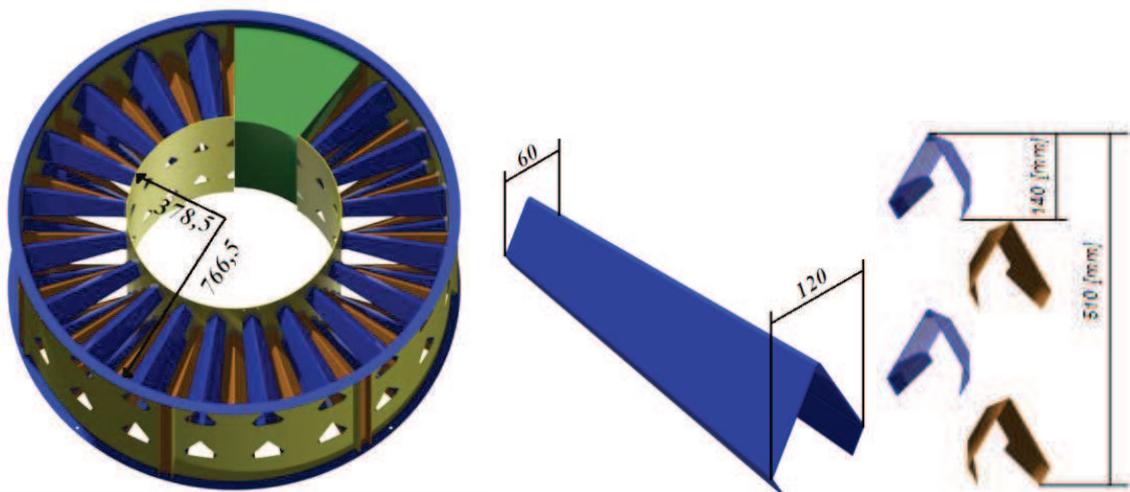


Figura 4- 10: Dimensiones de los caballetes y nivel.

$$h_C = N_N * h_N \quad (4- 17)$$

Donde:

$h_C$  = Altura de los caballetes, [ $mm$ ]

$h_N$  = Altura de nivel = 140 [ $mm$ ]

$N_N$  = Número de niveles, [adimensional]

$$h_C = 4 * 0,14[m] = \mathbf{0,56 [m]}$$

Conocida la altura que ocupan los caballetes se establece la altura total de la cámara de secado, para optimizar el uso de las láminas normalizadas se tiene una altura total de:

$$h_{CS} = 610 [mm]$$

Por lo tanto el volumen en la cámara de secado será:

$$V_{CS} = V_{MN} * N_N \quad (4- 18)$$

Donde:

$V_{CS}$  = Volumen de la cámara de secado, [ $m^3$ ]

$V_{MN}$  = Volumen de maíz por nivel, [ $m^3$ ]

$$V_{CS} = 0,14[m^3] * 4 = \mathbf{0,56[m^3]}$$

La cantidad de maíz fuera de los caballetes viene dada por:

$$V_{Msinc} = A_b * h_{csc} \quad (4- 19)$$

Donde:

$V_{Msinc}$  = Volumen de maíz en la cámara de secado fuera de los caballetes, [ $m^3$ ]

$h_{csc}$  = Altura de la cámara de secado parte cilíndrica, [ $m^3$ ]

$$V_{Msinc} = 1,4[m^2] * 0,05[m] = \mathbf{0,07[m^3]}$$

Por lo tanto, el volumen total de maíz en la cámara de secado será la suma de los volúmenes encontrados.

$$V_{TCS} = V_{CS} + V_{Msinc} \quad (4- 20)$$

Donde:

$V_{TCS}$  = Volumen total de maíz en la cámara de secado, [ $m^3$ ]

$$V_{TCS} = 0,56[m^3] + 0,07[m^3] = 0,63[m^3]$$

### 4.3.3 CÁMARA DE REPOSO

La cámara de reposo se divide en dos partes, una parte cilíndrica y un cuello de botella como se representa en la figura 4-11.

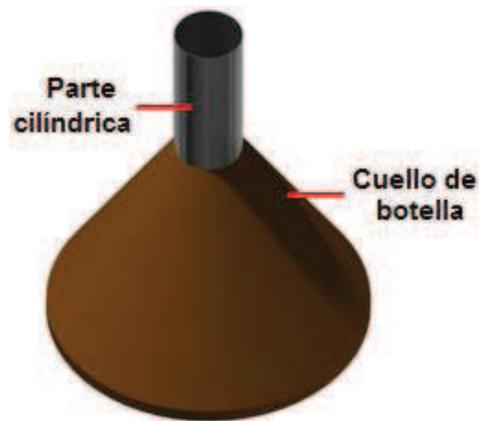


Figura 4- 11: Partes de la cámara de reposo

Para el cálculo de la altura de la cámara de reposo, en primer lugar se debe conocer el volumen de maíz que se encuentra contenido en la parte cilíndrica ya que en la parte del cuello de botella se toma la altura de la tolva de aire caliente.

$$V_{MCB} = V_{CCB} - V_{Tac} \quad (4- 21)$$

Donde:

$V_{MCB}$  = Volumen de maíz en el cuello de botella,  $[m^3]$

$V_{Tac}$  = Volumen de la tolva de aire caliente,  $[m^3]$

$V_{CCB}$  = Volumen de la parte cilíndrica del cuello de botella,  $[m^3]$

Tomando en cuenta que:

$$V_{CCB} = \frac{\pi \cdot d_{CS}^2 \cdot h_{CB}}{4} \quad (4- 22)$$

Donde:

$h_{CB}$  = Altura cuello de botella,  $[m]$

$$V_{CCB} = \frac{\pi * (1,533[m])^2 * 0,518[m]}{4} = \mathbf{0,956 [m^3]}$$

Por lo tanto, el volumen de maíz en el cuello de botella es:

$$V_{MCB} = 0,956 [m^3] - 0,097 [m^3] = \mathbf{0,859 [m^3]}$$

El volumen de maíz en la cámara de reposo en la parte superior del cuello de botella, se lo encuentra restando los volúmenes de las diferentes cámaras del volumen total de grano.

$$V_{MCCR} = V_s - V_{MT} - V_{MCS} - V_{MCB} \quad (4- 23)$$

Donde:

$V_{MCCR}$  = Volumen de maíz en la parte cilíndrica de la cámara de reposo, [ $m^3$ ]

$V_s$  = Volumen de maíz a secar, [ $m^3$ ]

$V_{MT}$  = Volumen de maíz en la tolva, [ $m^3$ ]

$V_{MCS}$  = Volumen de maíz en la cámara de secado, [ $m^3$ ]

$$V_{MCCR} = 2,797[m^3] - 0,706[m^3] - 0,630[m^3] - 0,859[m^3] = \mathbf{0,602 [m^3]}$$

Entonces, la altura de la parte cilíndrica de la cámara de secado se encuentra en función del volumen de la misma.

$$h_{CCR} = \frac{V_{MCCR}}{A_{bCR}} \quad (4- 24)$$

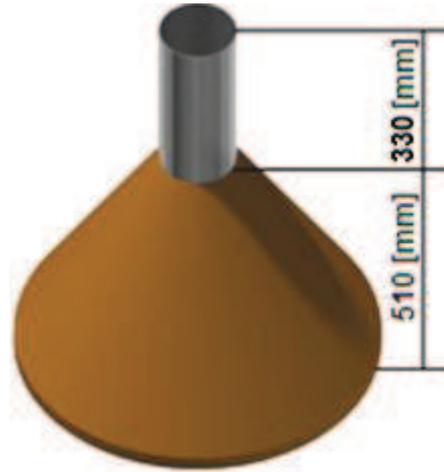
Donde:

$h_{CCR}$  = Altura de la parte cilíndrica de la cámara de reposo, [ $m$ ]

$A_{bCR}$  = Área de la base de la parte cilíndrica de la cámara de reposo, [ $m^2$ ]

$$h_{CCR} = \frac{0,602 [m^3]}{1,826 [m^2]} = \mathbf{0,330[m]}$$

En la figura 4-12 pp. 126, se determina las dimensiones de la cámara de reposo.



**Figura 4- 12:** Dimensiones de la cámara de reposo.

#### 4.3.4 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE NIVELES DE CABALLETES Y REVOLUCIONES POR MINUTO (RPM) DEL TORNILLO TRANSPORTADOR

Para determinar la velocidad con la que el grano atraviesa cada parte del secador es necesario encontrar la variación de altura en un minuto, la cual está en función de la disminución del volumen, es decir, para un volumen inicial  $V_1$  existe una altura inicial  $h_1$ , por lo que al transcurrir un minuto existe una disminución en el volumen igual al volumen transportado por el tornillo sin fin dando como resultado una altura  $h_2$ .

$$\Delta v = \frac{\Delta h}{\Delta t_{1min}}$$

El tiempo que se demoran los granos en recorrer la altura total de cada parte del secador es igual a la relación entre la altura total sobre la velocidad.

$$\Delta t = \frac{h_p}{\Delta v}$$

Donde:

$\Delta v$  = Velocidad en las partes del secador, [mm]

$\Delta y$  = Variación de altura, [mm]

$\Delta t$  = Tiempo de permanencia en cada parte, [min]

$h_p$  = Altura de cada parte del secador, [mm]

Por lo tanto, se selecciona dos niveles de caballetes para el ingreso de aire caliente y dos niveles de caballetes para la salida del aire usado.

Una vez calculado lo anterior, se procede al análisis de las revoluciones con las cuales gira el tornillo transportador, para lo cual se parte del tiempo determinado con el cual el maíz permanece en las diferentes partes del secador como son: en la tolva, en la cámara de reposo y en la cámara de secado, obteniendo así un tiempo general en donde el grano permanece en reposo para que la humedad pueda migrar hacia el exterior.

**Tabla 4- 9:** Tiempos de las diferentes partes del secador en función del número de revoluciones

N° [RPM]	TIEMPO EN LA CÁMARA DE SECADO [min]	TIEMPO DE REPOSO [min]				TIEMPO TOTAL DE REPOSO
		TOLVA	CÁMARA DE REPOSO	CÁMARA DE AIREACIÓN	TORNILLO SIN FIN	
10	22	55	121	22	4,22	203
15	15	37	81	15	2,81	135
20	11	28	61	11	2,11	101
25	9	22	49	9	1,69	81
30	7	18	40	7	1,41	68
35	6	16	35	6	1,21	58
40	5	14	30	5	1,06	51
45	5	12	27	5	0,94	45
50	4	11	24	4	0,84	41
55	4	10	22	4	1,84	38
60	4	9	20	4	2,84	36
65	3	9	19	3	3,84	34
70	3	8	17	3	4,84	33

Comparando los valores de los tiempos de reposo entre las tablas 4-8 pp. 118 y 4-9, los mismos que son semejantes, se selecciona el tiempo de secado lo cual permite determinar en el (tabla A-6 del ANEXO 13 pp. 296 - 298) el número de pasadas de los granos en la cámara de secado, obteniendo los resultados detallados en la siguiente tabla 4-10 pp. 128:

**Tabla 4- 10:** Tiempo total de permanencia del maíz en el proceso de secado

TIEMPO TOTAL DE REPOSO [min]	TIEMPO EN LA CÁMARA DE SECADO [min]	NÚMERO DE PASADAS	RPM	VELOCIDAD DEL AIRE DE SECADO [ $\frac{m}{s}$ ]
51	5	7	40	3

#### 4.3.5 TORNILLO SIN FIN<sup>87</sup>

Para realizar el cálculo del tornillo sin fin para el transporte de granos de maíz se toman las características establecidas en las tablas de la *Norma Europea CEMA #350 (Conveyor Equipment Manufacturers Association)*, las cuales permiten establecer los parámetros del diseño.

Según esta norma, se trabaja con las siguientes recomendaciones para la selección de un tornillo transportador.

- Tipo y estado del material a ser transportado, incluyendo el tamaño máximo de las partícula y la densidad aparente del material transportado.
- La cantidad de material transportado se expresada en libras o toneladas por hora.
- La distancia para la cual se desea transmitir el material.

En las secciones mostradas en la Norma CEMA #350 se obtiene la información necesaria para la selección de un sistema transportador de tornillo, por medio de una serie de cinco pasos. Estos pasos están dispuestos en orden lógico, y se dividen en secciones separadas para mayor simplicidad. Los cinco pasos son los siguientes:

1. El establecimiento de las características del material que se desea transmitir.
2. Localización de capacidad transportadora (tamaño del transportador y la velocidad) en las tablas de capacidad.

<sup>87</sup> "Introducción"; [en línea]; Screw Conveyor Engineering Guide; <<http://es.scribd.com/doc/90233240/Screw-Conveyor-Engineering-Guide>>; [Consulta: 12 de julio del 2012]

3. La selección de los componentes del transportador.
4. Cálculo de la potencia requerida.
5. Comprobación de la capacidad de par de componentes (incluyendo la selección de los tipos de eje y tamaño).

Todos los cálculos necesarios son expresados en forma gráfica con el uso de cartas, ecuaciones y valores tabulados, los mismos que son orientados para el diseño de la máquina secadora de granos de maíz.

#### 4.3.5.1 Selección de las propiedades del material a transportar

Dado que una de las acciones para el desarrollo de la máquina es el análisis de los granos de maíz, se toma como referencias las tablas que son parte de la Norma CEMA #350, tabuladas en el tabla A-7 del ANEXO 14 pp. 300.

#### 4.3.5.2 Selección del tipo de paso y hélice del tornillo sin fin

En función del tipo de posicionamiento del tornillo transportador y sus aplicaciones recomendado para tornillos verticales detallados en la figura A-16 del ANEXO 14 pp. 302, se selecciona un **tornillo de paso medio y helicoide sencillo**.

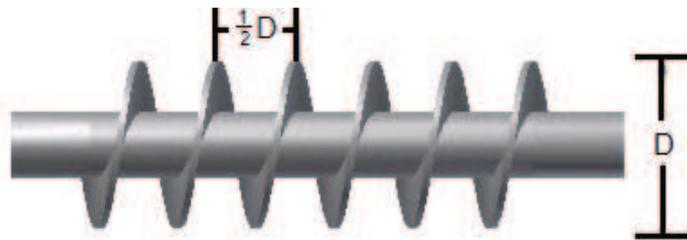


Figura 4- 13: Paso medio helicoide sencillo

Por lo tanto, el tipo de hélice a seleccionar se la calcula de la siguiente manera:

$$t = \frac{1}{2} d_{tor} \quad (4- 25)$$

Donde:

$t$  = Paso, [mm]

$d_{tor}$  = Diámetro del tornillo, [mm]

#### 4.3.5.3 Selección del diámetro del tornillo<sup>90</sup>

Una vez realizada la selección del material a transportar en el numeral 4.3.5.1 pp. 129 y de acuerdo con las características de los materiales a ser transportados, se procede a la selección del diámetro del tornillo lo cual está detallado en la tabla A-9 del ANEXO 14 pp. 301.

La selección del diámetro del tornillo está en función del tiempo de permanencia del maíz en contacto con el aire caliente y el tiempo de reposo que necesitan los granos para que la humedad interna migre hacia el exterior, por lo tanto se selecciona un tornillo de diámetro mínimo = 152[mm].

#### 4.3.5.4 Capacidad volumétrica por RPM

Para el cálculo de la capacidad volumétrica del tornillo por revolución, se relaciona el diámetro externo del tornillo y el diámetro del eje seleccionados anteriormente.

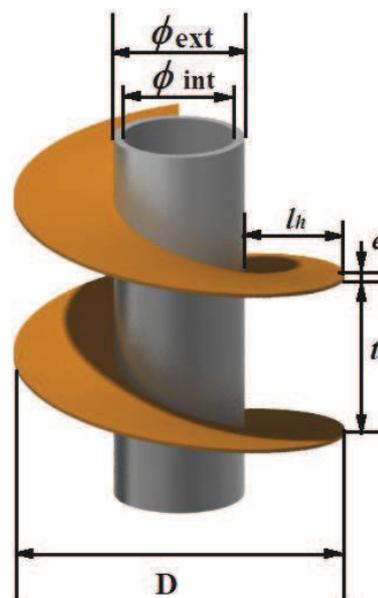


Figura 4- 14: Dimensionamiento del tornillo sin fin

$$\text{Área} = \frac{\pi}{4} (\phi_{ext}^2 - \phi_{int}^2) \quad (4- 26)$$

Donde

$\phi_{ext}$  = Diámetro externo del tornillo, [mm<sup>2</sup>]

$\phi_{int}$  = Diámetro interno del tornillo o diámetro del eje, [mm<sup>2</sup>]

$$V_{ol} = A * t \quad (4- 27)$$

Donde

$V_{ol}$  = Volumen, [ $m^3$ ]

$A$  = Área, [ $m^2$ ]

$t$  = Paso, [ $m$ ]

#### 4.3.5.5 Espesor de la hélice

El diseño de la hélice del tornillo se asemeja al diseño de partes roscadas de los pernos, es así que las hélices del sin fin se encuentran sometidas a un esfuerzo cortante, debido a la transmisión de la fuerza de tracción del eje y un esfuerzo normal por flexión, debido a que las hélices se las considera como vigas empotradas en voladizo.

Donde, la fuerza total a transmitir por el sin fin es la producida por el peso de los granos en el tornillo transportador y se determina en función del volumen de maíz sobre las hélices del sin fin.

$$F_{mh} = A_h * t * n_h * \rho_m * g \quad (4- 28)$$

$$A_h = \frac{\pi}{4} (D^2 - \phi_{ext}^2) \quad (4- 29)$$

Donde:

$F_{mh}$  = Fuerza de maíz sobre la hélice, [ $N$ ]

$A_h$  = Área de incidencia del grano sobre la hélice, [ $mm^2$ ]

$n_h$  = Número de hélices den el tornillo, [*adimensional*]

$t$  = Paso del tornillo, [ $mm$ ]

$$A_h = \frac{\pi}{4} (152^2 - \phi_{ext}^2)$$

El número de hélices se determina como resultado de la diferencia de la longitud total del tornillo sin fin y el paso.

$$n_h = \frac{L_t}{t} \quad (4-30)$$

Donde:

$L_t$  = Lonitud del tornillo, [mm]

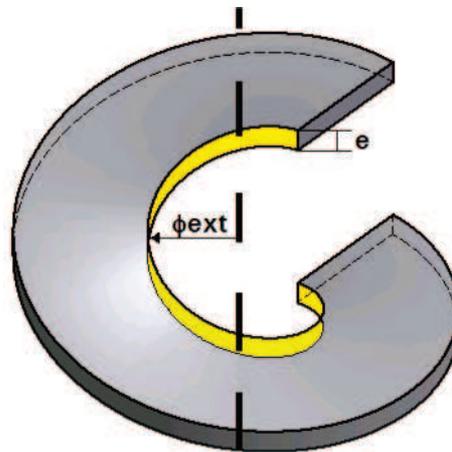
$$n_h = \frac{3102}{76} = 40,8 \approx \mathbf{41[hélices]}$$

Reemplazando los valores en la ecuación (4-28) pp. 131, se obtiene la fuerza sobre las hélices que se encuentran en función del diámetro del eje del sin fin.

$$F_{mh} = 0,017 * (152^2 - \phi_{ext}^2)[N]$$

Como se mencionó anteriormente el esfuerzo cortante se puede calcular como el esfuerzo promedio que es igual a la fuerza total que se transmite sobre el área total de la raíz de la hélice.

$$\tau_{yz} = \frac{F_{mh}}{A_{rh}} \quad (4-31)$$



**Figura 4- 15:** Área de la raíz de la hélice sometida al esfuerzo cortante

Donde:

$\tau_{yz}$  = Esfuerzo cortante, [MPa]

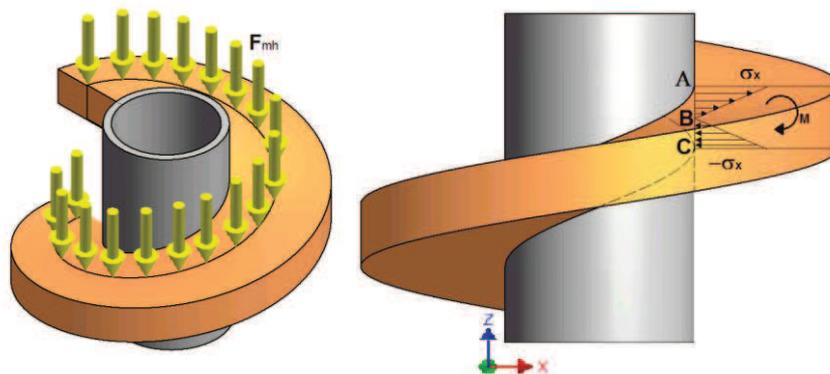
$A_{rh}$  = Área de la raíz dela hélice, [mm<sup>2</sup>]

$$A_{rh} = \pi * \phi_{ext} * e * n_h \quad (4-32)$$

Por lo tanto, reemplazando en la ecuación (4-31) pp. 132, se tiene el esfuerzo cortante.

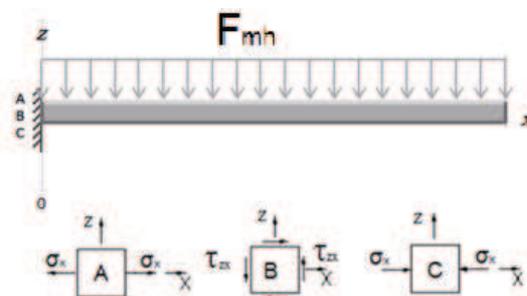
$$\tau_{yz} = \frac{(D^2 - \phi_{ext}^2) * t * \rho_m * g}{4 * \phi_{ext} * e} [MPa]$$

Al considerar a la hélice como una viga en voladizo, la sección crítica se encuentra en la raíz de la misma como se observa en la figura 4-16 y por motivos de caculo se considera la carga producida por el maíz en el tornillo como una carga transversal distribuida.



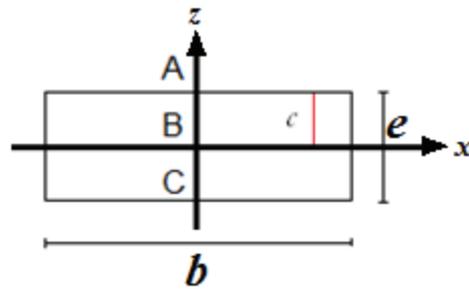
**Figura 4- 16:** Fuerza y esfuerzos producidos en la hélice

En la sección crítica se definen 3 puntos en los cuales se ubican la disposición de los esfuerzos como se muestra en la figura 4-17 determinando así al punto A como el crítico debido a que los materiales resisten más a compresión que a tensión.



**Figura 4- 17:** Esfuerzos en los puntos de la raíz de la hélice

La sección transversal de la hélice para los cálculos del esfuerzo normal se define como el área de un rectángulo con las medidas que se muestran en la figura 4-18 pp. 134.



**Figura 4- 18:** Momentos de inercia en el rectángulo

$$b = \pi * \phi_{ext} * n_h \quad (4- 33)$$

Donde:

$b$  = Ancho de la hélice, [mm]

$e$  = Espesor de la hélice, [mm]

$n_h$  = Número de hélices, [adimensional]

Por lo tanto, el esfuerzo normal en el punto A se lo determina mediante la ecuación (4-34)

$$\sigma_x = \frac{Mc}{I_{flex}} \quad (4- 34)$$

Donde:

$\sigma_x$  = Esfuerzo normal, [MPa]

$M$  = Momento flexionante máximo, [N – m]

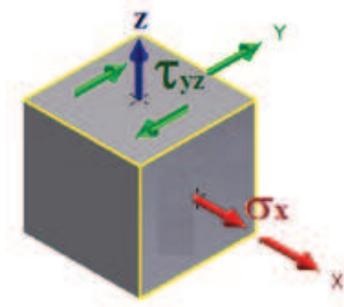
$c$  = Distancia al eje neutro, [mm]

$I_{flex}$  = Momento de inercia par la flexión, [mm<sup>4</sup>]

Por lo tanto, reemplazando los valores de la hélice se tiene el momento flector siguiente:

$$\sigma_x = \frac{3 * F_{mh} * l_h}{\pi * \phi_{ext} * n_h * e^2}$$

Los esfuerzos en el punto crítico se muestran en la figura 4-19 pp. 135.



**Figura 4- 19:** Esfuerzos en el punto crítico de la hélice

Usando las componentes  $xyz$  del esfuerzo tridimensional, el esfuerzo de Von Mises se escribe según la ecuación (4-35)<sup>88</sup>.

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} * \sqrt{(\sigma_x)^2 + 6(\tau_{yz})^2} \quad (4- 35)$$

Donde:

$\sigma'$  = Esfuerzo de Von Mises, [MPa]

$\tau_{yz}$  = Esfuerzo Cortante, [MPa]

Es así que utilizando la teoría de energía de distorsión, se obtiene la siguiente expresión:

$$FS = \frac{0,6 * S_y}{\sigma'} \quad (4- 36)$$

Reemplazando los valores respectivos para los esfuerzos, se tiene el factor de seguridad que se encuentra en función del espesor de la hélice y el diámetro del eje del tornillo y considerando que la hélice se encuentra diseñada de una plancha laminada de dimensiones **1220x2440x2** (figura A-21 del ANEXO 15 pp. 308), con una resistencia a la fluencia de  $S_y = 275$  [MPa]

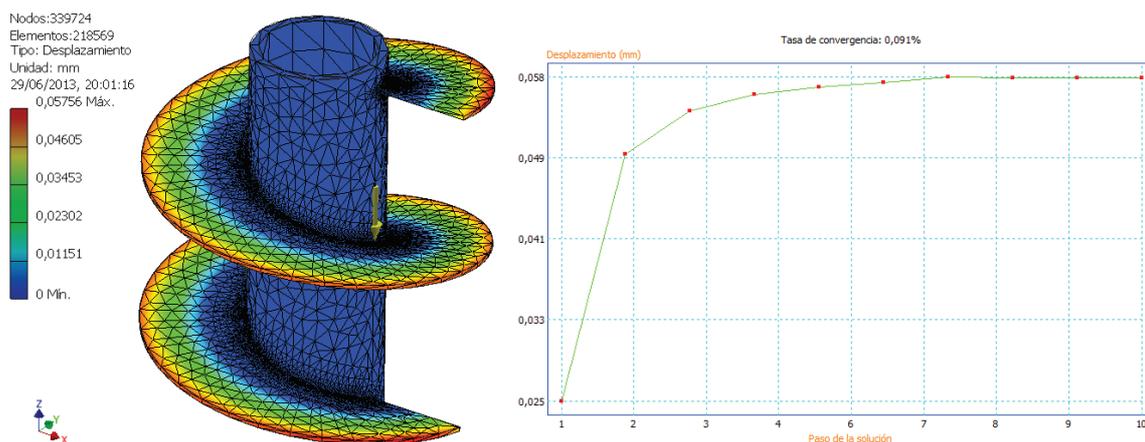
$$FS = \frac{0,6 * 275 [MPa]}{\frac{(152^2 - \phi_{ext}^2) * 76 * 7,15 * 10^{-7} * 9,8}{\sqrt{2} * 8 * \phi_{ext}} * \sqrt{\frac{9 * (152 - \phi_{ext})^2}{4 * e^2} + 6}}$$

Realizando los cálculos de forma iterativa se tiene que para un  $FS = 2$ , el espesor de la hélice es de 0,28 [mm] y un diámetro de eje de 42,2 [mm]. Pero dado a los

<sup>88</sup> Shigley, J., Mitchell L.; "Diseño en Ingeniería Mecánica"; México; Mc GRAW-Hill; 1985; pp. 215. [Consulta: 20 de Junio de 2012]

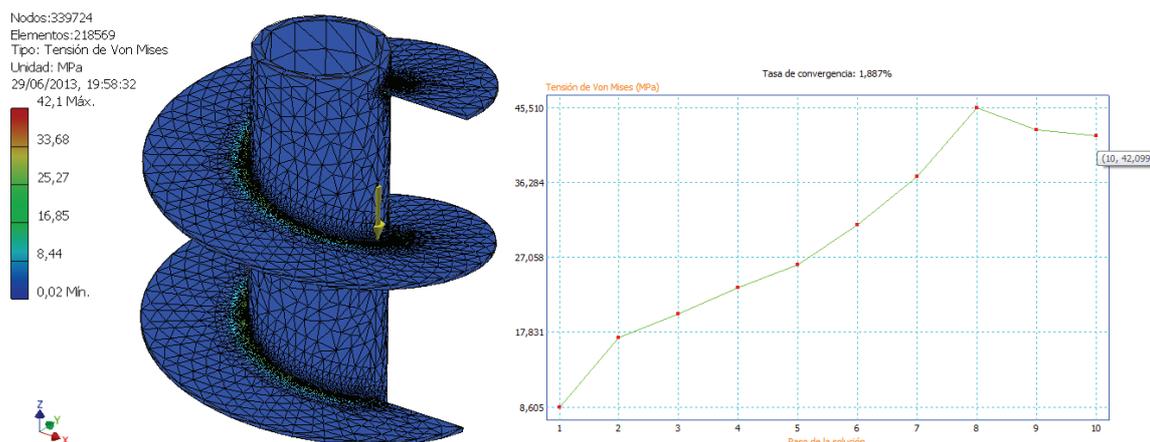
diversos factores de construcción como soldadura, desgaste del material y corrosión por el ambiente, se toma un espesor de hélice de 2 [mm].

Para validar los valores obtenidos, se realiza un análisis por medio de elementos finitos del tornillo sin fin mediante una simulación en la herramienta informática Autodesk Inventor 2012, obteniendo los siguientes resultados:



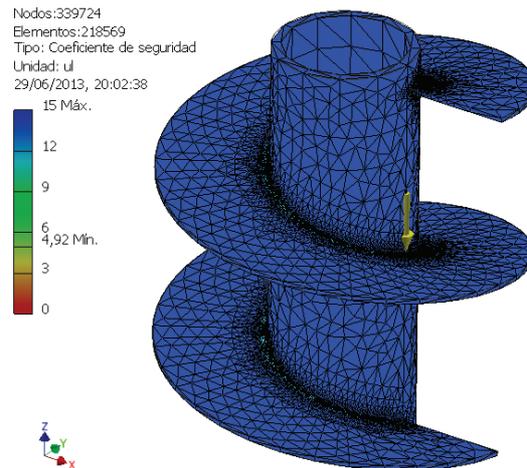
**Figura 4- 20:** Análisis del desplazamiento

Según la figura 4-20, la parte exterior de los álabes es la que sufre mayor desplazamiento debido a que el análisis considera a la hélice como una viga empotrada. Como el máximo desplazamiento es menor que la unidad se considera el diseño aceptable.



**Figura 4- 21:** Análisis de la tensión de Von Mises

Como se mencionó anteriormente, la hélice se la considera como una viga empotrada en un extremo, es por tal razón que su esfuerzo mayor se encuentra en la sección de la raíz, como se muestra en la figura 4-21.

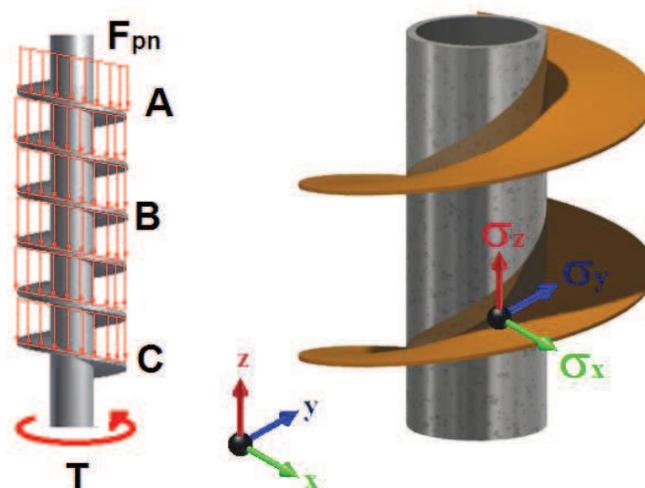


**Figura 4- 22:** Análisis del Factor de Seguridad

De acuerdo con la figura 4-21 pp. 136, el esfuerzo máximo es menor que la resistencia del material, obteniendo así un factor de seguridad alto para el tornillo sin fin, como se observa en la figura 4-22.

#### 4.3.5.6 Diámetro del eje del tornillo transportador<sup>89</sup>

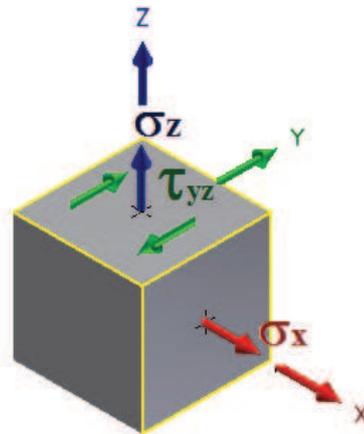
Para determinar el diámetro del eje del tornillo, se establece la parte inferior como la sección crítica, dado a que soporta un esfuerzo cortante transversal producido por el torque que gira al eje, un esfuerzo axial producido por la carga y un esfuerzo radial producido por la presión que ejerce el grano transportado en las alas de la hélice.



**Figura 4- 23:** Distribución de las fuerzas sobre las hélices del tornillo sin fin

<sup>89</sup> Shigley, J., Mitchell L.; "Diseño en Ingeniería Mecánica"; México; Mc GRAW-Hill; 1985; pp. 395-405. [Consulta: 20 de Junio de 2012]

Localizada la sección crítica, se ubica los esfuerzos en el punto crítico mostrados en la figura 4-24.



**Figura 4- 24:** Esfuerzos normales y cortantes

Utilizando la siguiente ecuación, el esfuerzo normal en el eje x se produce por la fuerza distribuida del maíz en las hélices del tornillo transportador.

$$\sigma_x = \frac{3 * t * \rho_m * g * (D - d_{ext})^2}{4 * e^2}$$

$$\sigma_x = \frac{3 * 76[mm] * 715 \times 10^{-5} \left[ \frac{Kg}{mm^3} \right] * 9,8 \left[ \frac{m}{s} \right] * (152 - 42,2)^2}{4 * 2,5^2} = \mathbf{0,770[MPa]}$$

Para determinar el esfuerzo cortante en el eje se lo realiza mediante la ecuación (4-37), determinado para un eje hueco<sup>90</sup>

$$\tau_{YZ} = \frac{T * r}{J} \quad (4- 37)$$

$$r = \frac{d_{ext}}{2} \quad (4- 38)$$

$$J = \frac{\pi * (\phi_{ext}^4 - \phi_{int}^4)}{32} \quad (4- 39)$$

Donde:

$r$  = Distancia hacia el centro de gravedad, [mm]

$J$  = Momentos de inercia para un eje hueco, [mm<sup>4</sup>]

<sup>90</sup> Shigley, J., Mitchell L.; "Diseño en Ingeniería Mecánica"; México; Mc GRAW-Hill; 1985; pp. 96. [Consulta: 20 de junio de 2012]

$T$  = Torque en el eje,  $\left[ \frac{N}{mm} \right]$

$$\tau_{YZ} = \frac{16 * T * d_{ext}}{\pi * (\phi_{ext}^4 - \phi_{int}^4)} \quad (4-40)$$

$$\tau_{YZ} = \frac{16 * 116511,22 [N - mm] * 42,2 [mm]}{\pi * (42,2^4 - \phi_{int}^4) [mm^4]}$$

El esfuerzo axial en el eje z del cuerpo debida a la fuerza de los granos de maíz sobre los caballetes se la determina por medio de la ecuación (4-41).

$$\sigma_z = \frac{4 * F_{me}}{\pi * (\phi_{ext}^2 - \phi_{int}^2)} \quad (4-41)$$

Donde:

$F_{me}$  = Fuerza del maíz sobre la hélice, [N]

Para determinar la fuerza de maíz sobre la hélice se debe conocer el número de hélices que se tiene en el tornillo.

$$F_{me} = V_{ol} * \rho_m * g * n_h \quad (4-42)$$

Para determinar la capacidad volumétrica del tornillo se utiliza la ecuación (4-43).

$$V_{ol} = A * t$$

$$V_{ol} = \pi * (D^2 - d_{ext}^2) * t \quad (4-43)$$

$$V_{ol} = \frac{\pi * (152^2 - 42,2^2) [mm^2]}{4} * 76 [mm] = \mathbf{1272784,97 [mm^3]}$$

$$n_h = \frac{L_T}{t} \quad (4-44)$$

Donde:

$L_T$  = Longitud del tornillo, [mm]

$t$  = Paso del tornillo, [mm]

$$n_h = \frac{3246 [mm]}{76 [mm]} = 42,7 \approx \mathbf{43 [hélices]}$$

$$F_{me} = 1272784,97[\text{mm}^3] * 715 \times 10^{-5} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^3} \right] * 9,8 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] * 43 = 383,49[\text{N}]$$

$$\sigma_z = \frac{4 * 383,49[\text{N}]}{\pi * (42,2^2 - \phi_{int}^2)}$$

Usando las componentes XYZ del esfuerzo tridimensional, el esfuerzo de Von Mises se escribe según la ecuación (4-45)<sup>91</sup>.

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} * \sqrt{(\sigma_x)^2 + (-\sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{yz})^2} \quad (4-45)$$

Donde:

$\sigma_z$  = Esfuerzo normal sobre el eje, [MPa]

$\sigma_x$  = Esfuerzo normal sobre el eje debido al torque de giro, [MPa]

$\tau_{yz}$  = Esfuerzo Cortante, [MPa]

Es así que utilizando la teoría de energía de distorsión, se obtiene la siguiente expresión:

$$FS = \frac{0,6 * S_y}{\sigma'} \quad (4-46)$$

Reemplazando los valores respectivos para los esfuerzos, se tiene el factor de seguridad que se encuentra en función del espesor del eje del tornillo.

$$FS = \frac{0,6 * 275[\text{MPa}]}{\frac{1}{\sqrt{2}} * \sqrt{(0,770)^2 + \left( \frac{4 * 383,49[\text{N}]}{\pi * (42,2^2 - \phi_{int}^2)} \right)^2 + \left( \frac{4 * 383,49[\text{N}]}{\pi * (42,2^2 - \phi_{int}^2)} - 0,770 \right)^2 + 6 \left( \frac{16 * 116511,22[\text{N-mm}] * 42,2[\text{mm}]}{\pi * (42,2^4 - \phi_{int}^4)} \right)^2}}$$

Para un  $FS = 2$  se tiene un espesor del eje de 0,955 [mm]. Por lo tanto, por razones de construcción, el espesor del eje debe ser mayor es así que conociendo el valor del diámetro externo del eje se selecciona como **eje del tornillo sin fin un tubo de 42,2 [mm] con un espesor de 4,85 [mm]**, (figura A-22 del ANEXO 15 pp. 309).

<sup>91</sup> Shigley, J., Mitchell L.; "Diseño en Ingeniería Mecánica"; México; Mc GRAW-Hill; 1985; pp. 215. [Consulta: 20 de Junio de 2012]

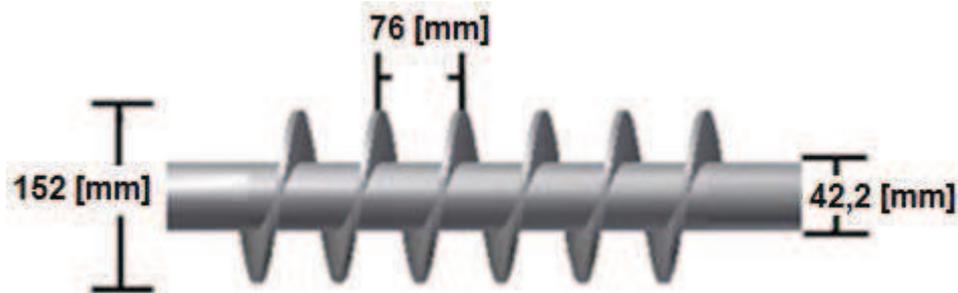


Figura 4- 25: Medidas del tornillo sin fin

#### 4.3.5.7 Selección del tipo de canal

Para la selección del tipo de canal se debe tener en cuenta la tolerancia que existe entre el diámetro externo del tornillo sin fin y diámetro interno del tubo conductor.

En función de la figura A-24 del ANEXO 16 pp. 312 y 313, el cual se basa bajo las **normas ISO**, se analiza una tabla de ajuste preferente para el agujero base y el eje básico del cual se obtiene los ajustes H8/f7 y F8/h7 respectivamente. Por lo tanto se escoge un **tubo de  $\phi_{nominal} = 158 [mm]$ , de cedula 10 y de espesor de pared = 2 [mm]**, lo cual esta detallada en la figura A-25 del ANEXO 16 pp. 314 - 315.

#### 4.3.5.8 Capacidad del tornillo.<sup>92</sup>

La capacidad equivalente ésta en función de la capacidad requerida y a su vez de la influencia de los componentes del tornillo transportador.

$$Q_{re} = \frac{M_m}{\rho_m} \quad (4- 47)$$

Donde:

$$Q_{re} = \text{Capacidad requerida del tornillo, } \left[ \frac{ft^3}{h} \right]$$

$$\rho_m = \text{Densidad del maíz} = 715 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] = 20,26 \left[ \frac{Kg}{ft^3} \right]$$

$$M_m = \text{Masa de maíz} = 2000 [kg]$$

<sup>92</sup> Giraldo R., Flores L., Higuera O.; "Capacidad equivalente"; [en línea]; Diseño y construcción de un mezclador de tornillo sin fin para mortero seco; Universidad Tecnológica de Pereira; 2010; pp. 39 – 40; <[http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=dise%C3%B1o+y+construccion+de+un+mezclador+de+tornillo+sin+fin%C3%ADn+para+mortero+seco.&source=web&cd=4&ved=0CFUQFjAD&url=http%3A%2F%2Frevistas.utp.edu.co%2Findex.php%2Frevistaciencia%2Farticle%2Fdownload%2F305%2F179&ei=OgoPUNiTPObk0QHMIHACw&usg=AFQjCNHkSxzeRilSknfZ\\_ATAzlyEfJJkg&cad=rja](http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=dise%C3%B1o+y+construccion+de+un+mezclador+de+tornillo+sin+fin%C3%ADn+para+mortero+seco.&source=web&cd=4&ved=0CFUQFjAD&url=http%3A%2F%2Frevistas.utp.edu.co%2Findex.php%2Frevistaciencia%2Farticle%2Fdownload%2F305%2F179&ei=OgoPUNiTPObk0QHMIHACw&usg=AFQjCNHkSxzeRilSknfZ_ATAzlyEfJJkg&cad=rja)>; [Consulta: 13 de Julio del 2012]

$$Q_{eq} = Q_{re} * FC_1 * FC_2 * FC_3 \quad (4- 48)$$

Donde:

$Q_{eq}$  = Capacidad Equivalente,  $\left[\frac{ft^3}{h}\right]$

$FC_1$  = Factor especial de capacidad por el tipo de paso.

$FC_2$  = Factor especial de capacidad por el tipo de hélice.

$FC_3$  = Factor especial de capacidad paletas mezcladoras.

#### 4.3.5.8.1 Factor especial de capacidad por el tipo de paso ( $FC_1$ ).

El factor  $FC_1$  se encuentra en función del tipo de paso que se va a utilizar en el tornillo transportador, el mismo que anteriormente fue escogido en el numeral 4.3.5.2 pp. 129, el cual es un tornillo de paso medio, por lo tanto se tiene un factor  $FC_1=29$  como se muestra en la tabla A-10 del ANEXO 17 pp. 317.

#### 4.3.5.8.2 Factor especial de capacidad por tipo de hélice ( $FC_2$ )

El factor  $FC_2$  está definido por el tipo de fabricación de la hélice, se realiza mediante soldadura de discos unidos o por medio de la unión de una espiral helicoidal realizada por medio de una máquina especial de fabricación tabla A-11 del ANEXO 17 pp. 317.

#### 4.3.5.8.3 Factor especial de capacidad por paletas mezcladoras ( $FC_3$ )

El factor  $FC_3$  se toma en consideración si la hélice a utilizar está compuesta por paletas, caso contrario al no utilizar paletas se toma el valor 1. (Tabla A-12 del ANEXO 17 pp. 317).

Por lo tanto, una vez obtenido los valores de cada uno de los factores y reemplazando en las ecuaciones (4-47) pp. 141 y (4-48), para el cálculo de la capacidad real, se tienen los siguientes resultados:

$$Q_{re} = \frac{2000 [kg]}{20,26 \left[\frac{kg}{ft^3}\right]} = 98,71 \left[\frac{ft^3}{h}\right]$$

$$Q_{eq} = 98,71 * 2 * 2,54 * 1 = 501,4 \left[\frac{ft^3}{h}\right] = 14,2 \left[\frac{m^3}{h}\right]$$

#### 4.3.6 DIMENSIONAMIENTO TOTAL DE LA MÁQUINA SECADORA DE MAÍZ

Una vez obtenido todas las alturas de las partes de la máquina secadora, se ilustra en la figura 4-26.

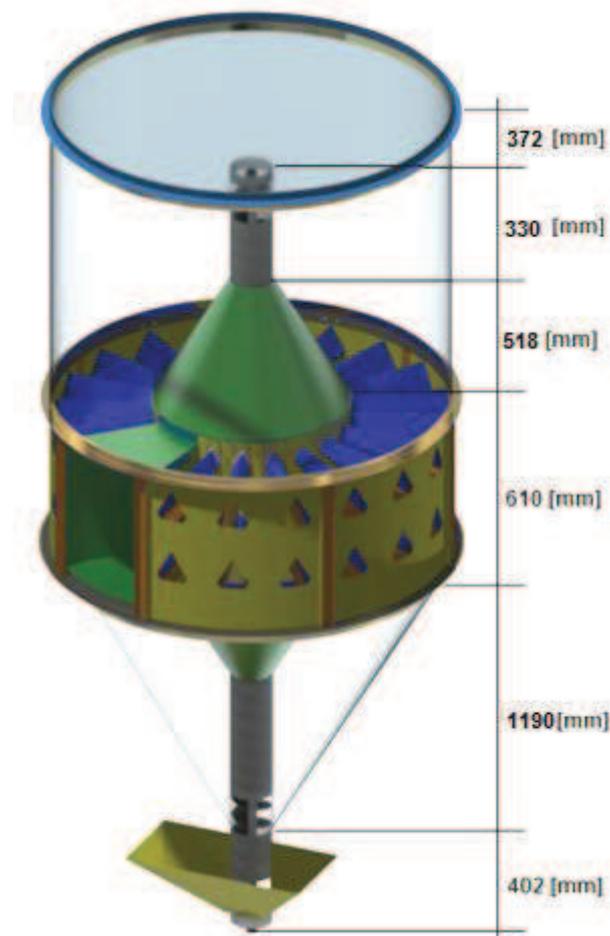


Figura 4- 26: Dimensiones de la cámara de secado

#### 4.4 DISEÑO DE LAS PARTES DEL SECADOR

En este punto se realiza el diseño y la selección de cada una de las partes del que conforman el sistema que realizará el secado de los granos de maíz.

##### 4.4.1 DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE LA LÁMINA PARA LAS PARTES DEL SECADOR

###### 4.4.1.1 Propiedades del maíz para el cálculo de silos

El tipo de secador es un tipo silo, por tal motivo se toma como referencia la norma europea UNE–ENV 1991-4:1997.

**Tabla 4- 11:** Propiedades de los materiales granulados <sup>93</sup>

Material granular	Densidad [ $\frac{N}{m^3}$ ]	Relación de Presiones [ $K_{s,m}$ ]	Coeficiente de Rozamiento de la Pared [ $\mu_m$ ]		Máximo coeficiente de mayoración de la presión
			Acero	Hormigón	
Maíz	715	0,50	0,30	0,40	1,40

Considerando un diámetro interior de 1533 [mm] y con una altura de 1830 [mm], la cámara de secado será diseñada por medio de una plancha laminada en caliente de acero A-36.

Las presiones que debe soportar la pared de la cámara serán las presiones normales a la misma.

#### 4.4.2 CÁLCULO DE LA EXCENTRICIDAD

Para el cálculo de excentricidad se toma en consideración la siguiente relación:

$$e_i < 0,25 d_c \quad (4- 49)$$

$$e_i < 0,25 * 1533 [mm]$$

$$e_i < \mathbf{383 [mm]}$$

Como el diámetro del canal transportador es de 152[mm], la excentricidad está dentro del rango permitido.

#### 4.4.3 DETERMINACIÓN DEL TIPO DE SILO

Se determina el tipo de silo a diseñar en función de la ecuación (A-3) del ANEXO 5 pp. 270.

$$\frac{h}{d_c} = \frac{1830}{1533} = 1,2$$

<sup>93</sup> Bases de Proyecto y Acciones en Estructuras"; [en línea]; Euro códigos UNE- ENV 3 – 4.1; Parte 4: Acciones en silos y depósitos; Norma Europea Experimental; 1998; <[http://sirio.ua.es/cat/UNE-ENV\\_1991-4=1998.pdf](http://sirio.ua.es/cat/UNE-ENV_1991-4=1998.pdf)>; [Consulta: 27 de Julio de 2012].

Como en el ANEXO 5 pp. 271, se detalla el tipo de silos según la relación mostrada anteriormente, se determina que el tipo de silo a diseñar se trata de un silo corto.

#### 4.4.4 PRESIONES HORIZONTALES SOBRE LA PARED

Como la presión horizontal es la que afecta en mayor proporción que la presión por rozamiento y la vertical, se toma a ésta como la presión de diseño por lo tanto se trabaja con la ecuación (A-5) del ANEXO 5 pp. 271.

$$P_{hf}(z) = \frac{\gamma A}{\mu U} C_z(z)$$

Donde los valores de A y U son:

$$A = \frac{\pi * d_c^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 1,533^2}{4} = \mathbf{1,85[m^2]}$$

$$U = \pi * d_c$$

$$U = \pi * 1,533 = \mathbf{4,82[m]}$$

Tomando en consideración los valores máximos expuestos en el ANEXO 5 pp. 268 - 278, para calcular la presión horizontal  $P_h$ , se tiene:

Máx.  $P_h$  Para  $K_s = 1,15 * K_{s,m}$  y  $\mu = 0,9 * \mu_m$

$$K_s = 1,15 * 0,5 = \mathbf{0,58}$$

$$\mu = 0,9 * 0,3 = \mathbf{0,27}$$

$$Z_o = \frac{A}{K_s \mu U} \tag{4-50}$$

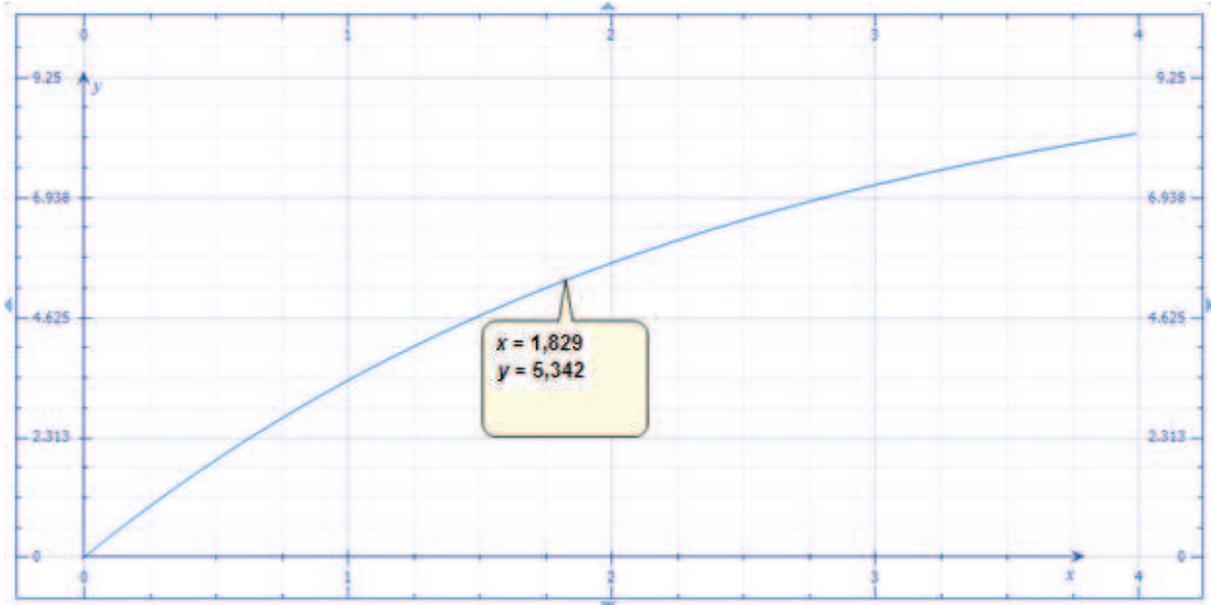
$$Z_o = \frac{1,85 \text{ m}^2}{0,575 * 0,27 * 4,82 \text{ m}} = \mathbf{2,47[m]}$$

$$C_z(z) = 1 - e^{(-z/Z_o)} \tag{4-51}$$

$$C_z(1,83) = 1 - e^{(-1,83[m]/2,47m)} = \mathbf{0,52}$$

Reemplazando todos los valores en la ecuación general para el cálculo de la presión horizontal se tiene como resultado el gráfico 4-3.

$$P_{hf}(z) = \frac{7,15[\text{KN}/\text{m}^3] * 1,85 [\text{m}^2]}{0,27 * 4,82[\text{m}]} * (1 - e^{(-z/2,47[\text{m}])})$$



**Gráfico 4- 3:** Curva resultante de la Presión horizontal en función de la altura

En función de la gráfica anterior se determina el punto crítico en función de la máxima presión soportada por la cámara del cilindro, se toma la presión en el punto inferior de la secadora como presión de diseño.

$$P_{hf}(3,622[\text{m}]) = 5,3 [\text{KPa}]$$

#### 4.4.5 DETERMINACIÓN DEL PUNTO CRÍTICO EN EL CILINDRO Y ESTADO DE TENSIONES

Para la determinación del punto crítico y estado de tensiones en el cilindro se realiza un gráfico (figura 4-27 pp. 147), en donde las presiones horizontales en función de la altura se determinan como el punto crítico el punto C, que es punto de diseño.

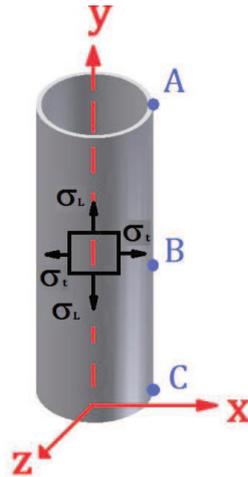


Figura 4- 27: Esfuerzos tangenciales y longitudinales

Para obtener los esfuerzos en el punto crítico se toma en cuenta la teoría de esfuerzos para recipientes cilíndricos de pared delgada. Así, el estado de tensiones en el punto inferior del cilindro son: los esfuerzos radiales, tangenciales y longitudinales los cuales se obtienen mediante las expresiones<sup>94</sup>, que se muestran a continuación.

$$\sigma_t = \frac{P \cdot r}{t} \quad (4- 52)$$

$$\sigma_L = \frac{P \cdot r}{2 \cdot t} \quad (4- 53)$$

$$\sigma_r = -P \quad (4- 54)$$

$$\sigma_L = 2 \cdot \sigma_t \quad (4- 55)$$

A los esfuerzos longitudinales se debe sumar el esfuerzo producido por las reacciones de los caballetes en la lámina de la cámara de secado.

$$\sigma_{LC} = \frac{F_{TC}}{A_L} = \frac{F_{TC}}{\frac{\pi}{4} \cdot (D_{ext}^2 - D_{int}^2)} \quad (4- 56)$$

$$F_{TC} = N_c \cdot R \cdot N_N \quad (4- 57)$$

Donde:

$\sigma_{LC}$  = Esfuerzo producido por las reacciones de los caballetes, [MPa]

<sup>94</sup> Shigley, J., Mitchell L.; "Diseño en Ingeniería Mecánica"; México; Mc GRAW-Hill; 1985; pp. 76- 80.  
[Consulta: 20 de junio de 2012]

$F_{Tc}$  = Fuerza total producida por las reacciones de los caballetes en la cámara de secado, [N]

$A_L$  = Área longitudinal de la lámina, [m<sup>2</sup>]

$R$  = Reacción debida a la fuerza en un caballete, [N]

$N_c$  = Número de caballetes por nivel, [adimensional]

$N_N$  = Número de niveles, [adimensional]

$$F_{Tc} = 18 * R * 4 \quad (4- 58)$$

Por lo tanto los esfuerzos longitudinales totales son:

$$\sigma_{LT} = \sigma_L - \sigma_{Lc}$$

$$\sigma_{LT} = \frac{P*r}{2*t} - \frac{F_{Tc}}{\frac{\pi}{4}*(D_{ext}^2 - D_{int}^2)} \quad (4- 59)$$

Donde se debe cumplir la expresión:

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$$

$$\sigma_1 = \sigma_t = \frac{5,3[KPa] * 0,766[m]}{t}$$

$$\sigma_2 = \sigma_r = -5,3[KPa]$$

$$\sigma_3 = \sigma_{LT} = \frac{5,3[KPa] * 0,766[m]}{2 * t} - \frac{62,9[KN]}{\frac{\pi}{4} * ((1533 + t)^2 - (1533)^2)}$$

Utilizando el teorema de Von Mises tenemos:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3}$$

$$FS = \frac{S_y}{\sigma'}$$

Para el diseño de la máquina, se toma en consideración el uso de una **plancha laminada en caliente**, obteniendo como resultado la tabla 4-12 pp. 149.

**Tabla 4- 12:** Espesores y factores de seguridad

<b>t [mm]</b>	<b><math>\sigma_1</math>[KPa]</b>	<b><math>\sigma_2</math>[KPa]</b>	<b><math>\sigma_3</math>[KPa]</b>	<b><math>\sigma'</math>[KPa]</b>	<b><math>S_y</math>[KPa]</b>	<b>FS</b>
0,5	8145,3	-5,3	-5802,32	12135,9	275000	23
1	2036,3	-5,3	-1448,1	3032,4	275000	91

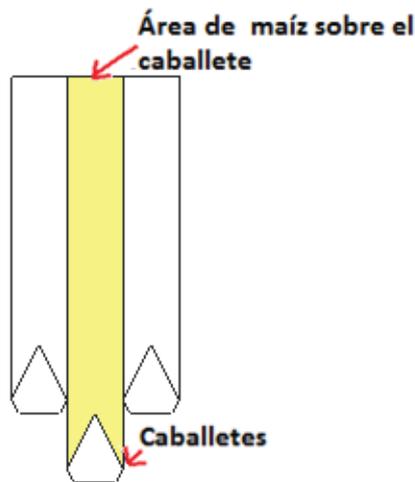
Como se observa en la tabla 4-12, con un espesor de  $t = 1$  [mm], se tiene un factor de seguridad alto  $FS = 91$ , pero considerando que en el lugar de trabajo existe alto grado de corrosión, la abrasividad con la que se trabaja por el contacto del grano y el espesor mínimo de para la soldadura, se tomara un espesor de 2 [mm].

#### 4.4.6 CABALLETES

La distribución de los caballetes se debe realizar en forma alternada de acuerdo con las recomendaciones de la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), en donde se recomienda que los caballetes deban tener un ángulo superior de  $50^\circ$  y con los rebordes inferiores hacia adentro. Sustituir la configuración clásica de una línea de caballetes de aire caliente y una de caballetes de aire usado, por una combinación en que se hacen cambios a  $180^\circ$  y con zonas neutras y de templado u homogeneizado. Es por ello que para facilidades de cálculo y de diseño se trabaja con un ángulo de  $60^\circ$  para los caballetes de la cámara de secado<sup>95</sup>.

El peso del maíz que se encuentra en la parte superior de los caballetes, será quien proporcione la fuerza distribuida que influencia en forma directa para el diseño de los caballetes. El área de granos que influyen directamente en el caballete está dada en función de la distribución de los mismos como se muestra en la figura 4-28 pp. 150; dado a que el área de la parte exterior es mayor que la interior, por cuestiones de diseño se toma la de mayor área.

<sup>95</sup> "Mejoras en secadores de caballetes"; [en línea]; Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); <<http://www.fao.org/docrep/x5028s/X5028S07.htm>>; [Consulta: 20 de junio de 2012].



**Figura 4- 28:** Distribución de los caballetes

$$\text{Área}_{\text{exterior}} = 128170,77[\text{mm}^2]$$

$$\text{Área}_{\text{interior}} = 58877,53[\text{mm}^2]$$

Para encontrar la fuerza que actúa sobre el caballete, se utiliza la fórmula de peso de los granos de maíz, la misma que se encuentra en función de la ecuación de la densidad.

$$m_{Mc} = A_{Mc} * \rho \quad (4- 60)$$

Donde:

$$A_{Mc} = \text{Área del maíz sobre el caballete, [m}^2\text{]}$$

$$m_{Mc} = \text{Masa del maíz en el caballete por unidad, } \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}}\right]$$

$$\rho_m = \text{Densidad del maíz, } \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right]$$

Reemplazando los valores correspondientes se obtiene:

$$m_{Mc} = 0,128[\text{m}^2] * 715 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right] = 91,52 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}}\right]$$

Una vez obtenida la masa del maíz, se procede al cálculo de la fuerza vertical que actúa en cada uno de los caballetes.

$$F_V = m_{Mc} * g \quad (4- 61)$$

Donde:

$F_V$  = Fuerza vertical en el caballete por unidad,  $\left[\frac{N}{m}\right]$

$m_{Mc}$  = Masa del maíz en el caballete por unidad,  $\left[\frac{kg}{m}\right]$

$g$  = Gravedad,  $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

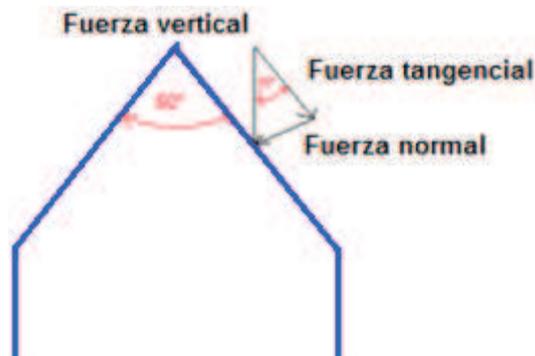
Por lo tanto, el valor de la fuerza vertical del caballete es:

$$F_V = 91,52 \left[\frac{Kg}{m}\right] * 9,8 \left[\frac{m}{s^2}\right] = 897 \left[\frac{N}{m}\right]$$

El valor de la fuerza en cada cara o superficie del caballete será igual a la mitad del valor total.

$$F_{Vc} = \frac{F_V}{2} = 448,5 \left[\frac{N}{m}\right]$$

La fuerza vertical se divide en dos componentes, una fuerza vertical y una tangencial, como se tiene en la figura 4-29:



**Figura 4- 29:** Distribución de fuerzas en el caballete

Y se los calcula de la siguiente manera:

$$F_{nc} = F_{Vc} * \text{sen } 30^\circ = 224,25 \left[\frac{N}{m}\right]$$

$$F_{tc} = F_{Vc} * \text{cos } 30^\circ = 388,4 \left[\frac{N}{m}\right]$$

Donde:

$F_{nc}$  = Fuerza normal en el caballete,  $\left[\frac{N}{m}\right]$

$F_{tc}$  = Fuerza tangencial en el caballete,  $\left[\frac{N}{m}\right]$

Utilizando la teoría de tensión en vigas para encontrar el espesor de la lámina, se toma como distancia de la viga a la longitud del caballete que se encuentra en contacto con los granos de maíz, la misma que resistirá los esfuerzos provocados por la fuerza normal.

