

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA**  
**Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**SISTEMA DE SECADO PARA GRAMINEAS - ZEA MAYS CON  
CAPACIDAD DE 5 QUINTALES/DIA PARA LA MICROEMPRESA  
ARTESANAL “MOLINO SAN JOSÉ”**

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

**JULIO CÉSAR AGUIRRE ARAUJO**  
**EDGAR PAOLO LLUMIQUINGA CHANATAXI**

**DIRECTOR: ING. JOSÉ GUASUMBA**  
**CODIRECTOR: ING. ROBERTO GUTIÉRREZ**

**Sangolquí, Junio de 2009**

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto “SISTEMA DE SECADO PARA GRAMINEAS - ZEA MAYS CON CAPACIDAD DE 5 QUINTALES / DIA PARA LA MICROEMPRESA ARTESANAL MOLINO SAN JOSÉ” fue realizado en su totalidad por Julio César Aguirre Araujo y Edgar Paolo LLumiquina Chanataxi, bajo nuestra supervisión, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

---

ING. JOSÉ GUASUMBA  
DIRECTOR

---

ING. ROBERTO GUTIÉRREZ  
CODIRECTOR

Sangolquí, Junio de 2009

# **LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO**

**“SISTEMA DE SECADO PARA GRAMINEAS - ZEA MAYS CON  
CAPACIDAD DE 5 QUINTALES / DIA PARA LA MICROEMPRESA  
ARTESANAL MOLINO SAN JOSÉ”**

**ELABORADO POR:**

---

**JULIO CESAR AGUIRRE A.**

---

**EDGAR PAOLO LUMIQUINGA CHANATAXI.**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

---

**ING. EMILIO TUMIPAMBA  
DIRECTOR DE CARRERA DE LA CIME**

## DEDICATORIA

Este trabajo es lucha del esfuerzo y apoyo de mi familia, pilar fundamental de mis éxitos.

A mi esposa Jimena Patricia, luz y guía de mi camino. Amiga de tristezas y alegrías.

A mi hijo Julio César, que desde el cielo fue la inspiración para lograr el éxito. Ángel de mi camino y fiel compañía.

A mis hijos Gabriel Alfonso y María del Cisne, constructores de sonrisas e inspiración de mi vida.

*Julio César*

A mis padres y hermano que estuvieron pendientes en mi desarrollo profesional.

A mi esposa Sandra Elizabeth, mi compañera de apoyo y aliento a no desfallecer.

A mi hija Samantha Damaris, ángel que complementa la felicidad en mi vida, por la cual siempre velaré.

*Edgar Paolo*

## AGRADECIMIENTO

A Dios por ser mi refugio en los momentos difíciles, por ser la fuerza interna que nunca me ha abandonado.

A mis padres Inés y Julio por el apoyo total en toda mi vida estudiantil, gracias por su tiempo impagable y su cariño inalcanzable. Gracias padres por haberme formado como el mejor hombre, amigo y ahora profesional.

Al director y codirector de esta tesis por su tiempo, paciencia, guía y apoyo.

*Julio César*

A Luís y Ana por darme la vida y por ser las personas que hicieron todo lo posible para ayudar en mi vida estudiantil, muchas gracias papitos.

A Dios por darnos salud y permitir que mis padres y las personas que amo se encuentren junto a mí en los momentos especiales; en la culminación de un ciclo más de mi vida.

A las personas que pusieron su conocimiento y el tiempo para el desarrollo de nuestro proyecto mi director y codirector.

*Edgar Paolo*

# ÍNDICE GENERAL

<b>CONTENIDO</b>	<b>PAG</b>
CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	II
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	III
DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
INDICE GENERAL .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS .....	XX
NOMENCLATURA .....	XIX
RESUMEN .....	XXV
<b>CAPITULO 1</b>	
<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	4
1.3.1 GENERAL .....	4
1.3.2 ESPECÍFICOS.....	4
1.4 ALCANCE .....	4
1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....	5
<b>CAPITULO 2</b>	
<b>MARCO TEORICO .....</b>	<b>7</b>
2.1 DEFINICIONES.....	7
2.2 MAÍZ .....	9
2.2.1 ESPECIES.....	11

2.2.2	REGIONALIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN .....	12
2.2.3	MANEJO DEL CULTIVO .....	14
2.2.3.1	Niveles tecnológicos .....	15
2.2.3.2	Costos y Rentabilidad.....	16
2.2.3.3	Variedades e híbridos.....	17
2.2.3.4	Semilla .....	18
2.2.4	COSECHA Y POS COSECHA.....	19
<b>2.3</b>	<b>PROCESO DE SECADO .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4</b>	<b>TÉCNICAS DE SECADO.....</b>	<b>20</b>
2.4.1	SECADO POR AIRE CALIENTE .....	21
2.4.2	SECADO AL VACÍO .....	23
2.4.3	SECADO POR SUPERFICIES CALIENTES .....	27
2.4.4	SECADO AL RADIACIÓN.....	29
<b>2.5</b>	<b>TIPOS DE SECADORES DE GRANOS .....</b>	<b>30</b>
2.5.1	SECADORAS DE FLUJO CONTINUO .....	31
2.5.2	SECADORAS DE FLUJO CONTRACORRIENTE .....	32
2.5.3	SECADORAS DE FLUJO CONCURRENTE .....	34
2.5.4	SECADORAS DE CASCADAS.....	35
2.5.5	SECADORES HORIZONTALES.....	38
2.5.6	SECADORAS EN TANDAS Y SILOS SECADORES.....	41
2.5.7	SECADORAS DE RECIRCULACIÓN.....	42
<b>2.6</b>	<b>PSICROMETRÍA .....</b>	<b>42</b>
2.6.1	AIRE SECO .....	43
2.6.3	PROPIEDADES TÉRMICAS DEL AIRE.....	44
2.6.3.1	Temperatura de bulbo seco (T).....	44
2.6.3.2	Temperatura de punto de rocío (Pr).....	44
2.6.3.3	Temperatura de bulbo húmedo (Bh) .....	45
2.6.3.4	Presión de vapor (Pv).....	45
2.6.3.5	Razón de humedad (W) .....	46
2.6.3.6	Humedad relativa (H) .....	47
2.6.3.7	Volumen específico (v) .....	47
<b>2.7</b>	<b>CALOR Y TEMPERATURA.....</b>	<b>48</b>
2.7.1	CALOR .....	49
2.7.1.1	Calor Específico .....	49
2.7.1.1.1	Calor Específico Molar .....	50
2.7.1.2	Calor Latente .....	51
2.7.1.3	Calor Sensible .....	51

2.7.2	DIFERENCIA ENTRE CALOR Y TEMPERATURA .....	53
<b>2.8</b>	<b>PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....</b>	<b>53</b>
2.8.1	CONDUCCIÓN .....	53
2.8.2	CONVECCIÓN.....	55
2.8.3	RADIACIÓN .....	56
<b>2.9</b>	<b>INTERCAMBIADORES DE CALOR.....</b>	<b>57</b>
2.9.1	DOBLE TUBO .....	58
2.9.2	CARCASA Y TUBO .....	58
2.9.3	FLUJO CRUZADO.....	59
2.9.4	COMPACTO.....	60
<b>2.10</b>	<b>PROCESOS DE COMBUSTIÓN TERMINADO .....</b>	<b>60</b>
2.10.1	FASES DE LA REACCIÓN DE COMBUSTIÓN .....	61
2.10.2	TIPO DE COMBUSTIÓN .....	62

### CAPITULO 3

	<b>ANALISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DEL SECADO .....</b>	<b>63</b>
<b>3.1</b>	<b>PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS .....</b>	<b>63</b>
<b>3.2</b>	<b>SISTEMA DE SECADO .....</b>	<b>64</b>
3.2.1	LECHO PLANO FIJO.....	65
3.2.2	LECHO PLANO FLUIDO .....	66
3.2.3	LECHO PLANO ESTACIONARIO .....	66
3.2.4	SELECCIÓN DE ALTERNATIVA .....	67
<b>3.3</b>	<b>INTERCAMBIADOR DE CALOR .....</b>	<b>68</b>
3.3.1	INTERCAMBIADOR DE CALOR DE DOBLE TUBO .....	68
3.3.2	INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CARCASA Y TUBO .....	69
3.3.3	INTERCAMBIADOR DE CALOR COMPACTO.....	70
3.3.4	SELECCIÓN DE ALTERNATIVA .....	71
<b>3.4</b>	<b>CÁMARA DE COMBUSTIÓN .....</b>	<b>72</b>
3.4.1	COMBUSTIBLES FÓSILES.....	72
3.4.1.1	Gas licuado de petróleo.....	73
3.4.1.2	Diesel.....	74
3.4.1.3	Selección de alternativa Tipo de Quemador .....	74
3.4.2	BIOMASA .....	75
3.4.2.1	Selección de alternativa Biomasa .....	77
3.4.3	SELECCIÓN DE ALTERNATIVA CÁMARA DE COMBUSTIÓN.....	77
<b>3.5</b>	<b>VENTILADOR.....</b>	<b>79</b>



3.5.1	VENTILADORES CENTRÍFUGOS.....	79
3.5.2	VENTILADORES AXIALES.....	80
3.5.3	SELECCIÓN DE ALTERNATIVA.....	81
<b>3.6</b>	<b>EQUIPO SELECCIONADO .....</b>	<b>82</b>

## CAPITULO 4

### DISEÑO DEL SECADOR ..... 83

<b>4.1</b>	<b>DISEÑO TÉRMICO .....</b>	<b>83</b>
4.1.1	SECADORA .....	84
4.1.1.1	Dimensionamiento.....	84
4.1.1.2	Calor sensible del maíz .....	85
4.1.1.3	Cantidad de agua a remover .....	87
4.1.1.4	Calor latente .....	87
4.1.1.5	Calor útil del maíz.....	88
4.1.1.6	Pérdidas de calor en la cámara de secado.....	89
4.1.1.7	Pérdidas de calor en la capa superior del grano.....	89
4.1.1.7.1	Coeficiente de convección interna.....	89
4.1.1.7.2	Coeficiente de convección externa.....	93
4.1.1.7.3	Coeficiente global de transferencia de calor.....	94
4.1.1.8	Pérdidas de calor por aire de proceso.....	96
4.1.1.9	Pérdidas de calor en paredes de la cámara de secado.....	96
4.1.1.10	Calor total perdido en la cámara de secado.....	100
4.1.1.11	Calor necesario total en la cámara de secado.....	101
4.1.2	DUCTO DE TRANSFERENCIA.....	101
4.1.2.1	Velocidad de Ingreso y Salida del aire de secado.....	102
4.1.2.2	Calor perdido por el ducto de transferencia.....	103
4.1.2.3	Calor necesario en el ducto de transferencia.....	110
4.1.3	INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	110
4.1.3.1	Coeficiente de convección externa a los tubos.....	113
4.1.3.2	Coeficiente de convección interna de los tubos.....	116
4.1.3.3	Coeficiente global de transferencia de calor en el tubo.....	118
4.1.3.4	Coeficiente global de transferencia de calor en el tubo con incrustación.....	120
4.1.3.5	Calor útil en un tubo.....	120
4.1.3.6	Cantidad de Tubos.....	122
4.1.3.7	Calor útil en el sistema de intercambio.....	123
4.1.3.8	Perdida de calor por paredes.....	123

4.1.4	CÁMARA DE COMBUSTIÓN.....	126
4.1.4.1	Área transversal de ingreso de aire .....	126
4.1.4.2	Condiciones del aire en Sangolquí.....	127
4.1.4.3	Potencia del Quemador.....	127
4.1.4.4	Relación aire - combustible. ....	128
4.1.4.5	Flujo másico del combustible necesario para la combustión. ....	130
4.1.4.6	Flujo másico de aire necesario para la combustión. ....	130
4.1.4.7	Sistema térmico de combustión. ....	131
4.1.4.8	Coeficiente de convección de interno. ....	133
4.1.4.9	Perdida de calor por cámara de combustión.....	135
4.1.5	CHIMENEA .....	137
4.1.5.1	Calor perdido por chimenea. ....	138
4.1.5.2	Potencia real de quemador. ....	138
<b>4.2</b>	<b>ANÁLISIS MECÁNICO Y ESTRUCTURAL .....</b>	<b>140</b>
4.2.1	FACTORES INICIALES.....	140
4.2.1.1	Material de la estructura. ....	140
4.2.1.2	Cargas consideradas.....	142
4.2.2	ANÁLISIS ESTRUCTURAL. ....	142
<b>4.3</b>	<b>DISEÑO DEL CONTROL ELÉCTRICO.....</b>	<b>145</b>
4.3.1	CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	146
4.3.2	DIAGRAMA DE CONTROL. ....	148
4.3.3	DIAGRAMA DE POTENCIA. ....	148
<b>4.4</b>	<b>SELECCIÓN DE EQUIPOS.....</b>	<b>149</b>
4.4.1	VENTILADOR.....	149
4.4.2	QUEMADOR .....	150
4.4.3	TERMOCONTROLADOR .....	151

## CAPITULO 5

	<b>CONSTRUCCION Y MONTAJE.....</b>	<b>152</b>
<b>5.1</b>	<b>DIAGRAMA DE PROCESOS .....</b>	<b>152</b>
<b>5.2</b>	<b>RECURSOS DE FABRICACIÓN .....</b>	<b>153</b>
5.2.1	ESPACIO FÍSICO PARA CONSTRUCCIÓN. ....	153
5.2.2	MATERIALES.....	154
5.2.2.1	Material metalmecánico.....	155
5.2.2.2	Material eléctrico. ....	155
5.2.2.3	Material complementario. ....	156

5.2.2.4	Material consumible.....	156
5.2.2.5	Equipos de seguridad industrial y varios.....	157
5.2.3	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.....	157
5.2.4	INSTRUMENTOS. ....	160
<b>5.3</b>	<b>DOCUMENTACIÓN .....</b>	<b>161</b>
<b>5.4</b>	<b>CONSTRUCCIÓN.....</b>	<b>162</b>
5.4.1	SISTEMA DE COMBUSTIÓN. ....	162
5.4.2	INTERCAMBIADOR DE CALOR Y CHIMENEA. ....	164
5.4.3	SECADORA. ....	168
<b>5.5</b>	<b>MONTAJE .....</b>	<b>170</b>
5.5.1	SUB-SISTEMAS CONSTRUIDOS. ....	170
5.5.2	SUB-SISTEMAS SELECCIONADOS.....	173
5.5.3	SISTEMA TOTAL.....	176
<b>5.6</b>	<b>SEGURIDAD INDUSTRIAL.....</b>	<b>177</b>

## CAPITULO 6

	<b>PRUEBAS DE OPERACIÓN.....</b>	<b>184</b>
<b>6.1</b>	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS.....</b>	<b>184</b>
6.1.1	PRUEBAS A REALIZAR .....	184
6.1.2	PUNTOS DE MEDICIÓN.....	185
<b>6.2</b>	<b>CARACTERÍSTICAS.....</b>	<b>187</b>
6.2.1	GEOGRÁFICAS. ....	187
6.2.1.1	Situación Geográfica 1. ....	188
6.2.1.2	Situación Geográfica 2. ....	189
6.2.2	AMBIENTALES. ....	190
6.2.2.1	Situación Ambiental 1.....	190
6.2.2.2	Situación Ambiental 2.....	190
6.2.3	TECNOLÓGICAS. ....	191
6.2.3.1	Termómetro laser .....	191
6.2.3.2	Anemómetro, Hidrómetro y Termómetro (AHT).....	192
6.2.3.3	Monitor de humedad.....	194
<b>6.3</b>	<b>PROCEDIMIENTO.....</b>	<b>195</b>
6.3.1	ANÁLISIS SITUACIONAL DE EQUIPO. ....	196
6.3.2	TEMPERATURA MEDIA DE PARED INTERNA DE CÁMARA. ....	196
6.3.3	TEMPERATURA MEDIA DE LLAMA ADIABÁTICA. ....	197
6.3.4	TEMPERATURA MEDIA DE GASES DE SALIDA SIN AIRE PROCESO. ....	197

6.3.5	TEMPERATURAS PAREDES EXTERNAS Y GASES DE SALIDA SIN AIRE DE PROCESO.....	197
6.3.6	TEMPERATURA MEDIA DE GASES DE SALIDA CON AIRE. ....	198
6.3.7	TEMPERATURAS PAREDES EXTERNAS Y GASES DE SALIDA CON AIRE DE PROCESO. ....	198
6.3.8	EFICIENCIA DE SECADO. ....	199
<b>6.4</b>	<b>TOMA DE DATOS .....</b>	<b>199</b>
<b>6.5</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>202</b>
6.5.1	CONCLUSIONES PRUEBA I. ....	202
6.5.2	CONCLUSIONES PRUEBA II. ....	203
6.5.3	CONCLUSIONES PRUEBA III. ....	204
6.5.4	CONCLUSIONES PRUEBA IV.....	204
6.5.5	CONCLUSIONES PRUEBA V.....	206
6.5.6	CONCLUSIONES PRUEBA VI.....	207
6.5.7	CONCLUSIONES PRUEBA VII.....	208
6.5.8	CONCLUSIONES PRUEBA VIII.....	209

## **CAPITULO 7**

	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO .....</b>	<b>212</b>
<b>7.1</b>	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO .....</b>	<b>212</b>
7.1.1	COSTOS DIRECTOS. ....	212
7.1.2	COSTOS INDIRECTOS .....	215
7.1.3	COSTO TOTAL .....	216
<b>7.2</b>	<b>ANÁLISIS FINANCIERO .....</b>	<b>216</b>
7.2.1	CONSUMO ENERGÉTICO.....	216
7.2.2	FUENTES DE FINANCIAMIENTO .....	218
7.2.3	DEPRECIACIÓN GENERAL DEL EQUIPO .....	219
7.2.4	FLUJO DE CAJA.....	219
7.2.5	VALOR ACTUAL NETO. ....	223
7.2.6	TASA INTERNA DE RETORNO. ....	224
7.2.7	PLAZO DE RECUPERACIÓN.....	225
7.2.8	RELACIÓN BENEFICIO - COSTO.....	226

## **CAPITULO 8**

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>229</b>
<b>8.1 CONCLUSIONES .....</b>	<b>229</b>
<b>8.2 RECOMENDACIONES .....</b>	<b>231</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>232</b>
<b>FUENTES DE INFORMACIÓN.....</b>	<b>233</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>234</b>
<b>ANEXO B .....</b>	<b>235</b>
<b>ANEXO C .....</b>	<b>236</b>
<b>ANEXO D.....</b>	<b>237</b>
<b>ANEXO E .....</b>	<b>238</b>
<b>ANEXO F .....</b>	<b>239</b>
<b>ANEXO G.....</b>	<b>240</b>

# INDICE DE FIGURAS

ORD	DESCRIPCIÓN	PAG
2.1	ZEA.MAYS.....	9
2.2	ESTRUCTURA DEL GRANO DE MAÍZ.....	11
2.3	ESQUEMA DEL SECADO POR AIRE CALIENTE .....	22
2.4	ESQUEMA DEL SECADO AL VACÍO.....	26
2.5	ESQUEMA DEL SECADO POR SUPERFICIES CALIENTES.....	28
2.6	ESQUEMA DEL SECADO POR RADIACIÓN.....	29
2.7	ESQUEMA DE SECADORA DE FLUJO CONTINUO.....	33
2.8	SILO SECADOR DE FLUJO CONTRACORRIENTE.....	34
2.9	ESQUEMA SECADORA DE FLUJO CONCURRENTE.....	35
2.10	SECADORA DE CASCADAS, DE UN SOLO PLANO.....	36
2.11	SECADORA DE CASCADAS, DE MÓDULOS ROMBOIDALES.....	37
2.12	SECADORA HORIZONTAL, DE COLUMNAS HEXAGONALES.....	38
2.13	ESQUEMA DE SECADORA HORIZONTAL DE LECHO FIJO.....	39
2.14	SECADORA HORIZONTAL DE LECHO FLUIDO.....	40
2.15	SECADORA HORIZONTAL DE CAPA ESTÁTICA.....	41
2.16	PRESIÓN DE VAPOR DEL AGUA.....	46
2.19	CONDUCCIÓN DE CALOR.....	54
2.20	CAPA LÍMITE HIDRODINÁMICA.....	55
2.21	TIPOS DE INTERCAMBIADORES DE DOBLE TUBO.....	58
2.22	INTERCAMBIADOR DE CARCASA Y TUBO.....	58
2.23	TIPOS DE INTERCAMBIADORES DE FLUJO.....	59
2.24	INTERCAMBIADOR TIPO COMPACTO.....	60
3.1	SECADORA DE LECHO PLANO FIJO.....	65
3.2	SECADORA DE LECHO PLANO FLUIDO.....	66
3.3	SECADORA DE LECHO PLANO ESTACIONARIA.....	66

3.4	TIPOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR DETUBO.....	69
3.5	EJEMPLOS DE INTERCAMBIADORES TIPO CARCASA Y TUBO.....	70
3.6	TIPOS DE INTERCAMBIADORES TIPO COMPACTO.....	70
3.7	QUEMADOR TIPO TUBULAR (GLP O DIESEL).....	72
3.8	PROCESO DE ENERGÍA BIOMASA.....	75
3.9	CASCARILLA DE CEREALES.....	76
3.10	VENTILADORES CENTRIFUGOS.....	80
3.11	VENTILADOR AXIAL.....	81
3.12	CONFIGURACIÓN EQUIPO SELECCIONADO.....	82
4.1	CONFIGURACIÓN CÁMARA DE SECADO.....	84
4.2	LECHO ALTO Y LECHO BAJO DE CÁMARA DE SECADO.....	89
4.3	ANALOGÍA ELÉCTRICA – PRODUCTO SECADO.....	94
4.4	PÉRDIDA DE CALOR SOBRE LA CAPA SUPERIOR DE GRANO.....	95
4.5	ANALOGÍA ELÉCTRICA – PARED CÁMARA DE SECADO.....	96
4.6	INCLINACIÓN DE PLANO BAJO DE LA SECADORA.....	98
4.7	DIMENSIONES DE LA CÁMARA DE SECADO CON AISLAMIENTOS.....	99
4.8	DIMENSIONAMIENTO CÁMARA DE SECADO.....	99
4.9	DIMENSIONAMIENTO DUCTO DE TRANSFERENCIA.....	102
4.10	DIAGRAMA TÉRMICO DEL FLUJO DEL AIRE DENTRO DEL DUCTO.....	104
4.11	LONGITUDES FALTANTES, CONSIDERACIÓN INICIAL.....	104
4.12	ANALOGÍA ELÉCTRICA – DUCTO DE TRANSFERENCIA.....	108
4.13	DIAGRAMA TERMODINÁMICO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	111
4.14	DIÁMETRO EXTERNO E INTERNO DE TUBOS.....	112
4.15	DISTRIBUCIÓN DE TUBOS.....	113
4.16	ANALOGÍA ELÉCTRICA – TUBO INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	118
4.17	ANÁLISIS DE MEDIA ARITMÉTICA DE TEMPERATURA .....	121
4.18	DISTRIBUCIÓN DE TUBOS EN INTERCAMBIADOR.....	123
4.19	DIMENSIONES CÁMARA DE INTERCAMBIO DE CALOR.....	123

4.20	ANALOGÍA ELÉCTRICA – PARED CÁMARA INTERCAMBIADOR.....	124
4.21	DIMENSIONES CÁMARA DE COMBUSTIÓN O SECADO.....	126
4.22	INGRESO DE AIRE A LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN.....	131
4.23	SISTEMA TÉRMICO DE CÁMARA DE COMBUSTIÓN .....	132
4.24	ANALOGÍA ELÉCTRICA – PARED CÁMARA DE COMBUSTIÓN.....	136
4.25	CHIMENEA Y PLENUM.....	137
4.26	CALOR NECESARIO EN EL SISTEMA.....	139
4.27	CONFIGURACIÓN DEL BASTIDOR A CONSTRUIR (SECADOR).....	140
4.28	DISTRIBUCIÓN DE PERFILES EN BASTIDOR.....	141
4.29	DISTRIBUCIÓN DE CARGA SOBRE EL BASTIDOR.....	142
4.30	APOYOS ESTRUCTURALES DEL BASTIDOR .....	143
4.31	DEFORMACIÓN DEL BASTIDOR CON CARGA MUERTA.....	143
4.32	ASIGNACIÓN DE CARGAS AL BASTIDOR.....	144
4.33	ELEMENTO ESTRUCTURAL DE MAYOR DEFLEXIÓN.....	144
4.34	DISPOSICIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	147
4.35	FLUJO DEL SISTEMA DE CONTROL.....	147
4.36	DIAGRAMA DE CONTROL.....	148
4.37	DIAGRAMA DE POTENCIA .....	148
4.38	VENTILADOR SELECCIONADO.....	149
4.39	QUEMADOR DE 200000 BTU/HR.....	150
4.40	TERMO-CONTROLADOR SELECCIONADO.....	151
5.1	HOJAS DE PROCESO.....	152
5.2	PANORÁMICA DEL ESPACIO FÍSICO DE CONSTRUCCIÓN.....	154
5.3	PARTES DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN. ....	162
5.4	RECUBRIMIENTO REFRACTARIO .....	163
5.5	FACILIDADES CONSTRUIDAS.....	163
5.6	BASE Y CÁMARA DE COMBUSTIÓN.....	164
5.7	ENTRADA Y SALIDA DEL AIRE DE PROCESO .....	164



5.8	CARCASA Y PLACAS SOPORTE DE TUBOS DEL SERPENTÍN.....	165
5.9	AISLAMIENTO TÉRMICO Y JUNTAS .....	166
5.10	CHIMENEA DE GASES DE COMBUSTIÓN.....	166
5.11	CHIMENEA DE COMBUSTIÓN.....	167
5.12	RECORRIDO DE DUCTOS DE ALIMENTACIÓN .....	167
5.13	ESTRUCTURA DE LA CÁMARA DE SECADO.....	168
5.14	ESTRUCTURA DE FIJACIÓN PARA PLANCHA PERFORADA .....	169
5.15	PLANCHA PERFORADA .....	169
5.16	PAREDES DE CONTENCIÓN DEL PRODUCTO.....	170
5.17	ENSAMBLAJE DE INTERCAMBIADOR CALOR CON CÁMARA .....	171
5.18	CONSTITUCIÓN DE JUNTA EMPERNADA .....	171
5.19	ENSAMBLAJE DEL RECOLECTOR DEL AIRE DE PROCESO.....	172
5.20	ENSAMBLAJE DE INTERCAMBIADOR DE CALOR CON CÁMARA.....	172
5.21	ENSAMBLAJE DEL RECOLECTOR DE GASES Y TIRO.....	173
5.22	ENSAMBLAJE DE QUEMADOR.....	174
5.23	ENSAMBLAJE DE VENTEROL .....	174
5.24	ENSAMBLAJE SISTEMA ELÉCTRICO.....	175
5.25	ENSAMBLAJE DEL SENSOR DE TEMPERATURA.....	175
5.26	EQUIPO ENSAMBLADO EN SU TOTALIDAD.....	176
5.27	ANÁLISIS DE RIESGOS.....	177
5.28	AISLAMIENTO TÉRMICO DE PAREDES – SEGURIDAD DE OPERADOR.....	178
5.29	BASTIDOR RESISTENTE AL PESO DE UN OPERADOR.....	179
5.30	QUEMADOR WAYNE CON ENCENDIDO ASISTIDO.....	179
5.31	APAGADO DE EMERGENCIA Y CIERRE DE ALIMENTACIÓN DE GAS.....	180
5.32	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AIRE.....	180
5.34	CONSTRUCCIÓN POR MÓDULOS.....	181
5.35	UTILIZACIÓN DE ELEMENTOS DE SEGURIDAD.....	183
6.1	TIPOS DE PUNTOS DE MEDICIÓN.....	185

6.2	PUNTOS DE MEDICIÓN.....	186
6.3	EQUIPO ENSAMBLADO PARA REALIZAR PRUEBAS.....	187
6.4	VISTA SATELITAL – SITUACIÓN GEOGRÁFICA 1.....	188
6.5	VISTA SATELITAL – SITUACIÓN GEOGRÁFICA 2.....	189
6.6	TERMÓMETRO LASER UTILIZADO PARA PRUEBAS.....	191
6.7	AHT UTILIZADO PARA PRUEBAS.....	192
6.8	BALANZA DIGITAL UTILIZADA PARA PRUEBAS.....	193
6.9	MONITOR DE HUMEDAD UTILIZADO PARA PRUEBAS.....	194
6.12	MARCACIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN - CÁMARA COMBUSTIÓN.....	201
6.13	RECOLECCIÓN DE DATOS .....	201
6.14	UTILIZACIÓN DE EQUIPOS DE MEDICIÓN.....	202
6.15	TEMPERATURA DE PARED DE CÁMARA DE COMBUSTIÓN.....	203
6.16	TEMPERATURA DE DE LLAMA ADIABÁTICA .....	204
6.17	TEMPERATURA DE GASES A LA SALIDA SIN AIRE DE PROCESO.....	205
6.18	TEMPERATURAS DE PAREDES EXTERNAS DEL SISTEMA.....	206
6.19	TEMPERATURA DE GASES A LA SALIDA SIN AIRE DE PROCESO.....	207
6.20	TEMPERATURA DE GASES A LA SALIDA DE LA CÁMARA DE SECADO.....	208
6.21	TEMPERATURA DE GASES A LA SALIDA.....	209
6.22	HUMEDAD DE GRANOS DE MAÍZ ANALIZADOS .....	210
7.1	ANÁLISIS DE PLAZO DE RECUPERACIÓN.....	226

# ÍNDICE DE TABLAS

ORD	CONTENIDO	PAG
2.1	PRODUCCIÓN NACIONAL DE MAÍZ.....	13
2.2	ESTRATIFICACIÓN DE LOS PRODUCTORES DE MAÍZ.....	15
2.3	COSTO DE PRODUCCIÓN DE UNA HECTÁREA MAÍZ DURO.....	16
2.4	CLASES DE SEMILLA DE MAÍZ DISPONIBLE EN EL MERCADO.....	18
2.5	DISTRIBUCIÓN DE MAÍZ DURO, DE ACUERDO AL TIPO DE SEMILLA.....	18
2.6	DISTRIBUCIÓN DE MAÍZ DURO, DE ACUERDO AL TIPO DE SEMILLA .....	24
2.7	COMPOSICIÓN DEL AIRE SECO.....	43
3.1	MATRIZ ELEMENTAL DE DECISIÓN PARA EL TIPO DE SECADORA.....	67
3.2	MATRIZ ELEMENTAL DE DECISIÓN INTERCAMBIADOR DE CALOR .....	71
3.3	MATRIZ ELEMENTAL DE DECISIÓN TIPO DE QUEMADOR.....	74
3.4	MATRIZ ELEMENTAL DE DECISIÓN UTILIZACIÓN DE BIOMASA.....	77
3.5	MATRIZ ELEMENTAL DE DECISIÓN CÁMARA DE COMBUSTIÓN.....	78
3.6	MATRIZ ELEMENTAL DE DECISIÓN VENTILADOR.....	81
4.1	PROPIEDADES DEL ACERO A36.....	141
4.2	ANÁLISIS DE DEFLEXIÓN POR NUDOS.....	145
5.1	LISTA DE MATERIAL METALMECÁNICO.....	155
5.2	LISTA DE MATERIAL ELÉCTRICO.....	155
5.3	LISTA DE MATERIAL COMPLEMENTARIO.....	156
5.4	LISTA DE MATERIAL CONSUMIBLE.....	156
5.5	LISTA DE EQUIPOS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL Y VARIOS.....	157
5.6	LISTA DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.....	158
5.7	LISTA DE INSTRUMENTOS.....	160
6.1	PRUEBAS DE VERIFICACIÓN – SECADOR DE GRAMÍNEAS.....	184
6.2	PUNTOS DE MEDICIÓN – SECADOR DE GRAMÍNEAS.....	185
6.3	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TERMÓMETRO LASER.....	191

6.4	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS AHT.....	193
6.5	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BALANZA DIGITAL.....	194
6.6	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MONITOR DE HUMEDAD.....	195
7.1	COSTOS MATERIAL METALMECÁNICO.....	212
7.2	COSTOS MATERIAL ELÉCTRICO.....	213
7.3	COSTOS MATERIAL COMPLEMENTARIO.....	213
7.4	COSTOS MATERIAL CONSUMIBLE.....	214
7.5	COSTOS POR SERVICIOS COMPLEMENTARIOS.....	214
7.6	COSTOS POR SEGURIDAD Y COMPLEMENTARIOS .....	215
7.7	COSTOS GENERALES.....	215
7.8	CONSUMO DE COMBUSTIBLE .....	217
7.9	CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA .....	218
7.10	FUENTES DE FINANCIAMIENTO.....	219
7.11	DEPRECIACIÓN EN LÍNEA RECTA DEL EQUIPO.....	220
7.12	INGRESOS A LO LARGO DEL TIEMPO.....	221
7.13	EGRESOS A LO LARGO DEL TIEMPO.....	223
7.14	FLUJO DE CAJA A LO LARGO DEL TIEMPO.....	223
7.15	CÁLCULO DE VALOR ACTUAL NETO.....	225
7.16	CÁLCULO DE LA RELACIÓN BENEFICIO VS. COSTO.....	228

# NOMENCLATURA

## SÍMBOLOS

- f Parámetro de respuesta térmica igual al tiempo de la sección lineal de una curva de calentamiento o enfriamiento tramada sobre coordenadas semi - logarítmicas para atravesar un ciclo logarítmico.
- fc Parámetro de respuesta térmica derivada de la curva de enfriamiento.
- n Número de muestras
- pH El grado de acidez o alcalinidad de una solución de agua.
- R Constante universal para gas, 1987 cal/mol – K, 8.314 J / mol – K donde K se refiere a unidades de temperatura Kelvin.
- t Tiempo
- tb Ball tiempo de proceso,  $tb = tp + 0.42 tc$   
Calentamiento simple,  $tb = fh(\log jhgih - \log gc)$   
Calentamiento “quebrado”,  $tb = fh(\log jhgih + (f2 - fh)\log gbh - f2\log gc)$
- Tc Tiempo de alza (come - up), es el tiempo desde el inicio del calentamiento hasta cuando el autoclave alcanza la temperatura de proceso predeterminado.
- td Tiempo en que se observa que la primera muestra no exhibe crecimiento en el experimento letal térmico.

- tp      Tempo de proceso es el tiempo desde cuando a terminado el ciclo de alza (come – up) hasta el final del calentamiento definido como  $t_p = t_B - 0,42 t_c$  en el Método de la Formula Ball.
- ts      Tiempo en que se observa que la ultima muestra no exhibe crecimiento en el experimento letal térmico.
- t<sub>bh</sub>    Tiempo medido desde  $t_B = 0$  hasta la intersección de  $f_h$  y  $f_2$  para una curva de calentamiento “quebrada”.
- T        Temperatura.
- T<sub>c</sub>     Temperatura del centro de los envases o punto más frío.
- T<sub>ic</sub>    Temperatura del producto al inicio del ciclo de enfriamiento.
- T<sub>ih</sub>    Temperatura inicial del producto medido antes del calentamiento.
- T<sub>r</sub>     Temperatura de la autoclave.
- T<sub>s</sub>     Temperatura promedio de la masa.
- T<sub>w</sub>     Temperatura del agua de enfriamiento.
- T<sub>x</sub>     Temperatura de referencia.
- Z        Numero de grados de temperatura requeridos para la curva de tiempo letal térmico (log F vs. T) o curva de resistencia termal (log DT vs. T) para atravesar un ciclo logarítmico,  $z = (T_x - T) / \log DT - \log DT_x$ .

## UNIDADES

Unidad de temperatura termodinámica	Kelvin	°K
Unidad de tiempo	Segundo	s
Unidad de longitud	Metro	m
Unidad de masa	Kilogramo	kg
Unidad de intensidad de corriente eléctrica	Amperio	A
Unidad de cantidad de sustancia	Mol	mol
Unidad de frecuencia	Hertz o Hercio	Hz
Unidad de fuerza	Newton	N
Unidad de presión	Pascal	Pa
Unidad de energía, trabajo y calor	Julio	J
Unidad de potencia	Vatio	W
Unidad de potencial eléctrico	Voltio	V
Unidad de resistencia eléctrica	Ohmio	$\Omega$
Unidad de temperatura termodinámica	Grado Celsius	°C
Unidad de área	Metro Cuadrado	m <sup>2</sup>

Unidad de volumen	Metro cúbico	$m^3$
Unidad de velocidad o rapidez	Metros segundo	m/s.
Unidad de aceleración	Metros segundos <sup>2</sup>	$m/s^2$
Unidad de momento de fuerza y torque	Newtons metro	N.m
Unidad de viscosidad dinámica	Pasquel segundo	Pa.s
Unidad de entropía	Joule grado kelvin	J/°K
Unidad de calor específico	Joule Kilogramo kelvin	J/Kg.°K
Unidad de conductividad térmica	Vatio metro kelvin	W/m.°K



## RESUMEN

“Molinos San José”, una micro empresa artesanal dedicada a la molienda de granos en el cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha, en busca de eliminar inconvenientes de harina húmeda, da a luz la idea de construir un secador de granos industrial con capacidad de 5 quintales por día.

Por su facilidad de construcción, mantenimiento y tecnificación el equipo seleccionado fue: un secador del tipo lecho plano estacionario, con intercambiador de calor tubo carcasa, creación de calor desde GLP y traslado de aire centrifugo.

El análisis financiero fue satisfactorio ya que la rentabilidad es absoluta en una línea del tiempo muy reducida.

La documentación por escrito del diseño, construcción y estudios realizados para este equipo, se detallan en los siguientes ocho capítulos que están en su consideración.

# **CAPÍTULO 1**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 Antecedentes**

El cantón Rumiñahui en el Valle de los Chillos es un lugar privilegiado por las bondades del clima, templado húmedo, y la fertilidad del suelo; el maíz ha sido el grano característico del cantón desde los incas, después en la colonia donde era considerado como el granero de Quito, hasta la actualidad que lo siguen cosechando en las zonas rurales, de la misma manera que lo realizaban sus antepasados.

El secado es una parte importante en la producción del maíz, en estos sectores del cantón lo vienen realizando de forma natural; debido a que la mayor parte de la población son pequeños agricultores que se encuentran ubicados en el área rural y no poseen los medios económicos y tecnológicos para tener un sistema de secado artificial que seria de gran utilidad.

Adicionalmente las condiciones climáticas que en la actualidad se presenta no son óptimas para realizar un secado natural de dicho grano, por lo que los agricultores deben esperar más tiempo para ofertar su producción o a su vez deben venderlo en condición húmeda y costo muy por debajo del precio final. Por lo que se necesita con urgencia una alternativa de secado que no represente para ellos una gran inversión.

Microempresa artesanal Molino San José, abrió sus puertas en el año 1980 como una empresa familiar encabezada por el Sr. José Luís Llumiquinga. Fue el primer molino de granos en establecerse en Sangolquí, en la actualidad la segunda generación de la familia Llumiquinga lidera el funcionamiento de esta microempresa.

Su matriz esta ubicada en Sangolquí, calle Venezuela, sector Parque Turismo y su sucursal se encuentra en la parroquia de Fajardo.

Esta microempresa brinda el servicio de molienda de granos en el Valle de los Chillos, para los habitantes de Sangolquí y sus alrededores, el que lo viene realizando con gran satisfacción y aceptación de sus clientes. Los granos y cereales que generalmente muele son: maíz, habas, arvejas, morocho, morochillo, cebada, trigo; con estimado de 200 quintales molidos por mes.

El método de molienda aplicado es el de fricción, constituido por dos muelas (piedras), especialmente diseñadas y construidas para este método de molido, y que se accionan por un motor eléctrico por medio de bandas.

La infraestructura con la cuenta es, de 20  $m^2$  donde están ubicados los dos molinos y su balanza, además de tener un espacio sub-utilizado de 40  $m^2$ .

Molino San José realizó una investigación preliminar, en el mercado local y tomando en cuenta algunos factores propios, ve la necesidad de implementar un sistema de secado de maíz con capacidad de 5 quintales para su microempresa artesanal de molienda. Ofreciendo al pequeño productor un secado del grano de maíz que podría llegar hasta un 12% de humedad.

Con este proyecto se eliminaría una serie de inconvenientes que se presenta en la molienda cuando los granos se encuentran húmedos y además con un buen control al momento del secado se estima obtener una buena calidad del grano. De

esta manera se busca ayudar al agricultor del cantón Rumiñahui y sus alrededores consolidando al Molino San José como su aliado estratégico.

## **1.2 Definición del problema**

Con los métodos tradicionales de producción de granos de los pequeños agricultores se producen considerables pérdidas antes y durante el almacenamiento. Una de las principales fuentes de pérdidas es la falta de un secado adecuado.

El secado es un proceso de acondicionar los granos por medio de la eliminación del agua hasta un nivel que permita su equilibrio, en el cual hay intercambio de calor y masa entre el aire del ambiente de secado y los granos, reduciendo el contenido de humedad de tal forma que preserve su aspecto, sus características alimenticias, su calidad nutritiva y sea perdurable con el tiempo al ser almacenado. Frecuentemente es el eje del proceso integral de la cosecha, secado y almacenamiento.

Se puede proceder al secado de granos de las siguientes maneras: secado natural o secado artificial.

Secado natural es aquél en que el movimiento del aire de secado se debe a la acción de los vientos, y la energía para evaporar la humedad proviene de la capacidad de secado del aire y de la incidencia directa de la energía solar. En el campo se realiza directamente en la planta y después de la cosecha, cuando se colocan las espigas y mazorcas en montones, pilas, manojos o hileras que se dejan secar al sol.

En los procesos de secado artificial, los intercambios de aire y masa entre granos y ambiente se producen principalmente por convección de aire forzado. Por

tal motivo, los secadores de granos están provistos generalmente de un ventilador como ayudante de movimiento de aire.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 General**

Optimizar el servicio de molienda mediante la aplicación de un proceso de secado que permita mejorar la capacidad de producción de los molinos de granos.

### **1.3.2 Específicos**

- Diseñar y construir un secador de gramíneas-Zea mays.
- Ampliar la oferta de servicios al cliente de Molinos San José.
- Realizar el análisis Económico- Financiero para la implementación.
- Instalar y verificar el funcionamiento del secador en las instalaciones de Molinos san José.

## **1.4 Alcance**

Este proyecto contempla el diseño y construcción de un horno secador con capacidad de 5 quintales para gramíneas-Zea mays, el cual constará de un contenedor, un sistema de combustión de gas licuado de petróleo y una cámara de secado, la cual deberá funcionar a una temperatura de (55 °C), y de manera asociada funcionará un sistema de circulación forzada que permitan una mayor tasa de evacuación de la humedad de las gramíneas.

Los controles para el suministro del gas y temperatura interior del horno serán por medio de válvulas y un controlador de temperatura respectivamente.

El proyecto arrojará un manual de operación y mantenimiento del equipo, para preservación y buen desempeño del equipo a ofrecer.

La finalización y puesta en marcha de este proyecto (secador de gramíneas-Zea mays), dará un aporte significativo para el desarrollo de los pequeños agricultores del cantón Rumiñahui, y de la microempresa Molino San José al poder incrementar su mercado de servicios.

## **1.5 Justificación e Importancia**

El principal problema que se presenta en un proceso de molienda de granos, es la presencia de gramíneas húmedas, ya que estos ocasionan daños al equipamiento utilizado para este fin y deficiencia en productividad a consecuencia de paros constantes debido a mantenimiento correctivo.

Molino San José ha tenido inconvenientes en sus mecanismos de molienda, debido a la humedad de los granos, al ingresar de esta manera el grano al mecanismo de molienda se produce una masa que se adhiere en los canales de las muelas (piedras), produciendo que las mismas se remuerdan en el peor de los casos o hay veces que no sucede lo anterior pero el molido de estos granos es grueso, generando inconformidad de los clientes.

Para los propietarios este imprevisto causa una para del servicio hasta que termine de realizar el mantenimiento de la máquina, con las concebidas molestias en los usuarios.

Por lo que se propuso al Molino San José construir un sistema de secado para gramíneas-Zea mays y de esta manera eliminar este inconveniente y poder brindar a la población un servicio adicional. En la actualidad no existe negocio, ni empresa alguna en el cantón Rumiñahui que preste este servicio.

Por lo que se hace necesaria la construcción del sistema de secado de gramíneas- Zea mays, con una capacidad de secado de 5 quintales/día.

Esto es parte del principio de renovación que se ha propuesto implantar la microempresa artesanal Molino San José. Al ser un negocio familiar hay un proyecto a largo plazo de reingeniería total en el que se trabajará, para que el servicio sea rico en calidad.

# CAPÍTULO 2

## MARCO TEÓRICO

### 2.1 Definiciones

A continuación se detalla un listado de definiciones generales que podrían causar problemas de interpretación a lo largo de este trabajo:

**Acero** - Aleación de hierro y carbono, en diferentes proporciones, que, según su tratamiento, adquiere especial elasticidad, dureza o resistencia.

**Ambiente** - Dicho de un fluido: Que rodea un cuerpo.

**Bastidor** - Armazón de palos o listones de madera, o de barras delgadas de metal, en la cual se fijan lienzos para pintar y bordar, que sirve también para armar vidrieras y para otros usos análogos.

**Calor** - Sensación que se experimenta ante una elevación de temperatura

**Combustión** - Reacción química entre el oxígeno y un material oxidable, acompañada de desprendimiento de energía y que habitualmente se manifiesta por incandescencia o llama.

**Cosecha** - Conjunto de frutos, generalmente de un cultivo, que se recogen de la tierra al llegar a la sazón; como de trigo, cebada, uva, aceituna, etc.

**Cultivo** - Cría y explotación de seres vivos con fines científicos, económicos o industriales.



**Ducto** - Conducto, canal, tubería.

**Humedad** - Agua de que está impregnado un cuerpo o que, vaporizada, se mezcla con el aire.

**Inoxidable** - Que no se puede oxidar.

**Maíz** - Planta de la familia de las Gramíneas, con el tallo grueso, de uno a tres metros de altura, según las especies, hojas largas, planas y puntiagudas, flores masculinas en racimos terminales y las femeninas en espigas axilares resguardadas por una vaina.

**Molino** - Máquina para moler, compuesta de una muela, una solera y los mecanismos necesarios para transmitir y regularizar el movimiento producido por una fuerza motriz, como el agua, el viento, el vapor u otro agente mecánico.

**Parámetro** - Dato o factor que se toma como necesario para analizar o valorar una situación

**Proceso** - Conjunto de las fases sucesivas de un fenómeno natural o de una operación artificial.

**Prueba** - Razón, argumento, instrumento u otro medio con que se pretende mostrar y hacer patente la verdad o falsedad de algo.

**Rentable** - Que produce renta suficiente o remuneradora.

**Resistencia** - Acción y efecto de resistir o resistirse.

**Satisfactorio** - Que puede satisfacer o pagar una cosa debida.

**Secado** - Acción y efecto de secar o secarse.

**Semilla** - Parte del fruto de las fanerógamas, que contiene el embrión de una futura planta, protegido por una testa, derivada de los tegumentos del primordio seminal.

**Sistema** - Conjunto de reglas o principios sobre una materia racionalmente enlazados entre sí.

**Temperatura**- Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente. Su unidad en el Sistema Internacional es el kelvin (K).

**Termodinámica** - Parte de la física en que se estudian las relaciones entre el calor y las restantes formas de energía

**Tobera** - Abertura tubular, primitivamente de forma cónica, por donde se introduce el aire en un horno o una forja, fragua o crisol.

## 2.2 Maíz



**Figura 2.1** Zea mays

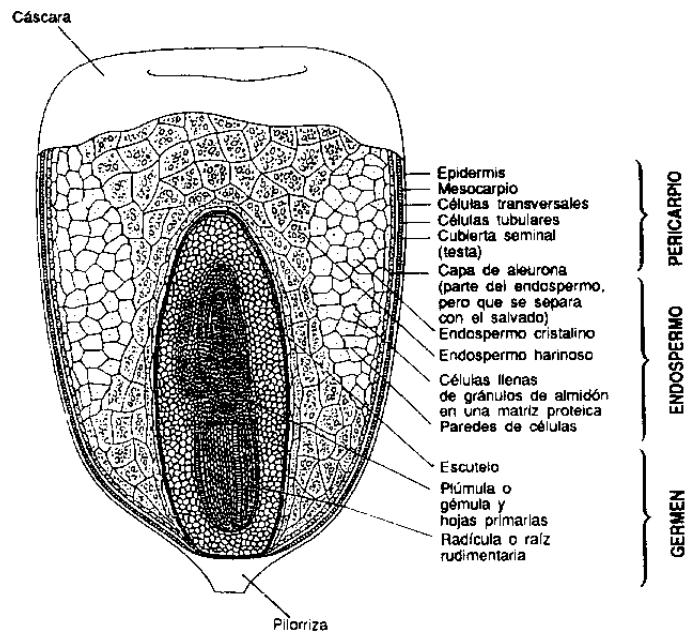
*Zea mays* es una gramínea anual originaria de América. *Zea* es una voz de origen griego, derivada de *zeo* = vivir. Es conocida con el nombre común de maíz, derivado de la palabra taína *mahís* con que los indios del Caribe llamaban a esta planta. Dependiendo de la región, *Zea mays* recibe también en español nombres como *oroña, danza, zara, millo, choclo, mijo o panizo*.

Se caracteriza por poseer tallos en forma de caña, aunque macizos en su interior a diferencia del resto de miembros de su familia que los tienen huecos. Destaca fundamentalmente por su inflorescencia femenina llamada mazorca, en donde se encuentran las semillas (granos de maíz) agrupadas a lo largo de un eje. La mazorca está cubierta por brácteas de color verde y textura papirácea y termina en una especie de penacho de color amarillo oscuro, formado por los estilos.

La planta es uno de los mecanismos más maravillosos que posee la naturaleza para almacenar energía. De una semilla que pesa un poco más de 0,3 gramos, en un período de unas 9 semanas nace una planta que alcanza entre 2 y 3 metros de altura.

El maíz es la planta cultivada de mayor interés desde el punto de vista de su origen, estructura y variación. Solo se conoce en cultivo, y es seguro que no podría subsistir sin los cuidados del hombre; pertenece a un género en que no hay más que esa especie, y sus relaciones con otros géneros afines no son claras. En este cultivo se han desarrollado tipos tan diferentes que permiten sembrarlos desde el Ecuador hasta los límites de las tierras templadas y desde el nivel del mar hasta los bordes de las heladas permanentes. Esa adaptabilidad representada por los genotipos, es paralela a la variedad de sus usos como alimento, forraje o utilización industrial.

El grano de maíz se denomina en botánica cariósida o cariopsis; cada grano contiene el revestimiento de la semilla, o cubierta seminal, y la semilla, como se ve en la figura 2.2.



(Facilitado por el Wheat Flour Institute, Chicago, Illinois, 1964)

**Figura 2.2** Estructura del grano de maíz

En la Figura 2.2 se muestran también las cuatro estructuras físicas fundamentales del grano: el pericarpio, cáscara, o salvado; el endospermo; el germen o embrión; y la piloriza (tejido inerte en que se unen el grano y el carozo).

El maíz tiene tres aplicaciones posibles: alimento, forraje y materia prima para la industria.

### 2.2.1 Especies

Existen variedades de maíz forrajero y para producción de grano. El maíz para grano se puede clasificar como: granos de color blanco para la elaboración de cereales; granos con alto contenido de azúcar para la alimentación humana; granos con alto contenido de aceite para la industria aceitera; granos con alto contenido de proteína y de lisina para la industria y la alimentación humana, y granos con mayor

proporción de almidón duro o cristalino que se utilizan para elaborar rosetas o palomitas. El maíz tiene una enorme cantidad de usos y en la actualidad se conocen cerca de 300 productos que, en una u otra forma, son derivados del maíz o incluyen en su composición alguna de ellos.

El grano se cosecha y se almacena y puede destinarse al consumo humano o para la siembra.

La gran cantidad de tipos diferentes de maíz, se clasifican de una manera artificial, atendiendo a las características del grano (químicas y físicas) y/o a sus usos.

Para su comercialización generalmente se encuentran los siguientes tipos de maíz:

**Tipo Duro:** se clasificaran en este tipo todos aquellos maíces cuyos granos sean de naturaleza córnea, predominante vítrea (mas de la mitad de la constitución de su endospermo).

**Tipo Dentado:** se clasificaran en este tipo todos aquellos maíces cuyos granos sean de naturaleza almidonosa (la mitad o más de la constitución de su endospermo) y presenten una hendidura pronunciada en la corona.

### **2.2.2 Regionalización de la producción**

Históricamente en el país se ha manejado la cifra de 250.000 hectáreas, aproximadamente. El año pasado se reportaron 214.000 hectáreas sembradas; lamentablemente el área tiene tendencia a la baja y se estima que en este año tendremos 153.000 hectáreas, de las cuales el 50% se ubica en la provincia de Los Ríos, 40% en Manabí y el resto en Guayas. El 90% de la siembra de maíz tiene lugar en invierno.

En la época de verano se sembraron 16.000 hectáreas con un promedio más bajo de lo normal, que llegó a 1.82 toneladas por hectárea. En 1998, por causa del fenómeno de El Niño las hectáreas sembradas rebajaron a 56.000, y desde esa época lentamente se han ido recuperando.

**Tabla 2.1** Producción nacional de maíz.

Región/Provincia	Maíz Duro	
	Superficie Cosechada %	Producción %
Región Costa	75.67	87.96
Esmeraldas	1.46	0.56
Manabí	21.19	16.04
Guayas	21.23	22.77
Los Ríos	31.10	48.34
El Oro	0.70	0.26
Región Sierra	16.0	6.80
Carchi	0.47	0.24
Imbabura	1.	0.58
Pichincha	1.11	0.41
Cotopaxi	0.69	0.42
Tungurahua	0.00	0.00
Chimborazo	0.12	0.02
Bolívar	2.14	0.76
Cañar	0.51	0.20
Azuay	0.50	0.07
Loja	9.28	4.10
Región Amazónica	5.63	2.36

**Tabla 2.1** Continuación .....

<b>Sucumbíos</b>	1.13	0.43
<b>Napo</b>	0.80	1.31
<b>Orellana</b>	1.56	0.66
<b>Pastaza</b>	0.17	0.04
<b>Morona-Santiago</b>	1.01	0.44
<b>Zamora-Chinchipe</b>	0.96	0.49
<b>Región Insular</b>	0.02	0.01
<b>Zonas no Delimitadas 1</b>	2.68	2.87
<b>Manga del Cura</b>	2.41	2.77
<b>La Concordia</b>	0.19	0.06
<b>Las Golondrinas</b>	0.04	0.01
<b>El Piedrero</b>	0.05	0.03

*Fuente* <sup>1</sup>

### **2.2.3 Manejo del cultivo**

El cultivo de maíz amarillo tiene como principal limitante la baja productividad que es el resultado de una serie de factores, como son: la escasa utilización de insumos como fertilizantes y pesticidas; los elevados costos de los insumos; la falta de crédito; la presencia de productores con superficies pequeñas de cultivo y baja tecnología; la limitada utilización de semilla certificada de variedades e híbridos y la baja calidad de la semilla disponible, que configuran en conjunto un modelo productivo inadecuado. En los últimos años se introdujeron híbridos de maíz con el objeto de elevar los rendimientos por hectárea, pero debido a un debilitamiento del sistema financiero que no permitió el acceso al crédito y por lo tanto a la utilización de los insumos requeridos, este objetivo no se ha cumplido.

---

<sup>1</sup> III Censo Nacional Agropecuario (año de investigación: octubre 1999 - septiembre 2000)

### 2.2.3.1 Niveles tecnológicos

Existen diferentes niveles tecnológicos en la producción de maíz, tanto por el tamaño de los predios cultivados (grandes, medianos y pequeños), como por las zonas de producción:

Manabí con menor productividad y con un mayor número de pequeños productores; Los Ríos y Guayas que obtienen mayores rendimientos y que agrupan a medianos y grandes productores.

**Tabla 2.2** Estratificación de los productores de maíz.

<b>Ecuador: Estratificación de los productores de maíz</b>	
<b>TIPO DE AGRICULTOR</b>	<b>APORTE A LA PRODUCCION (%)</b>
60% Pequeño (menor a 10 ha.)	22
30% Mediano (10-50 ha.)	61
10% Grande (mayor a 50 ha.)	17

Fuente<sup>2</sup>

El 60% de los productores son considerados como pequeños agricultores puesto que desarrollan el cultivo en parcelas menores de 10 ha y que prácticamente no pueden acceder a créditos en la banca privada o estatal; su esquema de cultivo se desarrolla en condiciones tecnológicas deficientes, por lo cual están sujetos a pérdidas por ataques de plagas y enfermedades o son afectados por factores climáticos (sequía/inundación), obteniendo rendimientos más bajos, cuyo promedio es de alrededor de 1.8 TM/ha.

En el caso de los agricultores medianos (30%) que aportan el 61% de la producción, la situación es menos crítica porque utilizan en su mayoría semilla

---

<sup>2</sup> CORPEI



certificada de variedades e incluso de híbridos, pero tienen deficiencia en la preparación del suelo y en los niveles de fertilización que utilizan, por lo cual no alcanzan rendimientos óptimos; tienen mayores costos por hectárea que los pequeños, pero más alta rentabilidad.

### 2.2.3.2 Costos y Rentabilidad

El cultivo de maíz es rentable para el agricultor, variando el porcentaje de utilidad de acuerdo al estrato productivo. Si se considera el costo por hectárea y el rendimiento obtenido de acuerdo a la adopción de los paquetes tecnológicos, se puede estimar que el agricultor grande tiene una utilidad del 36%, el mediano 25% y el pequeño 14%. Tomando en cuenta que es un cultivo de ciclo corto (cuatro meses), el rédito es apreciable a pesar de los bajos rendimientos.

En la Tabla 2.3 se presenta el detalle de los costos de producción de una hectárea de maíz "X".

**Tabla 2.3** Costo de producción de una hectárea maíz duro.

CONCEPTO	CLASE	UNIDAD MEDIDA	CANT	PRECIO UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)
<b>A.- MAQUINARIA Y EQUIPO</b>					<b>131</b>
1. Arado(Rome Plow)	Tractor	Hora	4	6	24
2. Rastrada	Tractor	Hora	2	6	12
3. Siembra	Sembrado	Hectárea	1	6	6
4. Aplicación Pesticidas	Aguilón	Aplicación	2	6	12
5. Desgrane	Mecánica	Sacos	77	1	77
<b>B.- INSUMOS</b>					<b>147</b>
1. Semilla	Certificada	Kilo	15	1,8	27
2. Desinfectante de suelo					
3. desinfectante de suelo		Litro	2	6	12

**Tabla 2.3** Continuación .....

<b>4. Abonos y Fertilizantes</b>					
MOP		Saco	2	9,5	19
Urea		Saco	4	9	36
DAP		Saco	1	11	11
<b>5. Pesticidas</b>					
Herbicidas	Pre	Litro	3	6	18
Insecticidas	Varios	Litro	1	24	24
<b>C.- MANO DE OBRA</b>					<b>70</b>
1. Fertilización y Tape	Manual	Jornal	12	2	24
2. Rascadillo	Manual	Jornal			
3. Deshierba (Apli. Herb)	Manual	Jornal	4	2	8
4. Aplicación Pesticida	Manual	Jornal	2	2	4
5. Cosecha	Manual	Jornal	17	2	34
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>348</b>

### 2.2.3.3 Variedades e híbridos

En la actualidad continúa sembrándose la variedad 526 generada por el INIAP que presenta resistencia a enfermedades e insectos, pero su potencial de productividad no es mayor a 4 TM/ha; además se utiliza el híbrido INIAP H – 551 y entre la semilla reciclada todavía circulan variedades utilizadas anteriormente y cuya producción está discontinuada, como INIAP 515.

Los híbridos importados por parte de las empresas comerciales tienen un potencial de rendimiento de hasta 8 TM/ha y en parcelas demostrativas hasta 12 TM/ha. Sin embargo este material es más susceptible a enfermedades, insectos y a la sequía y es más exigente en fertilización. Los híbridos que están disponibles actualmente en el mercado se indican en el Tabla 2.4:

**Tabla 2.4** Clases de semilla de maíz disponible en el mercado.<sup>3</sup>

Clases de semilla de maíz disponible en el mercado		
EMPRESA	HIBRIDO	PARTICIPACIÓN EN EL MERCADO (%)
INIAP	H 551	5
SENACA	Dekalt XL650 y Triple 8	40
AGRIPAC	ZENACA: Brasilia y Pacífico	22
Otros*		33

\*Incluye semillas certificadas de variedades e híbridos no especificados.

#### 2.2.3.4 Semilla

La producción de semilla de maíz en el Litoral ecuatoriano depende de la humedad relativa y temperatura que impera en las zonas de producción, sobre todo en la época de floración.

El área formada por una línea imaginaria que une a las zonas de Calceta, Rocafuerte, Portoviejo, Guayaquil, Taura, Milagro y Babahoyo, durante los meses de mayo a diciembre, presenta características de temperatura, humedad relativa y precipitación favorables para la producción de semilla de maíz. La clase de semilla utilizada consta en la tabla 2.5.

**Tabla 2.5** Distribución de maíz duro, de acuerdo al tipo de semilla.<sup>4</sup>

Distribución de la siembra de maíz duro, de acuerdo al tipo de semilla	
SEMILLA	UTILIZACIÓN EN LA SIEMBRA %
Híbrida	45
Variedades (1)	55
TOTAL HA	100

<sup>3</sup> CORPEI

<sup>4</sup> CORPEI

#### **2.2.4 Cosecha y Pos cosecha**

La cosecha de invierno (80% del total) se inicia en abril hasta agosto y la de verano (20%) entre octubre y noviembre.

La cosecha de maíz duro se realiza en un 95% a mano y casi la totalidad del desgrane con máquinas; el 5% restante se efectúa con máquinas cosechadoras desgranadoras. Esta actividad está relacionada con el tamaño de las fincas, así como a la disponibilidad de maquinaria.

Existe un déficit funcional de facilidades de secamiento y limpieza y la disponible no está accesible para los agricultores pequeños y medianos. Además hay deficiencia en el transporte desde las zonas de producción hasta los centros de almacenamiento que cuentan con infraestructura de limpieza y secado, debido a la falta de vías de comunicación, que repercute en pérdidas debido a las mermas y en la calidad en perjuicio de los agricultores. Adicionalmente, se debe tomar en cuenta que el pequeño productor individualmente no tiene suficiente volumen de producto para contratar el transporte con costos convenientes.

Considerando que el grano cosechado registra porcentajes de humedad entre el 20% y 30%, la mayoría de agricultores están obligados a comercializar su producto húmedo y con impurezas, lo que va en desmedro del precio.

El sistema post-cosecha comprende cierto número de actividades y de funciones sucesivas que se pueden clasificar en dos categorías:

- Actividades técnicas: cosecha, secado, trilla, limpieza, secado, almacenamiento, transformación.
- Actividades económicas: transporte, comercialización, control de calidad, nutrición, extensión información y comunicación, administración y gestión.

## **2.3 Proceso de Secado**

Al llegar a la madurez fisiológica, los productos agrícolas y en especial los granos, presentan en la mayoría de los casos, un contenido máximo de materia seca. Sería recomendable cosechar los granos en ese punto de desarrollo, desde el punto de vista del rendimiento máximo de la producción. No obstante, varios factores limitan esa posibilidad, destacándose entre ellos el contenido de humedad de los granos.

Al comienzo de la etapa de madurez fisiológica, los granos presentan, además del contenido máximo de materia seca, un elevado porcentaje de agua. Esta condición acarrea algunas dificultades, pues los granos no resisten los procedimientos mecánicos de recolección y demás operaciones de tratamiento. Es preciso esperar, entonces, que la cosecha se realice "tan pronto" como los granos lo soporten. Esta técnica ofrece algunas ventajas, como son: un mayor porcentaje de materia seca (como ya se mencionó), menor contaminación del producto en el campo, menor pérdida por ataque de depredadores, mayor porcentaje de germinación y vigor y otras.

El mayor inconveniente de la cosecha de productos húmedos es la necesidad de reducir su contenido de humedad a niveles seguros para su almacenamiento, siendo un proceso que exige un gran consumo de energía.

En general el secado artificial de granos es una técnica poco difundida en América Latina. En las regiones en que se la conoce, normalmente este mal utilizada. En consecuencia, hay elevadas pérdidas de granos en esos países.

## **2.4 Técnicas de secado**

Los métodos que se emplean para realizar el secado de granos son diversos y se pueden clasificar como sigue:

## **Secado natural**

- En el campo.
- En asoleaderos

## **Secado artificial**

- A bajas temperaturas: con aire natural con aire ligeramente calentado.
- A altas temperaturas: en lecho fijo en flujos cruzados en flujos concurrentes en flujos contracorriente en cascada (flujos mixtos).
- En combinación: alta temperatura/baja temperatura.
- Secado aireación.

El secado artificial surgió como respuesta a las deficiencias del secado natural. Por medio de aparatos e instalaciones especiales, éste se establece en recintos cerrados con condiciones climáticas diferentes a las condiciones atmosféricas normales.

Este secado se ha venido desarrollando en formas diferentes, entre las técnicas más usadas están las siguientes:

- Secado por aire caliente.
- Secado al vacío.
- Secado por superficies calientes.
- Secado por radiación.

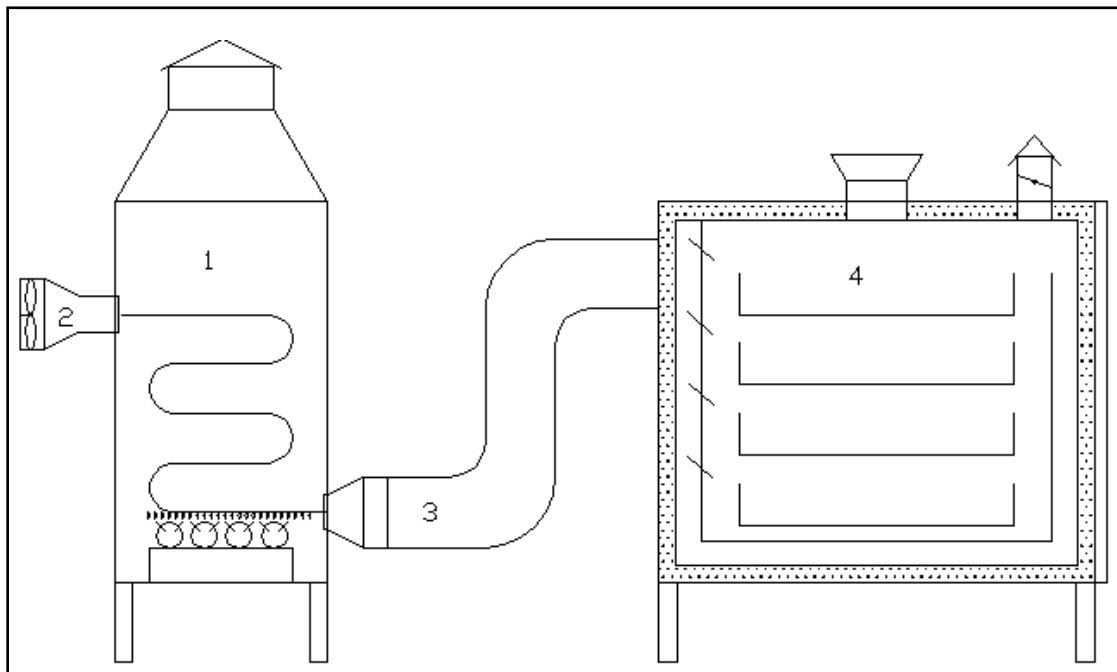
### **2.4.1 Secado por Aire Caliente**

Este tipo de hornos se componen de cuatro elementos principales:

1. Sistema de calentamiento del aire.
2. Ventilador.
3. Ducto de circulación del aire
4. Cámara de secado.

El ventilador, generalmente es del tipo centrífugo, por la presión estática que se necesita en este sistema, la cámara de distribución del aire sirve para transformar la presión dinámica del aire en presión estática, uniformando la distribución del aire dentro del secador.

La cámara de secado es un recipiente rectangular o circular, con una o varias bandejas el tamaño de las mismas son normalizadas, para albergar el producto, que permanece estático cuando el aire calentado es impulsado mecánicamente por el ventilador, pasa a través de la capa del producto y reduce su contenido de humedad.



**Figura 2.3** Esquema del secado por aire caliente

La temperatura de secado afecta directamente la tasa de secado. Cuanto mayor sea la temperatura, mayor será la tasa de evaporación.

El flujo de aire influye principalmente en la tasa de secado y en la distribución de la humedad, en relación con la profundidad de la capa del producto. Al aumentar el flujo de aire, aumenta la tasa de secado y disminuyen las irregularidades de humedad y temperatura en la capa de producto. El tiempo de secado disminuye con el aumento del flujo de aire, pero la eficiencia del secado también disminuye, en condiciones fijas de temperatura, espesor del lecho y flujo de aire, depende también de la humedad inicial y final del producto.

Cuanto mayor sea el contenido inicial de humedad mayor será el tiempo de secado.

#### **Ventajas.**

- Secado de grandes, medianas y pequeños volúmenes de producción.
- Se obtiene un bajo porcentaje de humedad del producto final.

#### **Desventajas.**

- Dependiendo del tipo de combustible se puede contaminar el producto.
- El tiempo de secado es considerable.

### **2.4.2 Secado al vacío**

El secado al vacío<sup>5</sup> considera, que la circulación del agua desde el interior del producto es de 100 a 1000 veces más lenta que la velocidad de evaporación en la superficie del material.

---

<sup>5</sup> Manual del Grupo Andino para el secado de maderas, Primera edición, Cartagena, 1989.



El agua circula a una velocidad cinco veces mayor en un material o producto bajo presión de 60mm de mercurio que bajo una presión de 760 mm. de mercurio. Esta propiedad es la que sirve de fundamento para el desarrollo del proceso de secado al vacío.

De igual manera, la acción de vacío también se traduce en una disminución de la temperatura de ebullición del agua, con lo cual se logra una intensificación de la evaporación en la superficie.

Además de realizar el vacío, es necesario suministrar la energía calorífica requerida para extraer el agua higroscópica y para pasar el agua del estado líquido al gaseoso.

**Tabla 2.6** Distribución de maíz duro, de acuerdo al tipo de semilla.

<b>Presión del Aire en mm de Hg</b>	<b>Temperatura de Evaporación del Agua</b>
760	100
480	88
305	76
240	70
153	60
120	55
76	45
62	42
38	32
8	7

Si embargo, se debe tener presente que cuando se crea una depresión (vacío) alrededor del producto, se produce un enrarecimiento del aire ambiente, es decir, del agente de transmisión de calor por convección.

La presión de vacío en el cual la transferencia de calor es por conducción es de 76-153 mm. de mercurio.

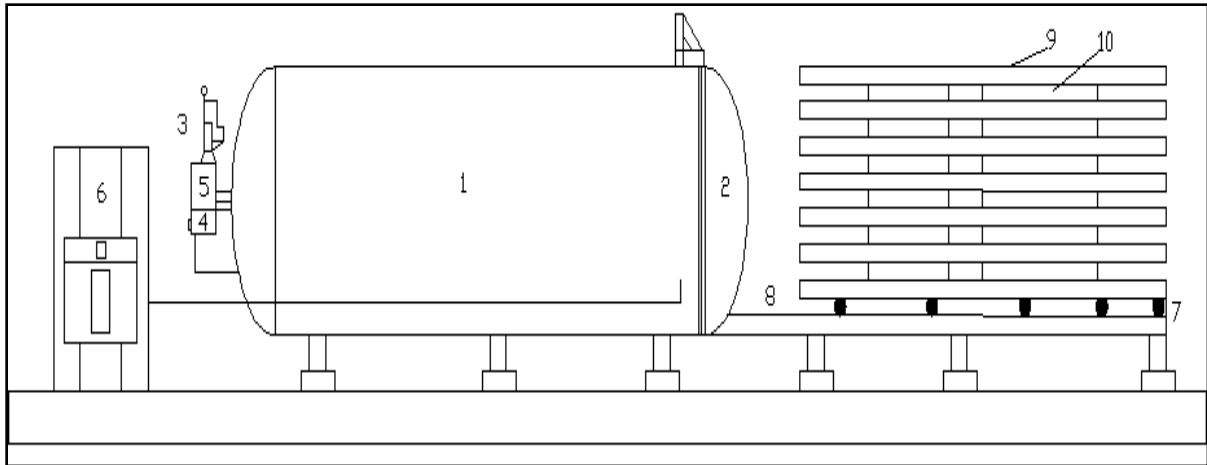
En estas condiciones es imposible calentar los productos ya que el vacío no transmite el calor. Se debe entonces optar por uno de los siguientes procedimientos:

- Colocar el producto en contacto con elementos calientes, por ejemplo, placas calientes.
- Interrumpir el vacío a intervalos regulares y durante estas interrupciones calentar la atmósfera.
- Colocar encima del producto elementos irradiantes.

#### **Elementos de una secadora al vacío.**

- Cámara hermética y en la cual se coloca la carga que va a secarse.
- Dispositivo de calefacción.
- Dispositivo para la eliminación del agua.
- Instrumentos de control y regulación y, en este caso particular una bomba de vacío.

La cámara consiste en un cilindro metálico colocado horizontalmente, provisto de un fondo y de una puerta hemisférica. La forma cilíndrica le permite resistir la presión atmosférica exterior cuando se hace vacío. El cilindro es construido en lámina de acero suficientemente gruesa, unida o soldada. Este tipo de construcción limita la dimensión de la cámara de secado al vacío a unos 10 m<sup>3</sup> de capacidad útil, debido a una elevada inversión representa la construcción de autoclaves más voluminosos.



**Figura 2.4** Esquema del secado al vacío.

1. Cilindro o autoclave.
2. Puerta para la entrada de la carga
3. Unidad de enfriamiento.
4. Bomba de vacío.
5. Dispositivo de regulación.
6. Caldera para generar agua caliente para las placas de calentamiento.
7. Vagoneta para la carga.
8. Riel transportador.
9. Placas de calentamiento.
10. Producto para secar, colocada entre las placas de calentamiento.

### **Ventajas.**

- Aumenta la velocidad de salida del agua que se encuentra contenida en el producto higroscópico.
- Reduce considerablemente el tiempo de secado.
- Mínima emisión de contaminantes.
- Para el secado se necesita baja temperatura.
- Menor aporte energético por baja temperatura.
- Conserva la calidad del producto.

- Menor tiempo de secado.
- Limitados gradientes de humedad entre el exterior y la superficie.
- Fácil utilización.
- Mantenimiento reducido de la instalación.

### **Desventajas.**

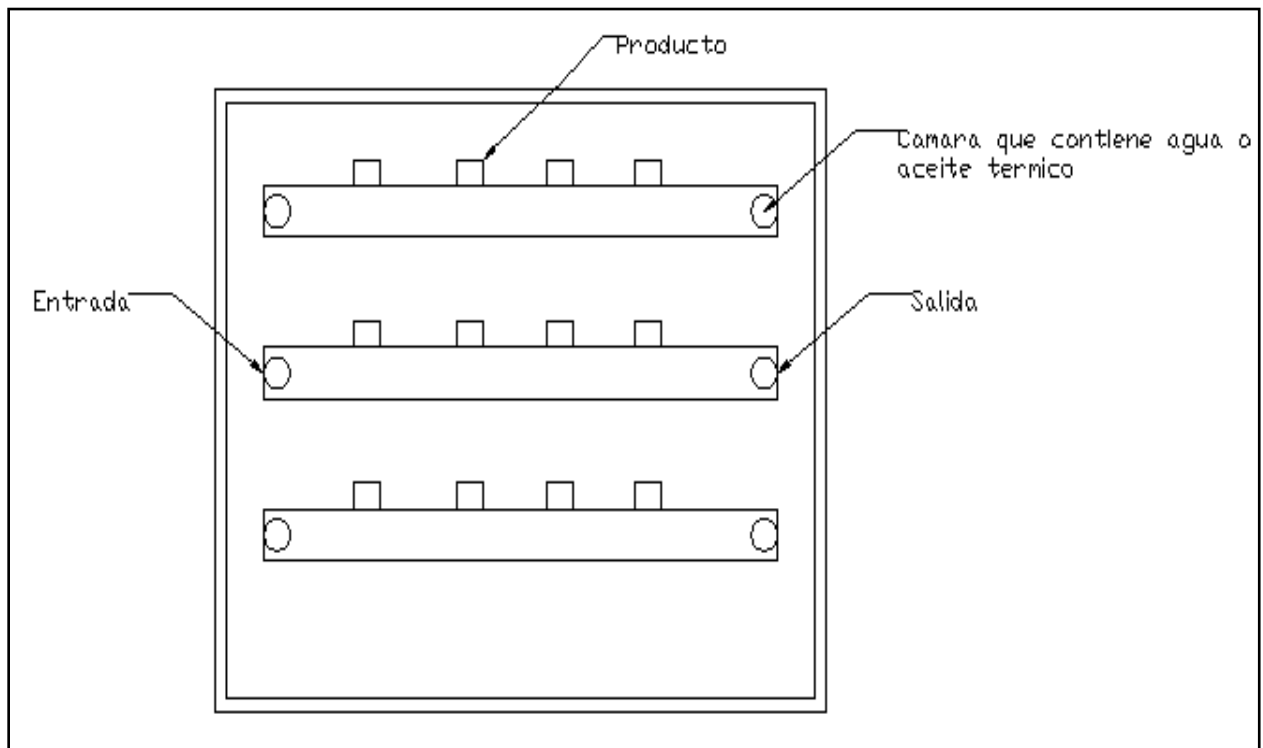
- Alto costo del equipo.
- Capacidad de volumen restringido desde 15 a 25m<sup>3</sup>.
- La bomba tiende a introducir el aceite a la cámara y contamina el producto.
- Los aparatos que se emplean y el manejo del ciclo de secado presentan cierta complejidad, la aplicación alternada de ciclos de vacío y de presión normal es difícil de realizar.
- Hermeticidad tiene que ser absoluta.
- No se puede secar adecuadamente un producto con cáscara.

### **2.4.3 Secado por superficies calientes**

La técnica por superficies calientes, hace que el calor de desecación se transfiera al sólido húmedo a través de una pared. El líquido vaporizado se separa independientemente del medio de calentamiento. La velocidad de desecación depende del contacto que se establezca entre el producto mojado y las superficies calientes. Los secadores indirectos se llaman también secadores por conducción o de contacto. Y son apropiados para productos con un gran contenido de humedad.

Un secador de superficies calientes, tiene por lo general un tambor que esta formado por uno o más rodillos metálicos calientes o a su vez planchas, en cuya superficie se evapora la humedad contenida por el producto.

El aire que hay dentro del secador se moverá a través de las superficies calientes y se forzará para que se mueva también a través del producto, antes de volver a los ventiladores o sopladores. Para reducir la humedad relativa es necesario introducir aire fresco del exterior y extraer el aire húmedo por las compuertas. Cualquier escape que haya en las paredes o en el techo de la estructura, reducirá la cantidad de ventilación que se requiere.



**Figura 2.5** Esquema del secado por superficies calientes.

#### **Ventajas.**

- Se puede aumentar la rapidez del secado.

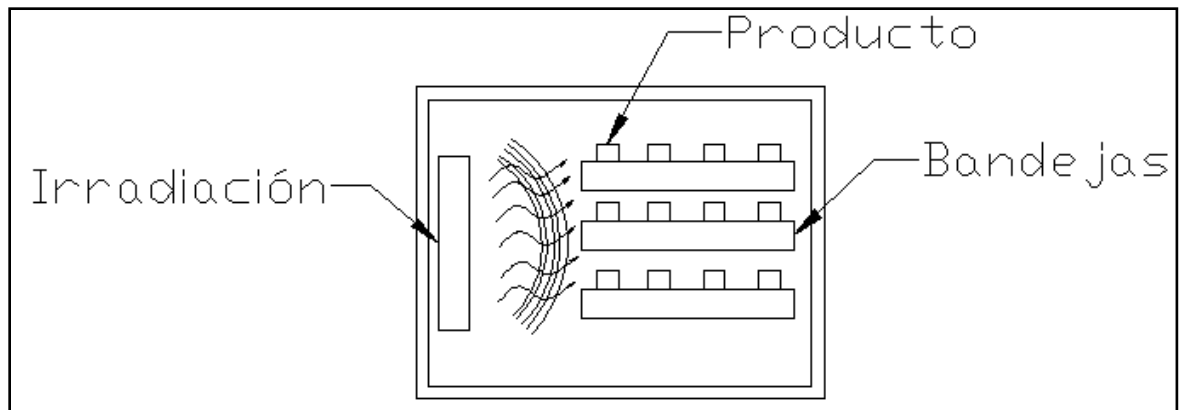
#### **Desventajas.**

- Producto tiende a quemarse.
- Necesita cambios de aire.