Haciendo uso de las ecuaciones de reacción y momentos expuestas en el manual AISC<sup>96</sup> se realizan los siguientes cálculos para los lados del caballete:

- Cálculo de las reacciones en el caballete:

$$R = V = wl \quad (4- 62)$$

- Cálculo de los momentos en el caballete:

$$M_{max} = \frac{wl^2}{2} \quad (4- 63)$$

Donde

$l$  = Longitud del caballete,  $[m]$

$w$  = Peso de la carga distribuida,  $\left[\frac{N}{m}\right]$

$R$  = Reacciones en el caballete,  $[N]$

$M_{max\ al\ final}$  = Momento máximo al final,  $[N - m]$

$M_{1\ al\ centro}$  = Momento en el centro del caballete,  $[N - m]$

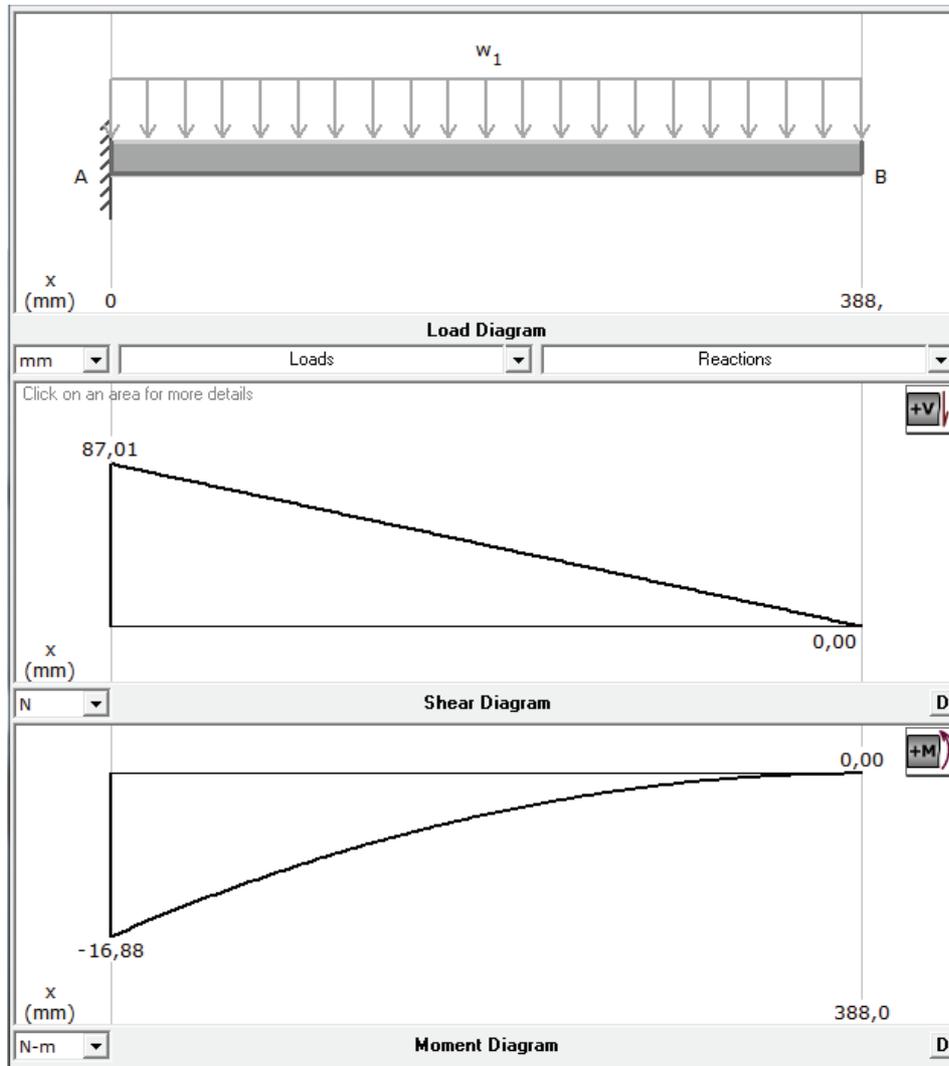
$M_{max}$  = Momento máximo,  $[N - m]$

$$R = V = 224,25 \left[\frac{N}{m}\right] * 0,388[m] = \mathbf{87[N]}$$

$$M_{max} = \frac{\left(224,5 \left[\frac{N}{m}\right]\right) * (0,388[m])^2}{2} = \mathbf{16,88[N - m]}$$

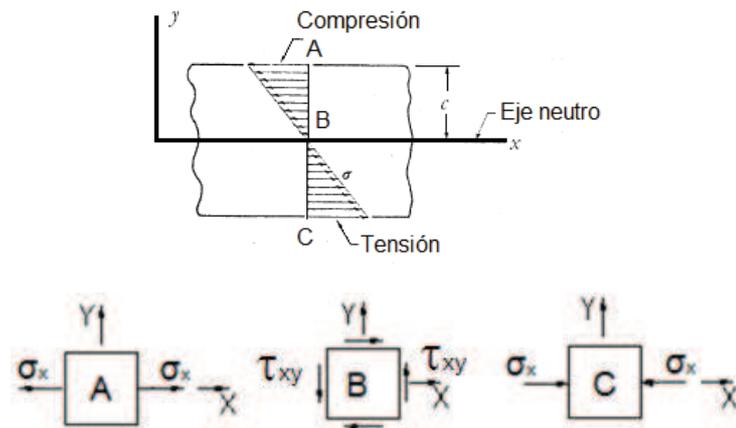
<sup>96</sup> "Manual of Steel Construction"; AISC; Octava Edición; pp. 2-119. [Consulta: 20 de junio de 2012].

Una vez realizados los cálculos, se grafica de los diagramas de cuerpo libre y momento flector para así determinar si la geometría de la viga considerada cumple con las especificaciones planteadas, para lo cual se utiliza el Programa Informático MD Solid 3.5, obteniendo el gráfico 4-4.



**Gráfico 4- 4:** Diagramas de cuerpo libre y momento flector del caballete

Por lo tanto, se define como la sección crítica en la parte media del caballete en donde se encuentra el momento máximo y dado a que el punto crítico de la sección transversal se encuentra ubicado en la parte de tensión, se tiene:



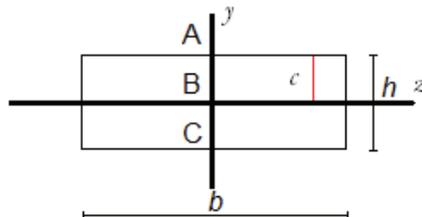
**Figura 4- 30:** Sección y puntos críticos del caballete<sup>97</sup>

Dependiendo del sentido del momento, se determina si los esfuerzos máximos son de tensión o de compresión expresados en las siguientes ecuaciones<sup>98</sup>:

$$\sigma_x = \frac{M}{Z} \quad (4- 64)$$

$$Z = \frac{I}{c} \quad (4- 65)$$

Para el cálculo del momento de inercia de un rectángulo se hace uso de las siguientes ecuaciones:



**Figura 4- 31:** Momentos de inercia en el rectángulo

$$I = \frac{1}{12} bh^3 \quad (4- 66)$$

$$c = \frac{h}{2} \quad (4- 67)$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} \quad (4- 68)$$

$$\sigma_x = \frac{6M}{bh^2} \quad (4- 69)$$

<sup>97</sup> Fuente propia. [Consulta: 01 de agosto de 2012]

<sup>98</sup> Shigley, J., Mitchell L.; "Diseño en ingeniería Mecánica"; Tercera Edición; Mc-Graw-Hill; México - México; 1995; pp. 54. [Consulta: 01 de agosto de 2012]

Donde:

$M$  = Momento flexionante máximo,  $[N - m]$

$c$  = Distancia desde el eje neutro,  $[m]$

$I$  = Momentos de inercia del área transversal,  $[N - m]$

$b$  = Ancho del caballete lateral,  $[m]$ ;

$h$  = Espesor del caballete,  $[mm]$

$Z$  = Módulo de la sección

Dado a que únicamente existen esfuerzos en la dirección del eje x, el esfuerzo principal será igual a dicho esfuerzo:

$$\sigma_1 = \sigma_x$$

Asumiendo un factor de seguridad de 2 y considerando el material del caballete como una plancha laminada de **1220x2440** (figura A-21 del ANEXO 15 pp. 308), el mismo que posee una resistencia a la fluencia de  $S_y = 275[MPa]$ , se aplica la teoría de energía de distorsión, donde:

$$\sigma_1 \leq [\sigma] = \frac{0,577 * S_y}{FS} \quad (4- 70)$$

Donde:

$S_y$  = Resistencia a la fluencia,  $[MPa]$

$FS$  = Factor de seguridad

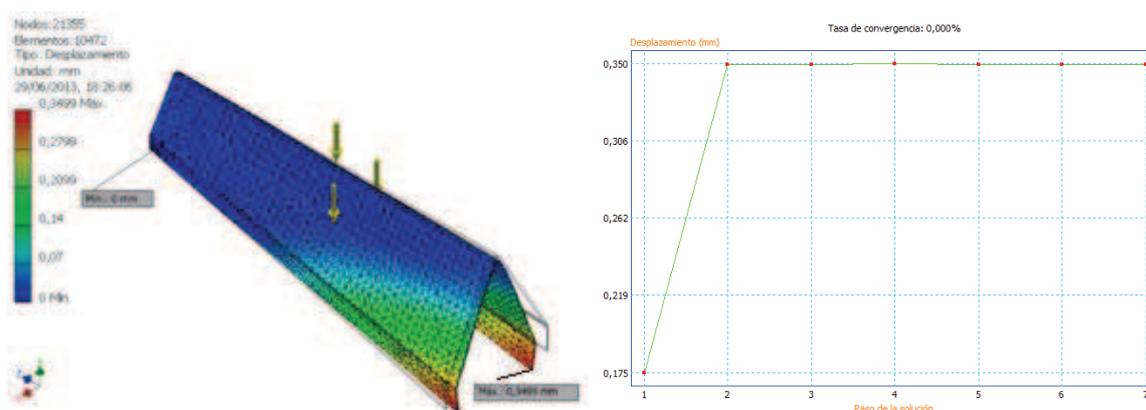
Conociendo  $S_y = 275[MPa]$  y  $FS = 2$ , se remplazan en la ecuación (4-71) y despejando  $h$  (altura = en este caso es el espesor) se tiene que:

$$h = \sqrt{\frac{6 * M * FS}{b * S_y}} \quad (4- 71)$$

$$h = \sqrt{\frac{6 * 2,82[N - m] * 2}{0,120[m] * 0,577 * 275[MPa]}} = 2,5[mm]$$

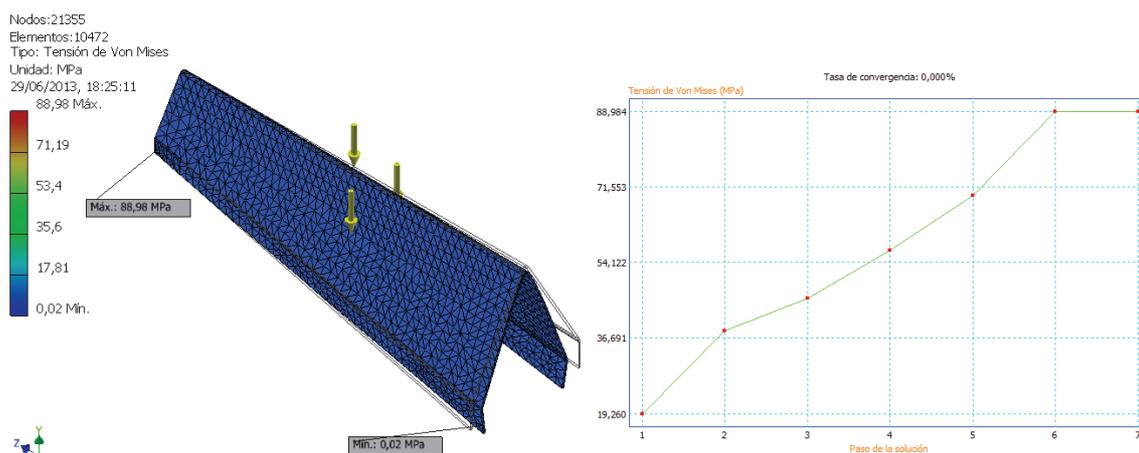
Considerando que los caballetes se encuentran en contacto directo con los granos produciendo desgaste en las placas, el ambiente en el que trabaja es corrosivo y que es necesario un espesor mínimo para la soldadura, se toma un valor de 2,5[mm] para la placa del caballete.

Para validar los valores obtenidos, se realiza un análisis por medio de elementos finitos del caballete mediante una simulación en el programa informático Autodesk Inventor 2012, obteniendo los siguientes resultados:



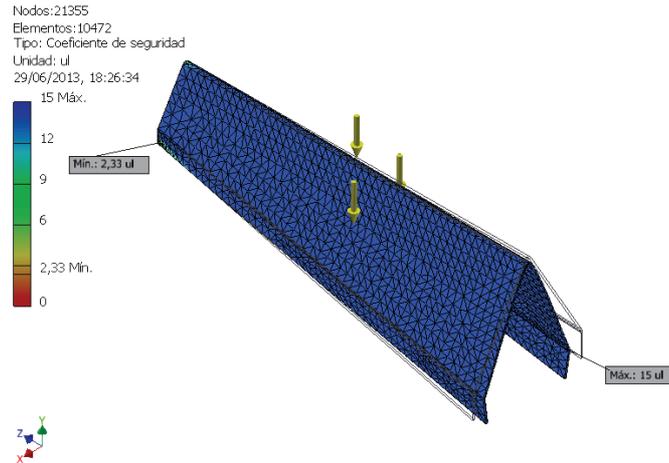
**Figura 4- 32:** Análisis del desplazamiento

Como se observa en la figura la parte de color rojo es la sección de mayor desplazamiento, pero dado a que el desplazamiento es menor que la unidad, se considera aceptable el espesor de diseño.



**Figura 4- 33:** Análisis de la Tensión de Von Mises

Como se puede observar en la figura 4-33, se deduce que la fuerza que produce el maíz sobre los caballetes es mínima.



**Figura 4- 34:** Análisis del Factor de Seguridad

Según la simulación realizada, se observa que en todo el cuerpo existe un factor de seguridad uniforme, lo que nos permite asegurar que el diseño del caballete es el correcto.

#### 4.4.6.1 Cálculo de la soldadura en los caballetes

Para sujetar los caballetes hacia la cámara de aire caliente se realiza mediante soldadura, debido a que los espesores entre los caballetes y la lámina de la cámara son de espesores pequeños, se utiliza la **soldadura TIG** para realizar las uniones.

Para el cálculo de las reacciones totales sobre los caballetes se considera la fuerza total sobre cada caballete.

$$F = 897 \left[ \frac{N}{m} \right]$$

La reacción y el momento que afecta al cordón de soldadura serán los mismos calculados anteriormente para el diseño de caballetes, por lo que se tiene la reacción y el momento mostrados a continuación:

$$R = V = 87[N]$$

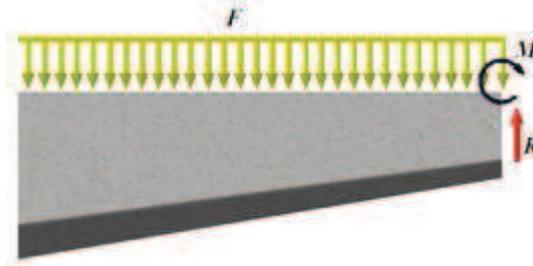
$$M = 16,88[N - m]$$

Donde

$l$  = Longitud del caballete,  $[m]$

$w =$  Carga distribuida,  $\left[\frac{N}{m}\right]$

$R =$ Reacción en el empotramiento del caballete,  $[N]$



**Figura 4- 35:** Distribución de fuerza sobre los caballetes y la soldadura

El análisis se basa en el extremo pequeño del caballete con una lado de 60  $[mm]$ . Debido a que existe una reacción y un momento en las uniones soldadas se tendrán esfuerzos de corte primarios debido a la fuerza cortante y esfuerzos secundarios debido al momento.

$$\tau' = \frac{R}{A} \quad (4- 72)$$

$$\tau'' = \frac{M \cdot c}{I} \quad (4- 73)$$

Donde:

$\tau'$  = Esfuerzo cortante primario debido a la fuerza cortante sobre el cordón,  $[MPa]$

$R_2$  = Fuerza cortante sobre el codón,  $[N]$

$A$  = Área de la sección transversal del cordón,  $[mm^2]$

$\tau''$  = Esfuerzo cortante secundario debido momento sobre el cordón,  $[MPa]$

$c$  = Distancia al centro de gravedad,  $[mm]$

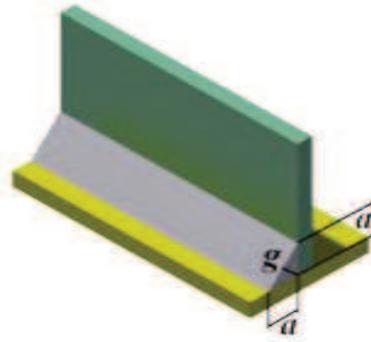
$I$  = Momento de inercia menor,  $[mm^4]$

Debido a que toda la longitud del caballete de la parte superior se debe soldar para evitar que los granos filtren por la ranuras, por lo tanto la longitud de cada cordón de caballete debe ser la longitud del perímetro superior.

$$l_c = (2 * 56[mm]) + 4[mm] = \mathbf{116[mm]}$$

Debido que el cateto del cordón de soldadura debe ser menor o igual que el espesor de la lámina a soldar, en este caso el cateto será igual a 2[mm].

$$a \leq t_{lámina}$$



**Figura 4- 36:** Dimensionamiento de la soldadura

$$g_{sol} = a * \cos(45^\circ) \quad (4- 74)$$

Donde:

$a$  = Catetos de la soldadura, [mm]

$g_{sol}$  = Garganta de la soldadura, [mm]

$$g_{sol} = 2 * \cos(45^\circ) = 1,414[mm]$$

Por lo tanto, se determina el área del cordón, la misma que soporta la fuerza de corte ejercida por los granos de maíz sobre los caballetes.

$$A = g * l_c \quad (4- 75)$$

$$A = 1,414[mm] * 116[mm] = 164[mm^2]$$

El esfuerzo cortante debido a la fuerza del maíz sobre los caballetes será:

$$\tau' = \frac{87[N]}{164[mm^2]} = 0,53[MPa]$$

Para determinar el esfuerzo cortante secundario se debe conocer las propiedades geométricas del cordón de la soldadura.

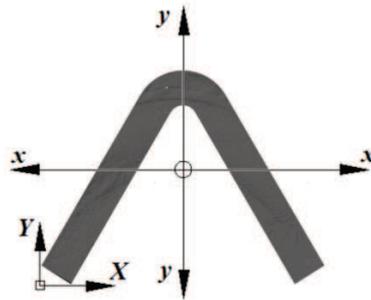


Figura 4- 37: Cordón de soldadura

Tabla 4- 13: Propiedades geométricas para el cordón de la soldadura

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS PARA EL CORDÓN DE LA SOLDADURA	
$I_{yy} [mm^4]$	96082,5
$I_{xx} [mm^4]$	59711,3
$\bar{x} [mm]$	25,8
$\bar{y} [mm]$	27,42
$A [mm^2]$	249,18

Por lo tanto se tiene que:

$$\tau'' = \frac{16880[N - mm] * 27,42[mm]}{59711,3[mm^4]} = 7,75[MPa]$$

Se determina el esfuerzo cortante en función de los esfuerzos cortantes principal y secundario.

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2} \quad (4- 76)$$

$$\tau = \sqrt{(0,53[MPa])^2 + (7,75[MPa])^2} = 7,8[MPa]$$

El factor de seguridad para el cordón viene dado por la siguiente ecuación:

$$n = \frac{0,577 * S_y}{\tau} \quad (4- 77)$$

Donde:

$n$  = Factor de seguridad para el cordón de soldadura

$S_y$  = Límite de fluencia

De acuerdo con la figura A-26 del ANEXO 18 pp. 319, se tiene el detalle de los **tipos de electrodos para una soldadura TIG**, para lo cual dependiendo de las aplicaciones en donde se va a utilizar, se escoge un valor de  $S_y = 432[MPa]$ , y se realiza el cálculo del factor de seguridad del cordón de soldadura.

$$n = \frac{0,577 * (432[MPa])}{7,8[MPa]} = \mathbf{31,9}$$

Una vez obtenido el valor de  $n$ , se acepta el cordón de soldadura con un **electrodo AWS E 70S-6 EWTh-2  $\varnothing 2,4$  mm (3/32")**.

## 4.5 ESTRUCTURA

### 4.5.1 ANILLO RIGIDIZADOR

Para garantizar la redondez del secador se utiliza anillos rigidizadores y para su estabilidad se utiliza vigas ubicadas en la parte exterior del silo los cuales se calculan bajo la norma API 350.

$$Z = \frac{d_{tan}^2 * H_1}{17} * \left(\frac{V}{190}\right)^2 \quad (4-78)$$

Donde:

$Z$  = Módulo de sección mínima requerida, [ $cm^3$ ]

$d_{tan}$  = Diámetro nominal tanque, [ $m$ ]

$H_1$  = Altura total del tanque, [ $m$ ]

$V$  = Velocidad de diseño, [ $120 \frac{km}{h}$ ]

$$Z = \frac{(1,533)^2 * 3,805}{17} * \left(\frac{120}{190}\right)^2 = \mathbf{0,21[cm^3]} = \mathbf{0,013[in^3]}$$

Con el módulo de la sección mínima, se realiza la selección del tipo de ángulo que va a conformar del anillo rigidizador, por cuestiones de diseño se selecciona un ángulo con el suficiente lado para el acople entre piezas (figura 4-38 pp. 162), por lo tanto los anillos rigidizadores serán de **un perfil estructural ángulo "L" 40x3**

[*mm*] y de un ángulo importado 80x8 [*mm*], los cuales están detallados en las figuras A-18 pp. 305 y A-19 pp. 306 respectivamente en el ANEXO 15.

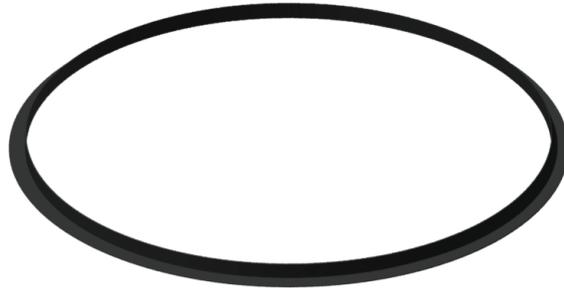


Figura 4- 38: Aro Rigidizador

#### 4.5.2 COLUMNAS DE LA CÁMARA DE SECADO

La estructura que sostendrá los anillos de la parte superior e inferior de la cámara de secado está constituida por columnas y los anillos rigidizadores, las cuales se diseñarán mediante la teoría de EULER.

La fuerza total que soportaran las columnas sobre la estructura se encuentra mediante la suma de la fuerza debida al peso de la cámara superior del secador y las reacciones debidas a los caballetes.

$$F_{Ccs} = F_{pcs} + F_{Tc} \quad (4- 79)$$

Donde:

$F_{Ccs}$  = Fuerza total sobre las columnas de la cámara de secado, [*N*]

$F_{pcs}$  = Fuerza debido al peso de la cámara superior del secador, [*N*]

$F_{Tc}$  = Fuerza total producida por las reacciones de los caballetes en la cámara de secado, [*N*]

- Fuerza debido al peso de la cámara superior del secador

El peso que sostendrán las columnas se determina mediante la herramienta informática Autodesk Inventor 2012, como se muestra en la figura 4-39 pp. 163.

$$M_{sup} = 208,39[Kg]$$

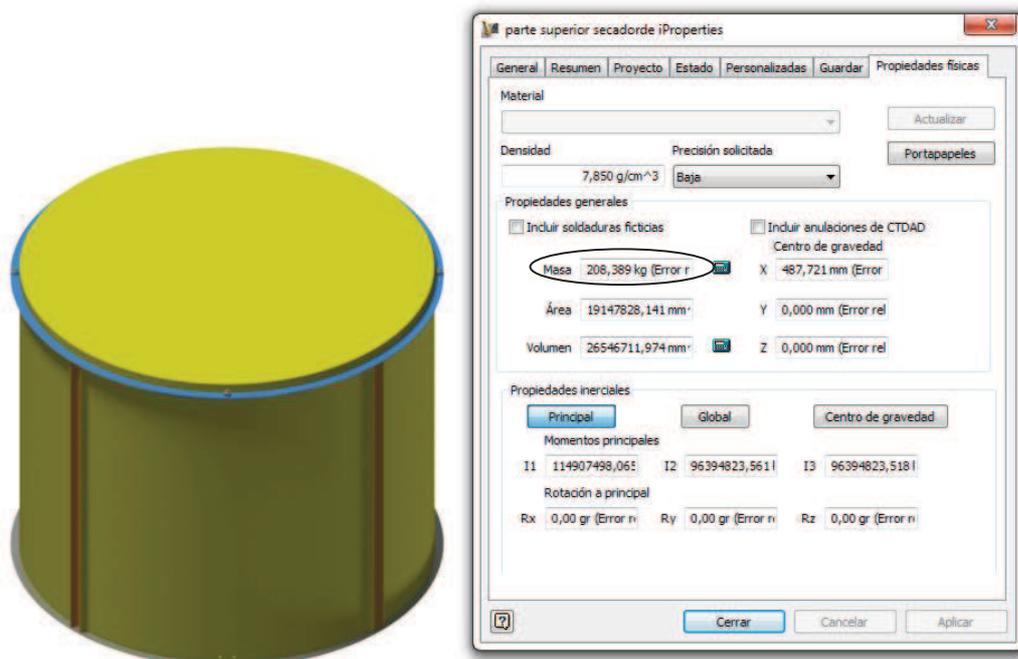


Figura 4- 39: Masa que soporta las columnas de rigidez

$$F_{pcs} = M_{sup} * g \quad (4- 80)$$

Donde:

$M_{sup}$  = Masa de la Cámara superior del secador, [kg]

$$F_{pcs} = 208,39[kg] * 9,8 \left[ \frac{m}{s^2} \right] = 2042,21[N]$$

- Fuerza debida a las reacciones en los extremos de los caballetes

Debido a que el maíz que se encuentra sobre los caballetes produce reacciones en los extremos, el esfuerzo total que se produce en cada uno será igual a la fuerza producida por el volumen.

$$F_{Mc} = V_{CS} * \rho * g \quad (4- 81)$$

Donde:

$F_{Mc}$  = Fuerza producida por el maíz de entre los caballetes, [N]

$$F_{Mc} = 0,56[m^3] * 715 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 9,8 \left[ \frac{m}{s^2} \right] = 3923,92[N]$$

El volumen de maíz en la cámara de reposo sobre los caballetes viene dado por la ecuación (4-82):

$$V_{SCS} = A_b * h_{CR} \quad (4- 82)$$

Donde:

$V_{SCS}$  = Volumen de maíz en la cámara de reposo sobre los caballetes, [ $m^3$ ]

$h_{CR}$  = Altura de la cámara de reposo, [ $m$ ]

$$V_{SCS} = 1,4[m^2] * 0,9[m] = \mathbf{1,26[m^3]}$$

Y la fuerza producida por el volumen de maíz en la cámara de reposo sobre los caballetes se expresa por:

$$F_{SCS} = V_{SCS} * \rho * g \quad (4- 83)$$

Donde:

$F_{SCS}$  = Fuerza producida por el volumen de maíz en la cámara de reposo sobre los caballetes, [ $N$ ]

$V_{SCS}$  = Volumen sobre los caballetes en la cámara de reposo, [ $m^3$ ]

$\rho_m$  = Densidad del maíz, [ $\frac{Kg}{m^3}$ ]

$g$  = Gravedad, [ $\frac{m}{s^2}$ ]

$$F_{SCS} = 1,26[m^3] * 715 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] * 9,8 \left[ \frac{m}{s^2} \right] = \mathbf{8828,82[N]}$$

Como el análisis se lo realiza para la estructura que sostiene un extremo de los caballetes, por lo tanto la fuerza producida por las reacciones de los caballetes será igual a la mitad de la suma de la fuerza producida por el maíz entre y sobre los caballetes, como se muestra en la ecuación (4-84).

$$F_{TC} = \frac{F_{Mc} + F_{SCS}}{2} \quad (4- 84)$$

Donde:

$F_{Mc}$  = Fuerza producida por el maíz entre los caballetes, [N]

$F_{SCS}$  = Fuerza producida por el maíz que se encuentre sobre los caballetes, [N]

$$F_{TC} = \frac{3923,92[N] + 8828,82[N]}{2} = 6376,37[N]$$

Para ensamblar la cámara de secado se trabaja con tres columnas fijas solidarias, para sostener el peso y quince columnas móviles para ensamblar las láminas externas, por lo tanto se diseñará para tres columnas. La fuerza en cada columna será determinada utilizando la ecuación (4-85).

$$P_c = \frac{F_{EC}}{3} \quad (4-85)$$

Donde:

$P_c$  = Fuerza en cada columna, [N]

$F_{EC}$  = Fuerza sobre la estructura de las columnas, [N]

Para lo cual la fuerza sobre la estructura de las columnas viene dado por:

$$F_{EC} = 2042,21[N] + 6376,37[N] = 8418,58[N]$$

Por lo tanto, la fuerza en cada columna será:

$$P_c = \frac{8418,58[N]}{3} = 2806,19[N]$$

Como se necesita unir las láminas externas con las columnas, se utiliza columnas de perfil tipo U. La selección del perfil se lo realiza en función del radio de giro de cada perfil, el mismo que se encuentra relacionado con la longitud efectiva de cada columna y debe mantenerse dentro de los rangos mostrados en la siguiente figura 4-40.

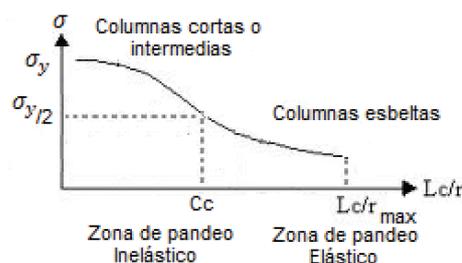


Figura 4- 40: Esfuerzo vs relación  $\frac{L_e}{r}$

$$C_c \leq \frac{L_e}{r} \leq \frac{L_e}{r_{max}}$$

Los valores de  $C_c$  se calcula con la ecuación (4-86) y el valor de relación máxima es de 200.

$$C_c = \sqrt{\frac{2*\pi^2*E}{\sigma_y}} \quad (4-86)$$

$$\frac{L_e}{r_{max}} = 200$$

$$\sqrt{\frac{2*\pi^2*E}{\sigma_y}} \leq \frac{L_e}{r} \leq 200 \quad (4-87)$$

El perfil a utilizar será de un acero estructural A-36, por lo que sus propiedades mecánicas se muestra a continuación.

$$E = 200[GPa]$$

$$\sigma_y = 250[MPa]$$

La longitud efectiva  $L_e$  se determina mediante la figura 4-41, conociendo que la longitud de la columna es  $L = 610 [mm]$ .

$$L_e = K * L$$

$$L_e = 616[mm]$$

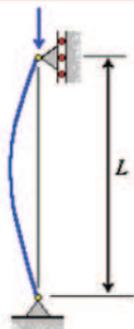
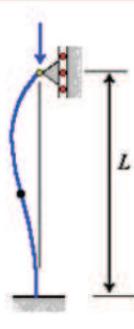
Columna articulada-articulada	Columna empotrada-articulada	Columna empotrada-empotrada	Columna empotrada-libre
			
$L_e = L$	$L_e = 0.699L$	$L_e = 0.5L$	$L_e = 2L$
$K = 1$	$K = 0.699$	$K = 0.5$	$K = 2$

Figura 4- 41: Longitud efectiva de columnas

Utilizando la relación en la ecuación (4-87) pp. 166 se determina el radio de giro y se selecciona el perfil a utilizar.

$$r \geq \frac{616[mm]}{200} = 3,1[mm]$$

En función del radio obtenido se selecciona un **perfil estructural canal en U de 50x25x3 [mm]**, el mismo que esta detallado en la figura A-17 en el ANEXO 15 pp. 304, con un radio de giro igual a  $r = 7,11[mm]$ ,  $A = 492[mm^2]$ . Partiendo de la ecuación (4-86) pp. 166 y despejando el esfuerzo crítico, se tiene:

$$\sigma_{crit} = \frac{\pi^2 * 200[GPa] * 1000}{(616/7,11)^2} = 262,97[MPa]$$

El esfuerzo permisible viene expresado por la siguiente ecuación

$$\sigma_{perm} = \frac{P_c}{A} \quad (4-88)$$

$$\sigma_{perm} = \frac{2806,19[N]}{492[mm^2]} = 5,70[MPa]$$

Se observa que el esfuerzo crítico es mucho mayor que el esfuerzo permisible por lo que la selección del tipo de perfil tipo U (50x25x3), es la más adecuada y cumple con las solicitaciones exigidas para la estructura.

Para validar los valores obtenidos, se realiza un análisis por medio de elementos finitos de los tubos rigidizadores mediante una simulación en el programa informático Autodesk Inventor 2012, obteniendo los siguientes resultados:

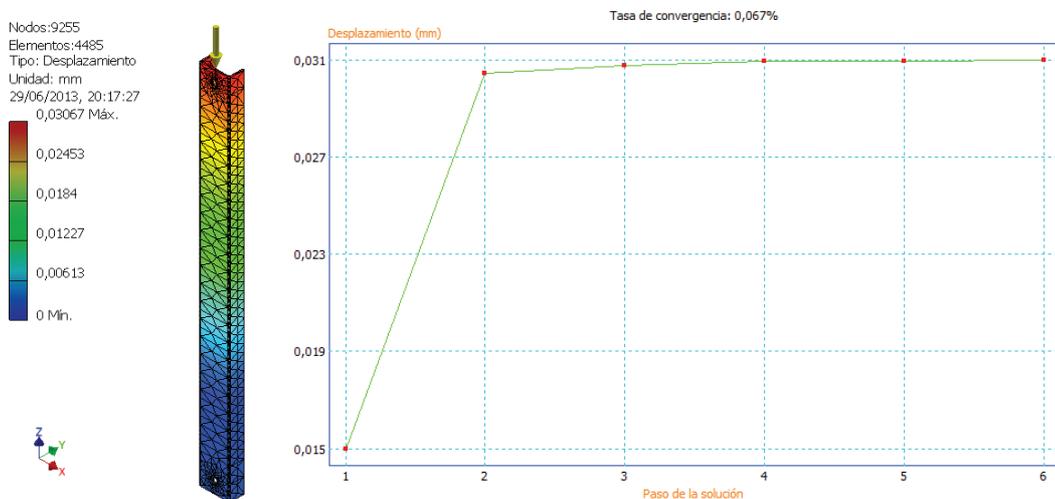
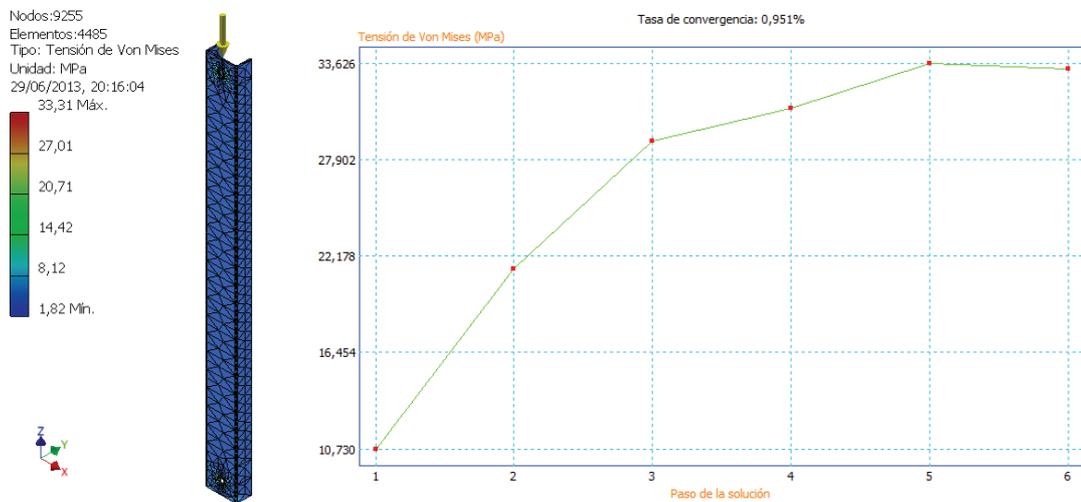


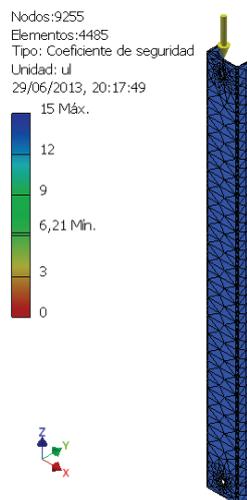
Figura 4- 42: Análisis desplazamiento

Al observar los resultados de la simulación se observa que el desplazamiento de la columna es mínimo por lo que la selección es aceptable.



**Figura 4- 43:** Análisis de la Tensión de Von Mises

El esfuerzo máximo muestra que es mucho menor que el esfuerzo admisible calculado por lo que se tendrá un alto factor de seguridad.



**Figura 4- 44:** Análisis de factor de seguridad

Como se observó en la figura 4-44, el esfuerzo de Von Mises es muy bajo, por lo que el factor de seguridad es alto y aceptable.

### 4.5.3 NÚMERO DE SUJETADORES

Conocidos los rigidizadores se procede a calcular los sujetadores, partiendo del espesor del anillo y de la lámina, designando los sujetadores ASTM A-325 Tipo 2. Determinación del límite de resistencia del elemento:

$$S_e = S'_e * k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f$$

Los límites de resistencia para tornillos de grado SAE 2 se presentan a continuación<sup>99</sup>:

$$S_{ut} = \text{Resistencia a la tensión} = 120[\text{Kpsi}] = 827 [\text{MPa}]$$

$$S_y = \text{Resistencia a la fluencia} = 92[\text{Kpsi}] = 633,88 [\text{MPa}]$$

$$S_p = \text{Resistencia a la prueba} = 85[\text{Kpsi}] = 586 [\text{MPa}]$$

Para materiales dúctiles se conoce que:

$$S_{ut} = S_{uc}$$

Por lo tanto se tiene que:

$$S'_e = 19,2 + 0,314 * S_{uc}^{100} \quad (4- 89)$$

$$S'_e = 19,2 + 0,314 * 120 [\text{Kpsi}] = 56,88[\text{Kpsi}]$$

$$S'_e = 56,88 * (6,89) = \mathbf{392 [\text{MPa}]}$$

- Al utilizar la ecuación anterior se toma como valor del coeficiente

$$k_b = 1.$$

Los valores para  $k_a$ ,  $k_c$  y  $k_f$  se obtiene mediante las tablas A-13 y A-14, y del gráfico A-1, los mismos que están expuestos en el ANEXO 19 pp. 321, para lo cual se tiene:

$$k_a = \mathbf{1}$$

$$k_c = \mathbf{0,897}, \text{ Para un 90\% de confiabilidad}$$

$$k_f = \mathbf{3}$$

- El valor de  $k_d$  se obtiene mediante las siguientes expresiones

<sup>99</sup> Shigley, J., Mitchell L.; "Diseño en Ingeniería Mecánica"; México; Mc GRAW-Hill; 1985; pp. 403. [Consulta: 29 de octubre de 2012]

<sup>100</sup> Shigley, J., Mitchell L.; "Diseño en Ingeniería Mecánica"; México; Mc GRAW-Hill; 1985; pp. 315. [Consulta: 20 de junio de 2012]

$$k_d = \begin{cases} 1.0 & \leq 450^\circ\text{C} (840^\circ\text{F}) \\ 1 - 5.8(10)^{-3}(T - 450) & 450^\circ\text{C} < T \leq 550^\circ\text{C} \\ 1 - 5.8(10)^{-3}(T - 840) & 840^\circ\text{F} < T \leq 1020^\circ\text{F} \end{cases}$$

$$k_d = 1, \text{temperaturas} < 450^\circ\text{C}$$

- El valor de  $k_e$ <sup>101</sup> se obtiene mediante la siguiente expresión

$$k_e = \frac{1}{k_f}$$

$$k_e = \frac{1}{3} = \mathbf{0,333}$$

Donde

$$k_f = 1$$

Por lo tanto, se tiene que el valor de  $S_e$  es:

$$S_e = 392 \text{ [MPa]} * 1 * 1 * 0,897 * 1 * 0,333 * 1 = \mathbf{117 \text{ [MPa]}}$$

Para la determinación de la relación de rigidez C, se utiliza a ecuación (4-90) y el análisis de rigidez tanto para los pernos como para los anillos.

$$C = \frac{K_b}{K_b + K_m} \quad (4-90)$$

- Rigidez de los pernos<sup>102</sup>

$$K_b = \frac{A * E}{l} = \frac{\pi * d^2 * E}{4 * l} \quad (4-91)$$

Donde para un acero de alta resistencia se tiene:

$$E = 207 \text{ [GPa]}$$

$$l = 3 + 3 = 6 \text{ [mm]}$$

$$d = 10 \text{ [mm]}$$

$$K_b = \frac{\pi * (10)^2 \text{ [mm}^2\text{]} * 207 \text{ [GPa]}}{4 * 6 \text{ [mm]} * 1000} = \mathbf{2,71 \left[ \frac{\text{MN}}{\text{m}} \right]}$$

<sup>101</sup> Shigley, J., Mitchell L.; "Diseño en Ingeniería Mecánica"; México; Mc GRAW-Hill; 1985; pp. 322. [Consulta: 20 de junio de 2012]

<sup>102</sup> Shigley, J., Mitchell L.; "Diseño en Ingeniería Mecánica"; Tabla A-18; México; Mc GRAW-Hill; 1985; pp. 868 y 869; [Consulta: 20 de junio de 2012]

- Rigidez de los anillos<sup>89</sup>

$$K_m = \frac{\pi * d * E}{2 * \ln \left[ 5 * \left( \frac{l + 0,5 * d}{l + 2,5 * d} \right) \right]} \quad (4- 92)$$

Donde para un acero estructural A-36 se tiene:

$$E = 200 \text{ [GPa]}$$

$$l = 3 + 3 = 6 \text{ [mm]}$$

$$d = 10 \text{ [mm]}$$

$$K_m = \frac{\pi * (10) \text{ [mm]} * 200 \text{ [GPa]}}{2 * \ln \left[ 5 * \left( \frac{6 \text{ [mm]} + 0,5 * (10) \text{ [mm]}}{6 \text{ [mm]} + 2,5 * (10) \text{ [mm]}} \right) \right]} = 5,48 \left[ \frac{\text{MN}}{\text{m}} \right]$$

Una vez obtenido la rigidez de cada uno de los elementos, se obtiene el valor de la relación de rigidez.

$$C = \frac{2709 \text{ [MN/m]}}{2709 \text{ [MN/m]} + 5,48 \text{ [MN/m]}} = 0,331$$

Para un perno M10x2 se selecciona el área de esfuerzo a la tracción  $A_t = 58 \text{ [mm}^2\text{]}$  (tabla A-15 del ANEXO 20 pp. 323) Para el cálculo de la fuerza de precarga se utiliza la ecuación (4-93).

$$F_i = A_t * S_{ut} - \frac{C * P_t * n}{2 * N} * \left( \frac{S_{ut}}{S_e} + 1 \right) \quad (4- 93)$$

Donde:

$F_i$  = Fuerza de precarga, [KN]

$A_t$  = Área de esfuerzo a la tracción, [mm<sup>2</sup>]

$$F_i = \frac{58 \text{ [mm}^2\text{]} * 827 \text{ [MPa]}}{1000} - \frac{0,331 * 7,2 \text{ [KN]} * 2}{2 * N} * \left( \frac{827 \text{ [MPa]}}{117 \text{ [MPa]}} + 1 \right)$$

$$F_i = 47,95 \text{ [KN]} - \frac{19,19}{N} \text{ [KN]}$$

De la ecuación (4-94), se determina  $F_p$ .

$$F_p = A_t * S_p \quad (4- 94)$$

Donde:

$F_p$  = Fuerza de prueba, [KN]

$S_p$  = Resistencia a la prueba = 85[Kpsi] = 586 [MPa]

$$F_p = \frac{5,8[mm^2] * 586[MPa]}{1000} = 33,97[KN]$$

La precarga debe encontrarse dentro del rango de acuerdo con la siguiente relación:

$$0,6F_p \leq F_i \leq 0,9F_p$$

$$20,38 \leq F_i \leq 30,57$$

**Tabla 4- 14:** Precarga en función del número de sujetadores

$F_i$ [KN]	24,37	27,57	29,17	30,13	30,77
N	2	3	4	5	6

En función de los valores de precarga obtenidos en la tabla 4-14, se seleccionan **un número de 4 sujetadores M10x2.**

#### 4.5.4 ESTRUCTURA DE UNIÓN DE LA CÁMARA DE AIRE CALIENTE Y ANILLO EXTERIOR

Para calcular las vigas inferiores que sostendrán a la cámara de aire caliente se toma en cuenta el volumen de maíz que se encuentra sobre la tolva superior, las reacciones de los caballetes en los extremos internos y la masa de los componentes de la cámara de aire caliente.

- La fuerza del maíz sobre la tolva

$$F_{MT} = 18,24[Kg] * 9,8 \left[ \frac{m}{s^2} \right] = 178,75[N]$$

- Fuerza producida por el peso de la cámara de aire caliente

$$F_{CAC} = P_{CAC} * g \quad (4- 95)$$

Donde:

$F_{CAC}$  = Fuerza debido al peso de la cámara de aire caliente, [N]

$P_{CAC}$  = Peso de la cámara de aire caliente obtenida mediante Autodesk Inventor 2012, [kg]

$$F_{CAC} = 60,37[kg] * 9,8 \left[ \frac{m}{s^2} \right] = 591,6[N]$$

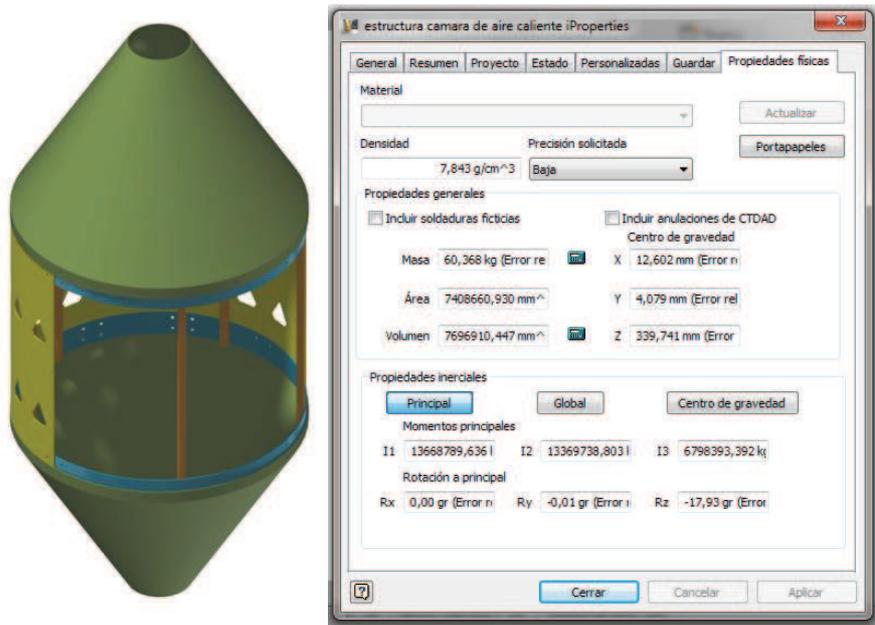


Figura 4- 45: Peso de la cámara de aire caliente

- Fuerza debida a las reacciones en los extremos de los caballetes

Debido a que el maíz que se encuentra sobre los caballetes produce reacciones en los extremos, el esfuerzo total que se produce en cada uno será igual a la fuerza producida por el volumen.

$$F_{Mc} = V_{CS} * \rho * g \quad (4- 96)$$

Donde:

$F_{Mc}$  = Fuerza producida por el maíz de entre los caballetes, [N]

$$F_{Mc} = 0,56[m^3] * 715 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 9,8 \left[ \frac{m}{s^2} \right] = 3923,92[N]$$

El volumen de maíz en la cámara de reposo sobre los caballetes viene dado por la ecuación (4-97):

$$V_{SCS} = A_b * h_{CR} \quad (4- 97)$$

Donde:

$V_{SCS}$  = Volumen de maíz en la cámara de reposo sobre los caballetes, [ $m^3$ ]

$h_{CR}$  = Altura de la cámara de reposo, [ $m$ ]

$$V_{SCS} = 1,4[m^2] * 0,9[m] = \mathbf{1,26[m^3]}$$

Y la fuerza producida por el volumen de maíz en la cámara de reposo sobre los caballetes se expresa por:

$$F_{SCS} = V_{SCS} * \rho * g \quad (4- 98)$$

Donde:

$F_{SCS}$  = Fuerza producida por el volumen de maíz en la cámara de reposo sobre los caballetes, [ $N$ ]

$V_{SCS}$  = Volumen sobre los caballetes en la cámara de reposo, [ $m^3$ ]

$\rho_m$  = Densidad del maíz, [ $\frac{Kg}{m^3}$ ]

$g$  = Gravedad, [ $\frac{m}{s^2}$ ]

$$F_{SCS} = 1,26[m^3] * 715 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] * 9,8 \left[ \frac{m}{s^2} \right] = \mathbf{8828,82[N]}$$

Como el análisis se lo realiza para la estructura que sostiene un extremo de los caballetes, por lo tanto la fuerza producida por las reacciones de los caballetes será igual a la mitad de la suma de la fuerza producida por el maíz entre y sobre los caballetes, como se muestra en la ecuación (4-99).

$$F_{TC} = \frac{F_{Mc} + F_{SCS}}{2} \quad (4- 99)$$

Donde:

$F_{TC}$  = Fuerza total producida por las reacciones de los caballetes en la cámara de secado, [ $N$ ]

$F_{Mc}$  = Fuerza producida por el maíz entre los caballetes, [N]

$F_{SCS}$  = Fuerza producida por el maíz que se encuentre sobre los caballetes, [N]

$$F_{TC} = \frac{3923,92[N] + 8828,82[N]}{2} = 6376,37[N]$$

Por lo tanto la fuerza total sobre la estructura, está determinada por:

$$F_{EC} = F_{MTS} + F_{CAC} + F_{TC} \quad (4- 100)$$

Donde:

$F_{EC}$  = Fuerza total sobre las vigas, [N]

$$F_{EC} = 1945,8[N] + 591,6[N] + 6376,37[N] = 8913,77[N]$$

La fuerza que debe sostener la estructura de la cámara de aire caliente se divide para el número de vigas que sostendrán la cámara.

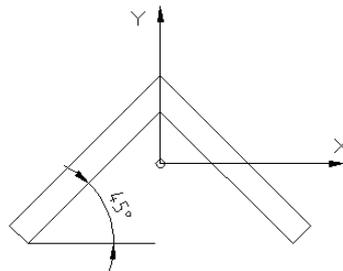
$$F_{ECV} = \frac{F_{EC}}{N_v} \quad (4- 101)$$

Donde:

$F_{ECV}$  = Fuerza sobre cada viga, [N]

$$F_{ECV} = \frac{8913,77[N]}{4} = 2228,44[N]$$

Se realiza una distribución radial de vigas para sostener la estructura interna con el anillo rigidizador externo. El perfil utilizado en las vigas es un ángulo de lados iguales, con una inclinación para permitir el flujo de los granos de forma másica y no permitir que los granos se detengan por la presencia de las vigas, como se puede observar en la figura 4-46.



**Figura 4- 46:** Perfil utilizado en las vigas

El análisis del diseño se considera como una viga empotrada de un extremo con una fuerza en el extremo libre.

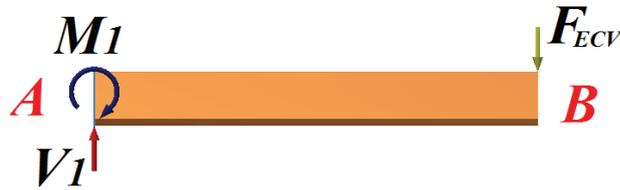


Figura 4- 47: Análisis de diseño del perfil

Para determinar si la geometría de la viga considerada cumple con las especificaciones planteadas, se determina los momentos máximos utilizando el Programa Informático MD Solid 3.5 (gráfico 4-5)

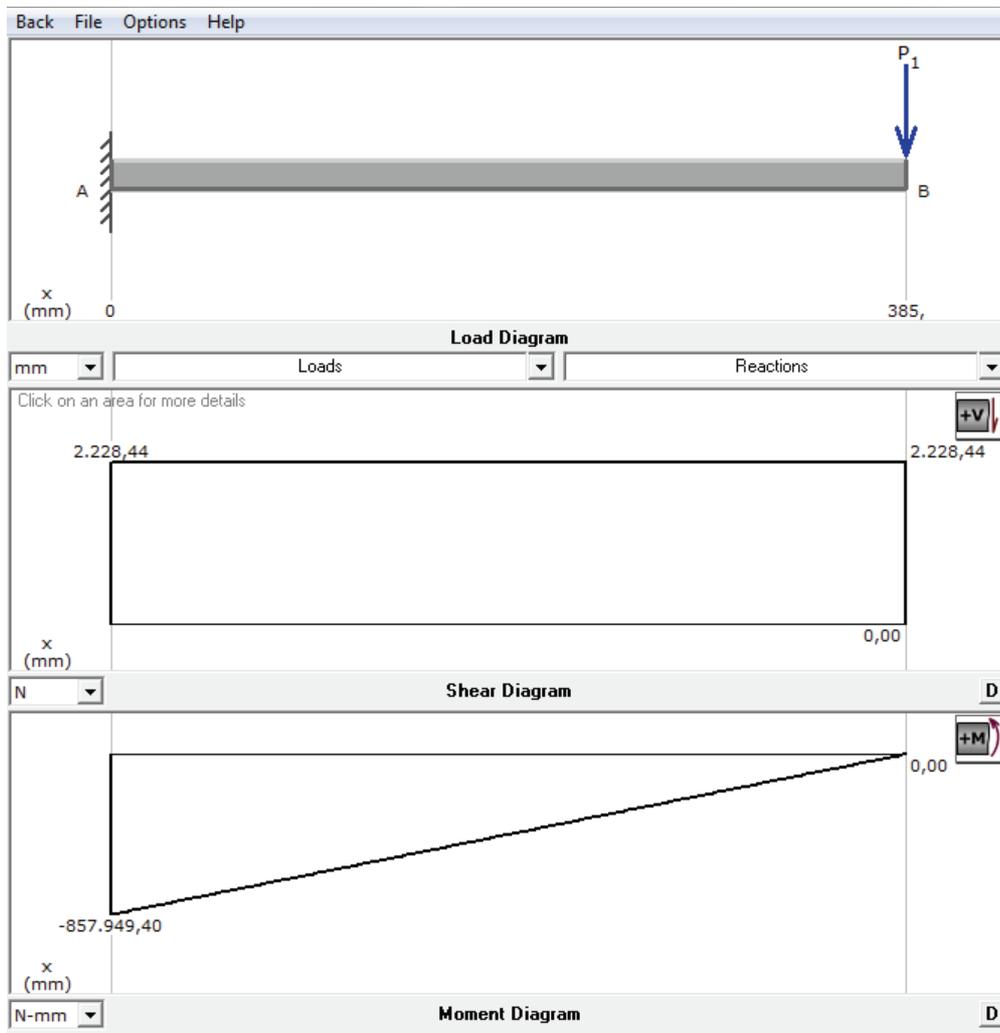


Gráfico 4- 5: Esfuerzos y momentos de la viga

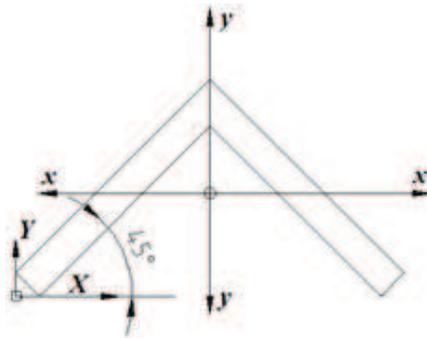
$$V_1 = 2228,44 [N]$$

$$M_1 = 857949,4 [N - mm]$$

Conociendo que la sección crítica se encuentra en la parte del empotramiento y el punto crítico en la parte superior debido a que se encuentran a tensión pura. El esfuerzo principal se encuentra en función del momento flector máximo y se determina en función de la ecuación (4-102).

$$\sigma_x = \frac{M \cdot c}{I} \quad (4-102)$$

Los valores de inercia y distancia al centro de gravedad para el **perfil estructural ángulo "L" de 80x8 [mm]** detallado en la figura A-19 ANEXO 15 pp. 306, se muestran a continuación:



**Figura 4- 48:** Inercia y distancia al centro de gravedad para el perfil

**Tabla 4- 15:** Propiedades geométricas para el perfil.

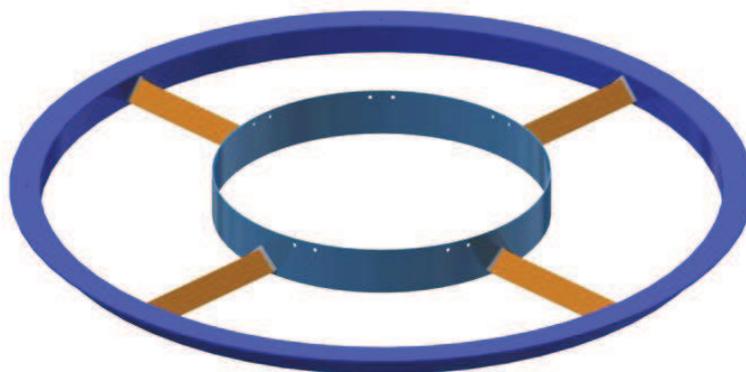
PROPIEDADES GEOMÉTRICAS PARA EL PERFIL	
$I_{yy} [mm^4]$	470698
$I_{xx} [mm^4]$	122467,4
$\bar{x} [mm]$	24,34
$\bar{y} [mm]$	22,72
$A [mm^2]$	896

Para determinar el número de vigas para la estructura, se divide la fuerza total para el número de vigas y se determina el esfuerzo máximo y el factor de seguridad como se muestra en la tabla 4-16 pp. 178.

**Tabla 4- 16:** Determinación del número de vigas para la estructura.

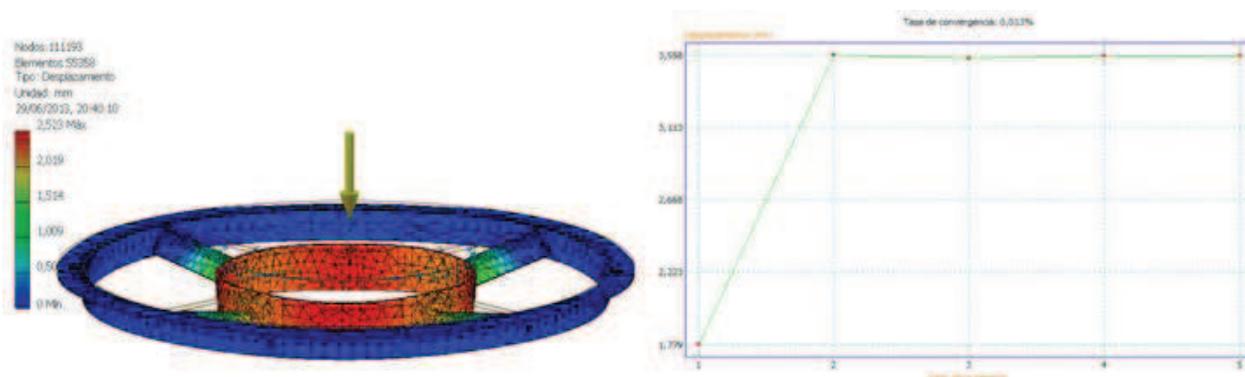
NÚMERO DE VIGAS	FUERZA [N]	MOMENTO [N – mm]	ESFUERZO [MPa]	FS
3	2971,26	1143933,82	113,53	2,2
4	2228,44	857950,36	85,15	2,9
5	1782,75	686360,29	68,12	3,6

Según los datos obtenidos en la tabla 4-16 y en función al factor de seguridad se determina que el número de vigas radiales para el perfil seleccionado es igual a 4, como se muestra en la figura 4-49.



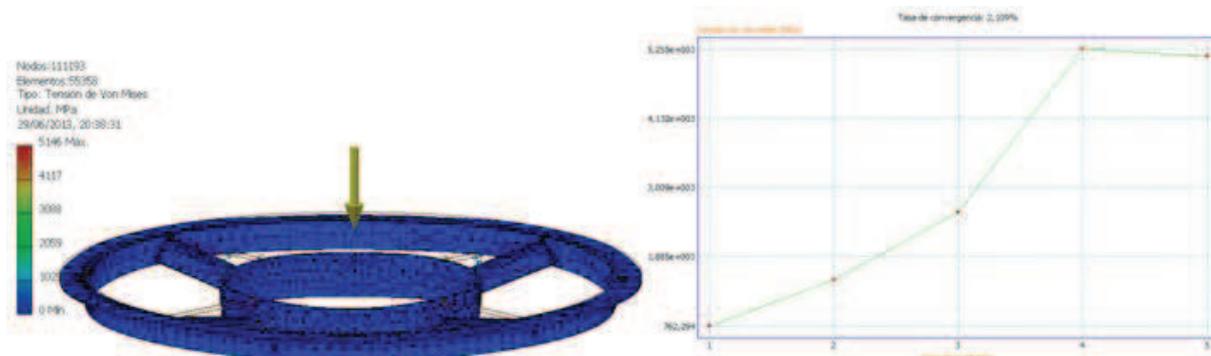
**Figura 4- 49:** Número de vigas radiales para el perfil

Para validar los valores obtenidos, se realiza un análisis por medio de elementos finitos del caballete mediante una simulación en el programa informático Autodesk Inventor 2012, obteniendo los siguientes resultados:



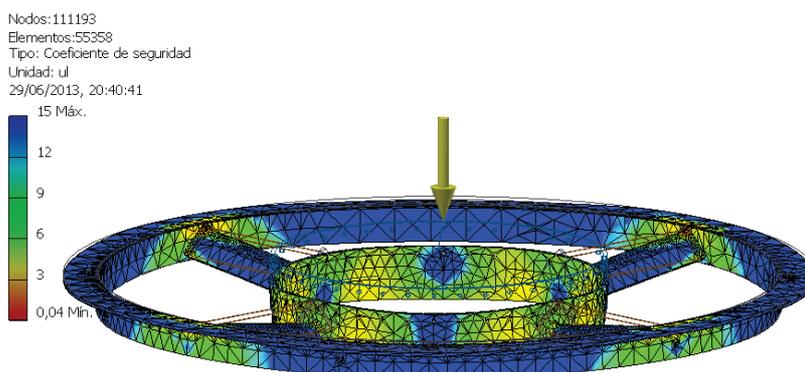
**Figura 4- 50:** Análisis desplazamiento

Como resultado de la simulación se obtiene que el desplazamiento máximo se encuentre en las secciones donde no existen vigas, el cual es mínimo respecto a las medidas de los elementos.



**Figura 4- 51:** Análisis de la Tensión de Von Mises

Los resultados de la simulación muestran que el máximo esfuerzo se encuentra en los extremos de las vigas, siendo las secciones de simulación.

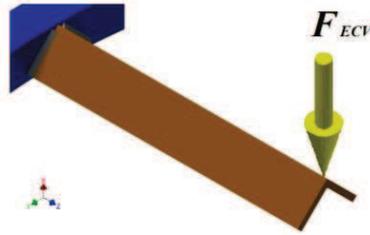


**Figura 4- 52:** Análisis de factor de seguridad

Como se muestra en los resultados en la figura 4-52, las vigas mantienen altos factores de seguridad, y los mínimos en las partes donde se ubica el esfuerzo máximo de Von Mises que resulta como factor de diseño del cordón de soldadura.

#### 4.5.4.1 Soldadura de la unión de la cámara interna con la externa.

La viga que une al anillo interior de la estructura de la cámara de aire caliente con el ángulo exterior se encuentra unida mediante **soldadura SMAW**, para dicho análisis se considera una viga empotrada, en donde la fuerza de diseño en la viga produce un esfuerzo cortante y momento flector en la raíz los cuales provocan esfuerzos primarios y secundarios de corte en la soldadura.