- Conexiones para que llegue el fluido a las bandejas.
- Si es agua va a correr por las bandejas.
- Necesita estar en movimiento para que no se quemé.

#### 2.4.4 Secado al radiación.

El secado por radiación en los productos, ocurre en un campo donde la energía irradiante proviene de resistencias eléctricas, tubos calientes con agua o aceite térmico. En el cual se calienta a una temperatura superior al punto de ebullición del agua debido a la fricción molecular ocasionada por la oscilación de sus moléculas. La tasa de calentamiento depende de las propiedades dieléctricas y el calor específico del producto y además de la potencia de la corriente eléctrica disponible.



**Figura 2.6** Esquema del secado por radiación.

El calentamiento de los productos húmedos por esta técnica es rápido y uniformemente a través de su sección transversal. La tasa de calentamiento varía, según los productos a secarse, entre 5 y 20°C por minuto. Como se presentan pérdidas de calor y se produce enfriamiento de las superficies debido a la evaporación de la humedad, la distribución de la temperatura decrece de adentro hacia afuera, es decir, en forma opuesta a la que ocurre en el secado convencional.

En productos poco permeables, o sea, en aquellas con envoltura cerrada y densa, en las cuales el movimiento del agua es restringido, se desarrollan altas presiones internas y se eleva la temperatura mucho más allá del punto de ebullición del agua, produciéndose como consecuencia explosiones y rupturas internas. Por lo tanto, los productos densos secados con este proceso están expuestos a daños considerables.

### **Ventajas.**

- Facilidad de fabricación.
- Humedad final uniforme.
- Aplicaciones pequeñas.

### **Desventajas.**

- Los productos se queman cuando están cerca al radiador de calor.
- Con resistencias eléctricas, consume bastante energía.
- Dificultad de secar productos poco permeables.
- Altos costos en aplicaciones grandes.

## **2.5 Tipos de secadores de granos**

Las máquinas secadoras pueden clasificarse de la siguiente forma:

### ***A) Secadoras de flujo continuo***

#### **1. Verticales (tipo torre)**

- de flujo mixto (de caballetes).
- de flujo cruzado (de columnas).
- de persianas.

- de flujo contracorriente.
  - de flujo concurrente.
2. De cascadas
  3. Horizontales
    - de flujo cruzado (de columnas hexagonales).
    - de flujo mixto.
    - de lecho plano.
    - fijo
    - fluido

### ***B) Secadoras en tandas***

1. De flujo cruzado
  - con recirculación.
  - estáticas.
2. De flujo mixto
  - con recirculación.
  - estáticas.

### ***C) Silos secadores***

1. De flujo contracorriente.
2. De flujo cruzado

#### **2.5.1 Secadoras de flujo continuo**

Son aquellas en las que el grano se introduce y descarga en forma continúa o intermitente, permaneciendo constantemente llenas las secciones de secado y enfriamiento el aire y el grano marchan en el mismo sentido. Las operaciones de secado y enfriamiento se efectúan en forma simultánea e ininterrumpida.



Las secadoras verticales, también llamadas "tipo torre", se caracterizan por el recorrido del grano, desde arriba hacia abajo, y pueden ser clasificadas en varios grupos, de acuerdo al tipo de flujo.

Las secadoras de flujo mixto, también llamadas de "caballetes", tienen como elemento principal, en las zonas de secado y enfriamiento, un conjunto de conductos en forma de V invertida, por donde circula el aire caliente o frío.

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

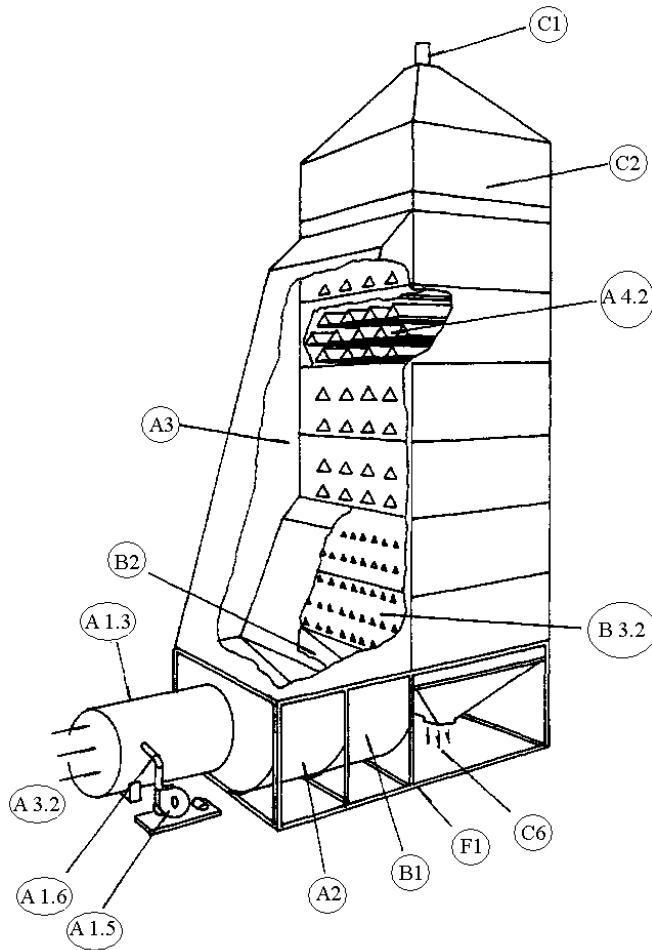
Las secadoras de persianas tienen su cuerpo principal formado por tres tabiques verticales, siendo los dos exteriores abiertos en las dos caras, y el tabique medio en zigzag con grandes perforaciones. Este sistema permite que el grano situado en el costado por donde ingresa el aire caliente descienda más rápidamente que el grano situado en el costado opuesto, con el fin de asegurar un secado más homogéneo. Las de flujo contracorriente y de flujos concurrentes se conocen como de flujos paralelos (de aire y de grano). Las de flujo contracorriente son aquellas en las que el aire y el grano marchan en la misma dirección, pero en sentido contrario.

### **2.5.2 Secadoras de flujo contracorriente**

En esta secadora el grano fluye hacia abajo y el aire hacia arriba. Este tipo de secadora corresponde al silo secador ilustrado en la Figura 2.7.

Este secado es muy eficiente energéticamente, porque el aire sale a través del grano más húmedo, o sea muy saturado, pues recoge una máxima carga de humedad.

El espesor de la capa de grano no suele superar los 3 - 4 m, pero si aumenta el espesor de la masa de granos también hay un incremento en la resistencia al paso del aire, que produce una disminución de la capacidad de secado.



A.1.3: cámara de combustión;  
A.1.5: ventilador para el aire de combustión;

A.1.6: conducto de aire para la combustión;

A.2: ventilador de aire caliente;

A.3: plenum de aire caliente;

A.3.2: entrada de aire;

A.4.2: cámara de secado (de caballetes);

B.1: ventilador de aire frío;

B.2: plenum de aire frío;

B.3.2: cámara de enfriamiento;

C.1: entrada de granos;

C.2: depósito de granos;

C.6: descarga de granos;

F.1: bastidor

**Figura 2.7** Esquema de secadora de flujo continuo, de caballetes.

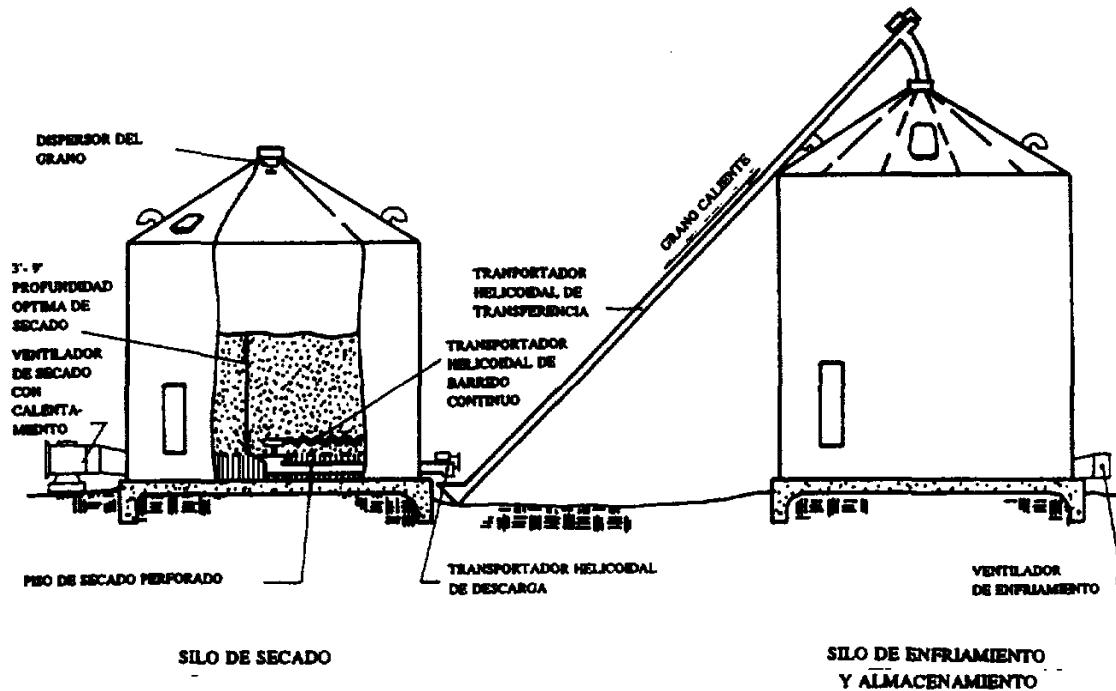


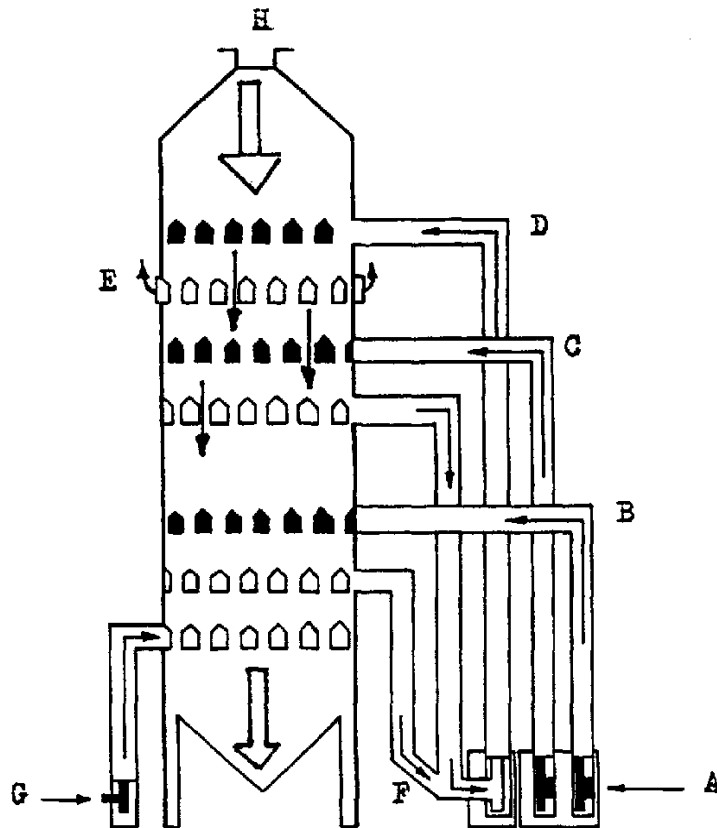
Figura 2.8 Silo secador de flujo contracorriente (secado combinado).

### 2.5.3 Secadoras de flujo concurrente

En este tipo, el grano y el aire de secado fluyen en la misma dirección y sentido. De esta forma el aire caliente se encuentra con grano frío y húmedo, pero la transferencia de calor y humedad que tiene lugar asegura que la temperatura del grano no alcance la temperatura del aire de entrada y que descienda rápidamente.

Este diseño tiene la ventaja que se pueden emplear muy altas temperaturas del aire, que originan altas velocidades de secado sin sobrecalentar el grano. Este último está sometido a un tiempo de permanencia más corto, por lo cual no es muy afectado.

Se ha comprobado también que el consumo específico de energía se encuentra entre 850 y 900 kcal por kg. de agua evaporada, que significa una buena eficiencia térmica.



A: ingreso de aire al quemador;  
 B C-D: aire caliente en tres etapas.  
 E: salida de aire usado.  
 F: recirculación de aire usado.  
 G: ingreso de aire para enfriamiento.  
 H: entrada de grano húmedo.

**Figura 2.9** Esquema secadora de flujo concurrente de tres etapas de secado y enfriamiento por flujo contracorriente.

En la práctica se ha comprobado que la extracción de humedad por cada tratamiento de flujo concurrente no supera los dos puntos de humedad, de manera que las secadoras comerciales existentes tienen dos o tres etapas, separadas cada una por secciones de reposo.

#### 2.5.4 Secadoras de cascadas

Estas máquinas están formadas por uno o dos planos inclinados, compuestos por persianas (las que atraviesa el aire) por las cuales el grano va descendiendo en forma de una cascada continua.

Este sistema tiene la ventaja de que no se tapan agujeros (porque no existen) con borra o basura, como en otras secadoras que tienen paredes perforadas. También son aptas para secar semillas muy pequeñas, como calza, tréboles y otras similares, reduciendo el caudal de aire.

La corriente de aire que pasa por las persianas, además de su función principal de secar y enfriar, realiza una buena limpieza del grano. Las impurezas arrastradas tampoco caen en el plenum o cámara de aire caliente, con lo cual el riesgo de incendio es reducido a un mínimo.

Con el fin de aumentar la capacidad de secado se han fabricado secadoras con este mismo principio de cascadas, pero verticales, formadas por módulos de forma romboidal (Figura 2.12) que pueden montarse uno arriba del otro, obteniéndose secadoras de hasta 100 t/hora.

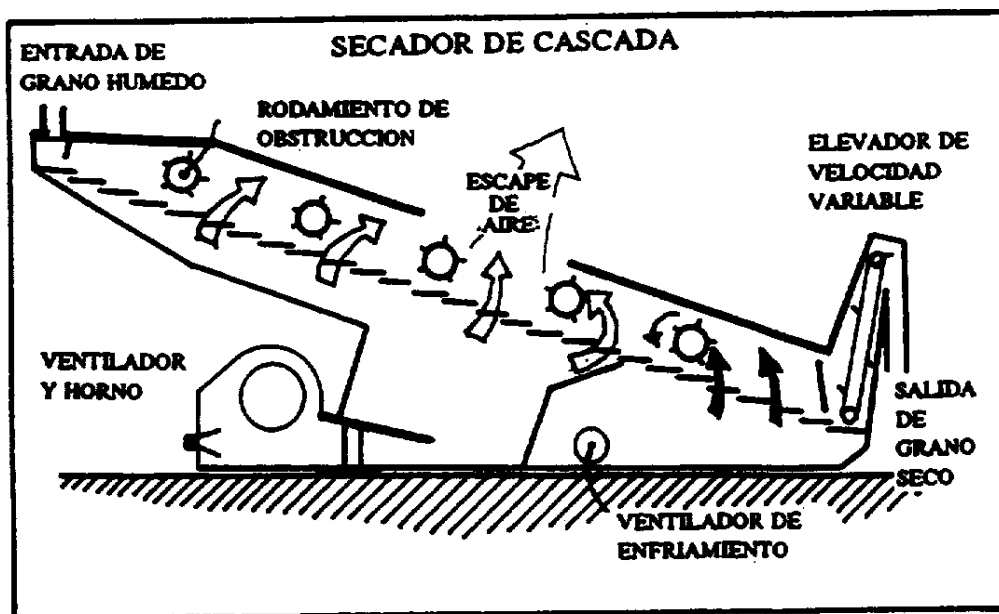
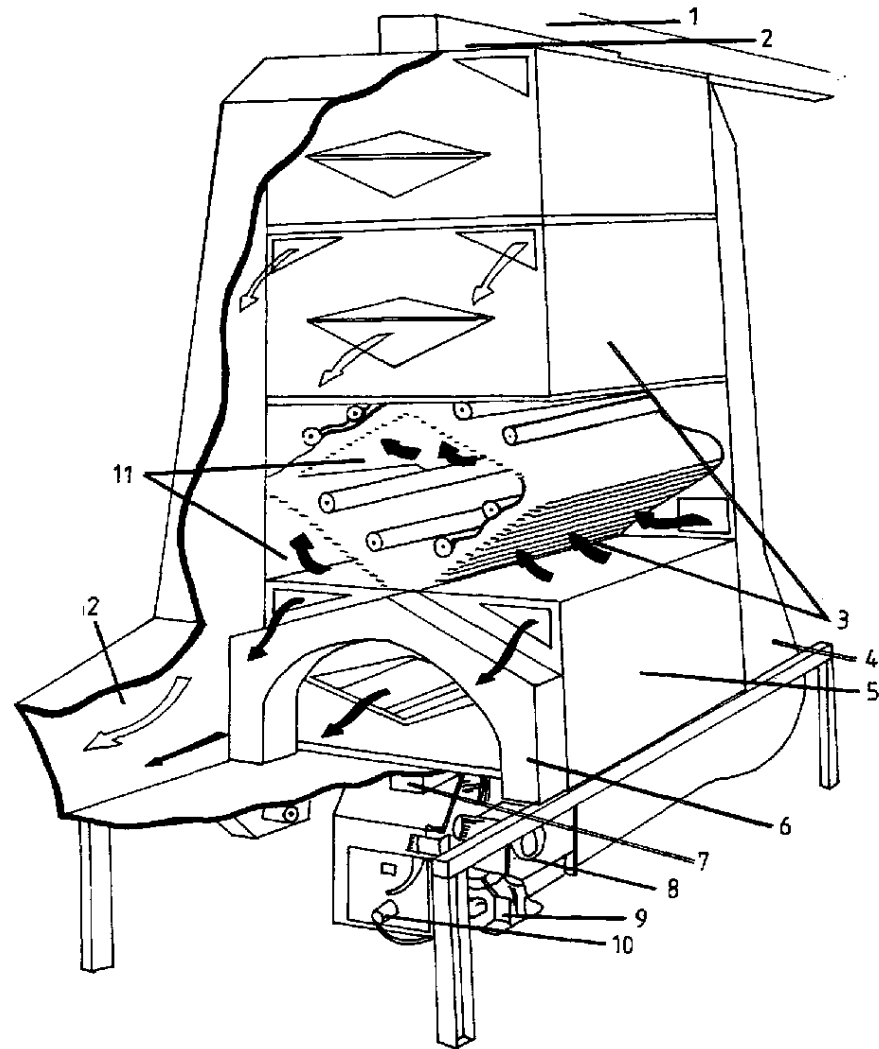


Figura 2.10 Secadora de cascadas, de un solo plano (Doc. Alvan Blanch)

En general, estas secadoras de lecho en cascadas emplean mayores caudales de aire que las secadoras de flujo mixto, pero trabajan a menores temperaturas del aire de secado. Sus fabricantes dicen que por dichas razones son preferidas estas

máquinas por las maltarías y los elaboradores de arroz. La instalación de las secadoras de 1 ó 2 planos es fácil, pues ya vienen entregadas en un único cuerpo completo, y solo se necesita una grúa para ubicarlas.



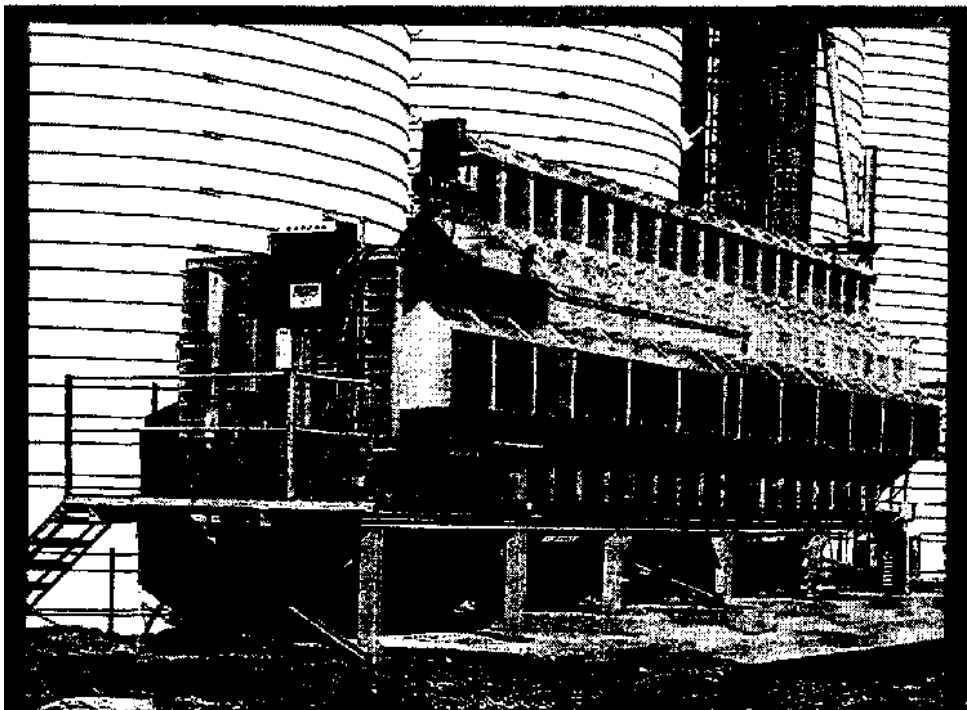
**Figura 2.11** Secadora de cascadas, de módulos romboidales (Doc. Alvan Blanch)

1: transportador de granos; 2: tolva de grano húmedo; 3: secciones de calor; 4: conducto de aire caliente; 5: sección de enfriado; 6: conducto de aire frío; 7: rosca de descarga de grano; 8: ventilador de aire frío; 9: controles de quemador; 10: ventilador y cámara de combustión; 11: cámaras de calor; 12: salida de aire usado.

### 2.5.5 Secadores horizontales

Se ubican en este grupo dos tipos: las secadoras horizontales de columnas hexagonales y las secadoras horizontales planas.

Se diferencian porque su operación es continua, tienen ciclo de enfriamiento, son más complejas, y suelen ser más largas (Figura 2.13). La capacidad de estas máquinas se aumenta haciéndolas de mayor longitud. Están formadas por módulos superpuestos, en los que cada módulo es una secadora individual. Esta última disposición tiene la ventaja de que cada módulo puede tener temperaturas de secado diferentes, mayores en los módulos superiores y menores en los inferiores; al mismo tiempo se detienen o suprimen los ventiladores de aire frío (excepto en el módulo inferior), intercalando de esta forma períodos de reposo que mejoran la calidad y eficiencia del proceso.

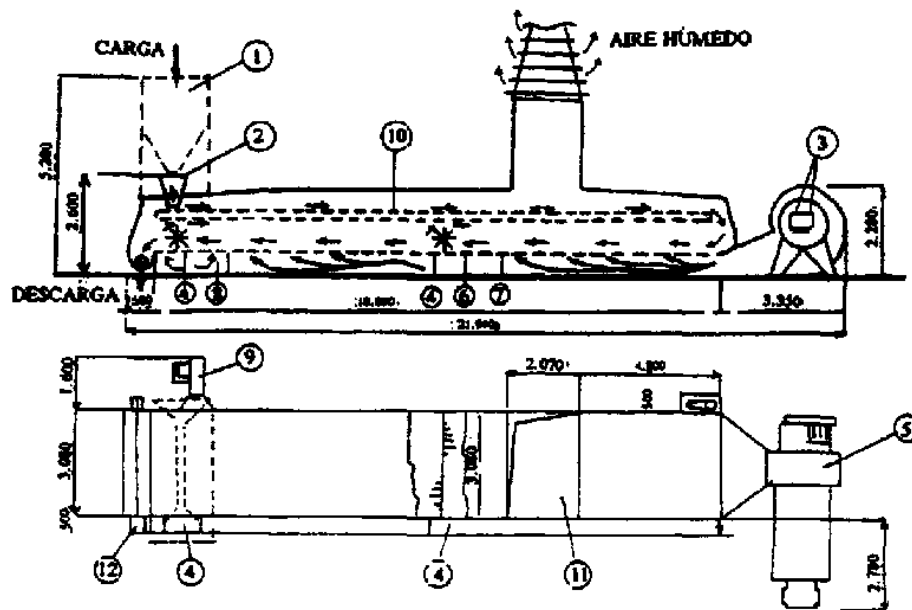


**Figura 2.12** Secadora horizontal, de columnas hexagonales (Doc. Beard)

Las secadoras horizontales planas se caracterizan por tener la sección de secado y enfriamiento en posición horizontal plana. Pueden ser clasificadas en dos modelos: de lecho fijo y de lecho fluido.

El grano es removido continuamente por un agitador que avanza y retrocede, y es transportado por UD piso movable hacia el extremo de salida. En la última parte de la máquina se lleva a cabo el enfriado del grano.

El grano avanza en capas de 30 a 48 cm, removidas regularmente, produciéndose así un buen contacto entre grano y aire. Según sus constructores, estas características les permiten obtener una alta calidad de grano seco.



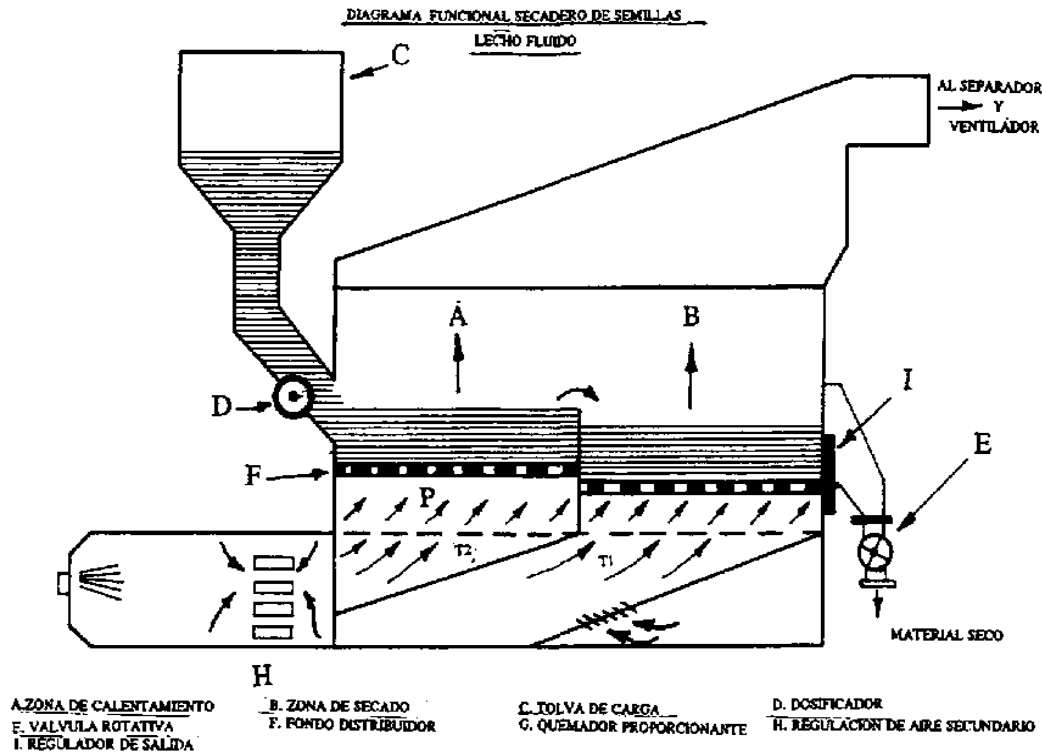
**Figura 2.13** Esquema de secadora horizontal de lecho fijo, plano doble (1) Doc. de Zunche)

1: tolva suplementaria, 2: tolva de carga; 3: equipo generador de calor; 4: agitador; 5: ventilador de aire caliente; 6: plano de secado; 7: plenum de aire caliente; 8: plano de enfriamiento; 9: ventilador de aire frío; 10: lecho móvil de precalentamiento y pre secado; 11: chimenea de salida de aire usado; 12: sinfín de descarga. Las dimensiones están expresadas en milímetros.



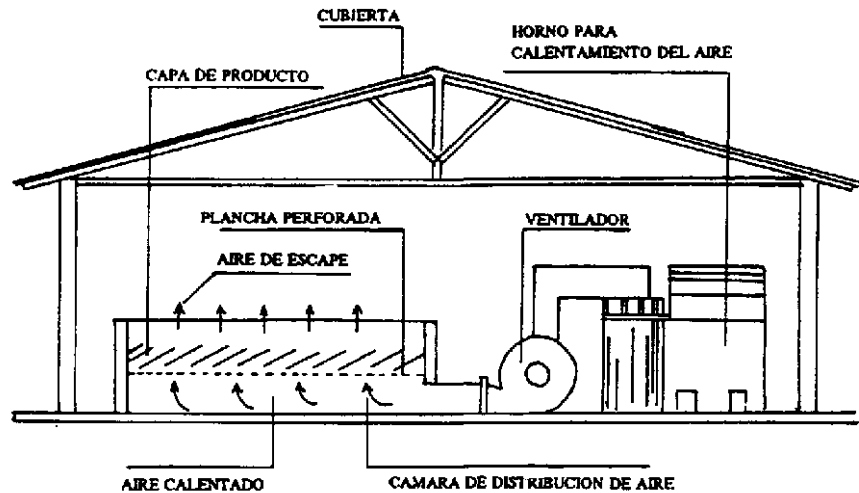
Las secadoras de lecho fluido se diferencian porque emplean elevados caudales de aire caliente, con el fin de agitar y poner en suspensión a la capa de granos, y de esta forma conseguir un secado más rápido y uniforme (Figura 2.15).

Existe otro tipo de secadora horizontal de lecho fijo, más simple, también llamada "de capa estacionaria" pero que trabaja en tandas. La ilustración de la figura muestra una secadora de esas características<sup>6</sup> (Figura 2.16).



**Figura 2.14** Secadora horizontal de lecho fluido (Doc. Trimec)

<sup>6</sup> Secadoras industriales, Dalpasquale, España 1991, pág. 345.



**Figura 2.15** Secadora horizontal de capa estática o estacionaria (Doc. Fao)

### 2.5.6 Secadoras en tandas y silos secadores

Se coloca el grano húmedo en la secadora, se mantiene en ella hasta que es seco, y luego se enfría en la misma. Posteriormente, el grano es extraído, y la secadora se vuelve a llenar con otra tanda.

Estas secadoras se adaptan muy bien para seca-aireación, pues directamente se suprime el tiempo de enfriamiento en la secadora. Para dejar el grano con 16 o 18% de humedad, sólo es necesario acortar el tiempo de calentamiento. No se necesita hacer modificaciones en la secadora. En ellas se puede doblar con facilidad su capacidad de secado.

Las secadoras en tandas son, en general, de baja capacidad y pueden ser empleadas en la propia finca del productor. Siempre tienen que tener una capacidad similar a la de las máquinas cosechadoras, para no interrumpir la cosecha.

### **2.5.7 Secadoras de recirculación**

Estas secadoras, ya sea de columnas o de caballetes, poseen una cámara de secado convencional, pero el grano es reciclado varias veces en la secadora, con el auxilio de un elevador de cangilones o de una rosca vertical, de manera que existen períodos de descanso, que favorecen un templado parcial del grano. Una vez que el grano está seco, se lo enfría apagando el quemador, y se lo descarga, quedando luego la máquina libre para un nuevo ciclo.

Estas máquinas pueden presentarse en modelo fijo o en modelo transportable, y en versiones más chicas pueden ser accionadas por la toma de fuerza de un tractor.

## **2.6 Psicrometría**

Es una rama de la ciencia que trata de las propiedades termodinámicas del aire húmedo y del efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y sobre el confort humano. El objetivo primordial de esta rama es determinar la relación existente entre el aire atmosférico y la mezcla de aire seco - vapor de agua.

Las propiedades termodinámicas de la mezcla de aire seco y vapor de agua revisten gran interés en la etapa de pos cosecha de productos agrícolas, por el efecto que tiene la humedad del aire atmosférico sobre el contenido de humedad de los productos.

### **2.6.1 Aire atmosférico**

Cerca de la superficie terrestre la atmósfera seca (sin vapor de agua) está compuesta en un 99% de su volumen por nitrógeno (78.1%) y oxígeno (20.9%). El 1% restante se reparte entre un conjunto de otros gases, entre los cuales destacan

el argón (A) con una concentración de 0.93%, el anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) con 0.033% y otros como el neón (Ne) y el helio (He) con concentraciones aún menores.

Aparte de estos gases, que mantienen una concentración más o menos constante en los primeros 80 km sobre la superficie, la atmósfera terrestre contiene también una concentración variable (entre un 1% y 4% del volumen total) de vapor de agua (H<sub>2</sub>O). Este se incorpora a la atmósfera mediante el proceso de evaporación desde la superficie, y es removido de ella mediante el proceso de condensación en las nubes, y posterior precipitación en forma líquida (lluvia) o sólida (nieve o granizo).

## 2.6.2 Aire Seco

El aire seco se obtiene, cuando se ha extraído todo el vapor de agua y los contaminantes del aire atmosférico. La composición porcentual, en volumen o número de moles por 100 moles de aire seco, se muestra en la tabla 2.1 a continuación.

**Tabla 2.7** Composición del aire seco

Sustancia	Fórmula	Masa molecular	Porcentajes en volumen (moles/ 100 moles)
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	28,016	78,084
Oxígeno	O <sub>2</sub>	32	20,9496
Argón	Ar	39,948	0,934
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	44,01	0,0314
Neón	Ne	20,183	0,001818
Helio	He	4,0026	0,000524
Metano	CH <sub>4</sub>	16,03188	0,0002
Dióxido de azufre	SO <sub>2</sub>	64,064	0,0001
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	2,01594	0,00005
Criptón	Kr	83,8	0,0002
Ozono	O <sub>3</sub>	48	0,0002
Xenón	Xe	131,3	0,0002

La masa molecular aparente del aire seco es de 28,9645 kg-mol y la del vapor de agua es de 18,1535 kg/mol. El aire seco, normalmente tiene vapor de agua asociado, lo que da origen al que se denomina aire húmedo, que es una mezcla binaria de aire seco y vapor de agua. La cantidad de vapor presente en la mezcla puede variar entre cero y un valor correspondiente al estado de saturación. Esto corresponde a la cantidad máxima de vapor de agua que el aire puede soportar a una temperatura determinada.

### **2.6.3 Propiedades térmicas del aire**

Hay diversas propiedades termodinámicas fundamentales ligadas a las propiedades del aire húmedo. Hay dos propiedades independientes, además de la presión atmosférica necesaria para establecer el estado termodinámico del aire húmedo. Tres propiedades se relacionan con la temperatura:

#### **2.6.3.1 Temperatura de bulbo seco ( $T$ )**

Es la medida de temperatura que se obtiene con un termómetro convencional de mercurio o similar, cuyo bulbo se encuentra seco.

#### **2.6.3.2 Temperatura de punto de rocío ( $Pr$ )**

Es la temperatura a la que empieza a condensar el vapor de agua contenido en el aire, produciendo rocío, neblina o, en caso de que la temperatura sea lo suficientemente baja, escarcha.

$$Pr = \sqrt[8]{\frac{H}{100}} \cdot [112 + (0.9T)] + (0.1T) - 112 \quad (2.1)$$

Donde:

Pr = Punto de rocío

T = Temperatura en grados Celsius

H = Humedad relativa.

### **2.6.3.3 *Temperatura de bulbo húmedo (Bh)***

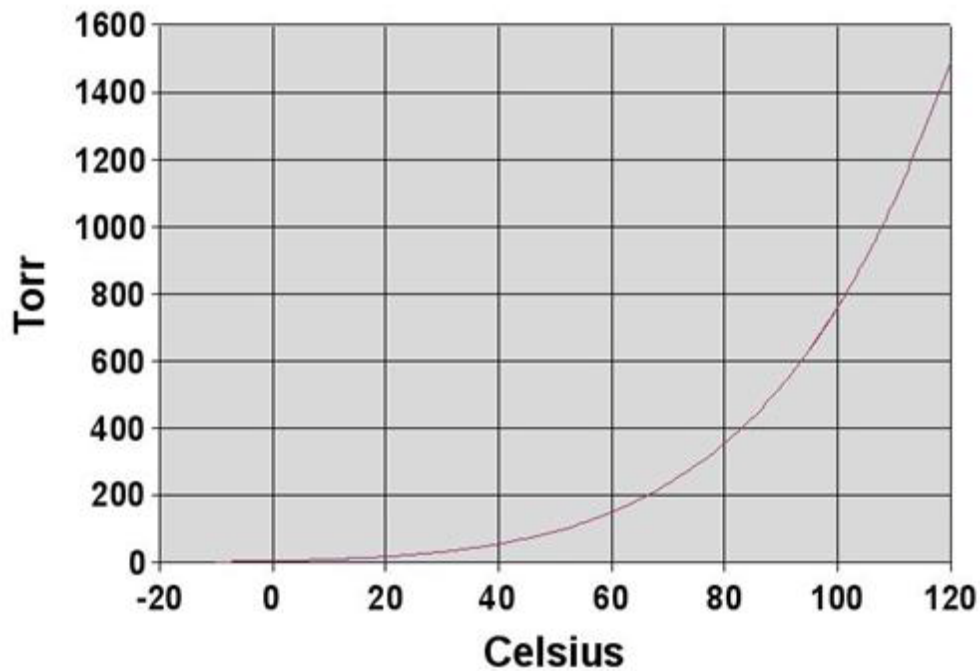
Es la temperatura que da un termómetro a la sombra con el bulbo envuelto en una mecha de algodón húmedo bajo una corriente de aire.

La corriente de aire se produce mediante un pequeño ventilador o poniendo el termómetro en un molinete y haciéndolo girar.

Algunas propiedades termodinámicas caracterizan la cantidad de vapor de agua presente en el aire húmedo:

### **2.6.3.4 *Presión de vapor (Pv)***

También llamada presión de saturación, es la presión a la que a cada temperatura la fase líquida y vapor se encuentran en equilibrio dinámico; su valor es independiente de las cantidades de líquido y vapor presentes mientras existan ambas.



**Figura 2.16** Presión de Vapor del Agua

Este fenómeno también lo presentan los sólidos; cuando un sólido pasa al estado gaseoso sin pasar por el estado líquido, proceso denominado "sublimación" o el proceso inverso llamado "deposición".

### 2.6.3.5 Razón de humedad ( $W$ )

La razón de humedad del aire, se define como la relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco en un volumen dado de mezcla. Algunos autores confunden los términos razón de humedad y humedad absoluta; la humedad absoluta, es la relación entre la masa de vapor de agua y el volumen que ocupa la mezcla de aire seco y vapor de agua.

### 2.6.3.6 Humedad relativa (H)

La humedad relativa del aire, se define como la razón entre la presión de vapor de agua en un momento dado ( $P_v$ ) y la presión de vapor de agua cuando el aire está saturado de humedad ( $P_{vs}$ ), a la misma temperatura. La humedad relativa se puede expresar como decimal o como porcentaje.

$$P_v = P_{VS,bh} - a_1 \times P \times (T - T_{bh}) \quad (2.2)$$

Donde:

$P_v$  = Presión o tensión de vapor

$P_{vs,bh}$  = Presión de vapor de saturación a la Temperatura de bulbo húmedo

$a_1$  = Factor psicrométrico (varía con la ventilación)

$P$  = Presión atmosférica

$(T - T_{bh})$  = Diferencia o depresión psicrométrica

### 2.6.3.7 Volumen específico (v)

El volumen específico son los metros cúbicos de aire húmedo que corresponden a un kilogramo de aire seco.