**Figura 4- 53:** Aplicación de la fuerza sobre la viga soldada

Los valores de esfuerzo cortante y momento flector se toman de la sección 4.5.4 pp. 172.

$$V_1 = 2228,44[N]$$

$$M_1 = 857949,4[N - mm]$$

Por lo tanto, el cálculo de los esfuerzos cortantes primarios y secundarios vienen dados por:

- Esfuerzo cortante primario

$$\tau' = \frac{V_1}{A} \quad (4- 103)$$

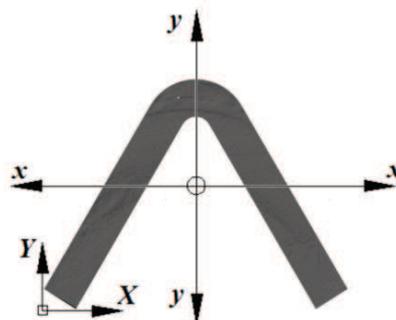
Donde:

$\tau'$  = Esfuerzo cortante primario debido a la fuerza cortante sobre el cordón, [MPa]

$V_1$  = Fuerza cortante sobre el cordón, [N]

$A$  = Área de la sección transversal del cordón, [mm<sup>2</sup>]

- Esfuerzo cortante secundario, para el cual se debe conocer en primer lugar las propiedades geométricas del cordón de la soldadura.



**Figura 4- 54:** Inercia y distancia al centro de gravedad para el perfil

**Tabla 4- 17:** Propiedades geométricas para el perfil.

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS PARA EL PERFIL	
$I_{yy}[mm^4]$	1583982
$I_{xx}[mm^4]$	380191
$\bar{x}[mm]$	31,49
$\bar{y}[mm]$	32,05
$A[mm^2]$	1321,68

$$\tau'' = \frac{M_1 * c}{I} \quad (4- 104)$$

Donde:

$\tau''$  = Esfuerzo cortante secundario debido momento sobre el cordón,  $[MPa]$

$M_1$  = Momento sobre el cordón,  $[N]$

$c$  = Distancia al centro de gravedad,  $[mm]$

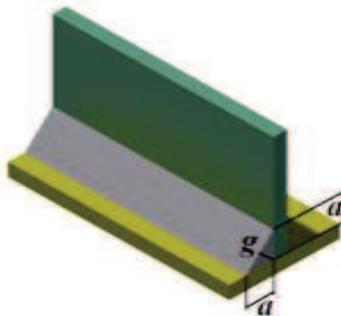
$I$  = Momento de inercia menor,  $[mm^4]$

Se considera la longitud total del cordón de soldadura de:

$$l_c = (2 * 77,5[mm]) + (2 * \pi * 2,5[mm]) = 170,7[mm]$$

Debido que el cateto del cordón de soldadura debe ser menor o igual que el espesor de la lámina a soldar, se tiene que el cateto será igual a  $2[mm]$ .

$$a \leq t_{lámina}$$

**Figura 4- 55:** Dimensiones del cordón de soldadura

Para el cálculo del cordón de soldadura se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$g_{sol} = a * \cos (45^\circ) \quad (4- 105)$$

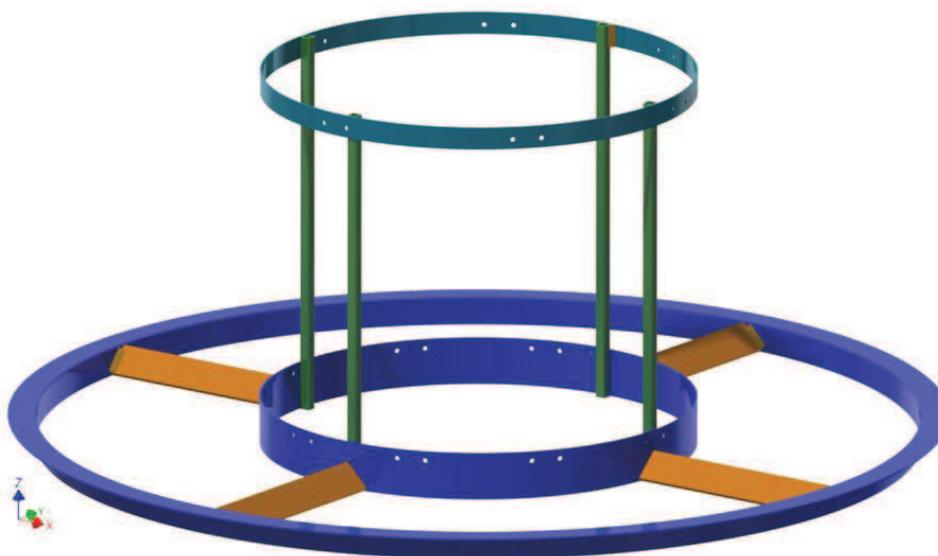
$$A_c = g_{sol} * l_c \quad (4- 106)$$

Una vez detallado cada uno de los parámetros involucrados en la soldadura, se determina la garganta de soldadura y el factor de seguridad, mostrando los resultados en la tabla 4-18.

**Tabla 4- 18:** Determinación de la garganta de soldadura y el factor de seguridad

LONGITUD DEL CORDÓN [mm]	a [mm]	GARGANTA [mm]	ÁREA [mm <sup>2</sup> ]	MOMENTOS DE INERCIA [mm <sup>4</sup> ]	C [mm]	$\tau'$ [MPa]	$\tau''$ [MPa]	$\tau$ [MPa]	FS
170,7	7	5	844,96	326892	31,6	2,64	82,81	82,85	2,7
	8	5,7	965,67	380191	32,1	2,31	72,32	72,36	3,1

De los resultados anteriormente presentados en la tabla 4-18, se selecciona en función del factor de seguridad, la soldadura con una garganta de 5,7[mm] y un  $FS = 3,1$ , utilizando para ello **un electrodo AWS E6011**.



**Figura 4- 56:** Soldadura de la unión de la cámara interna con la externa.

Por cuestiones constructivas para el anillo inferior se toma un **ángulo “L” de 70x6** para la soldadura con las vigas internas que sostiene el ducto de aire caliente.

#### 4.5.5 DISEÑO DE LA PLACA BASE<sup>103</sup>

##### 4.5.5.1 Soldadura entre la columna y la placa base.

La fuerza que se ejerce en las columnas es la fuerza que debe soportar la soldadura entre la placa base y la columna, es decir, que se utilizará a las reacciones como fuerza de diseño de la soldadura.

El esfuerzo cortante sobre la garganta del cordón de soldadura se encuentra mediante la ecuación (4-107):

$$\tau_u = \frac{F_c}{A_s} \quad (4-107)$$

Según el criterio de energía de distorsión se tiene:

$$FS_{sol} = \frac{S_{Sy}}{\tau_u} \quad (4-108)$$

$$S_{Sy} = 0,6 * F_{EXX} \quad (4-109)$$

$$A_s = \frac{F.S_{sol}*F_c}{0,6*F_{EXX}} \quad (4-110)$$

$S_{Sy}$  = Resistencia de diseño al cortante, [MPa]

$F_{EXX}$  = Resistencia a la última tensión del electrodo, [MPa]

$FS_{sol}$  = Factor de seguridad para la soldadura, [adimensional]

Utilizando un factor de seguridad de 3 y considerando que se necesita un electrodo con mayor resistencia a la tensión se considera una **soldadura SMAW con un electrodo E6011** de la tabla A-16 del ANEXO 21 pp. 325, se tiene las siguientes dimensiones.

$$A_s = \frac{3 * 7689,66[N]}{0,6 * 57[MPa]} = 674,53[mm^2]$$

<sup>103</sup> “Manual of Steel Construction”; AISC; Octava Edición; [Consulta: 20 de diciembre de 2012].

La longitud del cordón de soldadura en los extremos de la columna tiene una dimensión de:

$$l_{cs} = 110[mm]$$

Por lo tanto, la garganta del cordón de soldadura se la determina mediante el área de soldadura.

$$g_{sol} = \frac{A_s}{l_{cs}} \quad (4- 111)$$

Donde:

$g_{sol}$  = Garganta del cordón de soldadura, [mm]

$$g_{sol} = \frac{674,53[mm^2]}{110[mm]} = \mathbf{6,13[mm]}$$

Por lo tanto, el filete de soldadura se la determina de la ecuación (4-112).

$$w = \frac{g_{sol}}{\cos(45^\circ)} \quad (4- 112)$$

Donde:

$w$  = Filete de soldadura, [mm]

$$w = \frac{6,13 [mm]}{\cos(45^\circ)} = \mathbf{4,3[mm]}$$

Finalmente, la soldadura para la unión entre la columna y la placa base, tendrán un valor de filete = 4,5[mm] y una longitud = 55[mm]

Es así que en función de la figura A-27 del ANEXO 21 pp. 325, se tiene que el espesor mínimo de la placa base que es de 6[mm].

#### 4.5.5.2 Placa base

Para el diseño de la placa base se toma como especificaciones las descritas en el *Manual of Steel construction* de la norma AISC, en donde se presenta la siguiente figura 4-57 pp. 185:

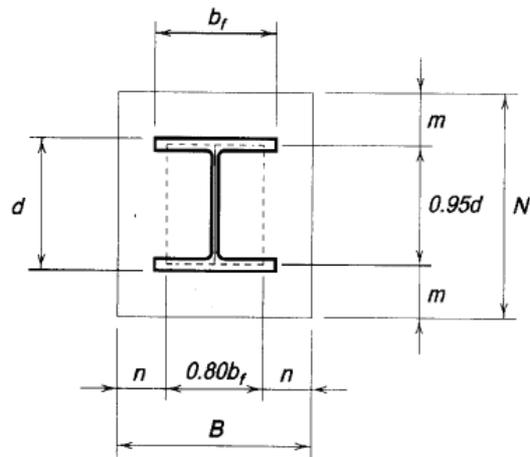


Figura 4- 57: Placas base de columnas<sup>104</sup>

Debido a que el diseño de la placa base se encuentra en función del hormigón que soporta la estructura, el área de la placa base se la determina en función de la ecuación (4-113).

$$\frac{F_C}{A_{PB}} \leq F'_{CH} \quad (4- 113)$$

$$A_{PB} = B * N \quad (4- 114)$$

$$F'_{CH} = \frac{f'_c}{F.S.H} \quad (4- 115)$$

Donde:

$F'_{CH}$  = Esfuerzo Admisible del hormigón, [MPa]

$A_{PB}$  = Área de la placa base, [mm<sup>2</sup>]

$F_C$  = Fuerza sobre la columna, [N]

$f'_c$  = Resistencia del hormigón, [MPa]

$FS_H$  = Factor de seguridad para el hormigón, [adimensional]

$$F'_{CH} = \frac{27,46[[MPa]]}{4} = \mathbf{6,86[MPa]}$$

$$A_{PB} \geq \frac{F_C}{F'_{CH}}$$

<sup>104</sup> "Manual of Steel Construction"; AISC; Octava Edición; pp. 3-99; [Consulta: 20 de diciembre de 2012].

$$A_{PB} \geq \frac{7689,66[N]}{6,86[MPa]} = \mathbf{1120,18[mm^2]}$$

Las dimensiones de la placa base se optimizan si  $m = n$ , esta condición se asemeja cuando se cumplen las siguientes ecuaciones:

$$N \approx \sqrt{A_{PB}} + \Delta \quad (4-116)$$

$$\Delta = 0,5 * (0,95d - 0,80 * b_f) \quad (4-117)$$

$$B = \frac{A_{PB}}{N} \quad (4-118)$$

Donde:

$N$  = Largo de la placa base, [mm]

$B$  = Ancho de la placa base, [mm]

$A_{PB}$  = Área de la placa base, [mm<sup>2</sup>]

$d$  = Largo del perfil, [mm]

$b_f$  = Ancho del perfil, [mm]

Conocidos los valores de  $N$  y  $B$  se determinan los valores de  $m$  y  $n$ .

$$m = \frac{[N - (0,95 * d)]}{2} \quad (4-119)$$

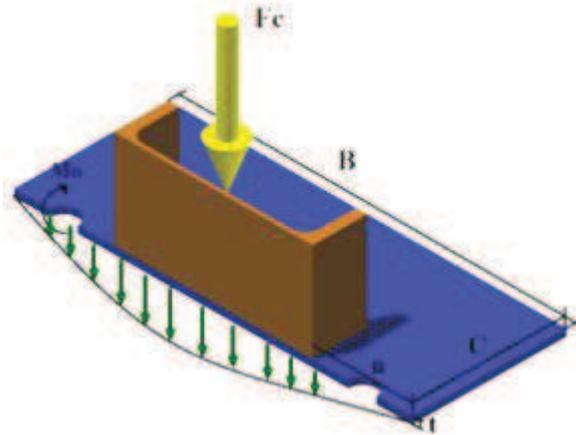
$$n = \frac{[B - (0,8 * b_f)]}{2} \quad (4-120)$$

Donde:

$m, n$  = Extremos de la placa base fuera del perfil, [mm]

La placa base está diseñada como una viga en voladizo, fijados en los bordes de un rectángulo cuyos lados son  $0,80 * b_f$  y  $0,95 * d$ .

En donde, la carga de la columna  $F_c$  se distribuye uniformemente sobre la placa de base dentro del rectángulo.



**Figura 4- 58:** Distribución de fuerzas sobre la placa base

Asignando para el análisis el valor de la unidad a B, se tiene una fuerza distribuida sobre toda la longitud de la viga.

$$q = \frac{F_c}{N} \quad (4- 121)$$

Donde:

$F_c$  = Fuerza distribuida, [N]

El momento que se produce en los extremos de la columna se encuentra en función de la longitud n.

$$M_o = \frac{q \cdot n^2}{2} \quad (4- 122)$$

Donde:

$M_o$  = Momento producido por la fuerza de la columna en la placa, [N – m]

$q$  = Fuerza distribuida, [N]

$n$  = Distancia de la columna al extremo de la placa, [m]

$$f_b = \frac{M_o \cdot c}{I} \quad (4- 123)$$

Donde:

$f_b$  = Esfuerzo de flexión en la placa base, [MPa]

$c$  = Distancia al centro de gravedad para un rectángulo, [mm]

$I$  = Momento de inercia de un rectángulo,  $[N - m]$

Como se trata de un rectángulo se emplea el momento de inercia y la distancia hacia el centro para el mismo.

$$c = \frac{t}{2} \quad I = \frac{c * t^3}{12}$$

Por lo tanto, reemplazando en la ecuación (4-123) pp. 187, se tiene que el esfuerzo de flexión sobre la placa es:

$$f_b = \frac{3 * F'_{CH} * n^2}{t^2} \quad (4-124)$$

Con el esfuerzo a flexión, se determina el factor de seguridad en función de la ecuación (4-124).

$$FS = \frac{S_y}{f_b}$$

Debido a que el espesor mínimo de la placa base es 6  $[mm]$ , el resto de las dimensiones se toman en base a los datos de la tabla 4-19.

**Tabla 4- 19:** Dimensiones de la placa base según el espesor

<b>N</b> <b>[mm]</b>	<b>B</b> <b>[mm]</b>	<b>n</b> <b>[mm]</b>	<b>n</b> <b>[mm]</b>	<b>t</b> <b>[mm]</b>	<b>do</b> <b>[mm]</b>	<b>ESFUERZO EN LA</b> <b>PLACA [MPa]</b>	<b>FS</b>
190	145	45	45	3,7	145	123,34	2,0
210	165	55	55	4,5	155	98,40	2,5
230	185	65	65	5,3	165	80,28	3,1
240	195	70	70	5,8	170	73,04	3,4
250	205	75	75	6,2	175	66,73	3,7
260	215	80	80	6,6	180	61,21	4,1

Por cuestiones del lugar de funcionamiento del secador, el ambiente en donde se desarrolla es muy corrosivo, por tal motivo se aumenta el espesor de la placa base de acero A-36, obteniéndose las siguientes dimensiones de **250x205x6,5**  $[mm]$ .

#### 4.5.5.3 Pernos de anclaje

Para la sujeción de la estructura de la máquina secadora al piso se realiza mediante pernos de anclaje, en donde cada perno soporta una fuerza debido a la adherencia del hormigón con el perno y otra debido a la compresión. Estos pernos se sujetan a la placa base como se puede observar en la figura 4-59.

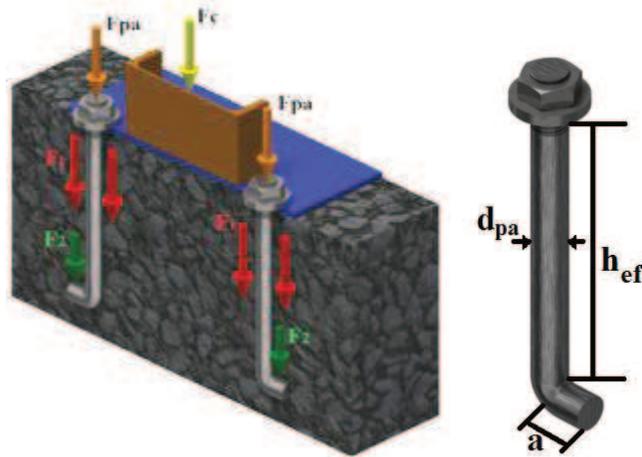


Figura 4- 59: Pernos sujetos a la placa base

$$F_{pa} = \frac{F_c}{2}$$

$$F_{pa} = F_1 + F_2 \quad (4- 125)$$

$$F_1 = f_h * \pi * d_{pa} * h_{ef} \quad (4- 126)$$

$$F_2 = a * d_{pa} * F'_{CH} \quad (4- 127)$$

Donde:

$F_{pa}$  = Fuerza sobre el perno de anclaje, [N]

$F_1$  = Fuerza de adherencia del hormigón, [N]

$F_2$  = Fuerza de compresión en el perno sujetador, [N]

$f_h$  = Esfuerzo de adherencia del hormigón, [MPa]

$d_{pa}$  = Diámetro del tornillo de anclaje, [mm]

$h_{ef}$  = Altura efectiva del tornillo, [mm]

$a$  = Longitud del pie del tornillo, [mm]

$F'_{CH}$  = Esfuerzo admisible del hormigón, [MPa]

$$f_h = \frac{F'_{CH}}{10} \quad (4-128)$$

Reemplazando las ecuaciones (4-125), (4-126) y (4-127) pp. 189, en la ecuación (4-128) y despejando la longitud efectiva la cual depende del diámetro del perno de anclaje lo cual se puede observar en la tabla 4-20, tenemos:

$$h_{ef} = \frac{20 * F_{pa}}{d_{pa} * F'_{CH} (2\pi + 1)} \quad (4-129)$$

**Tabla 4- 20:** Longitud efectiva para los pernos de anclaje

$d_{pa}$ [mm]	$h_{ef}$ [mm]	$a$ [mm]
12	128	6
14	110	5
16	96	5
18	85	4
20	77	4
22	70	3

En función de la tabla 4-20, seleccionamos un perno de anclaje **M14x400** (figura A-28 del ANEXO 22 pp. 327), que cumple con los requerimientos exigidos.

#### 4.5.6 ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL SECADOR

La estructura que soportará todo el peso del secador, más la cantidad de maíz se diseña mediante la teoría de cálculo de columnas.

Para lo cual, se determina el peso que debe sostener la estructura mediante la herramienta informática Autodesk Inventor 2012, como se muestra en la figura 4-60 pp. 191.

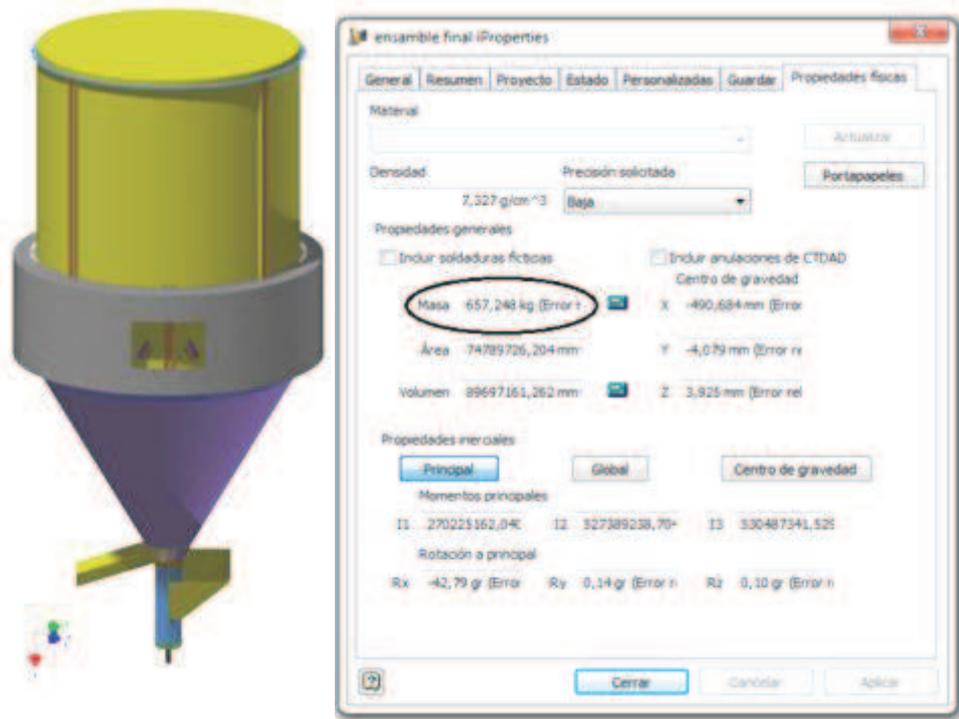


Figura 4- 60: Masa del secador sin carga

$$P_{sec} = M_{sec} * g \quad (4- 130)$$

Donde:

$P_{sec}$  = Peso del secador, [N]

$M_{sec}$  = Masa del secador, = 657,25[kg]

$$P_{sec} = 615,53[kg] * 9,8 \left[ \frac{m}{s^2} \right] = \mathbf{6441,05[N]}$$

La fuerza debida al peso del maíz dentro de la cámara de secado se encuentra en función de la fuerza debida al peso de los 2000 [kg].

$$P_{maíz} = M_{maíz} * g \quad (4- 131)$$

Donde:

$P_{maíz}$  = Peso de maíz dentro de la cámara de secado, [N]

$$P_{maíz} = 2000[kg] * 9,8 \left[ \frac{m}{s^2} \right] = \mathbf{19600[N]}$$

La fuerza total ( $P_T$ ) se utiliza la ecuación (4-132) pp. 192.

$$P_T = P_{sec} + P_{maíz} \quad (4- 132)$$

$$P_T = 6441,05[N] + 19600[N] = \mathbf{26041,05[N]}$$

Para diseñar la estructura de soporte, se añade un 20% del peso total por cuestiones de seguridad.

$$F_{Dis} = 26041,05[N] * (1,2) = \mathbf{31249,26[N]}$$

Para que la estructura pueda soportar la fuerza aplicada se considera 4 columnas de soporte, por lo que se encuentra la fuerza para cada una de ellas.

$$F_c = \frac{F_{Dis}}{4} \quad (4- 133)$$

$$F_c = \frac{31249,26[N]}{4} = \mathbf{7812,315[N]}$$

Las columnas que soportarán el peso total del secador se fabricarán de un perfil tipo IPN. Como se detalló en la sección 4.5.2 pp. 162, la selección del perfil se lo realiza en función del radio de giro. Por lo que la relación entre la longitud efectiva y el radio de giro del perfil se mantiene según se muestra en la ecuación (4-87) pp. 166.

La longitud efectiva  $L_e$  se determina mediante la figura 4-41 pp. 166, conociendo que la longitud de la columna es  $L = 1600 [mm]$ .

$$L_e = K * L$$

$$L_e = 1600[mm]$$

Utilizando la relación en la ecuación (4-87) pp. 166, se determina el radio de giro y se selecciona el perfil a utilizar.

$$r \geq \frac{1600[mm]}{200} = \mathbf{8[mm]}$$

Por lo tanto, para el diseño se toma un perfil estructural de acero A-36, con una longitud de 1600 [mm], y en función del radio obtenido se selecciona un **perfil estructural IPE 100 de 100X55** [mm], con un radio de giro de  $r = 10,7[mm]$   $A = 10,30 [cm^2]$ , el mismo que esta detallado en la figura A-20 del ANEXO 15 pp. 307.

Para valores en los que  $\frac{L_e}{r}$  no sobrepase los valores de 200, el factor de seguridad se encuentra en función de la relación del esfuerzo crítico sobre el permisible.

$$\sigma_{crit} = \frac{\pi^2 * E}{1,92 * \left(\frac{L_e}{r}\right)^2} \quad (4- 134)$$

$$\sigma_{crit} = \frac{\pi^2 * 200[GPa] * 1000}{1,92 * (1600/8)^2} = 25,18[MPa]$$

$$\sigma_{perm} = \frac{F_c}{A} \quad (4- 135)$$

$$\sigma_{perm} = \frac{7812,31[N]}{1030[mm^2]} = 7,58[MPa]$$

$$F.S. = \frac{\sigma_{crit}}{\sigma_{perm}} \quad (4- 136)$$

$$FS = \frac{25,8[MPa]}{7,58[MPa]} = 3,56$$

Para validar los valores obtenidos, se realiza un análisis por medio de elementos finitos de los tubos rigidizadores mediante una simulación en el programa informático Autodesk Inventor 2012, obteniendo los siguientes resultados:

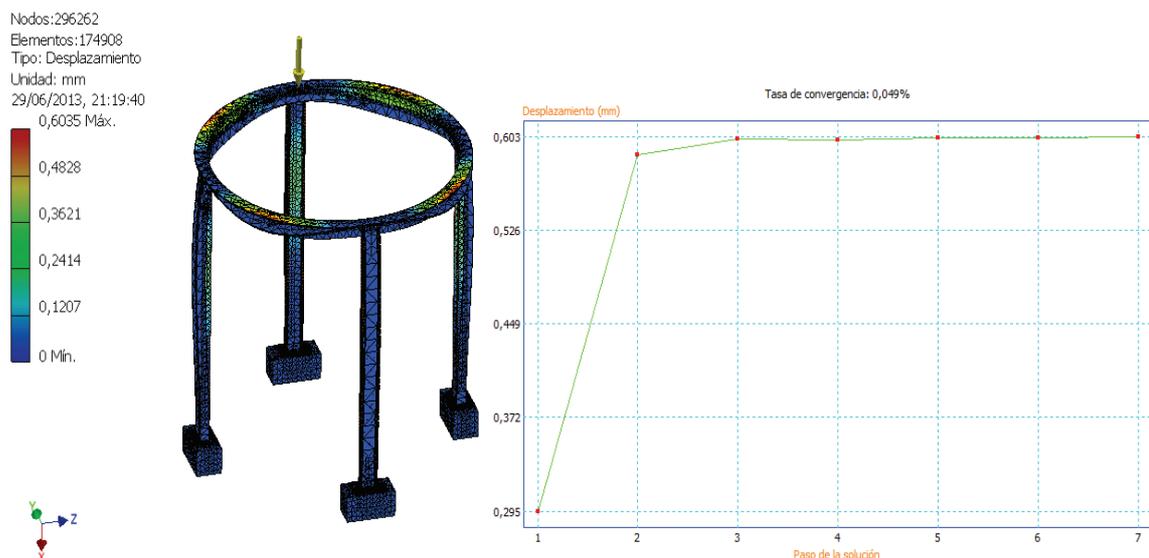
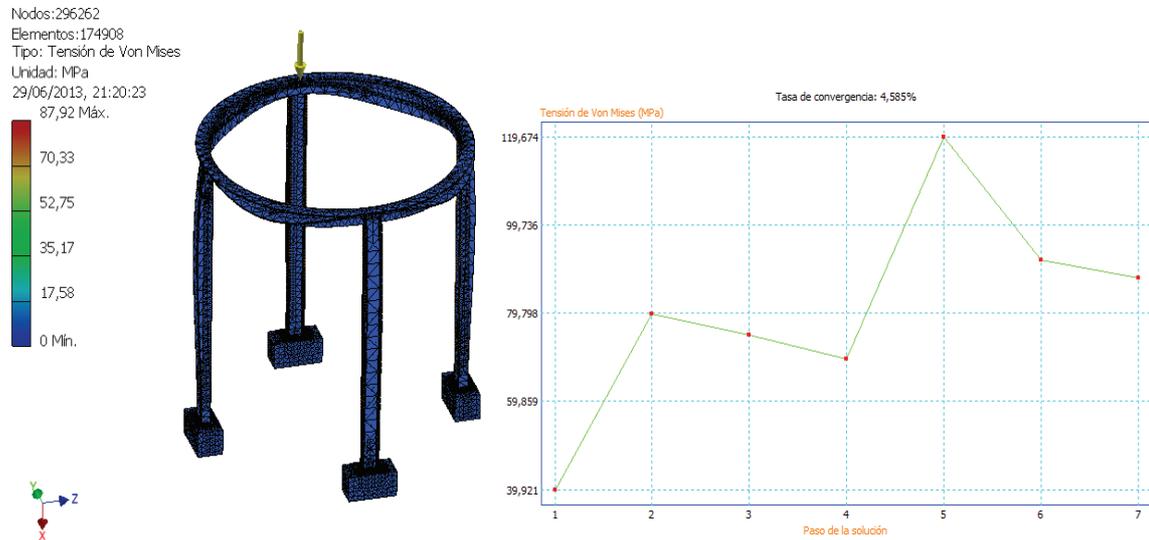


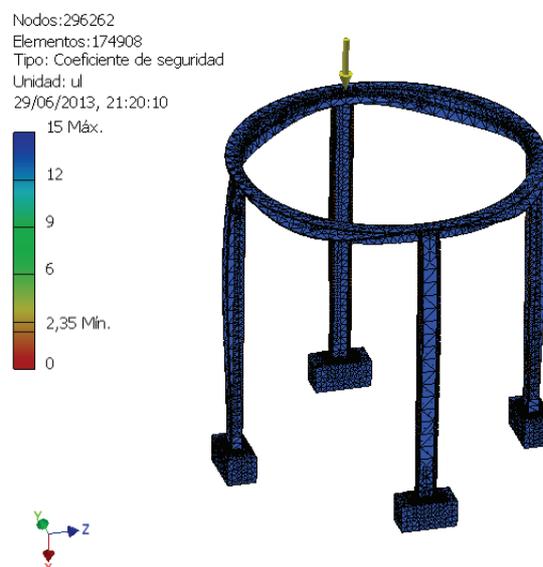
Figura 4- 61: Análisis desplazamiento

Los desplazamientos en la estructura inferior que sostiene al secador son mínimos comparados con las longitudes de las columnas, por lo que la selección del perfil es la más adecuada.



**Figura 4- 62:** Análisis de la Tensión de Von Mises

La tensión de von mises es menor comparado con la resistencia del material por lo que es aceptable para el diseño.



**Figura 4- 63:** Análisis de factor de seguridad

Como se puede observar del resultado de la simulación, las columnas que sostendran al secador mantienen su factor de seguridad dentro del rango aceptable, por lo tanto, el diseño es el más adecuado para sostener la máquina.

## 4.6 POTENCIA EN EL ÁRBOL

Para el cálculo de la potencia necesaria en el árbol del tornillo sin fin, se utiliza la sumatoria de la potencia necesaria para mover el espiral venciendo la fricción más la potencia necesaria para mover el material, y de un ajuste que se realiza en función del factor de sobrecarga y eficiencia.

$$P_{Total} = \frac{(P_{otf} + P_{ot}) * F_o}{e} \quad (4- 137)$$

Donde:

$P_{ot}$  = Potencia necesaria para mover el material, [HP]

$P_{otf}$  = Potencia necesaria para mover la espiral, [HP]

$F_o$  = Factor de sobrecarga, [adimensional]

$e$  = Factor de eficiencia, [adimensional]

### 4.6.1 POTENCIA NECESARIA PARA MOVER EL ESPIRAL

Esta potencia es la requerida para mover la espiral desocupada en función de las RPM, las mismas que inciden directamente en el tiempo de permanencia de los granos en la cámara de secado, como se puede observar en la ecuación (4-138), con los factores de las tablas A-17 y A-18 expuestas en el ANEXO 23 pp. 329.

$$P_{otf} = \frac{L * N * F_d * F_r}{1000000} \quad (4- 138)$$

Donde:

$P_{otf}$  = Potencia necesaria para mover la espiral, [HP]

$L$  = Longitud de transportador = 10,17 [ft]

$N$  = Velocidad angular = 40 [rpm]

$F_d$  = Factor según el diámetro = 18 [adimensional]

$F_r$  = Factor del tipo de rodamiento utilizado, [adimensional]

Después de los datos obtenidos, se remplazan en la ecuación (4-138) pp. 195, obteniéndose:

$$P_{otf} = \frac{10,17 [ft] * 40 * 18 * 1}{1000000} = 0,007 [HP]$$

#### 4.6.2 POTENCIA NECESARIA PARA MOVER EL MATERIAL

Para el cálculo de la potencia necesaria para mover el material y la capacidad, se utilizan los factores anteriormente mencionados, en función de la altura, la misma que va desde el ingreso hasta la salida de las cámaras.

$$P_{ot} = \frac{Q * L * \rho * FC_2 * Fm * FC_3}{1000000} \quad (4-139)$$

Donde:

$P_{ot}$  = Potencia necesaria para mover el material, [HP]

$Q_{eq}$  = Capacidad =  $501,4 \left[ \frac{ft^3}{h} \right]$

$L$  = Longitud de transportador =  $10,17 [ft]$

$\rho$  = Densidad del maíz =  $44,6 \left[ \frac{lb}{ft^3} \right]$

$FC_2$  = Factor debido al porcentaje de carga =  $2,54 [adimensional]$

$Fm$  = Factor del material =  $0,4 [adimensional]$

$FC_3$  = Factor por el número de paletas por paso =  $1 [adimensional]$

Con los datos obtenidos anteriormente en las diferentes tablas, se obtiene el valor de la potencia necesaria para mover el material.

$$P_{ot} = \frac{501,4 \left[ \frac{ft^3}{h} \right] * 10,17 [ft] * 44,6 \left[ \frac{lb}{ft^3} \right] * 2,54 * 0,4 * 1}{1000000} = 0,23 Hp$$

Después del cálculo de las potencias del movimiento del espiral y del material, se procede al análisis del factor de eficiencia mediante la tabla 4-21 y del factor de sobrecarga el mismo que se encuentra mediante el gráfico A-2 del ANEXO 24 pp. 331, obteniendo el valor del factor de sobrecarga  $Fo = 2,85$ .

**Tabla 4- 21:** Unidad de factor de eficiencia

UNIDAD DE FACTOR DE EFICIENCIA				
Tornillo o eje de montaje / correa de transmisión	Cinturón de engranaje helicoidal y acoplamiento	Acoplamiento del moto reductor	Moto reductor conductor en cadena	Tornillo sin fin
0,88	0,87	0,95	0,87	Consulta al fabricante

Una vez obtenido todos los parámetros para determinar la potencia total basándose en la ecuación (4-137) pp. 195, para lo cual se obtiene:

$$P_{Total} = \frac{(0,007 + 0,24 \text{ HP}) * 2,85}{0,87} = \mathbf{0,77[HP]}$$

#### 4.6.3 TORQUE DEL EJE DEL TRANSPORTADOR

Para el cálculo del torque para el eje transportador se determina en función de la potencia anteriormente calculada y la velocidad con la que gira la hélice.

Para lo cual se utiliza la ecuación (4-140).

$$T = \frac{225000 * P_{Total}}{N * \pi} \quad (4- 140)$$

Donde:

$$P_{Total} = 0,79[CV]$$

$$N = \text{Velocidad angular} = 40[RPM]$$

$$T = \text{Torque, [kg - cm]}$$

Partiendo de los valores de la potencia total, según el número de RPM se tiene el valor del torque, que es de:

$$T = \frac{225000 * 0,79}{40 * \pi} = \mathbf{1414,5[kg - cm]}$$

#### 4.7 SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO

Para mover el tornillo transportador se necesita una potencia de 0,77 [HP], el cual va a ser el factor para seleccionar el tipo de motor a utilizarse. Como el número de

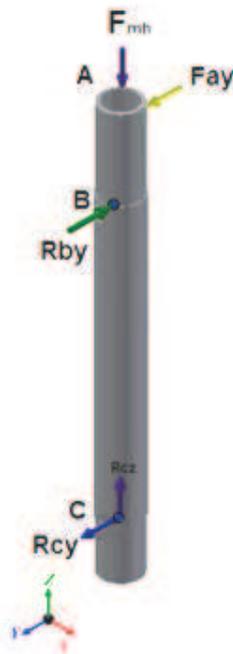
revoluciones utilizadas para mover al tornillo sin fin es pequeño se empleara un motor reductor para el transporte del grano de maíz.

El motor reductor a utilizarse debe cumplir con las exigencias calculadas en las secciones 4.6.2 pp. 196 y 4.6.3 pp. 197, donde se requiere una potencia mínima de 0,77[HP] y un torque de 1414,5[ $kg - cm$ ].

El sistema a utilizarse será un motor reductor angular modelo CM40 con un  $i$  de 40 con 42  $rpm$  de salida con un torque de 162,63 [ $N - m$ ] y un  $FS$  de 0,98, ensamblado a un motor SIEMENS de 1 [HP]. (Figura A-29 del ANEXO 25 pp. 333)

#### 4.8 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS.

Para la selección de los rodamientos primero se deben conocer las fuerzas que actúan en los puntos que se localizan los rodamientos, en la figura 4-64, se observan el diagrama de cuerpo libre del eje del tornillo sin fin.



**Figura 4- 64:** Diagrama de cuerpo libre del eje del tornillo sin fin

En los puntos B y C se localizan los rodamientos, donde en los dos puntos existen fuerzas radiales y solo en el punto C existe una fuerza axial debida al peso de los granos en el tornillo transportador.

Como se observa 4.3.5.5 pp. 131 y conociendo los datos para el tornillo transportador la fuerza axial obtiene un valor de:

$$F_{mh} = 365,65 [N]$$

Como la transmisión de movimiento se la realiza de forma directa, por lo tanto se tiene una fuerza aplicada directamente al eje del tornillo sin fin por medio del pasador. Por lo tanto, se toma el valor del torque del motor reductor seleccionado (Figura A-29 del ANEXO 25 pp. 333).

Para determinar la fuerza que se aplica al eje se divide el torque del motor reductor para el radio del eje ubicándola en el eje para calcular las componentes en los puntos que se tiene los rodamientos.

$$F_{ay} = \frac{T}{r_{ext}} \quad (4-141)$$

Donde:

$T$  = Torque del transportador,  $[N - mm]$

$$T = 162603 [N - mm]$$

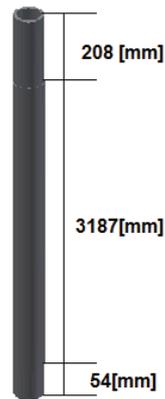
$F_{ay}$  = Fuerza aplicada al eje,  $[N]$

$r_{ext}$  = Radio del eje,  $[mm]$

Por lo que se tiene:

$$F_{ay} = \frac{162603[N - mm]}{21,2[mm]} = 7706,3[N]$$

Las dimensiones del tornillo sin fin necesarias para el cálculo de las componentes en los puntos que se ubicaran los rodamientos se las puede observar en la figura 4-65 pp. 200.



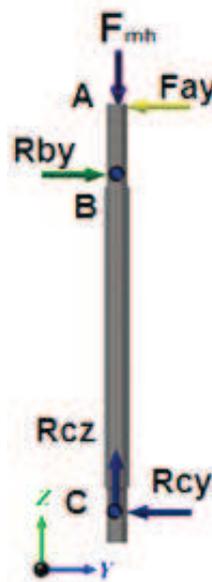
**Figura 4- 65:** Dimensiones del transportador

Una vez obtenida la fuerza se determinan las componentes radiales y axiales en los puntos que se encuentran ubicados los rodamientos.

$$\sum F_z = 0$$

$$R_{cz} = F_{mh} = 365,65[N]$$

- Fuerzas en el plano yz para los puntos B y C.



**Figura 4- 66:** Fuerzas en el plano XZ para los puntos B y C

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{by} = 7706,3[N] + R_{cy}$$

$$+\curvearrowright \sum M_{By} = 0$$

$$7706,3[N] * (208[mm]) = R_{cy} * (3214[mm])$$

$$R_{cy} = 498,73[N]$$

$$R_{by} = 8205,03[N]$$

#### 4.8.1 RODAMIENTO PARA EL PUNTO C

En el punto C se encuentran fuerzas radiales y axiales, para la selección del tipo de rodamiento se utiliza el ANEXO 26 pp. 335 - 339, en donde se muestra las fuerzas que soportan cada uno de ellos. Por lo tanto, se selecciona **un rodamiento de rodillos cónicos** que cumple con las condiciones de funcionamiento.

Para la selección del rodamiento se determina la fracción en función de la fuerza radial y axial en el punto C.

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{F_{cz}}{F_{cy}} = \frac{365,65[N]}{498,73[N]} = 0,73$$

Se debe cumplir con la condición:

$$\frac{F_a}{F_r} > e$$

Para  $e$  se selecciona un diámetro de eje de 40 [mm] y se tienen los valores.

$$P = 0,4F_r + YF_a \quad (4- 142)$$

$$P = 0,4 * 498,73[N] + 0,73 * 365,65[N] = 466,42[N]$$

La carga dinámica se determina de la siguiente manera:

$$C = \frac{f_L}{f_n * f_H} * P [KN] \quad (4- 143)$$

Donde:

$C$  = Carga dinámica, [kg]

$f_L$  = Factor de esfuerzos dinámicos

$f_n$  = Factor de velocidad

$f_H$  = Factor de dureza

Los factores de esfuerzos dinámicos y de velocidad se determinan en el ANEXO 26 pp. 336 - 339, mientras el factor de dureza  $f_H$  se determina en la tabla 4-22.

**Tabla 4- 22:** Factor de dureza  $f_H$

SIGNO	TEMPERATURA DE SERVICIO	FACTOR DE DUREZA $f_H$
S0	150°C	1,00
S1	200°C	0,90
S2	250°C	0,75
S3	300°C	0,60

$$C = \frac{2,5}{0,947 * 1} * 466,42[N] = \mathbf{1213,31[N]}$$

Según las capacidades de carga y diámetro del eje de rodamiento se selecciona un rodamiento **FAG 31308<sup>a</sup>** del ANEXO 26 pp. 340 - 341.

#### 4.8.2 RODAMIENTO PARA EL PUNTO B

En el punto B se encuentran fuerzas radiales, para la selección del tipo de rodamiento se utiliza el ANEXO 26 pp. 335 - 337, en donde se muestra las fuerzas que soportan cada uno de ellos.

Por lo tanto, se seleccionará un rodamiento de rodillos cónicos que cumple con las condiciones de funcionamiento.

$$R_{by} = \mathbf{8205,03[N]}$$

La carga dinámica se determina de la siguiente manera:

$$C = \frac{f_L}{f_n * f_H} * P[N]$$

Donde:

$C$  = Carga dinámica, [Kg]

$f_L$  = Factor de esfuerzos dinámicos

$f_n$  = Factor de velocidad

$f_H$  = Factor de dureza

Los factores de esfuerzos dinámicos y de velocidad se determinan en el ANEXO 26 pp. 336 - 337.

$$C = \frac{2,5}{0,941 * 1} * 8205,03[N] = 21798,7[N]$$

Según las capacidades de carga y diámetro del eje de rodamiento se selecciona **un rodamiento FAG 6206** del ANEXO 26 pp. 342 - 343, con una capacidad de 29[KN] que cumple satisfactoriamente.

## 4.9 ANÁLISIS DE ENERGÍA

### 4.9.1 FLUJO DE AIRE

#### 4.9.1.1 Masa final de maíz

Utilizando la ecuación (2-5) pp. 33, se tiene los siguientes resultados

$$M_{fM} = M_{iM} - (M_{iM} * \emptyset)$$

$$M_{fM} = 2000[kg] - (2000[kg] * 0,085) = 1830[kg]$$

#### 4.9.1.2 Masa de agua

Utilizando la ecuación (2-4) pp. 32, se tiene los siguientes resultados

$$m_{H_2O} = M_{iM} - M_{fM}$$

$$m_{H_2O} = 2000[kg] - 1830[kg] = 170[kg]$$

#### 4.9.1.3 Masa de aire seco

Utilizando la ecuación (2-15) pp. 40, se tiene los siguientes resultados

$$m_{as} = \frac{m_{H_2O}}{(\omega_3 - \omega_2)}$$

$$m_{as} = \frac{170[\text{Kg de agua}]}{(0,039 - 0,019) \left[ \frac{\text{Kg agua}}{\text{Kg aire seco}} \right]} = 8500[\text{Kg aire seco}]$$

#### 4.9.1.4 Volumen de aire seco

Utilizando la ecuación (2-16) pp. 41, se tiene los siguientes resultados

$$V_{as} = \frac{m_{as} * R * T}{P}$$

$$V_{as} = \frac{8500[\text{Kg}] * 0,287[\text{KPa m}^3/\text{Kg} * \text{K}] * 329[\text{K}]}{95,15[\text{KPa}]} = 8435[\text{m}^3]$$

#### 4.9.1.5 Presión del vapor de agua

Utilizando la ecuación (2-12) pp. 39, se tiene los siguientes resultados:

$$P_v = \varphi * P_{sat}$$

$$P_v = 0,9 * 3,1698[\text{KPa}] = 2,853 [\text{KPa}]$$

#### 4.9.1.6 Presión del aire seco

Utilizando la ecuación (2-13) pp. 39, se tiene los siguientes resultados:

$$P_{as} = P - P_v$$

$$P_{as} = 95,15[\text{KPa}] - 2,853[\text{KPa}] = 92,297[\text{KPa}]$$

#### 4.9.1.7 Volumen específico del aire seco a condiciones ambiente

Utilizando la ecuación (2-14) pp. 39, se tiene los siguientes resultados

$$v_{as} = \frac{R * T}{P_{as}}$$

$$v_{as} = \frac{0,287[\text{KPa m}^3/\text{kg} * \text{K}] * 298[\text{K}]}{92,297[\text{KPa}]} = 0,927 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]$$

#### 4.9.1.8 Masa de aire seco a condiciones ambiente

Para el cálculo de la masa de aire ambiente se utiliza la ecuación (4-144) pp. 205.

$$m_{asca} = \frac{V_{as}}{v_{as}} \quad (4- 144)$$

Donde:

$m_a$  = Masa de aire ambiente, [kg]

$$m_a = \frac{8435[m^3]}{0,927[m^3/Kg]} = 9099,24 [kg]$$

#### 4.9.1.9 Flujo de masa de aire seco a condiciones ambiente

Para el cálculo del flujo de aire se utiliza la ecuación (4-145).

$$\dot{m}_{am} = \frac{m_a}{t_{secado}} \quad (4- 145)$$

Donde:

$t_{secado}$  = Tiempo de secado, [h]

$$\dot{m}_{am} = \frac{9099,24[kg]}{5,39[h]} = 1688,20 \left[ \frac{kg}{h} \right]$$

#### 4.9.1.10 Flujo de volumen de aire seco a condiciones ambiente

Para el cálculo del flujo de aire se utiliza la ecuación (4-146).

$$\dot{v}_a = \frac{\dot{m}_{am}}{\rho_{aire}} \quad (4- 146)$$

Donde:

$\rho_{aire}$  = Densidad el aire ambiente,  $\left[ \frac{kg}{m^3} \right]$

$$v_a = \frac{1688,20 \left[ \frac{kg}{h} \right]}{1,266 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]} = 1333,50 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

#### 4.9.1.11 Flujo de masa de maíz seco

Para el cálculo del flujo de masa de maíz seco se utiliza la ecuación (4-147)

$$\dot{m}_{ms} = \frac{N*Vcab*\rho}{t_{cs}} \quad (4- 147)$$

Donde:

$\dot{m}_{ms}$  = Flujo de masa de maíz seco,  $\left[\frac{kg}{min}\right]$

$N_c$  = Número de caballetes de entrada de aire caliente, [adimensional]

$V_{cab}$  = Volumen de los caballetes,  $[m^3]$

$\rho_m$  = Densidad del maíz =  $715 \left[\frac{kg}{m^3}\right]$

$t_{cs}$  = Tiempo en la cámara de secado, [min]

$$\dot{m}_{ms} = \frac{2 * 0,14 * 715}{5} = 40,40 \left[\frac{kg}{min}\right]$$

#### 4.9.2 TEMPERATURA DE SECADO

Para determinar la temperatura con la que los granos salen de la cámara de secado, se toma como referencia los datos determinados mediante la carta Psicrométrica (Figura A-8 del ANEXO 4 pp. 266), los mismos que se encuentran expuestos en el gráfico 4-6 pp. 207 y tabulados en tabla 4-23.

**Tabla 4- 23:** Datos para el secado

AIRE		MAIZ	
Humedad específica de entrada $\left[\frac{kg\ agua}{kg\ aire\ seco}\right]$	0,019	Humedad inicial $\left[\frac{kg\ agua}{kg\ maíz}\right]$	0,19
Humedad específica de salida $\left[\frac{kg\ agua}{kg\ aire\ seco}\right]$	0,039	Humedad final $\left[\frac{kg\ agua}{kg\ maíz}\right]$	0,115
Entalpía de entrada @ 56°C <sup>105</sup> $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$	329,334	Calor específico del maíz <sup>106</sup> $\left[\frac{kJ}{kg\ maíz\ seco * K}\right]$	3,32
Entalpía de salida @ 45°C <sup>105</sup> $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$	318,282	Calor específico del agua <sup>106</sup> $\left[\frac{kJ}{kg\ maíz\ seco * K}\right]$	4,19
Temperatura de secado	56°C=329°K	Temperatura de entrada	25°C=298°K
Temperatura de salida	45°C=318°K		

<sup>105</sup> Cengel Y.; Boles M.; "Termodinámica"; Mc Graw Hill; quinta edición; tabla A-17 (datos interpolados); pp. 910; [Consulta: 13 de diciembre de 2012]

<sup>106</sup> Geankoplis C.; "Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias"; Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V.; México-México; tercera edición; 1998; apéndice A.4; pp. 978 y 979; [Consulta: 13 de diciembre de 2012]

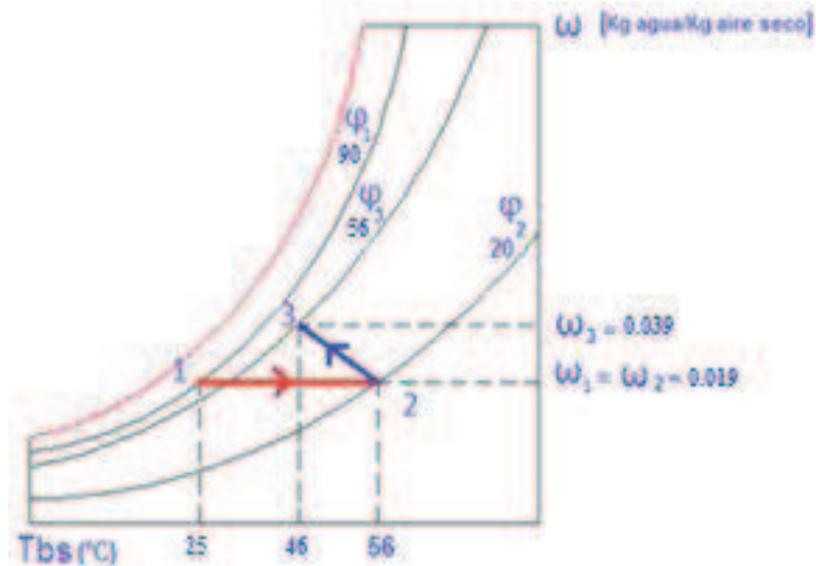


Gráfico 4- 6: Higroscopia de secado

#### 4.9.2.1 BALANCE DE ENTALPÍAS

Para determinar el calor necesario para el secado de granos se debe identificar tres procesos que intervienen en el mismo, los cuales se encuentran descritos en la figura 4-67.

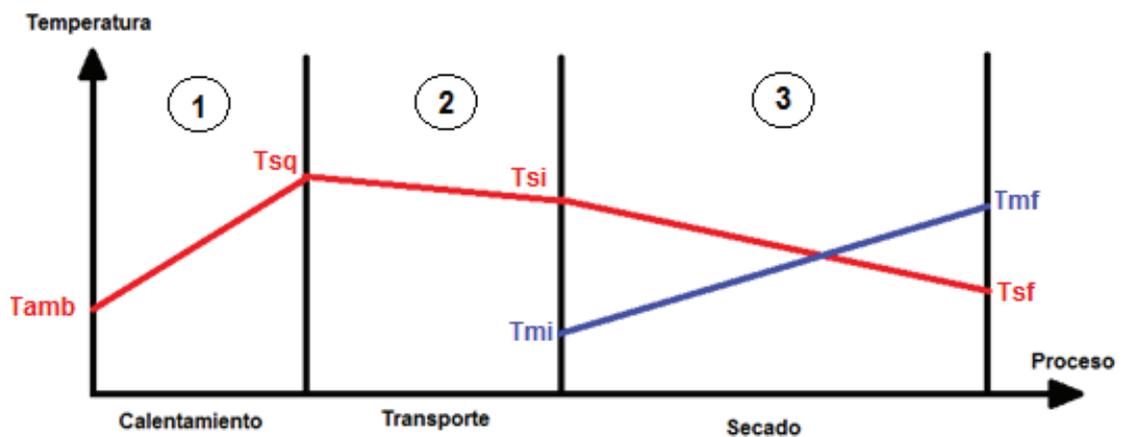


Figura 4- 67: Proceso de secado

El punto 1: corresponde al proceso de calentamiento en donde el gas genera calor por medio de la combustión aumentando la temperatura del aire.

El punto 2: corresponde al transporte del aire hasta la cámara de secado en donde existen pérdidas de calor debido a que el ducto de transporte del aire se encuentra en contacto con el medio ambiente.

El punto 3: corresponde al secado en donde el aire disminuye su temperatura debida a que la cede a los granos de maíz, para evaporar la humedad.

Para determinar la cantidad de calor generado por el combustible se trabaja con la siguiente expresión:

$$\dot{Q}_{comb} = \dot{Q}_{cal} + \dot{Q}_p \quad (4- 148)$$

Donde:

$\dot{Q}_{comb}$  = Calor generado con el combustible, [kJ]

$\dot{Q}_{cal}$  = Calor entregado para el calentamiento del aire, [kJ]

$\dot{Q}_p$  = Pérdidas de calor debido al ducto, [kJ]

- El calor necesario para el calentamiento de aire se determina utilizando el flujo de masa de aire ambiente y las entalpías evaluadas a las temperaturas ambiente y a la temperatura deseada para el secado.

$$\dot{Q}_{cal} = \dot{m}_{as} * (h_{a1@56} - h_{a2@45}) \quad (4- 149)$$

Para el cálculo de las entalpías, se determinan en función de la ecuación (4-150).

$$h_{a@T} = C_p T + (2599,9 + 1,82T) \quad (4- 150)$$

Obteniendo los valores de:

$$h_{a1@56} = 105,74 \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$$

$$h_{a1@25} = 73,51 \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$$

Por lo tanto, reemplazando el valor de cada una de las entalpías anteriormente calculadas en la ecuación (4-150), se tiene:

$$\dot{Q}_{cal} = 1683,8 \left[ \frac{kg}{h} \right] * (105,74 - 73,51) \left[ \frac{kJ}{kg} \right] = 54268,87 \left[ \frac{kJ}{h} \right]$$

Para el cálculo del calor de las pérdidas, se realiza los siguientes análisis:

Con los datos de la tabla 4-3 pp. 109 de las propiedades para el aire a una temperatura de 56 °C, se calcula el número de Reynolds con la ecuación (4-151), para determinar el tipo de flujo que posee el aire dentro del conducto

$$Re = \frac{V * D_h}{\nu} \quad (4- 151)$$

Donde:

$Re$  = Número de Reynolds, [adimensional]

$V$  = Velocidad de secado =  $3 \left[ \frac{m}{s} \right]$

$D_h$  = Diámetro equivalente, [m]

$\nu$  = Viscosidad cinemática,  $\left[ \frac{m^2}{s} \right]$

En donde el diámetro equivalente viene dado por:

$$D_h = \frac{4 * A_{sec\ transversal}}{P} \quad (4- 152)$$

Para lo cual cada uno de los componentes se expresan por:

$$A_{sec\ transversal} = b * h \quad (4- 153)$$

$$A_{sec\ transversal} = 0,424 * 0,282 = \mathbf{0,12[m^2]}$$

$$P = 2(b + h) \quad (4- 154)$$

$$P = 2(0,424 + 0,282) = \mathbf{1,41[m]}$$

Por lo tanto el diámetro equivalente tiene un valor de:

$$D_h = \frac{4 * 0,12[m^2]}{1,41[m]} = \mathbf{0,341[m]}$$

Se reemplaza los valores en la ecuación (4-152), obteniéndose:

$$Re = \frac{3 \left[ \frac{m}{s} \right] * 0,341[m]}{1,857 * 10^{-5} \left[ \frac{m^2}{s} \right]} = 54927,3$$

Una vez obtenido el número de Reynolds, se determina que es mayor que 10000, por lo tanto, se trata de un flujo turbulento, el mismo que permite determinar el número de Nussel:

$$Nu = 0,023 * Re^{0.8} * Pr^{0.3} \quad (4- 155)$$

$$Nu = 0,023 * (54927,3)^{0.8} * (0,7212)^{0.3} = \mathbf{129,11}$$

- El calor producido por las pérdidas se encuentra expresado por:

$$\dot{Q}_p = hA_s \Delta T_{ln} \quad (4- 156)$$

Donde:

$h$  = Coeficiente de transferencia de calor,  $\left[\frac{w}{m^2 * ^\circ C}\right]$

$$h = \frac{k}{D_h} Nu \quad (4- 157)$$

$$h = \frac{0,02779 \left[\frac{w}{m * ^\circ C}\right]}{0,341[m]} * 129,11 = \mathbf{10,64 \left[\frac{w}{m^2 * ^\circ C}\right]}$$

$A_s$  = Área en contacto con el ambiente,  $[m^2]$

$$A_s = P * l_{ducto} \quad (4- 158)$$

$$l_{ducto} = \mathbf{3,8[m]}$$

$$A_s = 1,41[m] * 3,8[m] = \mathbf{5,4[m^2]}$$

$\Delta T_{ln}$  = Diferencia media logarítmica de temperatura,  $[^\circ C]$

$$T_s = T_\infty - (T_\infty - T_i) \exp\left(-\frac{h * A_s}{\dot{m} * c_p}\right) \quad (4- 159)$$

$$T_s = 25[^\circ C] - (25[^\circ C] - 56[^\circ C]) \exp\left(-\frac{10,64 \left[\frac{w}{m^2 * ^\circ C}\right] * 5,4[m^2]}{0,46 \left[\frac{kg}{s}\right] * 1,007 \left[\frac{kJ}{kg * ^\circ C}\right]}\right) \approx \mathbf{52[^\circ C]}$$

Por lo tanto, la diferencia media logarítmica de temperatura y la razón de la pérdida de calor del aire se determina a continuación.

$$\Delta T_{ln} = \frac{T_i - T_s}{\ln\left(\frac{T_\infty - T_s}{T_\infty - T_i}\right)} \quad (4-160)$$

$$\Delta T_{ln} = \frac{25[^\circ\text{C}] - 56[^\circ\text{C}]}{\ln\left(\frac{25[^\circ\text{C}] - 52[^\circ\text{C}]}{25[^\circ\text{C}] - 56[^\circ\text{C}]}\right)} \approx -29,16[^\circ\text{C}]$$

El signo negativo de la diferencia media logarítmica nos indica la pérdida de calor.

Por lo tanto, reemplazando los valores de las ecuaciones (4-157), (4-158) pp. 210 y (4-160) en la ecuación (4-156) pp. 210, el flujo de calor que se pierde en el transporte del aire es:

$$\dot{Q}_p = 10,64 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right] * 5,4[\text{m}^2] * -2916[^\circ\text{C}] = -5993 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \right]$$

Finalmente, el calor necesario para calentar al aire y que llegue a la cámara de aire caliente a una temperatura de 56°C, se determina por medio de la ecuación (4-148) pp. 208.

$$\dot{Q}_{comb} = 54268,87 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \right] + 5993 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \right] = 60261,87 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \right]$$

## 4.10 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AIRE

La diferencia de precios entre los diferentes tipos de combustibles es el motivo principal de la elección de su uso, lo cual no suele estar de acuerdo con los factores de calidad del grano ya que producen compuestos químicos en la combustión que se consideran contaminantes de los granos.

### 4.10.1 TIPOS DE COMBUSTIBLES

#### 4.10.1.1 Gas Licuado de Petróleo (GLP)

Los altos niveles de rendimiento y versatilidad hacen del Gas Licuado de Petróleo (GLP) un combustible universal, capaz de sustituir a cualquier otro combustible líquido o gaseoso en cualquier tipo de aplicación.

Tabla 4- 24: Propiedades del GLP

PROPIEDADES DEL GLP		
Poder calórico $\left[\frac{kJ}{kg}\right]^{107}$	47500	
Densidad relativa del vapor a 16 [°C] ( <i>aire</i> = 1 $\left[\frac{kg}{m^3}\right]^{107}$ )	Propano 1,52	Butano 2,01
Precio del GLP industrial <sup>108</sup> $\left[\frac{USD}{kg}\right]$	66	

#### 4.10.1.2 Diesel 2

El diesel 2 es un combustible caro que posee un contaminante denominado benzopireno, el mismo que con un quemador bien regulado se puede llegar a eliminar haciéndolo apto para el consumo y tratamiento de alimentos.

Tabla 4- 25: Propiedades del diesel

PROPIEDADES DEL DIESEL	
Poder calórico $\left[\frac{kJ}{kg}\right]^{108}$	44605
Densidad $\left[\frac{kg}{l}\right]^{109}$	0,81
Precio del Diesel $\left[\frac{USD}{Gms}\right]^{110}$	1,2

#### 4.10.2 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL AIRE

Para realizar el análisis del sistema de calentamiento del aire, se debe determinar qué sistema presenta las mejores alternativas de funcionamiento, para lo cual se considera dos tipos de sistemas uno a base de GLP y otro en base a DIESEL, de acuerdo a sus propiedades y características anteriormente mencionadas.

<sup>107</sup> "Características del GLP"; [en línea]; AustroGas;

<[http://www.austrogas.com.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=20&Itemid=23](http://www.austrogas.com.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=20&Itemid=23)>; [Consulta: 17 de diciembre de 2012]

<sup>108</sup> Cengel Y., Boles M.; "Termodinámica"; Quinta edición; Mc Graw Hill; México – México; 2002; pp. 764; [Consulta: 18 de enero de 2012]

<sup>109</sup> Cengel Y., Boles M.; "Termodinámica"; Quinta edición; Mc Graw Hill; México – México; 2002; [Consulta: 18 de enero de 2012]

<sup>110</sup> "Precios Nacionales"; [en línea]; Petroecuador;

<[http://www.com.eppetroecuador.ec/wps/portal/!ut/p/c1/04\\_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os\\_jQAN9AQzcPlwN\\_A0dXA09vb1NX1-BQAwNHM6B8pFm8n79RqJuJp6GhhZmroYGRmYeJk0-Yp4G7izEB3eEg-\\_DrB8kb4ACOBhB5uA3u7n7mBp4Wrj7OQaHmxu5GBvp-Hvm5qfoFuREGmQHpigBacBVF/dl2/d1/L2dJQSEvUUt3QS9ZQnB3LzZfvVBNUFTGSDIwR09HODBJS1FNQIVCUzlwRTA!/>](http://www.com.eppetroecuador.ec/wps/portal/!ut/p/c1/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os_jQAN9AQzcPlwN_A0dXA09vb1NX1-BQAwNHM6B8pFm8n79RqJuJp6GhhZmroYGRmYeJk0-Yp4G7izEB3eEg-_DrB8kb4ACOBhB5uA3u7n7mBp4Wrj7OQaHmxu5GBvp-Hvm5qfoFuREGmQHpigBacBVF/dl2/d1/L2dJQSEvUUt3QS9ZQnB3LzZfvVBNUFTGSDIwR09HODBJS1FNQIVCUzlwRTA!/); [Consulta: 17 de diciembre de 2012]

#### 4.10.2.1 Sistema a GLP

Este sistema es simple, ya que únicamente el calentamiento del aire se realiza en forma directa por medio de un quemador.

#### 4.10.2.2 Sistema a Diesel

Debido a las características del diesel expuesto en la sección 4.10.1.2 pp. 212, y basándose en las recomendaciones de FAO para el tratamiento de alimentos, el aire no puede ser calentado en forma directa con este tipo de combustible, por lo tanto se debe realizar un sistema de calentamiento en forma indirecta por medio de un radiador por medio del cual circula agua caliente que es calentada por un caldero.

Por lo tanto, una vez detallados cada uno de los sistemas a considerar, se procede a determinar cuál de los dos sistemas presenta mejores condiciones para el uso en la máquina secadora.

- Se procede al cálculo de la masa de combustible necesario para la combustión:

$$m_{comb} = \frac{Q_{comb}}{P_p} \quad (4- 161)$$

Donde:

$m_{comb}$  = Masa del combustible para combustión,  $\left[\frac{kg}{h}\right]$

$P_p$  = Poder calórico de combustible,  $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

Dado que para el caso del diesel se trabaja en  $[l]$ , se tiene:

$$V_{comb} = \frac{m_{comb}}{\delta_{comb}} \quad (4- 162)$$

$V_{comb}$  = Volumen del combustible,  $[l]$

$\delta_{comb}$  = Densidad del combustible,  $\left[\frac{kg}{l}\right]$

- Para determinar qué cantidad de masa de combustible será necesaria para el secado de los 2000  $[kg]$ , se tiene.

$$\frac{m_{comb}}{kg} = m_{comb} * t_{secado} \quad (4- 163)$$

Donde:

$$\frac{m_{comb}}{kg} = \text{Masa de combustible para secar} = 2000[kg]$$

$$t_{secado} = \text{Tiempo de secado, [h]}$$

- Tomando en cuenta que el tiempo de uso de la máquina es de 200  $\left[\frac{h}{año}\right]$ , se determina el consumo de combustible anual:

$$consumo_{comb} = m_{comb} * t_{maq} \quad (4- 164)$$

Donde:

$$consumo_{comb} = \text{Consumo de combustible anual.}$$

$$t_{maq} = \text{Tiempo de uso de la máquina} = 200 \left[\frac{h}{año}\right]$$

- Cálculo del precio de combustible anual para el secado.

$$Precio_{comb} = costo_{comb} * consumo_{comb} \quad (4- 165)$$

Donde:

$$Precio_{comb} = \text{Precio de combustible anual para el secado, } \left[\frac{USD}{año}\right]$$

$$costo_{comb} = \text{Consumo de combustible anual. [USD]}$$

Utilizando los valores de las tablas 4-24 y 4-25 pp. 212 en las ecuaciones antes mencionadas, se tienen los valores para cada tipo de combustible tabulado en la tabla 4-26:

**Tabla 4- 26:** Análisis de precios de los combustibles

DETALLE	GLP		DIESEL	
Masa del combustible para la combustión	1,27	$\left[\frac{kg}{h}\right]$	0,44	$\left[\frac{gal}{h}\right]$
Masa de combustible para secar 2000[kg]	6,84	[kg]	7,28	[kg]
Consumo de combustible anual	253,73	$\left[\frac{kg}{año}\right]$	88,10	$\left[\frac{gal}{año}\right]$
Precio de combustible anual para el secado	372,17	$\left[\frac{USD}{año}\right]$	105,72	$\left[\frac{USD}{año}\right]$

- Se utiliza el método del valor presente neto para determinar cuál de los dos sistemas conviene elegir para un mejor desempeño para el calentamiento del aire para el secado.

Para lo cual se debe cumplir la siguiente relación:

$$\begin{aligned} \text{si } & \text{VPN} \geq 0 \text{ es válida la alternativa} \\ & \text{VPN} < 0 \text{ no es válida la alternativa} \end{aligned}$$

Donde:

VPN = Valor Presente Neto

**Tabla 4- 27:** Datos principales de cada sistema de combustible

	GLP	DIESEL
Inversión	800	2010
Consumo anual	400	143
Vida Útil	10	5
TMAR	0,12	

**Tabla 4- 28:** VPN para el sistema con GLP

SISTEMA CON GLP			
Periodo	FNF	F/P	
0	-800	3,11	-2484,68
1	400	2,77	1109,23
2	400	2,48	990,39
3	400	2,21	884,27
4	400	1,97	789,53
5	400	1,76	704,94
6	400	1,57	629,41
7	400	1,40	561,97
8	400	1,25	501,76
9	400	1,12	448
10	400	1	400
<b>Suma</b>			4534,82
<b>VPN</b>			<b>\$ 4.534,82</b>

**Tabla 4- 29:** VPN para el sistema con GLP

<b>SISTEMA CON DIESEL</b>			
<b>Periodo</b>	<b>FNF</b>	<b>F/P</b>	
0	-2010	1,76	-3542,31
1	143	1,57	225,01
2	143	1,40	200,90
3	143	1,25	179,38
4	143	1,12	160,16
5	143	1	143,00
<b>Suma</b>			-2633,85
<b>VPN</b>			<b>(\$ 2.633,85)</b>

Una vez realizado el análisis del VPN, se obtiene que el sistema con GLP cumple con la relación de  $VPN \geq 0$ , por lo tanto se escoge esta alternativa como la más conveniente para el calentamiento del aire.

#### 4.11 SELECCIÓN DEL QUEMADOR

Para la selección del quemador, se toma en consideración el análisis realizado anteriormente en donde se escoge al sistema con GLP como alternativa para el uso del calentamiento del aire para el secador.

Considerando el valor del calor de aire usado necesario para el secado, calculado en la sección 4.9.2.1 pp. 207:

$$Q_{comb} = 60261,87 \left[ \frac{kJ}{h} \right] \approx 60000 \left[ \frac{Btu}{h} \right]$$

Se selecciona un quemador industrial para gas de  $60000 \left[ \frac{Btu}{h} \right]$ , el mismo que esta detallado en la figura A-31 del ANEXO 27 pp. 345 - 346.

#### 4.12 DISEÑO DEL CONDUCTO DE TRANSPORTE DEL AIRE CALIENTE

Conociendo la velocidad a la cual se aplica el aire a los granos y el caudal del mismo se procede a calcular el área transversal por medio de la cual va a circular el aire, se debe mantener la relación mostrada en la ecuación (4-166) pp. 217.

$$A = \frac{Q}{v} \quad (4-166)$$

Donde:

$A$  = Área transversal del ducto de transporte,  $[m^2]$

$Q$  = Caudal de aire,  $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

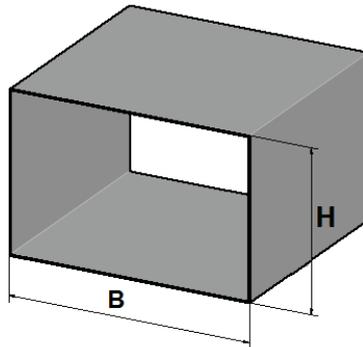
$v$  = Velocidad del aire de secado,  $\left[\frac{m}{s}\right]$

$$A = \frac{0,37 \left[\frac{m^3}{s}\right]}{3 \left[\frac{m}{s}\right]} = 0,123137[m^2] = 123137,97 [mm^2]$$

#### 4.12.1 DISEÑO DE LA TUBERÍA DEL TRANSPORTE DEL AIRE DE SECADO

Debido a que el ducto de aire debe ingresar al secador por medio de una sección rectangular, el tubo que transporta el aire caliente debe mantener el mismo ancho como se muestra en la figura 4-68.

$$B = 429,26[mm]$$



**Figura 4- 68:** Dimensiones del ducto de aire

Es así que la medida de la altura del tubo rectangular se encuentra definido por la ecuación (4-167)

$$H = \frac{A}{B} \quad (4-167)$$

$$H = \frac{123137,97 [mm^2]}{429,26[mm]} = 286,86[mm]$$

Por lo tanto, el tubo transporte del aire caliente será realizado de planchas laminadas (figura A-21 del ANEXO 15 pp. 308) con una medida de **429 X 287 [mm]**.

#### 4.12.2 DUCTO DE SALIDA DEL AIRE USADO

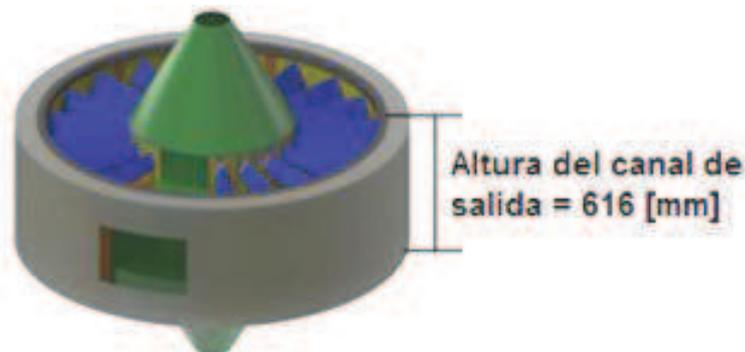
Para mantener un secado uniforme de los granos, la velocidad a la salida del aire utilizado debe ser igual a la que ingresa y el caudal debe permanecer constante por lo tanto por razones de cálculo se divide al caudal en dos partes las mismas que circularán por los alrededores del ducto de aire.

$$A' = \frac{A}{2} = \frac{123137,97 [mm^2]}{2} = \mathbf{61568,98 [mm^2]}$$

Conociendo la altura del canal de salida de aire (figura 4-69) y en función de la ecuación (4-167) pp. 217, se tiene el ancho del caudal.

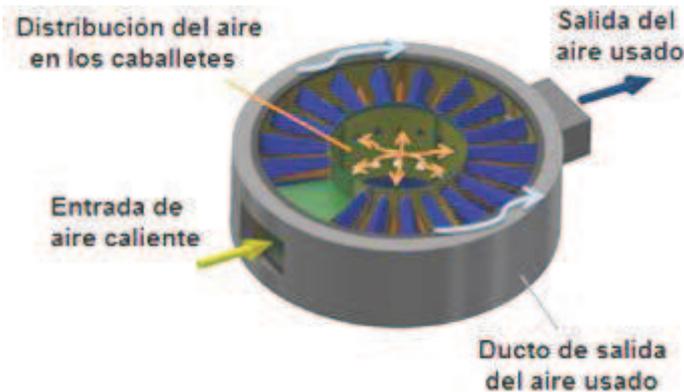
$$H = 616 (mm)$$

$$B = \frac{61568,98 [mm^2]}{616 [mm]} = \mathbf{99,99 [mm] \approx 100 [mm]}$$



**Figura 4- 69:** Altura del canal de salida del ducto de aire

Por lo tanto, las dimensiones de las diferentes partes del ducto (figura 4-70 pp. 219) serán: diámetro exterior del ducto de salida del aire = **1812,84 [mm]**, diámetro interno = **1612,84 [mm]** y altura = **616 [mm]**.



**Figura 4- 70:** Partes del ducto de aire

### 4.12.3 PÉRDIDAS: DE FLUJO Y EN LOS ACCESORIOS

#### 4.12.3.1 Pérdidas primarias o pérdidas por fricción

Tendrán lugar en los tramos rectos de la tubería de sección no circular, si la geometría se encuentra representada por el diámetro hidráulico en lugar del diámetro del conducto, como se utiliza en las secciones circulares, para determinar las pérdidas en las secciones rectas, para lo cual se utiliza la ecuación (4-168).

$$h_L = f \frac{L}{4R} * \frac{v^2}{2g} \quad (4- 168)$$

Donde:

$f$  = Factor de fricción, [adimensional]

$L$  = Longitud de las secciones rectas del ducto de transporte, [m]

$R$  = Radio hidráulico, [m]

Donde, el radio hidráulico se encuentra definido como el cociente del área neta de la sección transversal de una corriente de flujo entre el perímetro mojado de la sección.<sup>111</sup>

$$R = \frac{A}{PM} \quad (4- 169)$$

Para lo cual, se tiene las expresiones que forman parte de la ecuación (4-169).

<sup>111</sup> Mott R.; "Mecánica de Fluidos Aplicada"; cuarta edición; Pearson; México – México; 1996; pp. 228; [Consulta: 16 de enero de 2013]

$$A = B * H$$

$$PM = 2B + 2H$$

Donde:

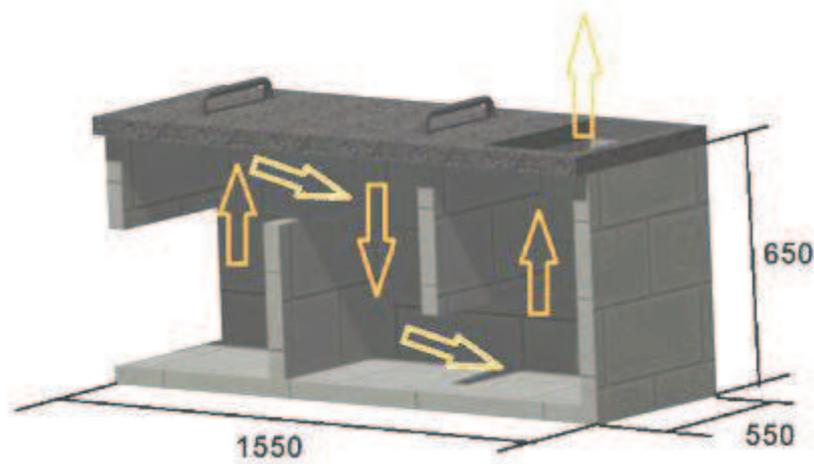
$R$  = Radio hidráulico, [mm]

$A$  = Área neta de la sección transversal, [mm<sup>2</sup>]

$PM$  = Perímetro mojado, [mm]

#### 4.12.3.1.1 Pérdidas en la cámara de combustión

La cámara de combustión se la considera como un ducto cuadrado de concreto con las medidas mostradas en la figura 4-71.



**Figura 4- 71:** Medidas de la cámara de combustión

Se determina el radio hidráulico para la sección transversal:

$$A = 450 * 450 = \mathbf{202500[mm^2]}$$

$$PM = 2 * 450 + 2 * 450 = \mathbf{1800[mm]}$$

$$R = \frac{202500[mm^2]}{1800[mm]} = \mathbf{112,5[mm]} = \mathbf{0,112[m]}$$

Por lo tanto, para determinar el factor de fricción para las pérdidas en la tubería de ingreso de aire de secado, se utiliza el factor de Moody detallado en el gráfico A-3 del ANEXO 28 pp. 348, obteniendo<sup>112</sup>:

$$N_R = \frac{v \cdot (4R) \cdot \rho_a}{\mu} \quad (4-170)$$

Donde:

$N_R$  = Numero de Reynolds, [adimensional]

$v$  = Velocidad del aire de secado,  $\left[\frac{m}{s}\right]$

$\rho_a$  = Densidad del aire,  $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

$\mu$  = Viscosidad dinámica del aire,  $\left[\frac{Ns}{m^2}\right]$

$$N_R = \frac{3 \left[\frac{m}{s}\right] (4 * 112,5 [mm]) * 1,065 \left[\frac{Kg}{m^3}\right]}{1,98 \times 10^{-5} \left[\frac{Ns}{m^2}\right] * 1000} = 72181,54$$

Localizando el número de Reynolds en el gráfico A-3 del ANEXO 28 pp. 348, se determina un factor de fricción de pérdidas igual a **0,032**.

De acuerdo con las dimensiones de las secciones rectas del ducto de ingreso señaladas en la figura 4-71 pp. 220, se determina la longitud total del ducto en función de la siguiente expresión:

$$L = 600 + 450 + 600 + 450 + 600 = 2700 [mm] = 2,7 [m]$$

Una vez obtenido la longitud total de las secciones rectas del ducto, se determina la pérdida por fricción en las partes de ingreso de aire caliente mediante el uso de la ecuación (4-169) pp. 219.

$$h_{combust} = 0,032 \frac{2,7 [m]}{4 * 0,112 [m]} * \frac{3^2 \left[\frac{m}{s}\right]}{2 * 9,8 \left[\frac{m}{s^2}\right]} = 0,088 [m]$$

Donde:

<sup>112</sup> Mott R.; "Mecánica de Fluidos Aplicada"; cuarta edición; Pearson; México – México; 1996; pp. 248; [Consulta: 16 de enero de 2013]

$h_{combust}$  = Pérdidas hidráulicas en la cámara de combustión, [m]

#### 4.12.3.1.2 Pérdidas en el ducto de ingreso de aire caliente

Utilizando la ecuación (4-170) pp. 221 y reemplazando valores necesarios en las ecuaciones anteriores se tiene:

$$A = 429 * 287 = \mathbf{123123[mm^2]}$$

$$PM = 2 * 429 + 2 * 287 = \mathbf{1432[mm]}$$

$$R = \frac{123123[mm^2]}{1432[mm]} = \mathbf{85,98[mm]} = \mathbf{0,086[m]}$$

Por lo tanto, para determinar el factor de fricción para las pérdidas en la tubería de ingreso de aire de secado, se utiliza el factor de Moody detallado en el gráfico A-3 del ANEXO 28 pp. 348, obteniendo<sup>113</sup>:

$$N_R = \frac{v*(4R)*\rho_a}{\mu} \quad (4- 171)$$

Donde:

$N_R$  = Numero de Reynolds, [adimensional]

$v$  = Velocidad del aire de secado,  $\left[\frac{m}{s}\right]$

$\rho_a$  = Densidad del aire,  $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

$\mu$  = Viscosidad dinámica del aire,  $\left[\frac{Ns}{m^2}\right]$

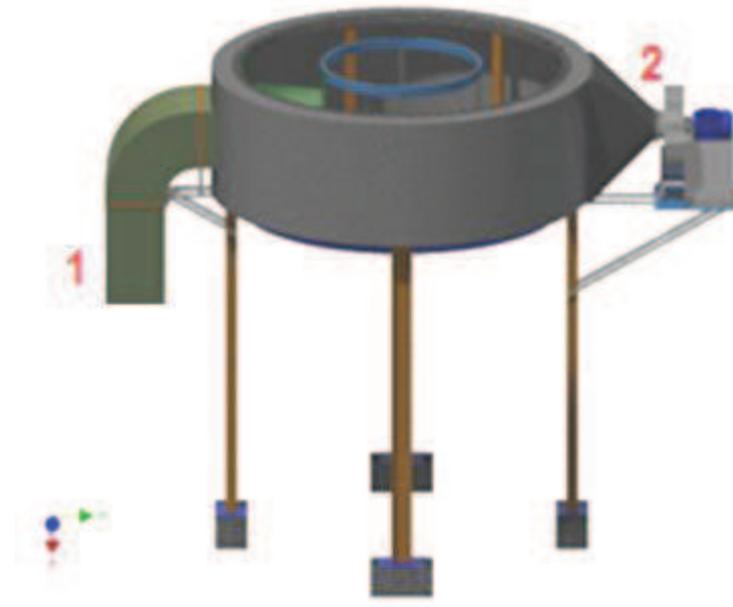
$$N_R = \frac{3 \left[\frac{m}{s}\right] (4 * 85,98[mm]) * 1,065 \left[\frac{Kg}{m^3}\right]}{1,98 \times 10^{-5} \left[\frac{Ns}{m^2}\right] * 1000} = \mathbf{55412,06}$$

Localizando el número de Reynolds en el gráfico A-3 del ANEXO 28 pp. 348, se determina un factor de fricción de pérdidas igual a **0,0205**.

De acuerdo con las dimensiones de las secciones rectas del ducto de ingreso señaladas en la figura 4-72 pp. 223, se determina la longitud total del ducto en función de la siguiente expresión:

<sup>113</sup> Mott R.; "Mecánica de Fluidos Aplicada"; cuarta edición; Pearson; México – México; 1996; pp. 248; [Consulta: 16 de enero de 2013]

$$L = 973[\text{mm}] = 0,97[\text{m}]$$



**Figura 4- 72:** Distancias de las secciones rectas de la tubería y diámetro de ducto de salida del aire

Una vez obtenido la longitud total de las secciones rectas del ducto, se determina la pérdida por fricción en las partes de ingreso de aire caliente mediante el uso de la ecuación (4-168) pp. 219.

$$h_{Ling} = 0,0205 \frac{0,97[\text{m}]}{4 * 0,086[\text{m}]} * \frac{3^2 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]}{2 * 9,8 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]} = 0,027[\text{m}]$$

Donde:

$h_{Ling}$  = Pérdidas debido a la fricción en el ducto de ingreso, [m]

#### 4.12.3.1.3 Pérdidas en el ducto de salida de aire usado

Utilizando la ecuación (4-169) pp. 219 y reemplazando valores se tiene:

$$A = 100 * 616 = 61600[\text{mm}^2]$$

$$PM = 2 * 100 + 2 * 616 = 1432[\text{mm}]$$

$$R = \frac{61600[\text{mm}^2]}{1432[\text{mm}]} = 43,02[\text{mm}] = 0,04302[\text{mm}]$$

Por lo tanto, para determinar el factor de fricción para las pérdidas en el ducto de salida de aire usado, se utiliza el factor de Moody detallado en el gráfico A-3 del ANEXO 28 pp. 348 y la ecuación (4-170) pp. 221.

$$N_R = \frac{3 \left[ \frac{m}{s} \right] (4 * 43,02[mm]) * 1,065 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]}{1,98 * 10^{-5} \left[ \frac{Ns}{m^2} \right] * 1000} = 27723,36$$

Localizando el número de Reynolds en el gráfico A-3 del ANEXO 28 pp. 348, se determina un factor de fricción de pérdidas igual a **0,024**.

Por cuestiones de cálculo se toma al ducto de salida del aire usado como una tubería recta con una longitud igual al perímetro de una circunferencia de diámetro 1712,84 [mm].

$$L_{salida} = d_{dsal} * \pi \quad (4-172)$$

Donde:

$L_{salida}$  = Longitud de la tubería de salida, [m]

$d_{dsal}$  = Diámetro del ducto de salida, [m]

$$L_{salida} = 1,712[m] * \pi = 5,381[m]$$

Conocida la longitud aparente del ducto de aire usado, se determina las pérdidas en el ducto de salida del aire usado en función de la ecuación (4-168) pp. 219.

$$h_{Lsal} = 0,024 \frac{5,381[m]}{4 * 0,043[m]} * \frac{\left( 3 \left[ \frac{m}{s} \right] \right)^2}{2 * 9,8 \left[ \frac{m}{s^2} \right]} = 0,34[m]$$

Donde:

$h_{Lsal}$  = Pérdidas debido a la fricción en el ducto de salida.

Por lo tanto, la pérdida total debido a la fricción es igual a la suma de las pérdidas en la tubería de ingreso y salida del aire.

$$h_{LT} = h_{combust} + h_{Ling} + h_{Lsal}$$

$$h_{LT} = 0,088[m] + 0,027[m] + 0,34[m] = 0,455[m]$$

### 4.12.3.2 Pérdidas secundarias debido a los accesorios o pérdidas menores

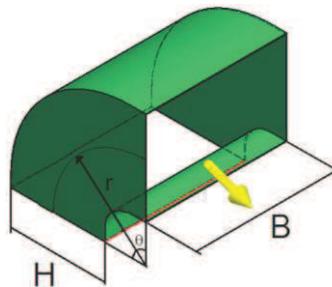
#### 4.12.3.2.1 Pérdidas en codos

Para determinar el radio en los codos de sección transversal no circular, se debe cumplir con los valores de la tabla 4-30.

**Tabla 4- 30:** Coeficiente de pérdidas debido a accesorios (codos)  $K_c$ .<sup>114</sup>

$\frac{r}{H}$	$\frac{B}{H} = 1,5$
	$K_c$
0,5	1,1
0,75	0,4
1	0,19
1,5	0,15
2	0,14

Para determinar el radio de curvatura del codo se debe conocer primero la relación entre la altura de la tubería y el ancho.



**Figura 4- 73:** Medidas de las tuberías en forma de codos

$$\frac{B}{H} = \frac{429}{247} = 1,5$$

Para seleccionar el radio de curvatura del codo se considera la factibilidad de construcción, por lo tanto se selecciona una relación de radio sobre altura que permita la construcción del mismo.

$$\frac{r}{H} = 1$$

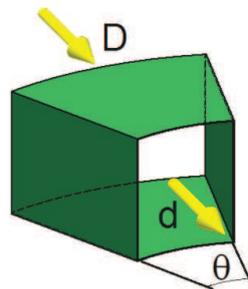
<sup>114</sup> "Sistema de distribución del aire. Cálculo de conductos"; [en línea]; pp. 10; <<http://www.emc.uji.es/asignatura/obtener.php?letra=9&codigo=29&fichero=1082540441929>>; [Consulta: 10 de enero de 2013]

Por lo tanto, el codo para la tubería tendrá el radio y el coeficiente de pérdidas debido a los codos como se muestra a continuación:

$$r = 287[\text{mm}]; K_c = 0,19$$

#### 4.12.3.2.2 Pérdidas en la contracción

Existe una contracción en el ingreso del aire caliente a la cámara del mismo nombre, por lo que existen pérdidas debido a este accesorio, para lo cual se debe determinar el valor del coeficiente de pérdidas debido a la contracción.



**Figura 4- 74:** Pérdidas en la contracción

Para determinar el coeficiente de pérdidas en la contracción se debe conocer el diámetro equivalente de cada uno de los extremos, basándose en la figura 4-74 y mediante la ecuación (4-173)<sup>115</sup>.

$$d_e = 1,3 \frac{(B*H)^{5/8}}{(B+H)^{1/4}} \quad (4- 173)$$

$$D_e = 1,3 \frac{(429 * 287)^{5/8}}{(429 + 287)^{1/4}} = 382[\text{mm}]$$

$$d_e = 1,3 \frac{(234 * 287)^{5/8}}{(234 + 287)^{1/4}} = 283[\text{mm}]$$

Conocidos los valores de los diámetros equivalentes de la contracción, se conoce el valor de la relación entre diámetro mayor y menor, y con ayuda del gráfico A-4 del ANEXO 29 pp. 350, se determina el factor de resistencia.

$$\frac{D_e}{d_e} = \frac{382 [\text{mm}]}{283 [\text{mm}]} = 1,3$$

<sup>115</sup> "Mecánica de fluidos"; [en línea]; <[http://www.solerpalau.es/formacion\\_01\\_27.html](http://www.solerpalau.es/formacion_01_27.html)>; [Consulta: 10 de enero de 2013]

Con ayuda del ángulo  $\theta$  igual a  $36^\circ$  y por medio de interpolación se tiene el valor de del coeficiente de resistencia en una contracción  $K_{con} = 0,368$ .

#### 4.12.3.2.3 Pérdida total debido a los accesorios

Las pérdidas secundarias tendrán lugar en los distintos accesorios (codos, válvulas contracciones, etc.) las cuales se encuentran definidas por la ecuación (4-174).

$$h_{LA} = K \frac{v^2}{2g} \quad (4-174)$$

Donde:

$h_{LA}$  = Pérdida total debido a los accesorios, [m]

En la tubería de transporte del aire caliente se cuenta con dos codos y una reducción, por lo que sus factores se determinan en las secciones anteriores. Por lo tanto el valor de las pérdidas secundarias para cada accesorio se lo determina con la ecuación (4-174) y la pérdida total de los accesorios con la ecuación (4-175).

$$h_{LA} = (K_{con} + 4 * K_c) \frac{v^2}{2g} \quad (4-175)$$

$$h_{LA} = (0,368 + 4 * 0,19) \frac{\left(3 \frac{[m]}{[s]}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{[m]}{[s^2]}} = 0,52[m]$$

#### 4.12.3.3 Pérdidas hidráulicas

Las pérdidas hidráulicas entre los puntos 1-2 (figura 4-72 pp. 223) se encuentran compuestas por pérdidas primarias y pérdidas secundarias.

Para determinar las pérdidas hidráulicas totales, se suman las pérdidas primarias de la sección 4.12.3.1 pp. 219 y las pérdidas secundarias de la sección 4.12.3.2 pp. 225 en función de la ecuación (4-176).

$$\sum H_{r1-2} = h_{LT} + h_{LA} \quad (4-176)$$

$$\sum H_{r1-2} = 0,455[m] + 0,52[m] = 0,975[m]$$

#### 4.12.4 CÁLCULO DE LA PRESIÓN NECESARIA DEL VENTILADOR

Para determinar la presión necesaria que debe tener el ventilador se utiliza la ecuación de BERNOULLI generalizada, donde: “la energía de un fluido en el punto 1, menos la energía perdida entre los puntos 1 y 2, más la energía suministrada al fluido por las bombas que haya entre el punto 1 y 2, menos la energía cedida por el fluido a las turbinas o motores que haya entre el punto 1 y 2, han de ser igual a la energía en el punto 2”.

$$\frac{P_1}{\rho * g} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2 * g} - \sum H_{r1-2} + \sum H_b - \sum H_t = \frac{P_2}{\rho * g} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2 * g} \quad (4- 177)^{116}$$

Donde:

$$\frac{P_1}{\rho * g}; \frac{P_2}{\rho * g} = \text{Altura de Presión}$$

$$Z_1; Z_2 = \text{Alturas geodésicas}$$

$$\frac{v_1^2}{2 * g}; \frac{v_2^2}{2 * g} = \text{Altura de velocidad}$$

$\sum H_{r1-2}$  = Suma de todas las pérdidas hidráulicas entre los puntos 1-2.

$\sum H_b$  = Suma de los incrementos de altura proporcionados por las bombas instaladas entre los puntos 1 y 2.

$\sum H_t$  = Suma de los incrementos de altura absorbida por los motores (turbinas) instalados entre los puntos 1 y 2.

Despejando la  $\sum H_b$  de la ecuación (4-177) y reemplazando los valores se tiene el valor de la altura del ventilador.

$$\sum H_b = Z_2 + \frac{v_2^2}{2 * g} + \sum H_{r1-2}$$

$$\sum H_b = 1,9 [m] + \frac{\left(3 \left[\frac{m}{s}\right]\right)^2}{2 * 9,8 \left[\frac{m}{s^2}\right]} + 0,975 [m] = 3,34 [m]$$

<sup>116</sup> Mataix C.; “Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas”; Ediciones del castillo. S.A; Madrid – España; 1986; pp. 113; [Consulta: 10 de enero de 2013]

Para determinar la presión que necesita el ventilador se utiliza la ecuación (4-178) que se encuentra en función de la altura del ventilador, por la gravedad y la densidad del aire transportado.

$$\Delta P_{1-2} = \rho_a * g * \sum H_b \quad (4- 178)$$

Donde:

$\Delta P_{1-2}$  = Presión necesaria para transportar el aire del punto 1 al punto 2, [Pa]

$$\Delta P_{1-2} = 1,065 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] * 9,8 \left[ \frac{m}{s^2} \right] * 3,34[m] = 34,8 [Pa]$$

#### 4.12.5 CÁLCULO DE LA CAÍDA DE PRESIÓN EN EL LECHO DE GRANOS <sup>117</sup>

Por motivos de cálculo, para determinar la presión necesaria del aire para atravesar los granos de maíz, se considera las condiciones de mayor obstáculo.

Conociendo el flujo de aire en la sección 4.9.1.11 pp. 205 se encuentra el número de Reynolds y la caída de presión en el lecho de granos, según las ecuaciones (4-179) y (4-180), respectivamente.

$$Re_g = \frac{\dot{m}_{ms} * d_{ee}}{A_s * \mu_a} \quad (4- 179)$$

$$\Delta P_{lg} = \left( \frac{h_c * Re_g * \mu_a^2}{\rho_a^2 * d_{ee}^2} \right) * \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} * \left[ \left( \frac{1,24 * Re_g}{1-\varepsilon} \right) + 368 \right] \quad (4- 180)$$

Donde:

$Re_g$  = Número de Reynolds en el lecho de granos.

$A_s$  = Área del lecho de granos.

$\Delta P_{lg}$  = Caída de presión en el lecho de granos

$\varepsilon$  = Espacios entre los granos 0,3

Debido a que la altura del lecho de granos se encuentra definida por la altura de los caballetes, la altura del lecho de granos es igual a la altura del caballete.

<sup>117</sup> Novoa W.; Palacios J.; "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, Mayo; 2010; [Consulta: 10 de enero de 2013]

$$h_c = 0,28[m]$$

Por lo tanto, reemplazando valores en las ecuaciones (4-179) y (4-180) pp. 229, se tiene:

$$Re_g = \frac{0,46 \left[ \frac{Kg}{s} \right] * 3,76x10^{-3}[m]}{1,4x10^{-3}[m^2] * 198,3x10^{-7} \left[ \frac{Ns}{m^2} \right]} = \mathbf{63,34}$$

$$\Delta P_{lg} = \left( \frac{0,28[m] * 63,34 * \left( 198,3x10^{-7} \left[ \frac{Ns}{m^2} \right] \right)^2}{\left( 1,065 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \right)^2 * \left( 3,76x10^{-3}[m] \right)^2} \right) * \frac{(1 - 0,3)^2}{(0,3)^3} * \left[ \left( \frac{1,24 * 63,34}{1 - 0,3} \right) + 368 \right]$$

$$\Delta P_{lg} = \mathbf{1008,12[Pa]}$$

#### 4.12.6 CAÍDA DE PRESIÓN TOTAL

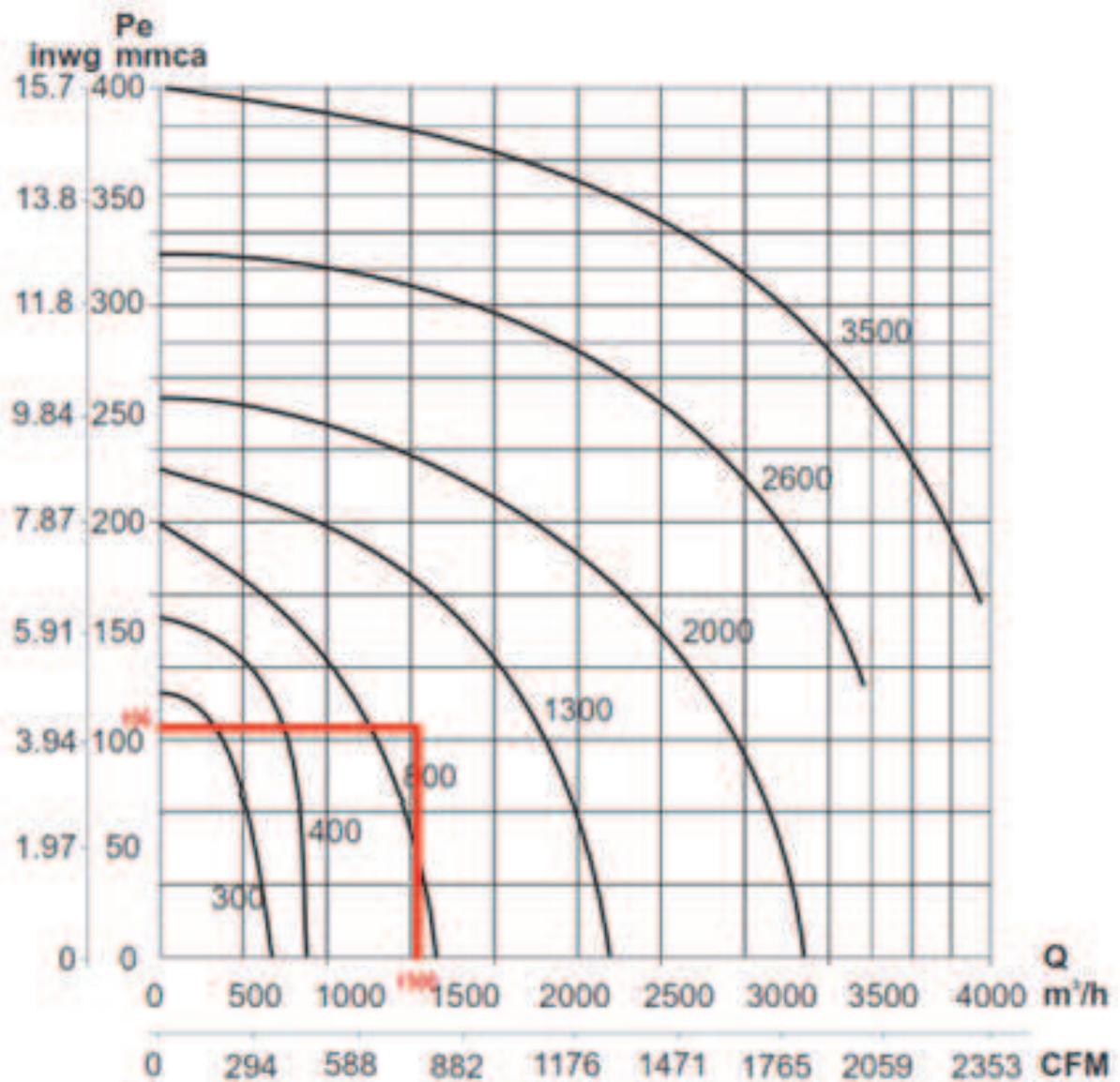
La presión total que debe tener el ventilador se la encuentra sumando la presión necesaria para subir el aire del punto 1 al punto 2 (figura 4-72 pp. 223), más la presión que se pierde al atravesar el lecho de granos.

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{1-2} + \Delta P_{lg} \quad (4-181)$$

$$\Delta P_{total} = 34,8[Pa] + 1008,12[Pa] = \mathbf{1043[Pa]}$$

#### 4.13 SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Dado a que la presión total es igual a  $\mathbf{1043[Pa]} = \mathbf{106,35[mmcda]}$  y en función tanto del caudal de aire necesario igual a  $1333,5 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$  y de la figura 4-75 pp. 231, se selecciona un **ventilador centrífugo CSB 1300**; con una potencia de 1 [HP] y un caudal máximo de  $1300 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$ , como se puede observar en la figura A-32 del ANEXO 30 pp. 352-353.



**Figura 4- 75:** Curvas características ventilador centrífugo

#### 4.13.1 SOPORTE DEL VENTILADOR

Para sostener el ventilador, se fija una estructura en las columnas que sostienen a toda la máquina secadora, para el diseño de esta estructura se considera el peso total del ventilador distribuido en dos pies de amigo sujetos por medio de pernos.

Por lo tanto, el diagrama de cuerpo del pie de amigo se muestra en la figura 4-76 pp. 232.

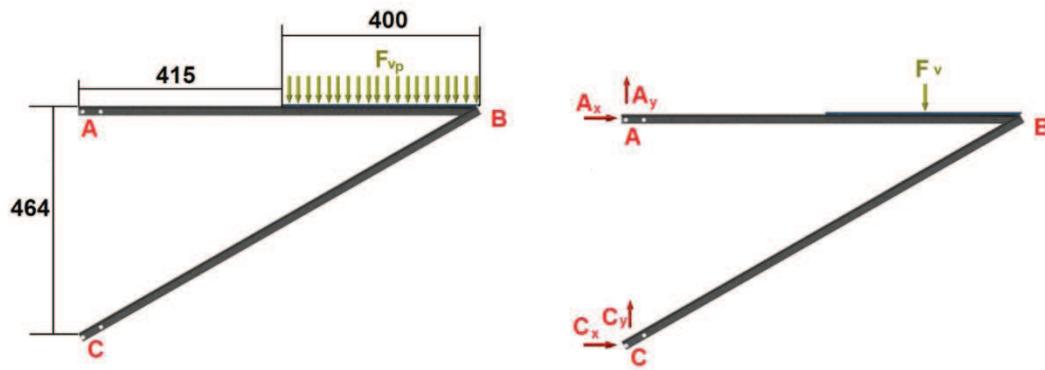


Figura 4- 76: Diagrama de cuerpo libre del pie de amigo

Considerando que el peso total del ventilador es de 24 [kg], como se puede observar en la figura A-32 del ANEXO 30 pp. 352. Por lo tanto, se tiene:

$$F_v = 12[\text{kg}] * 9,8 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] = 118[\text{N}]$$

$$\sum F_x = 0$$

$$A_x = -C_x$$

$$\sum F_y = 0$$

$$A_y + C_y = 118[\text{N}]$$

$$\sum M_C^{+\circlearrowleft} = 0$$

$$A_x = -118[\text{N}] \frac{615[\text{mm}]}{464[\text{mm}]}$$

$$A_x = -156,4[\text{N}]$$

Para determinar los componentes de las reacciones en el punto A se toma el diagrama del extremo A-B.



Figura 4- 77: Diagrama de cuerpo libre del tramo A-B

$$\sum F_x = 0$$

$$A_x = -B_x = 156,4[N]$$

$$\sum M_B^{+\circlearrowleft} = 0$$

$$A_y = 29[N]$$

$$\sum F_y = 0$$

$$B_y = -A_y = -29[N]$$

Se descompone el nodo B, para determinar las fuerzas sobre los componentes y en función de la mayor fuerza seleccionar el tipo de perfil que se va a utilizar.

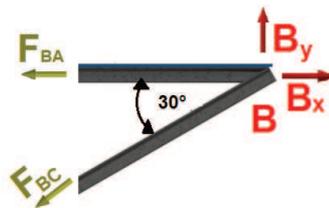


Figura 4- 78: Diagrama de cuerpo libre del nodo B

Donde:

$$F_{BCx} = F_{BC} * \cos(30^\circ)$$

$$F_{BCy} = F_{BC} * \sen(30^\circ)$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{BC} = 58[N]$$

$$\sum F_x = 0$$

$$F_{BA} = -206,6[N]$$

El diseño se lo realiza en función del acero estructural A36 y un factor de seguridad igual a 2, por medio de la ecuación de esfuerzo permisible, se tiene:

$$[\sigma] = \frac{S_y}{FS} \quad (4-182)$$

$$[\sigma] = \frac{275[MPa]}{2} = 137,5[MPa]$$

Conociendo que el esfuerzo se encuentra en función del área de la sección transversal, se determina el área con la cual se selecciona el perfil a utilizar.

$$A_{BA} = \frac{F_{BA}}{[\sigma]} \quad (4-183)$$

$$A_{BA} = \frac{206,6[N]}{137,5[MPa]} = 1,5[mm^2]$$

Por lo tanto, el perfil seleccionado para el soporte es un ángulo de lados iguales de **20x3**, como se muestra en la figura A-19 del ANEXO 15 pp. 306.

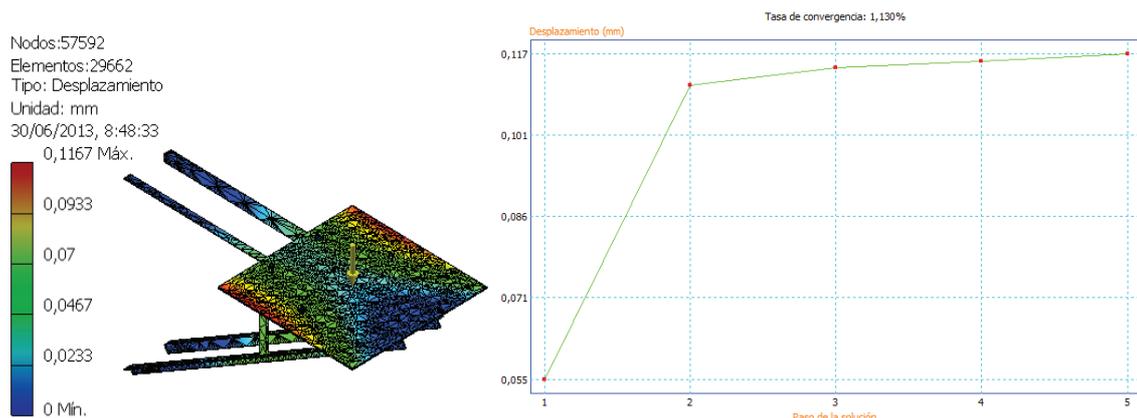


Figura 4- 79: Análisis desplazamiento

Dado a que el desplazamiento es menor que la unidad, la selección realizada es la más adecuada para cumplir con las exigencias.

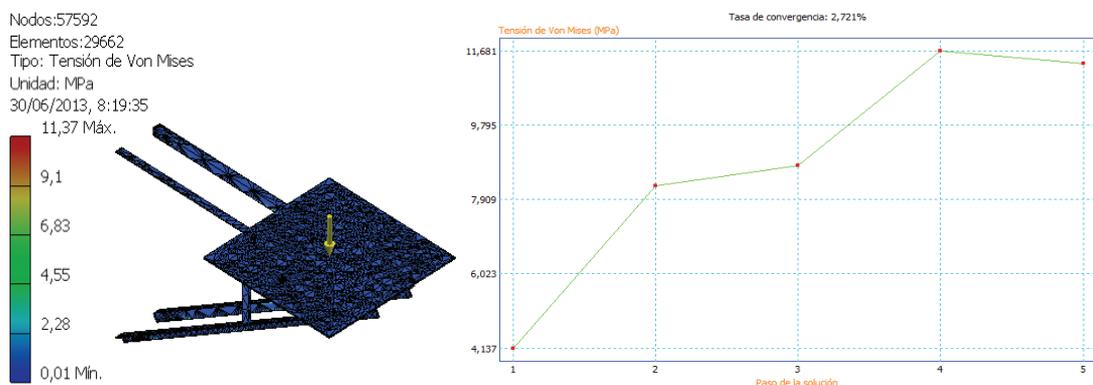
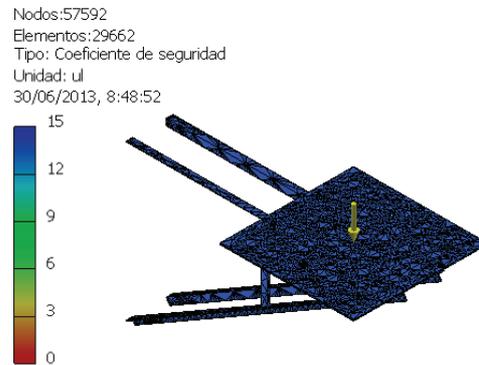


Figura 4- 80: Análisis de la Tensión de Von Mises

Como se muestra en la figura 4-80 pp. 234, el esfuerzo máximo es mucho menor que el esfuerzo admisible calculado, por lo que se tendrá un alto factor de seguridad.



**Figura 4- 81:** Análisis de factor de seguridad

Como se tiene un alto factor de seguridad en el componente que sostiene al ventilador, por lo tanto trabajará de forma segura.

#### **4.14 PROTOCOLO DE PRUEBAS**

Este documento tiene por objeto detallar una serie de pasos importantes que se deben cumplir antes de dar por terminada la fabricación de la máquina, ya que todas las pruebas deben ser satisfactorias, de lo contrario es necesario rectificar las piezas o elementos que impidan lograr los objetivos planeados mediante los parámetros de diseño y funcionalidades hasta que la máquina pase la prueba

En este documento se garantizan la funcionalidad y operatividad del secador de acuerdo a lo establecido en las Especificaciones Técnicas (tabla 3-15 pp. 73). Las pruebas verificarán dimensiones, funcionamiento en vacío y con carga.

##### **4.14.1 VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES**

Existen algunos controles que se deben realizar previos a la puesta en marcha de la máquina, siendo como punto principal la verificación de las dimensiones

De acuerdo con los requerimientos del cliente, se debe asegurar que tanto el área que ocupa la máquina como su altura no sobrepasen de los límites máximos preestablecidos. La verificación de otros factores, los cuales determinarán el tiempo de vida útil de la máquina como son: pintura, limpieza y lubricación

#### **4.14.2 FUNCIONAMIENTO EN VACÍO**

Una vez que se ha superado el primer paso satisfactoriamente, se procede a hacer las pruebas en vacío, es decir, la puesta en marcha de la máquina pero sin carga, este procedimiento es de vital importancia para poder verificar los siguientes puntos:

- Que el quemador se encienda y produzca la cantidad de calor necesario para el secado.
- Que el ventilador trabaje en la extracción del aire caliente de la cámara de secado

#### **4.14.3 FUNCIONAMIENTO CON CARGA**

Una vez terminado el análisis del funcionamiento de la máquina en vacío, se procede a realizar las pruebas con carga, para ello se utilizará una determinada cantidad de granos de maíz.

Mientras la máquina se encuentra en operación se comprobará los siguientes puntos:

- La alimentación y salida de los granos de maíz se realiza mediante el movimiento vertical del tornillo sin fin, con una revolución de 40 rpm.
- La temperatura de entrada del aire en la cámara de secado sea de 56°C para que no ocasione daños al producto.
- Cumplimiento del tiempo de secado sea de 5 horas 24 min.

Luego de haber realizado las verificaciones pertinentes se recopilará toda la información necesaria en la hoja de protocolo de pruebas de campo detallada en el ANEXO 31 pp. 354 - 355, el mismo que debe poseer un membrete en el cual se señale toda la información necesaria para identificar la prueba de campo realizada con las firmas de responsabilidad de los encargados y finalmente muestre la eficiencia y efectividad de la máquina.

## CAPÍTULO 5

### ANÁLISIS DE COSTOS

Dentro del capítulo de análisis de costos se da a conocer el costo total del diseño de la máquina secadora de granos de maíz, para lo cual se elabora un presupuesto que implique una revisión total del proyecto, verificando que todas las partes y aspectos involucrados concuerden. Para esto, se toma en cuenta todos los costos en los que se incurre para la obtención de material para la construcción, mano de obra, procesos de maquinado, etc.

#### 5.1 COSTOS INVOLUCRADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA A DISEÑAR

El presupuesto total para el diseño del prototipo de la máquina secadora de maíz comprende el desglose de los costos directos e indirectos que afectan en la realización de la misma, estos valores son justificados mediante proformas de empresas nacionales (ANEXO 32 pp. 357 - 363)

##### 5.1.1 COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos son aquellos en los cuales es necesario incurrir pero que no son fácilmente identificables como una unidad de obra determinada, pero que pueden ser evaluados como actividades independientes.

###### 5.1.1.1 Costos de manutención

El costo de manutención involucra todos aquellos ítems que se dan en el transcurso del montaje de la máquina, para lo cual se tiene:

**Tabla 5- 1:** Costos de manutención

DETALLE	V. TOTAL [USD]
Alimentación	850
Impresiones documentos	500
Movilización	650
Papelería	50
Varios	50
<b>TOTAL</b>	<b>2100</b>

### 5.1.1.2 Costos de materiales consumibles

Estos tipos de materiales son aquellos que después de su uso tienen que ser desechados debido a su desgaste, para lo cual se tiene:

**Tabla 5- 2:** Costos de materiales consumibles

ARTÍCULO	CANTIDAD	UNIDAD	V. UNITARIO [USD]	V. TOTAL [USD]
Diluyente para thinner	3	gal	17,46	52,38
Disco de desbaste hierro	5	u	1,97	9,85
Disco de lija	5	u	3,45	17,25
Gafas de protección	10	u	3,79	37,9
Hilaja	50	u	0,32	16,00
Hoja de sierra	5	u	1,68	8,4
Lijas para metal	10	u	0,53	5,3
Pintura anticorrosiva	3	gal	21,87	65,61
Tanques de GLP industriales 45 kg	2	u	140	280
<b>SUBTOTAL</b>				<b>493</b>
<b>IVA 12%</b>				<b>59</b>
<b>TOTAL</b>				<b>552</b>

### 5.1.1.3 Costos de ingeniería

El costo de ingeniería corresponde al tiempo y costo  $\left[\frac{USD}{h}\right]$  de trabajo, por parte de los profesionales de tercer nivel, quienes se encargarán del diseño del prototipo de la máquina, el mismo que está evaluado para un tiempo de 5 horas diarias por 10 meses de trabajo.

**Tabla 5- 3:** Costos de ingeniería

DETALLE	N° DE PERSONAL	TIEMPO DE TRABAJO [h]	COSTO $\left[\frac{USD}{h}\right]$	V. TOTAL $\left[\frac{USD}{h}\right]$
Definición del problema	2	100	2,32 <sup>118</sup>	464
Presentación de alternativas		200		928
Selección de alternativas		200		928
Diseño y selección de componentes		500		2320
<b>SUBTOTAL</b>				<b>4640</b>

<sup>118</sup> "Tablas Sectoriales 2012"; [en línea]; Comisión Sectorial No. 19; Enero; 2012; <<http://www.correolegal.com.ec/docs/noticias/sro618.pdf>>; [Consulta: 23 de enero de 2013]

Una vez analizado los valores de los costos de cada uno de los ítems, se obtiene un valor total del mismo, detallado en la tabla 5-4.

**Tabla 5- 4:** Valor total de los costos indirectos

DETALLE	V. TOTAL [USD]
Costos de imprevistos	2100
Costos de ingeniería	4640
Costos de materiales consumibles	552
<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS</b>	<b>7292</b>

### 5.1.2 COSTOS DIRECTOS

Los costos directos son la suma del costo del material, la mano de obra, y el equipo necesario para la construcción física del proyecto.<sup>119</sup>

#### 5.1.2.1 Costos de mano de obra

En el costo de mano de obra, intervienen las personas que trabajan de manera específica en la fabricación y prestación de su servicio para una obra.

**Tabla 5- 5:** Costos de mano de obra

DETALLE	Nro. DE PERSONAL	TIEMPO DE TRABAJO [h]	COSTO $\left[\frac{USD}{h}\right]$	V. TOTAL $\left[\frac{USD}{h}\right]$
Albañil	1	8	2,01 <sup>118</sup>	16,12
Ayudante	3	40	2,04 <sup>118</sup>	224,8
Pintor	1	16	2,08 <sup>118</sup>	33,28
Soldador eléctrico	2	8	2,06 <sup>120</sup>	32,96
			<b>TOTAL</b>	<b>327</b>

#### 5.1.2.2 Costos de materiales

Después de los cálculos realizados en el capítulo 4 pp. 105, se obtiene los de materiales para construcción, detallados en la tabla 5-6 pp. 240.

<sup>119</sup> "Costos directos e indirectos"; [en línea]; 2010; < <http://www.buenastareas.com/ensayos/Costos-Directos-e-Indirectos/1173675.html>>; [Consulta: 29 de enero de 2013]

<sup>120</sup> "Comisión sectorial No. 8 "Metalmecánica"; [en línea]; Ministerio de Relaciones Laborables; Salarios Mínimos Sectoriales; < <http://www.relacioneslaborales.gob.ec/biblioteca/>>; [Consulta: 23 de enero de 2013]

Tabla 5- 6: Costos de materiales

ARTÍCULO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO [USD]	V. TOTAL [USD]
<b>MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA</b>					
Perfil estructural ángulo "L"	40x3	mm	5	9,9	49,5
	80x8	mm	2	62,5	125
	20x3	mm	3	5,72	17,16
Perfil estructural canal en "U"	50x25x3	mm	2	12,3	24,6
Perfil estructural tipo "I"	IPE 100	mm	2	79,95	159,9
Plancha laminada en caliente	1220x2440x2,5	mm	14	62,82	879,48
Platinas en acero inoxidable	PLT 50x9	mm	1	28,1	28,1
	PLT 100x9	mm	1	59,4	59,4
Tubo cuadrado	20x1,5	mm	1	7,57	7,57
Tubo sin costura	42,2 (1 1/4") cedula 80	mm	1	4,93	4,93
<b>MATERIALES PARA CONSTRUCCIÓN CIVIL</b>					
Cemento	50	kg	1	7,3	7,3
Hormigón	0,04	m <sup>3</sup>	1	2,2	2,2
Ladrillo	400x200x50	mm	30	0,2	6
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>1371</b>
				<b>IVA 12%</b>	<b>165</b>
				<b>TOTAL</b>	<b>1536</b>

### 5.1.2.3 Costos de elementos normalizados

En la tabla 5-7 se detallan todos los elementos normalizados de la máquina.

Tabla 5- 7: Costos de elementos normalizados

ELEMENTO	DENOMINACIÓN / DIMENSIÓN [mm]	CANTIDAD	UNIDAD	V. UNITARIO [USD]	V. TOTAL [USD]
Arandela plana	M8	140	u	0,025	3,5
Arandela redonda biselada	M14	24	u	0,09	2,16
Cadena de rodillos	PHC 12B – 1X10 FT; 19,05 de paso	1	mm	30,29	30,29
Electrodo para soldadura SMAW	AWS E6011	20	kg	5,07	101,4

ELEMENTO	DENOMINACIÓN / DIMENSIÓN [mm]	CANTIDAD	UNIDAD	V. UNITARIO [USD]	V. TOTAL [USD]
Electrodo para soldadura TIG	AWS ER 308L EWTh-2, f3/32"	5	kg	15,6	78
Motor reductor	1 HP, 60 rpm	1	u	610	610
Perno de anclaje	1/2x6"	24	u	0,9	21,6
Perno hexagonal	M10x20	12	u	0,12	1,44
	M 8x20	140	u	0,058	8,12
	M 14x50	8	u	1,11	8,88
Quemador para gas, P250AF marca Wayne (Ver ANEXO 32 pp. 358)	60000 BTU/h	1	u	800	800
Rodamiento	FAG 6008	3	u	12,1	36,3
Tuerca hexagonal	M10x20	12	u	0,07	0,84
	M 8x20	140	u	0,04	5,6
	M 14x45	8	u	0,41	3,28
Ventilador centrifugo (Ver ANEXO 32 pp. 359)	CPV-1325.6T	1	u	588	588
				<b>SUBTOTAL</b>	2299
				<b>IVA 12%</b>	276
				<b>TOTAL</b>	<b>2575</b>

#### 5.1.2.4 Costos de maquinado

Estos costos corresponden al costo de las máquinas herramientas empleadas para la fabricación de los diferentes materiales necesarios para la máquina.

**Tabla 5- 8:** Costos de corte

DETALLE	Nro. DE PIEZAS	Nro. DE PLANO	Nro. DE CORTES	V. COSTO <sup>121</sup> $\frac{[USD]}{[corte]}$	V.TOTAL [USD]
Anillo base	1	.204	1	0,36	0,36
Anillos cámara de secado	5	.302	1		1,8
Caballetes	54	.503	4		77,76
Columnas cámara de aire caliente	4	.2052	1		1,44
Columnas cámara de secado	7	.301	1		2,52
Columnas cámara superior	4	.401	1		1,44
Columnas secador	4	.201	1		1,44
Ducto de ingreso del aire	1	.009	8		2,88

<sup>121</sup> Empresa Servicios Industriales; Quito Sur – Ecuador; [Consulta: 23 de enero de 2013]

DETALLE	Nro. DE PIEZAS	Nro. DE PLANO	Nro. DE CORTES	V. COSTO <sup>122</sup> [ $\frac{USD}{corte}$ ]	V.TOTAL [USD]
Ducto de salida del aire	1	.016	10	0,36	3,6
Ducto de salida del grano	1	.027	7		2,52
Ducto del tornillo transportador	1	.032	10		3,60
Hélices tornillo	42	.033	2		30,24
Pared cámara de aire caliente	17	.502	7		42,84
Pared cámara de secado	17	.501	7		42,84
Pared cámara superior	4	.014	3		4,32
Placa base	12	.037	4		17,28
Tapa ducto de ingreso de aire	1	.013	4		1,44
Tapa salida de grano	1	.030	3		1,08
Tapa superior	1	.035	1		0,36
Tolva de aire caliente	2	.031	3		2,16
Tolva de ingreso	1	.021	8		2,88
Tolva de exterior	1	.020	8		2,88
Tope tolva de salida	1	.034	1		0,36
Unión cámara de secado 1	1	.2051	1		0,36
Unión cámara de secado 2	1	.2053	1		0,36
Viga base mecanismo de salida	2	.024	4		2,88
Vigas	4	.002	1	1,44	
<b>TOTAL</b>					<b>253</b>

Tabla 5- 9: Costos de doblado

DETALLE	Nro. DE PIEZAS	Nro. DE PLANO	Nro. DE DOBLESES	V. COSTO <sup>120</sup> [ $\frac{USD}{corte}$ ]	V.TOTAL [USD]
Caballote izquierdo (derecho)	2	.1204	16	0,43	13,76
Caballetes	54	.503	3		69,66
Ducto de ingreso de aire	1	.009	3		1,29
Ducto de salida de grano	1	.027	2		0,86
Hélice tornillo sin fin	1	.033	1		0,38
Pared cámara de aire caliente	17	.502	2		14,62
Pared cámara de secado	17	.501	2		14,62
Pared cámara superior	4	.014	2		3,44
Tapa ducto de ingreso de aire	1	.013	1		0,43
Tapa superior	1	.035	1		0,43
Tolva de ingreso	1	.021	4		1,72
<b>TOTAL</b>					

<sup>122</sup> Empresa Servicios Industriales; Quito Sur – Ecuador; [Consulta: 23 de enero de 2013]

Tabla 5- 10: Costos de rolado

DETALLE	Nro. DE PIEZAS	V. COSTO <sup>120</sup> $\left[\frac{USD}{rolado}\right]$	V.TOTAL [USD]
Anillo inferior	1	20	20
Anillos rigidizadores, cámara de secado	5		100
Aro inferior	1		20
Aro superior	1		20
Ducto de salida del aire	1		20
Tapa superior	1		20
		<b>TOTAL</b>	<b>200</b>

Tabla 5- 11: Costos de soldadura

TIPO DE SOLDADURA	DETALLE	LONGITUD SOLDADA [m]	V. COSTO <sup>120</sup> $\left[\frac{USD}{rolado}\right]$	V.TOTAL [USD]
TIG	Caballetes	6	15	91,48
	Ducto de entrada de aire	1		11,40
	Tolva de aire caliente	6		87,18
	Tolva de ingreso	1		8,89
	Tolva de salida	0,5		2,57
	Tolva exterior	5		72,24
SMAW	Columnas cámara superior	0,5	10	3,68
	Columnas conducto de aire caliente	1		6,40
	Columnas secador	0,5		2,76
	Tapa superior	5		48,29
	Vigas	1		12,73
			<b>TOTAL</b>	<b>348</b>

Sumando los costos de cada una de las tablas 5-8 pp. 241, 5-9 pp. 242, 5-10 y 5-11, que corresponde a las diferentes tipos de máquinas a utilizar para la construcción del secador, se tiene un valor total de maquinado expresado en la tabla 5-12 pp. 244.

**Tabla 5- 12:** Costo total de maquinado

DETALLE	V. TOTAL [USD]
Costos de corte	253
Costos de doblado	121
Costos de rolado	200
Costos de soldadura	348
<b>COSTOS DE MAQUINADO</b>	<b>922</b>

Una vez analizado los valores de cada uno de los ítems que conforman los costos directos, se obtiene un valor total del mismo, detallado en la tabla 5-13.

**Tabla 5- 13:** Valor total de los costos directos

DETALLE	V. TOTAL [USD]
Costos de elementos normalizados	2575
Costos de mano de obra	327
Costos de maquinado	922
Costos de materiales	1536
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>	<b>5360</b>

### 5.1.3 COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA

Después de un análisis detallado de costos realizado, se obtiene un subtotal de 12650[USD] (tabla 5-14) para el diseño del secador.

**Tabla 5- 14:** Costo total del equipo

DETALLE	V. TOTAL [USD]
COSTOS DIRECTOS	5360
COSTOS INDIRECTOS	7292
<b>SUBTOTAL</b>	<b>12652</b>
<b>% DE IMPREVISTOS</b>	<b>633</b>
<b>TOTAL</b>	<b>13285</b>

Sin embargo, considerando un porcentaje de imprevistos de 5% del subtotal, el COSTO TOTAL para la máquina secadora de maíz queda estipulado en un valor de 13285  $\approx$  13500[USD].

## 5.2 AMORTIZACIÓN DE LA MÁQUINA

Para realizar el cálculo del número de años en los que se realizará la amortización del secador, es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Por medio de los datos obtenidos en el estudio de campo realizado, se tiene que una UPA produce alrededor del 100 [qq] por cosecha.

**Tabla 5- 15:** Cantidad de quintales en función del número de UPAs

NÚMERO DE UPAs	CANTIDAD DE QUINTALES [qq]
1	100
10	1000

- De acuerdo con los cálculos anteriormente realizados, se sabe que el tiempo necesario para el secado de 2000 [kg] de maíz = 40 [qq], es de aproximadamente de 5,4 [h].