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \quad (2.3)$$

Donde:

$V$  = Volumen

$m$  = Masa

$\rho$  = Densidad del material



### 2.6.3.8 Entalpía (H)

También llamada contenido de calor, es una magnitud de termodinámica que simbolizada la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, o, lo que es lo mismo, la cantidad de energía que tal sistema puede intercambiar con su entorno. Se calcula en J/kg en el sistema internacional de unidades o también en Kcal/kg o, si no, dentro del sistema anglo: "BTU/lb".

$$H = U + pV \quad (2.4)$$

Donde:

H = Entalpía

U = Energía interna

P = Presión del sistema

V = Volumen del sistema

La entalpía y el volumen específico son propiedades de la mezcla de aire seco y vapor de agua, pero se expresan sobre la base de una unidad de masa de aire seco.

## 2.7 Calor y Temperatura

El calor es una forma de energía asociada al movimiento de los átomos, moléculas y otras partículas que forman la materia. El calor puede ser generado por reacciones químicas (como en la combustión), nucleares (como en la fusión nuclear de los átomos de hidrógeno que tienen lugar en el interior del Sol), disipación electromagnética (como en los hornos de microondas) o por disipación mecánica (fricción). Su concepto está ligado al Principio Cero de la Termodinámica, según el

cual dos cuerpos en contacto intercambian energía hasta que su temperatura se equilibre.

La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de calor o frío, por lo general un objeto más "caliente" tendrá una temperatura mayor. Físicamente es una magnitud escalar dada por una función creciente del grado de agitación de las partículas de los materiales. A mayor agitación, mayor temperatura. Así, en la escala microscópica, la temperatura se define como el promedio de la energía de los movimientos de una partícula individual por grado de libertad.

### **2.7.1 Calor**

El calor que puede intercambiar un cuerpo con su entorno depende del tipo de transformación que se efectúe sobre ese cuerpo y por tanto depende del camino. Los cuerpos no tienen calor, sino energía interna.

#### **2.7.1.1 Calor Específico**

Si se le entrega calor a dos cuerpos de la misma masa y la misma temperatura inicial, la temperatura final será distinta.

Este factor que es característico de cada sistema, depende de la naturaleza del cuerpo y se define como la cantidad de calor que se le debe entregar a 1 gramo de sustancia para aumentar su temperatura en 1 grado Celsius.

$$C = \frac{Q}{m \Delta T} \quad (2.5)$$

Donde:

C = Calor específico

Q = Energía o calor

m = Masa

T= Temperatura

Las unidades de calor específico son:  $[c] = \frac{J}{kgK}$   $[c] = \frac{cal}{gC}$ . De esta forma, y recordando la definición de caloría, se tiene que el calor específico del agua es

aproximadamente:  $c_{H_2O} = 1,000 \left[ \frac{cal}{gC} \right]$

#### **2.7.1.1.1 Calor Específico Molar**

Es la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de un mol de una sustancia en 1 grado.

$$C_m = \frac{Q}{n \Delta T} \quad (2.6)$$

Donde:

$C_m$  = Calor molar

n = Cantidad de moles

#### **2.7.1.1.2 Capacidad Calorífica**

Es una magnitud que indica la mayor o menor dificultad que presenta una sustancia para experimentar cambios de temperatura bajo el suministro de calor.

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

(2.7)

Donde:

C = Capacidad calorífica

Q = Energía o calor

T= Temperatura

### **2.7.1.2 Calor Latente**

Es la energía térmica empleada para el cambio de fase, suponiendo este cambio es realizado de manera reversible a temperatura y a presión constantes.

Si el cambio es de estado líquido a vapor se emplea el calor latente de vaporización. La expresión que permite determinar el calor latente es:

$$Ql = \dot{m} \times h_{fg} \quad (2.8)$$

Donde:

Ql= Calor latente

$\dot{m}$  = Agua a evaporarse

hfg = Calor latente de vaporización

### **2.7.1.3 Calor Sensible**

Calor sensible, es aquel que recibe un cuerpo sin cambiar su estado físico mientras sube su temperatura. En general, se ha observado experimentalmente, que la cantidad necesaria de calor para calentar o enfriar un cuerpo es directamente proporcional a la masa del cuerpo y el número de grados en que cambia su temperatura. La constante de proporcionalidad recibe el nombre de capacidad calorífica.

$$Q_s = \Delta HL = L C_p (t_1 - t_2) \quad (2.9)$$

Donde:

L= longitud de transferencia

C<sub>p</sub> = Capacidad calorífica a presión constante

t<sub>1</sub> = Temperatura de inicio del cuerpo

t<sub>2</sub> = temperatura final del cuerpo

Si el proceso se efectuara a volumen constante, entonces el calor sensible sería:

$$Q_s = \Delta UL = L C_v (t_1 - t_2) \quad (2.10)$$

Donde:

L= longitud de transferencia

C<sub>v</sub> = Capacidad calorífica a volumen constante

t<sub>1</sub> = Temperatura de inicio del cuerpo

t<sub>2</sub> = temperatura final del cuerpo

Las capacidades caloríficas varían con la temperatura y el estado físico de agregación de las sustancias.

### **2.7.2 Diferencia entre Calor y temperatura**

El calor es la energía total del movimiento molecular en una sustancia, mientras temperatura es una medida de la energía molecular media. El calor depende de la velocidad de las partículas, su número, su tamaño y su tipo. La temperatura no depende del tamaño, del número o del tipo.

El calor es lo que hace que la temperatura aumente o disminuya. Si añadimos calor, la temperatura aumenta. Si quitamos calor, la temperatura disminuye. Las temperaturas más altas tienen lugar cuando las moléculas se están moviendo, vibrando y rotando con mayor energía.

La temperatura no es energía sino una medida de ella, sin embargo el calor sí es energía.

## **2.8 Procesos de Transferencia de Calor**

La transferencia de calor siempre se produce del sistema de temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja. La transferencia de calor se detiene cuando los dos sistemas alcanzan la misma temperatura. La energía no se transfiere de un sistema de temperatura baja a otro de temperatura más alta si no se realiza trabajo.

Los mecanismos básicos de transferencia de calor son: conducción, convección y radiación.

### **2.8.1 Conducción**

Conducción o conductividad, es un mecanismo de transferencia de energía térmica entre dos sistemas basado en el contacto directo de sus partículas sin flujo neto de materia y que tiende a igualar la temperatura dentro de un cuerpo y entre diferentes cuerpos en contacto por medio de ondas

La conducción es el método más habitual de transmisión de calor en proceso de calentamiento/enfriamiento de materiales sólidos opacos. Si existe un gradiente de temperatura en un cuerpo, tendrá lugar una transmisión de calor desde la zona de alta temperatura hacia la que esta a temperatura más baja. La ecuación para determinar la conducción de calor es:

$$Q = -k * A * \frac{dT}{dx} \quad (2.11)$$

Donde:

Q = Flujo de calor por conducción

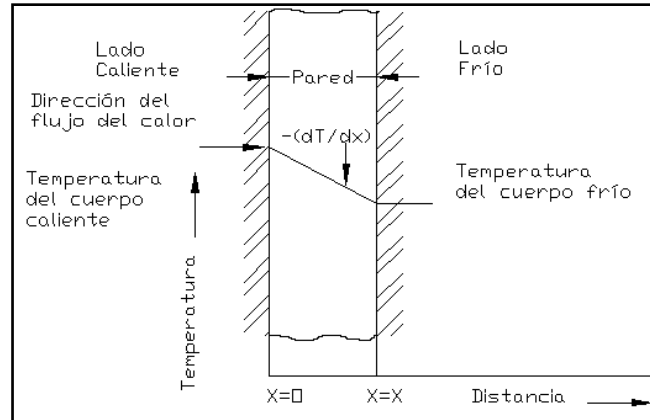
k = conductividad térmica

A = Es el área normal en dirección x

dT /dx = gradiente de temperatura

dT = diferencial de temperatura

dx = espesor de la pared



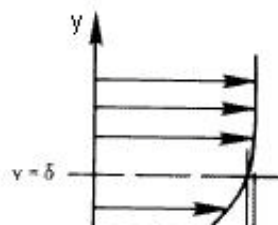
**Figura 2.19** Conducción de calor

## 2.8.2 Convección

El modo de transferencia de calor por convección se compone de dos mecanismos de transporte, que son, la transferencia de energía debido al movimiento aleatorio de las moléculas (difusión térmica) y el movimiento global o macroscópico del fluido. El movimiento del fluido se asocia con el hecho de que, en cualquier instante, grandes números de moléculas se mueven de forma colectiva o como agregados.

La transferencia de calor se clasifica de acuerdo con la naturaleza del flujo. Se habla de convección forzada cuando el flujo es causado por medios externos, tales como: ventilador, bomba o vientos atmosféricos. Por otra parte, en la convección natural (o libre) el flujo es inducido por fuerzas de empuje que surgen a partir de la diferencia de densidad ocasionada por la variación de la temperatura en los fluidos.

La transferencia de calor por convección ocurre en una región de interface entre un fluido en movimiento y una superficie sólida, entre dos líquidos inmiscibles en movimiento relativo y entre un gas y un líquido que tiene movimiento relativo, que están a diferente temperatura. El perfil de velocidad típico presente en la región de la interface, conocida como capa límite, zona en la cual ocurre el fenómeno de convección.





**Figura 2.20** Capa límite hidrodinámica

La ecuación que modela adecuadamente éste fenómeno se conoce como Ley de enfriamiento de Newton y se expresa de la siguiente forma:

$$Q=h A (T_p - T_{\infty}) \quad (2.12)$$

Donde:

Q = Flujo de calor por convección

h = coeficiente de convección

A = Área de transferencia de calor

$T_p$  = Temperatura de pared

$T_{\infty}$  = Temperatura del fluido

### **2.8.3 Radiación**

La radiación presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección: las sustancias que intercambian calor no tienen que estar en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío. La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas.

La energía irradiada o emitida por una superficie es proporcional a su temperatura absoluta elevada a la cuarta potencia y depende de las características de la superficie. El flujo de calor emitido por una superficie se expresa mediante la ecuación:

$$Q = \varepsilon \sigma A T^4 \quad (2.13)$$

Donde:

Q = Flujo de calor por radiación

$\sigma$  = Constante de Stefan-Boltzman

$\varepsilon$  = Emisividad de la superficie.

A = Área de transferencia de calor

T = Temperatura de la superficie irradiante

La Constante de Stefan-Boltzman en el sistema SI es igual a  $5.669 \times 10^{-8}$  (W/m<sup>2</sup>°K<sup>4</sup>).

## 2.9 Intercambiadores de Calor

Es un dispositivo diseñado para transferir calor de un fluido a otro, sea que estos estén separados por una barrera sólida o que se encuentren en contacto. Son parte esencial de los dispositivos de refrigeración, acondicionamiento de aire, producción de energía y procesamiento químico.

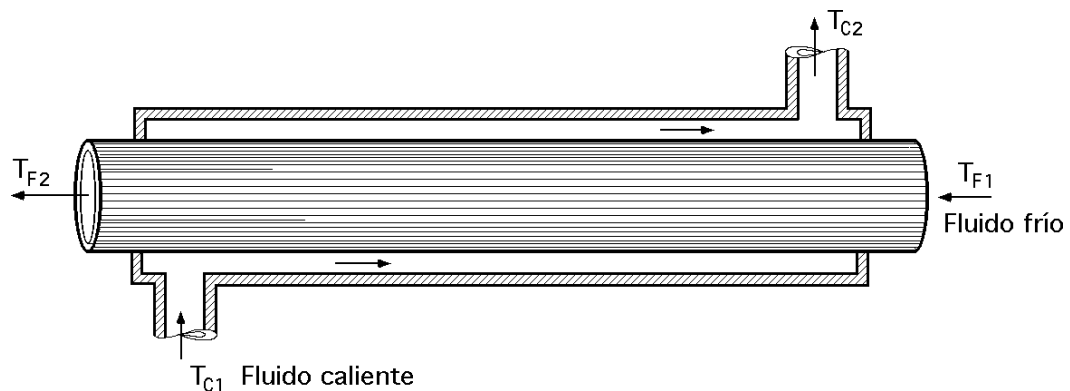
Los intercambiadores de calor se clasifican en 4 tipos.

- Doble Tubo

- Carcasa y Tubo
- Flujo Cruzado
- Compacto

### 2.9.1 Doble Tubo

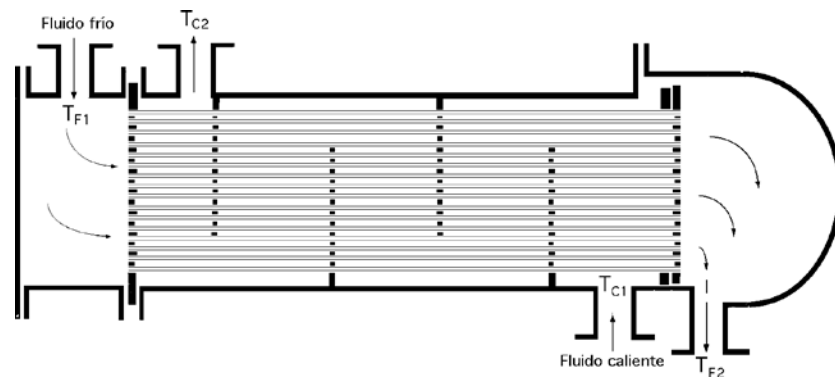
El intercambiador de calor más sencillo se compone de un tubo dentro de otro tubo; este montaje de corrientes paralelas funciona, tanto en contracorriente (flujo en contracorriente) como en equicorriente (flujo paralelo), circulando el fluido caliente o el frío a través del espacio anular, mientras que el otro fluido circula por la tubería interior.



*Figura 2.21 Tipos de Intercambiadores de doble tubo*

### 2.9.2 Carcasa y Tubo

En este tipo de intercambiador el fluido fluye por el interior de los tubos, mientras el otro es forzado a través de la carcasa y sobre el exterior de los tubos. Para asegurar que el fluido por el lado de la carcasa fluya a través de los tubos e induzca una mayor transferencia de calor, se colocan, deflectores ó placas verticales. Es corriente encontrar intercambiadores de calor de 2,4,8,etc. pasos de tubos. De la misma manera existe la posibilidad que exista varios pasos de carcasa.



**Figura 2.22** Intercambiador de carcasa y tubo

### 2.9.3 Flujo Cruzado

Este tipo de intercambiador centra su funcionamiento en que los fluidos se desplazan perpendicularmente uno con respecto del otro. Es muy utilizado para proceso de enfriamiento o calentamiento de sustancias en estado gaseosos.

Existen dos tipos de intercambiadores de flujo cruzado y *marcan su diferencia en su configuración* de acuerdo si el fluido que se induce sobre los tubos esta mezclado o sin mezclar.

Un fluido se dice que esta sin mezclar debido a que las aletas previenen el movimiento en la dirección (y) que es la dirección transversal a la dirección del flujo principal (x). En este caso la temperatura del fluido varia con x y con y.

Se dice que esta mezclado cuando la temperatura no cambia en la dirección transversal, siendo función exclusiva de la dirección del flujo principal. Dado que el flujo dentro de los tubos esta sin mezclar, ambos fluidos se dicen que están sin mezclar en el intercambiador aleteado, mientras que un fluido esta mezclado y el otro sin mezclar en el intercambiador no- aleteado.

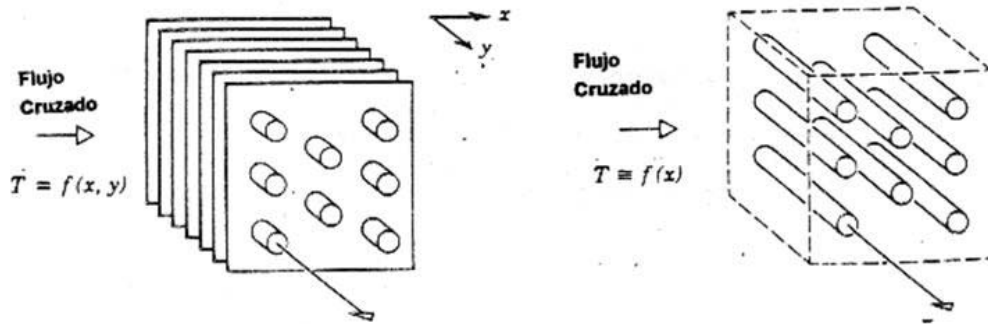


Figura 2.23 Tipos de Intercambiadores de flujo

### 2.9.4 Compacto

Intercambiadores de calor con relación área superficial/volumen,  $b=As/V$  mayores que  $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$  se denominan intercambiadores de calor compacto, debido a su pequeño tamaño y peso, los intercambiadores de calor compactos prevalecen en la industria automotriz, industria aéreo - espacial y en sistemas marinos.

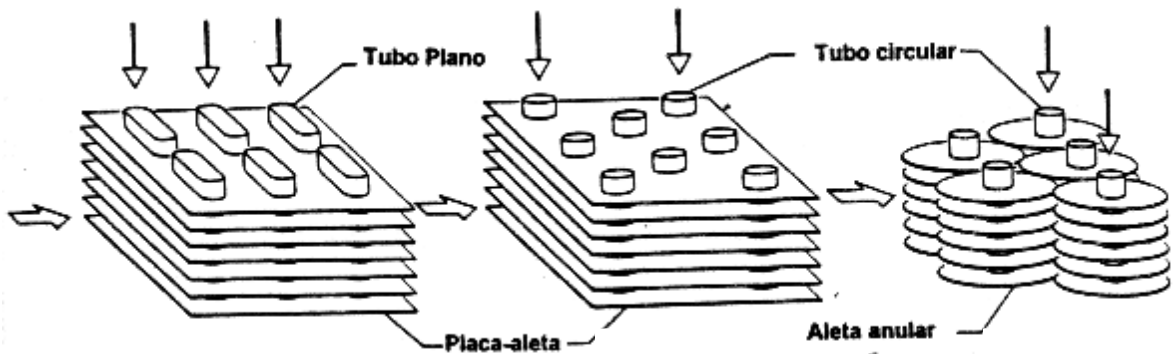


Figura 2.24 Intercambiador tipo compacto

## 2.10 Procesos de Combustión Terminado

La combustión es el conjunto de procesos físico-químicos por los cuales se libera controladamente parte de la energía interna del combustible. Una parte de esa energía se manifiesta en forma de calor. La reacción de un elemento químico con el oxígeno sabemos que se llama oxidación. La combustión no es más que una reacción de oxidación, en la que normalmente se va a liberar una gran cantidad de calor.

Los combustibles tienen en su composición unos elementos principales, combustibles (C, H, S) y otros no combustibles, como el V, Ni, Na, Si,...El comburente más habitual usado en la combustión es el aire (21% O, 73% N<sub>2</sub> (inerte)).

Se llama calor de combustión a la disminución de entalpía de un cuerpo en C/N de presión y a una temperatura definida. Será entonces el calor que se libera cuando el combustible arde en una llama o cuando los componentes principales reaccionan con el oxígeno. En la combustión, cada uno de los componentes combustibles del combustible va a sufrir la reacción de oxidación correspondiente.

### **2.10.1 Fases de la reacción de combustión**

Fase de pre-reacción (formación de radicales). Los compuestos hidrocarbonados se descomponen dando lugar a la formación de radicales, que son unos compuestos intermedios inestables y muy activos, para que de este modo el carbono y el hidrógeno puedan reaccionar con el oxígeno.

Fase de Oxidación: En esta fase se produce la combinación entre los elementos y el oxígeno. Es una fase muy exotérmica y es cuando tiene lugar la propagación de la llama.

Fase de Terminación: Aquí es cuando se forman los compuestos estables. El conjunto de estos compuestos es lo que llamamos gases de combustión.

Es necesario que se produzca una gran coordinación entre la 1ª y la 2ª fase, ya que si no podría llegar a producirse una explosión, por acumulación de radicales. La explosión es la onda que se produce y transmite por la masa reaccionante a una velocidad de 1500-2500 m/s, pudiendo producirse más de una detonación di después de la primera queda producto que aún pueda reaccionar violentamente.

### **2.10.2 Tipo de combustión**

Las reacciones se pueden clasificar según el modo en el cual transcurran de la siguiente manera:

- Combustión NEUTRA o estequiométrica
- Combustión INCOMPLETA o imperfecta
- Combustión COMPLETA

## CAPÍTULO 3

### ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DEL SECADO

#### 3.1 Planteamiento de alternativas

Este proyecto tiene como finalidad, deshidratar o secar granos de maíz mediante la circulación de aire caliente. El objetivo del secador es obtener un porcentaje de humedad final de alrededor del 12% y 14 % para la corteza y núcleo respectivamente.

El equipo de secado debe cumplir con las siguientes características:

- *Temperatura promedio de secado: 55 °C.*
- *Tiempo de secado: 2 horas.*
- *Espacio físico destinado para el equipo: 40 m<sup>2</sup>.*



- Tipo de energía: Limpia
- *Costos de Funcionamiento*: Bajos
- Costos de Mantenimiento: Bajos.
- Confiabilidad de operación: Alta

En base a lo expuesto en el capítulo II, se debe seleccionar el tipo de los siguientes sistemas:

- Secado.
- Intercambiador de Calor.
- Cámara de Combustión.
- Ventilación.

La selección se realizará por medio de matrices de decisión, en donde básicamente se evaluará tres aspectos:

- Técnicos.
- Económicos.
- Complementarios.

La calificación de cada sub-aspecto se realizará en base a una ponderación en la cual se considerará como incumplimiento o cualidad negativa, a la calificación que tienda a alejarse de la ponderación y como cumplimiento o cualidad afirmativa a las cifras que se acerquen a la ponderación.

### **3.2 Sistema de Secado**

Tal y como se revisó en el capítulo 2.5 existe una gran variedad de secadores, que cumplen con diferentes características y aplicaciones.

En su clasificación primaria, encontramos: secadoras de flujo continuo, en tandas y de silos. Debido al nivel tecnológico, costos de fabricación y mantenimiento, en nuestro medio se utilizan las *secadoras de flujo continuo*. A su vez las secadoras de flujo continuo pueden ser: verticales, de cascada y horizontales. Esta última siendo la más eficiente, fácil construcción, manejo y mantenimiento.

La secadora más conocida de Flujo continuo es la de lecho plano la misma que puede ser de tres clases:

**Opción A:** Lecho plano fijo

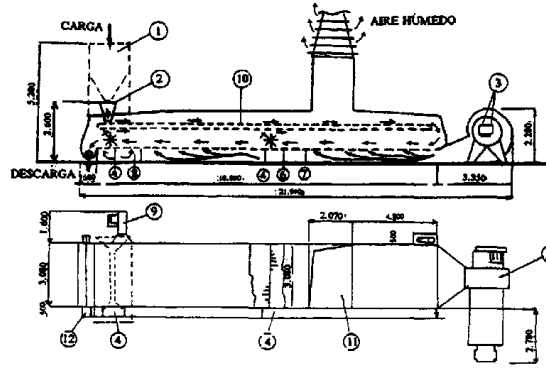
**Opción B:** Lecho plano fluido

**Opción C:** Lecho plano estacionaria

### **3.2.1 Lecho plano fijo**

En este tipo de secadora el grano es removido continuamente por un agitador que avanza y retrocede, y es transportado por un operador hasta un piso movable hacia el extremo de salida. En la última parte de la máquina se lleva a cabo el enfriado del grano.

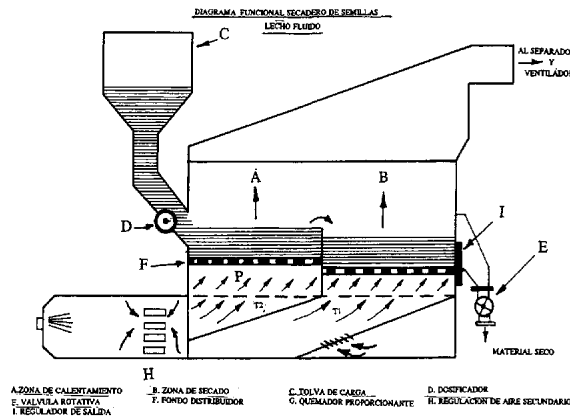
El grano avanza en capas de 30 a 48 cm, removidas regularmente, produciéndose así un buen contacto entre grano y aire. Según sus constructores, estas características les permiten obtener una alta calidad de grano seco.



**Figura 3.1** Secadora de lecho plano fijo.

### 3.2.2 Lecho plano fluido

Las secadoras de lecho fluido se diferencian porque emplean elevados caudales de aire caliente, con el fin de agitar y poner en suspensión a la capa de granos, y de esta forma conseguir un secado más rápido y uniforme.



**Figura 3.2** Secadora de lecho plano fluido.

### 3.2.3 Lecho plano estacionario

Es la secadora más simple de lecho plano, la cual se puede adecuar a cualquier espacio y es muy eficiente, esta acoge el producto en una tolva, compuesta por una plancha perforada la cual deja pasar el aire provocando el enfriamiento dentro de una cámara de distribución.

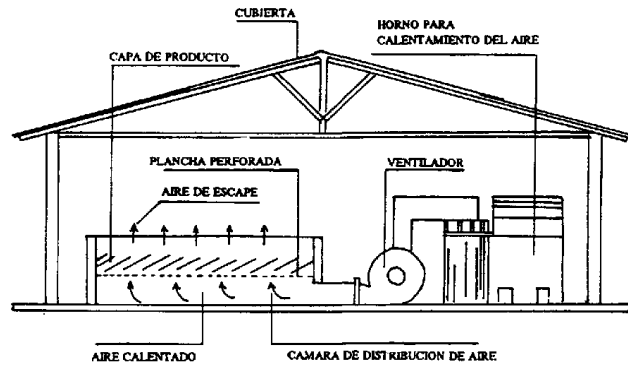


Figura 3.3 Secadora de lecho plano estacionaria.

### 3.2.4 Selección de alternativa

Tabla 3.1 Matriz elemental de decisión para el tipo de secadora.

ASPECTOS	PONDERACIÓN	ALTERNATIVAS		
		A	B	C
		CALIFICACIÓN		
<b>Técnicos</b>	<b>50</b>	<b>39</b>	<b>37</b>	<b>49</b>
Capacidad de Secado	15	15	14	15
Eficiencia del Secado	15	15	15	15
Disponibilidad de material	5	4	3	5
Disponibilidad de construcción	5	2	2	5
Grado de Complejidad	5	1	1	5
Factibilidad de mantenimiento	5	2	2	4
<b>Económicos</b>	<b>35</b>	<b>17</b>	<b>21</b>	<b>28</b>
Costo de Materiales	10	7	7	9
Costo de Fabricación	10	5	6	7
Costo de Mantenimiento	10	2	3	7
Costo de Transportación	5	3	5	5
<b>Complementarios</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>
Vida Útil	5	5	5	4
Seguridad	5	5	5	5
Ergonomía	5	3	3	4
<b>Puntuación Técnica Total</b>	<b>100</b>	<b>69</b>	<b>71</b>	<b>90</b>

La secadora seleccionada, en función a la capacidad y eficiencia que brinda, es la secadora tipo Lecho plano fijo, **Opción A**. Por otro lado este tipo de secadora es muy fácil de construir y por lo tanto con costos muy bajos de fabricación.

### **3.3 Intercambiador de Calor**

A la hora de seleccionar un intercambiador de calor existen varios factores que influyen, para realizar una adecuada selección. Entre ellos se pueden mencionar: flujo de calor, caída de presión, economía, tamaño y peso.

Los intercambiadores de según su configuración pueden ser:

**Opción A:** Doble Tubo

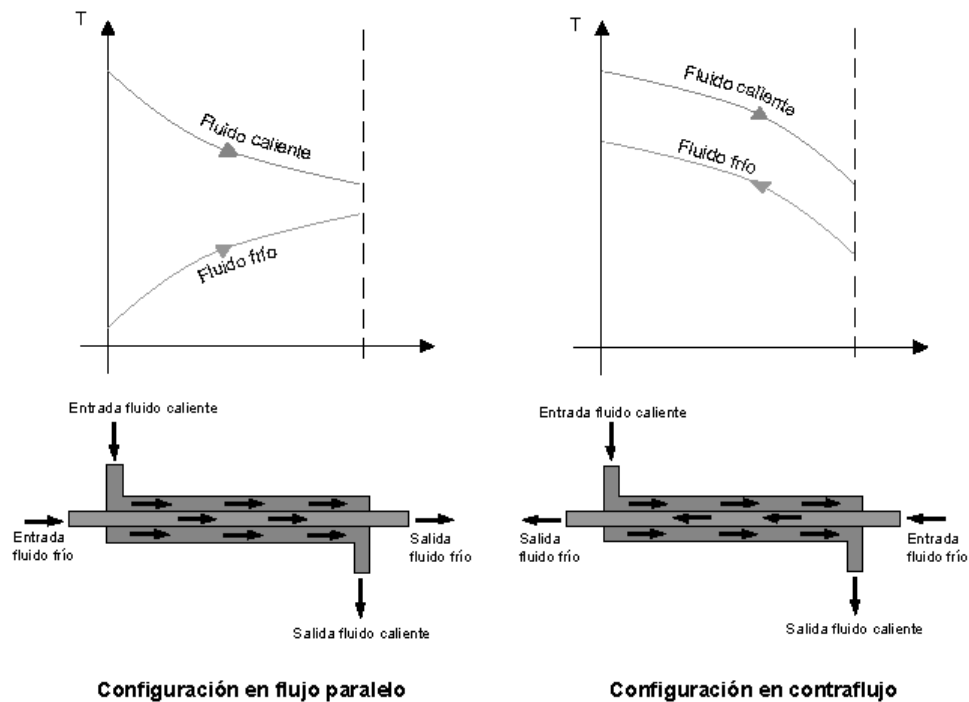
**Opción B:** Compacto

**Opción C:** Carcasa y Tubo

#### **3.3.1 Intercambiador de Calor de doble tubo.**

Es el tipo más sencillo de intercambiador de calor. Está constituido por dos tubos concéntricos de diámetros diferentes. Uno de los fluidos fluye por el tubo de menor diámetro y el otro fluido fluye por el espacio anular entre los dos tubos. En este tipo de intercambiador son posibles dos configuraciones en cuanto a la dirección del flujo de los fluidos: contra flujo y flujo paralelo. En la configuración en flujo paralelo

los dos fluidos entran por el mismo extremo y fluyen en el mismo sentido. En la configuración en contra flujo los fluidos entran por los extremos opuestos y fluyen en sentidos opuestos.

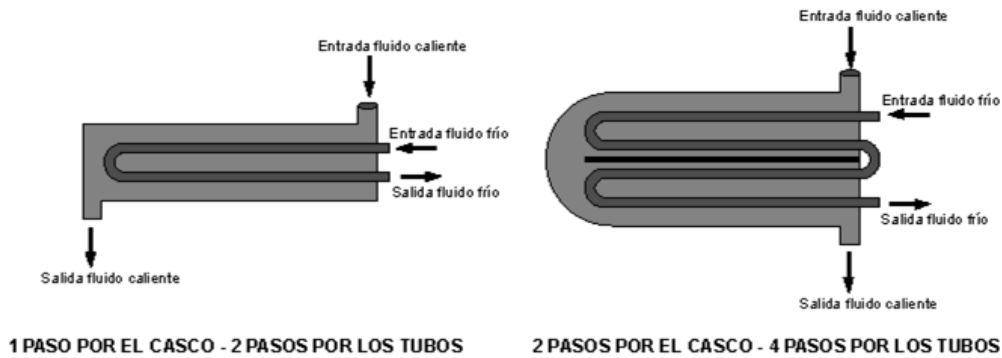


**Figura 3.4** Tipos de Intercambiadores de calor de tubos.

### 3.3.2 Intercambiador de Calor de carcasa y tubo.

Es el tipo más común de intercambiador de calor en las aplicaciones industriales. Este tipo de intercambiadores están compuestos por gran cantidad de tubos (a veces varios cientos) contenidos en un casco. Los tubos se disponen con sus ejes paralelos al eje del casco. La transferencia de calor tiene lugar a medida que uno de los fluidos se mueve por el interior de los tubos mientras que el otro se

mueve por fuera de éstos, por el casco. Este tipo de intercambiadores se clasifican por el número de pasos por el casco y por el número de pasos por los tubos.



*Figura 3.5 Ejemplos de intercambiadores tipo carcasa y tubo.*

### 3.3.3 Intercambiador de Calor compacto

Son intercambiadores diseñados para lograr una gran área superficial de transferencia de calor por unidad de volumen.

En los intercambiadores compactos los dos fluidos suelen moverse en direcciones ortogonales entre sí. Esta configuración de flujo recibe el nombre de flujo cruzado. El flujo cruzado se clasifica a su vez en mezclado (uno de los fluidos fluye libremente en dirección ortogonal al otro sin restricciones) y no mezclado (se disponen una placas para guiar el flujo de uno de los fluidos).

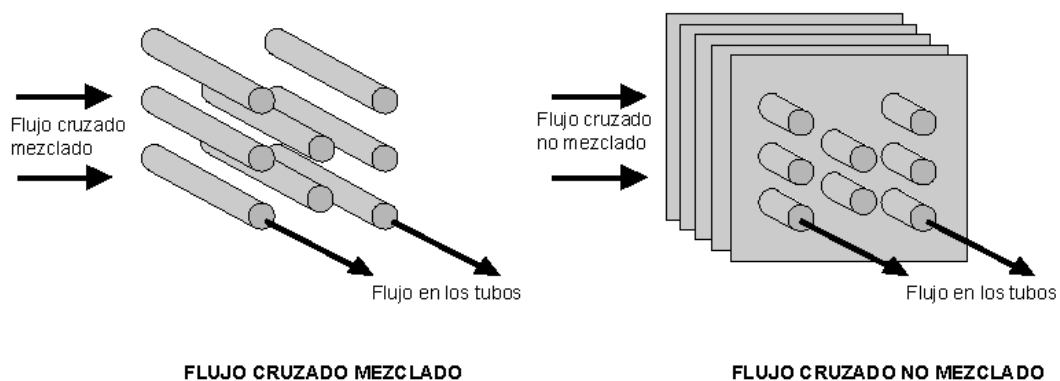


Figura 3.6 Tipos de intercambiadores tipo compacto.

### 3.3.4 Selección de alternativa.

Tabla 3.2 Matriz elemental de decisión para el tipo de intercambiador de calor.

ASPECTOS	PONDERACIÓN	ALTERNATIVAS		
		A	B	C
		CALIFICACIÓN		
<b>Técnicos</b>	<b>50</b>	<b>45</b>	<b>45</b>	<b>41</b>
Eficiencia de Intercambio de temperatura	15	11	13	15
Tamaño del equipo	15	15	12	15
Disponibilidad de material	5	5	5	4
Disponibilidad de construcción	5	5	5	3
Grado de Complejidad	5	5	5	1
Factibilidad de mantenimiento	5	4	5	3
<b>Económicos</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>20</b>
Costo de Materiales	10	10	10	7
Costo de Fabricación	10	10	10	5
Costo de Mantenimiento	10	10	10	3
Costo de Transportación	5	5	5	5
<b>Complementarios</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>14</b>
Vida Útil	5	4	5	5
Funcionalidad	5	5	5	5
Instalación	5	5	5	4
<b>Puntuación Técnica Total</b>	<b>100</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	<b>75</b>

La alternativa seleccionada es: Intercambiador tipo compacto **Opción B**, debido a su alta eficiencia de transferencia, sus bajos costos de fabricación y mantenimiento.



## 3.4 Cámara de Combustión

Existen diferentes formas de provocar un proceso de combustión eficiente, los más conocidos son los que utilizan combustibles fósiles y los más innovadores son los procesos bioenergéticos.

### 3.4.1 Combustibles fósiles

La mayor parte de la energía empleada actualmente en el mundo proviene de los combustibles fósiles. Los utilizamos en transporte, para generar electricidad, para calentar ambientes, para cocinar, etc.

Los combustibles fósiles son tres: petróleo, carbón y gas natural, y se formaron hace millones de años, a partir de restos orgánicos de plantas y animales muertos. Los combustibles fósiles son recursos no renovables: no podemos reponer lo que gastamos. En algún momento, se acabarán, y tal vez sea necesario disponer de millones de años de evolución similar para contar nuevamente con ellos.

Una combustión eficiente con este tipo de combustibles dentro de una cámara refractaria, el elemento más utilizado es el quemador tipo tubular o de cañón, descartando por completo a los quemadores de tipo atmosférico (tubular o circular).



**Figura 3.7** Quemador Tipo Tubular (GLP o Diesel).

Los quemadores industriales tipo tubular son los más empleados en aplicaciones como hornos y calderos. Este tipo de quemadores se diferencian de los atmosféricos, en que la mezcla aire-combustible se realiza en su totalidad antes de la combustión, por lo cual no requiere aire adicional para la combustión. Esta singularidad le permite a este quemador operar en un recinto cerrado y así evitar escapes del horno, el cual es una causa que decrece la eficiencia del horno. Este tipo de quemadores pueden utilizar gas licuado de petróleo o diesel, para cumplir con el proceso de combustión.

**Opción A:** Gas Licuado de Petróleo

**Opción B:** Diesel

#### **3.4.1.1 Gas licuado de petróleo**

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) es una mezcla de hidrocarburos de petróleo los cuales son gaseosos a la temperatura y presión ambientales normales. Esta mezcla de gases puede ser licuada aplicándole una presión moderada para facilitar su transporte y almacenaje. El GLP en forma líquida es 250 veces más denso que en la forma gaseosa. El GLP se deriva principalmente del gas natural o de los gases de la refinación de petróleo. La composición del GLP puede ser marcadamente diferente dependiendo de donde provenga. El GLP comercial contiene una mezcla de gases principalmente propano y butano o sus derivados. Adicionalmente, ambos productos pueden contener algunos componentes livianos (etanos) y pesados (pentanos). El valor calorífico del GLP por unidad de masa es más alto que el de la gasolina o el gasoil. Sin embargo, debido a su baja densidad (casi dos veces más

liviana que el agua) en base a volumen tiene un valor calorífico menor, lo cual es una desventaja.

### 3.4.1.2 Diesel

Es un líquido de color blancuzco o verdoso y de densidad sobre 850 kilogramos por metro cúbico, compuesto fundamentalmente por parafinas y utilizado principalmente como combustible en motores diesel y en calefacción. Altamente contaminante y gran poder calorífico

### 3.4.1.3 Selección de alternativa Tipo de Quemador

**Tabla 3.3** Matriz elemental de decisión para el tipo de quemador.

ASPECTOS	PONDERACIÓN	ALTERNATIVAS	
		A	B
		CALIFICACIÓN	
<b>Técnicos</b>	<b>50</b>	<b>43</b>	<b>39</b>
Poder Calorífico	20	18	19
Limpieza de Combustión	20	20	10
Rendimiento	10	5	10
<b>Económicos</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>17</b>
Costo de Combustible	10	7	7
Costo del Equipo	10	8	5
Costo de Mantenimiento	5	5	5
<b>Complementarios</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>17</b>
Vida Útil	5	5	5
Seguridad	15	15	10
Instalación	5	5	2
<b>Puntuación Técnica Total</b>	<b>100</b>	<b>88</b>	<b>73</b>

Principalmente por el tipo de combustión (limpia), para este proyecto es seleccionado el quemador de GLP, **Opción A**. Además cabe resaltar que este tipo de quemador es menos costoso que uno de Diesel y su mantenimiento e instalación de igual manera.

### 3.4.2 Biomasa

La materia orgánica de la planta se llama biomasa y almacena a corto plazo la energía solar en forma de carbono. La biomasa es parte del ciclo natural del carbono entre la tierra y el aire.

Existen muchas fuentes de energía clasificables bajo el concepto de biomasa, así como diversas técnicas para su conversión en energía limpia. Evidentemente, son estas formas modernas de aprovechamiento las que pueden ser utilizadas para la obtención de energía limpia, nada que ver con las formas tradicionales (leña, excrementos, etc.), en muchos casos insostenibles, que todavía se emplean ampliamente en países empobrecidos, y que aún constituyen más del 10% del consumo mundial de energía primaria.



**Figura 3.8** Proceso de energía biomasa.

Lo importante es que deben ser un beneficio medioambiental y no generar otros problemas: no se deben incinerar los residuos inorgánicos ni usar transgénicos

En el concepto de biomasa no se debe incluir la turba, que a efectos de emisiones de CO<sub>2</sub> equivale a un combustible fósil; además, dados los impactos ambientales derivados de la explotación de turberas, no se podría considerar energía renovable la obtenida de esta fuente de energía.