**Tabla 5- 16:** Tiempo de secado en función de la cantidad de quintales

	CANTIDAD DE QUINTALES [qq]	TIEMPO DE SECADO [h]
	40	5,4
1 cosecha	1000	135

- Se considera que se realizan 2 cosechas al año, solo en producción de maíz, obteniendo que el tiempo de uso de máquina es de  $270 \left[ \frac{h}{año} \right]$ .
- El costo total de la máquina es de 13500 [USD].
- Al secador se lo considera como una máquina agrícola, por lo que se tiene aproximadamente un tiempo de vida útil de 1000 [h] y 10 años de duración máxima probable

Una vez detallado cada una de las variables a considerar, se procede a tabular los datos en una tabla general:

**Tabla 5- 17:** Detalle de las variables a utilizar

VARIABLE	VALOR	SÍMBOLO
Número de UPAs	10	$U$
Vida útil [h]	1000	$VU$
Precio de la máquina [USD]	13500	$P_{maq}$
Tiempo de duración de la máquina [años]	10	$t_{maq}$
Tiempo de trabajo $\left[\frac{h}{años}\right]$	270	$t_{tra}$

Con los datos obtenidos, la amortización por hora trabajada será

$$A = \frac{P_{maq}}{VU} + \frac{P_{maq}}{t_{maq} * t_{tra}}$$

$$A = \frac{13500[USD]}{1000[h]} + \frac{13500[USD]}{10[años] * 270\left[\frac{h}{años}\right]} = \mathbf{18,5\left[\frac{USD}{h}\right]}$$

La vida útil de la máquina sobre esta hipótesis de uso de 270  $\left[\frac{h}{año}\right]$  será:

$$VU_{amort} = \frac{P_{maq}}{A}$$

$$VU_{amort} = \frac{13500[USD]}{19,2\left[\frac{USD}{h}\right]} = \mathbf{730[h]}$$

Finalmente el número de años en los que se realizaría la amortización será:

$$t_{amort} = \frac{VU_{amort}}{t_{tra}}$$

$$t_{amort} = \frac{730[h]}{270\left[\frac{h}{año}\right]} = 2,7[años] \approx \mathbf{3[años]}$$

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

- El presente del proyecto cumplió con los objetivos planteados en un inicio, mediante la realización de un diseño de una máquina secadora vertical para maíz, determinando así las condiciones favorables para el secado y posterior comercialización del producto.
- Mediante los datos obtenidos en el estudio de campo realizado, se identificó que la cantidad de producción de maíz en el sector del Tena es de bajo porcentaje a nivel nacional, permitiendo determinar la capacidad máxima de 2000 kg para el secador.
- Dentro del estudio de campo se dedujo que el proyecto realizado en comparación con las máquinas artesanales caseras pertenecientes a los agricultores de la zona, cumple eficiente y rápidamente el proceso de secado de los granos de maíz ayudando así a los comerciantes a obtener un producto de calidad tanto para el consumo como para la venta.
- Del análisis económico realizado se deduce que el diseño de la máquina secadora de granos es económicamente viable en comparación con otros equipos del mercado que presentan las mismas características y funciones de secado.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda para realizar la automatización de los mecanismos de encendido, tanto de la cámara de combustión como del motor reductor de manera que se encienda primero el motor reductor para que posteriormente continúe el flujo de granos en el aire caliente.
- Los granos de maíz que ingresen a la máquina deben poseer un porcentaje bajo de impurezas, o en mejor caso ser completamente limpios.
- Se debería brindar ayuda técnica al sector agroindustrial, para que los procesos sean de mayor conocimiento, transformándose en un sistema de mayor tecnificación y eficiencia, y así los operarios puedan manipular el secador sin contratiempos.
- Realizar el mantenimiento necesario de los sistemas constitutivos de la máquina de manera frecuente, debido a que es un sistema que trabaja directamente con alimentos.

## BIBLIOGRAFÍA

BUDYNAS R., NISBETT J.; “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley”; Octava edición; Mc Graw Hill; pp. 472

Catálogo de FAC

CENDEL Y., BOLES M.; “Termodinámica”; Quinta edición; Mc Graw Hill; México – México; 2002; pp. 726

DE DIOS C.; “Secado de granos y secadoras”; Depósito de documentos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Santiago - Chile, 1996

GEANKOPLIS C.; “Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias”; Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V.; México-México; tercera edición; 1998; apéndice A.4 pps. 978 y 979

INCROPERA F., DE WIT D.; “Fundamentos de Transferencia de Calor”; Editorial Pearson; Cuarta Edición; México; pp. 2-10

Manual of Steel Construction”; AISC; 8va. Edición; pp. 2-119

MATAIX C.; “Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas”; Ediciones del castillo. S.A; Madrid – España; 1986.

MOTT R.; “Mecánica de Fluidos Aplicada”; cuarta edición; Pearson; México – México; 1996; pp. 228

MOTT R., “Diseño de elementos de máquinas”; Cuarta Edición; Pearson Education; México – México; 2006; pp. 293

ORTEGA, M., PEÑA, A.; “Cartas Psicrométricas”; Escuela Politécnica Nacional; Editorial IMPRIMA; Quito – Ecuador; 1996; pp. 5 y 33.

RIBA C.; “Diseño Concurrente”; Cataluña – España; 2002; pp. 179 y 180.

SHIGLEY, J., MITCHELL L.; “Diseño en Ingeniería Mecánica”; México; Mc GRAW-Hill; 1985; pp. 994.

VELÁSQUEZ J., MONTEROS A., TAPIA C.; “Semillas, Tecnología de producción y conservación”; Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP); Ecuador

VIAN, A., OCON, J.; “Elementos de Ingeniería Química”; Editorial Ángel; España; Capítulo 17; Sec.: 17-5; pp. 185.

- **Páginas WEB**

<http://www.buenastareas.com/ensayos/La-Econom%C3%ADa-De-La-Ma%C3%ADz-Duro-En/1586157.html>

<http://monografiasmendel.com/index.php?topic=46>

<http://www.biblioteca.org.ar/libros/210719.pdf>

<http://www.botanical-online.com/maizpropiedades.htm>

<http://www.buenastareas.com/ensayos/%C3%89tinias-De-La-Amazonia/1833411.html>

<http://www.kapawi.com/es/el-bosque-humedo-tropical/tiempo-y-clima.html>

[http://www.afaba.org/site/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=61&Itemid=37](http://www.afaba.org/site/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=61&Itemid=37)

[www.fao.org/docrep/x5059S/x5059S02.htm](http://www.fao.org/docrep/x5059S/x5059S02.htm)

<http://www.cosechaypostcosecha.org/data/folleto/FolletoSecadoGranos.pdf>

<http://es.scribd.com/doc/90233240/Screw-Conveyor-Engineering-Guide>

[http://sirio.ua.es/cat/UNE-ENV\\_1991-4=1998.pdf](http://sirio.ua.es/cat/UNE-ENV_1991-4=1998.pdf)

<http://www.emc.uji.es/asignatura/obtener.php?letra=9&codigo=29&fichero=1082540441929>

[http://www.solerpalau.es/formacion\\_01\\_27.html](http://www.solerpalau.es/formacion_01_27.html)

<http://www.kwsmfg.com/engineering-guide/materialchar.htm>

<http://es.scribd.com/doc/24729435/46/Generalidades-en-el-diseno-del-tornillo-transportador>

<http://www.mediafire.com/?m5zu2tx4um>

<http://www.comercialsamsam.cl/images/soldaduratig.pdf>

[http://www.sodeca.com/catalogos/ES/CT01\\_centrifugo\\_enlinea\\_20011ES.pdf](http://www.sodeca.com/catalogos/ES/CT01_centrifugo_enlinea_20011ES.pdf)

# ANEXOS

**ANEXO 1**  
**TEMPERATURA Y PRECIPITACIONES**

## MES DE JULIO 2012

ESTACION	PRECIPITACION (mm)						TEMPERATURA (°C)				
	NORM.	MES	% VAR.	MAX. 24h.	DIAS RR.	NORM.	MES	DIFER.	MAXIMA	MINIMA	
				FECHA					ABSOLUTA	ABSOLUTA	
ESMERALDAS AER.	25.6	12.1	-52	10.0 / 18	6	25.6	26.1	0.5	31.5 / 18	21.7 / 31	
MUISNE	330.4	26.2	-92	23.4 / 1	6	21.6	24.6	2.9	30.6 / 8	18.2 / 17	
LA CONCORDIA	80.7	13.3	-83	5.2 / 2	9	24.0	24.4	0.4	30.0 / 18	19.1 / 21	
STO. DOMINGO AER.	74.9	19.6	-73	13.0 / 15	10	22.2	23.2	1.0	28.6 / 8	19.2 / 7	
PUERTO ILA	63.9	44.7	-30	34.5 / 15	15	23.4	24.2	0.8	30.0 / 30	19.6 / 12	
CHONE	29.6	4.9	-83	1.8 / 2	6	25.2	25.1	-0.1	32.6 / 30	19.0 / 29	
PORTOVIEJO	11.4	0.0	-100			25.4	25.3	-0.1	34.7 / 30	17.1 / 4	
PICHILINGUE	38.1	1.8	-95	1.7 / 30	2	24.1	24.8	0.7	32.6 / 18	19.0 / 7	
BABAHOYO	32.1	1.2	-96	1.2 / 1	1	24.5	25.9	1.4	33.2 / 8	20.0 / 28	
MILAGRO	23.1	0.0	-100			24.0	25.6	1.6	32.2 / 18	20.0 / 29	
GUAYAQUIL AER.	13.1	0.0	-100			24.9	25.6	0.7	32.0 / 30	19.7 / 28	
SANTA ROSA AER.	16.7	8.6	-49	3.3 / 7	7	25.9	25.1	-0.8	31.4 / 2	19.9 / 2 (r)	
ZARUMA	6.0	1.1	-81	0.8 / 8	2	21.4	23.9	2.5	32.5 / 1	15.8 / 21	
TULCAN AER.	36.8	16.4	-55	5.0 / 22	15	10.8	11.2	0.4	19.7 / 12	2.5 / 21	
EL ANGEL	35.7	6.3	-82	1.6 / 22	9	11.0	10.6	-0.4	19.5 / 13	3.6 / 30	
SAN GABRIEL	54.3	27.2	-49	5.3 / 23	16	11.4	12.0	0.6	19.8 / 12	4.2 / 12	
INGUINCHO	21.0	5.2	-75	2.2 / 12	6	10.0	10.7	0.7	18.1 / 12	4.3 / 21	
OTAVALO	21.0	3.0	-85	2.3 / 15	3	14.0	14.7	0.7	24.5 / 2	3.6 / 20	
TOMALON	11.6	1.8	-84	1.0 / 12	4	15.2	15.4	1.2	25.0 / 12	6.4 / 6	
QUITO-ÍRAQUITO	23.6	1.8	-92	1.4 / 10	2	15.0	17.5	2.5	24.8 / 7	8.0 / 21	
LA TOLA	12.7	1.5	-88	0.9 / 15	4	15.1	16.2	1.1	26.0 / 13	5.2 / 21	
IZOBAMBA	32.8	19.8	-39	14.7 / 12	4	11.7	13.1	1.4	21.8 / 7	3.0 / 6	
LATACUNGA AER.	14.9	1.9	-87	1.0 / 30	6	12.9	NIL	NIL	21.5 / 13	2.5 / 24	
EL CORAZON	32.7	8.7	-73	2.2 / 13	12	18.5	17.8	-0.7	23.5 / 12	10.2 / 29	
RUMIPAMBA	16.0	6.2	-61	1.6 / 18	10	12.9	13.8	0.9	23.4 / 12	1.6 / 25	
AMBATO AER.	21.3	10.3	-51	3.6 / 3	12	13.6	NIL	NIL	23.4 / 11	3.9 / 26	
QUEROCHACA	59.4	59.5	0	13.3 / 22	22	11.4	12.0	0.6	21.1 / 11	3.1 / 21	
RIOBAMBA AER.	17.0	23.4	37	12.0 / 12	9	13.0	14.3	1.3	24.4 / 12	1.0 / 25	
CAÑAR	22.9	15.6	-31	3.4 / 2	11	11.3	11.5	0.2	18.6 / 13	4.2 / 28	
CUENCA AER.	30.1	13.6	-54	3.0 / 18	12	14.0	14.6	0.6	23.4 / 11	4.4 / 24	
PAUTE	43.6	NIL	NIL		NIL	15.5	NIL	NIL	27.4 / 12	4.8 / 24	
GUALACEO	41.1	30.0	-27	8.2 / 31	11	16.1	15.4	-0.7	26.0 / 11	3.0 / 24	
SARAGURO	35.9	NIL	NIL	NIL	NIL	12.1	NIL	NIL	NIL	NIL	
LA ARGELIA	54.0	16.8	-68	4.4 / 17	16	15.3	15.1	0.8	25.1 / 12	7.4 / 12	
LA TOMA AER.	1.7	NIL	NIL	NIL	NIL	23.7	NIL	NIL	NIL	NIL	
CELICA	1.8	0.0	-100			16.6	16.1	-0.5	23.0 / 21	7.4 / 10	
CARIAMANGA	8.1	0.0	-100			17.6	19.3	1.7	27.0 / 17	12.4 / 22	
LAGO AGRIO AER.	241.2	254.9	5	61.0 / 18	21	25.1	24.7	-0.4	32.7 / 26	19.0 / 19	
NVO. ROCAFUERTE	288.6	400.4	38	61.7 / 10	23	25.4	25.7	0.3	32.8 / 26	19.4 / 19	
PASTAZA AER.	441.7	316.4	-28	50.0 / 16	25	20.3	21.1	0.8	27.6 / 12	15.8 / 20	
PUYO	358.4	366.5	2	61.0 / 17	24	20.6	21.7	1.1	29.2 / 26	13.6 / 26	
MACAS AER.	223.4	242.8	8	64.0 / 17	25	20.9	21.2	0.3	29.0 / 12	15.0 / 24	
S. CRISTOBAL-GAL.	18.3	19.1	4	3.8 / 2	12	23.6	24.7	1.1	28.6 / 2	20.0 / 28	

NIL = No reporta información  
(R) = Record Máximo de serie  
(r) = Record Mínimo de serie  
NOTA: Los datos utilizados están sujetos a verificación  
La temperatura media y mensual son calculadas en base a temperaturas extremas

Figura A- 1: Temperatura y precipitaciones mes de julio 2012<sup>123</sup>

<sup>123</sup> “Estudios e investigaciones meteorológicas – Estadística climatológica”; [en línea]; Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI); Quito – Ecuador;  
<[http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bmensual/julio/bol\\_jul\\_2012.pdf](http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bmensual/julio/bol_jul_2012.pdf)>; [Consulta: 04 de enero de 2013].

## MES DE AGOSTO 2012

ESTACION	DIRECCION GESTION METEOROLOGICA ESTUDIOS E INVESTIGACIONES METEOROLOGICAS ESTADISTICA CLIMATOLOGICA AGOSTO 2012									
	PRECIPITACION (mm)					TEMPERATURA (°C)				
	NORM.	MES	% VAR.	MAX 24h FECHA	DIAS RR	NORM.	MES	DESV. STAND.	MAXIMA ABSOLUTA	MINIMA ABSOLUTA
ESMERALDAS AER.	15.3	21.0	-37	18.0 / 26	10	25.0	25.0	0.0	31.1 / 22	21.2 / 27
MUISNE	190.7	20.0	-89	3.2 / 6	10	24.8	23.6	-1.2	30.0 / 22	18.4 / 9
LA CONCORDIA	71.6	6.0	-91	1.5 / 3	14	24.0	24.1	0.1	30.6 / 14	18.1 / 11
STO. DOMINGO AER	51.8	13.5	-73	4.0 / 26	16	22.2	23.0	0.8	29.3 / 8	18.4 / 11
PUERTO ILA	49.3	17.0	-65	3.7 / 26	17	23.5	23.8	0.3	30.0 / 8	18.9 / 12
CHONE	18.9	5.5	-70	1.9 / 2	9	25.3	24.8	-0.5	32.2 / 26	18.0 / 28
PORTOVIEJO	4.2	0.0	-100	0.0 / 0	0	25.4	25.7	0.3	33.9 / 30	18.5 / 12
PICHILINGUE	13.8	1.3	-90	0.8 / 7	3	24.3	24.6	0.3	32.5 / 30	17.1 / 12
BABAHOYO	5.3	1.3	-79	0.8 / 24	3	24.4	24.9	0.5	32.8 / 21	19.2 / 27
MILAGRO	1.6	0.0	-100	0.0 / 0	0	24.1	24.9	0.8	32.2 / 14	19.5 / 10
GUAYAQUIL AER.	1.3	0.0	-100	0.0 / 0	0	25.0	25.0	0.0	31.4 / 14	18.6 / 16
SANTA ROSA AER.	10.4	11.3	8	1.3 / 30	23	23.9	23.9	0.0	31.5 / 4	18.9 / 30
ZARUMA	5.5	0.0	-100	0.0 / 0	0	23.2	23.8	0.6	33.5 / 21	15.8 / 10
TILCAN AER.	34.6	16.9	-66	4.0 / 28	9	10.8	11.0	0.2	20.4 / 3	1.0 / 8
EL ANGEL	25.3	20.4	-19	5.5 / 29	8	11.2	10.7	-0.5	20.0 / 3	2.4 / 7
SAN GABRIEL	40.4	42.9	6	7.1 / 29	22	11.5	11.4	-0.1	20.6 / 3	2.1 / 8
INGUINCHO	24.3	6.9	-71	2.2 / 4	5	10.2	10.6	0.4	18.9 / 7	3.2 / 31
OTAVALO	28.9	6.6	-97	0.3 / 4	2	14.1	14.1	0.0	25.6 / 24	1.8 / 7
TOMALON	10.2	5.6	-45	3.4 / 4	3	15.3	15.8	0.5	25.0 / 24	5.0 / 7
QUITO INAQUITO	29.2	2.4	-91	1.2 / 4	2	15.6	17.4	1.8	25.2 / 7	8.4 / 12
LA TOLA	18.2	2.0	-89	1.0 / 4	3	15.1	15.9	0.2	27.0 / 7	2.5 / 7 (r)
IZOBAMBA	41.7	18.0	-56	12.5 / 4	6	11.9	12.7	0.8	22.0 / 7	3.0 / 3
LATACUNGA AER.	14.0	7.8	-46	4.0 / 23	7	12.6	14.8	2.0	22.6 / 2	6.8 / 4
EL CORAZON	22.4	3.4	-84	2.0 / 31	6	18.6	18.1	-0.4	23.6 / 4	11.2 / 6
RUMIPAMBA	18.0	13.6	-24	4.9 / 29	11	13.4	13.3	-0.1	23.4 / 2	6.6 / 7
AMBATO AER.	28.9	19.9	-30	5.4 / 24	13	13.4	14.1	0.7	21.1 / 23	2.5 / 7
QUEROCHACA	40.4	50.9	25	13.4 / 28	19	11.3	11.6	0.3	21.6 / 3	1.1 / 7
RIOBAMBA AER	16.2	18.2	12	6.0 / 4	6	13.1	13.8	0.7	23.8 / 3	0.2 / 21
CANAR	16.6	16.1	-9	5.4 / 28	11	11.4	10.8	-0.6	18.6 / 2	1.0 / 8 (r)
CUENCA AER.	26.9	6.0	-77	2.0 / 27	6	14.3	14.3	0.0	25.0 / 3	3.0 / 7
PAUTE	38.1	39.2	2	10.2 / 29	7	10.0	15.8	5.8	20.6 / 9	2.7 / 7
GUALACEO	27.6	16.5	-61	3.2 / 28	7	16.1	14.9	-1.2	26.4 / 3	1.4 / 7
LA ARGELIA	41.8	36.0	-13	10.5 / 27	17	15.6	16.7	1.1	24.8 / 3	8.0 / 2
CELICA	3.7	0.0	-100	0.0 / 0	0	16.5	15.7	-0.8	23.8 / 31	6.8 / 6
CARRIMANGA	10.5	6.6	-34	0.3 / 3	2	17.8	19.4	1.6	27.0 / 7	13.2 / 2
LAGO AGRIO AER.	243.8	37.8 (r)	-89	21.0 / 29	11	25.3	25.4	0.1	34.0 / 24	19.0 / 2
EL COCA AER.	167.3	138.4	-17	36.0 / 29	11	26.2	26.5	0.3	35.4 / 20	19.9 / 30
INVO. ROCAFUERTE	234.6	189.6	-27	69.8 / 29	18	25.9	26.2	0.3	34.8 / 24	18.7 / 20
PASTAZA AER.	347.7	229.3	-34	37.0 / 28	18	20.5	21.7	1.2	29.2 / 23	15.0 / 2
PUYO	309.7	300.6	-2	77.6 / 13	20	21.1	21.8	0.7	30.2 / 23	12.6 / 6
MACAS AER.	204.0	163.5	-20	31.0 / 28	17	21.0	21.1	0.1	30.0 / 22	12.0 / 21
S. CRISTOBAL GAL.	8.3	6.1	-37	0.7 / 21	17	22.7	23.5	0.8	29.0 / 16	19.3 / 26

NIL = No reporta información  
 (R) = Record Máximo de serie  
 (r) = Record Mínimo de serie  
 NOTA: Los datos utilizados están sujetos a verificación  
 La temperatura media y mensual son calculadas en base a temperaturas extremas

Figura A- 2: Temperatura y precipitaciones mes de agosto 2012<sup>124</sup>

<sup>124</sup> “Estudios e investigaciones meteorológicas – Estadística climatológica”; [en línea]; Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI); Quito – Ecuador;  
 <[http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bmensual/agosto/bol\\_ago\\_2012.pdf](http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bmensual/agosto/bol_ago_2012.pdf)>; [Consulta: 04 de enero de 2013].

## MES DE SEPTIEMBRE 2012

ESTACION	DIRECCION GESTION METEOROLOGICA ESTUDIOS E INVESTIGACIONES METEOROLOGICAS ESTADISTICA CLIMATOLOGICA									
	PRECIPITACION (mm)					TEMPERATURA (°C)				
	NORM	MES	% VAL	MAX. 24H. ECIA	MIN. RM	NORM	MES	DEVIACION	MAXIMA ABSOLUTA	MINIMA ABSOLUTA
EMERALDAS AER.	29.6	1.1	-86	0.4 / 6	4	25.7	25.1	-0.4	31.4 / 16	20.5 / 10
MUSNE	190.6	3.2 (R)	-88	2.0 / 25	2	24.9	23.6	-1.3	28.8 / 4	18.6 / 12
LA CONCORDIA	96.0	5.5	-84	0.8 / 6	12	24.1	25.0	0.9	32.8 / 3	19.4 / 6
STO. DOMINGO AER.	94.9	7.5	-82	1.5 / 28	13	22.9	23.4	1.1	31.6 / 17	18.6 / 6
PUERTO ILA	78.4	11.0	-85	1.5 / 4	20	23.9	24.3	0.4	31.5 / 8	19.4 / 1
CHONE	15.6	0.2	-98	0.2 / 28	1	25.5	25.2	-0.3	33.2 / 10	18.0 / 13
PORTOVIEJO	6.0	0.0	-100			25.0	25.9	0.9	34.8 / 28	18.7 / 8
PICHILINGUE	30.4	1.0	-96	0.8 / 24	3	24.9	25.3	0.3	34.2 / 8	17.4 / 3
BABAHOYO	20.5	1.6	-92	1.2 / 24	2	25.0	25.2	0.2	32.8 / 8	20.1 / 2
MILAGRO	9.0	0.0	-100			24.6	25.2	0.6	33.6 / 8	19.5 / 29
GUAYAGUIL AER.	2.1	0.0	-100			25.5	25.6	0.0	32.9 / 8	19.4 / 4
SANTA ROSA AER-FARFANA	33.4	8.9	-73	3.0 / 29	12	NL	25.9	NL	38.8 / 11	18.1 / 8
TULCAN AER.	23.8	0.0	-100			23.6	24.2	0.6	35.6 / 25	14.8 / 6
EL ANGEL	53.7	9.6	-82	4.0 / 22	8	11.3	11.0	-0.3	19.5 / 19	1.5 / 17
SAN GABRIEL	45.8	3.2	-93	2.2 / 24	3	11.7	10.1	-1.6	20.0 / 19	2.4 / 17
INGUNCHO	43.1	25.9	-47	0.0 / 21	18	11.6	11.7	0.1	20.4 / 19	2.0 / 16
IBARRA AER.	76.0	17.8	-76	17.8 / 24	7	10.5	11.1	0.6	19.5 / 19	3.8 / 16
OTAVALO	43.2	1.1	-97	1.0 / 25	2	16.4	17.0	1.5	30.6 / 7	6.4 / 16
TOMALON	54.9	0.0 (R)	-100			14.5	14.3	-0.2	25.5 / 19	1.8 / 16
QUITO INAGUITO	28.7	12.6	-47	6.8 / 20	3	15.4	16.4	1.0	27.4 / 21 (R)	6.9 / 17
LA TOLA	78.4	12.5	-84	5.6 / 24	3	15.5	17.9	2.4	28.0 / 19	9.2 / 19
IZOBAMBA	83.9	63.1	-15	3.0 / 21	8	16.1	16.0	-0.1	27.4 / 19	4.6 / 17
LATACUNGA AER.	89.9	20.4	-77	15.1 / 24	7	12.0	13.1	1.1	23.6 / 19	2.2 / 11
EL CORAZON	41.1	31.5	-23	11.0 / 10	9	13.4	15.7	2.3	22.5 / 7	2.0 / 4
RUMIPAMBA	53.6	16.8	-70	11.1 / 10	10	18.6	17.1	-1.5	23.1 / 20	5.0 / 16
AMBATO AER.	32.6	30.2	-7	9.9 / 20	10	14.2	13.1	-1.1	23.1 / 19	1.1 / 17
QUEROCHACA	36.4	5.8	-84	1.8 / 9	10	14.5	14.3	-0.2	24.6 / 19	4.6 / 17
RIOBAMBA AER.	36.9	28.1	-23	11.8 / 9	17	12.2	11.9	-0.3	21.8 / 20	2.5 / 17
CANAR	31.9	22.0	-30	16.0 / 24	7	13.8	13.7	-0.1	25.5 / 19	1.6 / 17
CUENCA AER.	26.3	13.2	-47	4.4 / 24	9	12.1	11.4	-0.7	20.8 / 19	4.6 / 2
PAUTE	52.0	38.2	-26	21.0 / 27	8	15.0	15.4	0.4	27.8 / 19	3.9 / 17
GUALACEO	40.9	25.2	-38	6.4 / 6	11	16.8	17.7	0.9	31.8 / 15 (R)	5.5 / 6
LA ARGELIA	31.7	18.4	-41	11.4 / 27	9	16.8	16.1	-0.7	31.0 / 11 (R)	3.0 / 16
CELICA	40.9	32.6	-19	16.8 / 9	12	16.3	16.7	0.4	24.6 / 20	6.6 / 17
CARIAMANGA	16.4	3.3	-98	2.1 / 24	2	16.3	16.7	0.4	26.8 / 9	8.6 / 18
LAGO AGRO AER.	26.9	0.0	-100			17.9	19.8	1.9	27.5 / 13	13.2 / 10
EL COCA AER.	182.8	147.2	-19	25.8 / 21	12	26.4	25.9	-0.5	34.7 / 19	19.6 / 14
IVO ROCAFUERTE	189.0	134.8	-28	33.0 / 23	15	27.2	27.0	-0.2	36.4 / 19	20.4 / 20
PASTAZA AER.	232.6	257.9	-21	36.5 / 25	22	26.5	26.5	0.0	35.2 / 19	20.0 / 16
PUNO	394.9	340.8	-13	54.0 / 26	18	21.5	21.4	-0.1	29.4 / 16	15.8 / 16
AMCAY AER.	354.3	125.7	-64	30.1 / 6	17	21.6	21.9	0.3	30.8 / 21	12.5 / 17
S. CRISTOBAL GAL.	182.2	105.9	-41	25.0 / 21	19	21.5	21.3	-0.2	31.4 / 20	11.4 / 17
	1.2	8.1	-95	1.7 / 12	16	22.9	23.1	0.2	27.7 / 27	19.4 / 6

NL = No reporta informacion  
 (R) = Record Maximo de serie  
 (r) = Record Minimo de serie  
 NOTA: Los datos utilizados están sujetos a verificación  
 La temperatura media y mensual son calculadas en base a temperaturas extremas

Figura A- 3: Temperatura y precipitaciones mes de septiembre 2012<sup>125</sup>

<sup>125</sup> “Estudios e investigaciones meteorológicas – Estadística climatológica”; [en línea]; Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI); Quito – Ecuador;  
 <[http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bmensual/septiembre/bo\\_sep\\_2012.pdf](http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bmensual/septiembre/bo_sep_2012.pdf)>; [Consulta: 04 de enero de 2013].

## MES DE OCTUBRE 2012

ESTACION	PRECIPITACION (mm)						TEMPERATURA (°C)				
	NORM.	MES	%	MAX. 24h. FECHA	DÍAS RR.	NORM.	MES	ANOM.	MAXIMA	MINIMA	
									ABSOLUTA	ABSOLUTA	
ESMERALDAS AER.	19.0	5.9	-68	3.0 / 4	5	26.0	26.0	0.0	32.1 / 22	20.1 / 24	
MURSNE	245.4	14.1	-94	6.2 / 10	6	25.1	22.7	-2.4	27.4 / 31	17.6 / 30	
LA CONCORDIA	92.3	73.7	-20	34.6 / 10	16	24.2	24.4	0.2	33.5 / 5	19.1 / 24	
STO. DOMINGO AER.	93.4	37.3	-60	14.3 / 31	17	22.2	22.7	0.5	31.1 / 5	18.3 / 24	
PUERTO ILA	89.0	21.9	-75	3.8 / 30	19	23.8	24.1	0.3	33.5 / 5	19.6 / 23	
CHOME	29.5	3.9	-86	0.9 / 14	7	25.6	25.4	-0.2	35.2 / 7	19.0 / 15	
PORTOVIEJO	4.3	0.0	-100	0.0 / 0	0	25.8	25.8	0.0	35.2 / 21	18.2 / 7	
PICHILINGUE	27.1	6.1	-77	3.2 / 16	7	25.1	25.4	0.3	34.9 / 5	19.9 / 2	
BADAHUAYO	10.5	6.4	-39	4.0 / 16	5	25.2	25.5	0.3	33.6 / 5	20.0 / 10	
MILAGRO	4.6	4.9	6	1.8 / 30	4	24.8	25.2	0.4	34.6 / 5	20.1 / 10	
GUAYAQUIL AER.	4.4	2.5	-43	1.7 / 16	2	25.7	25.6	-0.1	34.9 / 5	20.1 / 7	
SANTA ROSA AER.	45.3	11.8	-73	2.9 / 25	13	0.0	24.1	NIL	30.9 / 5	20.0 / 10	
ZARUMA	33.2	16.3	-50	4.2 / 23	6	23.6	24.4	0.8	35.5 / 3	15.6 / 3	
TULCAN AER.	91.7	76.4	-16	18.0 / 17	14	12.1	12.3	0.2	21.2 / 20	1.9 / 28	
EL ANGEL	91.1	107.4	17	30.4 / 15	14	12.2	10.8	-1.4	21.0 / 10	2.8 / 20	
SAN GABRIEL	93.3	77.0	-17	22.8 / 15	16	12.5	13.2	0.7	23.0 / 20	4.0 / 29	
INGUINCHO	120.0	112.8	-6	23.6 / 30	16	10.6	11.1	0.5	18.6 / 3	4.0 / 19	
IBARRA	64.2	64.9	1	16.6 / 5	14	16.6	17.8	1.2	29.6 / 3	8.4 / 1	
OTAVALO	91.4	77.8	-14	26.4 / 4	12	14.9	14.9	0.0	25.0 / 3	3.0 / 28	
TOMALON	57.9	59.5	2	13.6 / 30	16	15.8	15.8	0.0	26.4 / 15	6.0 / 11	
QUITO-ÑAQUITO	107.4	133.5	24	27.4 / 11	20	15.3	16.6	1.3	25.9 / 10	8.3 / 20	
LA TOLA	115.0	70.6	-38	17.2 / 6	18	16.4	16.1	-0.3	26.2 / 3	5.5 / 23	
IZOBAMBA	135.5	178.8	31	28.5 / 15	22	12.1	12.6	0.5	21.5 / 3	2.2 / 20	
LATACUNGA AER.	52.0	80.3	54	21.0 / 23	18	14.2	15.0	0.8	25.2 / 22	3.2 / 28	
EL CORAZON	68.8	58.8	-14	14.4 / 5	22	18.5	18.0	-0.5	24.5 / 14	10.2 / 22	
RUMIPAMBA	49.6	70.5	42	14.9 / 23	15	15.1	15.2	0.1	24.5 / 22	5.8 / 1	
AMBAATO AER.	54.0	85.1	57	23.6 / 23	20	15.5	16.2	0.7	25.0 / 11	7.2 / 28	
QUEROCHACA	43.7	83.0	89	24.2 / 16	16	13.2	13.7	0.5	23.1 / 16	4.5 / 1	
RIOBAMBA AER.	40.8	67.2	64	34.0 / 16	16	14.6	15.6	1.0	25.0 / 10	5.5 / 29	
CAÑAR	44.6	45.4	1	16.5 / 16	13	12.2	12.4	0.2	19.8 / 3	5.8 / 11	
CUENCA AER.	89.9	82.2	-8	27.0 / 16	14	16.0	16.7	0.7	25.6 / 5	6.4 / 1	
PAUTE	68.1	151.8	122	72.7 / 11	16	17.7	18.2	0.5	27.4 / 23	8.0 / 15	
GUALACEO	72.8	174.0 (R)	139	37.2 / 5	16	17.9	16.7	-1.2	26.2 / 22	7.2 / 1	
SARAGURO	60.2	60.7	0	26.2 / 16	10	13.5	NIL	NIL	25.8 / 22	6.2 / 15	
LA ARGELIA	69.9	116.5	66	36.3 / 23	18	16.7	17.6	0.9	26.0 / 10	9.4 / 15	
CELICA	19.9	10.0	-49	3.8 / 23	4	16.4	16.2	-0.2	24.4 / 23	8.2 / 4	
CARIAMANGA	67.5	27.8	-58	18.8 / 23	4	18.0	18.7	0.7	27.0 / 1	12.6 / 24	
LAGO AGRIO AER.	255.1	224.6	-11	94.0 / 6	12	26.7	26.5	-0.2	35.4 / 29	20.0 / 10	
EL COCA AER.	277.2	284.4	2	71.6 / 20	14	27.4	27.2	-0.2	35.3 / 29	19.8 / 17	
NVO. ROCAFUERTE	226.9	189.5	-16	46.9 / 26	15	26.7	27.1	0.4	35.4 / 11	20.8 / 14	
PASTAZA AER.	461.2	462.8	0	59.0 / 15	25	22.0	22.1	0.1	29.4 / 10	16.5 / 15	
PUYO	391.7	406.7	3	80.8 / 5	23	21.9	23.0	1.1	31.6 / 11	14.0 / 2	
MACAS AER.	201.6	126.8	-37	20.0 / 5	20	22.6	23.0	0.4	32.0 / 11	14.4 / 15	
S. CRISTOBAL GAL.	9.9	22.3	125	19.6 / 6	7	23.1	23.3	0.2	27.5 / 26	17.4 / 21	

NIL = No reporta información

(R) = Record Máximo de serie

(r) = Record Mínimo de serie

NOTA: Los datos utilizados están sujetos a verificación

La temperatura media y mensual son calculadas en base a temperaturas extremas

Figura A- 4: Temperatura y precipitaciones mes de octubre 2012<sup>126</sup>

<sup>126</sup> “Estudios e investigaciones meteorológicas – Estadística climatológica”; [en línea]; Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI); Quito – Ecuador;  
 <[http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bmensual/octubre/bol\\_oct\\_2012.pdf](http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bmensual/octubre/bol_oct_2012.pdf)>; [Consulta: 04 de enero de 2013].

## MES DE NOVIEMBRE 2012

ESTACION	PRECIPITACION (mm)		DÍAS DE LLUVIA		TEMPERATURA (°C)		DÍAS DE HELADA	DÍAS DE NIEVE		
	NORM.	MES	%	VAL.	FECHA	MÍN.			MÁS	
										ABSOLUTA
EMERALDA'S AER.	20.0	16.9	-33	10.0 / 8	5	27.1	20.2	0.3	31.0 / 29	21.0 / 18
MUSNE	202.0	18.7	-90	12.7 / 6	7	25.4	22.1	-2.2	28.0 / 22	18.0 / 8
LA CONCORDIA	54.2	42.9	-33	11.2 / 11	19	24.1	24.4	0.3	31.0 / 11	19.5 / 18
STO. DOMINGO AER.	111.0	42.3	-52	10.0 / 3	18	22.2	22.7	0.5	28.1 / 9	18.7 / 10
PUERTO ILA	87.9	41.0	-53	12.0 / 9	20	23.8	25.0	1.2	33.0 / 14	20.0 / 15
CHONE	36.0	8.2	-77	3.0 / 27	6	25.8	25.9	-0.1	33.2 / 20	17.0 / 21
PORTOFUERO	10.3	2.3	-77	2.3 / 29	1	25.0	26.0	0.3	35.1 / 26	17.0 / 18
PICHILINGUE	71.4	15.7	-78	11.0 / 20	10	25.4	26.3	0.9	34.5 / 11	20.4 / 2
DABAHOYO	57.3	4.2	-92	2.0 / 7	3	25.7	26.7	1.0	33.0 / 14	20.4 / 13
MILAGRO	27.3	0.5	-98	0.4 / 6	2	25.1	26.0	0.9	33.2 / 19	20.0 / 12
GUAYACIL AER.	34.4	3.2	-96	3.0 / 15	2	25.1	26.5	0.4	34.0 / 26	20.1 / 15
SANTA ROSA AER.	42.7	11.6	-72	3.0 / 8	11	25.7	26.7	0.3	33.4 / 10	20.7 / 18
ZARUMA	45.2	111.6	146	19.0 / 5	14	23.2	23.8	0.6	34.0 / 16	16.6 / 1
TULCAN AER.	111.0	40.3	-63	13.0 / 25	16	12.5	13.1	-0.6	20.7 / 10	3.5 / 2
EL ANGEI	123.0	72.8	-40	23.3 / 16	16	12.1	11.0	-1.1	20.0 / 17	2.4 / 17
SAN GABRIEL	106.0	87.3	-18	19.5 / 28	16	12.7	13.5	0.8	21.0 / 16	4.2 / 2
INGUINCHO	130.0	110.0	-9	32.4 / 10	16	12.7	11.0	-1.7	18.0 / 10	5.2 / 18
IBARRA	60.0	17.6	-4	14.2 / 21	19	16.0	17.0	1.0	27.0 / 4	8.5 / 1
OTAVALO	85.1	17.2	-33	15.5 / 5	13	15.0	15.5	0.5	25.5 / 6	4.3 / 18
TOMALON	59.4	113.0	64	18.1 / 5	10	13.1	16.0	2.7	20.0 / 27	7.0 / 18
QUITO-INAQUITO	102.2	145.9	41	22.5 / 14	15	15.2	16.1	0.9	24.0 / 10	8.2 / 18
LA TOLA	95.0	281.3 (R)	193	72.5 / 5	18	15.3	15.7	-0.4	26.0 / 27	5.6 / 18
IBARRA	172.0	189.1	27	28.0 / 24	21	12.1	12.1	0.0	20.4 / 10	3.0 / 18
LATACUNGA AER.	45.7	79.8	74	18.0 / 11	15	14.4	14.0	-0.4	23.0 / 23	3.0 / 17
EL CORAZON	102.0	119.4	6	20.5 / 20	28	10.1	17.0	6.9	24.1 / 14	10.0 / 23
RUMIPAMBA	55.0	74.1	32	12.0 / 11	17	15.0	15.2	0.2	24.0 / 11	4.0 / 17
AMBATO AER.	40.7	32.8	-19	12.0 / 4	11	15.0	15.2	0.2	24.0 / 18	7.0 / 18
QUEROCHACA	42.0	21.0	-40	8.0 / 4	13	13.7	14.1	0.4	23.0 / 25	3.0 / 18
RIOBANDA AER.	41.0	NL	NL	NL	NL	14.0	14.0	NL	24.0 / 27	3.0 / 18
CANAR	40.0	106.7 (R)	163	15.5 / 11	24	12.0	11.0	-1.0	19.0 / 18	3.0 / 18
CORTICA AER.	80.0	86.0	8	17.0 / 21	18	16.1	17.0	0.9	25.4 / 18	7.7 / 1
PAUTE	66.4	78.1	17	24.1 / 10	13	15.0	15.0	0.0	27.0 / 28	8.0 / 1
GUALACEO	80.4	82.1	14	25.0 / 20	14	18.2	18.1	-0.1	29.4 / 13	7.4 / 18
SURAGURO	58.0	NL	NL	NL	NL	13.0	14.0	NL	NL	NL
LA ARGELIA	60.0	110.1	81	24.2 / 5	19	15.0	15.0	0.0	25.4 / 10	8.1 / 2
CELICA	20.0	20.0	84	21.0 / 6	6	16.1	16.1	0.0	23.4 / 32	8.0 / 18
CARIAMANGA	51.0	183.4	209	49.4 / 6	18	19.0	19.0	0.0	29.7 / 21	10.2 / 8
LAGO AGRIO AER.	282.7	207.1	-26	49.0 / 26	18	25.0	27.1	2.1	34.1 / 10	20.1 / 38
EL COCA AER.	295.0	260.0	-8	60.0 / 19	14	27.1	27.1	0.0	35.4 / 8	19.0 / 17
NOV. ROCAFUERTE	176.0	87.2	-50	17.0 / 26	22	26.0	27.4	1.4	34.0 / 10	21.2 / 2
PASTAZA AER.	454.0	341.0	-24	48.0 / 3	27	21.0	22.3	1.3	29.0 / 10	16.0 / 4
PUNO	361.0	389.1	7	71.2 / 16	26	22.0	23.0	1.0	30.3 / 2	16.0 / 18
IMBAS AER.	161.2	148.1	-8	33.5 / 28	18	22.7	23.2	0.5	30.2 / 3	15.4 / 8
S. CRISTOBAL-GAL.	11.1	7.1	-36	4.3 / 27	10	24.1	23.0	-1.1	29.2 / 22	19.4 / 14

NL = No reporta información  
 (R) = Record Máximo de serie  
 (r) = Record Mínimo de serie  
 NOTA: Los datos utilizados están sujetos a verificación.  
 La temperatura media y mensual son calculadas en base a temperaturas extremas

Figura A- 5: Temperatura y precipitaciones mes de noviembre 2012<sup>127</sup>

<sup>127</sup> “Estudios e investigaciones meteorológicas – Estadística climatológica”; [en línea]; Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI); Quito – Ecuador;  
 <[http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bmensual/noviembre/bol\\_nov\\_2012.pdf](http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bmensual/noviembre/bol_nov_2012.pdf)>; [Consulta: 04 de enero de 2013].

MES DE DICIEMBRE 2012

ESTACION		DIRECCION GESTION METEOROLOGICA ESTUDIOS E INVESTIGACIONES METEOROLOGICAS ESTADISTICA CLIMATOLOGICA														
		RESUMEN 01 - 10 DICIEMBRE 2012														
		PRECIPITACION (mm)							TEMPERATURA (°C)							
		DECADAS 01 - 10 DICIEMBRE			ACUM 01 - 10 DICIEMBRE				PERSPECTIVA		MEDIA HOR.				EXTREMOS	
RR. DEC.	HOR. DEC.	% OMR	RR. ACUM.	HOR. MES	% ACUM		DECEMBER 01-20	HOR. 01-20	DEC. 01-10	DEC. 01-10	Max	MIN	MAX DEC.	MIN DEC.		
		(1)	(2)		(3) mm	(4) %										
ESMERALDAS- AER	0.0	5.3	100	0.0	43.7	0			19.3	25.5	25.8	0.1	31.7	22.0		
LA CONCORDIA	10.0	35.1	72	10.0	183.6	5 >	17	78	34.7	24.0	24.5	0.5	30.5	19.0		
SANTO DOMINGO	7.0	49.9	84	7.0	218.0	3 >	23	98	51.7	22.5	22.8	0.1	28.5	15.4		
PUERTO ILA	16.0	48.9	48	16.0	128.2	7			42.4	24.4	24.5	0.1	31.3	20.8		
CHONE	0.0	20.4	100	0.0	33.8	0 *	27	88	19.8	25.7	26.3	0.4	32.8	20.0		
PORTOVIEJO-UTW	0.0	5.8	100	0.0	23.4	0			8	38	25.7	26.2	0.5	33.8	19.2	
PICHILINGUE	5.2	25.4	88	5.2	176.0	3 *	11	78	81.2	25.7	25.3	0.2	33.2	20.4		
BABAHYO U.T.B	0.0	26.3	100	0.0	158.9	0 *	28	88	46.2	26.0	26.2	0.2	33.4	20.2		
MILAGRO	0.0	16.7	100	0.0	78.0	0 *	2	88	24.0	25.0	25.9	0.8	33.8	20.0		
GUAYQUIL AER.	0.0	8.5	100	0.0	83.9	0			8	88	9.0	26.4	26.8	0.4	33.7	20.5
SANTA ROSA	3.5	5.8	16	3.5	28.0	10			8	35	25.8	25.8	0.1	33.4	19.5	
ZARUMA	0.2	22.0	30	0.2	122.4	0 *	27	88	47.7	24.3	23.5	0.6	33.3	16.4		
TULCAN AER	35.0	31.2	12	35.0	83.4	37 >	26	48	35.9	12.3	12.3	0.0	19.5	3.0		
EL ANGEL	26.1	32.7	28	26.1	115.1	22 <	24	88	43.3	18.1	12.3	0.0	17.8	3.0		
SAN GABRIEL	29.0	29.8	6	29.0	89.1	33 <	25	78	26.2	13.2	13.8	0.2	21.0	5.4		
INGUINCHO	9.7	31.1	68	9.7	113.0	0			43.2	16.9	16.7	0.2	17.2	4.5		
IBARRA	5.5	15.0	68	5.5	53.6	11 >	5	88	19.1	17.2	17.8	0.2	24.2	9.2		
OTAVALO	3.0	21.3	81	3.0	68.8	5 *	16	58	25.7	18.1	14.7	0.0	22.8	4.2		
TOMALON	3.4	14.9	77	3.4	59.3	0			13.0	15.0	15.3	0.3	24.2	7.8		
QUITO-NAQUITO	0.7	21.4	58	0.7	88.0	0 >	1	88	32.0	15.0	15.1	0.1	24.4	7.4		
LA TOLA	23.0	23.1	3	23.0	72.9	32 *	28	78	26.4	15.0	16.2	0.4	23.4	4.8		
WOBAMBA	2.5	31.8	50	2.5	123.6	2 *	33	78	44.1	12.1	12.8	0.1	20.4	2.4		
LATACUNGA AER.	0.1	11.3	48	0.1	42.0	14 >	4	78	16.5	16.2	14.4	0.8	25.5	3.5		
EL CORAZON	42.0	31.2	12	42.0	205.9	14			72.3	17.8	18.4	0.6	22.5	13.4		
RUMIPAMBA SAL	3.0	15.2	74	3.0	51.4	7 <	12	88	28.2	17.2	15.5	0.3	24.8	4.8		
AMBATO AER	5.6	16.9	48	5.6	34.7	13			11.7	15.9	15.8	0.1	25.4	6.8		
QUEROCHACA(UTA)	5.5	11.2	58	5.5	31.5	17 <	18	38	8.5	14.4	13.4	0.8	25.5	[R]	5.2	
RIOBAMBA AER.	18.0	5.8	18	18.0	33.6	0 *	2	88	12.1	15.9	14.8	1.1	27.2	5.5		
CANAR	0.1	7.4	58	0.1	38.2	0 *	11	78	13.0	11.7	12.1	0.4	19.2	4.2		
QUENCA AER.	4.2	20.2	75	4.2	88.8	5 >	8	38	38.7	16.9	16.3	0.4	25.8	6.5		
PAUTE	0.4	16.6	87	0.4	67.8	0 *	4	88	28.1	16.4	17.3	1.5	27.5	2.4		
SHUALCERO	5.0	18.8	72	5.0	87.1	7 *	7	58	28.4	18.0	18.2	1.2	27.4	7.0		
SARAGURO	18.0	20.5	18	18.0	79.3	0 *	2	88	22.7	18.1	15.6	0.0	18.0	11.0		
LOJA-LA ANGELIA	18.0	18.3	4	18.0	83.3	23 *	18	88	34.0	16.0	16.8	0.2	25.5	7.0		
CELICA	0.0	18.3	100	0.0	88.0	0			8	88	18.7	16.5	0.4	23.4	12.0	
CARIAMANCA	0.0	20.3	100	0.0	184.5	0 *	4	78	45.3	18.1	17.7	0.0	25.5	10.0		
LAGO AGRIO AER.	50.0	19.4	28	50.0	218.5	22			184.3	26.0	26.9	0.4	33.4	21.4		
EL COCA	185.0	82.2	23	185.0	279.3	27			128.0	26.8	26.9	0.1	34.2	21.1		
MVD. ROCAFUERTE	31.1	67.8	54	31.1	164.5	18 >	42	78	52.7	27.9	27.8	0.8	35.2	22.4		
PASTAZA AER.	87.0	165.7	28	87.0	349.8	16			111.7	22.4	22.2	0.2	28.1	16.3		
PUYO	136.3	110.8	22	136.3	329.2	41 >	122	48	186.9	22.9	21.9	1.8	29.4	16.0		
MACAS AER.	41.0	83.3	87	41.0	143.9	38			82.2	22.9	22.0	0.3	30.8	16.0		
S. CRISTOBAL-GAL.	3.0	12.1	76	3.0	39.7	7			32.3	24.0	24.2	0.2	28.4	18.2		

(1) = % Incremento o decremento de la precipitación de la década, en relación a la normal decadal de la serie.  
(2) = % de precipitación acumulada en el mes en relación a la normal mensual de la serie histórica.  
(3) = más precipitación esperada para la década siguiente (perspectiva Sinóptica-Estadística)  
(4) = Normal de precipitación para la próxima década.  
18L = No se dispone de información.  
[R] = Record Máximo de serie.  
[R] = Record Mínimo de serie.  
NOTA: Los datos utilizados están sujetos a verificación posterior.

Figura A- 6: Temperatura y precipitaciones mes de diciembre 2012<sup>128</sup>

<sup>128</sup> “Estudios e investigaciones meteorológicas – Estadística climatológica”; [en línea]; Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI); Quito – Ecuador;  
<http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bdecadal/diciembre/decada1/bol\_dic\_dec1.pdf >; [Consulta: 04 de enero de 2013].

**ANEXO 2**  
**PRODUCCIÓN DE MAÍZ DURO EN EL**  
**ECUADOR A NIVEL PROVINCIAL**

## MAÍZ DURO SECO: PRODUCCIÓN A NIVEL PROVINCIAL

Tabla A- 1: Producción de maíz duro seco a nivel provincial<sup>129</sup>

PROVINCIA	SERIE HISTÓRICA 2000 - 2010										
	2000 <sup>1/</sup>	2001 <sup>1/</sup>	2002 <sup>1/</sup>	2003 <sup>1/</sup>	2004 <sup>1/</sup>	2005 <sup>1/</sup>	2006 <sup>2/</sup>	2007 <sup>2/</sup>	2008 <sup>1/</sup>	2009 <sup>1/</sup>	2010 <sup>2/</sup>
Total Nacional <sup>3/</sup>	422.548	490.000	404.250	485.345	387.750	671.786	591.585	605.293	787.129	765.320	723.839,00
Azuay	902	351	311	141	278	1.047	810	785	1.021	431	939
Bolivar	5.315	6.163	2.455	5.243	4.877	3.137	2.347	1.054	1.370	4.379	1.260
Cañar	148	172	282	753	136	469	350	606	788	50	724
Carchi	121	141	508	81	111	770	389	3	3	821	3
Chimborazo	152	176	161	34	139	11	151	62	80	290	74
Cotopaxi	342	397	583	4.692	314	1.615	1.527	860	1.118	5.630	1.029
El Oro	1.487	1.725	2.470	1.444	1.365	2.312	2.212	2.077	2.701	4.483	2.483
Esmeraldas	1.533	1.778	16.211	2.171	1.407	1.504	2.749	1.253	1.629	1.477	1.486
Guayas	68.700	79.667	85.735	105.553	65.889	99.367	80.820	97.082	126.246	158.158	111.080
Imbabura	2.187	2.536	1.017	5.195	2.007	2.765	1.287	694	902	1.933	830
Loja	30.795	35.710	19.366	32.667	28.259	67.100	72.143	72.221	93.917	80.614	86.365
Los Ríos	240.569	278.971	207.861	263.666	220.757	338.132	329.095	356.276	483.306	403.648	426.053
Manabí	55.335	64.168	54.874	51.498	50.778	135.237	79.939	62.552	81.343	80.587	74.803
Morona Santiago	1.722	1.996	1.318	2.187	1.580	2.545	2.520	1.218	1.583	819	1.456
Napo	1.163	1.348	1.356	1.368	1.067	2.145	1.996	1.059	1.377	2.377	1.266
Orellana	2.492	2.890	2.907	2.933	2.287	4.598	4.280	2.270	2.951	5.097	2.714
Pastaza	143	165	109	181	131	211	209	101	131	68	121
Pichincha	1.882	2.183	3.388	1.220	2.401	2.864	2.062	2.307	3.000	2.242	1.985
Santa Elena	3.102	3.597									5.015
Santo Domingo	734	851									774
Sucumbios	1.610	1.867	1.678	1.895	1.477	2.970	2.765	1.466	1.906	3.293	1.753
Tungurahua	807	936			740	170	1.139		0		0

<sup>129</sup> Fuentes: 1/III CENSO NACIONAL AGROPERCUARIO  
2/III SIGGAGRO, INEC - ESPAC

Nota técnica: 3/ El Total Nacional, no necesariamente será igual a la sumatoria de los datos provinciales, ya que en la mayoría de los casos se presentan cifras parciales, o están ocultas debido a razones de confiabilidad y confidencialidad estadística.

Elaborado por: MAGAP - SIGAGRO Econ. Fabricio Arévalo Sánchez

Fecha de elaboración: Enero 2011

**ANEXO 3**  
**PRECIOS MENSUALES PROMEDIOS DEL**  
**MAÍZ A NIVEL NACIONAL**

## PRECIOS PROMEDIOS MENSUALES

**Tabla A- 2: Precios mensuales a nivel provincial<sup>130</sup>**

**MINISTERIO DE AGRICULTURA GANADERÍA ACUACULTURA Y PESCA**  
 DÓLARES POR KILOGRAMO  
 NIVEL PRODUCTOR  
 PRODUCTO MAÍZ DURO SECO

AÑO	FERIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
2000	GUAYAS	0,15	0,16	0,16	0,13	0,14	0,15	0,14	0,13	0,15	0,15	0,14	0,15	0,14
2000	LOJA	0,10	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,14	0,13	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14
2000	LOS RÍOS				0,11	0,15	0,15	0,14		0,14	0,15	0,15		0,14
2000	MANABÍ	0,14	0,16	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
2000	PROMEDIO	0,13	0,15	0,15	0,14	0,15	0,15	0,14	0,14	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14
2001	GUAYAS	0,15	0,15	0,16	0,13	0,13	0,11	0,11	0,13	0,14	0,14	0,16	0,18	0,14
2001	LOJA		0,18	0,18	0,18	0,16	0,14	0,13	0,13	0,15				0,15
2001	LOS RÍOS	0,13		0,13	0,12	0,10	0,11	0,11	0,10	0,13	0,14	0,15	0,16	0,12
2001	MANABÍ	0,16	0,19	0,18	0,16	0,14	0,12	0,12	0,12	0,15	0,16			0,15
2001	PROMEDIO	0,15	0,17	0,16	0,15	0,13	0,12	0,12	0,12	0,14	0,15	0,15	0,17	0,14
2002	GUAYAS	0,20	0,22	0,22	0,14	0,11	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,16
2002	LOJA	0,21	0,19	0,20	0,20	0,17	0,16	0,17	0,16	0,16	0,17	0,16	0,17	0,18
2002	MANABÍ	0,21	0,20	0,21	0,16	0,15	0,13	0,14	0,15	0,15	0,16	0,17	0,17	0,17
2002	PROMEDIO	0,21	0,20	0,21	0,17	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17
2003	GUAYAS	0,19	0,18	0,17	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,17	0,15
2003	LOJA	0,18	0,18	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14	0,15					0,17
2003	LOS RÍOS	0,16			0,11	0,13	0,13	0,14	0,13					0,13
2003	MANABÍ	0,18		0,17	0,15	0,14	0,13	0,13	0,14	0,15	0,14		0,17	0,15
2003	PROMEDIO	0,18	0,18	0,17	0,14	0,14	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,17	0,15
2004	GUAYAS	0,18	0,22	0,22	0,15	0,14	0,16	0,16	0,18	0,19	0,18	0,19	0,19	0,18
2004	LOJA	0,21	0,20	0,22	0,23	0,20	0,19	0,19	0,16	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19
2004	LOS RÍOS	0,17			0,12	0,15	0,16	0,15	0,17	0,17	0,18	0,18		0,16
2004	MANABÍ	0,21	0,23	0,23	0,16	0,15	0,17	0,15	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
2004	PROMEDIO	0,19	0,22	0,22	0,16	0,16	0,17	0,16	0,17	0,18	0,18	0,18	0,19	0,18
2005	BOLÍVAR	0,21				0,18		0,17	0,19	0,20	0,21	0,21		0,19
2005	GUAYAS	0,20	0,21	0,19	0,18	0,14	0,14		0,16	0,17	0,18	0,20	0,19	0,18
2005	LOJA	0,20	0,20	0,22	0,22	0,20	0,19	0,18	0,18	0,18	0,20	0,22	0,23	0,20
2005	LOS RÍOS	0,19	0,20	0,20	0,18	0,14	0,15	0,15	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
2005	MANABÍ	0,20	0,20	0,21	0,20	0,17	0,14	0,14	0,17	0,17	0,18	0,19	0,20	0,18
2005	PROMEDIO	0,20	0,20	0,20	0,19	0,17	0,16	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,20	0,18
2006	GUAYAS	0,21	0,21		0,18	0,15	0,13	0,16	0,18	0,18	0,18	0,21		0,18

<sup>130</sup> FUENTE: Ing. Pablo A. Munive L.  
 MAGAP – CGSIN  
 Unidad de Supervisión, Capacitación y Logística  
 Av. Eloy Alfaro 30-350 y Amazonas  
<http://www.magap.gob.ec>

AÑO	FERIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
2006	LOJA	0,21	0,23		0,21			0,17	0,17	0,18	0,18	0,21	0,22	0,20
2006	LOS RÍOS	0,19	0,22	0,17	0,16	0,15	0,17	0,17	0,18	0,17	0,18		0,22	0,18
2006	MANABÍ	0,21	0,18	0,17		0,15	0,13	0,15	0,15	0,18	0,19	0,23	0,24	0,18
2006	PROMEDIO	0,20	0,21	0,17	0,18	0,15	0,14	0,16	0,17	0,18	0,18	0,22	0,23	0,18
2007	BOLÍVAR			0,24	0,22	0,20			0,21	0,22				0,22
2007	EL ORO						0,20		0,21	0,21				0,21
2007	ESMERALDAS										0,22		0,24	0,23
2007	GUAYAS	0,23	0,26	0,27	0,24	0,20	0,20	0,19	0,21	0,22	0,22	0,25	0,26	0,23
2007	LOJA	0,24	0,24	0,27	0,24	0,21	0,21	0,20	0,21	0,21		0,24	0,25	0,23
2007	LOS RÍOS	0,23	0,25	0,18	0,17	0,17		0,19	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23	0,21
2007	MANABÍ		0,25	0,25	0,24	0,20	0,18	0,17	0,18	0,19	0,22	0,24		0,21
2007	MORONA SANTIAGO							0,19	0,20	0,20				0,20
2007	NAPO								0,20	0,20				0,20
2007	PASTAZA									0,19	0,20			0,20
2007	PICHINCHA						0,20	0,20	0,21		0,23	0,24		0,22
2007	ZAMORA CHINCHIPE				0,23	0,21								0,22
2007	SUCUMBÍOS							0,19	0,21	0,21		0,24		0,21
2007	PROMEDIO	0,23	0,25	0,24	0,22	0,20	0,20	0,19	0,20	0,21	0,22	0,24	0,24	0,22
2008	BOLÍVAR			0,31	0,31	0,29	0,27							0,29
2008	EL ORO	0,25	0,27	0,31			0,26		0,29	0,29				0,28
2008	ESMERALDAS						0,27		0,30	0,28		0,28	0,29	0,28
2008	GUAYAS	0,26	0,26	0,30	0,30	0,28	0,25	0,28	0,28	0,28	0,27	0,28	0,28	0,28
2008	LOJA	0,27	0,29	0,30	0,30	0,27	0,26	0,30	0,31	0,29	0,30	0,27	0,28	0,29
2008	MANABÍ	0,26	0,29	0,28	0,26	0,25			0,26	0,25	0,25		0,26	0,26
2008	NAPO					0,25				0,27	0,27			0,26
2008	PASTAZA	0,24	0,25	0,27	0,26	0,26		0,26	0,25	0,28	0,28	0,28		0,26
2008	PICHINCHA	0,24	0,26	0,27	0,28	0,27	0,26	0,31	0,31	0,30	0,29	0,27	0,28	0,28
2008	ZAMORA CHINCHIPE	0,27	0,27	0,29	0,28	0,27							0,29	0,28
2008	SUCUMBÍOS								0,27	0,25	0,24	0,24	0,24	0,25
2008	PROMEDIO	0,26	0,27	0,29	0,28	0,27	0,26	0,29	0,28	0,28	0,27	0,27	0,28	0,27
2009	GUAYAS	0,29			0,24	0,23	0,20	0,18	0,20	0,23	0,24	0,26		0,23
2009	LOS RÍOS	0,27	0,27	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21	0,22	0,22	0,24	0,25	0,27	0,25
2009	LOJA									0,23		0,27	0,29	0,27
2009	MANABÍ	0,28	0,28	0,28	0,28	0,26	0,21	0,19	0,19	0,20	0,21	0,23	0,24	0,24
2009	PROMEDIO	0,28	0,27	0,28	0,26	0,25	0,21	0,19	0,20	0,22	0,23	0,25	0,27	0,24

**ANEXO 4**  
**CARTA PSICROMÉTRICA PARA LA CIUDAD**  
**DE TENA**

CARTA PSICROMÉTRICA PARA LA CIUDAD DE TENA

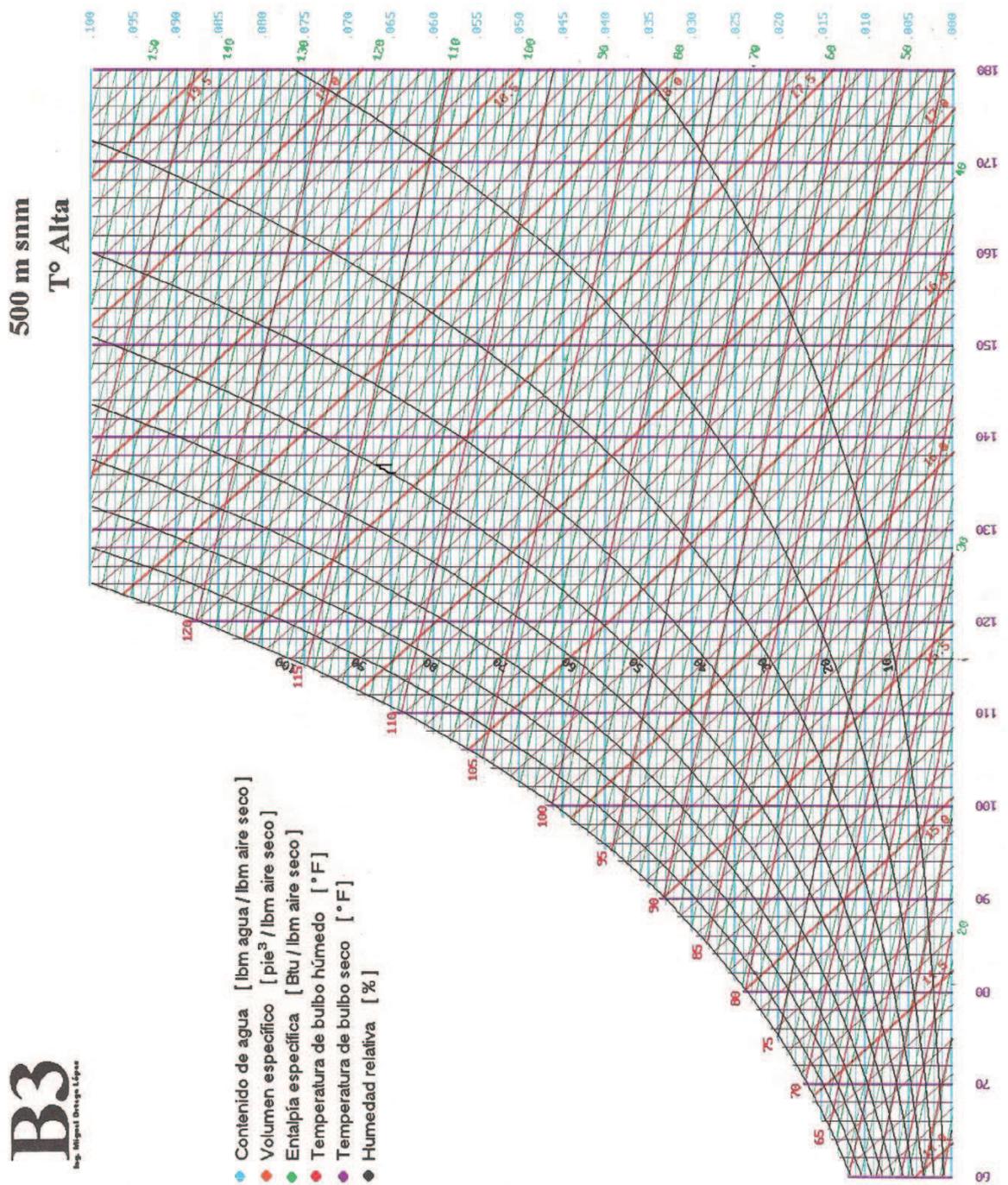
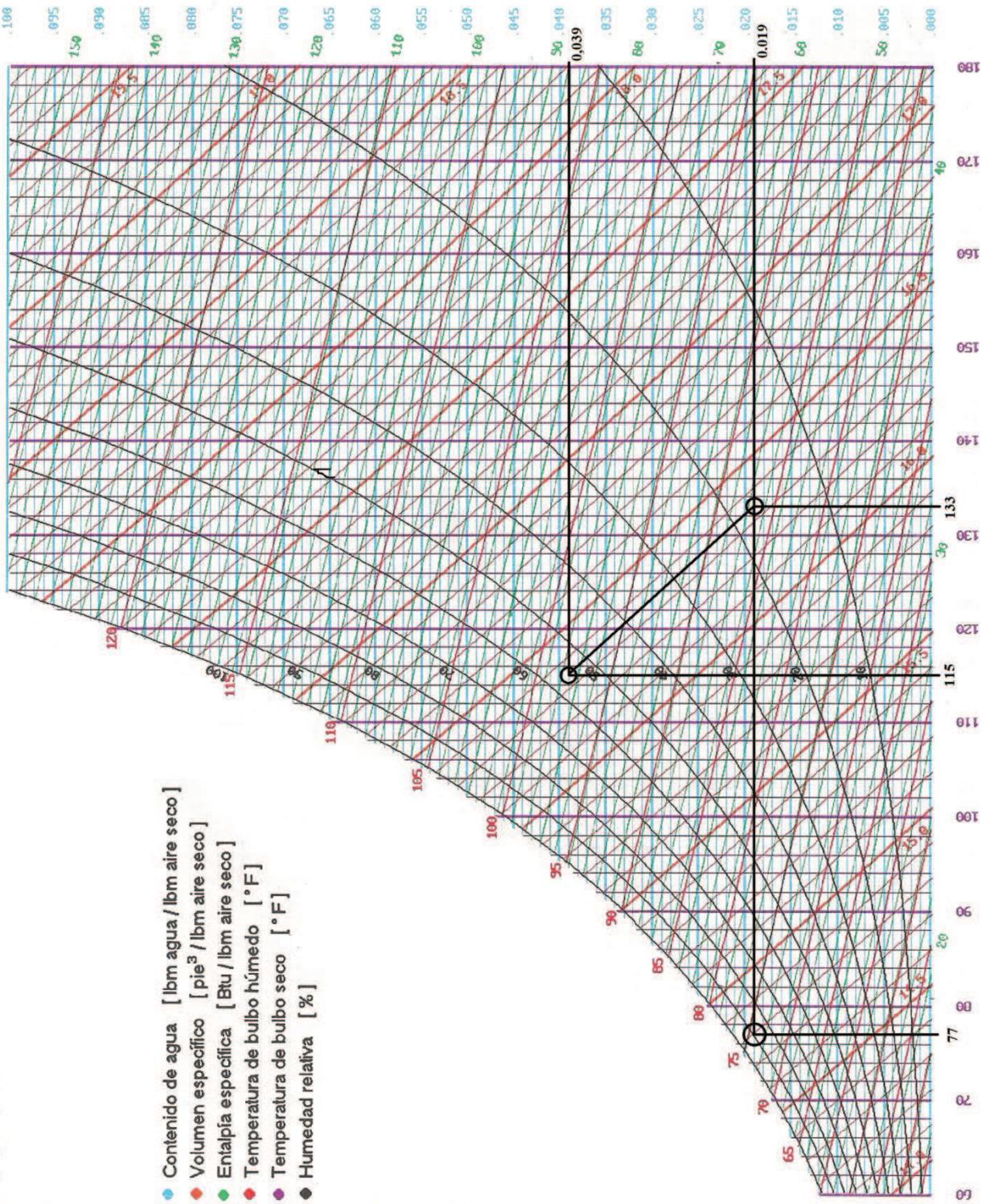


Figura A- 7: Carta psicrométrica de la Provincia de Napo<sup>131</sup>

<sup>131</sup> Ortega, M., Peña, A.; "Cartas Psicrométricas"; Escuela Politécnica Nacional; Editorial IMPRIMA; Quito – Ecuador; 1996; pp. 12. [Consulta: 25 de junio de 2012]



500 m snm  
T° Alta



- Contenido de agua [ lbm agua / lbm aire seco ]
- Volumen específico [ pie³ / lbm aire seco ]
- Entalpía específica [ Btu / lbm aire seco ]
- Temperatura de bulbo húmedo [ °F ]
- Temperatura de bulbo seco [ °F ]
- Humedad relativa [ % ]

Figura A- 8: Proceso de calentamiento y enfriamiento

**ANEXO 5**  
**EURO-CÓDIGO ENV 1991-4**

## EURO-CÓDIGO ENV 1991-4<sup>132</sup>

El Euro-código ENV 1991, describe los principios generales y las acciones para el desarrollo de proyecto estructural de depósitos y silos, incluyendo algunos aspectos geotécnicos que se emplean junto con la ENV 1991-1 “Bases del Proyecto” y otras partes de ENV 1991 y de ENV 1992-1999.

Las normas para el proyecto de silos se aplicarán con las siguientes limitaciones:

- La forma de la sección transversal de los silos se limita a las mostradas en la figura A-9 pp. 256.
- El llenado produce unos efectos de inercia y unas cargas de impacto despreciables.
- El diámetro máximo de las partículas del material almacenado no será mayor de 0,3 diámetro del cilindro ( $d_c$ )
- El material almacenado está suelto.
- La excentricidad ( $e_j$ ) del material almacenado debida al llenado es menor de  $0,25 d_c$  (figura A-9 pp. 256)
- La excentricidad  $e_i$  del centro de la salida es menor de  $0,25 d_c$ ; y ninguna parte de la salida está a una distancia mayor de  $0,3 d_c$  del plano central de un silo con flujo plano, o de la línea central en los demás silos. (figura A-9 pp. 256).
- Cuando se empleen mecanismos de vaciado (Por ejemplo alimentadores o canales de flujo internos) el flujo del material será suave y centrado, dentro de los límites de excentricidad indicados arriba.
- La transición se encontrará en un único plano horizontal.
- Se aplicarán las siguientes limitaciones geométricas:

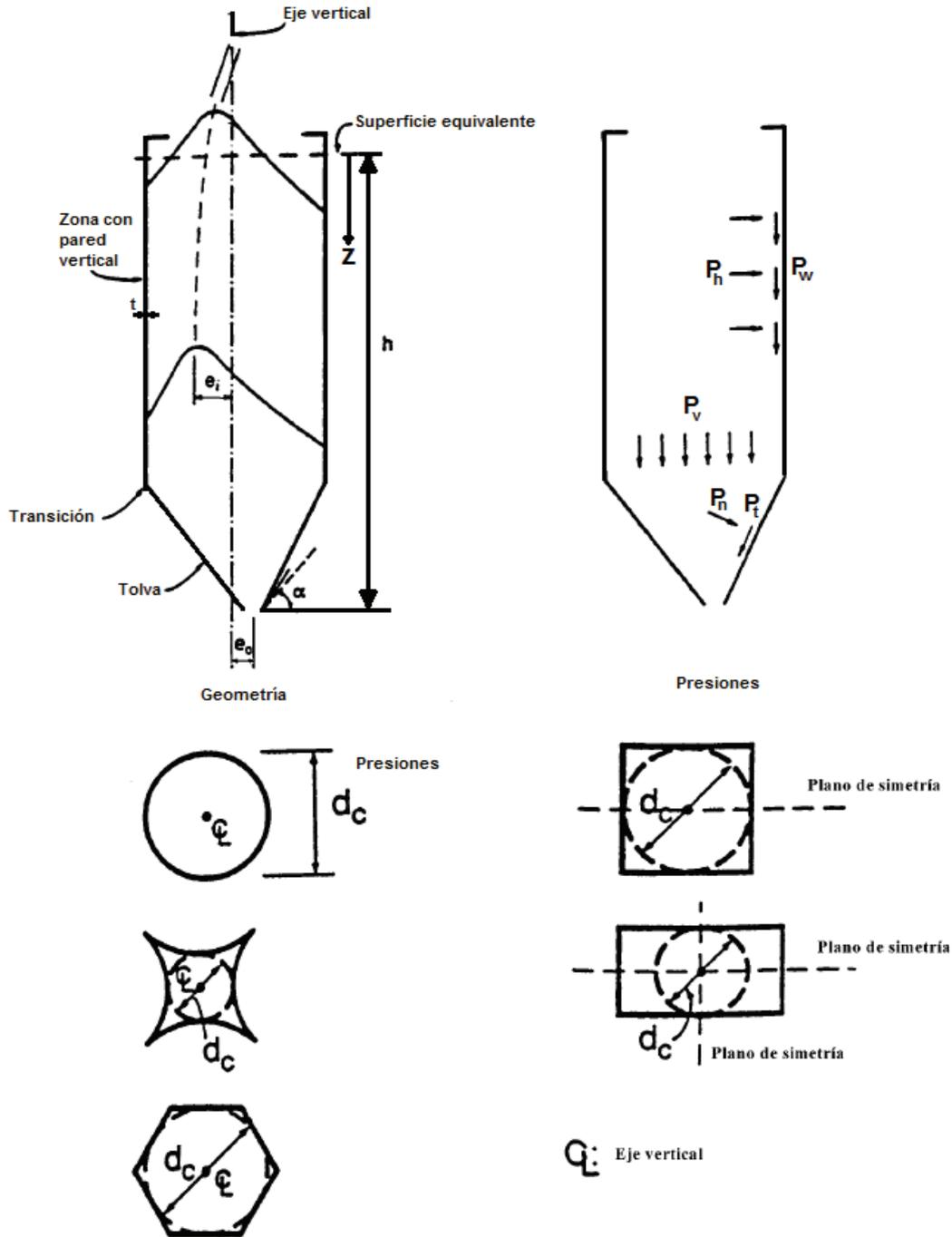
---

<sup>132</sup> “Bases de Proyecto y Acciones en Estructuras”; [en línea]; Euro códigos UNE-ENV1991-4; Parte 4: Acciones en silos y depósitos; Norma Europea Experimental; 1998; < [http://sirio.ua.es/cat/UNE-ENV\\_1991-4=1998.pdf](http://sirio.ua.es/cat/UNE-ENV_1991-4=1998.pdf)>; [Consulta: 27 de Julio de 2012].

$$\frac{H}{d_c} < 10 \tag{A-1}$$

$$H < 100 [m]$$

$$d_c < 50 [m]$$



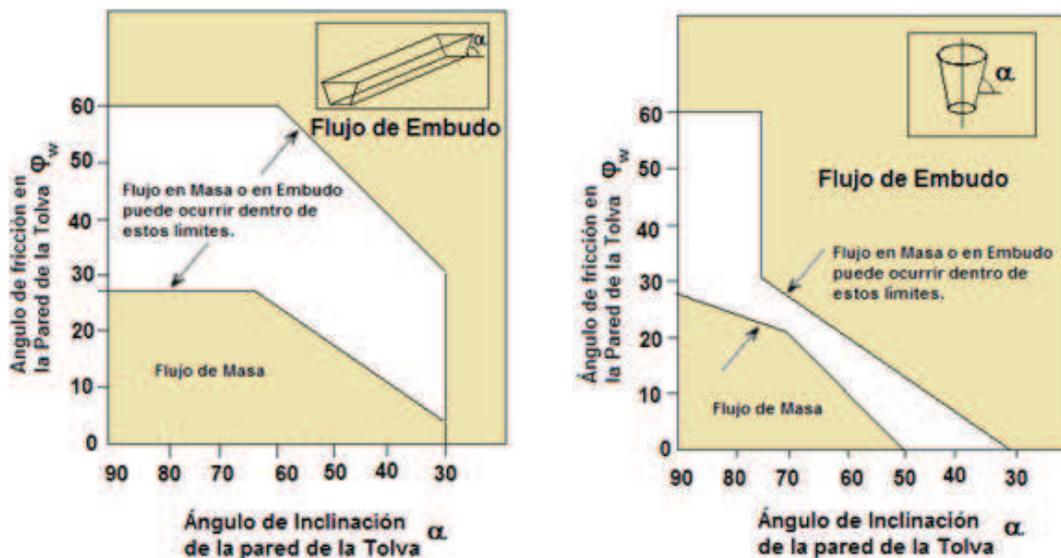
Forma de las secciones transversales

Figura A- 9: Forma de los silos, dimensiones y notación de las presiones

## CARGAS EN SILOS DEBIDAS A MATERIALES GRANULARES

Las cargas debidas a materiales almacenados dependen de:

- Las propiedades del material granular (Cemento).
- La variación en las condiciones de rozamiento de la superficie;
- La geometría del silo;
- Los métodos de llenado y vaciado.
- El tipo de flujo (flujo en masa o en embudo) se determinará según la figura A-10.



**Figura A- 10:** Límite entre el flujo en masa y en embudo en tolvas cónicas y en forma de cuña

- Para la determinación del tipo de flujo, el ángulo de rozamiento de la pared se puede obtener bien por medio de ensayos o bien mediante la siguiente fórmula, empleando los valores aproximados del coeficiente de rozamiento, dados en la tabla A-3 279.

$$\varphi_w = \arctan \mu_m \quad (\text{A- 2})$$

Los valores característicos para las presiones de llenado y vaciado para los siguientes tipos de silo en función de la relación (A-3), son:

$$\frac{h}{d_c} \quad (\text{A- 3})$$

- Silos esbeltos: silo en el que  $h/d_c \geq 1,5$ .
- Silos cortos: silo en el que  $h/d_c < 1,5$ .
- Silo circular de pared delgada: Silo de sección transversal circular sin rigidizadores en el que  $d_c/t \geq 200$ .
- Silos de homogeneización y silos de alta velocidad de llenado: Silo que contiene material fluidificado.

En el cálculo de las presiones se puede despreciar cualquier ayuda en las paredes del silo debida a la rigidez del material granulado. Esto significa, que la interacción entre la deformación de la pared y la carga del material almacenado se considera despreciable.

## SILOS ESBELTOS

Se deben utilizar como base para el cálculo de las siguientes cargas de proyecto:

- Presiones de llenado sobre la sección de paredes verticales.
- Presiones de llenado sobre fondos planos.
- Presiones de llenado sobre tolvas.
- Presiones de vaciado sobre la sección de paredes verticales.
- Presiones de vaciado sobre fondos planos y tolvas.

### Presiones de Llenado

Tras el llenado, los valores de la presión de rozamiento sobre la pared ( $p_{wf}$ ), la presión horizontal ( $p_{hf}$ ), y la presión vertical ( $p_v$ ) a cualquier profundidad, son:

$$P_{wf}(z) = \gamma \frac{A}{U} C_z(z) \quad (\text{A- 4})$$

$$P_{hf}(z) = \frac{\gamma A}{\mu U} C_z(z) \quad (\text{A- 5})$$

$$P_v(z) = \frac{\gamma A}{K_s \mu U} C_z(z) \quad (\text{A- 6})$$

Se tiene que:

$$C_z(z) = 1 - e^{(-z/z_0)} \quad (\text{A- 7})$$

$$Z_0 = \frac{A}{K_s \mu U} \quad (\text{A- 8})$$

Donde:

$\gamma$  = Densidad de la carga,  $\left[\frac{KN}{m^3}\right]$

$\mu$  = Coeficiente de rozamiento de la pared, [*adimensional*]

$K_s$  = Relación de presiones horizontal y vertical.

$z$  = Profundidad, [*m*]

$U$  = Perímetro interior, [*m*]

$A$  = Superficie de la sección transversal de la selección de paredes verticales, [*m*<sup>2</sup>]

La fuerza vertical resultante sobre una pared [ $P_w(z)$ ] por unidad de longitud del perímetro actuando a una profundidad  $Z$  es:

$$P_w(z) = \int_0^z P_{wf}(z) dz = \gamma \frac{A}{U} [Z - Z_0 C_z(z)] \quad (\text{A- 9})$$

### Sección de Paredes Verticales

La presión de llenado se compone de una presión fija y de una presión libre llamada carga local.

- La presión fija se calcula mediante las ecuaciones (A-10) y (A-11) pp. 275.
- La presión local ( $P_p$ ) se considera actuando sobre cualquier parte de la pared del silo, y se toma igual a:

$$P_p = 0,2 * \beta * P_{hf} \quad (\text{A- 10})$$

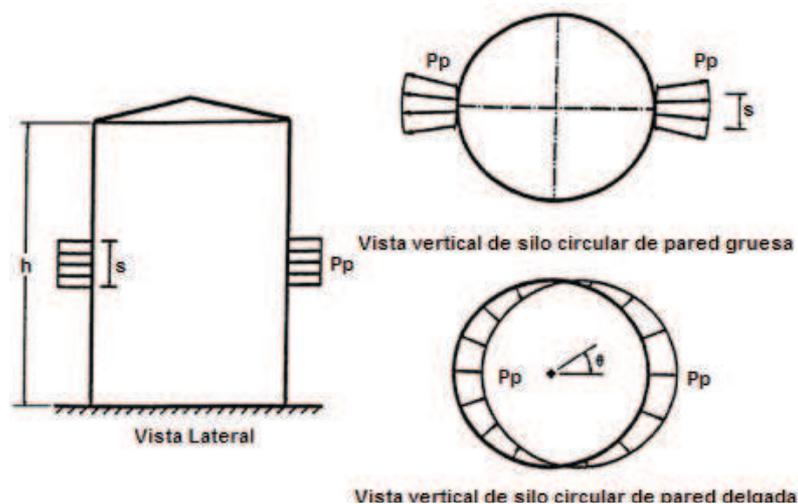
Se tiene:

$$\beta = 1 + 4 \frac{e_i}{d_c} \quad (\text{A- 11})$$

Donde  $e_i$  y  $d_c$  se definen en la figura A-11.

En silos de hormigón, silos con rigidizadores y silos de sección transversal no circular, la presión local se considerará actuando sobre dos superficies cuadradas opuestas de lado figura A-11, igual a:

$$s = 0,2 * d_c \quad (\text{A- 12})$$



**Figura A- 11:** Planta y alzado de la presión local

Generalmente, en los silos se puede emplear una aproximación simplificada para la aplicación de la presión local. Se puede proyectar para los esquemas de carga más desfavorables aplicando la presión local a la altura media del silo y utilizando el incremento porcentual de la tensión de la pared a esa altura para incrementar la tensión de las paredes en todo el silo.

En los silos circulares de pared delgada, la presión local se puede considerar actuando a una altura  $[s]$  pero extendiéndose desde una presión máxima  $[P_p]$  hacia afuera en un lado, hasta una presión hacia dentro  $[P_p]$  en el lado opuesto (figura A-11) la variación será:

$$P_{ps} = P_p \cos \theta \quad (\text{A- 13})$$

Donde:

$\theta$  = Es definido en la figura A-11 pp. 276.

La fuerza horizontal total  $[F_p]$  debida a la presión local en silos de acero no rigidizados se obtiene de:

$$F_p = \frac{\pi}{2} s * d_c * P_p \quad (\text{A- 14})$$

Se puede utilizar un método simplificado para la aplicación de la presión local sobre silos circulares de pared delgada. La presión local se puede considerar actuando a una profundidad  $[Z_o]$  bajo la superficie equivalente, o a la mitad de la altura de la sección de paredes verticales, tomando la posición más alta de la carga.

### Fondos Planos

Las presiones verticales actuantes sobre el fondo plano o liso de un silo (Inclinación  $\leq 20^\circ$ ) se calculan de la siguiente manera:

$$P_{vf} = C_b P_v \quad (\text{A- 15})$$

Donde:

$P_v$  = Se calcula mediante la expresión (A-6) pp. 274.

$C_b$  = Coeficiente de mayoración de la presión sobre el fondo, tomando en cuenta la desigual distribución de la carga, calculado por medio de la expresión:

$$C_b = 1,2$$

### Tolvas

Cuando  $\alpha > 20^\circ$  (figura A-12 pp. 277) la presión perpendicular a la pared inclinada de la tolva  $P_n$ , se calcula de la siguiente manera:

$$P_n = P_{n3} + P_{n2} + (P_{n1} - P_{n2}) \frac{x}{l_h} \quad (\text{A- 16})$$

$$P_{n1} = P_{v0} (C_b \cos^2 \alpha + \text{sen}^2 \alpha) \quad (\text{A- 17})$$

$$P_{n2} = C_b P_{v0} \cos^2 \alpha \quad (\text{A- 18})$$

$$P_{n3} = 3,0 \frac{A \gamma K_s}{U \sqrt{\mu}} \text{sen}^2 \alpha \quad (\text{A- 19})$$

Donde

$x$  = Longitud entre 0 y  $I_h$  (figura 2-11 pp. 275), [mm]

$P_{n1}, P_{n2}$  = Presión debida al llenado de la tolva, [kPa]

$P_{n3}$  = Presión debida a la presión vertical sobre el material almacenado directamente por encima de la transición, [kPa]

$C_b$  = Coeficiente de mayoración de la presión sobre el fondo.

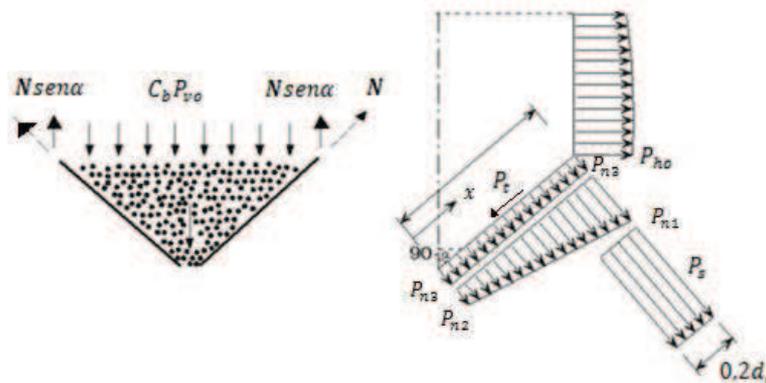
$P_{v0}$  = Presión vertical actuante en la transición, calculada por medio de la ecuación (A-6) pp. 274, [kPa]

El valor de la presión de rozamiento sobre la pared  $P_t$  se obtiene mediante:

$$P_t = P_n \mu \quad (\text{A- 20})$$

Donde:

$P_n$  = Se calcula por medio de la expresión (A-16) pp. 276.



**Figura A- 12:** Cargas en la tolva y fuerzas de tracción en la parte superior de la tolva

Para el proyecto de silos puede ser necesario conocer la componente vertical de la fuerza de tracción sobre la parte superior de la tolva (por ejemplo, para el proyecto de los soportes del silo, o de un anillo de refuerzo en la zona de transición). La componente vertical se calcula por medio del equilibrio de fuerzas, añadiendo una sobrecarga vertical [ $C_b P_{v0}$ ] calculada en el nivel de transición más el peso del contenido de la tolva (figura A-12).

## PRESIONES DE VACIADO

### Sección de Paredes Verticales

Las presiones de vaciado se componen de una presión fija y de una presión libre llamada presión local.

Las presiones fijas  $P_{we}, P_{he}$  se obtienen mediante las expresiones:

$$P_{we} = C_{wi}P_{wf} \quad (\text{A- 21})$$

$$P_{he} = C_h P_{hf} \quad (\text{A- 22})$$

Donde:

$C_{wi}$  y  $C_h$  = Son los coeficientes de mayoración de la presión, obtenidos en las expresiones (A-23) y (A-24).

En silos que no se carguen desde la parte superior (sin flujo) se tiene:

$$C_w = C_h = 1,0 \quad (\text{A- 23})$$

En el resto de silos esbeltos, los coeficientes de mayoración de la presión sobre las paredes y de la presión horizontal serán:

$$C_w = 1,1 \text{ y } C_h = C_0 \quad (\text{A- 24})$$

La magnitud de la presión local de vaciado  $P_p$  es:

$$P_p = 0,2 * \beta * P_{he} \quad (\text{A- 25})$$

Donde:

$P_{he}$  = Presión horizontal de vaciado

$\beta$  = Depende de la mayor de las excentricidades de llenado o de vaciado, la cual se calcula mediante:

$$\beta = 1 + 4 \frac{e}{d_c} \quad (\text{A- 26})$$

Para el cálculo de las presiones locales de vaciado se puede utilizar lo expuesto para el cálculo de las presiones locales de llenado.

### Fondos planos y tolvas

En silos con flujo en embudo, las presiones de vaciado sobre el fondo y sobre la tolva se pueden calcular aplicando lo expuesto para las presiones de llenado.

En silos con flujo en masa se aplica una presión perpendicular fija adicional (sobrepresión en la tolva  $P_s$ ), a una distancia inclinada de  $0,2 d_c$  a lo largo de la pared de la tolva alrededor del perímetro.

$$P_s = 2 * P_{h0} \quad (\text{A- 27})$$

Donde:

$P_{h0}$  = Es la presión horizontal de llenado en la transición.

## PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

### Propiedades de los materiales granulares

Las propiedades de los materiales granulares se determinarán empleando la aproximación simplificada, o por medio de ensayos. En la tabla A-3, se da el máximo coeficiente de mayoración de la presión [ $C_o$ ].

**Tabla A- 3:** Propiedades de los materiales granulados

Material granular	Densidad <sup>3)</sup> $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Relación de presiones ( $K_{1,m}$ )	Coeficiente de rozamiento de la pared $\mu_m$		Máximo coeficiente de mayoración de la presión $C_o$
			Acero <sup>4)</sup>	Hormigón	
cebada <sup>1)</sup>	8,5	0,55	0,35	0,45	1,35
cemento	16,0	0,50	0,40	0,50	1,40
clinker de cemento	18,0	0,45	0,45	0,55	1,40
arena seca <sup>2)</sup>	16,0	0,45	0,40	0,50	1,40
harina <sup>1)</sup>	7,0	0,40	0,30	0,40	1,45
ceniza volante <sup>2)</sup>	14,0	0,45	0,45	0,55	1,45
maíz <sup>1)</sup>	8,5	0,50	0,30	0,40	1,40
azúcar <sup>1)</sup>	9,5	0,50	0,45	0,55	1,40
trigo <sup>1)</sup>	9,0	0,55	0,30	0,40	1,30
carbón <sup>1), 2)</sup>	10,0	0,50	0,45	0,55	1,45

- 1) Este material puede provocar explosiones de polvo.
- 2) Se debe tener cuidado por la posible variación en las propiedades del material.
- 3) Las densidades se dan para el cálculo de presiones, y no deben emplearse para el cálculo de volúmenes.
- 4) No aplicable en paredes corrugadas.

### **Aproximación simplificada**

Tomando en cuenta la variabilidad inherente de las propiedades de los materiales granulares, y para obtener valores que representen las propiedades extremas de los materiales, se deben aplicar los factores de conversión 0,9 y 1,15 a los valores de  $\mu_m$  y  $K_{s,m}$ .

De este modo, para calcular las presiones máximas se emplearán las siguientes combinaciones:

Máx.  $P_h$  para  $K_s = 1,15 * K_{s,m}$  y  $\mu = 0,9 * \mu_m$

Máx.  $P_v$  para  $K_s = 0,9 * K_{s,m}$  y  $\mu = 0,9 * \mu_m$

Máx.  $P_w$  para  $K_s = 1,15 * K_{s,m}$  y  $\mu = 1,15 * \mu_m$

**Nota:** Para estructuras de membrana, las cargas mínimas (de soporte) pueden ser las cargas desfavorables.

**ANEXO 6**  
DISEÑO DEL CUESTIONARIO PARA LA  
ENCUESTA



### ENCUESTA

La presente encuesta se encuentra dirigida a las personas dedicadas a la producción de maíz duro en la zona amazónica ecuatoriana, para determinar: los factores que afectan a la producción y el costo por quintal en el mercado local.

Fecha: \_\_\_\_\_

Edad: \_\_\_\_\_

Ocupación: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_

**1. ¿Cuántas hectáreas siembra por cosecha?**

1 a 5 hectáreas \_\_\_\_\_ 5 a 10 hectáreas \_\_\_\_\_ 10 a más hectáreas \_\_\_\_\_

**2. ¿Cuántos quintales obtiene por cosecha?**

5 a 10 quintales \_\_\_\_\_ 10 a 15 quintales \_\_\_\_\_

15 a 20 quintales \_\_\_\_\_ 20 a más quintales \_\_\_\_\_

**3. ¿Cuál es el precio de maíz duro seco en el mercado local?**

5 a 10 dólares \_\_\_\_\_ 10 a 15 dólares \_\_\_\_\_ 15 a más dólares \_\_\_\_\_

**4. ¿En qué forma usted seca la producción de maíz?**

En la misma planta \_\_\_\_\_ En tendal \_\_\_\_\_ Con máquina secadora \_\_\_\_\_

**5. ¿Cuánto tiempo usted necesita para volver a sembrar en el terreno cosechado?**

1 a 7 días \_\_\_\_\_ 8 a 15 días \_\_\_\_\_ 15 a más días \_\_\_\_\_

**6. ¿Cuántas personas necesita para la cosecha del maíz?**

1 a 5 personas \_\_\_\_\_ 5 a 10 personas \_\_\_\_\_ 10 a más personas \_\_\_\_\_

**7. ¿Cuenta con electricidad en su lugar de trabajo y zonas aledañas a los terrenos de siembra?**

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

**8. ¿La electricidad con la que usted cuenta le permite trabajar con motores eléctricos?**

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

**9. ¿Cuál es el problema más importante que afecta al maíz ya cosechado?**

Humedad \_\_\_\_\_ Hongos \_\_\_\_\_ Insectos \_\_\_\_\_

**10. En su opinión, de acuerdo a su respuesta en la pregunta anterior, este problema:**

Causa mucho daño a la cosecha \_\_\_\_\_ Causa daño moderado a la cosecha \_\_\_\_\_

No daña la cosecha \_\_\_\_\_

**11. En la última cosecha con respecto a cosechas anteriores, ¿el precio del maíz?**

Aumentó \_\_\_\_\_ Disminuyó \_\_\_\_\_

**12. ¿En el caso de que el precio de maíz haya disminuido que acción toma usted?**

Siembra en menor cantidad \_\_\_\_\_ Contrata menor personal \_\_\_\_\_ Cambia de cultivo \_\_\_\_\_

**Gracias por su colaboración**

**ANEXO 7**  
**NÚMERO DE UPAs Y SUPERFICIE**  
**SEMBRADAS PARA LA PROVINCIA DE NAPO**

Tabla A- 4: Número de upas y superficie sembradas para la provincia del napo<sup>133</sup>

TABLA 3. NÚMERO DE UPAS Y SUPERFICIE EN HECTÁREAS POR PRINCIPALES CULTIVOS SOLOS (MONOCULTIVOS)

CANTÓN	PRINCIPALES CULTIVOS											
	ARROZ		MAÍZ DURO CHOCLO		MAÍZ DURO SECO		MAÍZ SUAVE CHOCLO		MAÍZ SUAVE SECO		YUCA	
	UPAs	Superficie sembrada	UPAs	Superficie sembrada	UPAs	Superficie sembrada	UPAs	Superficie sembrada	UPAs	Superficie sembrada	UPAs	Superficie sembrada
TOTAL NAPO	262	167	105	206	1.162	2.237	44	69	39	50	1.761	1.179
Tena	195	117	5	*	939	1.920	*	*	4	*	1.123	785
Archidona	*	*	63	112	108	163	15	*	18	*	522	341
El Chaco	.	.	26	57	43	*	17	47	5	*	21	*
Quijos	.	.	12	*	6	*	6	*	12	24	.	.
Carlos Julio Arosemena Tola	67	50	.	.	66	104	*	*	.	.	94	*

TABLA 18. NÚMERO DE UPAS POR TAMAÑOS Y SUPERFICIE SEMBRADA, SEGÚN CULTIVOS TRANSITORIOS SOLOS (MONOCULTIVOS)

CULTIVOS TRANSITORIOS SOLOS (MONOCULTIVOS)	TOTAL	TAMAÑOS DE UPA									
		Menos de 1 hectárea	De 1 hasta menos de 2 has.	De 2 hasta menos de 3 has.	De 3 hasta menos de 5 has.	De 5 hasta menos de 10 has.	De 10 hasta menos de 20 has.	De 20 hasta menos de 50 has.	De 50 hasta menos de 100 has.	De 100 hasta menos de 200 has.	De 200 hectáreas y más
		Hectáreas	3.967	*	50	100	16	324	280	1.678	1.125
UPAs	262	*	.	16	15	10	149	54	13	*	*
Arroz	167	*	.	*	*	102	32	46	4	*	*
Maíz duro choclo	105	.	.	.	.	12	9	34	46	4	.
Hectáreas	206	.	.	.	.	*	*	69	119	*	.
UPAs	1.162	5	3	13	60	138	116	470	267	85	5
Hectáreas	2.237	*	33	47	155	933	607	245	*	*	*
UPAs	44	.	.	.	.	16	24	*	*	.	.
Hectáreas	69	.	.	.	.	17	40	*	*	.	.
UPAs	39	.	.	.	.	24	10	*	*	.	.
Hectáreas	50	.	.	.	.	21	18	*	*	.	.
UPAs	1.761	17	34	25	91	228	211	692	375	85	3
Hectáreas	1.179	*	*	*	31	111	112	509	291	95	*
UPAs	292	85	*	*	*	7	26	111	33	19	7
Hectáreas	59	*	*	*	*	*	26	18	*	*	*

\* Datos ocultos en salvaguarda de la confiabilidad individual y confiabilidad estadísticas  
 III CENSO NACIONAL AGROPECUARIO-DATOS Napo  
 INEC-MAG-STCA ECUADOR

<sup>133</sup> "III Censo Nacional Agropecuario - Resultados Provinciales - Napo"; [en línea]; Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca SINAGAP; [http://www.magap.gov.ec/sinagap/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&id=237](http://www.magap.gov.ec/sinagap/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&id=237); [Consulta: 02 de mayo de 2012].

**ANEXO 8**  
**REALIZACIÓN DE LAS ENCUESTAS**



Figura A- 13: Fotos de la realización de las encuestas a los agricultores en su lugar de trabajo

**ANEXO 9**  
**PRODUCTOS DE LA COMPETENCIA PARA LA**  
**MÁQUINA SECADORA**



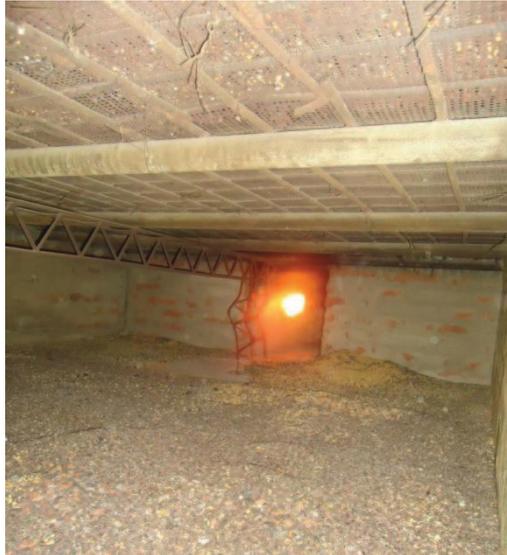
1. Cámara de combustión y mezclado de aire





2. Parte superior e inferior de la cámara de secado





### 3. Características del motor



### 4. Características del ventilador



Figura A- 14: Máquina artesanal<sup>134</sup>

<sup>134</sup>“ Máquina secadora artesanal”; Napo - Tena; Fotos; Fuente propia



## Secadora de Granos

### *Serie 75*

- Expandible
- 12" de Columnas de Grano
- Capacidades desde 12 MTPH hasta 51 MTPH



Camino al Cerrito # 1 Plaza Comercial "Los Mendoza" Local #29  
El Pueblito, Corregidora Querétaro México  
[www.comaiz.mx](http://www.comaiz.mx)

# 75 Series Spec Sheet

**75 SERIES GRAIN DRYERS**  
Capacities From 450 to 1,900 bushels/hour

MODELS	675	975	1075	1175	1195
<b>Dimensions</b>					
Length	24'	32'	35'	35'	35'
Height	17'-6"	17'-6"	22'-6"	25'-6"	33'-6"
Width	7'-5"	7'-5"	7'-5"	7'-5"	7'-5"
Width, including Platforms			8'-5"	8'-5"	8'-5"
Grain Column Width	12'	12'	12'	12'	12'
Grain Column Length	16'	24'	24'	24'	24'
<b>Weight, empty (lbs.)</b>					
	10,500	13,000	18,900	20,800	27,800
<b>Motor Sizes (H.P.)</b>					
Heat Fan(s)	(1) 15	(1) 20	(2) 20	(2) 20 & (1) 15	(2) 20 & (3) 15
Cooler Heat Fan	10	15	15	15	20
Level Auger	3	5	5	5	5
Discharge Auger	1.5	2	2	2	2
<b>Total Running Amps</b>					
230 Volts - 1 phase	141	199	281	N/A	N/A
208 Volts - 3 phase	100	136	190	231	329
230 Volts - 3 phase	91	126	176	214	304
460 Volts - 3 phase	46	63	88	107	152
575 Volts - 3 phase	37	50	70	85	120
<b>Burner Capacities (BTUs)</b>					
Normal Operating, Dry & Cool	3,132,250	3,880,250	7,760,500	10,892,750	17,157,250
Normal Operating, All Heat	5,142,500	7,012,500	10,892,750	14,025,000	21,037,500
Maximum	6,956,290	9,653,380	15,083,860	19,306,760	28,960,140
<b>Drying Capacities (bushels/hour)*</b>					
Shelled Corn (Dry & Cool) 20%-15%	450	670	1,070	1,280	1,900
Shelled Corn (Dry & Cool) 25%-15%	300	450	700	850	1,250
Shelled Corn (All Heat) 20%-15% **	725	1,080	1,725	2,064	3,064
Shelled Corn (All Heat) 22%-15% **	650	985	1,390	1,685	2,000
Shelled Corn (All Heat) 25%-15% **	550	810	1,150	1,400	1,700
Wheat (Dry & Cool) 17%-12%	440	650	1,040	1,250	1,850
Grain Sorghum (Dry & Cool) 20%-15%	400	585	940	1,125	1,625
<b>Total Holding Capacities (bushels)</b>					
	474	712	903	1,018	1,324

COMAIZ Camino al Cerrito # 1 Plaza Comercial "Los Mendoza" Local #29  
El Pueblito, Corregidora Querétaro México  
www.comaiz.mx

Figura A- 15: Máquina por catálogo<sup>135</sup>

<sup>135</sup> "Secadoras de Grano de Flujo Continuo Serie MC"; [en línea]; COMAIZ; México – México; <<http://www.comaiz.mx/descargas/Secadora-serie-75-MC.php>>; [Consulta: 17 de mayo de 2012]

**ANEXO 10**  
**CASA DE LA CALIDAD**

# **ANEXO 11**

## **MÓDULOS DE LA MÁQUINA**

**ANEXO 12**  
**VOLUMEN DE MAÍZ POR NIVEL**

Tabla A- 5: Volumen de maíz por nivel

Diámetro externo [mm]	Diámetro interno [mm]	Base pequeña			Base grande			Largo del caballete [mm]	Volumen de caballete [m <sup>3</sup> ]	Volumen de caballetes por nivel [m <sup>3</sup> ]	Área de la base del secador [m <sup>2</sup> ]	Altura de nivel [m]	Volumen del cilindro en un nivel [m <sup>3</sup> ]	Volumen de maíz por nivel [m <sup>3</sup> ]	Peso [qq]
		Número de caballetes	Lado del caballete [mm]	Área base pequeña [m <sup>2</sup> ]	Lado del caballete [mm]	Área base grande [m <sup>2</sup> ]									
1145	757	10	118,420	0,011	179,120	0,024	0,002	0,023	0,120	0,097	1,5				
		12	98,810	0,007	149,450	0,017	0,002	0,019	0,173	0,100	1,3				
		14	84,760	0,005	128,200	0,012	0,001	0,016	0,148	0,086	1,1				
		16	74,200	0,004	112,230	0,010	0,001	0,014	0,130	0,075	1,0				
		18	65,980	0,003	99,790	0,008	0,001	0,013	0,115	0,067	0,9				
		20	59,390	0,003	89,840	0,006	0,001	0,011	0,104	0,060	0,8				
1533	757	22	54,000	0,002	81,680	0,005	0,000	0,010	0,094	0,055	0,7				
		10	118,420	0,011	239,810	0,044	0,007	0,070	0,277	0,386	5,0				
		12	98,810	0,007	200,000	0,030	0,005	0,059	0,231	0,322	4,2				
		14	84,760	0,005	173,880	0,023	0,004	0,052	0,201	0,280	3,6				
		16	74,200	0,004	150,260	0,017	0,003	0,044	0,174	0,242	3,1				
		18	65,980	0,003	133,610	0,014	0,002	0,039	0,154	0,215	2,8				
1553	1145	20	59,390	0,003	120,280	0,011	0,002	0,044	0,139	0,194	2,4				
		22	54,000	0,002	109,360	0,009	0,001	0,032	0,126278	0,176	2,3				
		10	179,120	0,024	239,810	0,044	0,005	0,046	0,277	0,339	3,1				
		12	149,450	0,017	200,000	0,030	0,003	0,039	0,231	0,200	2,6				
		14	128,200	0,012	173,880	0,023	0,002	0,034	0,201	0,174	2,2				
		16	112,230	0,010	150,260	0,017	0,002	0,029	0,174	0,150	1,9				
1553	1145	18	99,790	0,008	133,610	0,014	0,001	0,026	0,154	0,133	1,7				
		20	89,840	0,006	133,610	0,000	0,001	0,023	0,139	0,120	1,5				
		22	81,680	0,005	109,360	0,009	0,001	0,021	0,126	0,109	1,4				

**ANEXO 13**  
**TIEMPO DE SECADO EN FUNCIÓN DEL**  
**NÚMERO DE PASADAS**

Tabla A- 6: Tiempo de secado en función del número de pasadas

TIEMPO DE REPOSO [min]	1 PASADA				2 PASADAS				3 PASADAS			
	No existe reposo				534,00				276,00			
VELOCIDAD DE SECADO [m/s]	Tiempo a vel. Constante [min]	Tiempo a vel. Decreciente [min]	Tiempo de Secado [min]	Tiempo Total [h]	Tiempo a vel. Constante [min]	Tiempo a vel. Decreciente [min]	Tiempo de Secado [min]	Tiempo Total [h]	Tiempo a vel. Constante [min]	Tiempo a vel. Decreciente [min]	Tiempo de Secado [min]	Tiempo Total [h]
0,90	3,2	35,3	38,5	9,55	3,3	16,2	19,5	9,55	3,4	10,5	13,9	9,90
0,95	3,1	34,6	37,7	9,54	3,3	15,8	19,1	9,54	3,3	10,3	13,6	9,88
1,00	3,1	33,9	37,0	9,53	3,2	15,6	18,8	9,53	3,2	10,1	13,4	9,87
1,25	2,8	31,3	34,1	9,48	2,9	14,3	17,3	9,48	3,0	9,3	12,3	9,82
1,50	2,6	29,2	31,9	9,44	2,8	13,4	16,1	9,44	2,8	8,7	11,5	9,78
1,75	2,5	27,6	30,1	9,41	2,6	12,6	15,2	9,41	2,6	8,2	10,9	9,74
2,00	2,4	26,3	28,6	9,38	2,5	12,0	14,5	9,38	2,5	7,8	10,3	9,72
2,25	2,3	25,1	27,4	9,36	2,4	11,5	13,9	9,36	2,4	7,5	9,9	9,70
2,50	2,2	24,2	26,4	9,35	2,3	11,1	13,4	9,35	2,3	7,2	9,5	9,68
2,75	2,1	23,3	25,5	9,33	2,2	10,7	12,9	9,33	2,2	7,0	9,2	9,66
3,00	2,0	22,6	24,7	9,32	2,1	10,4	12,5	9,32	2,2	6,7	8,9	9,65
3,25	2,0	21,9	23,9	9,30	2,1	10,1	12,1	9,30	2,1	6,5	8,6	9,63
3,50	1,9	21,4	23,3	9,29	2,0	9,8	11,8	9,29	2,0	6,4	8,4	9,62
3,75	1,9	20,8	22,7	9,28	2,0	9,5	11,5	9,28	2,0	6,2	8,2	9,61
4,00	1,8	20,3	22,2	9,27	1,9	9,3	11,2	9,27	1,9	6,1	8,0	9,60
4,25	1,8	19,9	21,7	9,27	1,9	9,1	11,0	9,27	1,9	5,9	7,8	9,59
4,50	1,8	19,5	21,2	9,26	1,8	8,9	10,7	9,26	1,9	5,8	7,7	9,58
4,60	1,7	19,3	21,0	9,26	1,8	8,8	10,7	9,26	1,8	5,8	7,6	9,58

4 PASADAS						5 PASADAS						6 PASADAS					
168,00						108,00						72,00					
Tiempo a vel. Constante [min]	Tiempo a vel. Decreciente [min]	Tiempo de Secado [min]	Tiempo Total [h]	Tiempo a vel. Constante [min]	Tiempo a vel. Decreciente [min]	Tiempo de Secado [min]	Tiempo Total [h]	Tiempo a vel. Constante [min]	Tiempo a vel. Decreciente [min]	Tiempo de Secado [min]	Tiempo Total [h]	Tiempo a vel. Constante [min]	Tiempo a vel. Decreciente [min]	Tiempo de Secado [min]	Tiempo Total [h]		
3,4	7,8	11,2	9,15	3,4	6,2	9,6	8,00	3,4	5,2	8,6	6,86	3,4	5,2	8,6	6,86		
3,3	7,7	11,0	9,13	3,3	6,1	9,4	7,99	3,4	5,1	8,4	6,84	3,4	5,1	8,4	6,84		
3,3	7,5	10,8	9,12	3,3	6,0	9,3	7,97	3,3	5,0	8,3	6,83	3,3	5,0	8,3	6,83		
3,0	6,9	9,9	9,06	3,0	5,5	8,5	7,91	3,0	4,6	7,6	6,76	3,0	4,6	7,6	6,76		
2,8	6,5	9,3	9,02	2,8	5,1	8,0	7,86	2,8	4,3	7,1	6,71	2,8	4,3	7,1	6,71		
2,7	6,1	8,8	8,98	2,7	4,9	7,5	7,83	2,7	4,0	6,7	6,67	2,7	4,0	6,7	6,67		
2,5	5,8	8,3	8,96	2,5	4,6	7,2	7,80	2,5	3,8	6,4	6,64	2,5	3,8	6,4	6,64		
2,4	5,6	8,0	8,93	2,4	4,4	6,9	7,77	2,4	3,7	6,1	6,61	2,4	3,7	6,1	6,61		
2,3	5,4	7,7	8,91	2,3	4,3	6,6	7,75	2,3	3,5	5,9	6,59	2,3	3,5	5,9	6,59		
2,2	5,2	7,4	8,89	2,3	4,1	6,4	7,73	2,3	3,4	5,7	6,57	2,3	3,4	5,7	6,57		
2,2	5,0	7,2	8,88	2,2	4,0	6,2	7,71	2,2	3,3	5,5	6,55	2,2	3,3	5,5	6,55		
2,1	4,9	7,0	8,86	2,1	3,9	6,0	7,70	2,1	3,2	5,3	6,53	2,1	3,2	5,3	6,53		
2,1	4,7	6,8	8,85	2,1	3,8	5,8	7,69	2,1	3,1	5,2	6,52	2,1	3,1	5,2	6,52		
2,0	4,6	6,6	8,84	2,0	3,7	5,7	7,67	2,0	3,0	5,1	6,51	2,0	3,0	5,1	6,51		
2,0	4,5	6,5	8,83	2,0	3,6	5,5	7,66	2,0	3,0	4,9	6,49	2,0	3,0	4,9	6,49		
1,9	4,4	6,3	8,82	1,9	3,5	5,4	7,65	1,9	2,9	4,8	6,48	1,9	2,9	4,8	6,48		
1,9	4,3	6,2	8,81	1,9	3,4	5,3	7,64	1,9	2,8	4,7	6,47	1,9	2,8	4,7	6,47		
1,9	4,3	6,1	8,81	1,9	3,4	5,3	7,64	1,9	2,8	4,7	6,47	1,9	2,8	4,7	6,47		

7 PASADAS					8 PASADAS				
48,00					30,00				
Tiempo a vel. Constante [min]	Tiempo a vel. Decreciente [min]	Tiempo de Secado [min]	Tiempo Total [h]	Tiempo a vel. Constante [min]	Tiempo a vel. Decreciente [min]	Tiempo de Secado [min]	Tiempo Total [h]		
3,4	4,4	7,8	5,71	3,4	3,8	7,3	4,47		
3,4	4,3	7,7	5,70	3,4	3,8	7,1	4,45		
3,3	4,2	7,5	5,68	3,3	3,7	7,0	4,43		
3,0	3,9	6,9	5,61	3,0	3,4	6,5	4,36		
2,8	3,6	6,5	5,56	2,8	3,2	6,0	4,30		
2,7	3,4	6,1	5,51	2,7	3,0	5,7	4,26		
2,6	3,3	5,8	5,48	2,6	2,9	5,4	4,22		
2,4	3,1	5,6	5,45	2,4	2,7	5,2	4,19		
2,3	3,0	5,4	5,43	2,4	2,6	5,0	4,17		
2,3	2,9	5,2	5,40	2,3	2,5	4,8	4,14		
2,2	2,8	5,0	5,39	2,2	2,5	4,7	4,12		
2,1	2,7	4,9	5,37	2,1	2,4	4,5	4,10		
2,1	2,7	4,7	5,35	2,1	2,3	4,4	4,09		
2,0	2,6	4,6	5,34	2,0	2,3	4,3	4,07		
2,0	2,5	4,5	5,33	2,0	2,2	4,2	4,06		
1,9	2,5	4,4	5,31	1,9	2,2	4,1	4,05		
1,9	2,4	4,3	5,30	1,9	2,1	4,0	4,04		
1,9	2,4	4,3	5,30	1,9	2,1	4,0	4,03		

**ANEXO 14**  
**TORNILLO SIN FIN**

## TABLAS PARA LA SELECCIÓN DEL MATERIAL DEL TORNILLO SIN FIN

**Tabla A- 7:** Tabla de Características generales<sup>136</sup>

DESCRIPCIÓN	I	II	III
Abrasividad	No Abrasivo	Ligeramente Abrasivo	Muy Abrasivo
Corrosividad	No Corrosivo	Ligeramente Corrosivo	Muy Corrosivo
Fluidez	Fluido	Relativamente Fluido	Lento
	Ángulo de Reposo		
	Hasta 30°	30°-40°	Mayores a 45°

**Tabla A- 8:** Tabla de capacidad para los transportadores cargado el 95%

CLASE DE MATERIAL Y PORCENTAJE DE LLENADO DEL TORNILLO	DIÁMETRO DEL TORNILLO [in]	VELOCIDAD MÁXIMA RECOMENDADA [RPM]	CAPACIDAD A 1 RPM $\left[\frac{ft^3}{h}\right]$
I 45	6	165	2,27
	9	150	8,0
	12	140	19,3
	14	130	30,8
	16	120	46,6
	18	115	66,1
	20	105	95,0

<sup>136</sup> "Material Characteristics"; [en línea]; Screw Conveyor Engineering Guide (Desing Engineering Manufacturin); 2011; <<http://www.kwsmfg.com/engineering-guide/materialchar.htm>>; [Consulta: 12 de Julio de 2012]

Tabla A- 9: Propiedades del material a transportar.<sup>137</sup>

Material	Maximum Particle Size (IN.)	Average Weight Per Cu.Ft.	Loading	H.P. Factor	Component Series	Abrasiveness	Corrosiveness	Flowability	Note
Calcine, flour	-100M	75-85	30A	0.7	A2	I	I	II	
Calcium Carbide	+1/2	70-80	30B	1.6	B4	II	I	II	1
Copper Ore	+ 1/2	120-150	15	4.0	D4	III	I	II	
Copper Sulfate	+ 1/2	60-70	30A	0.6	B1	I	I	II	•
Copperas (Ferrous Sulfate)	-1/2	50-75	30B	1.0	B4	II	I	II	
Copra	+ 1/2	22-33	30A	1.0	B1	I	I	II	
Copra, cake	+ 1/2	25-30	30A	0.7	B1	I	I	II	
Copra, cake, ground	-1/8	40-45	30A	0.7	A2	I	I	II	
Copra, meal	-1/8	40-45	30A	0.7	A2	I	I	II	
Cork, ground	-1/8	5-15	30A	0.5	A2	I	I	III	
Cork, granulated	-1/2	5-15	30A	0.4	A2	I	I	III	
Corn, cracked	-1/2	40-50	30A	0.7	A2	I	I	II	
Corn, seed	-1/4	45	45	0.4	A2	I	I	I	1, 6
Corn, shelled	-1/4	45	45	0.4	A2	I	I	I	1
Corn, germ	-1/8	21	30A	0.4	A2	I	I	II	
Corn, grits	-1/8	40-45	30A	0.5	A2	I	I	II	
Corn, sugar	-1/8	31	30A	1.0	A2	I	I	II	
Corn, meal	-1/8	32-40	30A	0.5	A2	I	I	II	
Cottonseed, dry, delinted	-1/4	22-40	30A	0.9	A2	I	I	II	
Cottonseed, dry, undelinted	-1/4	18-25	30A	0.8	A2	I	I	III	

<sup>137</sup> "Materials Table"; [en línea]; Screw Conveyor Engineering Guide (Desing Engineering Manufacturin); 2011; < www.kwsfmfg.com/engineering-guide/c\_materialtable.htm>; [Consulta: 12 de Julio de 2012]

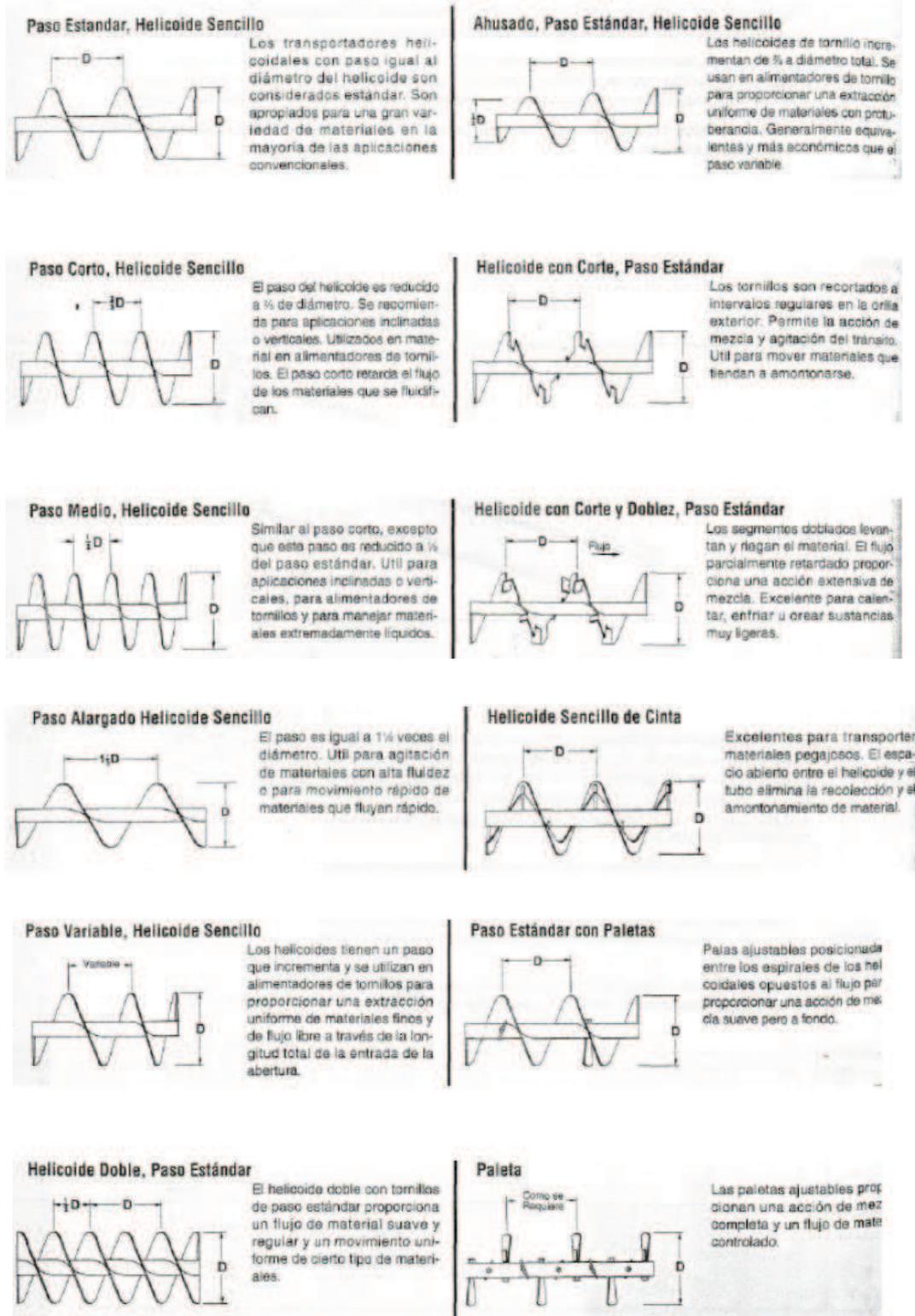


Figura A- 16: Tipos de hélices y sus aplicaciones<sup>138</sup>

<sup>138</sup> Buzzi, F., Gusmeroli, D.; "Generalidades en el diseño del tornillo transportador"; [en línea]; Máquinas y Equipos Industriales de Elevación y Transporte; Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Resistencia; 2009; <<http://es.scribd.com/doc/24729435/46/Generalidades-en-el-diseno-del-tornillo-transportador>>; [Consulta: 13 de Julio de 2012]

**ANEXO 15**  
**CATÁLOGOS DE ACEROS DIPAC**

PERFIL ESTRUCTURAL CANAL EN U

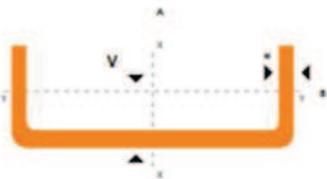
CANALES "U"



### PERFILES ESTRUCTURALES CANALES "U"

#### Especificaciones Generales

- Norma:** INEN 1 623: 2000
- Otras calidades:** Previa consulta
- Largo normal:** 6mts
- Otros largos:** Previa consulta
- Espesores:** Desde 1.5mm hasta 12mm
- Acabado:** Natural
- Otro acabado:** Previa consulta



DIMENSIONES			PESOS			TIPOS						
A	B	e	6 metros		SECCION	EJE X-X			EJE Y-Y			
mm	mm	mm	kg	kg	cm <sup>2</sup>	I	W	I	I	W	I	x
mm	mm	mm	kg	kg	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm
40	25	2	7.86	1.31	1.67	4.20	2.10	1.59	1.06	0.62	0.80	0.79
50	25	2	8.82	1.47	1.87	7.06	2.83	1.94	1.13	0.63	0.78	0.72
50	25	3	12.72	2.12	2.70	9.70	3.88	1.89	1.57	0.91	0.76	0.77
60	30	2	10.62	1.77	2.26	12.50	4.16	2.35	2.00	0.93	0.94	0.85
60	30	3	15.54	2.59	3.30	17.50	5.85	2.31	2.84	1.34	0.93	0.89
60	30	4	19.80	3.30	4.20	21.10	7.03	2.24	3.51	1.72	0.91	0.95
80	40	2	14.40	2.41	3.07	30.80	7.71	3.17	4.89	1.68	1.20	1.09
80	40	3	21.24	3.54	4.50	43.90	11.00	3.12	7.01	2.45	1.25	1.14
80	40	4	27.06	4.61	5.87	55.40	13.90	3.07	8.92	3.17	1.23	1.19
80	40	5	34.44	5.74	7.18	65.49	16.37	3.02	10.62	3.83	1.21	1.23
80	40	6	40.44	6.74	8.42	74.18	18.54	2.96	12.10	4.44	1.19	1.28
100	50	2	18.24	3.04	3.87	61.50	12.30	3.99	9.72	2.00	1.58	1.34
100	50	3	26.88	4.48	5.70	88.50	17.70	3.94	14.10	3.89	1.57	1.39
100	50	4	35.22	5.87	7.47	113.00	22.60	3.89	18.10	5.07	1.56	1.44
100	50	5	43.20	7.20	9.18	135.00	27.10	3.84	21.80	6.19	1.53	1.48
100	50	6	51.96	8.66	10.82	155.26	31.05	3.79	25.14	7.24	1.52	1.53
100	60	4	38.28	6.38	8.13	128.00	25.60	3.97	29.70	7.17	1.91	1.86
100	60	5	46.86	7.81	9.95	152.00	30.50	3.91	35.70	8.76	1.90	1.92
100	60	6	57.72	9.62	12.02	181.80	36.36	3.89	42.25	10.38	1.87	1.93
100	60	8	74.40	12.40	15.50	22.60	44.52	3.78	52.47	13.32	1.83	2.06
125	50	2	20.58	3.43	4.37	103.60	16.50	4.86	10.40	2.74	1.54	1.20
125	50	3	30.42	5.07	6.45	149.00	23.90	4.81	15.10	4.02	1.53	1.24
125	50	4	39.90	6.65	8.47	192.00	30.70	4.76	19.40	5.24	1.51	1.29
125	50	5	49.14	8.19	10.40	231.00	37.00	4.71	23.40	6.40	1.50	1.34
125	50	6	59.16	9.86	12.32	266.00	42.67	4.65	27.19	7.51	1.48	1.38
125	60	5	53.82	8.97	11.43	266.98	42.71	4.83	39.36	9.15	1.86	1.70
125	60	6	64.92	10.82	13.52	309.25	49.48	4.78	45.85	10.78	1.84	1.75
125	60	8	84.00	14.00	17.50	383.34	61.33	4.68	57.30	13.94	1.80	1.81
125	80	6	76.44	12.74	15.92	394.28	63.08	4.97	102.94	19.10	2.54	2.61
125	80	8	99.30	16.53	20.69	493.02	78.88	4.88	130.27	24.30	2.50	2.64
125	80	10	120.96	20.16	25.21	576.62	92.25	4.78	154.19	29.31	2.47	2.74
150	50	2	22.92	3.82	4.87	159.00	21.10	5.71	10.90	2.80	1.50	1.09
150	50	3	33.96	5.66	7.20	230.00	30.70	5.65	15.90	4.11	1.49	1.13
150	50	4	44.64	7.44	9.47	297.60	39.60	5.60	20.50	5.36	1.47	1.17
150	50	5	55.02	9.17	11.70	359.00	47.90	5.55	24.80	6.55	1.46	1.22
150	50	6	66.36	11.06	13.82	416.69	55.55	5.49	28.80	7.70	1.44	1.26
150	60	5	59.70	9.95	12.68	441.85	54.91	5.7	41.72	9.40	1.81	1.56
150	60	6	72.12	12.02	15.02	478.93	63.85	5.64	48.70	11.07	1.80	1.60
150	60	8	93.60	15.60	19.50	598.74	79.83	5.54	61.15	14.35	1.77	1.74
150	80	6	83.64	13.94	17.42	603.42	80.45	5.88	109.91	19.73	2.51	2.43
150	80	8	108.90	18.15	22.69	760.23	101.36	5.78	139.53	25.09	2.47	2.44
150	80	10	132.96	22.16	27.71	896.29	119.50	5.68	165.85	30.37	2.44	2.54

También en galvanizado e inoxidable

2

PBR. (R2) 2293 738 / Quito - Ecuador [www.dipacmanta.com](http://www.dipacmanta.com)

Figura A- 17: Perfiles estructural canal en U<sup>139</sup>

<sup>139</sup> "Catálogo de acero"; DIPAC; pp. 2; <<http://www.mediafire.com/?m5zu2tqx4um>>; [Consulta: 23 de octubre de 2012]

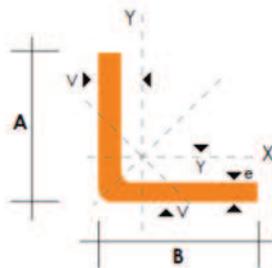
## ÁNGULOS NACIONALES



### PERFILES ESTRUCTURALES

### ANGULOS "L" DOBLADO

#### Especificaciones Generales



**Norma:** INEN 1 623: 2000  
**Otras calidades:** Previa consulta  
**Largo normal:** 6,00 m  
**Otros largos:** Previa consulta  
**Espesores:** Desde 1,5 hasta 12 mm  
**Acabado:** Natural  
**Otra acabada:** Previa consulta

DIMENSIONES			PESOS			SECCION	EJE X-X = EJE Y-Y		EJE U-U	EJE V-V	
A	B	e	6 metros	1 metro	I		W	i			X=Y
mm	mm	mm	Kg	Kg	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm	cm	cm
25	25	2	4.38	0.73	0.93	0.57	0.32	0.78	0.72	0.99	0.47
25	25	3	6.36	1.06	1.35	0.79	0.44	0.76	0.77	0.98	0.44
30	30	2	5.34	0.89	1.13	1.00	0.46	0.94	0.84	1.20	0.58
30	30	3	7.80	1.30	1.65	1.41	0.67	0.92	0.89	1.18	0.55
30	30	4	10.08	1.68	2.14	1.80	0.88	0.92	0.94	1.17	0.52
40	40	2	7.20	1.20	1.53	2.44	0.84	1.26	1.09	1.61	0.78
40	40	3	10.62	1.77	2.25	3.50	1.22	1.25	1.14	1.59	0.76
40	40	4	13.86	2.31	2.94	4.46	1.58	1.23	1.19	1.58	0.78
40	40	5	19.62	2.82	3.59	5.31	1.91	1.22	1.23	0.73	0.73
50	50	2	9.12	1.52	1.93	4.86	1.33	1.58	1.34	2.01	0.98
50	50	3	13.44	2.24	2.85	7.03	1.95	1.57	1.39	2.00	0.96
50	50	4	17.64	2.94	3.74	9.04	2.53	1.56	1.43	1.98	0.94
50	50	5	21.60	3.60	4.59	10.88	3.09	1.54	1.48	1.97	0.93
50	50	6	25.92	4.32	5.40	12.57	3.62	1.53	1.53	1.96	0.90
60	60	3	16.26	2.71	3.45	12.37	2.84	1.89	1.64	2.41	1.16
60	60	4	21.36	3.56	4.54	16.00	3.71	1.88	1.68	2.39	1.15
60	60	5	26.34	4.39	5.59	19.40	4.54	1.86	1.73	2.38	1.13
60	60	6	31.68	5.28	6.60	22.56	5.35	1.85	1.78	2.37	1.11
60	60	8	41.04	6.84	8.55	28.21	6.85	1.82	1.88	2.34	1.05
75	75	3	19.56	3.26	4.35	24.60	4.48	2.38	2.01	3.02	1.48
75	75	4	27.06	4.51	5.74	32.02	5.88	2.36	2.06	3.00	1.45
75	75	5	33.42	5.57	7.09	39.08	7.25	2.35	2.11	2.99	1.43
75	75	6	40.32	6.72	8.40	45.76	8.57	2.33	2.16	2.97	1.40
75	75	8	52.56	8.76	10.95	58.03	11.05	2.30	2.25	2.95	1.37
75	75	10	64.92	10.82	13.36	68.89	13.38	2.27	2.35	2.92	1.32
80	80	4	28.92	4.82	6.14	39.10	6.72	2.52	2.18	3.21	1.56
80	80	5	35.76	5.96	7.59	47.79	8.28	2.51	2.23	3.20	1.54
80	80	6	43.20	7.20	9.00	56.05	9.80	2.49	2.28	3.18	1.51
80	80	8	56.40	9.40	11.75	71.32	12.67	2.46	2.37	3.16	1.46
80	80	10	68.94	11.49	14.36	84.94	15.36	2.43	2.47	3.13	1.43
80	80	12	81.78	13.63	16.83	97.05	17.87	2.40	2.57	3.10	1.38

También en galvanizado e inoxidable - Medidas Especiales Bajo Pedido.