**Figura 3.9** Cascarilla de Cereales.

La biomasa es la fuente de energía renovable que más aportación puede realizar, junto con la eólica, en la próxima década con una serie de criterios

Los procesos de generación calorífica por medio de biomasa más utilizados en nuestro país son:

**Opción A:** Cascarilla de cereales

**Opción B:** Madera

**Opción C:** Excremento animal

### 3.4.2.1 Selección de alternativa Biomasa

**Tabla 3.4** Matriz elemental de decisión para la utilización de biomasa.

ASPECTOS	PONDERACIÓN	ALTERNATIVAS		
		A	B	C
		CALIFICACIÓN		
<b>Técnicos</b>	<b>50</b>	<b>27</b>	<b>37</b>	<b>39</b>
Poder Calorífico	15	15	15	14
Limpieza de Combustión	15	8	9	14
Almacenamiento	10	3	5	4
Disponibilidad	10	1	8	7
<b>Económicos</b>	<b>30</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>6</b>
Costo de Combustible	15	7	2	5
Costo de Limpieza	15	5	5	1
<b>Complementarios</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>14</b>	<b>10</b>
Funcionalidad	10	10	7	5
Seguridad	10	10	7	5
<b>Puntuación Técnica Total</b>	<b>100</b>	<b>59</b>	<b>58</b>	<b>55</b>

Considerando a la Cascarilla de cereal, como un combustible de fácil ubicación en el medio donde dará servicio el equipo a diseñar y su alto poder calorífico, se selecciona a la **Opción A**, como el tipo de biomasa más óptimo, en el proceso de combustión para este caso.

### 3.4.3 Selección de alternativa cámara de combustión.

Después de realizar el análisis de factibilidad y haber decidido entre las diversas opciones que existe en la utilización de combustibles fósiles y biomasa, es

necesario evaluar cual es la alternativa más eficiente y técnicamente viable entre las opciones elegidas.

La cámara de combustión estará formada por un sistema refractario, y de lo analizado tenemos dos oportunidades para provocar la capacidad calorífica dentro de ella:

**Opción A:** Quemador industrial de GLP

**Opción B:** Quemar cascarilla de cereales.

**Tabla 3.5** Matriz elemental de decisión para el tipo de cámara de combustión.

ASPECTOS	PONDERACIÓN	ALTERNATIVAS	
		A	B
		CALIFICACIÓN	
<b>Técnicos</b>	<b>60</b>	<b>47</b>	<b>23</b>
Poder Calorífico	20	19	9
Limpieza de Combustión	20	19	9
Rendimiento	10	9	5
Disponibilidad	10	8	4
<b>Económicos</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>17</b>
Costo de Combustible	5	3	5
Costo del Equipo o Construcción	10	4	9
Costo de Mantenimiento	5	3	3
<b>Complementarios</b>	<b>25</b>	<b>12</b>	<b>12</b>
Vida Útil	5	3	5
Seguridad	10	7	3
Instalación	5	2	4
<b>Puntuación Técnica Total</b>	<b>100</b>	<b>69</b>	<b>52</b>

Ya seleccionados los sistemas generadores de combustión más óptimos, para combustibles sólidos (Opción A: Quemador de GLP) y biomasa (Opción B: Quemar Cascarilla de Cereal); se realiza el análisis de selección entre ellas para encontrar el sistema ideal.

De acuerdo a la matriz elemental de decisión para el tipo de cámara de combustión (Tabla 3.5), se designa a la **Opción A** como el proceso de combustión para este sistema, considerando que el GLP provoca una combustión limpia (ideal para ambientes cerrados), el poder calorífico es superior a la quema de cascarilla y su rendimiento es superior.

### **3.5 Ventilador**

Los ventiladores se usan para circular aire dentro de un espacio, para traer aire a él o liberar aire al espacio, o para mover aire a través de ductos en sistemas de ventilación, calefacción o aire acondicionado.

Existen dos tipos de ventiladores que se utilizan para el secado de granos, según la configuración seleccionada:

**Opción A:** Ventilador Centrífugo

**Opción B:** Ventilador Axial

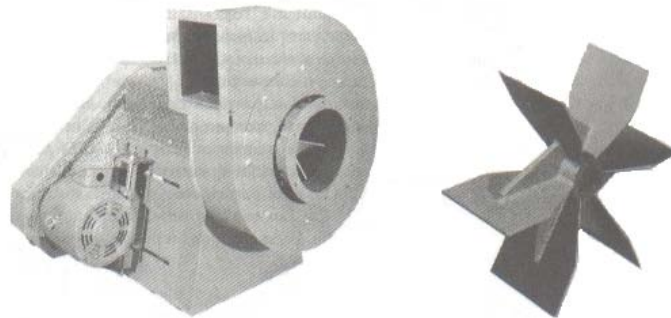
#### **3.5.1 Ventiladores Centrífugos.**

En los ventiladores centrífugos la trayectoria del fluido sigue la dirección del eje del rodete a la entrada y está perpendicular al mismo a la salida. Si el aire a la salida se recoge perimetralmente en una voluta, entonces se dice que el ventilador es de voluta.



Los ventiladores centrífugos radiales tienen el rodete con los álabes dispuestas en forma radial. La carcasa está diseñada de forma que a la entrada y a la salida se alcanzan velocidades de transporte de materiales.

Existen una gran variedad de diseños de rodetes que van desde los de "alta eficacia con poco material" hasta los de "alta resistencia a impacto". La disposición radial de los álabes evita la acumulación de materiales sobre las mismas. Este tipo de ventilador es el comúnmente utilizado en las instalaciones de extracción localizada en las que el aire contaminado con partículas debe circular a través del ventilador. En este tipo de ventiladores la velocidad periférica es media y se utilizan en muchos sistemas de extracción localizada que vehicular aire sucio o limpio.



**Figura 3.10** Ventiladores Centrífugos.

### **3.5.2 Ventiladores Axiales.**

Se emplean para mover aire con poca pérdida de carga, y su aplicación más común es la ventilación general. Se construyen con dos tipos de álabes: álabes de disco para ventiladores sin ningún conducto; y álabes estrechas para ventiladores que deban vencer resistencias bajas (menos de 25 mm). Sus prestaciones están muy influenciadas por la resistencia al flujo del aire y un pequeño incremento de la presión provoca una reducción importante del caudal.



**Figura 3.11** Ventilador Axial.

### 3.5.3 Selección de alternativa.

**Tabla 3.6** Matriz elemental de decisión para el tipo de ventilador.

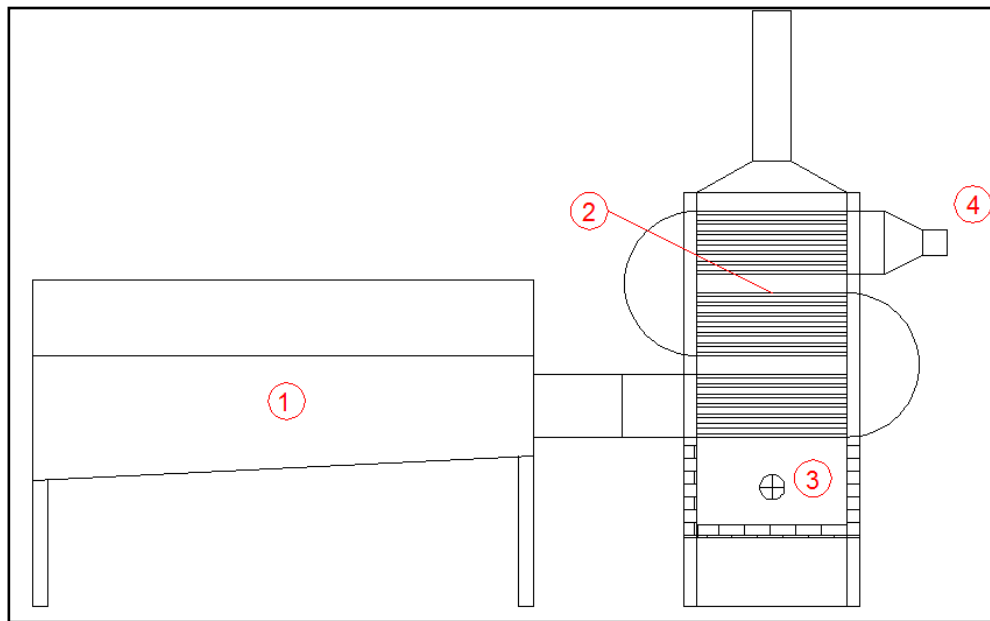
ASPECTOS	PONDERACIÓN	ALTERNATIVAS	
		A	B
		CALIFICACIÓN	
<b>Técnicos</b>	<b>65</b>	<b>56</b>	<b>47</b>
Capacidad de flujo de aire	20	17	20
Tamaño y diseño	15	14	12
Factibilidad de Mantenimiento	10	8	6
Montaje	10	9	6
Instalaciones complementarias	10	8	3
<b>Económicos</b>	<b>25</b>	<b>23</b>	<b>12</b>
Costo del Equipo	10	8	4
Costo de Instalación	10	7	5
Costo de Mantenimiento	5	8	3
<b>Complementarios</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>7</b>
Vida Útil	5	3	5
Seguridad	5	5	2
<b>Puntuación Técnica Total</b>	<b>100</b>	<b>87</b>	<b>66</b>

En base a la evaluación de las dos alternativas, se escoge a la **Opción A:** Ventilador Centrífugo, como el equipo ideal para la generación del aire del proceso.

Las principales cualidades que generaron la designación son: bajo costo del equipo, mantenimiento sencillo y diseño (tamaño) ideal para la aplicación.

### 3.6 Equipo seleccionado

En base a la selección de alternativas que se detallan en este capítulo, el equipo que se diseñará y construirá estará formado por:



**Figura 3.12** Configuración Equipo Seleccionado.

1. Secador tipo lecho plano estacionaria
2. Intercambiador de calor tipo compacto
3. Quemador Industrial GLP
4. Ventilador Centrífugo

## CAPÍTULO 4

### DISEÑO DEL SECADOR

#### 4.1 Diseño térmico

El objetivo general de este proyecto es: Realizar el secado de 5 quintales de maíz diario, para lo cual se necesita establecer como dato inicial, la masa del producto en estado húmedo.

$$P := 5 \text{ (qq)}$$

$$Mh1 := \frac{P \cdot 100}{2.2046}$$

$$Mh1 = 226.799 \text{ (Kg)}$$

Considerando que la densidad del maíz es de  $750 \text{ Kg/m}^3$ , se calcula el volumen de secado.

$$\delta m := 750 \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

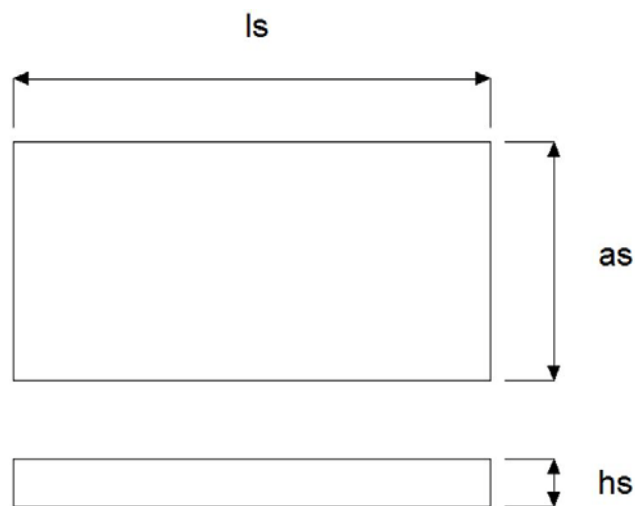
$$Vh := \frac{Mh1}{\delta m}$$

$$Vh = 0.302 \text{ (m}^3\text{)}$$

## 4.1.1 Secadora

### 4.1.1.1 Dimensionamiento

En base al volumen calculado, se realiza el dimensionamiento de la cámara de secado, partiendo con la longitud y ancho máximo como datos iniciales. Esto en función del espacio físico en donde se instalará el equipo.



**Figura 4.1** Configuración Cámara de secado.

Como característica básica, la cámara de secado de los secadores tipo lecho fijo, no debe superar los 25 cm de alto, de este modo:

$$hs := 0.25$$

$$as := 1$$

$$ls := 2$$

$$Vc := ls \cdot as \cdot hs$$

$$Vc = 0.5 \text{ (m}^3\text{)}$$

De donde se puede establecer que  $V_c > V_h$ , por lo cual las dimensiones elegidas pueden contener el volumen necesario y superarlo. Considerando la densidad del maíz, con este secador podremos llegar a incluir en el proceso:

$$Mh_2 := V_c \cdot \delta m$$

$$Mh_2 = 375 \text{ (Kg)}$$

como capacidad máxima de masa húmeda de producto. Esto quiere decir 148,21 [Kg] más que el requerimiento inicial.

#### 4.1.1.2 *Calor sensible del maíz*

Para determinar el calor sensible o de calentamiento empleamos la formula 4.1 conocida como:

$$Q_s = \dot{m} \times C_p \times \Delta T \quad (4.1)$$

Donde:

$\dot{m}$ : Flujo másico del producto a calentarse.  $\left(\frac{\text{Kg}}{\text{s}}\right)$

$C_p$ : Calor específico.  $\left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \times ^\circ\text{C}}\right)$

$\Delta T$ : Delta de temperaturas. ( $^\circ\text{C}$ )

$Q_s$ : Calor sensible (W)

Para encontrar el  $C_p^7$  del maíz, utilizamos una expresión en función de la humedad del producto, que es:

---

<sup>7</sup> Introducción a la Ing. de Alimentos, Paúl Singh, España, Editorial ACRIBIA S.A., pág. 154

$$C_p = (1.675 + 0.075 \times w) \left( \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$$

Donde w es el contenido de agua en porcentaje. En referencia a nuestro país el contenido de agua es 22%.

$$C_{pm} := 1.675 + 0.025 \cdot w$$

$$C_{pm} = 2.225 \quad \left( \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$$

La temperatura máxima de secado ( $T_{sec}$ ) para el maíz de seda y la temperatura ambiente ( $T_a$ ) promedio del sitio son respectivamente las siguientes:

$$T_{sec} := 60 \quad (^\circ\text{C})$$

$$T_a := 16 \quad (^\circ\text{C})$$

Y de ésta manera considerando la capacidad máxima de carga  $M_{h2}$  (375 Kg), encontramos el calor sensible.

**1Kcal – 4,184 KJ**

$$Q_{sen} := \frac{M_{h2} \cdot C_{pm} \cdot (T_{sec} - T_a)}{4.184}$$

$$Q_{sen} = 8.774 \times 10^3 \quad (\text{Kcal})$$

**1Kw h – 864Kcal**

$$Q_{sen} = 10, 16 \quad (\text{Kw-h})$$

#### 4.1.1.3 Cantidad de agua a remover

Los porcentajes de humedad fresca ( $X_{wi}$ ) y seca ( $X_{wf}$ )<sup>8</sup> del maíz son los siguientes valores:

$$X_{wi} := 22 \quad (\%)$$

$$X_{wf} := 8 \quad (\%)$$

Para calcular la cantidad de agua a retirar es necesario determinar primero la masa del maíz pero en estado seco.

$$M_s := \frac{M_{h2} \cdot (100 - X_{wi})}{100}$$

$$M_s = 292.5 \quad (\text{Kg})$$

La cantidad de humedad a retirar es:

$$\Delta W := M_s \cdot \left( \frac{X_{wi}}{100 - X_{wi}} - \frac{X_{wf}}{100 - X_{wf}} \right)$$

$$\Delta W = 57.065 \quad (\text{Kg})$$

#### 4.1.1.4 Calor latente

Para determinar el calor latente, se emplea la fórmula 4.2:

$$Q_{lat} = \Delta_w \times h_{fg} \quad (4.2)$$

---

<sup>8</sup> El Maíz, Earll Burge y Duensing, 1989, pág. 122.



Donde:

$\Delta W$  Masa de humedad a retirar del producto (Kg/s).

$h_{fg}$  : Calor de vaporización del agua (KJ/Kg).

Considerando el  $h_{fg}$ <sup>9</sup> para el maíz en 540 KJ/Kg, el calor latente es igual a:

$$Q_{lat} := \Delta W \cdot h_{fg}$$

$$Q_{lat} = 3.082 \times 10^4 \quad (\text{Kcal})$$

**1Kw h – 864Kcal**

$$Q_{lat} = 35,67 \text{ (Kw-h)}$$

#### **4.1.1.5 Calor útil del maíz**

El calor útil es el aprovechado por el producto, y nos es más que la suma del calor sensible ( $Q_{sen}$ ) y calor latente ( $Q_{lat}$ ), en relación 3 a 2.

$$Q_u := \frac{Q_{sen}}{3} + \frac{Q_{lat}}{2}$$

$$Q_u = 1.833 \times 10^4 \quad (\text{Kcal})$$

$$Q_N := \frac{Q_u}{864}$$

$$Q_N = 21.218 \quad (\text{Kwh})$$

---

<sup>9</sup> Introducción a la Ing. de Alimentos, Paúl Singh, España, Editorial ACRIBIA S.A., pág. 175

#### 4.1.1.6 Pérdidas de calor en la cámara de secado.

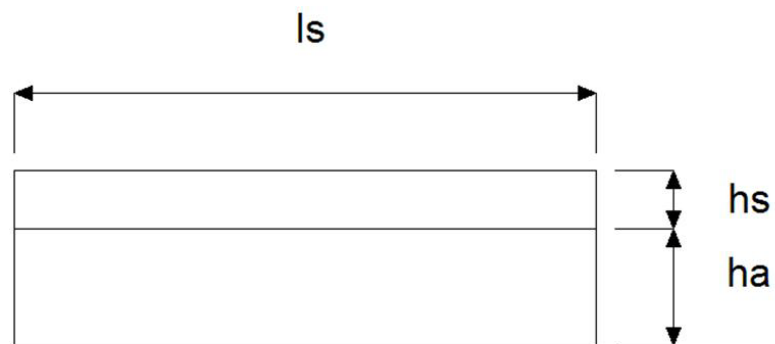
Existen tres puntos por donde se pierde calor en la cámara de secado:

- Capa superior del grano.
- Aire del proceso.
- Paredes cámara de secado.

#### 4.1.1.7 Pérdidas de calor en la capa superior del grano.

##### 4.1.1.7.1 Coeficiente de convección interna.

Debido a que la cámara de secado es de sección rectangular ( $l_s$ ,  $a_s$ ), el número de Reynolds se determinará tomando en cuenta el diámetro como diámetro hidráulico.



**Figura 4.2** Lecho alto y lecho bajo de cámara de secado.

#### ÁREA SUPERIOR DE CONVECCIÓN

$$A_s := a_s \cdot l_s$$

$$A_s = 2 \quad (\text{m}^2)$$

#### ÁREA INFERIOR DE CONVECCIÓN

$$A_L := a_s \cdot h_a$$

$$A_L = 0.4 \quad (\text{m}^2)$$

#### PERÍMETRO INFERIOR DE CONVECCIÓN

$$P_s := 2h_a + 2 \cdot a_s$$

$$P_s = 2.8 \quad (\text{m})$$

#### DIAMETRO HIDRÁLICO

$$D_{hs} := \frac{4 \cdot A_L}{P_s}$$

$$D_{hs} = 0.571 \quad (\text{m})$$

La viscosidad cinemática del aire a la temperatura de salida 70°C es:

$$\nu_s := 20.76 \cdot 10^{-6} \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)$$

Considerando la temperatura ideal del aire a la entrada de las cámaras de secado de lecho fijo<sup>10</sup> ( $T_s$ ) como 70°C y la temperatura de secado para el maíz<sup>11</sup> ( $T_{sec}$ ) como 60°C, se determina la temperatura media de secado ( $T_{fs}$ ).

$$T_s := 70 \quad (^\circ\text{C})$$

$$T_{fs} := \frac{T_s + T_{sec}}{2}$$

$$T_{fs} = 65 \quad (^\circ\text{C})$$

Para determinar Reynolds, se calcula la velocidad del aire bajo el lecho del producto. Velocidad recomendada 0.4 a 3 m/s.<sup>12</sup>

---

<sup>10</sup> Técnicas de Secado del Maíz, Editorial Labarul, España 1985, pág. 245

<sup>11</sup> Secado Artificial de Maíz. Circular Técnica N°5. CTPG, Buenos Aires, pág. 7 .

<sup>12</sup> Cámaras de Secado, CORVALAN, España, pág. 245.

## AIRE DE PROCESO

Se considera para este caso la temperatura de salida del ducto como temperatura de entrada al proceso ( $T_e$ ) y como temperatura de salida a la temperatura en el punto más lejano de la cámara ( $T_{sal}$ ).

$$T_{sal} := 35 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$T_e := 70 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

De la misma manera se utiliza para realizar este cálculo, el calor específico del aire a temperatura ambiente y la densidad del aire a la misma temperatura y a la altitud nominal de Sangolquí.

$$C_{pa1} := 1.0090 \left( \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}\cdot^\circ\text{C}} \right)$$

$$\delta_a := 0.997 \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

Con estos datos se utiliza la fórmula para calcular la masa total de aire<sup>13</sup> en función del calor útil en la cámara de secado.

$$m_a := \frac{QU}{C_{pa1} \cdot (T_e - T_{sal})}$$

$$m_a = 0.601 \text{ (Kg)}$$

Encontrada la masa de aire que se utiliza en el proceso de secado, se calcula la velocidad del aire del proceso.

---

<sup>13</sup> Transferencia de Calor, Schaum, McGraw – Hill, 1980, pág. 170

$$V_a := \frac{m_a}{\delta a}$$

$$V_a = 0.603 \left( \frac{m}{s} \right)$$

$$CFM := V_a \cdot (3.2808)^3 \cdot 60$$

$$CFM = 1.277 \times 10^3 \quad (CFM)$$

#### AIRE BAJO EL LECHO DEL PRODUCTO

En función de la velocidad del aire del proceso, se establece la velocidad del aire bajo el lecho del producto.

$$v_l := \frac{V_a}{A_l}$$

$$v_l = 1.507 \left( \frac{m}{s} \right) \text{ Velocidad recomendada de 0.4 a 3 m/s para cámaras opacas (CORVALAN)}$$

Ya calculada la velocidad del aire bajo el lecho del producto, se procede a realizar el cálculo de Reynolds y a encontrar el coeficiente de convección interna.

$$Re_{ys} := \frac{v_l \cdot D_{hs}}{\nu_s}$$

$$Re_{ys} = 4.147 \times 10^4$$

Para determinar el número de Nusselt se utiliza la siguiente expresión<sup>14</sup> :

$$Nu_{Dhs} := (0.023) \cdot (Re_{ys})^{0.8} \cdot Pr_s^{\eta_s} \quad (4.3)$$

---

<sup>14</sup> Transferencia de Calor, Schaum, McGraw – Hill, 1980, pág. 170

Donde:

ns: constante para el enfriamiento del fluido = 0.3

Pr: 0.697

$$\text{NuDhs} = 102.066$$

Igualando el número Nusselt a la expresión:

$$\text{Nu} = \frac{h \times D}{K}$$

Donde:

$$h = \text{coeficiente de convección.} \left( \frac{W}{m^2 \times ^\circ K} \right)$$

D= diámetro, en nuestro caso es el radio hidráulico. (m)

$$k = \text{Coeficiente de conductividad de la superficie en contacto.} \left( \frac{W}{m \times ^\circ K} \right)$$

$$k_s := 0.03003 \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)$$

$$h_i := \frac{\text{NuDhs} \cdot k_s}{D_{hs}}$$

$$h_i = 5.364 \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$$

#### 4.1.1.7.2 Coeficiente de convección externa.

La velocidad del aire en el Valle de los Chillos situado en la provincia de Pichincha, facilitada por el INAHMI.

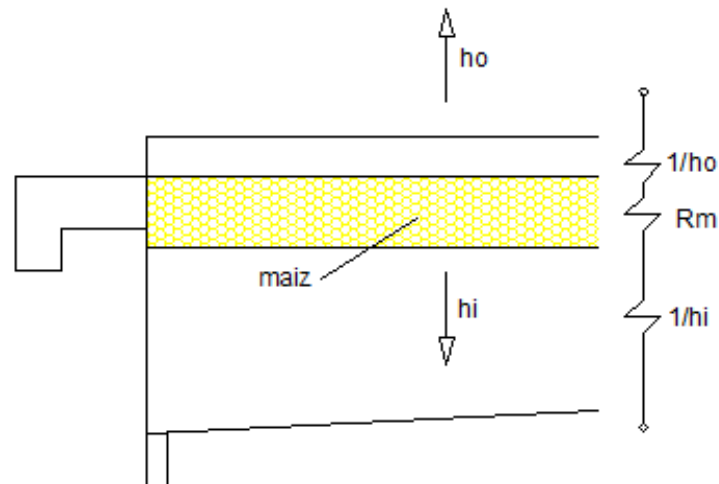
$$v_o := 1.2 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

Empleando la relación de la velocidad del viento con la convección externa, se utiliza la siguiente expresión:

$$h_o := 2.8 + 3v_o$$

$$h_o = 6.4 \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}} \right)$$

#### 4.1.1.7.3 Coeficiente global de transferencia de calor.



**Figura 4.3** Diagrama de convección y Analogía eléctrica – Producto seco.

Considerando la cantidad de agua presente en el grano de maíz en 22% (w), se calcula el índice de conductividad térmica<sup>15</sup> en función de la siguiente expresión:

<sup>15</sup> Introducción a la Ing. de Alimentos, Paúl Singh, España, Editorial ACRIBIA S.A., pág. 156

$$\kappa_m := 0.148 + 0.00493 \cdot w$$

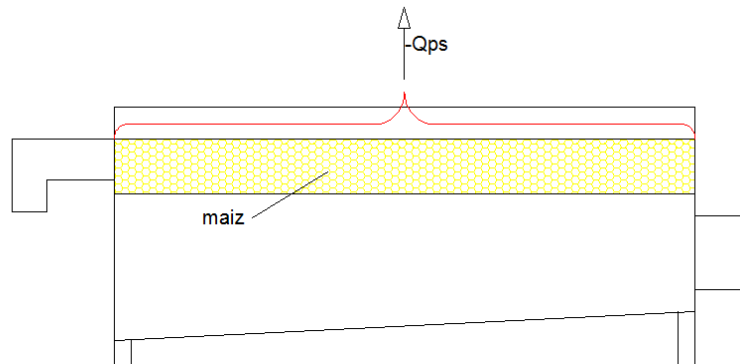
$$\kappa_m = 0.256 \quad \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)$$

Y tomando en cuenta, que el espesor máximo que se puede secar según el dimensionamiento inicial de la cámara de secado es 25 cm ( $e_{max}$ ), se calcula el coeficiente global de transferencia de calor, teniendo presente que  $R_m$  con respecto a la analogía eléctrica es igual al espesor de la capa de maíz sobre el índice de conductividad para el maíz.

$$U_s := \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_{max}}{\kappa_m} + \frac{1}{h_o}}$$

$$U_s = 0.759 \quad \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$$

Calculado ya el coeficiente global de transferencia de calor en el sistema de secado, se establece la pérdida de calor sobre la capa superior del grano es:



**Figura 4.4** Pérdida de calor sobre la capa superior de grano.



$$Q_{ps} := A_s \cdot U_s \cdot (T_{sec} - T_a)$$

$$Q_{ps} = 66.793 \quad (W)$$

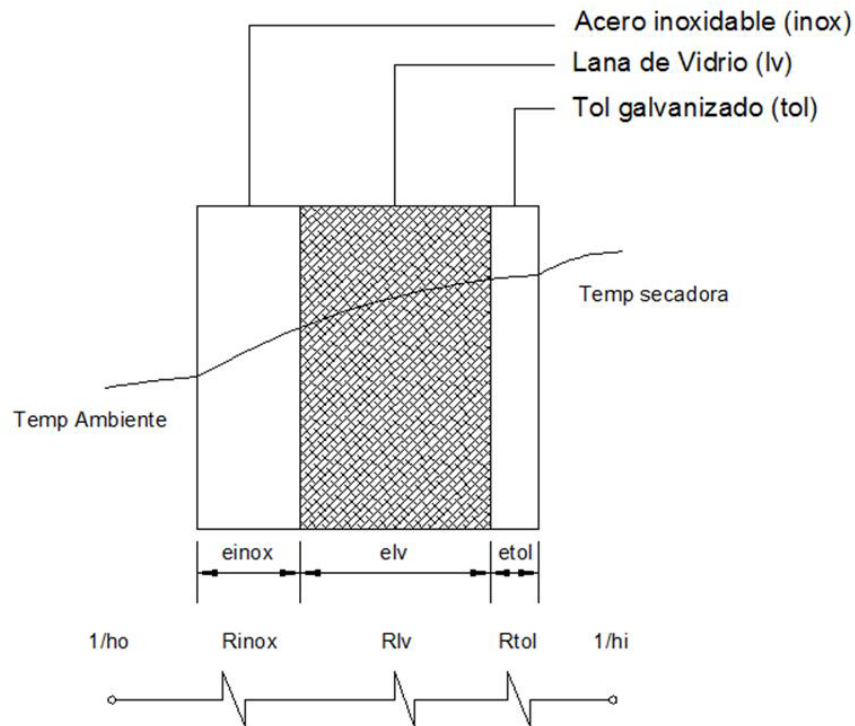
#### 4.1.1.8 Pérdidas de calor por aire de proceso.

La temperatura superficial de la cámara de secado es fijada en 30°C ( $T_{sup}$ ) y el calor específico como ya se analizó en el cálculo de la masa de aire del proceso ( $m_a = 0.601 \text{ Kg/s}$ ) es  $1.0090 \times 10^3 \text{ (J/kg.}^\circ\text{K)}$ . Estos datos en base a la siguiente expresión permiten establecer que el calor perdido por aire de proceso es:

$$Q_{pa} := m_a \cdot C_{pa} \cdot (T_{sup} - T_a)$$

$$Q_{pa} = 8.487 \times 10^3 \quad (W)$$

#### 4.1.1.9 Pérdidas de calor en paredes de la cámara de secado.



**Figura 4.5** Analogía eléctrica – Pared cámara de secado.

Los espesores considerados para el diseño, fueron relacionados con los materiales más comunes que existen en el mercado.

$$e_{inox} := 0.0015 \text{ (m)}$$

$$e_{lv} := 0.05 \text{ (m)}$$

$$e_{tol} := 0.00065 \text{ (m)}$$

Los índices de conductividad térmica para los materiales que integran esta pared son:

$$k_{inox} := 16.6 \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)$$

$$k_{lv} := 0.046 \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)$$

$$k_{tol} := 90 \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)$$

De esta manera utilizando los valores de los coeficientes de convección externa e interna, calculados con anterioridad, se aplica la analogía eléctrica (figura 4.5), en busca del coeficiente global de transferencia de calor en la pared de la secadora.

$$U_p := \frac{1}{\frac{1}{h_s} + \frac{e_{inox}}{k_{inox}} + \frac{e_{lv}}{k_{lv}} + \frac{e_{tol}}{k_{tol}} + \frac{1}{h_o}}$$

$$U_p = 0.191 \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$$

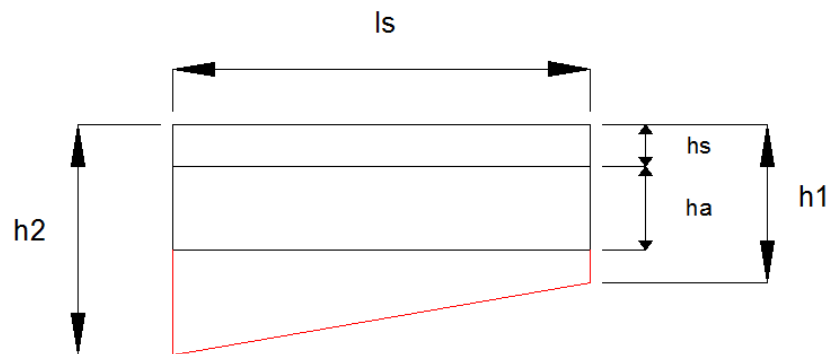
Con el fin de determinar el calor perdido por las paredes de la secadora, es necesario calcular el área total de la secadora. Para este fin se debe considerar las

dimensiones iniciales ( $l_s$ ,  $a_s$ ,  $h_s$  y  $h_a$ ) sumado el espesor total del aislamiento térmico.

$$e_{\text{Total}} := e_{\text{inox}} + e_{\text{lv}} + e_{\text{tol}}$$

$$e_{\text{Total}} = 0.052 \text{ (m)}$$

Pero antes, debido a facilidad de mantenimiento (drenaje de líquidos) se debe considerar una inclinación en el plano bajo de la secadora (experiencia  $6^\circ$ )<sup>16</sup> y el alto mínimo de 70 cm.



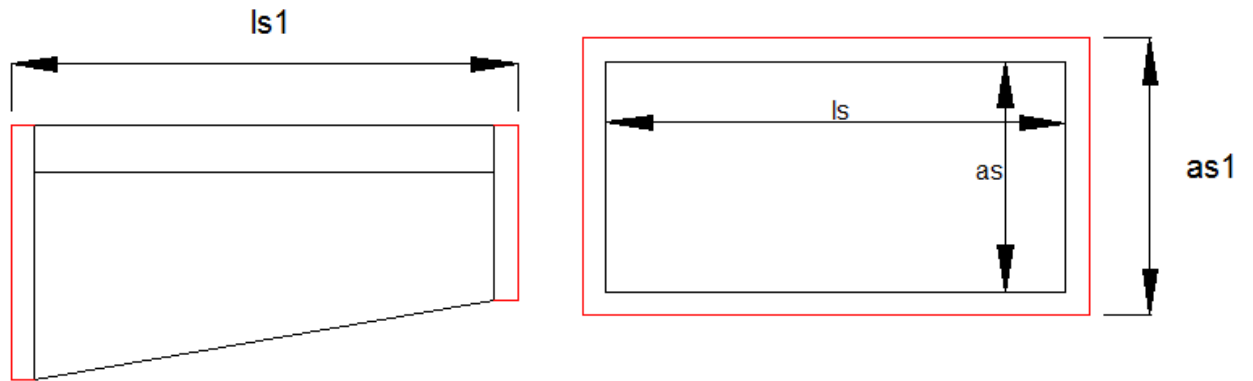
**Figura 4.6** Inclinación de plano bajo de la secadora.

$$h_1 := h_a + h_s + 0.05$$

$$h_1 = 0.7 \text{ (m)}$$

$$h_2 := 0.8 \text{ (m)}$$

<sup>16</sup> CORVALAN, Cámaras de Secado, España, pág. 367



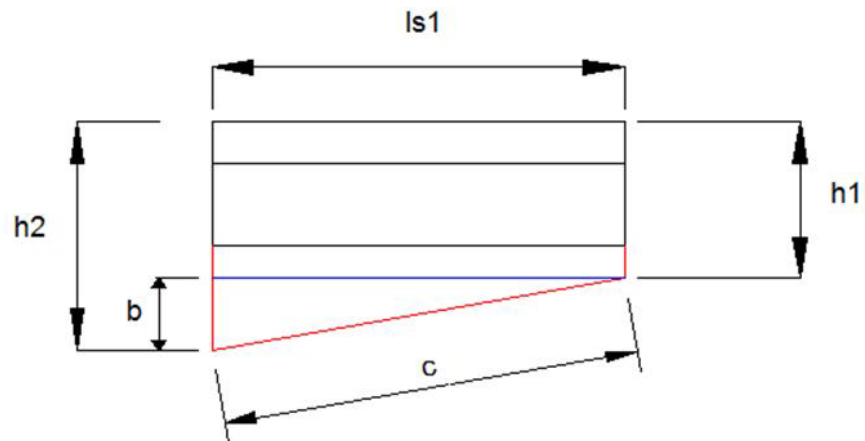
**Figura 4.7** Dimensiones de la cámara de secado con aislamientos

$$ls1 := ls + 2eTotal$$

$$ls1 = 2.104 \text{ (m)}$$

$$as1 := as + 2eTotal$$

$$as1 = 1.104 \text{ (m)}$$



**Figura 4.8** Dimensionamiento de la inclinación para la cámara de secado

$$b := h_2 - h_1$$

$$b = 0.1 \text{ (m)}$$

$$c := \sqrt{(l_{s1})^2 + (b)^2}$$

$$c = 2.107 \text{ (m)}$$

Al contar ya con todas las dimensiones, se procede a calcular el área total de transferencia.

$$A_p := a_{s1} \cdot h_1 + h_2 \cdot a_{s1} + c \cdot a_{s1} + \frac{2(h_1 + h_2) \cdot l_{s1}}{2}$$

$$A_p = 7.139 \text{ (m}^2\text{)}$$

Ya encontrada el área de transferencia, se calcula el calor perdido por las paredes de la cámara de secado, en función de la temperatura de secado ( $T_{sec}$ ) para el maíz ( $60^\circ\text{C}$ ) y el coeficiente global de transferencia.

$$Q_p := A_p \cdot U_p \cdot (T_{sec} - T_a)$$

$$Q_p = 59.911 \text{ (W)}$$

#### **4.1.1.10 Calor total perdido en la cámara de secado.**

La suma de calor perdido en la superficie de secado, más el calor perdido con el aire del proceso y el perdido por las paredes de la cámara, nos permite conocer el calor perdido por el sistema.

$$Q_{pTotal} := \frac{Q_{ps} + Q_{pa} + Q_p}{1000}$$

$$Q_{pTotal} = 18.46 \quad (W)$$

#### **4.1.1.11 Calor necesario total en la cámara de secado.**

Debido a las pérdidas de calor que sufre el sistema de secado, el calor total necesario en la cámara de secado es igual a la suma del calor útil, más las pérdidas.

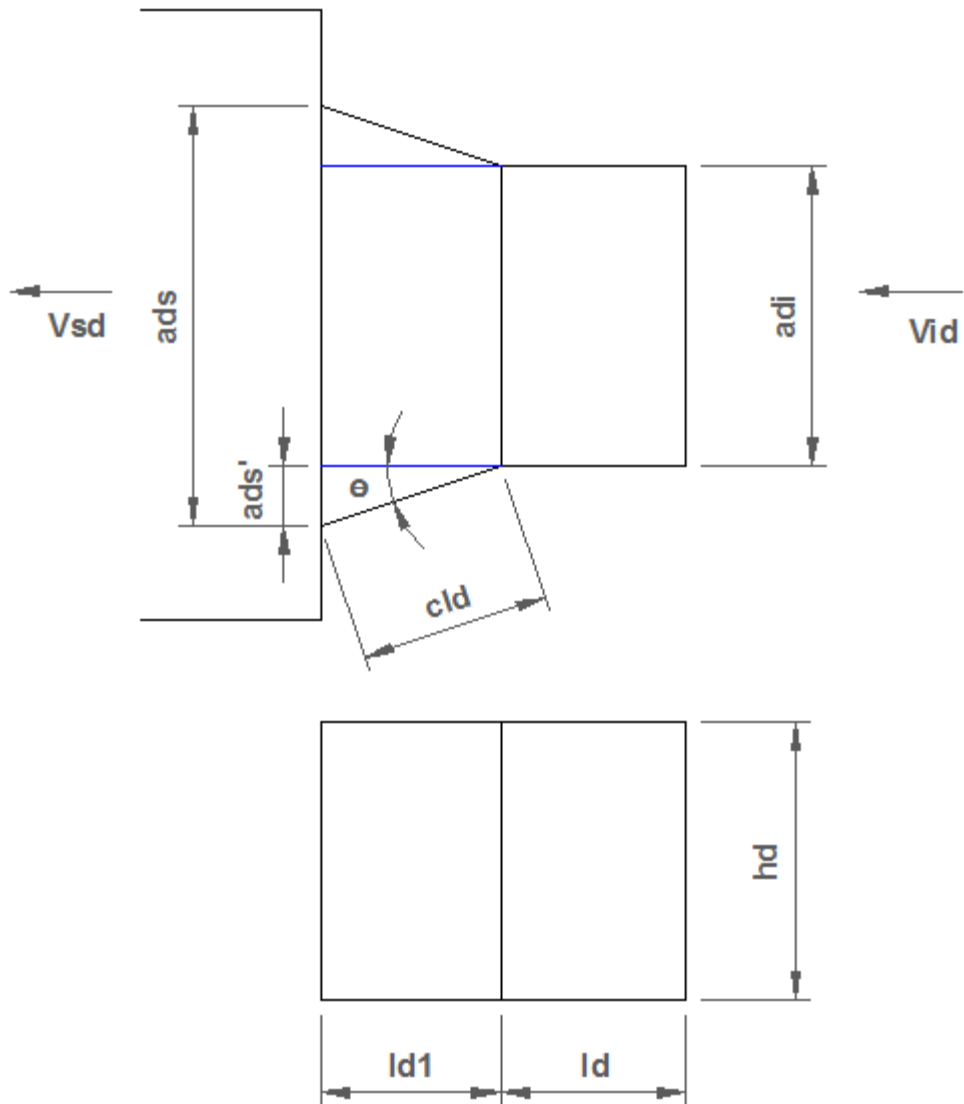
$$Q_s := Q_{pTotal} + Q_u$$

$$Q_s = 29.832 \quad (KW)$$

#### **4.1.2 Ducto de transferencia**

El ducto de transferencia o bien llamado difusor de aire, es el que traslada el aire desde el intercambiador de calor a la cámara de secado.

$$\begin{array}{ll} l_d := 0.30 \quad (m) & a_{ds} := 0.70 \quad (m) \\ a_{di} := 0.53 \quad (m) & h_d := 0.25 \quad (m) \end{array} \quad \theta := 15 \cdot \left( \frac{\pi}{180} \right)$$



**Figura 4.9** Dimensionamiento ducto de transferencia

**4.1.2.1 Velocidad de Ingreso y Salida del aire de secado.**

Considerando la velocidad de aire de proceso  $V_a=0.603$  m/s, calculada anteriormente, se deduce las velocidades de ingreso y salida del aire en el ducto de transferencia en función del área transversal del ducto.

$$V_{sd} := \frac{V_a}{hd \cdot ads}$$

$$V_{sd} = 3.444 \left( \frac{m}{s} \right)$$

$$V_{id} := \frac{V_a}{hd \cdot adi}$$

$$V_{id} = 4.548 \left( \frac{m}{s} \right)$$

De lo que se puede concluir que las longitudes elegidas son correctas ya que por norma la velocidad del aire en un ducto debe estar entre 3 y 7 m/s.<sup>17</sup> La velocidad promedio del aire en el ducto es:

$$V_{pd} := \frac{V_{sd} + V_{id}}{2}$$

$$V_{pd} = 3.996 \left( \frac{m}{s} \right)$$

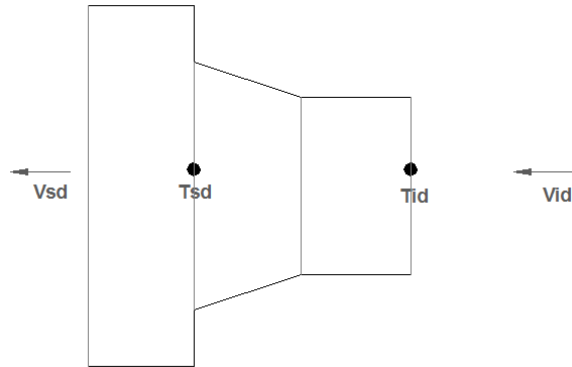
#### **4.1.2.2 Calor perdido por el ducto de transferencia.**

Considerando que la temperatura del aire a la salida del ducto es igual a la temperatura al ingreso de la secadora 70°C, se realiza el análisis psicrométrico del aire dentro del ducto, tomando una caída de temperatura desde el ingreso hasta la salida de 40°C.

---

<sup>17</sup> CORVALAN, Cámaras de Secado, España, pág. 5





**Figura 4.10** Diagrama térmico del flujo del aire dentro del ducto de transferencia

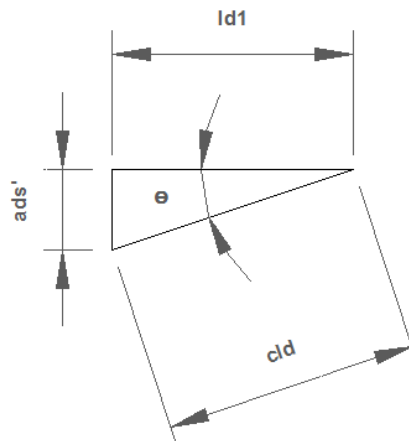
$$T_{id} := 110 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

$$T_{sd} := 70 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

$$T_{pd} := \frac{T_{id} + T_{sd}}{2}$$

$$T_{pd} = 90 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

Con el fin de facilitar el cálculo del coeficiente térmico dentro del ducto de transferencia se encuentran las longitudes faltantes dentro de la consideración inicial, perímetro transversal, área transversal y área total de transferencia.



**Figura 4.11** Longitudes faltantes, consideración inicial

**LONGITUDES COMPLEMENTARIAS**

$$\text{ads1} := \frac{\text{ads}}{2} - \frac{\text{adi}}{2}$$

$$\text{ads1} = 0.085 \quad (\text{m})$$

$$\text{cld} := \frac{\text{ads1}}{\sin(\theta)}$$

$$\text{cld} = 0.328 \quad (\text{m})$$

$$\text{ld1} := \sqrt{\text{cld}^2 + \text{ads1}^2}$$

$$\text{ld1} = 0.339 \quad (\text{m})$$

**PERÍMETRO TRANSVERSAL DEL DUCTO.**

$$\text{Pmd} := 2 \cdot (\text{hd} + \text{adi})$$

$$\text{Pmd} = 1.56 \quad (\text{m})$$

**ÁREA TRANSVERSAL DEL DUCTO.**

$$\text{Atd} := \text{hd} \cdot \text{adi}$$

$$\text{Atd} = 0.133 \quad (\text{m}^2)$$

**ÁREA TOTAL DE TRANSFERENCIA.**

$$\text{AD} := 2 \cdot \text{cld} \cdot \text{hd} + 2 \cdot \text{ld} \cdot \text{hd} + 2 \cdot \text{adi} \cdot \text{ld} + 2 \cdot \frac{(\text{adi} + \text{ads}) \cdot \text{ld1}}{2}$$

$$\text{AD} = 1.049 \quad (\text{m}^2)$$

De este modo se procede a calcular al número de Nusselt en función de la siguiente relación:

$$Nu = 0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^n$$

La cual se utiliza en función del diámetro hidráulico.

$$D_{hd} := \frac{4 \cdot A_{td}}{P_{md}}$$

$$D_{hd} = 0.34 \text{ (m)}$$

Y mediante este se encuentra el número de Reynolds, considerando la velocidad promedio de aire dentro del ducto (8.269 m/s) y la viscosidad cinemática a la temperatura promedio de:

$$\nu_d := 20.76 \cdot 10^{-6} \left( \frac{m^2}{s} \right)$$

Con lo cual:

$$Re_{yd} := \frac{V_{pd} \cdot D_{hd}}{\nu_d}$$

$$Re_{yd} = 1.412 \times 10^5$$

Del mismo modo, en función de la temperatura promedio del aire dentro del ducto, se considera la conductividad térmica:

$$k_{da} := 0.03003 \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)$$

Y el número de Prandtl:

$$\text{Pr} := 0.697$$

Y considerando que Reynolds es mayor a 10000 se determina que:

$$\mu_b := \mu_s$$

Nusselt es:

$$\text{NuDhd} := 0.023 \cdot \text{Reyd}^{0.8} \cdot \text{Pr}^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{\mu_b}{\mu_s} \right)^{0.14}$$

$$\text{NuDhd} = 268.777$$

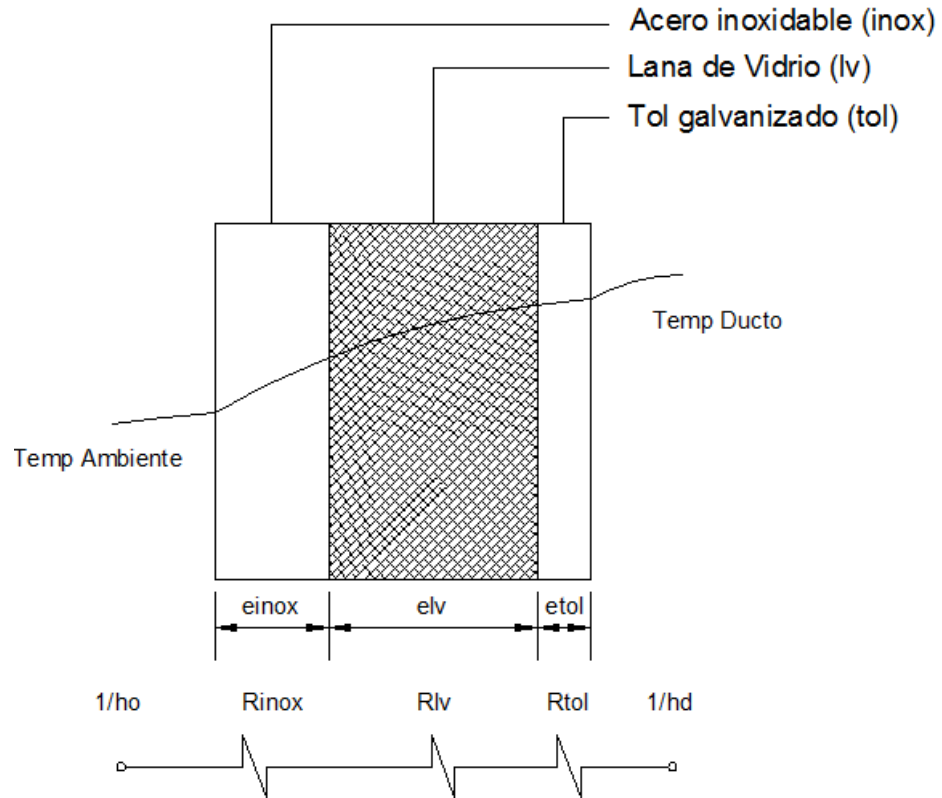
Igualando el número Nusselt a la expresión siguiente:

$$\text{Nu} = \frac{h \times D}{K}$$

Se encuentra el coeficiente de convección dentro del ducto.

$$h_d := \frac{\text{NuDhd} \cdot k_{da}}{D_{hd}}$$

$$h_d = 23.757 \left( \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{K}} \right)$$



**Figura 4.12** Analogía eléctrica – Ducto de Transferencia.

Los espesores considerados al igual que el punto 4.1.1.9, fueron relacionados con los materiales más comunes que existen en el mercado.

$$e_{inox} := 0.0015 \text{ (m)}$$

$$e_{lv} := 0.05 \text{ (m)}$$

$$e_{tol} := 0.00065 \text{ (m)}$$

Los índices de conductividad térmica para los materiales que integran esta pared son:

$$k_{inox} := 16.6 \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)$$

$$k_{lv} := 0.046 \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)$$

$$k_{tol} := 90 \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)$$

De esta manera utilizando el valor del coeficiente de convección externa ( $h_o=6.4$  W/m<sup>2</sup>·K) y el coeficiente de convección del ducto ( $h_d= 23.757$  W/m<sup>2</sup>·K), se aplica la analogía eléctrica (figura 4.11), en busca del coeficiente global de transferencia de calor en la pared del ducto de transferencia.

$$U_d := \frac{1}{\frac{1}{h_d} + \frac{e_{inox}}{k_{inox}} + \frac{e_{lv}}{k_{lv}} + \frac{e_{tol}}{k_{tol}} + \frac{1}{h_o}}$$

$$U_d = 0.778 \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)$$

Finalmente se determina la pérdida de calor por las paredes del ducto a partir de la expresión:

$$Q = U_o \times A \times (T_{ai} - T_a) \tag{4.4}$$

Donde:

$T_{ai}$  = Temperatura promedio del ducto ( $T_{pd}=90^\circ C$ )

$T_a$  = Temperatura ambiente ( $T_a=16^\circ C$ )

$A$  = Área total del ducto ( $A_D=1.049$  m<sup>2</sup>)

$U_o$  = Coeficiente global de transferencia ( $U_d=0.778$ W/m<sup>2</sup>·K)

$$Q_d = 76.747 \quad (\text{W})$$

#### 4.1.2.3 *Calor necesario en el ducto de transferencia.*

Ya encontrada la pérdida de calor que se da por el ducto de transferencia, en función del calor necesario en la secadora, se calcula el calor necesario en este ducto.

$$Q_D := Q_s + \frac{Q_d}{1000}$$

$$Q_D = 29.909 \text{ (KW)}$$

#### 4.1.3 Intercambiador de calor

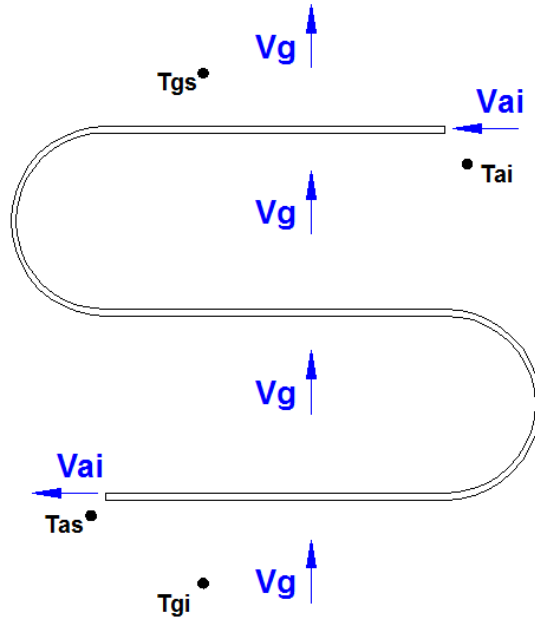
Será el encargado de realizar el calentamiento del aire, donde este circula por dentro de los tubos del intercambiador y los gases de combustión por fuera.

La temperatura inicial y final del aire dentro de los tubos, es decir, a la entrada ( $T_{ai}$ ) y salida ( $T_{as}$ ) son respectivamente las siguientes:

$$T_{ai} := 16 \quad ^\circ\text{C}$$

$$T_{as} := 140 \quad ^\circ\text{C}$$

Se considera **T<sub>as</sub>** de 140°C por ser la temperatura máxima teórica a la que el aire puede llegar dentro de los tubos de un intercambiador de este tipo, tomando en cuenta que la temperatura de ingreso al ducto de transferencia es de 110°C.



**Figura 4.13** Diagrama termodinámico del intercambiador de calor.

Los gases de combustión debido a su elevada temperatura (se considera temperatura nominal al quemar GLP), tienden a subir, desde la cámara de combustión hasta el plenum (temperatura experimental<sup>18</sup>), provocando un calentamiento a los tubos, tal y como se mira en la figura 4.12.

$$Vg := 3 \left( \frac{m}{s} \right)$$

$$Tgi := 214 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$Tgs := 80 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Por otro lado el aire del proceso viaja por el interior de los tubos, ganando calor a lo largo de su recorrido.

<sup>18</sup> URMO S.A. EDICIONES, Hornos Industriales, España, pág. 386.

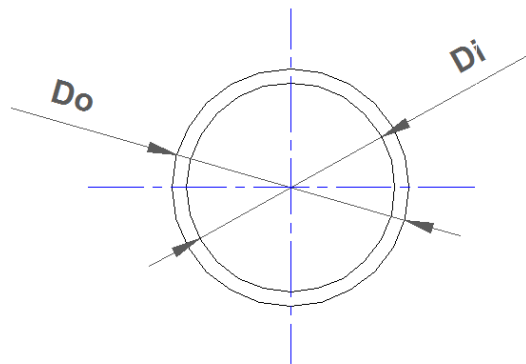


$$V_{ai} := 15 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

$$T_{ai} := 16 \quad (^\circ\text{C})$$

$$T_{as} := 140 \quad (^\circ\text{C})$$

Ya fijadas las temperaturas y velocidades de los agentes que interactúan dentro del intercambiador de calor (gases de combustión y aire de proceso), se selecciona los tubos a utilizar y su distribución.



**Figura 4.14** Diámetro externo e interno de tubos.

Por costo y disponibilidad los tubos más utilizados son los acerados de 1" de diámetro.

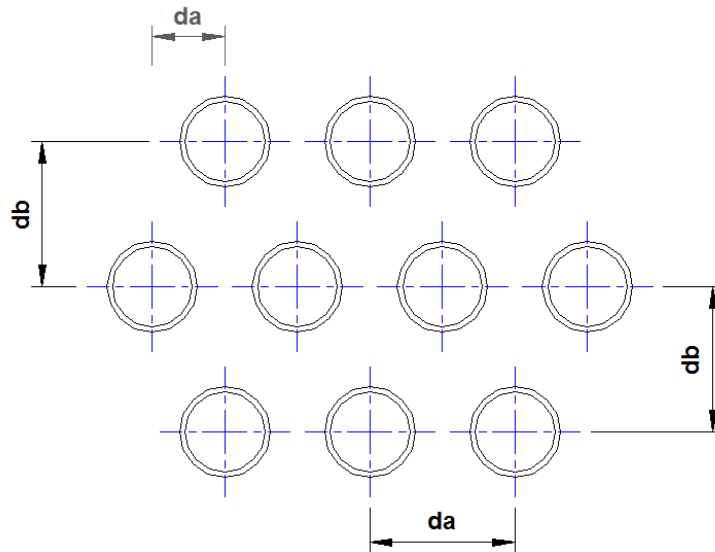
$$D_o := 0.0254 \quad (\text{m})$$

$$r_o := \frac{D_o}{2} = 0.013 \quad (\text{m})$$

$$D_i := 0.022 \quad (\text{m})$$

$$r_i := \frac{D_i}{2} = 0.011 \quad (\text{m})$$

Y la distribución de los tubos más utilizada y recomendada para este tipo de intercambiadores es la simétrica.



**Figura 4.15** Distribución de tubos.

$$da := 0.04 \text{ (m)}$$

$$db := 0.04 \text{ (m)}$$

#### **4.1.3.1 Coeficiente de convección externa a los tubos.**

Considerando una temperatura nominal del sistema de calentamiento en función de la aplicación de se cado de  $TS=178^{\circ}\text{C}$ , se calcula la temperatura promedio de gases de combustión ( $T_b$ ) y la temperatura promedio de calentamiento del aire ( $T_{fg}$ ).

$$T_b := \frac{T_{gi} + T_{gs}}{2}$$

$$T_b = 147 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$T_{fg} := \frac{TS + T_b}{2}$$

$$T_{fg} = 162.5 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Calculadas ya las temperaturas promedio de calentamiento se debe determinar la velocidad máxima de paso de los gases por medio de los tubos del intercambiador, para lo cual se debe considerar la distancia de separación de tubos ( $d_a$ ) y diámetro exterior nominal ( $D_o$ ).

$$V_{max} := \frac{V_g \cdot d_a}{d_a - D_o}$$

$$V_{max} = 8.219 \left( \frac{m}{s} \right)$$

Ya conociendo la velocidad máxima de los gases en el interior del intercambiador, se utiliza la siguiente expresión para conocer el número de Reynolds en función de la temperatura máxima de calentamiento de gases  $TS=178^\circ\text{C}$ .

$$\text{Reynolds} := \frac{V_g \cdot D_o}{\nu_g} \tag{4.5}$$

Donde:

$V_g$  : Velocidad de los gases de combustión (m/s).

$D_o$  : Diámetro externo de tubos (m).

$\nu_g$  : Viscosidad del aire ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

Las características térmicas del aire a  $T_S=178^\circ\text{C}$  son:

$$\nu_g := 28.85 \cdot 10^{-6} \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)$$

$$\text{Pr}_g := 0.683$$

$$\kappa_g := 0.0376 \left( \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{K}} \right)$$

Por lo que Reynolds en estas condiciones es:

$$\text{Re}_{\text{max}} := \frac{V_{\text{max}} \cdot D_o}{\nu_g}$$

$$\text{Re}_{\text{max}} = 7.236 \times 10^3$$

En busca de la utilización de la expresión de Nusselt que relaciona el número de Reynolds y la constante adimensional de la relación de diámetros del intercambiador,

$$\text{Nu}_g := C_1 \cdot (\text{Re}_{\text{max}})^n$$

se calculan las relaciones de diámetros y distancias de separación de los tubos del intercambiador.

$$\text{Rel1} := \frac{d_a}{D_o} \quad \text{Rel2} := \frac{d_b}{D_o}$$

$$\text{Rel1} = 1.575 \quad \text{Rel2} = 1.575$$

Debido a su similitud, la constante de relación<sup>19</sup> es  $C=0.25$  y debido a esta propiedad  $n=0.62$ . Por lo que Nusselt es:

$$Nu_g = 61.779$$

Ya calculado el Nusselt para esta condición del aire, se calcula el coeficiente de convección de los gases de calentamiento en función de este.

$$h_g := \frac{Nu_g \cdot \kappa_g}{D_o}$$

$$h_g = 91.452 \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$$

#### **4.1.3.2 Coeficiente de convección interna de los tubos.**

Haciendo referencia a los datos iniciales de diseño, sobre temperatura de ingreso y salida del aire del sistema, así como la velocidad del aire, se calcula la temperatura promedio del aire del sistema ( $T_{bi}$ ), para proceder con el cálculo de convección.

$$T_{bi} := \frac{T_{ai} + T_{as}}{2}$$

$$T_{bi} = 78 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Considerando que la velocidad del aire en el interior de los tubos del intercambiador es  $V_{ai}=15$  m/s, se utiliza la misma relación utilizado en el cálculo de

---

<sup>19</sup> SHAUM, Termodinámica, México, pág. 175

Reynolds para los gases de combustión, tomando en cuenta que las propiedades termodinámicas a la temperatura promedio del aire del sistema son:

$$\nu_i := 20.79 \cdot 10^{-6} \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)$$

$$\kappa_i := 0.03$$

$$\text{Pr}_i := 0.697 \left( \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{K}} \right)$$

Siendo Reynolds:

$$\text{Re}_i := \frac{V_{ai} \cdot D_i}{\nu_i}$$

$$\text{Re}_i = 1.587 \times 10^4$$

Considerando que el número de Reynolds calculado está dentro del rango  $10000 < \text{Re} < 120000$ , se deduce que es un caso de convección forzada de flujo turbulento. Para el cálculo de Nusselt,  $n=0.4$  debido a que es un proceso de calentamiento

$$\text{Nu}_{Di} := 0.023 \cdot (\text{Re}_i)^{0.8} \cdot \text{Pr}_i^n$$

$$\text{Nu}_{Di} = 45.661$$

Considerando las propiedades térmicas del aire a la temperatura promedio dentro de los tubos y el diámetro interno, el coeficiente de convección interna es:

$$h_i := \frac{NuD_i \cdot \kappa_i}{D_i}$$

$$h_i = 62.265 \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$$

#### 4.1.3.3 Coeficiente global de transferencia de calor en el tubo.

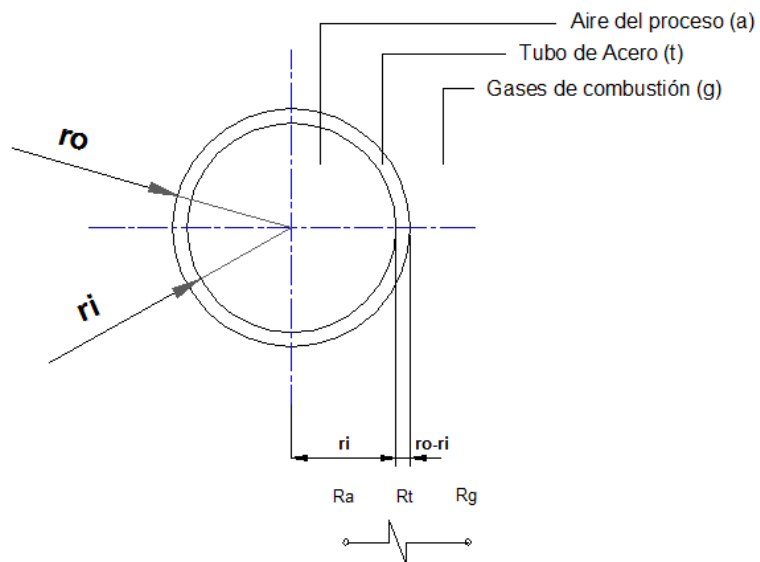


Figura 4.16 Analogía Eléctrica – Tubo Intercambiador de Calor.

Radio externo del tubo.

$$r_o := \frac{D_o}{2} = 0.013 \quad (m)$$

Radio interno del tubo.

$$r_i := \frac{D_i}{2} = 0.011 \quad (m)$$

Empleando analogía eléctrica se puede determinar las resistencias térmicas que se presenta en la pared del tubo:

Ra: Resistencia convectiva interna o del aire del sistema.

$$Ra := \frac{ro}{ri \cdot hi}$$
$$Ra = 0.019 \left( \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \right)$$

Rt: Resistencia conductiva debido al espesor del tubo (Material: Acero Kt=26).

$$Rt := \frac{ro \cdot \ln\left(\frac{ro}{ri}\right)}{kt}$$
$$Rt = 7.02 \times 10^{-5} \left( \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \right)$$

Rg: Resistencia convectiva externa o de los gases de combustión.

$$Rg := \frac{1}{hg}$$
$$Rg = 0.011 \left( \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \right)$$

Obteniéndose de esta manera el coeficiente global de transferencia de calor.

$$Uo := \frac{1}{Ra + Rt + Rg}$$
$$Uo = 33.844 \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$$



#### **4.1.3.4 Coeficiente global de transferencia de calor en el tubo con incrustación.**

Durante el funcionamiento de un intercambiador, con la mayoría de gases o líquidos, se produce una película de suciedad sobre la superficie en la que se produce la transferencia de calor.

El factor de ensuciamiento<sup>20</sup> para este caso es:

$$R_d := 0.0004 \left( \frac{\text{m}^2 \cdot \text{°K}}{\text{W}} \right)$$

Empleando la ecuación siguiente tenemos el coeficiente global de transferencia después de haberse producido el depósito.

$$U_{os} := \frac{1}{R_d + \frac{1}{U_o}}$$

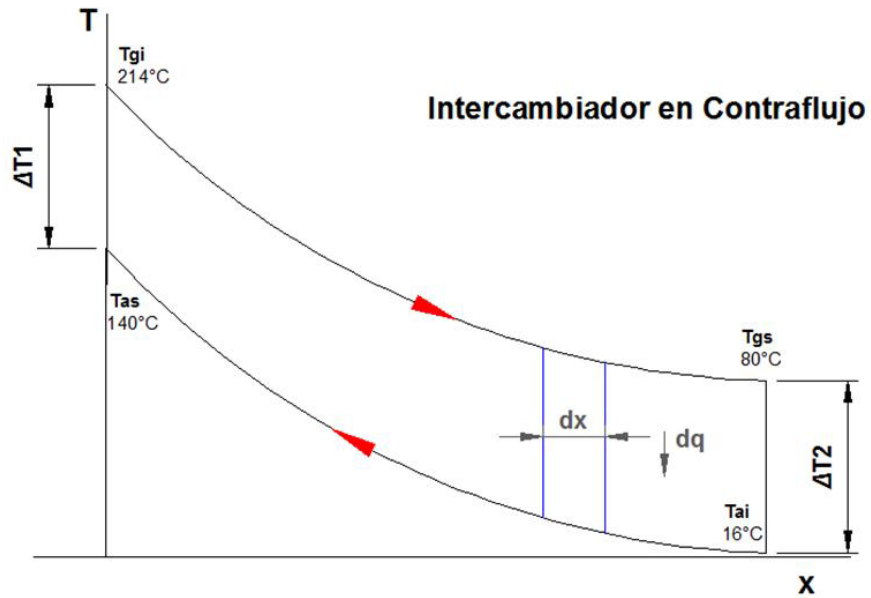
$$U_{os} = 33.798 \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°K}} \right)$$

#### **4.1.3.5 Calor útil en un tubo.**

En busca del calor útil desprendido por los tubos del intercambiador de calor, se utiliza la analogía eléctrica o método LMTD, para deducirlo:

---

<sup>20</sup> La Transmisión de calor, F. Kreit, Pág. 398; Editorial Alambra, 1Edición, 1983.



**Figura 4.17** Análisis de media aritmética de temperatura.

$$\Delta T1 := Tgi - Tas$$

$$\Delta T2 := Tgs - Tai$$

$$\Delta T := \frac{\Delta T2 - \Delta T1}{\ln\left(\frac{\Delta T2}{\Delta T1}\right)}$$

$$\Delta T = 68.879 \quad (^\circ\text{C})$$

El área lateral de transferencia de calor en un tubo, considerando la longitud total del tubo como  $L_{tb}=1.8$  (m) es:

$$A_{tb} := \pi \cdot D_o \cdot L_{tb}$$

$$A_{tb} = 0.144 \quad (\text{m}^2)$$

De esta manera el calor útil de cada tubo es:

$$Q_{tb} := U_{os} \cdot A_{tb} \cdot \Delta T$$

$$Q_{tb} = 334.38 \quad (W)$$

#### **4.1.3.6 Cantidad de Tubos.**

Considerando el calor neto  $Q_N = 21.22$  (KW), que se necesita para realizar el secado del maíz, la cantidad de tubos necesarios en el intercambiador de calor es.

$$NT1 := \frac{Q_N \cdot 1000}{Q_{tb}}$$

$$NT1 = 63.455 \quad (\text{Tubos})$$

Y en función del calor presente en el ducto  $Q_D = 29.91$  (KW) para lograr el calor útil para el maíz, la cantidad es:

$$NT2 := \frac{Q_D \cdot 1000}{Q_{tb}}$$

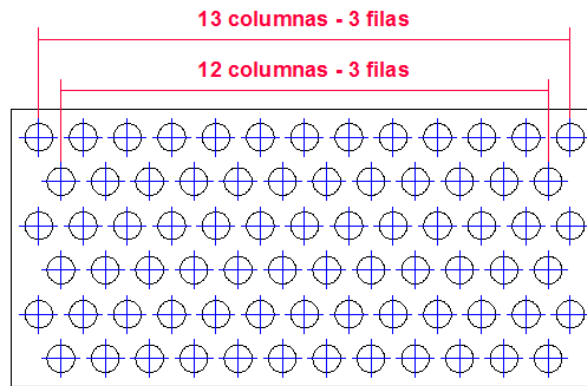
$$NT2 = 89.446 \quad (\text{Tubos})$$

Por lo en base a un promedio se establece que el intercambiador de calor contará con:

$$NPT := \frac{NT1 + NT2}{2}$$

$$NPT = 76.45 \quad (\text{Tubos})$$

Por facilidad en la construcción, se consideran 75 tubos en la siguiente distribución:



**Figura 4.18** Distribución de Tubos en Intercambiador.

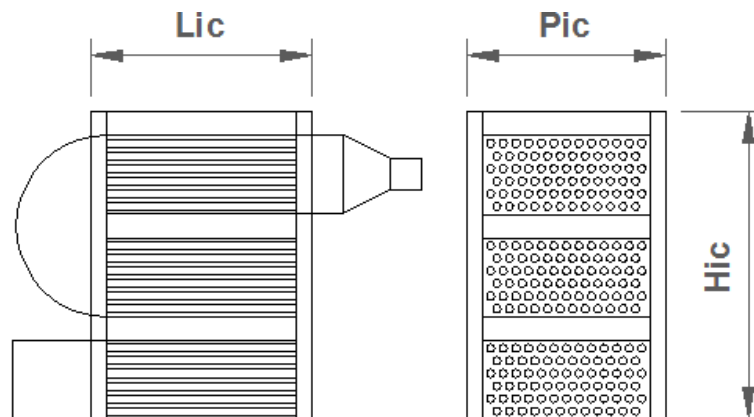
#### 4.1.3.7 Calor útil en el sistema de intercambio.

El calor útil para el calentamiento del aire por medio del intercambiador de calor, se determina multiplicando el número de tubos por el calor útil en un tubo, teniendo:

$$Q_{ic} := Q_{tb} \cdot N_{PT}$$

$$Q_{ic} = 2.556 \times 10^4 \text{ (W)}$$

#### 4.1.3.8 Perdida de calor por paredes.



**Figura 4.19** Dimensiones cámara de intercambio de calor.

$$H_{ic} := 0.975 \quad (\text{m})$$

$$L_{ic} := 0.7 \quad (\text{m})$$

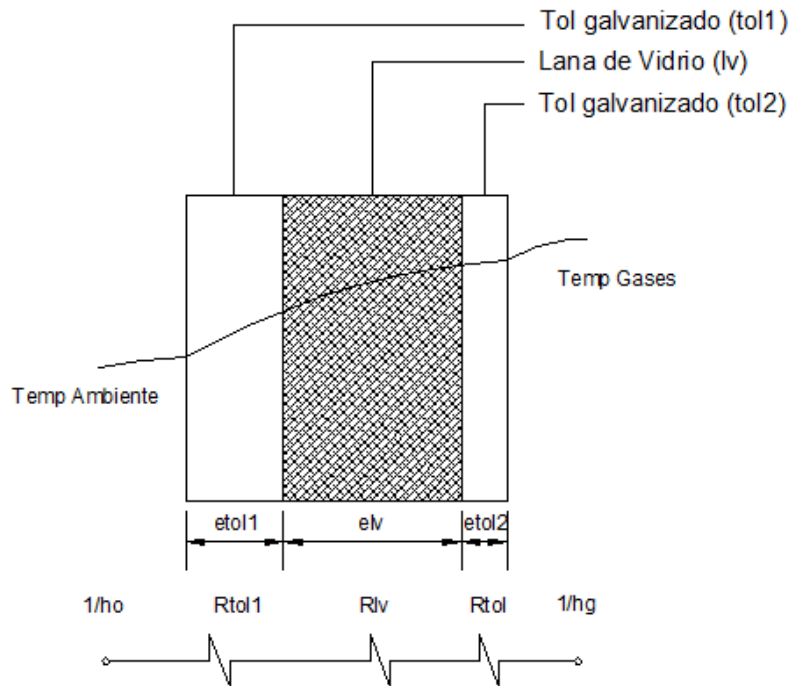
$$P_{ic} := 0.63 \quad (\text{m})$$

Siendo su área de transferencia:

$$A_{ic} := 2 \cdot (H_{ic} \cdot P_{ic} + H_{ic} \cdot L_{ic})$$

$$A_{ic} = 2.593 \quad (\text{m}^2)$$

En las paredes de la cabina del intercambiador tenemos gases de combustión por el interior ( $h_g$ ) y aire al ambiente por fuera ( $h_o$ ), por lo que la analogía eléctrica se considera:



**Figura 4.20** Analogía eléctrica – Pared cámara de intercambio de calor.

Los espesores considerados para el diseño, fueron relacionados con los materiales más comunes que existen en el mercado.

$$etol1 := 0.00075 \quad (\text{m})$$

$$elv = 0.05 \quad (\text{m})$$

$$etol2 := 0.003 \quad (\text{m})$$

Los índices de conductividad térmica para los materiales que integran esta pared son:

$$ktol1 := 90 \quad \left( \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°k}} \right)$$

$$klv := 0.046 \quad \left( \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°k}} \right)$$

$$ktol2 := 90 \quad \left( \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°k}} \right)$$

De esta manera utilizando los valores de los coeficientes de convección de los gases de combustión y del aire exterior, se aplica la analogía eléctrica (figura 4.18), en busca del coeficiente global de transferencia de calor en la pared de la cámara de intercambio de calor.

$$Uic := \frac{1}{\frac{1}{ho} + \frac{etol1}{ktol1} + \frac{elv}{klv} + \frac{etol2}{ktol2} + \frac{1}{hg}}$$

$$Uic = 0.797 \quad \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°K}} \right)$$

Y por consiguiente encontrando la cantidad de calor perdido por las paredes de está cámara de calentamiento (CC).

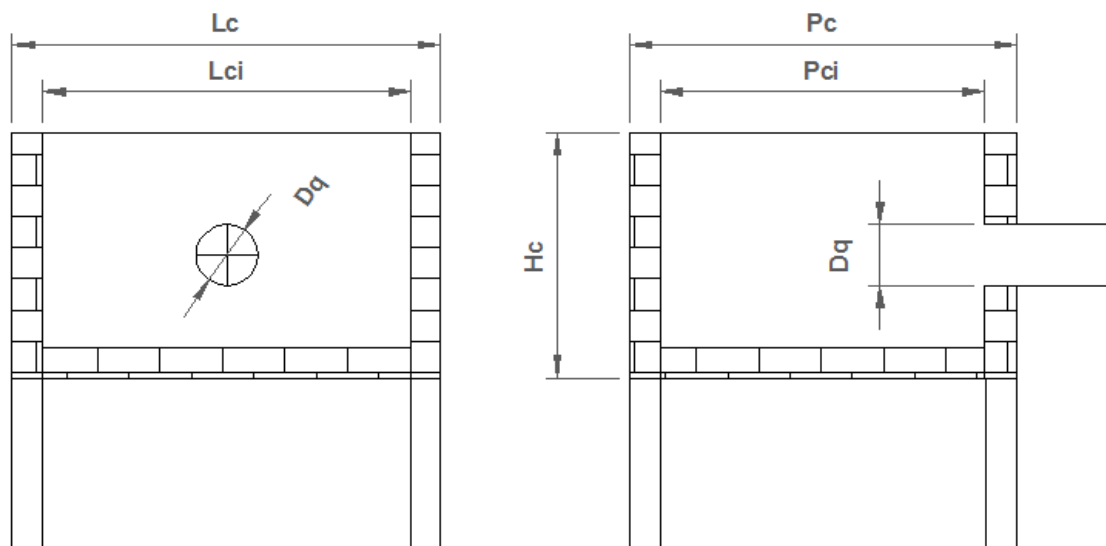
$$Q_{pic} := A_{ic} \cdot U_{ic} \cdot (T_{fg} - T_a)$$

$$Q_{pic} = 302.944 \text{ (W)}$$

#### 4.1.4 Cámara de combustión

Ya encontrada la pérdida de calor en las paredes del sistema de calentamiento, se debe calcular la pérdida de calor que se provoca en la cámara de combustión, para sumarla luego a la pérdida por paredes y chimenea, logrando de esta manera obtener el calor necesario en todo el sistema de calentamiento del aire frío.

##### 4.1.4.1 Área transversal de ingreso de aire



**Figura 4.21** Dimensiones cámara de combustión o secado.

$$\begin{aligned} L_{ci} &:= 0.6 \quad (\text{m}) & L_c &:= 0.7 \quad (\text{m}) & H_c &:= 0.4 \quad (\text{m}) \\ P_{ci} &:= 0.53 \quad (\text{m}) & P_c &:= 0.630 \quad (\text{m}) & D_q &:= 0.1 \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

$$A_q := \frac{\pi \cdot D_q^2}{4}$$

$$A_q = 7.854 \times 10^{-3} \quad (\text{m}^2)$$

#### 4.1.4.2 Condiciones del aire en Sangolquí.

Considerando la altura del valle de los chillos 2300 (m) sobre el nivel del mar (z), la presión atmosférica es:

$$P_{atm} := 101325 \cdot \left( \frac{288 - 0.0065 \cdot z}{288} \right)^{5.256}$$

$$P_{atm} = 7.657 \times 10^4$$

En base a la relación atmosférica (Ra) existente en este lugar ( $0.2870 \times 10^3$ ) y a la temperatura ambiente (TA= 289 °K).

$$\delta_{aire} := \frac{P_{atm}}{Ra \cdot TA}$$

$$\delta_{aire} = 0.923 \quad \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

#### 4.1.4.3 Potencia del Quemador.

El tiempo de evaporización del agua o llamado secado forzado para el caso de de granos de maíz es de 3 horas (tev), y la entalpía de evaporización del agua es



2.5 J/kg (hev), en función de esto y de la cantidad de agua a remover de los 5 qq de maíz, se calcula la potencia de evaporización:

$$Pe := \frac{\Delta W \cdot hev}{tev \cdot 3600}$$

$$Pe = 13.21 \quad (\text{KW})$$

Ya conocida la potencia de evaporización y debido a que se empleará una cámara de combustión cerrada de forma ortogonal, la potencia real del quemador deberá considerarse de:

$$Pq := 2Pe$$

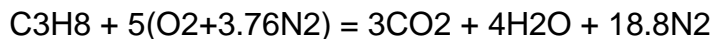
$$Pq = 26.419 \quad (\text{KW})$$

En el mercado todos los quemadores se venden con datos de BTU/h, por lo que al realizar la transformación, se encuentra la propiedad principal para realizar la compra de este equipo.

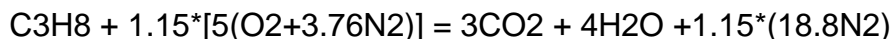
$$PQ = 9.021 \times 10^4 \quad (\text{BTU/h})$$

#### **4.1.4.4 Relación aire - combustible.**

Considerando la ecuación estequiométrica teórica para el gas propano.