6

PBK: (02) 2293 750 / Quito - Ecuador [www.dipacmanta.com](http://www.dipacmanta.com)

Figura A- 18: Perfiles estructurales: Ángulo "L" doblado<sup>140</sup>

<sup>140</sup> "Catálogo de acero"; DIPAC; pp. 6; <<http://www.mediafire.com/?m5zu2tqx4um>>; [Consulta: 23 de octubre de 2012]

## PERFILES IMPORTADOS ÁNGULOS

ANGULOS



### PERFILES IMPORTADOS ANGULOS

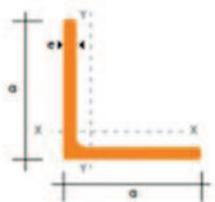
**Especificaciones Generales**

<b>Calidad</b>	ASTM A 36 SAE 1008
<b>Otras calidades</b>	Previa Consulta
<b>Largo normal</b>	6,00 m
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Acabado</b>	Natural
<b>Otro acabado</b>	Previa Consulta



DENOMINACION	DIMENSIONES		PESO		AREA
	mm		kg/m	kg/6m	cm2
	a	e			
AL 20X2	20	2	0.60	3.62	0.76
AL 20X3	20	3	0.87	5.27	1.11
AL 25X2	25	2	0.75	4.56	0.96
AL 25X3	25	3	1.11	6.68	1.41
AL 25X4	25	4	1.45	8.75	1.84
AL 30X3	30	3	1.36	8.13	1.71
AL 30X4	30	4	1.77	10.63	2.24
AL 40X3	40	3	1.81	11.00	2.31
AL 40X4	40	4	2.39	14.34	3.04
AL 40X6	40	6	3.49	21.34	4.44
AL 50X3	50	3	2.29	13.85	2.91
AL 50X4	50	4	3.02	18.33	3.84
AL 50X6	50	6	4.43	26.58	5.64
AL 60X6	60	6	5.37	32.54	6.84
AL 60X8	60	8	7.09	42.54	9.03
AL 65X6	65	6	5.84	35.25	7.44
AL 70X6	70	6	6.32	38.28	8.05
AL 75X6	75	6	6.78	40.65	8.64
AL 75X8	75	8	8.92	54.18	11.36
AL 80X8	80	8	9.14	55.60	11.60
AL 100X6	100	6	9.14	56.95	11.64
AL 100X8	100	8	12.06	74.05	15.36
AL 100X10	100	10	15.04	90.21	19.15
AL 100X12	100	12	18.26	109.54	22.56

También en galvanizado e inoxidable



8      PBL 1821 2293 708 / Quito - Ecuador      [www.dipacmonta.com](http://www.dipacmonta.com)

Figura A- 19: Ángulos<sup>141</sup>

<sup>141</sup> “Catálogo de acero”; DIPAC; pp. 8; <<http://www.mediafire.com/?m5zu2tqx4um>>; [Consulta: 23 de octubre de 2012]

## PERFILES LAMINADOS IPE



**DIPAC**<sup>®</sup>  
PRODUCTOS DE ACERO

**DISEÑOS**  
SERVICIOS

## PERFILES LAMINADOS IPE

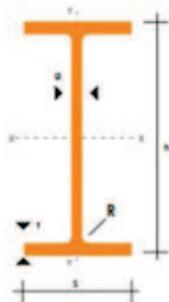
### Especificaciones Generales

Calidad	ASTM A 36
Otras calidades	Previa Consulta
Long normal	6.00m y 12.00m
Otros largos	Previa Consulta
Acabado	Natural
Otro acabado	Previa Consulta



**IPE**

DENOMINACION	DIMENSIONES					SECCION cm <sup>2</sup>	PESOS kg/mt	TIPOS			
	h mm	s mm	g mm	t mm	R mm			lx cm <sup>4</sup>	ly cm <sup>4</sup>	Wx cm <sup>3</sup>	Wy cm <sup>3</sup>
IPE 80	80	46	3.80	5.20	5	7.64	6.00	80	8.49	20.00	3.69
IPE 100	100	55	4.10	5.70	5	10.30	8.10	171	15.90	34.20	5.79
IPE 120	120	64	4.40	6.30	5	13.20	10.40	318	27.70	53.00	8.65
IPE 140	140	73	4.70	6.90	7	16.40	12.90	541	44.90	77.30	12.30
IPE 160	160	82	5.00	7.40	7	20.10	15.80	869	68.30	109.00	16.70
IPE 180	180	91	5.30	8.00	7	23.90	18.80	1320	101.00	140.00	22.20
IPE 200	200	100	5.60	8.50	9	28.50	22.40	1940	142.00	194.00	28.50
IPE 220	220	110	5.90	9.20	9	33.40	26.20	2770	205.00	252.00	37.30
IPE 240	240	120	6.20	9.80	12	39.10	30.70	3890	284.00	324.00	47.30
IPE 270	270	135	6.60	10.20	12	45.90	36.10	5790	420.00	429.00	62.20
IPE 300	300	150	7.10	10.70	15	53.80	42.20	8360	604.00	557.00	80.50
IPE 330	330	160	7.50	11.50	15	62.60	49.10	11770	788.00	713.00	98.50
IPE 360	360	170	8.00	12.70	118	72.70	57.10	16270	1040.00	904.00	123.00
IPE 400	400	180	8.60	13.50	118	84.50	63.30	23130	1320.00	1160.00	146.00
IPE 450	450	190	9.40	14.60	21	98.80	77.70	33740	1680.00	1500.00	176.00
IPE 500	500	200	10.20	16.00	21	116.00	90.70	48200	2140.00	1930.00	214.00
IPE 550	550	210	11.10	17.20	24	134.00	106.00	67120	2670.00	2440.00	254.00



www.dipacmanta.com

FON. (02) 2283 706 / QUITA - Ecuador

11

Figura A- 20: Perfiles laminados IPE<sup>142</sup>

<sup>142</sup> "Catálogo de acero"; DIPAC; pp. 11; <<http://www.mediafire.com/?m5zu2tqx4um>>; [Consulta: 23 de octubre de 2012]

## PLANCHA LAMINADA EN CALIENTE




**PLANCHAS LAMINADAS AL CALIENTE**

**Especificaciones Generales**

**Norma:** Ver ficha

**Espesores:** 1.20mm a 100.00mm

**Roller:** Ancho 1000mm, 1220mm, 1500mm, 1800mm

**Planchas:** 4 x 8 pies y a medida.



PLANCHAS

**Calidad Comercial**

NORMA	COMPOSICION QUIMICA							PROPIEDADES MECANICAS			NORMA EQUIVALENTE
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%AL	%CU	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	
JIS G3131 SPHC	0.08 0.13	0.3 0.6	0.02 max	0.025 max	0.05 max	0.02 0.08	0.2 max	270 min	29 min	0=0e	SAE 1010 ASTM A-369
SAE 1008	0.03 0.1	0.25 0.5	0.02 max	0.025 max	0.04 max	0.02 0.06	0.2 max				JIS G3132 SPHT1
SAE 1012	0.1 0.15	0.3 0.6	0.02 max	0.025 max	0.03 max	0.02 0.06	0.2 max				ASTM A-635 ASTM A-570 GRADO 33

**Calidad Estructural**

NORMA	COMPOSICION QUIMICA							OTROS:	PROPIEDADES MECANICAS				NORMA EQUIVALENTE
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%CU	Fuerza (Mpa)		Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°		
ASTM A-588M GRADO A	0,19 max	0,8 1,25	0,04 max	0,05 max	0,3 0,6	0,25 0,40	Ni 0.15-0.35 Cr 0.40-0.65 V 0.02-0.10	345 min	485 min	18 min			
ASTM A-283 GRADO C	0,12 0,18	0,3 0,6	0,025 max	0,03 max	0,04 max	0,2 max		205 min	380 515 max	25 min	0=1.5e	SAE 1015	
JIS G-3101 SS41 M	0,17 0,23	0,3 0,6	0,025 max	0,025 max	0,04 max	0,25 max		250 min	400 min 550 max	21 min		SAE 1020 ASTM A-36 ASTM A-570 GRADO 36	
A 36	0,25 0,29	0,80 1,2	0,04 max	0,05 max	0,4 max	0,20 max		250 min	400 min 550 max	20 min			
A570-GR50	0,25	1,35 max	0,035 max	0,04 max				340 min	450 min 550 max	17 min	1-1/2e		



[www.dipacmanta.com](http://www.dipacmanta.com)

19

Figura A- 21: Lámina galvanizada<sup>143</sup>

<sup>143</sup> "Catálogo de acero"; DIPAC; pp. 19; <<http://www.mediafire.com/?m5zu2tx4um>>; [Consulta: 23 de octubre de 2012]

## TUBERIAS GALVANIZADAS PARA LA CONSTRUCCION DEL EJE DEL TORNILLO SIN FIN



**DIPAC**  
PRODUCTOS DE ACERO

**TSC**

**TUBERIA PARA VAPOR**  
**TUBERIA SIN COSTURA Y ACCESORIOS**  
**CEDULA 80**

**Especificaciones Generales**

<b>Norma:</b>	ASTM - A 53 Gr B para conducción de fluidos
<b>Recubrimiento:</b>	Negro o galvanizado
<b>Largo normal:</b>	6.00 m
<b>Otros largos:</b>	Previa Consulta



NOMINAL	DIAMETRO		ESPESOR		PRESION/PRUEBA		PESO kg/m
	EXTERIOR		e		kg/cm2	lb/pulg2	
	mm	pulg	mm	pulg			
1/4"	13.70	0.54	3.02	0.11	60	850	0.80
3/8"	17.10	0.37	3.20	0.12	60	850	1.10
1/2"	21.30	0.84	3.73	0.14	60	850	1.62
3/4"	26.70	1.05	3.91	0.15	60	850	2.19
1"	33.40	1.31	4.55	0.17	60	850	3.23
1 1/4"	42.20	1.66	4.85	0.19	134	1900	4.47
1 1/2"	48.30	1.90	5.08	0.20	176	2500	5.41
2"	60.30	2.37	5.54	0.21	176	2500	7.48
2 1/2"	73.00	2.87	7.01	0.27	176	2500	11.41
3"	88.90	3.50	7.62	0.30	176	2500	15.27
4"	114.30	4.50	8.56	0.33	197	2800	22.31
6"	168.30	6.62	10.97	0.43	193	2740	42.56

Composición Química	Máximo porcentaje
Carbon	0.3
Manganeso	1.2
Fósforo	0.05
Azufre	0.06

30

PBX: (02) 2283 750 / Quito - Ecuador [www.dipacmanta.com](http://www.dipacmanta.com)

Figura A- 22: Tubería para el eje del tornillo sin fin <sup>144</sup>

<sup>144</sup> "Catálogo de acero"; DIPAC; pp. 30; <<http://www.mediafire.com/?m5zu2tqx4um>>; [Consulta: 23 de octubre de 2012]

## TUBO CUADRADO EN ACERO INOXIDABLE



**DIPAC**<sup>®</sup>  
PRODUCTOS DE ACERO



### TUBO CUADRADO EN ACERO INOXIDABLE

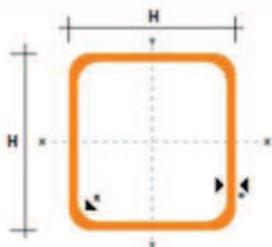
#### Especificaciones Generales

Norma	AISI 304
Largo normal	6mts
Otros largos	Previa consulta
Dimensiones	Desde 1/2" a 2"
Espesor	Desde 0.6 a 2.0 mm



INOXIDABLE

Pulg.	DIMENSIONES		PESO	EJES X-X E Y-Y			
	H	e		AREA	EJES X-X E Y-Y		
	mm.	mm	Kg/6m	A	I	W	I
1/2	12	0.60	1.32	0.27	0.06	0.10	0.47
		0.75	1.86	0.32	0.07	0.12	0.47
		0.95	2.28	0.40	0.08	0.13	0.45
5/8	15	0.60	1.74	0.35	0.12	0.16	0.59
		0.75	2.16	0.41	0.14	0.19	0.58
		0.95	2.70	0.51	0.16	0.21	0.56
3/4	20	0.60	2.22	0.47	0.29	0.29	0.79
		0.75	2.88	0.56	0.34	0.34	0.78
		0.95	3.60	0.70	0.41	0.41	0.77
		1.10	4.20	0.80	0.47	0.47	0.77
		1.50	5.64	1.05	0.58	0.58	0.74
1	25	0.75	3.60	0.71	0.69	0.55	0.99
		0.95	4.50	0.89	0.84	0.67	0.97
		1.10	5.22	1.02	0.95	0.76	0.97
		1.50	7.08	1.35	1.21	0.97	0.95
1 1/4	30	0.95	5.40	1.08	1.50	1.00	1.18
		1.10	6.24	1.24	1.70	1.13	1.17
		1.50	8.46	1.65	2.19	1.47	1.15
1 1/2	40	0.95	7.20	1.46	3.68	1.84	1.59
		1.10	4.34	1.68	4.20	2.10	1.58
		1.50	11.28	2.25	5.48	2.74	1.56
2	50	1.50	14.04	2.85	11.06	4.42	1.97



#### NOMENCLATURA

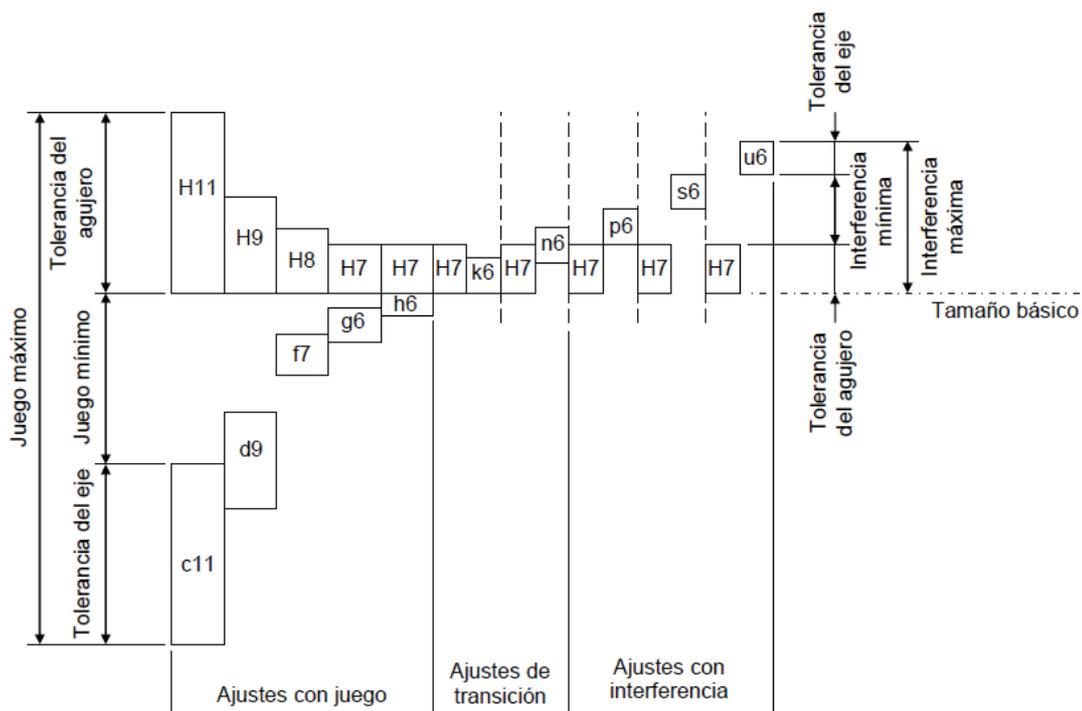
- A\* Área de la sección transversal del tubo, cm<sup>2</sup>
- I\* Momento de inercia de la sección, cm<sup>4</sup>
- W\* Módulo resistente de la sección, cm<sup>3</sup>
- r\* Radio de giro de la sección, cm

Figura A- 23: Tubo cuadrado en acero inoxidable<sup>145</sup>

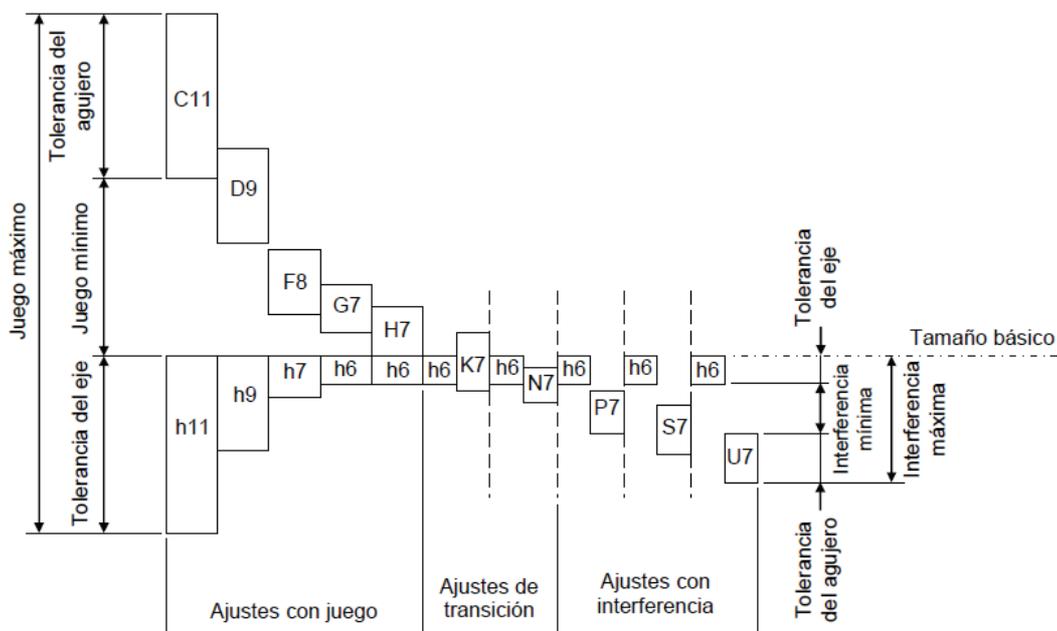
<sup>145</sup> "Catálogo de acero"; DIPAC; pp. 41; <<http://www.mediafire.com/?m5zu2tx4um>>; [Consulta: 23 de octubre de 2012]

**ANEXO 16**  
**SELECCIÓN DEL TIPO DE CANAL**

1. Ajuste preferente del sistema agujero base.



2. Ajuste preferente del sistema agujero base.



SÍMBOLO ISO		DESCRIPCIÓN**	APLICACIONES
Agujero base	Eje base		
H11/c11	C11/h11	<b>Movimiento grande, amplio:</b> ajuste para tolerancias comerciales amplias o para elementos exteriores.	Cojinetes en maquinaria agrícola y doméstica, equipos de minería, topes, pasadores.
H9/d9	D9/h9	<b>Movimiento libre:</b> no debe emplearse cuando la precisión sea algo esencial. Es adecuado para grandes variaciones de temperatura, velocidades de giro elevadas, o presiones elevadas en la pieza macho.	Cojinetes giratorios donde la velocidad de giro es mayor o igual a 600 R.P.M., soportes de ejes en grúas, carretillas, transmisiones y maquinaria agrícola.
H8/f7	F8/h7	<b>Movimiento limitado:</b> para máquinas de precisión y para posicionamiento preciso en caso de velocidades moderadas y presión en la pieza macho.	Montajes deslizantes donde la velocidad es menor de 600 r/min, construcción de máquinas herramientas de precisión, partes de automotores.
H7/g6	G7/h6	<b>Ajuste deslizante:</b> cuando no se pretende que las piezas se muevan libremente, una respecto a la otra, pero pueden girar entre sí y colocarse con precisión.	Collares de retención, émbolos de frenos de aceite, acoplamiento de platillos desembragables, bridas de centrar para tuberías y válvulas.
H7/h6	H7/h6	<b>Posicionamiento con juego:</b> proporciona cierto apriete. Es adecuado para posicionar piezas estacionarias, pero pueden montarse y desmontarse fácilmente.	Engranajes de cambios de velocidades, ejes de contrapunto, mangos de volantes de mano, columnas guía de taladros radiales, brazo superior de fresadoras.
H7/k6	K7/h6	<b>Posicionamiento de transición o ajuste intermedio:</b> posicionamiento de precisión, es un compromiso entre el juego y la interferencia.	Engranajes en husillos, poleas fijas y volantes en ejes, discos de excéntrica, manivelas para pequeños esfuerzos.
H7/n6	N7/h6	<b>Posicionamiento de transición o ajuste intermedio:</b> posicionamiento más preciso en el que se requiere y admite una interferencia mayor.	Casquillos de bronce, collares calados sobre ejes, piñones en ejes motores, inducidos en dinamos.
H7/p6*	P7/h6	<b>Posicionamiento con interferencia:</b> para piezas que requieran rigidez y alineación muy precisas pero sin requisitos especiales de presión en el agujero.	
H7/s6	S7/h6	<b>Sin movimiento o fijo:</b> para piezas de acero normales o ajustes forzados en secciones pequeñas. Es el ajuste más apretado admisible en piezas de fundición.	Casquillos de bronce en cajas, cubos de ruedas y bielas, coronas de bronce en ruedas helicoidales y engranajes, acoplamiento en extremos de ejes.
H7/u6	U7/h6	<b>Forzado:</b> para piezas que van a funcionar muy cargadas, para ajustes forzados en los que las fuerzas de apriete requeridas no son factibles en la práctica.	

\* Ajuste de transición para tamaños básicos comprendidos entre 0 y 3 mm.

\*\* Tomada de Mitutoyo, Márgenes y Tolerancias. Impreso por Equipos y Controles Industriales (eci), Bogotá D.C..

Figura A- 24: Ajustes y tolerancias<sup>146</sup>

<sup>146</sup> "Ajustes y tolerancias"; [en línea]; Capítulo 10; pp. 11;

<<http://blog.utp.edu.co/ivanegas/files/2011/08/Cap10.pdf>>; [Consulta: 24 de octubre de 2012]

## TUBO DE ACERO PARA EL CANAL DEL TORNILLO SIN FIN

**Tubería de Cédula de acero inoxidable (Pipe)**  
Sin costura

**Tipos AISI**  
304L y 316L

**Norma**  
ASTM A-530



**Tolerancias**

**Laminado en caliente**

Tolerancias de la Norma ASTM A-530 disponibles para diámetros extruidos en caliente.

Para diámetros nominales de 1" a 24"

Díametro exterior	$\pm 1.0\%$ (mín. $\pm 0.5$ mm)
Espesor de pared	Espesor A $\pm 12.5\%$ (mín. $\pm 0.4$ mm si el espesor de pared es $> 5$ mm) Espesor B $\pm 15.0\%$ (mín. $\pm 0.6$ mm si el espesor de pared es $\leq 5$ mm)

**Laminado en frío**

Tolerancias de la Norma ASTM A-530 disponibles para diámetros en frío.

Para diámetros nominales de 1/8" a 8"

Díametro exterior	$\pm 0.75\%$ (mín. $\pm 0.3$ mm)
Espesor de pared	$\pm 10\%$ (mín. $\pm 0.2$ mm)

Tubería, Conexiones y Válvulas de Acero Inoxidable 7

Figura A- 25: Tubo de acero, canal tornillo sin fin<sup>147</sup>

<sup>147</sup> "Tubería, Conexiones y Válvulas de acero inoxidable"; [en línea]; Distribuidora Metálica S.A de C.V; pp. 7- 8; <[http://www.metlica.com.mx/pdf/DM\\_TUBERIA.pdf](http://www.metlica.com.mx/pdf/DM_TUBERIA.pdf)>; [Consulta: 20 de enero de 2013]



Tabla General

Medida nominal	C a d u l a	Espesor de pared		Diámetro exterior		Peso aproximado		Presión interior de trabajo		Presión de ruptura		Presión exterior de trabajo		Presión de Acostamiento			
		Pulg	mm	Pulg	mm	Lbs/ft	Kg/m	(PSI)	Kg/cm <sup>2</sup>	(PSI)	Kg/cm <sup>2</sup>	(PSI)	Kg/cm <sup>2</sup>	(PSI)	Kg/cm <sup>2</sup>		
1/2	12,7	10	0,083	2,11	0,040	21,34	0,250	0,219	2880	200	10110	1125	1453	102	5812	408	
		40	0,105	2,77				0,297	1,023	3650	270	21730	1530	2063	145	8252	650
		80	0,147	3,73				0,471	1,387	5410	380	30480	2145	3195	225	12795	900
3/4	19,1	10	0,083	2,11	0,050	26,67	0,277	1,207	2250	160	12670	890	1087	76	4342	304	
		40	0,109	2,77	1,050	35,67	1,121	1,670	3010	210	16990	1190	1403	100	5812	408	
		80	0,147	3,73			1,449	2,158	4190	295	23620	1680	2512	177	10049	708	
1	25,4	10	0,109	2,77	1,315	39,40	1,437	2,140	2380	165	13370	985	1189	84	4798	335	
		40	0,133	3,38			1,718	2,559	3330	235	16520	1165	1433	102	5812	408	
		80	0,179	4,56			2,323	3,371	4670	329	22930	1615	2512	177	10049	708	
1 1/2	38,1	10	0,109	2,77	1,900	48,26	2,134	3,178	1600	115	9920	635	769	54	3075	215	
		40	0,146	3,68			2,778	4,139	2190	150	12180	895	1067	76	4048	304	
		80	0,200	5,08			3,713	5,533	3060	215	17240	1215	1453	102	5812	408	
2	50,8	10	0,109	2,77	2,375	60,33	2,780	4,082	1220	89	7150	505	520	36	2132	132	
		40	0,154	3,91			3,736	5,585	1820	130	10250	700	689	63	3556	252	
		80	0,218	5,54			5,190	7,637	2640	185	14870	1040	1203	80	4302	308	
3	76,2	10	0,120	3,05	3,500	88,90	4,434	6,605	940	65	5290	370	345	24	1280	85	
		40	0,218	5,49			7,765	11,532	1730	120	9740	685	805	56	3305	232	
		80	0,308	7,82			10,082	15,274	2277	159	12239	857	1087	76	4348	304	
4	101,6	10	0,120	3,05	4,500	114,30	5,746	8,581	730	50	4090	290	234	16	938	64	
		40	0,237	6,02			11,040	16,444	1450	105	8250	580	635	45	2550	180	
		80	0,307	7,78			14,998	22,123	1980	139	10690	749	911	64	3644	255	
6	152,4	10	0,134	3,40	5,625	168,28	6,294	10,507	550	40	3595	215	141	10	554	40	
		40	0,280	7,11			10,907	16,098	1140	80	6990	490	444	31	1718	124	
		80	0,432	10,97			26,690	40,567	1731	121	9308	652	625	58	3090	201	
8	203,2	10	0,148	3,76	6,025	219,08	13,711	20,423	480	35	3510	180	124	9	508	36	
		40	0,322	8,18			29,219	43,520	1020	70	5770	405	385	28	1580	112	
		80	0,500	12,70			43,428	65,537	1640	108	8277	579	770	54	3040	218	

Longitud máxima de 20' (6,10 m)

**ANEXO 17**  
**FACTORES DE CAPACIDAD**

**Tabla A- 10:** Factor por tipo de paso  $FC_1$

PASO	DESCRIPCIÓN	FACTOR DE CAPACIDAD
Estándar	Paso = Diámetro	1.00
Corto	Paso = 2/3 Diámetro	1.50
<b>Medio</b>	<b>Paso = 1/2 Diámetro</b>	<b>2.00</b>
Largo	Paso = 1 -1/2 Diámetro	0,67

**Tabla A- 11:** Factor por Porcentaje de Carga  $FC_2$ .

TIPO	PORCENTAJE DE CARGA DEL TORNILLO			
	15%	30%	45%	95%
Corte de Hélice	1,92	1,57	1,43	*
Corte & Doblado de la Hélice	*	3,75	<b>2,54</b>	*

\* Tomar los datos a 45%.

**Tabla A- 12:** Factor en función de Paletas por paso  $CF_3$ .

FACTOR	PALETAS POR PASO				
	Ninguna	1	2	3	4
<b>1</b>	1,08	1,16	1,24	1,32	

**ANEXO 18**  
**CATÁLOGO DE ELECTRODOS TIG**

## Varillas para proceso oxiacetilénico y TIG

Estructurales

70S-6 AWS E 70S-6	80S-B2 AWS ER 80S-B2	90S-B3 AWS ER 90S-B3
<p><b>Descripción:</b> Varilla TIG de acero dulce, con alta cantidad de elementos desoxidantes, de características y propiedades similares al alambre MIG/MAG 70S-6. Se recomienda su uso con argón, como gas de protección.</p> <p><b>Aplicaciones Típicas:</b> Unión y reparación de piezas de acero al carbono, aceros de baja aleación. Unión de cañerías y tubos de caldera. Cordones de raíz en aplicaciones donde se requiere una óptima calidad radiográfica.</p> <p><b>Datos de Utilidad:</b> Diámetros disponibles: (1/16") 1,6 mm, (5/64") 20 mm, (3/32") 2,4 mm Largo varillas: (36") 91 cm Corriente y Polaridad: CC (-) Electrodo recomendado: EWTh - 2 (pto. rojo) Gas protección recomendado: 100% argón (8 - 12 L/min)</p> <p><b>Propiedades Metal Depositado:</b> Resistencia a la tracción: 533 MPa (77.235 PSi) Límite de fluencia: 432 MPa (62.259 PSi) Charpy (ISO - V): 50 J a -20 °C Alargamiento en 50 mm: 28% Composición química típica: C: 0,08%, Mn: 1,55%, Si: 0,95%</p>	<p><b>Descripción:</b> Varilla TIG de acero de baja aleación, con cromo y molibdeno. Posee alta resistencia al calor y corrosión. Al soldar aceros de composición química similar se recomienda efectuar pre y post calentamiento.</p> <p><b>Aplicaciones Típicas:</b> Unión y reparación de aceros 1 1/4 Cr -1/2 Mo, como los ASTM 335 Gr P2, P11, P12, etc. Tuberías de calderas y hornos, sometidas a altas temperaturas, etc.</p> <p><b>Datos de Utilidad:</b> Diámetros disponibles: (1/16") 1,6 mm, (3/32") 2,4 mm Largo varillas: (36") 91 cm Corriente y Polaridad: CC (-) Electrodo recomendado: EWTh - 2 (pto. rojo) Gas protección recomendado: 100% argón (8 - 12 L/min)</p> <p><b>Propiedades Metal Depositado:</b> Resistencia a la tracción: 610 MPa (88.500 PSi) Límite de fluencia: 538 MPa (78.000 PSi) Alargamiento en 50 mm: 26% Composición química típica: C: 0,05%, Mn: 0,6%, Si: 0,6%, Cr: 1,3%, Mo: 0,55%</p>	<p><b>Descripción:</b> Varilla TIG de acero baja aleación con cromo y molibdeno. Sus porcentajes de cromo y molibdeno son más altos que en la varilla 80S-B<sub>2</sub>, lo cual mejora su resistencia al calor y corrosión. Se recomienda pre y postcalentamiento.</p> <p><b>Aplicaciones Típicas:</b> Unión y reparación de acero 2 1/4 Cr - 1 Mo como el ASTM 335 Gr P22 y similares, tuberías de la industria petrolera en donde se requiere un servicio a altas temperaturas, etc.</p> <p><b>Datos de Utilidad:</b> Diámetros disponibles: (1/16") 1,6 mm, (3/32") 2,4 mm Largo varillas: (36") 91 cm Corriente y polaridad: CC (-) Electrodo recomendado: EWTh - 2 (pto. rojo) Gas protección recomendado: 100% argón (8 - 12 L/min)</p> <p><b>Propiedades Metal Depositado:</b> Resistencia a la tracción: 641 MPa (93.000 PSi) Límite de fluencia: 552 MPa (80.000 PSi) Alargamiento en 50 mm: 24% Composición química típica: C: 0,05%, Mn: 0,6%, Si: 0,6%, Cr: 2,50%, Mo: 1,10%</p>

soldadura

47

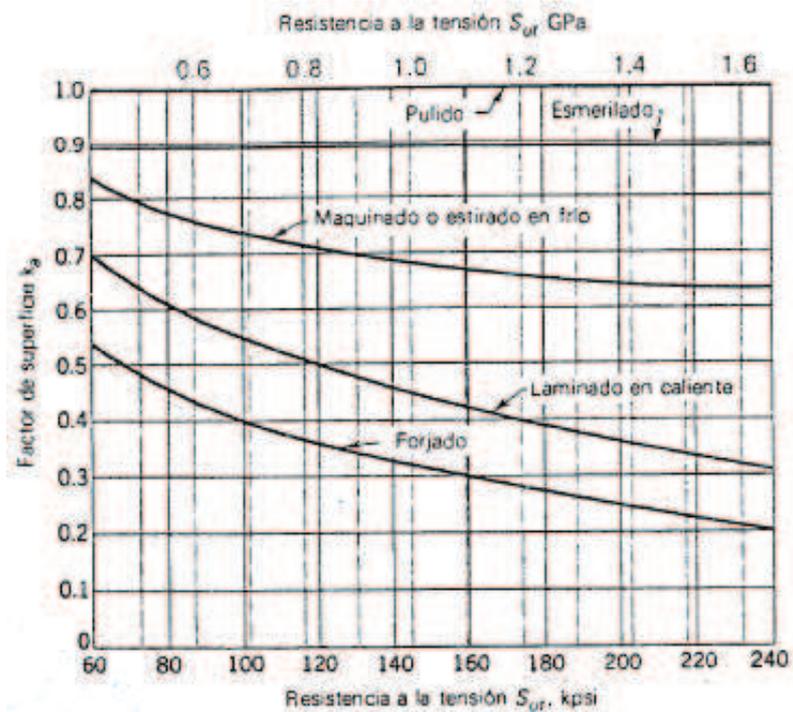


INDURA

Figura A- 26: Catálogo de electrodos TIG<sup>148</sup>

<sup>148</sup> "Proceso, soldadura sistema TIG"; [en línea]; INDURA; pp. 3;  
<<http://www.comercialsamsam.cl/images/soldaduratig.pdf>>; [Consulta: 20 de enero de 2013]

**ANEXO 19**  
**CÁLCULO DE SUJETADORES**



**Gráfico A- 1:** Factores de modificación de acabado superficial para el acero<sup>149</sup>

**Tabla A- 13:** Factores de confiabilidad  $k_c$  correspondientes a una desviación estándar de 8% del límite de fatiga

Reliability, %	Transformation Variate $z_c$	Reliability Factor $k_c$
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

**Tabla A- 14:** Factores  $k_f$  de reducción de resistencia a la fatiga para elementos roscados

Grado SAE	Grado métrico	Roscas laminadas	Roscas cortadas	Filete
0 a 2	3,6 a 5,8	2,2	2,8	2,1
4 a 8	6,6 a 10,9	3,0	3,8	2,3

<sup>149</sup> Shigley, J., Mitchell L.; "Diseño en Ingeniería Mecánica"; México; Mc GRAW-Hill; 1985; pp. 308. [Consulta: 20 de Junio de 2012]

**ANEXO 20**  
**DIMENSIONES DE ROSCAS**

Tabla A- 15: Dimensiones de roscas métricas ISO, series de pasos bastos y finos

Diámetro mayor (nominal) $d$ (mm)	ROSCA BASTA			ROSCA FINA		
	Paso $p$ (mm)	Diámetro menor $d_r$ (mm)	Área de esfuerzo a tracción $A_t$ (mm <sup>2</sup> )	Paso $p$ (mm)	Diámetro menor $d_r$ (mm)	Área de esfuerzo a tracción $A_t$ (mm <sup>2</sup> )
3.0	0.50	2.39	5.03			
3.5	0.60	2.76	6.78			
4.0	0.70	3.14	8.78			
5.0	0.80	4.02	14.18			
6.0	1.00	4.77	20.12			
7.0	1.00	5.77	28.86			
8.0	1.25	6.47	36.61	1.00	6.77	39.17
10.0	1.50	8.16	57.99	1.25	8.47	61.20
12.0	1.75	9.85	84.27	1.25	10.47	92.07
14.0	2.00	11.55	115.4	1.50	12.16	124.55
16.0	2.00	13.55	156.7	1.50	14.16	167.25
18.0	2.50	14.93	192.5	1.50	16.16	216.23
20.0	2.50	16.93	244.8	1.50	18.16	271.50
22.0	2.50	18.93	303.4	1.50	20.16	333.50
24.0	3.00	20.32	352.5	2.00	21.55	384.42
27.0	3.00	23.32	459.4	2.00	24.55	495.74
30.0	3.50	25.71	560.6	2.00	27.55	621.20
33.0	3.50	28.71	693.6	2.00	30.55	760.80
36.0	4.00	31.09	816.7	3.00	32.32	864.94
39.0	4.00	34.09	975.8	3.00	35.32	1028.4

La longitud roscada de los tornillos métricos está dada por  $L_r = 2d + 6$  mm, si  $L_T \leq 125$  mm y  $d \leq 48$ , por  $L_r = 2d + 12$  mm, si  $125 \text{ mm} < L_T \leq 200$  mm, y por  $L_r = 2d + 25$  mm, si  $L_T > 200$  mm.

**ANEXO 21**  
**SOLDADURA Y DISEÑO DE UNIONES**  
**PERMANENTES**

**Tabla A- 16:** Propiedades mínimas del metal de aporte<sup>150</sup>

NÚMERO DE ELECTRODO AWS	RESISTENCIA A LA TENSIÓN, <i>Kpsi (MPa)</i>	RESISTENCIA A LA FLUENCIA, <i>Kpsi (MPa)</i>	ELONGACIÓN PORCENTUAL
E60xx	62 (427)	50 (345)	17 – 25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14 – 17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13 – 16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

<b>TABLE J2.4</b> <b>Minimum Size of Fillet Welds</b>	
Material Thickness of Thinner Part Joined, in. (mm)	Minimum Size of Fillet Weld, <sup>(1)</sup> in. (mm)
To 1/4 (6) inclusive	1/8 (3)
Over 1/4 (6) to 1/2 (13)	3/16 (5)
Over 1/2 (13) to 3/4 (19)	1/4 (6)
Over 3/4 (19)	5/16 (8)

<sup>(1)</sup> Leg dimension of fillet welds. Single pass welds must be used.  
 Note: See Section J2.2b for maximum size of fillet welds.

**Tabla 4.5 Tamaño mínimo de filete (AISC 2005)**  
**Fuente: Tabla J2.4 especificación AISC 2005**

**Figura A- 27:** Tamaño mínimo de las soldaduras de filete

<sup>150</sup> Budynas R., Nisbett J.; "Diseño en ingeniería mecánica de Shigley"; Mc Graw Hill; Capítulo 9; pp. 472; [Consulta: 11 de noviembre de 2012]

**ANEXO 22**  
**CATÁLOGO DE PERNOS DE ANCLAJE**

## PERNOS DE ANCLAJE

			CATÁLOGO DE PRODUCTOS											
▶ PERNO DE ANCLAJE			ROSCA MÉTRICA		MEDIDAS PERNO		ROSCA MÉTRICA		MEDIDAS PERNO		ROSCA MÉTRICA		MEDIDAS PERNO	
M-12 X 400 mm	A	330 mm	M-18 X 1000 mm	A	900 mm	M-24 X 1000 mm	A	900 mm	M-27 X 1000 mm	A	900 mm	M-30 X 1000 mm	A	900 mm
	B	70 mm		B	100 mm		B	100 mm		B	100 mm		B	100 mm
	C	70 mm		C	100 mm		C	100 mm		C	180 mm		C	180 mm
M-14 X 400 mm	A	330 mm	M-20 X 500 mm	A	400 mm	M-20 X 700 mm	A	600 mm	M-20 X 1000 mm	A	900 mm	M-33 X 1000 mm	A	900 mm
	B	70 mm		B	100 mm		B	100 mm		B	100 mm		B	100 mm
	C	70 mm		C	100 mm		C	100 mm		C	180 mm		C	180 mm
M-16 X 400 mm	A	330 mm	M-22 X 600 mm	A	500 mm	M-22 X 800 mm	A	700 mm	M-22 X 1000 mm	A	900 mm	M-42 X 1000 mm	A	900 mm
	B	70 mm		B	100 mm		B	100 mm		B	100 mm		B	100 mm
	C	70 mm		C	70 mm		C	100 mm		C	100 mm		C	180 mm
M-16 X 500 mm	A	400 mm	M-24 X 600 mm	A	500 mm	M-24 X 800 mm	A	700 mm	M-24 X 1000 mm	A	900 mm	M-45 X 1000 mm	A	900 mm
	B	100 mm		B	100 mm		B	100 mm		B	100 mm		B	100 mm
	C	70 mm		C	70 mm		C	100 mm		C	100 mm		C	180 mm
M-16 X 600 mm	A	500 mm	M-24 X 850 mm	A	750 mm	M-24 X 1000 mm	A	900 mm	M-48 X 1000 mm	A	900 mm		A	900 mm
	B	100 mm		B	100 mm		B	100 mm		B	100 mm		B	100 mm
	C	70 mm		C	100mm		C	100mm		C	200mm		C	200mm



- ▶ PULIDO
- ▶ ZINCADO
- ▶ Stock permanente por laminación fabricamos (bajo pedido) en otras métricas y/o longitudes.

Figura A- 28: Pernos de anclaje<sup>151</sup>

<sup>151</sup> “Catálogo de productos”; [en línea]; Pernos de anclaje;  
 <<http://www.pervamed.com/fileadmin/catalogo/catalogo.pdf>>; [Consulta: 20 de diciembre de 2012]

**ANEXO 23**  
**POTENCIA DEL TORNILLO**

**Tabla A- 17:** Tabla del factor en función del Diámetro (Fd)

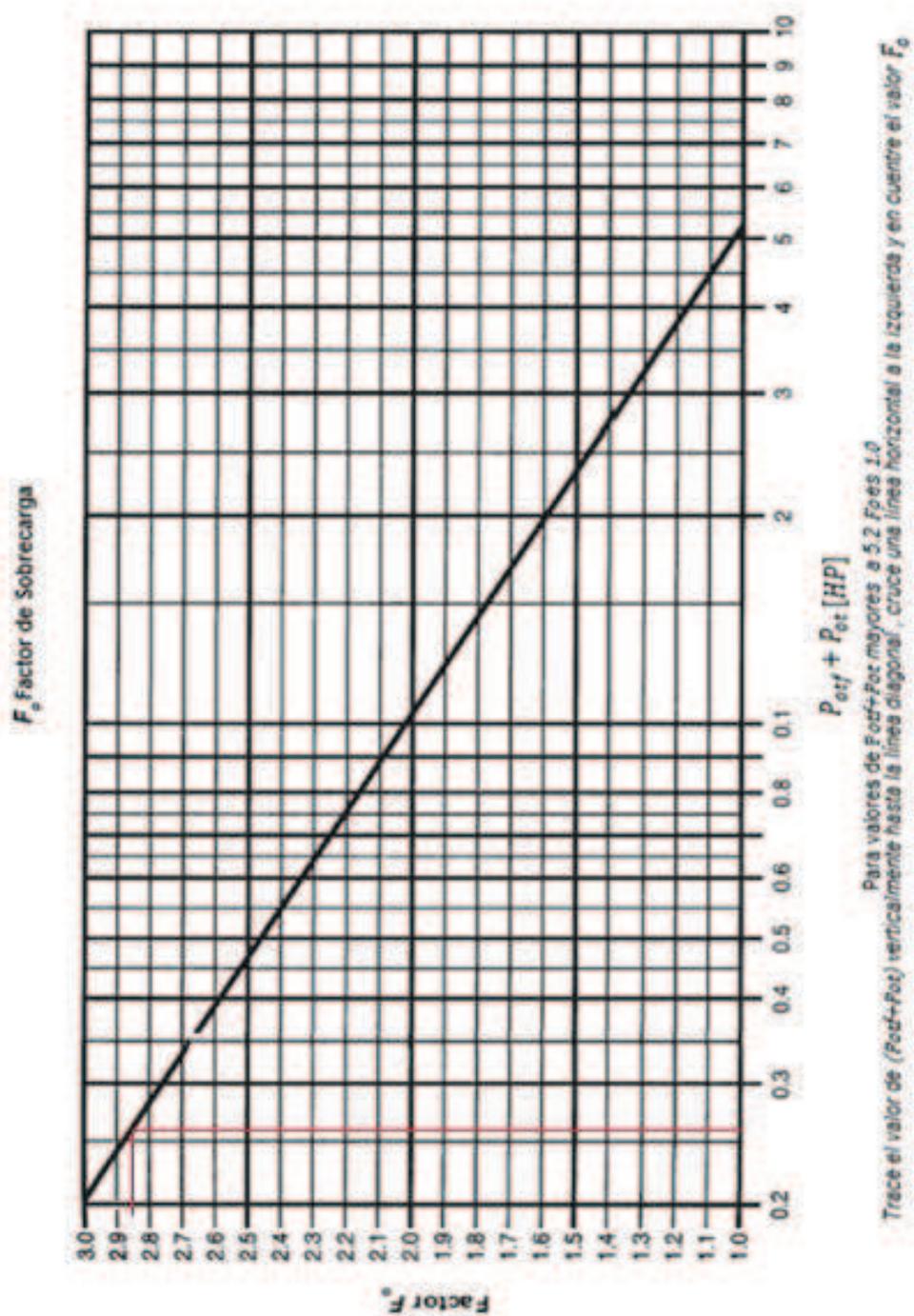
DIÁMETRO	FACTOR
4	12
<b>6</b>	<b>18</b>
9	31
10	37
12	55
14	78
16	106
18	135
20	165
24	235

**Tabla A- 18:** Factor en función del tipo de Rodamiento utilizado (Fr)

TIPO DE RODAMIENTO	FACTOR DE RODAMIENT O Fr	CLASE DE RODAMIENT O
Bolas	1.0	I
Con revestimiento, Anti-fricción	1.7	II
Bronce		
* Bronce-Grafito		
Plástico, Fabricado a base de laminas		
Nylon		
*Bronce, impregnado aceite		
Madera	2.0	III
*Plástico, impregnado grafito		
*Nylon		
*Teflón		
*Hierro Duro	4.4	IV
* Superficie Dura		

\* No necesitan lubricación

**ANEXO 24**  
**POTENCIA PARA MOVER EL MATERIAL**



**Gráfico A- 2:** Factor de sobrecarga  $F_o$ .<sup>152</sup>

<sup>152</sup> Giraldo R., Flores L., Higuera O.; "Diseño y construcción de un mezclador de tornillo sin fin para mortero seco"; Universidad tecnológica de Pereira; Pereira – Colombia; Agosto; 2010; pp. 40; [Consulta: 10 de enero de 2013]

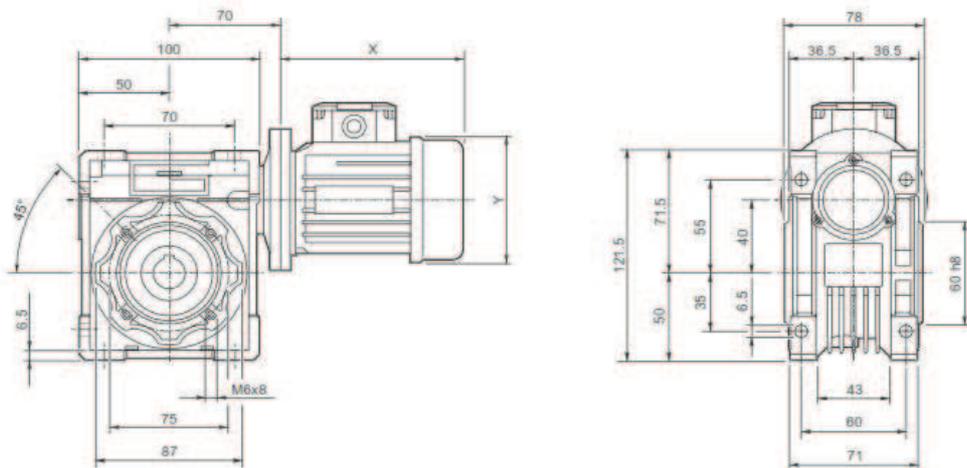
**ANEXO 25**  
MOTOR REDUCTOR

**CM** **RIDUTTORI A VITE SENZA FINE**  
**WORMGEARBOXES**

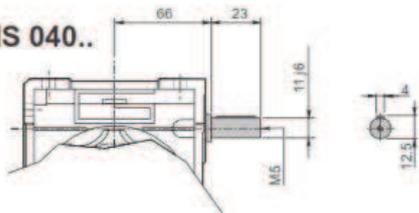
Dimensioni

Dimensions

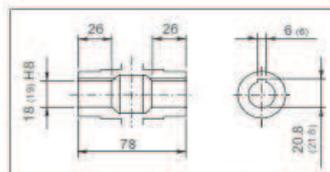
**CM 040 U**



**CMIS 040..**

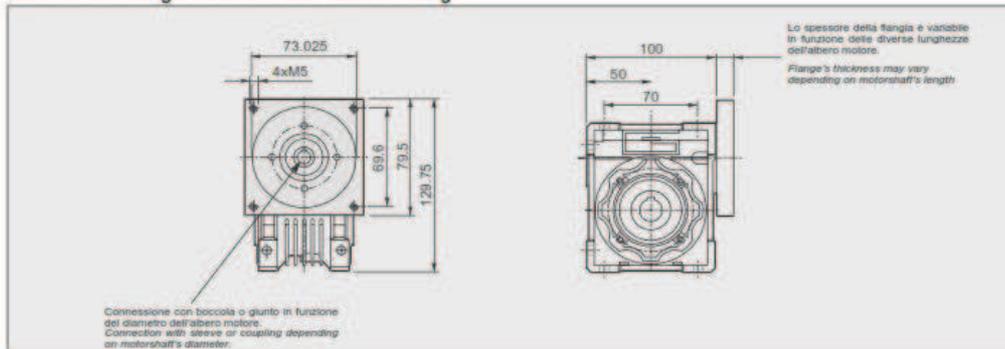


Ag  
2.3



Albero lento cavo / Hollow output shaft

**CM 040.. con flangia NEMA34 / with NEMA34 flange**



D12

Figura A- 29: Catálogo del moto reductor<sup>153</sup>

<sup>153</sup> Mesias J.; Asistente Técnico – Comercial; INGELCOM; Quito – Ecuador;  
 <<http://www.ingelcom.net/productos/>>; [Consulta: 30 de octubre de 2012]

**ANEXO 26**  
**SELECCIÓN DE RODAMIENTOS**

## Tipos de rodamientos

Cuadro sinóptico: Tipos de rodamientos y sus características

Tipo de rodamiento	Características:													
	Carga radial	Carga axial en ambos sentidos	Compensación longitudinal en el rodamiento	Compensación longitudinal con ajuste desajuste	Rodamientos desajustados	Rodamientos desajustados	Aptitud para evadas vedadas	Funcionamiento silencioso	Agujero cónico	Centración a uno o ambos lados	Evada rigidez	Bajo rozamiento	Rodamientos tipo	Rodamientos libres
Rodamientos de rodillos cónicos														
Rodamientos oscilantes de rodillos de una hilera														
Rodamientos oscilantes de rodillos														
Rodamientos axiales de bolas														
Rodamientos axiales de bolas de contacto angular														
Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos														
Rodamientos axiales oscilantes de rodillos														
Rodamientos con anillo de sujeción														

← Rodamientos individuales y rodamientos en tandem en un sentido

a) para montaje por parejas

c) limitada aptitud para montaje por parejas

g) rodamientos con anillos de sujeción y axiales de bolas con contraplaca compensan desalineaciones durante el montaje

## Dimensionado

Vida  $L_h$  y factor de velocidad  $f_v$  para rodamientos de bolas

▼ Valores  $f_v$  para rodamientos de bolas

$$f_v = \sqrt[3]{\frac{L_h}{500}}$$

$L_h$	$f_v$	$L_h$	$f_v$	$L_h$	$f_v$	$L_h$	$f_v$	$L_h$	$f_v$
h		h		h		h		h	
100	0,585	420	0,944	1700	1,5	6500	2,35	28000	3,83
110	0,604	440	0,958	1800	1,53	7000	2,41	30000	3,91
120	0,621	460	0,973	1900	1,56	7500	2,47	32000	4
130	0,638	480	0,986	2000	1,59	8000	2,52	34000	4,08
140	0,654	500	1	2200	1,64	8500	2,57	36000	4,16
150	0,669	550	1,03	2400	1,69	9000	2,62	38000	4,24
160	0,684	600	1,06	2600	1,73	9500	2,67	40000	4,31
170	0,698	650	1,09	2800	1,78	10000	2,71	42000	4,38
180	0,711	700	1,12	3000	1,82	11000	2,8	44000	4,45
190	0,724	750	1,14	3200	1,86	12000	2,88	46000	4,51
200	0,737	800	1,17	3400	1,89	13000	2,96	48000	4,58
220	0,761	850	1,19	3600	1,93	14000	3,04	50000	4,64
240	0,783	900	1,22	3800	1,97	15000	3,11	55000	4,79
260	0,804	950	1,24	4000	2	16000	3,17	60000	4,93
280	0,824	1000	1,26	4200	2,03	17000	3,24	65000	5,07
300	0,843	1100	1,3	4400	2,06	18000	3,3	70000	5,19
320	0,862	1200	1,34	4600	2,1	19000	3,36	75000	5,31
340	0,879	1300	1,38	4800	2,13	20000	3,42	80000	5,43
360	0,896	1400	1,41	5000	2,15	22000	3,53	85000	5,54
380	0,913	1500	1,44	5500	2,22	24000	3,63	90000	5,65
400	0,928	1600	1,47	6000	2,29	26000	3,73	100000	5,85

▼ Valores  $f_n$  para rodamientos de bolas

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{33 \times n}{n}}$$

n	$f_n$								
min <sup>-1</sup>									
10	1,49	55	0,846	340	0,461	1800	0,265	9500	0,152
11	1,45	60	0,822	360	0,452	1900	0,26	10000	0,149
12	1,41	65	0,8	380	0,444	2000	0,255	11000	0,145
13	1,37	70	0,781	400	0,437	2200	0,247	12000	0,141
14	1,34	75	0,763	420	0,43	2400	0,24	13000	0,137
15	1,3	80	0,747	440	0,423	2600	0,234	14000	0,134
16	1,28	85	0,732	460	0,417	2800	0,228	15000	0,131
17	1,25	90	0,718	480	0,411	3000	0,223	16000	0,128
18	1,23	95	0,705	500	0,405	3200	0,218	17000	0,125
19	1,21	100	0,693	550	0,393	3400	0,214	18000	0,123
20	1,19	110	0,672	600	0,382	3600	0,21	19000	0,121
22	1,15	120	0,652	650	0,372	3800	0,206	20000	0,119
24	1,12	130	0,635	700	0,362	4000	0,203	22000	0,115
26	1,09	140	0,62	750	0,354	4200	0,199	24000	0,112
28	1,06	150	0,606	800	0,347	4400	0,196	26000	0,109
30	1,04	160	0,593	850	0,34	4600	0,194	28000	0,106
32	1,01	170	0,581	900	0,333	4800	0,191	30000	0,104
34	0,993	180	0,57	950	0,327	5000	0,188	32000	0,101
36	0,975	190	0,56	1000	0,322	5500	0,182	34000	0,0993
38	0,957	200	0,55	1100	0,312	6000	0,177	36000	0,0975
40	0,941	220	0,533	1200	0,303	6500	0,172	38000	0,0957
42	0,926	240	0,518	1300	0,295	7000	0,168	40000	0,0941
44	0,912	260	0,504	1400	0,288	7500	0,164	42000	0,0926
46	0,898	280	0,492	1500	0,281	8000	0,161	44000	0,0912
48	0,886	300	0,481	1600	0,275	8500	0,158	46000	0,0898
50	0,874	320	0,471	1700	0,27	9000	0,155	50000	0,0874

## Dimensionado

Vida  $L_h$  y factor de velocidad  $f_v$  para rodamientos de rodillos

▼ Valores  $f_v$  para rodamientos de rodillos

$$f_v = \sqrt[3]{\frac{10}{500} \frac{L_h}{t_v}}$$

$L_h$	$f_v$	$L_h$	$f_v$	$L_h$	$f_v$	$L_h$	$f_v$	$L_h$	$f_v$
h		h		h		h		h	
100	0.617	420	0.949	1700	1.44	6500	2.16	28000	3.35
110	0.635	440	0.962	1800	1.47	7000	2.21	30000	3.42
120	0.652	460	0.975	1900	1.49	7500	2.25	32000	3.48
130	0.668	480	0.988	2000	1.52	8000	2.3	34000	3.55
140	0.683	500	1	2200	1.56	8500	2.34	36000	3.61
150	0.697	550	1.03	2400	1.6	9000	2.38	38000	3.67
160	0.71	600	1.06	2600	1.64	9500	2.42	40000	3.72
170	0.724	650	1.08	2800	1.68	10000	2.46	42000	3.78
180	0.736	700	1.11	3000	1.71	11000	2.53	44000	3.83
190	0.748	750	1.13	3200	1.75	12000	2.59	46000	3.88
200	0.76	800	1.15	3400	1.78	13000	2.66	48000	3.93
220	0.782	850	1.17	3600	1.81	14000	2.72	50000	3.98
240	0.802	900	1.19	3800	1.84	15000	2.77	55000	4.1
260	0.822	950	1.21	4000	1.87	16000	2.83	60000	4.2
280	0.84	1000	1.23	4200	1.89	17000	2.88	65000	4.31
300	0.858	1100	1.27	4400	1.92	18000	2.93	70000	4.4
320	0.875	1200	1.3	4600	1.95	19000	2.98	80000	4.58
340	0.891	1300	1.33	4800	1.97	20000	3.02	90000	4.75
360	0.906	1400	1.36	5000	2	22000	3.11	100000	4.9
380	0.921	1500	1.39	5500	2.05	24000	3.19	150000	5.54
400	0.935	1600	1.42	6000	2.11	26000	3.27	200000	6.03