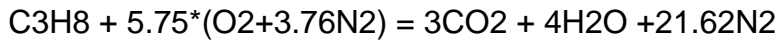
Para que el combustible sea quemado completamente es preciso añadir un 15% de exceso de aire<sup>21</sup>. Entonces se tiene la siguiente ecuación:




---

<sup>21</sup> Secado de granos a altas temperaturas, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Chile, 1991, pág. 60.

Siendo igual a:



Considerando los pesos moleculares de los componentes de la ecuación:

Oxígeno

$$PM_{O_2} := 32 \left( \frac{Kg}{Kmol} \right)$$

Gas Propano

$$PM_{C_3H_8} := 44 \left( \frac{Kg}{Kmol} \right)$$

Nitrógeno

$$PM_{N_2} := 28 \left( \frac{Kg}{Kmol} \right)$$

Multiplicando el número de moles (coeficientes) por los pesos moleculares respectivos se obtiene los kilos de aire y gas propano.

$$KG_{aire} := 5.75 \cdot (PM_{O_2} + 3.76 \cdot PM_{N_2})$$

$$KG_{aire} = 789.36 \quad (kg)$$

$$KG_{propano} := 1 \cdot PM_{C_3H_8}$$

$$KG_{propano} = 44 \quad (kg)$$

Siendo de esta manera la relación de aire combustible (gas propano):

$$RAC := \frac{KG_{aire}}{KG_{propano}}$$

$$RAC = 17.94$$

#### **4.1.4.5 Flujo másico del combustible necesario para la combustión.**

Debido a la utilización de gas propano, se parte del poder calorífico de este:

$$P_{cal} = 46340 \left( \frac{KJ}{Kg} \right)$$

Y considerando la potencia del quemador 26.419 (KW), se calcula el flujo másico para el combustible:

$$M_{gas} := \frac{P_q \cdot 3600}{P_{cal}}$$

$$M_{gas} = 2.052 \left( \frac{Kg}{h} \right)$$

#### **4.1.4.6 Flujo másico de aire necesario para la combustión.**

Ahora utilizando la relación de aire combustible, se calcula el flujo másico de aire:

$$M_{aire} := RAC \cdot M_{gas}$$

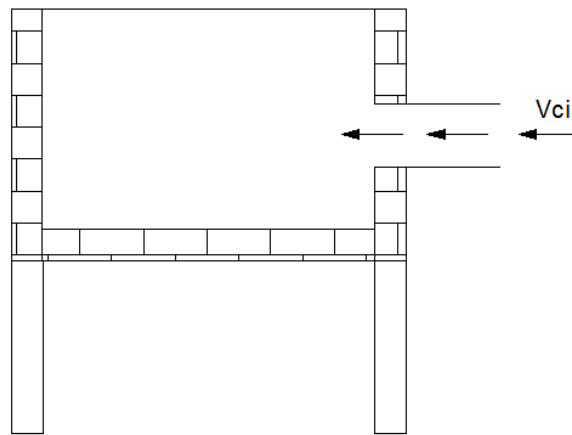
$$M_{aire} = 36.82 \left( \frac{Kg}{h} \right)$$

Para calcular el flujo en volumen dividimos para la densidad del aire en Sangolquí:

$$F_{aire} := \frac{M_{aire}}{\delta_{aire} \cdot 3600}$$

$$F_{aire} = 0.011 \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

Y por se calcula la velocidad del flujo del aire a la entrada de la cámara de combustión.



**Figura 4.22** Ingreso de aire a la cámara de combustión.

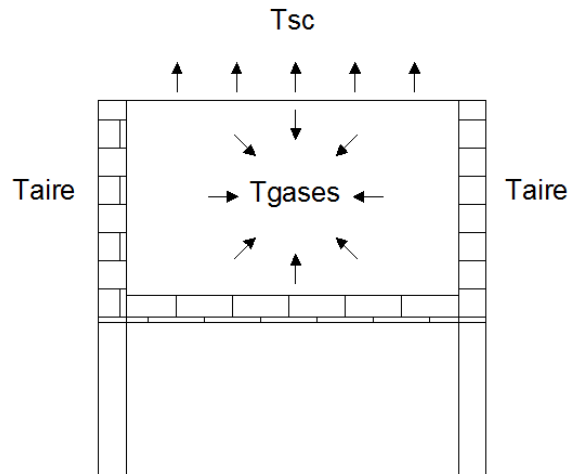
$$V_{ci} := \frac{F_{aire}}{A_q}$$

$$V_{ci} = 1.411 \left( \frac{m}{s} \right)$$

#### **4.1.4.7 Sistema térmico de combustión.**

El calor del sistema es generado por un quemador industrial dentro de las paredes de una cámara cuadrada recubierta de ladrillo refractaria, en cuyo sistema se generan pérdidas mínimas de calor.

Considerando la temperatura ambiente como  $T_{aire}$ , la temperatura de los gases de combustión en función de la capacidad calorífica del quemador industrial como  $T_{gases}$  y la temperatura de gases a la salida de la cámara de combustión e ingreso al intercambiador de calor como  $T_{sc}$ .



**Figura 4.23** Sistema térmico de cámara de combustión.

Se calcula la temperatura volumétrica de la cámara de combustión ( $T_{bgases}$ ) y por consiguiente la temperatura de película ( $T_{fc}$ ) con la cual se puede determinar el coeficiente de convección interno.

$$T_{aire} := 16 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$T_{gases} := 283 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$T_{sc} := 401 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$T_{bgases} := \frac{T_{aire} + T_{gases}}{2}$$

$$T_{fc} := \frac{T_{sc} + T_{bgases}}{2}$$

$$T_{bgases} = 149.5 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$T_{fc} = 275.25 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Las propiedades del aire para la temperatura de foco de combustión  
 $T_{fc}=548,25^{\circ}\text{K}$ :

$$\nu_{\text{gases}} := 44.34 \cdot 10^{-6} \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)$$

$$\kappa_{\text{gases}} := 0.0436 \left( \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{K}} \right)$$

$$P_{\text{rgases}} := 0.68$$

#### **4.1.4.8 Coeficiente de convección de interno.**

En busca de Reynolds y Nusselt para determinar el coeficiente de convección interna se calcula el diámetro hidráulico en función del área y el perímetro de la cámara de combustión (Dimensiones mostradas en la figura 4.19).

$$\text{Acc} := L_{ci} \cdot P_{ci} \quad P_{cc} := 2 \cdot (L_{ci} + P_{ci})$$

$$\text{Acc} = 0.318 \left( \text{m}^2 \right) \quad P_{cc} = 2.26 \quad (\text{m})$$

$$D_{hc} := \frac{4 \cdot \text{Acc}}{P_{cc}}$$

$$D_{hc} = 0.563 \quad (\text{m})$$

Siendo Reynolds:

$$\text{Re}_{ycc} := \frac{V_{ci} \cdot D_{hc}}{\nu_{\text{gases}}}$$

$$\text{Re}_{ycc} = 1.791 \times 10^4$$

Considerando que el número de Reynolds calculado está dentro del rango  $10000 < Re < 120000$ , se deduce que es un caso de convección forzada de flujo turbulento. Para el cálculo de Nusselt,  $n=0.4$  debido a que es un proceso de calentamiento

$$Nuc := (0.023) \cdot Re_{cc}^{0.8} \cdot Pr^{\eta}$$

$$Nuc = 50.285$$

Para determinar el coeficiente de convección interno se debe determinar el coeficiente de convección térmico por convección y por radiación.

Siendo el coeficiente de convección:

$$h_{ci} := \frac{Nuc \cdot \kappa_{gases}}{D_{hc}}$$

$$h_{ci} = 3.895 \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$$

Y el coeficiente de radiación:

$$h_{rc} := \frac{\sigma \cdot \epsilon_r \cdot (T_{SC}^4 - T_P^4)}{T_{SC} - T_P}$$

$$T_{SC} := T_{sc} + 273$$

$$T_{SC} = 674 \text{ } (^\circ K)$$

Temperatura de Salida

$$T_P := T_{bgases} + 273$$

$$T_P = 422.5 \text{ } (^\circ K)$$

Temperatura de Pared

$$\epsilon_r := 0.75$$

Emisividad para el ladrillo refractario

$$\sigma := 5.67 \cdot 10^{-8} \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K^4} \right)$$

Constante de Esteben Botzman

$$h_{rc} = 29.506 \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$$

Ya calculado los dos coeficientes, se determina el coeficiente total interno de convección.

$$h_{tc} := h_{ci} + h_{rc}$$

$$h_{tc} = 33.401 \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$$

#### **4.1.4.9 Pérdida de calor por cámara de combustión.**

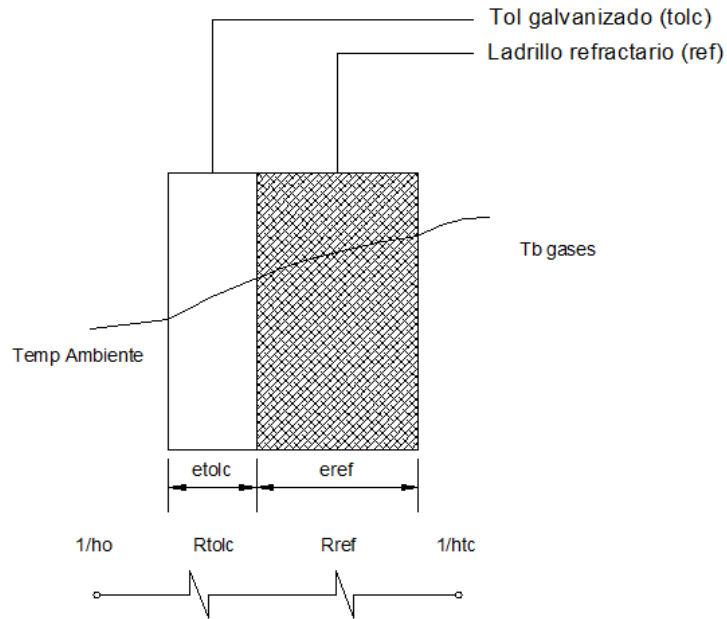
El área de transferencia de la cámara de combustión esta dada por la suma de las áreas de las paredes (Dimensiones mostradas en la figura 4.19):

$$A_{lc} := 2(L_c \cdot H_c + P_c \cdot H_c)$$

$$A_{lc} = 1.064 \left( m^2 \right)$$

Ya conocida con el área de transferencia se calcula el coeficiente global de transferencia de calor, con ayuda de la siguiente analogía eléctrica:





**Figura 4.24** Analogía eléctrica – Pared cámara de combustión.

Los espesores considerados para el diseño, fueron relacionados con los materiales más comunes que existen en el mercado.

$$etolc := 0.003 \quad (\text{m})$$

$$eref := 0.030 \quad (\text{m})$$

Los índices de conductividad térmica para los materiales que integran esta pared son:

$$Kref := 0.2421 \quad \left( \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{K}} \right)$$

$$Ktolc := 90 \quad \left( \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{K}} \right)$$

Entonces el coeficiente global de transferencia de calor en la pared de la cámara de combustión es.

$$U_{cc} := \frac{1}{\frac{1}{h_{tc}} + \frac{e_{ref}}{K_{ref}} + \frac{e_{tolc}}{K_{tolc}} + \frac{1}{h_o}}$$

$$U_{cc} = 3.224 \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$$

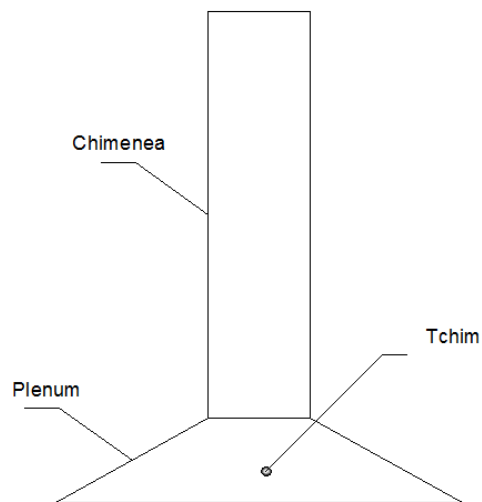
Y por consiguiente encontrando la cantidad de calor perdido por las paredes.

$$Q_{pcc} := A_{lc} \cdot U_{cc} \cdot (T_{bgases} - T_a)$$

$$Q_{pcc} = 458.002 \quad (W)$$

#### 4.1.5 Chimenea

Las pérdidas de calor en la salida de los gases de combustión se producen en el plenum y tubo de chimenea.



**Figura 4.25** Chimenea y Plenum.

#### **4.1.5.1 Calor perdido por chimenea.**

La temperatura de pared donde empieza el plenum es  $T_{chim} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$  y a esta temperatura el calor específico del aire es:

$$C_{pa} = 1.009 \times 10^3 \left( \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{K}} \right)$$

Conociendo estos datos se utiliza la siguiente expresión para determinar el calor perdido por la chimenea:

$$Q_{pchim} := M_{aire} \cdot C_{pa} \cdot \frac{(T_{chim} - T_a)}{3600}$$

Donde:

$M_{aire}$  : Es la masa del aire del proceso 36.82 (Kg/h).

$T_a$  : Es la temperatura ambiente 16 ( $^\circ\text{C}$ ).

De esta manera el calor perdido por la chimenea es:

$$Q_{pchim} = 299.277 \text{ (W)}$$

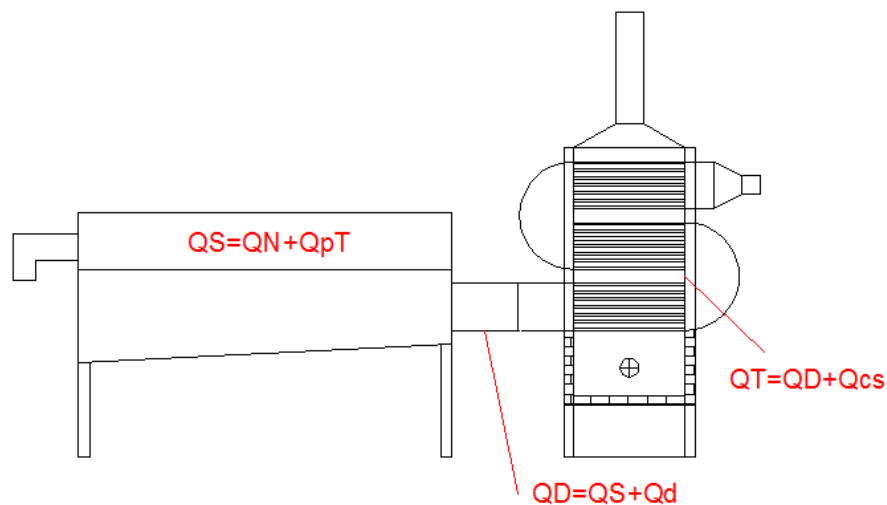
#### **4.1.5.2 Potencia real de quemador.**

La pérdida de calor total de sistema de calentamiento es la suma del calor perdido en la cámara de combustión, intercambiador de calor y chimenea.

$$Q_{sc} := \frac{Q_{pcc} + Q_{pic} + Q_{pchim}}{1000}$$

$$Q_{sc} = 1.06 \text{ (KW)}$$

Y de esta manera se puede determinar el calor total necesario, sumando el calor necesario hasta el ducto y el calor perdido en el sistema de calentamiento. **Este es el calor necesario para secar cinco quintales de maíz por hora de proceso.**



**Figura 4.26** Calor Necesario en el sistema.

$$Q_T := Q_D + Q_{sc}$$

$$Q_T = 30.969 \text{ (KW)}$$

Y Por ende la potencia real del quemador será

$$P_{QT} := \frac{Q_T \cdot 3600 \cdot 1000}{\text{Factor}}$$

$$P_{QT} = 1.057 \times 10^5 \left( \frac{\text{BTU}}{\text{H}} \right)$$

## 4.2 Análisis Mecánico y estructural

Por medio de un simulador de carga electrónico (SAP 2000) se realiza el análisis mecánico y estructural de la secadora (bastidor), la cual será expuesta a una carga de cinco quintales de maíz de forma estacionaria durante el proceso de secado.



*Figura 4.27 Configuración del bastidor a construir (Secador).*

### 4.2.1 Factores iniciales.

El análisis estructural busca determinar la deflexión máxima que se presentará en la configuración seleccionada para la construcción del bastidor (Figura 4.25), considerando el material de construcción, el tipo de perfil utilizado y la carga a la cual estará sometido.

#### 4.2.1.1 Material de la estructura.

El material seleccionado es el Acero A36, ya que es el más común del mercado en todos los perfiles.

**Tabla 4.1** Propiedades del acero A36.

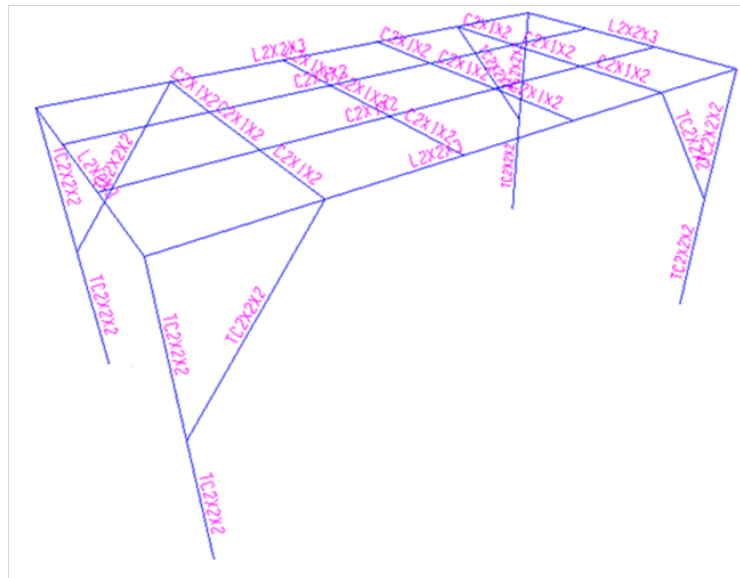
Propiedad	Unidades	Valor
Módulo elástico	N/m <sup>2</sup>	2x10 <sup>11</sup>
Coefficiente de Poisson	NA	0.26
Módulo cortante	N/m <sup>2</sup>	7.93x10 <sup>10</sup>
Densidad	kg/m <sup>3</sup>	7850
Límite de tracción	N/m <sup>2</sup>	4x10 <sup>8</sup>
Límite elástico	N/m <sup>2</sup>	2.5x10 <sup>8</sup>

Los perfiles que se emplearán serán:

TC 2x2x2: Tubo estructural cuadrado de 2 plg de lado y 2 mm de espesor

L 2x2x3 : Angulo estructural 90° de 2 plg de lado y 3 mm de espesor

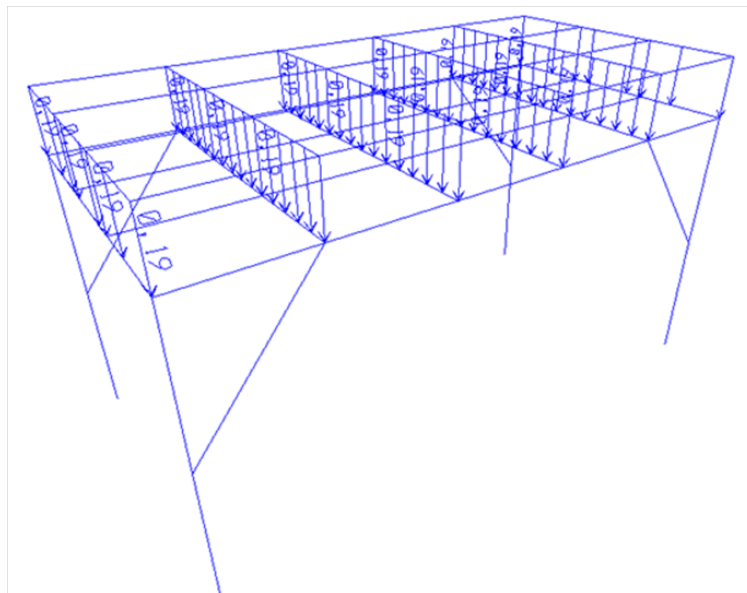
C 2x1x2: Correa tipo U de 2 plg de base, 1 plg de laterales y 2 mm de espesor



**Figura 4.28** Distribución de perfiles en bastidor.

#### 4.2.1.2 Cargas consideradas.

La carga a la cual estará sometido el bastidor será el equivalente a cinco quintales (0.5 ton), carga que la consideraremos como distribuida debido a que es una fuerza estática. El bastidor tiene una dimensión de 1.9 metros de largo y 1.4 de ancho (2.66 m<sup>2</sup>). Con lo que se considera una fuerza de 0.1875 toneladas ejerciéndose sobre cada metro cuadrado.

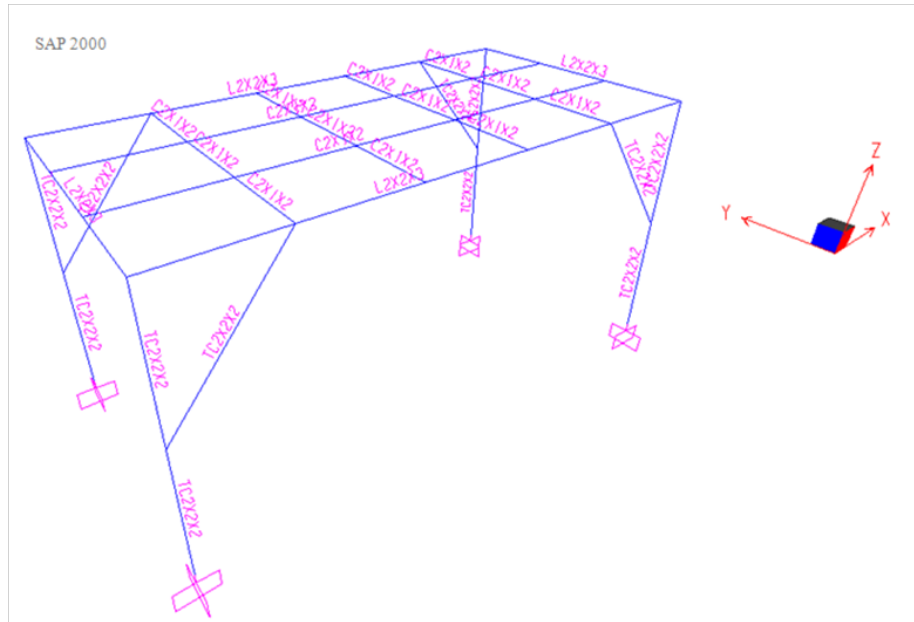


**Figura 4.29** Distribución de carga sobre el bastidor.

#### 4.2.2 Análisis estructural.

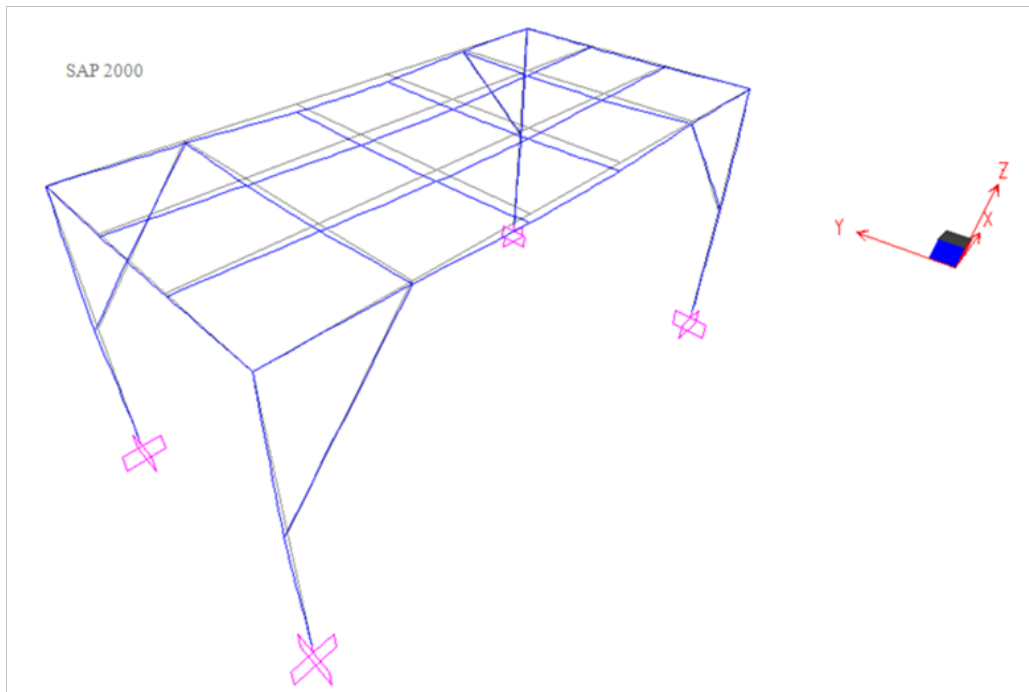
Ya realizado el análisis estructural del bastidor, ejecutamos el procedimiento estándar de análisis de deflexión máxima (estructural) en SAP 2000, para determinar la resistencia de la configuración.

a. Determinación de apoyos



**Figura 4.30** Apoyos estructurales del bastidor.

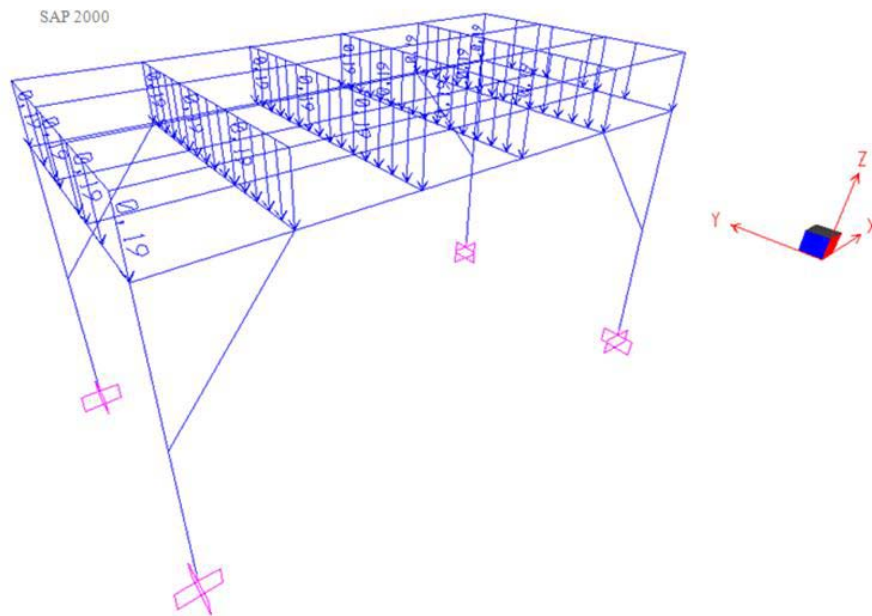
b. Deformación por carga muerta (Factor 800)



**Figura 4.31** Deformación del bastidor con carga muerta.

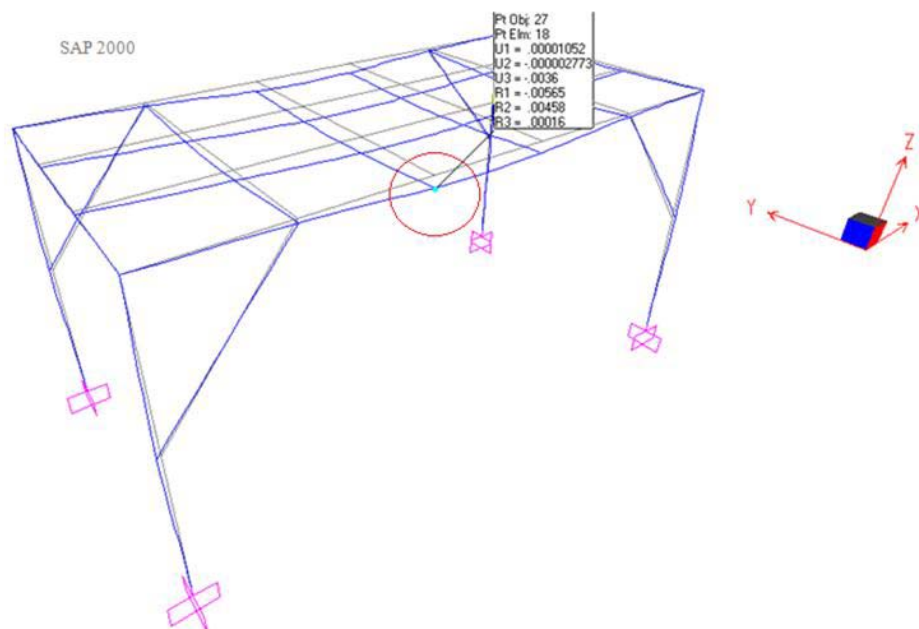


c. Asignación de Carga Distribuida: 0,1875 Ton/m<sup>2</sup>



**Figura 4.32** Asignación de cargas al bastidor.

d. Punto elemento de máxima deflexión



**Figura 4.33** Elemento estructural de mayor deflexión.

e. Análisis de deflexión por nudo.

**Tabla 4.2** Análisis de deflexión por nudos.

TABLE: Joint Displacements								
Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
1	DSTL2	Combination	-0,000027	0,000003984	-0,000055	-0,002181	-0,00354	-0,00009
2	DSTL2	Combination	0,001413	0,000404	-0,000051	-0,000367	-0,000005759	-0,001021
3	DSTL2	Combination	-0,001413	-0,000404	-0,000051	0,000367	0,000005759	-0,001021
4	DSTL2	Combination	0,001413	-0,000404	-0,000051	0,000367	-0,000005759	0,001021
5	DSTL2	Combination	-0,001413	0,000404	-0,000051	-0,000367	0,000005759	0,001021
7	DSTL2	Combination	0,000027	0,000003984	-0,000055	-0,002181	0,00354	0,00009
8	DSTL2	Combination	0	0	0	0	0	0
9	DSTL2	Combination	0	0	0	0	0	0
10	DSTL2	Combination	-0,000027	-0,000003984	-0,000055	0,002181	-0,00354	0,00009
11	DSTL2	Combination	0	0	0	0	0	0
12	DSTL2	Combination	0,000027	-0,000003984	-0,000055	0,002181	0,00354	-0,00009
13	DSTL2	Combination	0	0	0	0	0	0
18	DSTL2	Combination	-0,000038	-0,000008188	-0,001307	0,005612	-0,005134	-0,000759
19	DSTL2	Combination	-0,000013	0,000003328	-0,004264	0,006774	-0,005501	0,000187
20	DSTL2	Combination	0,000013	0,000003328	-0,004264	0,006774	0,005501	-0,000187
21	DSTL2	Combination	0,000038	-0,000008188	-0,001307	0,005612	0,005134	0,000759
22	DSTL2	Combination	0,000001836	-0,000002742	-0,003703	0,004985	0,006942	-0,000165
23	DSTL2	Combination	0,000001836	0,000002742	-0,003703	-0,004985	0,006942	0,000165
24	DSTL2	Combination	0,000038	0,000008188	-0,001307	-0,005612	0,005134	-0,000759
25	DSTL2	Combination	5,804E-07	0,000001073	-0,006146	0,003277	0,00369	0,000042
26	DSTL2	Combination	5,804E-07	-0,000001073	-0,006146	-0,003277	0,00369	-0,000042
27	DSTL2	Combination	0,000013	-0,000003328	-0,004264	-0,006774	0,005501	0,000187
28	DSTL2	Combination	-5,804E-07	0,000001073	-0,006146	0,003277	-0,00369	-0,000042
29	DSTL2	Combination	-5,804E-07	-0,000001073	-0,006146	-0,003277	-0,00369	0,000042
30	DSTL2	Combination	-0,000013	-0,000003328	-0,004264	-0,006774	-0,005501	-0,000187
31	DSTL2	Combination	-0,000001836	-0,000002742	-0,003703	0,004985	-0,006942	0,000165
32	DSTL2	Combination	-0,000001836	0,000002742	-0,003703	-0,004985	-0,006942	-0,000165
33	DSTL2	Combination	-0,000038	0,000008188	-0,001307	-0,005612	-0,005134	0,000759
34	DSTL2	Combination	0,000002037	-0,000001296	-0,001	0,00202	0,006885	-0,000035
35	DSTL2	Combination	-0,000002037	-0,000001296	-0,001	0,00202	-0,006885	0,000035
36	DSTL2	Combination	0,000002037	0,000001296	-0,001	-0,00202	0,006885	0,000035
37	DSTL2	Combination	-0,000002037	0,000001296	-0,001	-0,00202	-0,006885	-0,000035

De este modo se puede establecer que la mayor deflexión en el bastidor será de 0,001413 m (columna U1) y la menor deflexión causada en toda la estructura será - 0.006146 m (columna U3). Lo cual al comparar con la deflexión máxima permitida para el acero A36, nos permite concluir que el bastidor resistirá satisfactoriamente la carga a la cual se lo someterá.

### 4.3 Diseño del control eléctrico.

El sistema de control estará relacionado con el quemador y el ventilador que fueron seleccionados en el diseño térmico. El primero es el instrumento de calentamiento del aire desde temperatura ambiente hasta 280 °C aproximadamente, dentro de la cámara de combustión. Este aire viaja en sentido vertical y calienta por medio de un efecto de transferencia de calor, al aire que fluye por los tubos del intercambiador de calor que es generado por el ventilador.

La temperatura promedio de secado del maíz es 60°C, temperatura que debe mantenerse dentro de la cámara de secado. El mayor problema del tipo de secadora de lecho horizontal estático, es justamente mantener la temperatura de forma constante, ya que la temperatura puede sobrepasar el límite de secado o mantenerse por mucho tiempo debajo del mismo.

Debido a esta razón se necesita implementar un sistema automático de encendido y apagado del ventilador, el cual por medio de un sensor de temperatura fijado con la temperatura de secado, se active o desactive, ocasionando un sistema fijo de secado.

El sistema de control no interactúa con el quemador debido a las siguientes razones:

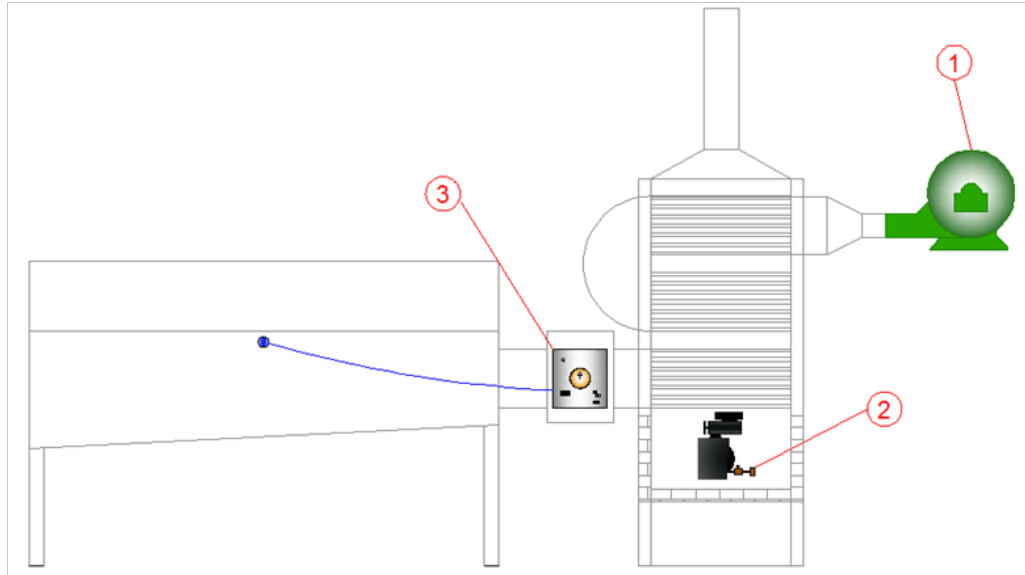
- a) Una electroválvula que controle el paso de GLP al quemador es muy costosa y difícil de encontrar con bobinas de 110V.
- b) El constructor aconseja no realizar excesivos arranques, para conservar la vida útil del chispero automático.
- c) El sistema tardaría mucho tiempo por recuperar la temperatura ideal y provocaría un secado no eficiente del maíz, llegando hasta perder la materia prima por humedad transitoria en el grano.

#### **4.3.1 Configuración del sistema.**

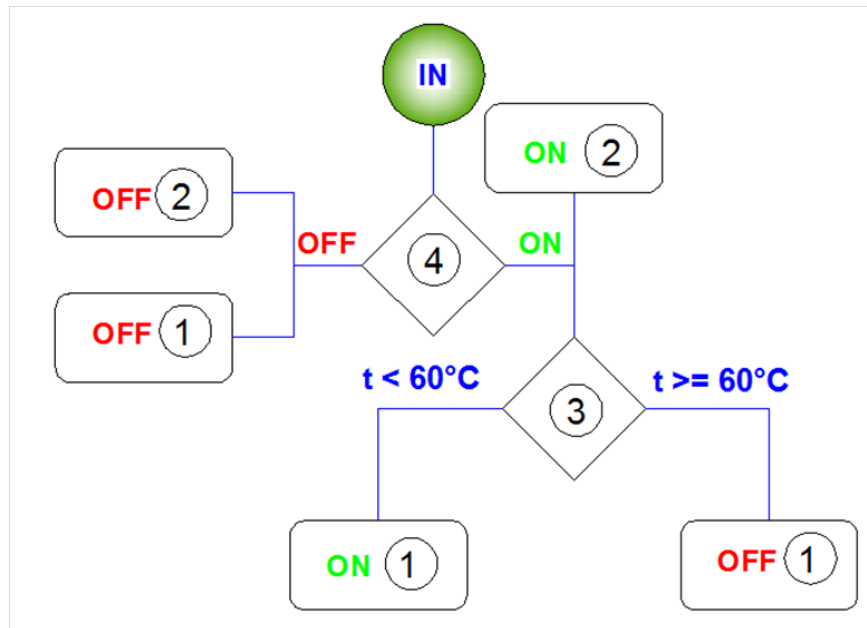
El sistema esta formado por:

1. Ventilador Centrifugo, alimentación 110V con control de encendido y apagado integrado
2. Quemador Industrial de gas, sistema de encendido 110V con control de encendido remoto, paneleado por medio de un contactor con opción: NA y NC.

3. Contactor térmico regulable en °C (Apreciación 0-400°C Precisión 1°C), con ingreso de señal PTC - Termocupla, y salidas NA y NC. Bobina alimentada por 110 V.
4. Switch de encendido 110V.



**Figura 4.34** Disposición del sistema de control.



**Figura 4.35** Flujo del sistema de control.

### 4.3.2 Diagrama de control.

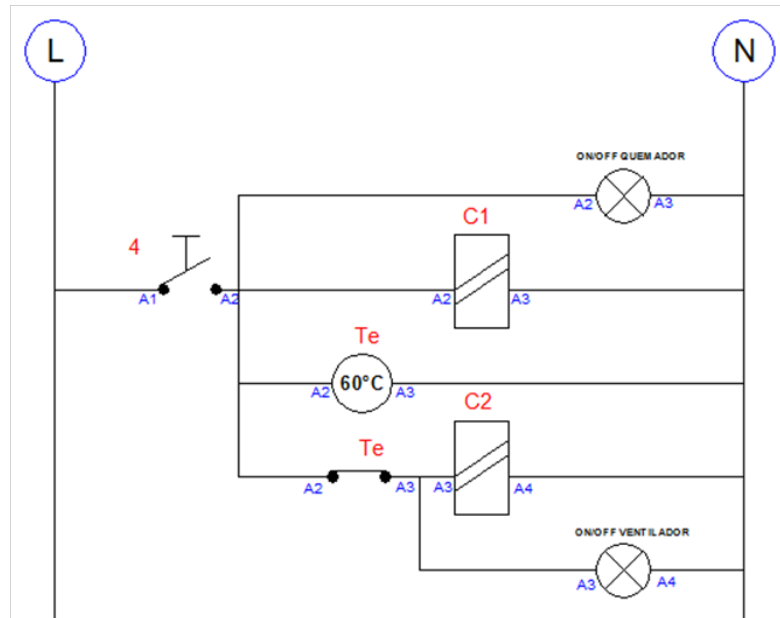


Figura 4.36 Diagrama de Control.