▼ Valores  $f_v$  para rodamientos de rodillos

$$f_v = \sqrt[3]{\frac{10}{n} \frac{33 \times V}{n}}$$

n	$f_v$								
min <sup>-1</sup>									
10	1.44	55	0.861	340	0.498	1800	0.302	9500	0.183
11	1.39	60	0.838	360	0.49	1900	0.297	10000	0.181
12	1.36	65	0.818	380	0.482	2000	0.293	11000	0.176
13	1.33	70	0.8	400	0.475	2200	0.285	12000	0.171
14	1.3	75	0.784	420	0.468	2400	0.277	13000	0.167
15	1.27	80	0.769	440	0.461	2600	0.270	14000	0.163
16	1.25	85	0.755	460	0.455	2800	0.265	15000	0.16
17	1.22	90	0.742	480	0.449	3000	0.259	16000	0.157
18	1.2	95	0.73	500	0.444	3200	0.254	17000	0.154
19	1.18	100	0.719	550	0.431	3400	0.25	18000	0.151
20	1.17	110	0.699	600	0.42	3600	0.245	19000	0.149
22	1.13	120	0.681	650	0.41	3800	0.242	20000	0.147
24	1.1	130	0.665	700	0.401	4000	0.238	22000	0.143
26	1.08	140	0.65	750	0.393	4200	0.234	24000	0.139
28	1.05	150	0.637	800	0.385	4400	0.231	26000	0.136
30	1.03	160	0.625	850	0.378	4600	0.228	28000	0.133
32	1.01	170	0.613	900	0.372	4800	0.225	30000	0.13
34	0.994	180	0.603	950	0.366	5000	0.222	32000	0.127
36	0.977	190	0.593	1000	0.36	5500	0.216	34000	0.125
38	0.961	200	0.584	1100	0.35	6000	0.211	36000	0.123
40	0.947	220	0.568	1200	0.341	6500	0.206	38000	0.121
42	0.933	240	0.553	1300	0.333	7000	0.201	40000	0.119
44	0.92	260	0.54	1400	0.326	7500	0.197	42000	0.117
46	0.908	280	0.528	1500	0.319	8000	0.193	44000	0.116
48	0.896	300	0.517	1600	0.313	8500	0.19	46000	0.114
50	0.885	320	0.507	1700	0.307	9000	0.186	50000	0.111

## Dimensionado

Valores de orientación para  $f_L$  y valores usuales de cálculo

Lugar de aplicación	Valor $f_L$ que debe alcanzarse	Valores usuales de cálculo
<b>Máquinas para trabajar la madera</b>		
Husillos de tupis y ejes portacuchillas	3 ... 4	Fuerzas de corte y de accionamiento; velocidad nominal
Rodamiento principal de sierras de bastidor	3,5 ... 4	Fuerzas máxicas; velocidad nominal
Rodamiento de la biela de sierras de bastidor	2,5 ... 3	Fuerzas máxicas; velocidad nominal
Sierras circulares	2 ... 3	Fuerza de corte y accionamiento; velocidad nominal
<b>Transmisiones de maquinaria en general</b>		
Transmisiones universales	2 ... 3	Potencia nominal; velocidad nominal
Motoreductores	2 ... 3	Potencia nominal; velocidad nominal
Grandes transmisiones estacionarias	3 ... 4,5	Potencia nominal; velocidad nominal
<b>Manutención</b>		
Cintas transportadoras para extracción a cielo abierto	4,5 ... 5,5	Potencia nominal; velocidad nominal
Rodillos de cintas transportadoras para extracción a cielo abierto	4,5 ... 5	Peso de la cinta y carga; velocidad de servicio
Rodillos para cintas transportadoras en general	2,5 ... 3,5	Peso de la cinta y carga; velocidad de servicio
Tambores para cinta transportadora	4 ... 4,5	Tiro de la cinta, peso de la cinta y carga; velocidad en servicio
Excavadoras de rotopalas, accionamiento	2,5 ... 3,5	Potencia nominal; velocidad nominal
Excavadoras de rotopalas, rotopalas	4,5 ... 6	Resistencia a la excavación, peso; velocidad en servicio
Excavadoras de rotopalas, accionamiento de la rueda	4,5 ... 5,5	Potencia nominal; velocidad nominal
Poleas de extracción	4 ... 4,5	Carga en cable; velocidad nominal (según DIN 22 410)
Poleas de cable	2,5 ... 3,5	Carga en cable; velocidad nominal
<b>Bombas, ventiladores, compresores</b>		
Ventiladores, soplantes	3,5 ... 4,5	Empuje radial o axial, peso del rotor, masa desequilibrada
Grandes soplantes	4 ... 5	Masa desequilibrada = peso del rotor · $f_z$ ; velocidad nominal $f_z = 0,5$ para soplantes de aire fresco $f_z = 0,8$ a $1$ para extractores de humos
Bombas de émbolo	3,5 ... 4,5	Empuje nominal; velocidad nominal
Bombas centrifugas	3 ... 4,5	Empuje axial, peso del rotor; velocidad nominal
Bombas hidráulicas de émbolo, axiales y radiales	1 ... 2,5	Presión nominal; velocidad nominal
Transmisiones de bombas	1 ... 2,5	Presión en servicio; velocidad nominal
Compresores	2 ... 3,5	Presión en servicio; fuerzas máxicas; velocidad nominal
<b>Centrifugadoras, batidoras</b>		
Centrifugadoras	2,5 ... 3	Peso, masa desequilibrada; velocidad nominal
Grandes batidoras	3,5 ... 4	Peso, fuerza de accionamiento; velocidad nominal
<b>Machacadoras, molinos, cribas, etc.</b>		
Machacadoras de mandíbulas	3 ... 3,5	Potencia de accionamiento, radio de excéntrica; velocidad nominal
Trituradoras, machacadoras de rodillos	3 ... 3,5	Fuerza de triturado; velocidad nominal
Molinos de mandíbulas, de impacto y de martillos	4 ... 5	Peso del rotor · $f_z$ ; velocidad nominal; $f_z = 2$ a $2,5$
Molinos de tubos	4 ... 5	Peso total · $f_z$ ; velocidad nominal; $f_z = 1,5$ a $2,5$
Molinos vibratorios	2 ... 3	Fuerza centrífuga · $f_z$ ; velocidad nominal; $f_z = 1,2$ a $1,3$
Molinos de pulverizado	4 ... 5	Esfuerzo de compresión · $f_z$ ; número de revoluciones nominal; $f_z = 1,5$ a $3$
Cribas vibratorias	2,5 ... 3	Fuerza centrífuga · $f_z$ ; número de revoluciones nominal; $f_z = 1,2$
Prensas para briquetas	3,5 ... 4	Esfuerzo de presión; número de revoluciones nominal
Rodillos para hornos giratorios	4 ... 5	Carga de los rodillos · $f_z$ ; número de revoluciones nominal Factor para cargas excéntricas $f_z = 1,2$ a $1,3$ ; Si las cargas son muy elevadas debe comprobarse la capacidad de carga estática

## Dimensionado

Valores de orientación para  $f_t$  y valores usuales de cálculo

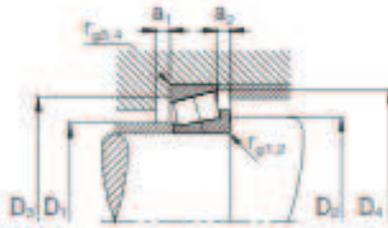
Lugar de aplicación	Valor $f_t$ que debe alcanzarse	Valores usuales de cálculo
<b>Máquinas de papel e imprenta</b>		
Máquinas de papel, parte húmeda	5 ... 5,5	Tracción del tamiz, tracción de los fieltros, peso de los cilindros, esfuerzos de compresión; velocidad nominal
Máquinas de papel, parte de secado	5,5 ... 6,5	
Máquinas de papel, refino	5 ... 5,5	
Máquinas de papel, calandras	4,5 ... 5	
Máquinas de imprenta	4 ... 4,5	Peso de los cilindros, esfuerzos de compresión; velocidad nominal
<b>Maquinaria textil</b>		
Hiladoras, husillos de hilar	3,5 ... 4,5	Fuerzas centrífugas; velocidad nominal
Telares, tejedoras y calcetedoras	3 ... 4	Fuerzas de accionamiento, fuerzas máxicas, fuerzas centrífugas, número de revoluciones nominal
<b>Máquinas para la fabricación de plásticos</b>		
Prensas de extrusión por tornillo sinfin	3 ... 3,5	Presión máxima de prensado; velocidad en servicio: en máquinas para prensado termoplástico debe comprobarse también la capacidad de carga estática
Calandras para goma y plásticos	3,5 ... 4,5	Presión media de laminado; velocidad media; (temperatura)
<b>Transmisiones por correa y cable</b>		
Transmisión por cadena		Fuerza tangencial $\cdot f_t$ , (debido a la precarga y a los golpes)
Correas trapeziales		$f_t = 1,5$
Correas de fibra		$f_t = 2 \dots 2,5$
Correas de cuero		$f_t = 2,5 \dots 3$
Bandas de acero		$f_t = 3,5 \dots 3,5$
Correas-cadena		$f_t = 3 \dots 4$
		$f_t = 1,5 \dots 2$

## Rodamientos FAG de rodillos cónicos



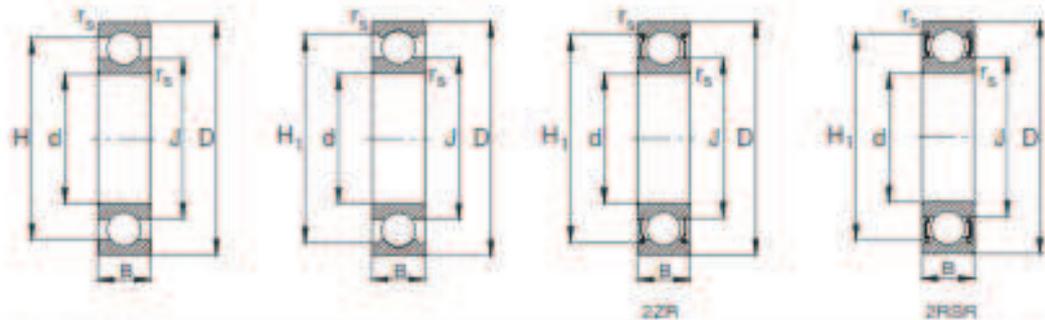
Eje	Dimensiones										Peso kg
	d	D	B	C	T	r <sub>1a</sub> r <sub>2a</sub> mm	r <sub>1b</sub> r <sub>2b</sub> mm	a	J	kg	
35	35	80	21	18	22,75	2	1,5	16	55,2	0,573	
	35	80	21	15	22,75	2	1,5	26	59,9	0,582	
	35	80	31	25	32,75	2	1,5	20	55,2	0,741	
	35	80	31	25	32,75	2	1,5	25	59,8	0,802	
40	40	68	19	14,5	19	1	1	15	55	0,312	
	40	75	26	20,5	26	1,5	1,5	18	58,7	0,546	
	40	80	18	16	19,75	1,5	1,5	17	58,4	0,43	
	40	80	23	19	24,75	1,5	1,5	19	60	0,558	
	40	80	32	25	32	1,5	1,5	21	66,1	0,736	
	40	90	23	20	25,25	2	1,5	20	63,3	0,812	
	40	90	23	17	25,25	2	1,5	30	68,2	0,8	
	40	90	33	27	35,25	2	1,5	23	63,3	1,03	
40	90	33	27	35,25	2	1,5	28	67	1,18		
45	45	75	20	15,5	20	1	1	17	62	0,329	
	45	75	24	19	24	1	1	16	60,5	0,432	
	45	80	26	20,5	26	1,5	1,5	18	63,8	0,526	
	45	85	19	16	20,75	1,5	1,5	18	64	0,47	
	45	85	23	19	24,75	1,5	1,5	20	64,8	0,57	
	45	85	32	25	32	1,5	1,5	22	66,2	0,895	
	45	95	26,5	20	29	2,5	2,5	33	73,8	0,933	
	45	100	25	22	27,25	2	1,5	21	70,7	1	
	45	100	25	18	27,25	2	1,5	32	75,8	0,998	
	45	100	36	30	38,25	2	1,5	25	71,1	1,43	
45	100	36	30	38,25	2	1,5	30	74,2	1,48		
50	50	80	20	15,5	20	1	1	18	67,5	0,386	
	50	80	24	19	24	1	1	17	65,8	0,47	
	50	85	26	20	26	1,5	1,5	20	68,1	0,604	
	50	90	20	17	21,75	1,5	1,5	20	68,8	0,543	
	50	90	23	19	24,75	1,5	1,5	21	70	0,602	
	50	90	32	24,5	32	1,5	1,5	23	71,8	0,871	
	50	105	29	22	32	3	3	36	81,3	1,21	
	50	110	27	23	29,25	2,5	2	23	77,6	1,38	
	50	110	27	19	29,25	2,5	2	35	81,4	2,9	
	50	110	40	33	42,25	2,5	2	29	78	1,9	
50	110	40	33	42,25	2,5	2	33	82,6	1,9		

Los rodamientos pueden alcanzar una duración de vida ilimitada, si  $C_0/P_{ae8}$ , ver Pág. 81.



Capacidad - Factor de carga din.					Velocidad límite	Velocidad de referencia	Denominación abreviada	Medidas auxiliares									
C	e	Y	estatt. C <sub>0</sub>	Y <sub>0</sub>				Rodamiento FAG	DIN ISO 355	D <sub>1</sub> max	D <sub>2</sub> min	D <sub>3</sub> min	D <sub>3</sub> max	D <sub>4</sub> min	a <sub>1</sub> min	a <sub>2</sub> min	r <sub>g1</sub> -r <sub>g2</sub> itax
kN			kN		min <sup>-1</sup>			mm									
75,5	0,31	1,9	75,5	1,05	9500	6790	30307A	T2FB035	45	44	70	71	74	3	4,5	2	1,5
60	0,83	0,73	65,5	0,4	9000	6300	31307A	T7FB035	44	44	62	71	76	4	7,5	2	1,5
100	0,31	1,9	114	1,05	9500	6300	32307A	T2FE035	44	44	66	71	74	4	7,5	2	1,5
90,5	0,55	1,1	116	0,6	9000	6300	32307B	T5FE035	42	44	61	71	76	4	7,5	2	1,5
54	0,36	1,58	71	0,87	10000	5600	32008XA	T3CD040	46	46	60	62	65	4	4,5	1	1
80	0,36	1,68	104	0,93	9000	5300	33108	T2CE040	47	47	65	68	71	4	5,5	1,5	1,5
62	0,37	1,6	68	0,88	9000	6000	30208A	T3DB040	49	47	66	73	74	3	3,5	1,5	1,5
80	0,37	1,6	95	0,88	9000	5300	32208A	T3DC040	48	47	68	73	75	3	5,5	1,5	1,5
100	0,36	1,68	134	0,92	8500	5300	33208	T2DE040	47	47	67	73	76	5	7	1,5	1,5
91,5	0,35	1,74	102	0,96	8000	6000	30308A	T2FB040	52	49	77	81	82	3	5	2	1,5
76,5	0,83	0,73	83	0,4	7500	6000	31308A	T7FB040	51	49	71	81	86	4	8	2	1,5
120	0,35	1,74	146	0,96	8000	5600	32308A	T2FD040	50	49	73	81	82	4	8	2	1,5
122	0,55	1,1	150	0,6	7500	5600	32308B	T5FD040	50	49	69	81	85	4	8	2	1,5
61	0,39	1,53	85,5	0,84	9000	5000	32009XA	T3CC045	51	51	67	69	72	4	4,5	1	1
72	0,29	2,04	104	1,12	9000	4800	33009	T2CE045	51	51	67	69	71	4	5	1	1
85	0,38	1,57	116	0,86	8500	4800	30109	T3CE045	52	52	69	73	77	4	5,5	1,5	1,5
71	0,4	1,48	83	0,81	8000	5000	30209A	T3DB045	54	52	74	78	80	3	4,5	1,5	1,5
83	0,4	1,48	100	0,81	8000	5000	32209A	T3DC045	53	52	73	78	80	3	5,5	1,5	1,5
108	0,39	1,56	146	0,86	8000	4800	30209	T3DE045	52	52	72	78	81	5	7	1,5	1,5
90	0,87	0,69	110	0,38	7000	5000	T7FC045	T7FC045	53	59	71	83	91	5	9	2,5	2,5
112	0,35	1,74	127	0,96	7000	5300	30309A	T2FB045	58	54	80	81	82	3	5	2	1,5
96,5	0,83	0,73	110	0,4	6700	5300	31309A	T7FB045	56	54	79	91	95	4	9	2	1,5
150	0,35	1,74	193	0,96	7000	5000	32309A	T2FD045	56	54	82	91	93	4	8	2	1,5
146	0,55	1,1	190	0,6	7000	5000	32309BA	T5FD045	55	54	76	91	94	5	8	2	1,5
64	0,42	1,42	95	0,78	8000	4500	32010X	T3CC050	56	56	72	74	77	4	4,5	1	1
75	0,32	1,9	114	1,04	8000	4300	33010	T2CE050	56	56	72	74	76	4	5	1	1
86,5	0,41	1,46	122	0,8	7500	4300	30110	T3CE050	56	57	74	78	82	4	6	1,5	1,5
80	0,42	1,43	96,5	0,79	7500	5000	30210A	T3DB050	58	57	79	83	85	3	4,5	1,5	1,5
88	0,42	1,43	110	0,79	7500	4500	32210A	T3DC050	58	57	78	83	85	3	5,5	1,5	1,5
114	0,41	1,45	163	0,8	7000	4500	30210	T3DE050	57	57	77	83	87	5	7,5	1,5	1,5
108	0,87	0,69	137	0,38	6300	5300	T7FC050	T7FC050	59	65	78	91	100	5	10	3	3
132	0,35	1,74	150	0,96	6300	5000	30310A	T2FB050	63	60	95	100	102	4	6	2,5	2
112	0,83	0,73	127	0,4	6300	4800	31310A	T7FB050	62	60	87	100	104	4	10	2,5	2
186	0,35	1,74	236	0,96	6300	4800	32310A	T2FD050	62	60	90	100	102	5	9	2,5	2
166	0,55	1,1	224	0,6	6300	4800	32310B	T5FD050	60	60	83	100	103	5	9	2,5	2

## Rodamientos FAG rígidos de bolas de una hilera



Eje	Dimensiones							Peso kg	
	d	D	B	$r_s$ mm	H mm	H <sub>1</sub> mm	J mm		
40	40	80	18	1,1	67,5	70,4	53	0,371	
	40	80	18	1,1	67,5	70,4	53	0,371	
	40	80	18	1,1	67,5	70,4	53	0,382	
	40	80	18	1,1	67,5	70,4	53	0,384	
	40	80	18	1,1	67,5	70,4	53	0,384	
	40	80	23	1,1	67,5	70,4	53	0,477	
	40	90	23	1,5	74,6	76,5	55,5	0,64	
	40	90	23	1,5	74,6	76,5	55,5	0,641	
	40	90	23	1,5	74,6	76,5	55,5	0,654	
	40	90	23	1,5	74,6	76,5	55,5	0,654	
	40	90	33	1,5	74,6	76,5	55,5	0,903	
	40	110	27	2	91,6	95,1	68	1,12	
	45	45	70	10	0,6	65,6		55	0,167
		45	75	16	1	65,5	68	54,2	0,247
		45	75	16	1	65,5	67,9	54,2	0,234
		45	75	16	1	65,5	68	54,2	0,233
		45	75	16	1	65,5	68	54,2	0,257
		45	75	16	1	65,5	67,9	54,2	0,244
45		85	18	1,1	71,8	74,6	57,2	0,426	
45		85	18	1,1	71,8	74,6	57,2	0,426	
45		85	18	1,1	71,8	74,6	57,2	0,441	
45		85	18	1,1	71,8	74,6	57,2	0,441	
45		85	18	1,1	71,8	74,6	57,2	0,441	
45		85	23	1,1	71,8	74,6	57,2	0,522	
45		100	25	1,5	83,3	85,6	62	0,847	
45		100	25	1,5	83,3	85,6	62	0,859	
45		100	25	1,5	83,3	85,6	62	0,869	
45		100	25	1,5	83,3	85,6	62	0,857	
45		100	25	1,5	83,3	85,6	62	0,879	
45		100	36	1,5	83,3	85,6	62	1,2	
45	120	29	2	100,8	104,3	75,2	1,97		
50	50	80	10	0,6	70,5		60,1	0,181	
	50	80	16	1	70,1	72,9	59,8	0,272	
	50	80	16	1	70,1	72,9	59,8	0,26	
	50	80	16	1	70,1	72,9	59,8	0,282	
	50	80	16	1	70,1	72,9	59,8	0,283	
	50	80	16	1	70,1	72,9	59,8	0,271	

Los rodamientos pueden alcanzar una duración de vida ilimitada, si  $C_0/P_0 \leq 8$ , ver Pág.41.



Capacidad de carga		Velocidad límite	Velocidad de referencia	Denominación abreviada	Medidas auxiliares		
dyn. C	stat. C <sub>0</sub>				D <sub>1</sub> mm	D <sub>3</sub> mm	r <sub>D</sub> mm
kN		min <sup>-1</sup>		Rodamiento FAG			
29	18	20000	11000	6208	47	73	1
29	18	20000	11000	66208.W203B	47	73	1
29	18	8000	11000	6208.2ZR	47	73	1
29	18	8000		6208.2RSR	47	73	1
29	18	8000		66208.2RSR.W203B	47	73	1
29	18	8000		62208.2RSR	47	73	1
42,5	25	18000	11000	6308	48	81	1,5
42,5	25	18000	11000	66308.W203B	48	81	1,5
42,5	25	7500	11000	6308.2ZR	48	81	1,5
42,5	25	7500		6308.2RSR	48	81	1,5
42,5	25	7500		66308.2RSR	48	81	1,5
62	38	14000	10000	6408	53	87	2
15,6	12,2	22000	8500	16009	48,2	71,8	0,6
20	14,3	22000	11000	6009	48,6	70,4	1
20	14,3	22000	11000	66009.W203B	48,6	70,4	1
20	14,3	9000	11000	6009.2ZR	48,6	70,4	1
20	14,3	8000		6009.2RSR	48,6	70,4	1
20	14,3	8000		66009.2RSR.W203B	48,6	70,4	1
31	20,4	19000	10000	6209	52	78	1
31	20,4	19000	10000	66209.W203B	52	78	1
31	20,4	8000	10000	6209.2ZR	52	78	1
31	20,4	8000		6209.2RSR	52	78	1
31	20,4	8000		66209.2RSR.W203B	52	78	1
31	20,4	8000		62209.2RSR	52	78	1
53	31,5	16000	10000	6309	54	81	1,5
53	31,5	16000	10000	66309.W203B	54	81	1,5
53	31,5	6700	10000	6309.2ZR	54	81	1,5
53	31,5	4500		6309.2RSR	54	81	1,5
53	31,5	4500		66309.2RSR.W203B	54	81	1,5
53	31,5	4500		62309.2RSR	54	81	1,5
76,5	47,5	13000	8500	6409	58	107	2
16	13,2	20000	7500	16010	53,2	76,8	0,6
20,8	15,6	20000	10000	6010	54,6	75,4	1
20,8	15,6	20000	10000	66010.W203B	54,6	75,4	1
20,8	15,6	8000	10000	6010.2ZR	54,6	75,4	1
20,8	15,6	8000		6010.2RSR	54,6	75,4	1
20,8	15,6	8000		66010.2RSR.W203B	54,6	75,4	1

Figura A- 30: Selección de rodamientos<sup>154</sup>

<sup>154</sup> Catálogo de FAC, pp. 22, 34-35, 38-39, 160-161 y 330-331; [Consulta: 20 de diciembre de 2012]

**ANEXO 27**  
**CATÁLOGO DEL QUEMADOR**

## QUEMADOR

# Power Conversion

P250AF & P265F GAS BURNERS



## Model features:

All models feature forced draft compact design for high efficiency conversion of oil-fired furnaces, boilers, or water heaters to Natural or LP gas. Direct Spark Ignition is standard on all units. All Wayne gas burners include die cast aluminum housings for precise alignment of parts and a machined cast iron venturi for superior mixing of gas and air. Universal mounting flange adapts to any appliance. All models factory-wired and test-fired.

## P250AF features:

The P250AF features an adjustable flame spreader to allow tailoring of the flame shape to the combustion chamber. Fires from 50,000 to 250,000 Btu/hr. Power burner design will increase efficiency up to 30% over atmospheric gas burners. Available in 8" air tube length only (7" maximum insertion).



## P265F features:

The P265F line features a fixed flame spreader, which provides a consistent, bushy, round flame. Typical applications include furnaces, boilers ("BB" Boiler Burner version recommended) and most water heaters. This unit is frequently employed for oil to gas conversions. Fires from 65,000-200,000 Btu/hr. Quiet operation with uncomplicated design that is easy to install and service. Available in 5", 8" and 11" air tube lengths.

Our P265F BB Boiler Burner is exclusively designed for conversion of boilers (primarily 2,3 and 4 section) from oil to gas operation. This model utilizes a stainless steel air tube and stainless steel air tube end focusing ring to provide a tighter, shorter flame pattern. The P265F BB yields a high efficiency conversion, low emissions and is extremely simple to service. Maximum 6 3/8" usable insertion. Available only as a Natural gas fired unit from the factory, however it is easily converted to LP operation using our P/N 62955-001 conversion kit.

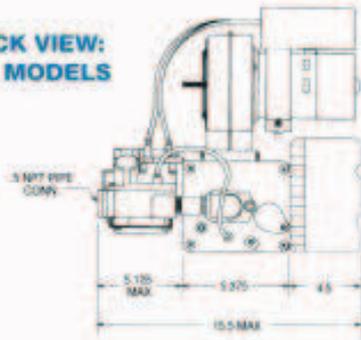


# Specifications

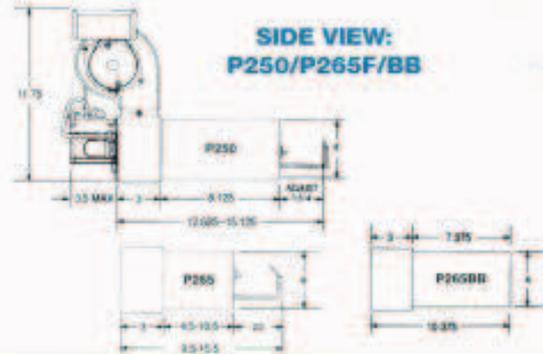
## P250AF & P265F GAS BURNERS

P250AF GAS BURNER		P265F GAS BURNER	
Minimum Btu/hr Input	50,000	Minimum Btu/hr Input	65,000
Maximum Btu/hr Input	250,000	Maximum Btu/hr Input	200,000
Voltage	120 Volt, 60Hz (can run 50Hz *)	Voltage	120 Volt, 60Hz (can run 50Hz **)
Gas Pressure Required	Natural gas - 4.5" W.C. LP gas 11.0" W.C.	Gas Pressure Required	Natural gas - 4.5" W.C. LP gas 11.0" W.C.
Ignition Source	Direct Spark Ignition	Ignition Source	Direct Spark Ignition
Gas Valve	24 Volt	Gas Valve	24 Volt
Floor Area	Minimum 0.6 sq. in./1000 Btu/hr Maximum 0.9 sq. in./1000 Btu/hr	Floor Area	Minimum 0.6 sq. in./1000 Btu/hr Maximum 0.9 sq. in./1000 Btu/hr
Gas Connection	1/2" NPT	Gas Connection	1/2" NPT
Air Tube Diameter	4"	Air Tube Diameter	4"
*Reduces maximum output to 208,000 Btu/hr.		**Reduces maximum output to 166,000 Btu/hr.	

**BACK VIEW:  
ALL MODELS**



**SIDE VIEW:  
P250/P265F/BB**



MODEL	ORDER WAYNE PART #	AIR TUBE LENGTH	FUEL	IGNITION*	SHIPPING WEIGHT EACH
P250AF	63365	8"	LP	D.I.	24 lbs.
P250AF	63366	8"	Nat	D.I.	24 lbs.
P265F	63367	5"	LP	D.I.	23 lbs.
P265F	63368	5"	Nat	D.I.	23 lbs.
P265F	63369	8"	Nat	D.I.	24 lbs.
P265F	63370	11"	LP	D.I.	25 lbs.
P265F	63371	11"	Nat	D.I.	25 lbs.
<b>BOILER BURNER</b>					
P265F BB	63388	7 1/4"	Nat	D.I.	24 lbs.

\*D.I. = Direct Ignition

REV. 11-08

WAYNE COMBUSTION SYSTEMS • 801 Glasgow Ave. • Fort Wayne, IN 46803 • 260.425.9200 • Fax 260.424.0904 • www.waynecombustion.com

Figura A- 31: Quemador industrial<sup>155</sup>

<sup>155</sup> "Power Conversion"; WAYNE Combustion Systems; <[http://www.importadoresdirectos.com/P250AF\\_P265F\\_product\\_sheet.pdf](http://www.importadoresdirectos.com/P250AF_P265F_product_sheet.pdf)>; [Consulta: 24 de enero de 2013].

**ANEXO 28**  
**DIAGRAMA DE MOODY**

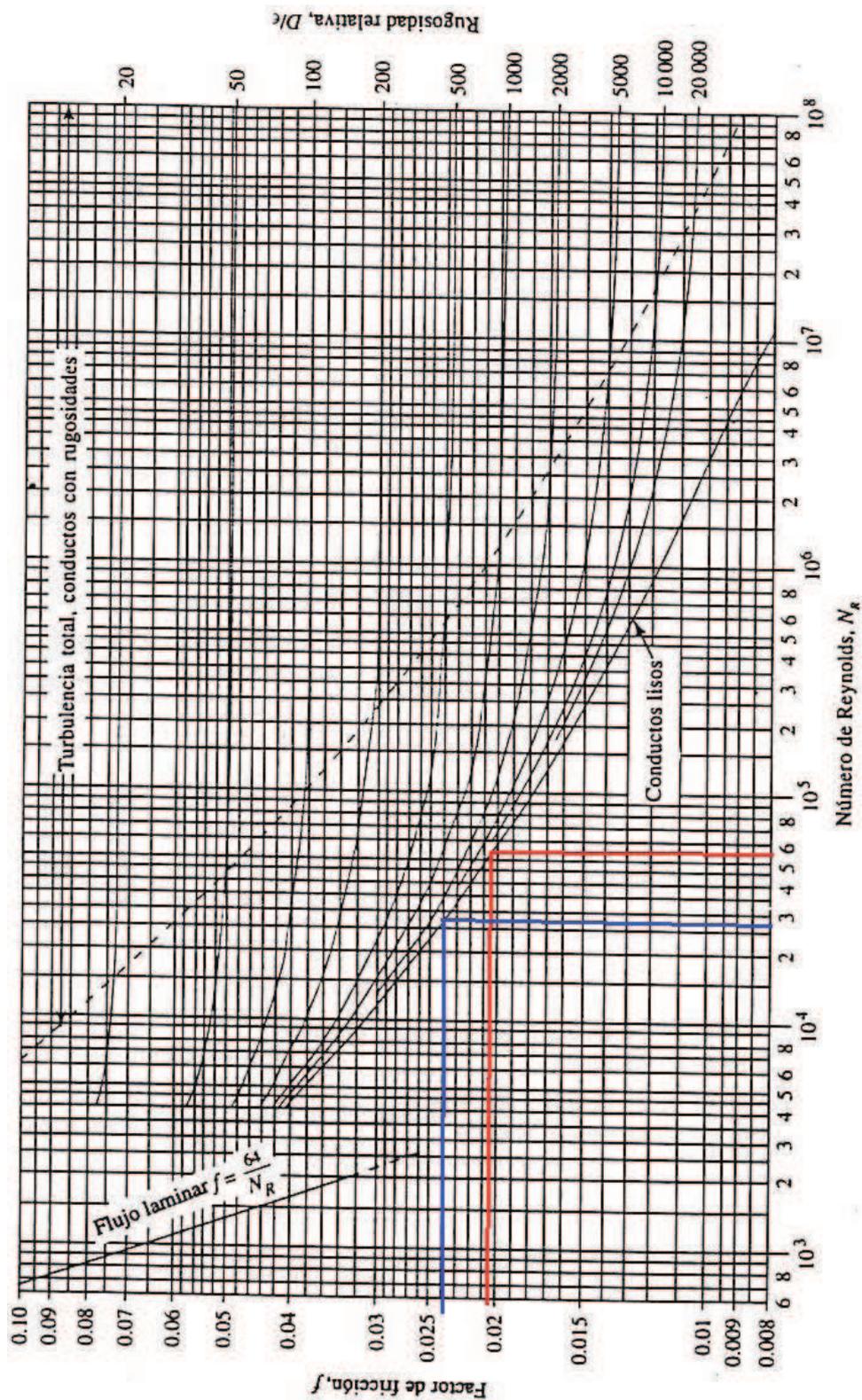


Gráfico A- 3: Diagrama de Moody<sup>156</sup>

<sup>156</sup> Mott R.; "Mecánica de Fluidos Aplicada"; cuarta edición; Pearson; México – México; 1996; pp. 241; [Consulta: 16 de enero de 2013]

**ANEXO 29**  
**COEFICIENTES DE RESISTENCIA –**  
**DILATACIÓN GRADUAL**

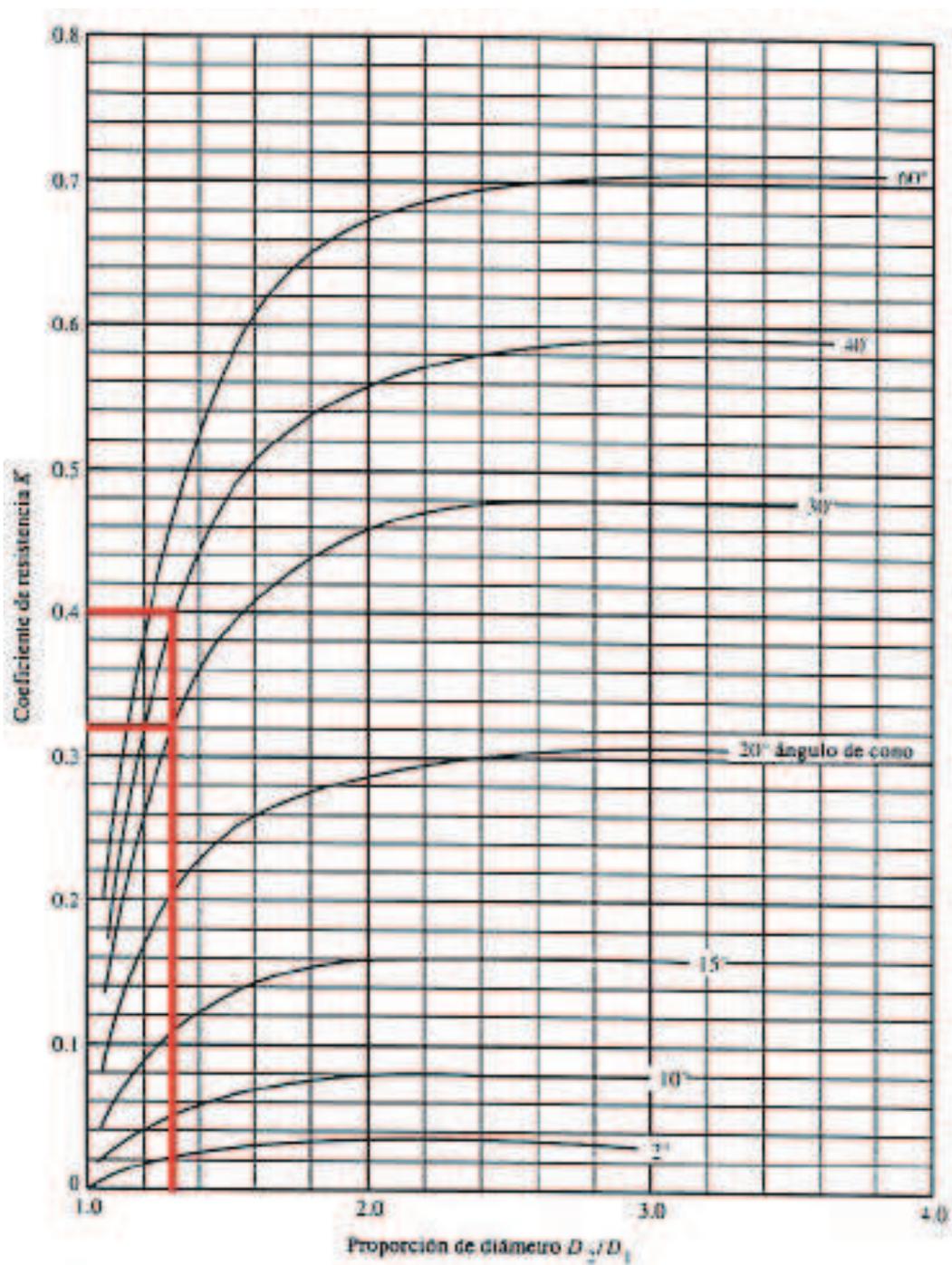


Gráfico A- 4: Coeficientes de resistencia – dilatación gradual<sup>157</sup>

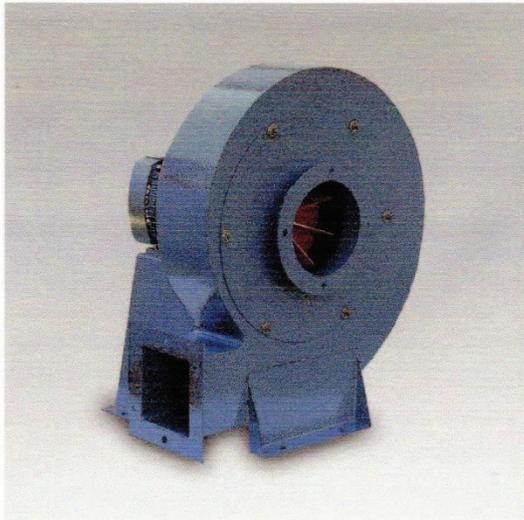
<sup>157</sup> Mott R.; "Mecánica de Fluidos Aplicada"; cuarta edición; Pearson; México – México; 1996; pp. 273; [Consulta: 16 de enero de 2013]

**ANEXO 30**  
**CATÁLOGO DEL VENTILADOR**

VENTILADOR

CST-B

EXTRACTORES CENTRIFUGOS S&P  
300, 400, 800, 1300, 2000, 2600 y 3500 m<sup>3</sup>/h



La serie CS de extractores de tipo centrífugo con turbina de alabes rectos radiales, cuenta con siete tamaños cuyas prestaciones cubren un amplio rango de caudal manejando presiones medias.

Su construcción robusta y a la vez compacta, permite su adaptación a cualquier tipo de instalación.

Características Principales

Carcasa en acero electrosoldada, rotor de alabes rectos radiales fabricado en fundición de Al, acabado en pintura en polvo poliéster horneada color gris martillado con gran resistencia a la corrosión. Motor acoplado directamente a la turbina.

Aplicaciones

Cámaras de pintura, secadores, manejo de humo, polvo, presurización en procesos industriales, etc.

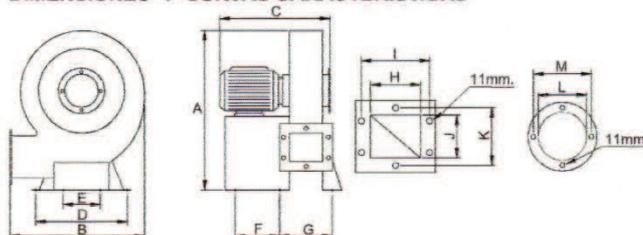
\* Todos los modelos de línea son rotación derecha.

CARACTERISTICAS TECNICAS

Modelo	Velocidad RPM	Potencia HP	Intensidad máxima (A)			Caudal descarga libre m <sup>3</sup> /hr	Nivel Sonoro dB(A)*	Peso aprox. Kg
			440	220	127			
CSB-300	3450	1/4	-	-	6.2	300	71	13
CSB-400	3455	1/2	-	-	9.4	400	73	17
CST-400	3455	1/2	1.1	2.2	-	400	73	17
CSB-800	3555	3/4	-	6.3	12.3	800	75	21
CST-800	3555	3/4	1.5	3	-	800	75	21
CSB-1300	3300	1	-	8	14.7	1300	82	24
CST-1300	3300	1	1.9	3.9	-	1300	82	24
CST-2000	3560	1.5	2.4	4.8	-	2000	84	37
CST-2600	3490	3	5	10.	-	2600	86	41
CST-3500	3500	5	7.4	14.8	-	3500	90	86

\* Nivel sonoro medido de acuerdo a norma 300/96 AMCA y 301/96.

DIMENSIONES Y CURVAS CARACTERISTICAS



DIMENSIONES mm												
Modelo	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	M
CSB-300	392	312	310	213	68	90	110	60	91	50	77	147
CSB-T 400	415	360	310	230	98	90	110	60	91	70	101	147
CSB-T 800	495	427	345	255	110	90	152	80	115	105	139	153
CSB-T 1300	565	427	375	263	110	90	170	100	132	120	150	175
CST-2000	625	540	415	315	142	110	195	118	153	125	161	190
CST-2600	625	540	425	315	142	116	195	118	153	126	161	190
CST-3500	725	620	585	400	150	120	201	120	155	142	178	218

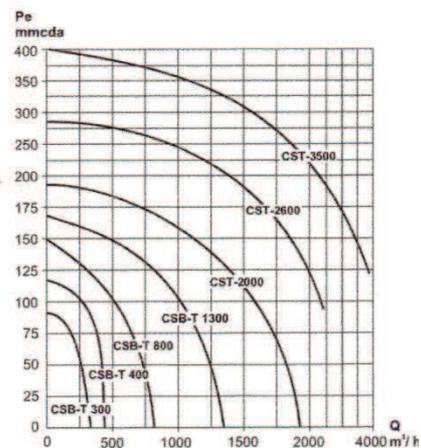


Figura A- 32: Ventiladores centrífugos<sup>158</sup>

<sup>158</sup> Extractores centrífugos S. & A.; MegaFrio S.A.; Quito - Ecuador; [Consulta: 15 de febrero de 2013].

**ANEXO 31**  
**HOJA DE PROTOCOLO DE PRUEBAS**



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**HOJA DE PROTOCOLO DE PRUEBAS**

**DATOS GENERALES**

<b>EQUIPO:</b>	Máquina secadora vertical para maíz		
<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN:</b>	Guano Reyes Victoria Belén Rocha Guamán Alex Roberto		
<b>REVISIÓN:</b>	Ing. Patricio Flores	<b>COLABORACIÓN:</b>	Ing. Alcívar Jaramillo Ing. Jorge Escobar
<b>LUGAR Y FECHA DE LA PRUEBA:</b>			

**VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES GENERALES Y PESO**

PARÁMETRO	RESULTADO	APRUEBA	RECHAZA
Alto			
Largo			
Ancho			
Peso			
Capacidad			

**VERIFICACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD Y MONTAJE DE LAS PIEZAS**

PIEZA O ELEMENTO	APRUEBA	RECHAZA
Ajuste de pernos		
Cadena		
Catarina		
Estructura externa		
Estructura Interna		
Forma y distribución de caballetes		
Pintura		
Quemador		
Tolvas		
Tornillo sin fin		
Ventilador		

<b>FUNCIONAMIENTO EN VACÍO</b>					
<b>SISTEMA EVALUADO</b>			<b>APRUEBA</b>	<b>RECHAZA</b>	
Transmisión del motor reductor al tornillo sin fin					
Temperatura del aire caliente secador					
Extracción del aire caliente					
<b>FUNCIONAMIENTO CON CARGA</b>					
<b>SISTEMA EVALUADO</b>			<b>APRUEBA</b>	<b>RECHAZA</b>	
Alimentación y salida de los granos de maíz por el tornillo sin fin					
Temperatura de entrada de aire a 56°C a la cámara de secado					
Tiempo de secado de 5 horas 24 min.					
<b>OBSERVACIONES:</b>					
_____					
_____					
_____					
_____					
_____					
_____					
<b>FIRMAS DE RESPONSABILIDAD</b>					
<b>OPERADORES</b>			<b>DIRECTOR DEL PROYECTO</b>		
Guano R. Victoria		Rocha G. Alex		Ing. Patricio Flores	
<b>CI</b>		<b>CI</b>		<b>CI</b>	
<b>Fecha:</b>		<b>Fecha:</b>		<b>Fecha:</b>	

**ANEXO 32**  
**PROFORMAS PARA COSTOS**

PROFORMA DEL MOTOREDUCTOR



Av. 6 de Diciembre N47-203 y S.Fritz. Quito - Ecuador  
 PBX: (593) 2 2416996  
 www.ingelcom.com.ec

COTIZADO POR: JORGE MESIAS

COTIZACION No: PRO11-6579

Fecha: 2013.03.14  
 Empresa: VICTORIA GUANO  
 Telefonos: 3152837  
 SOLICITADO POR: VICTORIA GUANO



ITEM	CANT	CODIGO	No. PARTE	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	DESC. (%)	P. FINAL UNITARIO	VALOR TOTAL
1	1	ART100		MOTOREDUCTOR LINEAL MODELO Z38-K4-60 CON 35RPM DE SALIDA CON I DE 44.12 CON UN TORQUE 187.48Nm Y FS DE 1.18 ENSAMBLADO A UN MOTOR SIEMENS DE 1HP.	1120.00000	25.00	840.00000	840.00000
2	1	ART100		MOTOREDUCTOR ANGULAR MODELO CM40 CON I DE 40 CON 42RPM DE SALIDA CON UN TORQUE DE 162.63Nm Y UN FS DE 0.98 ENSAMBLADO A UN MOTOR SIEMENS DE 1HP.	810.00000	25.00	457.50000	457.50000
<b>SUBTOTAL</b>								1297.50
<b>IVA 12%</b>								155.70
<b>TOTAL USD</b>								1453.20

**TERMINOS COMERCIALES**

Forma de pago: **CONTADO**  
 Validez de la oferta: **15 DIAS**  
 Lugar y tiempo de entrega: **INMEDIATA**

Precios calculados en base a cantidades y especificaciones indicadas, si estas varían INGELCOM se reserva el derecho de modificar los precios finales

## PROFORMA DEL QUEMADOR



QUITO - ECUADOR



**Honeywell**  
HOME AND BUILDING CONTROL  
MEASUREMENT AND INDUSTRIAL CONTROL



OFICINA PRINCIPAL QUITO:  
Conde Ruiz de Castilla N27-61 (359)  
y Lorenzo de Aldana  
Telfs. 2562-039 / 2235-270 Telefax: 2222-080  
Apartado: 17-11-04827  
E-mail: venamet@uio.satnet.net  
www.venamet.com

PRESENTANTE Y/O DISTRIBUIDOR DE: HONEYWEL INC, WAYNE COMBUSTION SYSTEM, FULTON BOILER  
DRKS INC, ITT MCDONNELL & MILLER, POWER FLAME INCORPORATED, TELEDYNE ANALYTICAL  
STRUMENTS, WEBSTER ELECTRIC CD, CONBRACO, SUNTEC, ALLANSON, TELEMECANIQUE.

**PROFORMA**

0003676

ñores: Srta Victoria Guerrero  
 ención: .....  
 rección: Miraflores  
 licitud No. 3152837 Quito, 25-02-2013 CV ..... No. ....

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	1	Quemador para gas 200.000 BTU/Hr. + 12% IVA.	800, =	800, = 96, = <hr/> 896, =

Condiciones de Pago: ContadoEntrega Inmediata.

Victoria Guerrero  
Camela Figueroa

Plazo por: 8 días

PROFORMA DEL VENTILADOR



**MATRIZ QUITO:** Av. 10 de Agosto N39-235 • CC. La Y. Local N° 8  
Teléfono: 2256-437 / 2256-438 / 2449-011 / 2253-099  
**SUR:** Av. Rodrigo de Chávez OE254 y Pedro de Alfaro  
Teléfono: 2648-928  
**SANGOLQUE:** Urbanización Yahuauchi - Av. General Enriquez  
Lote 20 Local N°3 • Tel.: 2332-202  
**ESMERALDAS:** Av. Libertad 318 y Pichincha • Teléfono: 2723-178

**MATRIZ GUAYAQUIL:** C.C. Dicientro local 4 • Av. Juan Tanca Marengo Km. 1 1/2  
Tel.: (04) 2278-662 / (04) 2275-914  
**SUCURSAL 1:** Km. 3 1/2 Urdenor Av. Juan Tanca Marengo  
Solar 27 Tel.: (04) 2240-085  
**ATACAMES:** Los Almendros entrada Atacames s/n • Tel.: (06) 2760-835  
**AMBATO:** (La MERCED) Av. Doce de Noviembre 08-08 y Maldonado  
Teléfono: (03) 2822-253 / (03) 2824-465

CONTRIBUYENTE ESPECIAL RESOLUCION N° 636 DEL 29/12/2005

Administración

**PROFORMA**  
RUC. 1791408381001  
**0016140**

CLIENTE: 1500000 CONSUMIDOR FINAL CI ó RUC: 1711177 CONSUMIDOR FINAL DIRECCION: 0000000000000000 Atencion a CIUDAD: QUITO TELF.: 619901 Fax:	FECHA DE EMISION 15-FEBRERO-2013 15-FEBRERO-2013 Validez: 30 Dias Validez: 30 Dias Forma Pago: CONTADO/EFFECTIVO 001 - OFICINA
--	--

CANT.	DESCRIPCION	V. UNITARIO	VALOR TOTAL
1.00	06016046 VENTILADOR CENTRIFUGO TURBINA T/D CSB1300 SOLER&PALAU	588.00	588.0000
1.00	92012008 VALIDEZ DE OFERTA 15 DIAS OTROS		
	ENTREGA DE INMEDIATA SEGUN STOCK		
	FORMA DE PAGO A CONTADO		
	ATT. DAVID FLORES TELF: 2615341 097283381		
MON: SEISCIENTOS CINCUENTA Y OCHO Con..56/100 Dólares			588.00
			0.00
			588.00
			70.56
			<b>658.56</b>
CLIENTE	MEGAFRIO		

MUNDO: 2563-424 - 25 BL. 1072 del 1401 al 1600 - Imp. Mayo 2012

## ELEMENTOS NORMALIZADOS Y MATERIALES



Fecha:06/02/2013

Hora:

Página 1

VAN BOHMAN C.A.  
I.U.C. 0990320810001

Jayaquil: Km 6 1/2 Via Daule - Casilla 09-01-1317

Teléfonos: 225-4111 - 225-8666 Fax: 2254244 - 2254159

Sitio: Av. Galo Plaza Lasso N66-211 / N66-227 y de los Cerezos

Teléfonos: (02)-248-5324 / 325 / 326 / 330 Fax: (02) 247-6054

Sitio: Av. Maldonado 10750 y Ayapamba

Teléfonos: (02) 306-3031 - (02) 306-3002 Fax: (02) 265-7296

Código: F-VE-018 Fecha: 2010-10-26 Versión: 02

## COTIZACION

Cotización #: 00124073\_0

Cliente: 00070001022 CONSUMIDOR FINAL

UC: 999999999

Contacto:

Dirección:

Teléfono:

Fax:

% Descuento: 0

Código: 11034

AGUILAR

Condición de Pago: CONTADO

Código de artículo	Descripción	Un	Cantidad	Precio unitario	Pct. de desc.	Importe neto
0 45 6008 2RSR C3	RODAMIENTO RIGIDO DE	UN	2.00	12.1000	25.00	18.15
6 L1 1CV4P80/MB76-80-30/1	MOTORREDUCTOR 1HP 60RPM	UN	1.00	1,060.6750	25.00	795.51
0 93 TIG 308L 3/32" X 1000 MM	VARILLA DE APORTE TIG 308L	KG	5.00	15.6000	25.00	58.50
0 J6 OK 22.65 4.00 X 350 MM	OK 22.65 (AWS E 6011) 5/32"	KG	20.00	4.0700	25.00	61.05

RECIBOS Y STOCK SUJETOS A  
CONFIRMACION

TOTAL COTIZACION: 933.21

DESCUENTO ADICIONAL: 0.00 % 0.00

SUB-TOTAL: 933.21

I.V.A. 111.99

TOTAL: 1,045.20

Firma Vendedor

Firma Cliente

**CASTILLO HERMANOS S.A**

TELE/FAX:2684560/1

CONTRIBUYENTE ESPECIAL RESOLUCION #194

Matriz: Panamericana Norte 13135 y Cerezo

RUC:1790155102001

Sucursal: Maldonado y Cusubamba

PROFORMA #003-002-0032892

Fecha: Quito, Miércoles, 6/Feb/2013

Almacén: SUC. SUR

Vendedor: LEONARDO ROMAN

Cliente: VICTORIA GUANO

Cantidad	Artículo	V. Unitario	V. Total
3.00	DISCO DESBASTE HIERRO WORTON 115x6.4x22.22 4.1/2x1/4x7/8" BDA640 COD.66252842857	1.97	5.91
	1297100		
2.00	LIJA DISCO FLAP #100 4.1/2" KINKON AZUL OSCURO COD.0260612	3.45	6.90
	1545400		
10.00	GAFA O LENTE ANTIPARRAS 58234 - B604	3.79	37.93
	164900		
1.00	SIERRA PARA MECANICO DISSTON BLUE MOL 12"-24D BINETAL COD.E0102870	1.68	1.68
	1614900		
2.00	LIJA HIERRO PLIEGO NORTON K-246 150 225X275MM COD.05539503256	0.53	1.06
	182600		
1.40	% ARANDELA PLANA USS GALVAN. 5/16"	2.49	3.49
	26400		
24.00	ARANDELA PLANA USS GALVAN. 9/16"	0.09	2.16
	673400		
1.40	% PERNO HEX MM RG DIN 933-931 GR.8.8 NEGRO 8X1.25X20	5.80	8.12
	357900		
8.00	PERNO HEX AC.INOX. MM DIN 933-931 14X50	1.11	8.88
	716600		
12.00	PERNO HEX MM RG DIN 933-931 GR.8.8 NEGRO 10X1.50X20	0.12	1.44
	360600		
24.00	PERNO PARA ANCLAJE EXT. 1/2X6"	0.90	21.60
	678706		
1.40	% TUERCA FLANGE TROPICAL. DIN 6923 MM 8X1.25	4.07	5.70
	1408200		
8.00	TUERCA AC.INOX. MM DIN 934 14X2.00	0.41	3.28
	1184800		
12.00	TUERCA FLANGE TROPICAL. DIN 6923 MM 10X1.50	0.07	0.84
	1465000		
12.00	ARANDELA PLANA AC.INOX. 304 3/8"	0.06	0.72
	27100		
	Subtotal (=)		109.71
	*Dcto.* 19.6429% (-)		21.55
	Imponible (=)		88.16
	I.V.A. 12.00% (+)		10.58

**TOTAL US\$ 98.74**

\*El dcto. se aplicó de acuerdo al monto

Distribuidor exclusivo de Herramienta

**IRIMO**

Grupo SnapOn

Esta proforma tiene validez de 15 días



**www.dipacmanta.com**

MANTAZA: Av. 24 de Mayo y Calle 4ta. esq. - Telf.: (02) 260009 - Fax: 2604652  
 QUITO: Guabazota 250 y Av. De la Prensa - P.O. (02) 266900  
 QUITO SUR: Tanya y Panamericana Sur Km 5-1/2 frente a AQA - P.O.: (02) 261110

**ESTABLECIMIENTOS:**  
 QUEVEDO: Vía a Urcubí Km. 1 - Telf.: (05) 2763396 - 2763395  
 SANTO DOMINGO: Vía a Quevedo Km 3-1/2, frente al bypass de la Vía a Chone y Vía a Esmeraldas  
 Telf.: (05) 3702444 - 3702149 - 3713500  
 PORTOVELD: Av. Universidad y Calle Chiriquí CAJAMARCA - Telf.: (05) 2635105 - 2634999  
 GUAYAZUL: PLANTA: Vía a Daule Km 10-1/2 - Telf.: (04) 2113119 - 2111411  
 ALFA: Vía a Daule Km 10-1/2 - Telf.: (04) 2113119 - 2111411  
 PLANTA 2: Vía a Daule Km 16-1/2 - Telf.: (04) 2012365 - 2012264  
 SEQ. INDUSTRIAL: Vía a Daule Km 8-1/2 - Telf.: (04) 225843  
 LOCAL 2: Vía a Daule Km 8-1/2 - Telf.: (04) 2261541 - 2261535  
 LOCAL 3: El Ayllón y Calacuchma, sequera - Telf.: (04) 2419371 - 2410894

AMBATO: Av. Mahuapa y San Jerónimo - Telf.: (03) 2640559 - 2641841  
 QUITO: Av. 12 de Abril entre Imbabura y El Oro - Telf.: (02) 2686440 - 2610040 - 2686974  
 MACHALA: Quimsa y El Guabo, Imbabura - Telf.: (07) 3321763 - 3321677  
 MELAGRO: Av. 17 de Septiembre y Cúchuma - Telf.: (04) 2973671 - 2971050  
 IBARRA: Av. Central de Troya y Moja frente a la plaza Olímpica - Telf.: (06) 2604966 - 2604967 - 2604968  
 LOJA: Calle Arístides, entre Ibarra y Tumbaco - Telf.: (07) 2600909  
 ROSABAMBA: Av. Libertador y Venecia - Telf.: (08) 2620127 - 2620181 - 2620990

**DIPAC MANTA S.A.**  
**R.U.C. 1390060757001**  
**CONTRIBUYENTE ESPECIAL**  
RESOLUCIÓN 698 DEL 2 DE JUNIO 1988 DIPAC MANTA S.A.

- La mercancía viaja por cuenta y riesgo del comprador.
- Salida la mercadería de nuestros almacenes no se aceptan reclamos.
- Los pagos deben realizarse con cheque cruzado a nombre de DIPAC MANTA S.A.

- Somos contribuyentes especiales favor no retener el IVA.
- Emitir los comprobantes de retención a nombre de DIPAC MANTA S.A.

Num. Pedido

57900130

07/02/2013

NOMBRE/RAZON SOCIAL: 004999999 OCASIONAL Q. NORTE

# Tarjeta Dipac:

COD. DIRECCION: 004000726 DIPAC MANTA S.A.

2295363

DIPAC MANTA CIA. LTDA.

Forma/Pago: 01 CONTADO

**ESTA COTIZACION ES VALIDA SOLO POR 1 DIA**

Ord.	Artículo	Descripción	Und.	Cantidad	Precio	Total USD.
1	PLT050090	PLATINA 2x3/8 (50x9)"	u	1,00	26,10	26,10
2	PLT100090	PLATINA 4 x 3/8 (100x9)"	u	1,00	59,40	59,40
3	AN04003	PERFIL ANG. 40mmx3mm	u	5,00	9,90	49,50
4	AN08008	PERFIL ANG. 80mmx8mm	u	2,00	62,50	125,00
5	PEU05002503	PERFIL CANAL U 50mmx25mmx3mm	u	2,00	12,30	24,60

ESTE DOCUMENTO NO CONSTITUYE VENTA Y LOS PRECIOS PUEDEN CAMBIAR SIN PREVIO AVISO

Estos precios no aplican para pago con Tarjeta de Crédito	<b>Subtotal</b>	<b>286,60</b>
VENDEDOR: MARTILLO ANDRADE MAURICIO FERNANDI	<b>IVA</b>	<b>34,39</b>
Celular:	<b>Total USD.</b>	<b>320,99</b>



(MATRIZ MANTA): Av. 24 de Mayo y calle 4ta. esquina - Telf.: (03) 2620839 - Fax: 2624952.  
 (QUITO): Gualaquiza 295 y Av. de la Prensa - PBX: (02) 3960900.  
 (Quito Sur): Calle Tazú y Panamericana Sur Km. 3, 12 - PBX: (02) 2671310.  
**ESTABLECIMIENTOS:**  
 (Quevedo): Vía a Valencia Km 1 - Telfs.: (05) 2763388 - 2763389 - 2763423.  
 (Sto. Domingo): Vía a Quevedo Km 3 1/2 (a lado de la gasolinera JAMAJAY).  
 Telfs.: (02) 3703145 - 3703144 - 3703212 - 3712001 - 3712000.  
 (Portoviejo): Av. Universitaria y Calle César Chávez Caracas - Telfs.: (05) 2633105 - 2634569.  
 (Guayaquil): Planta Vía a Daule Km 10 1/2 - Telfs.: (04) 2111319 - 2111411.  
 (Alfaro): Vía a Daule Km 10 1/2 - Telfs.: (04) 211319 - 2111411.  
 (Planta 2): Vía a Daule Km 16 1/2 - Telfs.: (04) 5012265 - 5012264.  
 (Seg. Industrial): Vía a Daule Km 8 1/2 - Telf.: (04) 2251943.  
 (Local 2): Vía a Daule Km 8, 12 - PBX: (04) 2251541 - 2251535.  
 (Local 3): Av. Eloy Alfaro y Calle Calicuchima esq. - PBX: (04) 2410854 - 2415371.  
 (Ambato): Av. Adonzaola y Calle Nari Píñobazo - Telfs.: (03) 2649669 - 2411841.  
 (Cuenca): Av. 12 de Abril entre las Calles Imbabura y Galapagos - Telf.: (07) 2884788 - Fax: (07) 2888574.  
 (Machala): Guayas y Guabo esq. - Telfs.: (07) 2921763 - 2921577 - 2934421 - 2921605.  
 (Milagro): Av. 1 de Septiembre y Calle López - Telfs.: (08) 2973201 - 2971356.  
 (Ibarra): Av. Cristóbal de Troya y Mejía - Telfs.: (06) 2604596 - 2604597.  
 (Loja): Calle Ambato s/n entre Tolañe e Ibarra Ciudadela Fabobol - Telf.: (07) 2550699.  
 (Riobamba): Av. San Miguel de Tapi Lote 34 - Telf.: (03) 2603950 - 2603983 - 2600137.

[www.dipacmanta.com](http://www.dipacmanta.com)

**DIPAC MANTA S.A.**  
**R.U.C. 1390060757001**  
**CONTRIBUYENTE ESPECIAL**  
 RESOLUCIÓN 3360 DEL 2 DE JUNIO 1995 DIPAC MANTA S.A.

- La mercadería viaja por cuenta y riesgo del comprador.
- Salida la mercadería de nuestros almacenes no se aceptan reclamos.
- Los pagos deben realizarse con cheque cruzado a nombre de DIPAC MANTA S.A.
- Somos contribuyentes especiales favor no retener el IVA.
- Emitir los comprobantes de retención a nombre de DIPAC MANTA S.A.

**PROFORMA**

NUMERO DE OFERTA: 060012552 QUITO SUR, 06-02-13  
 NOMBRE/RAZON SOCIAL: ROCHA ALEX  
 CODIGO DE CLIENTE: 006999999 TELEFONO: 0998795421  
 CODIGO DE DIRECCION: 006007050 SUR

Pos	Artículo	Descripción	Cantidad	Precio	Total USD.	Und
260	AL08008	ANG. IMP. 80mmx8mm (3x5/16) "	1.00	126.86	126.86	u
270	IPE10006	PERFIL IPE 100mmx55x4.1x6mt.	2.00	79.95	159.90	u
280	AL07006	ANG. IMP. 70mmx6mm (2 3/4x1/4) "	1.00	53.15	53.15	u
290	AL02003	ANG. IMP. 20mmx3mm (3/4x1/8) "	3.00	5.72	17.16	u
300	PGAL48250	PLANCHA GALV. 2.5mm 4x8	14.00	62.82	879.48	u
310	TCU2015	TUBO CUAD. 20mm x 1.5mm (3/4) "	1.00	7.57	7.57	u
320	TSC40114	TUBERIA SIN COST. CED. 40 1 1/4"	6.00	4.93	29.58	m

ESTE DOCUMENTO NO CONSTITUYE VENTA Y LOS PRECIOS PUEDEN CAMBIARSE SIN PREVIO AVISO

Estos precios no aplican para pago con Tarjeta de Crédito	SUBtotal	<del>4186.74</del>
	Iva	<del>582.43</del>
	Total USD	<del>4769.17</del>

VENDEDOR: COBOS CIFUENTES GABRIEL FABRICIO

0992743843

ORIGINAL - DESTINATARIO