### 4.3.3 Diagrama de potencia.

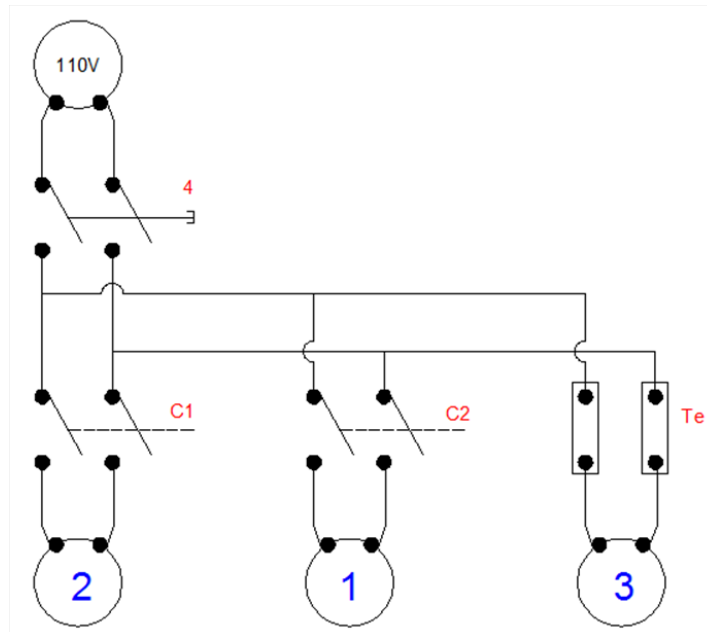


Figura 4.37 Diagrama de Potencia.

## 4.4 Selección de equipos.

En base al diseño térmico y eléctrico se debe seleccionar ciertos equipos que cumplan con los variantes que fueron calculadas y/o asumidas.

### 4.4.1 Ventilador

Los datos que se consideraron para la selección del ventilador fueron:

- a. Velocidad del aire: 1.277CFM
- b. Cañón de entrega: 4"
- c. Alimentación eléctrica: 110 V

Para la cantidad de aire requerida existen en el mercado un tipo de ventilador centrífugo, denominado venterol, muy utilizado en la construcción y aplicaciones industriales diversas, que cubren con facilidad los requerimientos de este diseño.

El equipo seleccionado es un ventilador marca Nanhai Songye, modelo BL1300B de 1300 CFM y de procedencia China. El respaldo técnico esta garantizado por varias empresas locales.




*Figura 4.38 Ventilador Seleccionado.*

## 4.4.2 Quemador

Para seleccionar el quemador se consideró los siguientes datos:

- a. Capacidad Calorífica: 105700 Btu/hr
- b. Combustible: GLP
- c. Cañón de combustión: 4"
- d. Alimentación eléctrica: 110 V
- e. Encendido: Automático

El equipo seleccionado, es un quemador marca Wayne, modelo P265EP el cual cumple con las especificaciones requeridas, este tipo de quemadores son fabricados en Estados Unidos y su representación en el mercado ecuatoriano es total por medio de una empresa local.



P265F GAS BURNER	
Minimum Btu/hr Input	65,000
Maximum Btu/hr Input	200,000
Voltage	120 Volt, 60Hz
Gas Pressure Required	Natural gas - 4.5" W.C. LP gas 11.0" W.C.
Ignition Source	Standing pilot or Direct Ignition (recommended)
Gas Valve	24 Volt
Combustion Chamber	
Floor Area	Minimum 0.6 sq. in./1000 Btu/hr Maximum 0.9 sq. in./1000 Btu/hr
Gas Connection	1/2" NPT
Air Tube Diameter	4"

AIR TUBE LENGTH	FUEL	IGNITION*	SHIPPING WEIGHT EACH
8"	Nat	S.P.	24 lbs.

\*S.P. = Standing Pilot

**Figura 4.39** Quemador de 200000 BTU/Hr.

### 4.4.3 Termo controlador

Para terminar con la selección de equipos, es necesario encontrar en el mercado un contactor que abra o cierre sus contactos por medio de un parámetro de temperatura.

- a. Sensor de Temperatura: RT, PTC, Termocupla
- b. Contactos: 2 NO y 2 NC
- c. Alimentación eléctrica: 110 V
- d. Rango de temperatura: 0 - 100 °C

El mercado tiene una oferta muy amplia de contactores de este tipo, por costos y tecnología fue elegido, un micro-controlador de temperatura de marca Nito, modelo K965, de fabricación China. Este controlador cumple con los requerimientos del control eléctrico diseñado y adicionalmente cuenta con un display digital que muestra la temperatura censada por el PTC de alta resistencia y además cuenta con leds de encendido y apagado.



**Figura 4.40** Termo-controlador Seleccionado.



# CAPÍTULO 5

## CONSTRUCCION Y MONTAJE

### 5.1 Diagrama de procesos

Con el afán de optimizar y detallar los posibles errores al momento de construir el equipo, se utilizó una representación gráfica de los pasos que se siguen en toda la secuencia de actividades. Actualmente existen distintos tipos de interpretaciones gráficas de procesos, el más utilizado y seleccionado para esta ocasión es el diagrama de bloques (El diagrama de proceso diseñado para la construcción del equipo se detalla en el Anexo B).

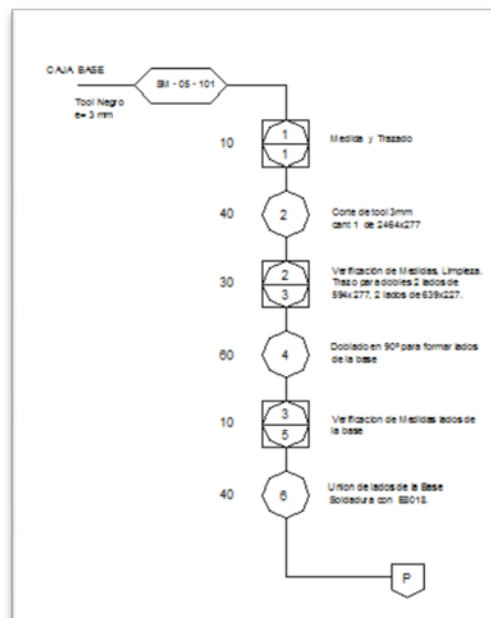


Figura 5.1 Hojas de Proceso.

Este diagrama muestra la secuencia cronológica de todas las operaciones de taller o en máquinas, inspecciones, márgenes de tiempo y materiales a utilizar en el proceso de fabricación o administrativo, desde la llegada de los materiales hasta el análisis visual del equipo terminado. Señala la entrada de todos los componentes y subconjuntos al ensamble con el conjunto principal, constituyéndose en un plano o dibujo de taller; este diagrama presenta en conjunto detalles de diseño como ajustes tolerancia y especificaciones, todos los detalles de fabricación o administración se aprecian globalmente aquí.

## **5.2 Recursos de fabricación**

En función del diagrama de proceso de construcción del equipo que está ligado al diseño térmico y mecánico, se analiza el recurso necesario para realizar la construcción de las sub-partes del equipo y el acoplamiento del sistema. Los recursos necesarios son:

- a. Espacio físico para construcción
- b. Materiales
- c. Equipos y Herramientas
- d. Instrumentos

### **5.2.1 Espacio Físico para construcción.**

Al realizar el diagrama de proceso en su estado borrador, se encontró que los tiempos muertos al no contar con un lugar que cuente con todas las herramientas y equipos para el desarrollo de la secuencia metalmecánica, era muy alto y provocaba retrasos en el plan de construcción.

Por tal motivo se realizó las gestiones necesarias con un taller metalmecánico de la ciudad de Quito, en el cual pudiésemos acceder a todos los equipos necesarios, el suministro de material este cercano y el soporte técnico sea total.

*Identificación:* Taller Metalmecánico – VC Metal

*Dirección:* Cdla. Vencederos de Pichincha S5-2356

*Propietario:* Sr. Víctor Criollo



**Figura 5.2** Panorámica del espacio físico de construcción.

### **5.2.2 Materiales.**

A continuación se listan los materiales y componentes utilizados para la construcción del secador.

### 5.2.2.1 Material metalmecánico.

**Tabla 5.1** Lista de material metalmecánico.

ORDEN	DESCRIPCION DE MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
1	Angulo de 2" x 3/16"	uni	1
2	Ángulos de 1" x 1/8"	uni	5
3	Juegos de pernos 5/16 x 1"	uni	150
4	Plancha de acero inoxidable 1.5 mm	uni	1
5	Plancha de acero al carbono negro de 2 mm	uni	1
6	Plancha perforada de acero de 2 m x 1 m x 2 mm Ø 1/8"	uni	1
7	Planchas de acero al carbono de 1.8 mm	uni	2
8	Planchas de acero galvanizado de 0.75 mm	uni	5
9	Planchas de acero al carbono negro de 3 mm	uni	4
10	Platinas de 1" x 1/8"	uni	4
11	Remaches pop de 3/16" x 1/2 "	uni	100
12	Tubos cuadrados de 50 x 50 x 2mm	uni	2
13	Tubos de acero de 1" espesor 2 mm	uni	24
14	Tubos rectangulares de 40 x 20 x 2 mm	uni	2

### 5.2.2.2 Material eléctrico.

**Tabla 5.2** Lista de material eléctrico.

ORDEN	DESCRIPCION DE MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
15	Amarra cable 4"x2,5MM rápidos (50 uni)	uni	1
16	Amarra cable 6"x4,8MM rápidos (50 uni)	glb	1
17	Cable Flexible #18	m	30
18	Conector Recto BX 1/2"	uni	4
19	Control de Temperatura 0-400°C 110/220V	uni	1
20	Gabinete Metálico 20x20x16	uni	1
21	Interruptor tipo palanca	uni	1
22	Manguera anillada BX 1/2"	uni	4
23	Terminal conector tipo horquilla	uni	12
24	Terminales PIN#18	uni	20
25	Termocupla tipo RT	uni	1

### 5.2.2.3 Material complementario.

**Tabla 5.3** Lista de material complementario

ORDEN	DESCRIPCION DE MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
26	Abrazaderas de 1/2"	uni	2
27	Adaptador b-3 de 1/2 bronce	uni	2
28	Adaptador b-3 de 3/8	uni	2
29	Anticorrosivo	gal	1
30	Bushing de 3/4x1/2	uni	2
31	Cilindro de gas 15 kg	uni	1
32	Ladrillos refractarios	uni	36
33	Manguera 300 psi	m	5
34	Mortero refractario humedo	Kg	35
35	Neplo 122 1/4x1/4	uni	2
36	Pintura de alta temperatura	gal	2
37	Quemador a gas Marca Wayne	uni	1
38	Reductor de 1/4x1/2 G-4	uni	2
39	Regulador 753B	uni	1
40	Rollo de lana de vidrio de 50 mm de espesor	uni	1
41	Silicón transparente	uni	1
42	Venterol eléctrico de 4" 110V	uni	1

### 5.2.2.4 Material consumible.

**Tabla 5.4** Lista de material consumible

ORDEN	DESCRIPCION DE MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
43	Broca 3/16x3-1/2"	uni	1
44	Broca de cobalto 1/4"	uni	1
45	Broca de cobalto 5/32"	uni	1
46	Broca HSS 3/16"	uni	1
47	Broca HSS 5/32"	uni	1
48	Brochas blancas 2 1/2"	uni	2
49	Cepillo multiusos	uni	2
50	Disco de corte 7"	uni	2
51	Disco desbaste 7"	uni	2

**Tabla 5.4** Continuación .....

52	Disco de corte	uni	2
53	Electrodos E6011 Ø 1/8"	Kg	5
54	Envases	uni	2
55	Juego de Brocas	glb	1
56	Lija de agua	uni	6
57	Sierra Grano fino	uni	1
58	Sierra Grano grueso	uni	1
59	Taípe	uni	2
60	Teflones	uni	3
61	Tiñer	gal	2

#### **5.2.2.5 Equipos de seguridad industrial y varios.**





**Tabla 5.5** Lista de equipos de seguridad industrial y varios.

<b>ORDEN</b>	<b>DESCRIPCION DE MATERIALES</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
62	Gafa protección clara	uni	4
63	Guantes de cuero	uni	2
64	Overoles	uni	2
65	Plástico negro ( Cobertor)	m	15
66	Respirador gases tóxicos	uni	4





#### **5.2.3 Equipos y herramientas.**

Los equipos utilizados para la construcción del equipo, en su gran mayoría son muy antiguos, pero con un excelente performance, gracias al protocolo de mantenimiento al cual han sido expuestos. A continuación el listado de equipos y/o herramientas utilizados.

**Tabla 5.6** Lista de equipos y herramientas

<b>Sierra de vaivén</b>	
<b>Características:</b> Longitud de la sierra: 14" Voltaje: 120 V Bomba de refrigeración Switch de fin de corte Motor eléctrico	
<b>Guillotina para acero</b>	
<b>Características:</b> Panel de control eléctrico. Switch de encendido principal. Pedal para accionar el corte Corte máximo 2 mm de espesor. Voltaje: 220 V, Motor eléctrico.	
<b>Fresadora de bancada</b>	
<b>Características:</b> Tablero de control Switch de encendido principal. Volantes para avance manual longitudinal y transversal de la mesa. Volante regulador de altura del mandril. Voltaje: 220 V Potencia 12HP Bomba de refrigeración	
<b>Soldador por Arco</b>	
<b>Características:</b> Soldadura eléctrica al arco (electrodos) Alta y baja desde 5 a hasta 330 a. Monofasico 220 V. o Trifasico 380 V.	

**Tabla 5.6** Continuación.....

<p><b>Cortadora de Plasma</b></p> <p><b>Características:</b> Tablero de control para el amperaje y tipo de operación a realizar (corte, perforación) Switch de encendido principal Alimentación de aire comprimido. Trampa de agua. Voltaje: 220 V o trifásico Amperaje: 20 A Peso 80 Kg.</p>	
<p><b>Dobladora Manual Universal</b></p> <p><b>Características:</b> Contrapesos en las dos palancas. 18 Muestras desplazables con pernos hexagonales. Prensa láminas.</p>	
<p><b>Taladro de pedestal</b></p> <p><b>Características:</b> Permite usar juego de brocas hasta 22 mm Potencia:620 w RPM:1725 Voltaje:110V Amperaje: 10A</p>	
<p><b>Esmeril</b></p> <p><b>Características:</b> RPM:1720 HP:1 Voltaje:110V Amperaje: 8A</p>	



**Tabla 5.6** Continuación.....

<b>Amoladora</b>	
<p><b>Características:</b>                      Se puede usar disco de corte y desbaste, hasta 18 cm de diámetro.                      Potencia:2000 w                      Amperaje: 17.2A                      Frecuencia: 50-60 Hz</p>	

#### 5.2.4 Instrumentos.

A continuación se encuentran listados algunos de los instrumentos más representativos que fueron utilizados para la construcción del equipo secador.

**Tabla 5.7** Lista de Instrumentos

ORDEN	INSTRUMENTO	CARACTERISTICA
1	Compás de puntas	(1m de radio)
2	Desarmadores	Plano y de estrella
3	Dobladora de tubos	Para tubos de 1"
4	Escuadra	(15 cm – 90º)
5	Flexo metro	(3m)
6	Granete	Para acero
7	Juego de Copas	5mm a 22mm
8	Martillo	20 Lb
9	Nivel	(imantado)
10	Pie d Rey	Aprec 0.0001
11	Playo	A presión
12	Rayador	Para acero
13	Regla de ingeniero	(30 cm )
14	Sierra	Grano fino y grueso
15	Soplete	1/4 de gal.
16	Tijeras	Para tool

### 5.3 Documentación

Todo proceso de construcción se fundamenta en una base teórica definida y en un plan de actividades detallado en busca del cumplimiento de objetivos.

Con respecto al primer requerimiento, se puso en práctica ciertos conocimientos técnicos aprendidos y practicados en el período de aprendizaje universitario, teniendo entre los principales:

- Soldadura eléctrica ( tipo puntos)
- Soldadura por arco eléctrico
- Doblado y conformado
- Mecanizado
- Seguimiento de planos de construcción y hojas de procesos.

Adicionalmente se revisó y aplicó las normas INEN de procesamiento de alimentos, en especial del maíz: NTE 0187:95, NTE 2250:00 y NTE 0543:00.

Por otro lado el proceso de construcción fue monitoreado y evaluado en función de un cronograma de trabajo (Anexo 5.3.A), en donde se muestra:

- Actividad
- Responsable
- Plan
- Seguimiento

En base a este documento, la etapa de construcción fue desarrollada en función a una sub-planificación del proyecto, y ayudo a evidenciar la necesidad de hojas de control de obra (herramienta industrial de planificación y seguimiento) ya que estas hubieran ayudado a la eliminación general de imprevistos.

## 5.4 Construcción

El proceso utilizado para la construcción del sistema secador de gramíneas, fue cíclico, considerando que este nos ayudaría a reaccionar de mejor manera contra los errores y holguras presentes en cada sub sistema al momento de su acople.

### 5.4.1 Sistema de combustión.

El sistema de combustión consta de: base y cámara de combustión. La base está construida con acero al carbono doblado de 3mm y ángulo de 1 x 1/8 “, que ayudó al acople con la cámara de combustión. Consta de una compuerta para que pueda ingresar el aire en el proceso de combustión, la cual también será utilizada para realizar limpieza de los desechos del proceso de combustión.



*Figura 5.3 Partes de la cámara de combustión.*

La cámara de combustión está construida con acero al carbono de 3mm, las paredes están cubiertas con ladrillo y mortero refractario para provocar un efecto aislante en la combustión de GLP. Ángulos de 1 x 1/8” fueron utilizados para el acople con la base y el intercambiador de calor.



**Figura 5.4** Recubrimiento refractario.

En función del diámetro del cañón del quemador (4") se realizó una perforación en una de las paredes, que por el exterior tiene una abrazadera construida con platina de 1 x 1/8", la cual ayudará a fijar e instalar en voladizo el quemador seleccionado.



**Figura 5.5** Facilidades construidas.

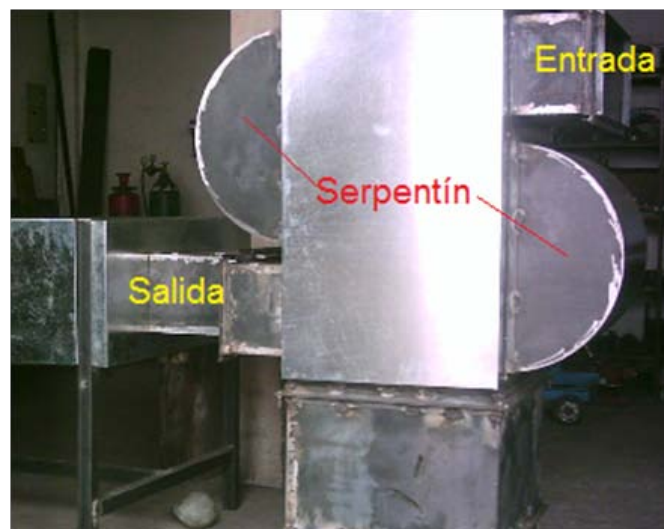
Para la base y la cámara de combustión se utilizó un proceso de doblado en función de obtener una sección cuadrada y paredes que formen un solo cuerpo. En la figura 5.3, se puede visualizar tanto la ase como la cámara de combustión unidas por una junta empernada (ángulos de 1 x1/8").



**Figura 5.6** Base y cámara de combustión.

#### 5.4.2 Intercambiador de calor y chimenea.

En función del diseño térmico se construyó un sistema de intercambio por inducción, en donde el aire ingresa al sistema por medio de un venterol centrífugo, viaja desde el ducto de entrada, circula por varios tubos que están contruidos tipo serpentín los cuales son calentados por los gases de combustión y llegan a la salida, con cierta temperatura superior a la inicial.



**Figura 5.7** Entrada y Salida del aire de proceso.

La carcasa se construyó en acero al carbono de 3 mm, al igual que las placas soportes de los tubos, tanto al ingreso como a la salida.

Estas placas tienen 75 perforaciones de 1", en donde reposan por medio de soldadura los tubos de 1" x 1.5 mm, que forman el serpentín. A los extremos superior e inferior del intercambiador, se soldaron ángulos perforados de 1" x 1/8", los cuales servirán para completar las juntas empernadas con la cámara de combustión y chimenea.



**Figura 5.8** Carcasa y Placas soporte de tubos del serpentín.

Las paredes del intercambiador se recubrieron por lana de vidrio de espesor 2" en busca de disminuirla temperatura de las paredes y permitir un libre contacto al operador. Sobre la lana de vidrio se colocó acero al carbono galvanizado de 1.5 mm en forma de tapas) proceso de doblado, para cuidar a la estructura de agentes de deterioro y estética del equipo.



**Figura 5.9** Aislamiento térmico y juntas.

Por otro lado, el plenum tiene como finalidad evacuar los gases que producen la cámara de combustión y el proceso de calentamiento del aire de proceso. Esta construida con una base en ángulo de 1 pulg x 2mm la que sirve para acoplar con el intercambiador de calor, y sus paredes fueron desarrolladas por medio de doblado de acero al carbono de 3 mm.



**Figura 5.10** Chimenea de gases de combustión.

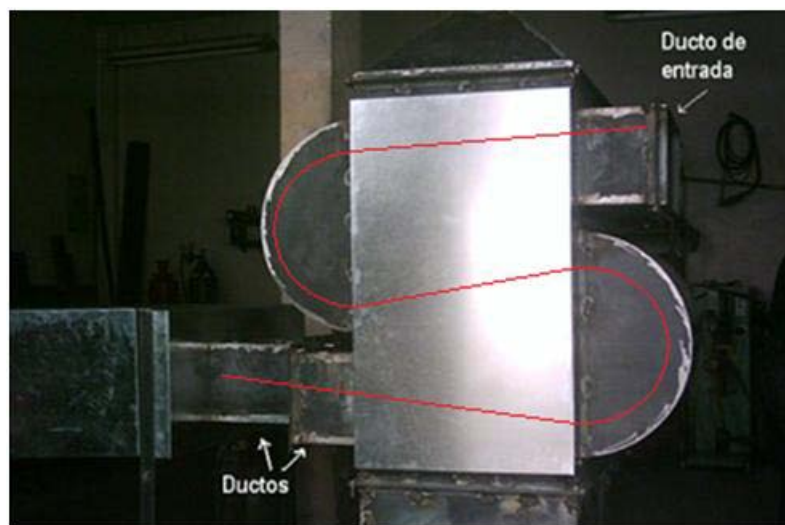
El plenum también fue construido en acero al carbono de 3 mm, y se lo formó por medio de un proceso de rolado. Este contiene un sombrero chino para gases, el cual fue construido en el mismo material y su estructura en platina.



*Figura 5.11 Chimenea de combustión.*

### **5.4.3 Ductos de alimentación.**

Los ductos de alimentación son el agente de transmisión del aire de proceso; inicia su recorrido a manera de recolector de aire en la ubicación del venterol y termina en un recolector al ingreso de la cámara de secado.



*Figura 5.12 Recorrido de ductos de alimentación.*



Fueron contruidos con acero al carbono de 3mm y ángulo de 1pulg x 2mm, este último utilizado como estructura para la brida de acople, están recubiertos con lana de vidrio con un espesor de 2pulg y forrado con acero al carbono galvanizado de 1.5mm, para evitar contactos directos. Esto debido a que el aire calentado en el serpentín de tubos llegará a estos puntos en un rango de temperatura alta.

#### 5.4.4 Secadora.

La cámara de secado tiene como finalidad la deshidratación de las gramíneas por medio del aire caliente que genera el intercambiador de calor. Esta estructura fue construida en función del diseño mecánico detallado en el capítulo 4.2 Análisis Mecánico y estructural.

La estructura base se construyó en tubo cuadrado de 1" x 2mm, las paredes internas con acero al carbono de 3mm doblado y cuenta con una entrada del ducto de aire que viene del intercambiador de calor, en la parte baja tiene un desfogue para el agua o condensado.



**Figura 5.13** Estructura de la cámara de secado.

Tiene una estructura construida con perfiles C 25x50x25x3 donde se apoya la plancha perforada de 2000x900x3 mm.



**Figura 5.14** Estructura de fijación para plancha perforada.

Las gramíneas a ser secadas se colocara sobre una plancha perforada de 1000mm x 600mm, las perforaciones son de 3mm, la misma que se colocarán en la estructura diseñada con perfiles C.



**Figura 5.15** Plancha Perforada.

Para la recolección del producto a secar se construyeron soportes laterales, en acero al carbono de 2mm para las paredes interiores con un recubrimiento de lana de vidrio de 1" y cubierto por acero al carbono de 2mm, con una boca para la salida del producto.



*Figura 5.16 Paredes de contención del producto y boca de descarga*

## 5.5 Montaje

### 5.5.1 Sub-Sistemas Construidos.

Como se detalló en el punto anterior de este capítulo, todos los sub-sistemas construidos: cámara de combustión, intercambiador de calor, ductos, plenum y cámara de secado cuentan con bridas para realizar el acople con la ayuda de pernos.

De esta manera para el ensamblaje de estos sistemas se inicia con el acople de la cámara de secado y la base de la cámara. Cada uno de los puntos de unión cuenta con un perno M12 de 1 1/2"; luego de realizar el ajuste por medio de un

torquímetro se sitúa al conjunto en un lugar amplio, considerando que es el eje de ensamble de los demás cuerpos del equipo (secadora e intercambiador).

Con la ayuda de un montacargas, se desciende al intercambiador de calor sobre el conjunto cámara de combustión y por medio de las bridas se unen los cuerpos con una junta empernada.



**Figura 5.17** Ensamblaje de Intercambiador Calor con Cámara de Combustión



**Figura 5.18** Constitución de junta empernada

Después de realizar el ensamblaje mecánico de estos dos cuerpos, y seguros de que no serán expuestos a golpes o caídas, se coloca el recolector de aire de proceso (ingreso), el cual también constituye el soporte para el venterol.



**Figura 5.19** Ensamblaje del Recolector del aire de proceso

Ya ensamblado el sistema de combustión y el intercambiador de calor, se arma la junta empernada que unirá al intercambiador de calor con la cámara de secado.



**Figura 5.20** Ensamblaje de Intercambiador de Calor con Cámara de Secado.

Y por último se realiza la unión del plenum al conjunto intercambiador de calor y cámara de combustión. Este proceso se realiza en dos partes, considerando que el recolector de gases de combustión se empernará por medio de una junta y la chimenea se unirá a este por medio de una abrazadera.



**Figura 5.21** Ensamblaje del recolector de gases y tiro.

De esta manera el equipo quedó ensamblado por completo y listo para recibir a los sub-sistemas seleccionados, para los cuales se diseñó y construyó cavidades que puedan albergarlos.

### **5.5.2 Sub-Sistemas Seleccionados.**

En función del diseño térmico se determinó la utilización de dos equipos de soporte para el funcionamiento del equipo secador: Un quemador industrial impulsado por GLP y un ventilador centrífugo (para esta aplicación un venterol).

El quemador fue instalado en un boquete construido según el diámetro externo del cañón y anclado por medio de una abrazadera de sujeción, soldada a la pared externa de la cámara de combustión.



**Figura 5.22** Ensamblaje de quemador

Con respecto al venterol, la instalación se vio muy simplificada, debido a que el soporte anclado al recolector del aire de proceso fue realizado en función a la base del equipo, la cual cuenta con ranuras para pernos, que facilitan un anclaje genérico.



**Figura 5.23** Ensamblaje de venterol

El proceso de secado de gramíneas provoca la interacción del encendido del quemador y el ventilador por lapsos de tiempo definidos en función de la

temperatura presente en la cámara de secado. Por tal motivo el sistema eléctrico expuesto en el capítulo 4, se montó en una caja moldeable para protección de agentes externos y se lo ubicó en el centro del equipo, de donde por medio de canales eléctricos se guía el cableado de fuerza y control de los equipos soporte.



**Figura 5.24** Ensamblaje sistema eléctrico

El sensor de temperatura que alimenta el sistema de control, fue instalado en la cámara de secado al nivel medio de la cama, ingresando a la parte interna por medio de un soporte que atraviesa la pared media, como se muestra en la figura 5.24.



**Figura 5.25** Ensamblaje del sensor de temperatura



### 5.5.3 Sistema Total

El sistema ensamblado por completo, mediante las juntas empernadas se detalla en los puntos anteriores, tiene un largo de tres metros y cincuenta y cinco centímetros, un ancho de ochenta y cinco centímetros y considerando el plenum un alto de tres metros doce centímetros.



*Figura 5.26 Equipo ensamblado en su totalidad*

Para efectos de pruebas, el equipo fue alimentado por medio de un cilindro de gas doméstico (como se aprecia en la figura 5.25), pero para operación se instaló una centralita.

## 5.6 Seguridad industrial

La seguridad industrial se ocupa de dar lineamientos generales para el manejo de riesgos en un proceso constructivo. El análisis de riesgos es la única herramienta que nos ayudó a observar en que punto de nuestro proceso y que sub-parte merece mayor atención de nuestra parte.

El análisis de riesgo ejecutado se muestra en el Anexo 5.6.A. y su imagen en la figura 5.27.

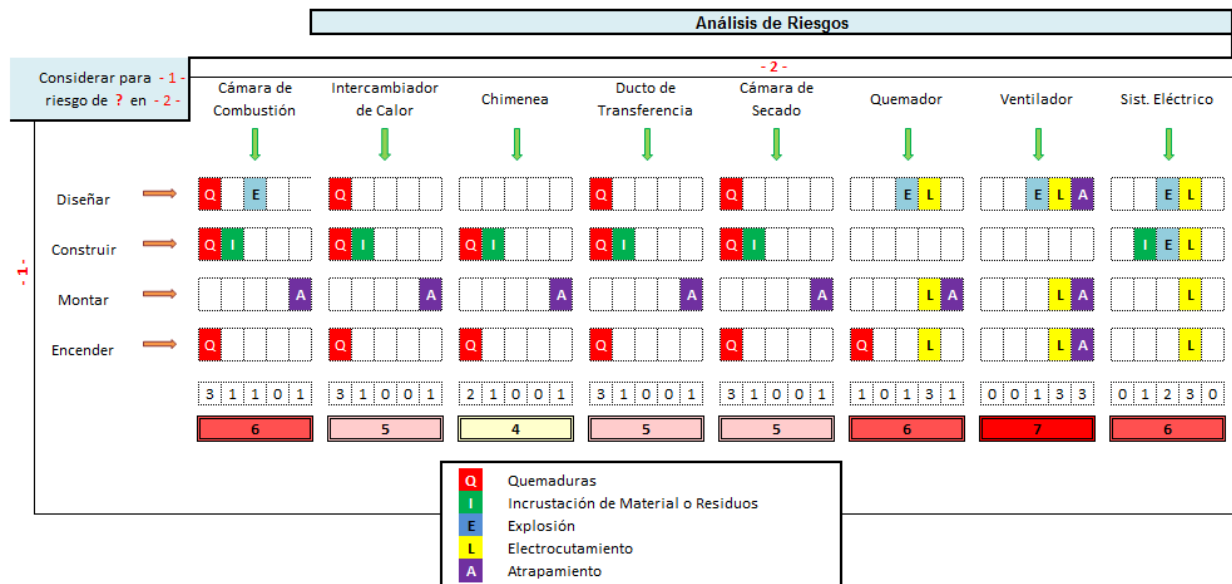
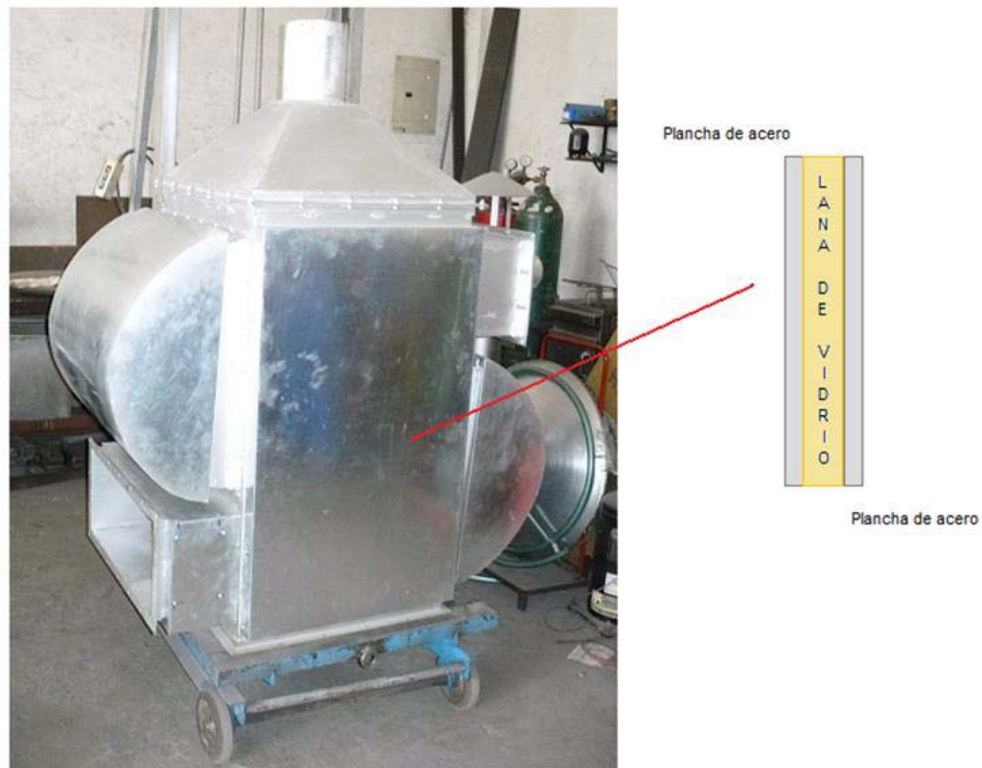


Figura 5.27 Análisis de Riesgos

El diseño es el eje del funcionamiento de un equipo. El análisis de riesgos realizado para el nuestro, demanda una buena cantidad de tiempo e importancia a busca de tomar las mejores decisiones sobre la selección de los equipos soportes y el diseño de los sub-sistemas generadores de calor.

De este modo las medidas consideradas para resguardar el concepto de “seguro”, en referencia a nuestro equipo, fueron:

- a. En diseño térmico se consideró el recubrimiento con aislante (lana de vidrio) de todas las paredes del equipo en donde la temperatura por transferencia pudiese provocar quemaduras.



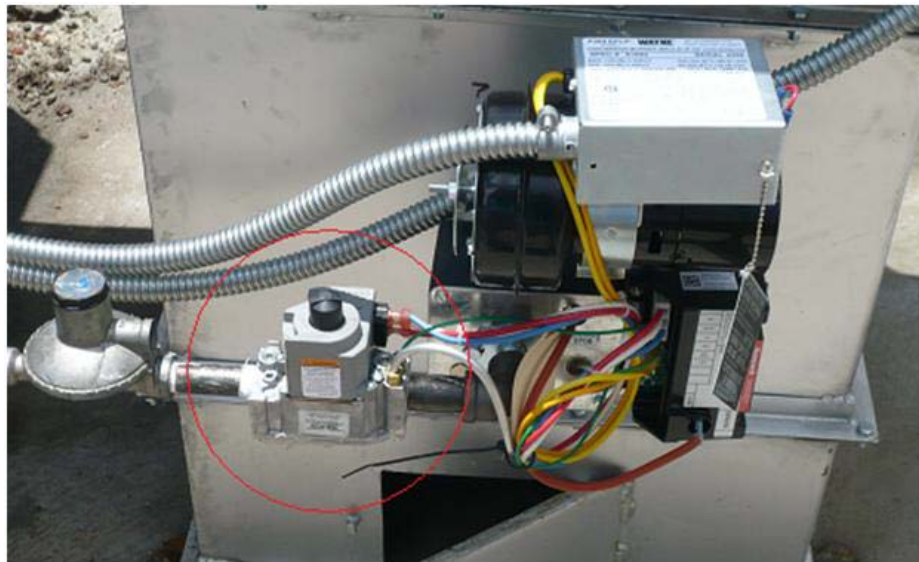
**Figura 5.28** Aislamiento térmico de paredes – Seguridad de operador

- b. Según el diseño mecánico, se consideró un bastidor que pueda soportar a una persona de peso promedio sobre la cama de secado, esto debido a que al momento de realizar mantenimiento o limpieza, un operador deberá caminar sobre la plancha perforada.



**Figura 5.29** Bastidor resistente al peso de un operador

- c. Al momento de seleccionar el quemador de GLP, se consideró un equipo que cuente con encendido automático y controlado eléctricamente para que la operación del arranque no sea nada riesgosa.



**Figura 5.30** Quemador Wayne con encendido asistido y electroválvula de cierre de flujo.

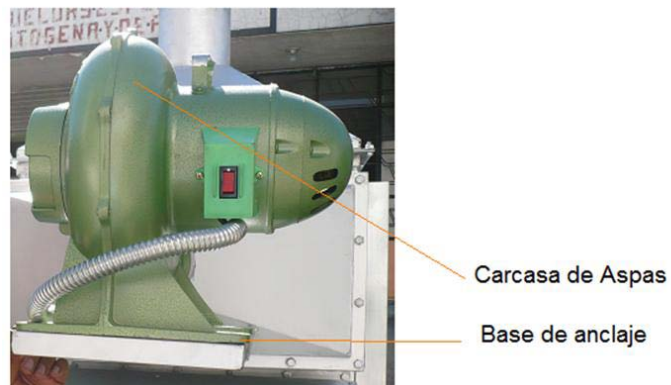
- d. El cierre de gas de forma emergente, fue considerado en el diseño del control eléctrico, ya que existe un solo punto de corte de alimentación

eléctrica del y aprovechando la electroválvula (Figura 5.30) integrada en el quemador se realizaron las conexiones para cortar el flujo de forma inmediata en caso de peligro.



**Figura 5.31** Apagado de emergencia y cierre de alimentación de gas.

- e. Con respecto a la selección de la unidad alimentadora de aire; en el mercado existe un sinnúmero de ventiladores centrífugos, en beneficio de la seguridad de los operadores, se seleccionó un equipo que cuente con una protección de aspas y una suportaría propia, para eliminar riesgos de caídas al momento de ingresar en funcionamiento.



**Figura 5.32** Sistema de alimentación de aire – seleccionado con aspectos de seguridad

- f. Al haber seleccionado el GLP como combustible generador de calor, debimos tomar todas las precauciones del caso, enfocados en el manejo y manipulación del cliente final (operador). Por este motivo desde el

diseño del equipo se pensó ya en la instalación de un distribuidor central de combustible (centralita), en un espacio externo al albergue del equipo (el GLP llega al quemador por medio de tubería).



**Figura 5.33** Distribución de combustible alejado del equipo y el operador

- g. Por último todo el equipo fue diseñado y construido con juntas empernadas, pensando en la seguridad del operador de mantenimiento del equipo ya que, la limpieza podrá ser realizada por módulos y no se necesitara de actividad en espacios confinados.



**Figura 5.34** Construcción por módulos, facilita las tareas de mantenimiento.

Estos siete puntos, resumen las múltiples consideraciones que se realizaron en beneficio de la seguridad del operador productivo, mantenimiento y constructor. Los peligros levantados en el análisis de riesgos (Anexo 5.6.A.) como quemaduras, explosión, y atrapamiento, consideradas en las fases de diseño, quedan aplacadas

con el resultado final de nuestro equipo. Lamentablemente los riesgos al momento de encender el equipo, relacionados con el diseño, quedan latentes en un grado bajo, ya que el peligro dependerá de otros aspectos (estado de ánimo, clima, ambiente, ext.) fuera del alcance de nosotros como constructores.

Con respecto a los riesgos levantados para los procesos de: construcción y montaje se tomaron las siguientes precauciones:

- a. Dentro del cronograma de ejecución, se dedicó un día para realizar un reconocimiento a todas las herramientas y equipos a utilizar en función de familiarizarse con el ambiente de trabajo y no correr riesgos de inexperiencia o falta de conocimiento.
- b. “Toma dos”, es una práctica de seguridad industrial muy aplicada en los procesos industriales, en donde los operadores son expertos en las tareas a ejecutar o conocen muy bien del proceso pero no lo han aplicado tiempo atrás (no aplica para tareas repetitivas o comunes). Por está última, se tomó la decisión de realizar dicha actividad, todos los días antes de iniciar los trabajos de construcción, en donde tomábamos dos minutos de nuestro tiempo, para evaluar la planificación del día (cronograma de ejecución) y analizábamos todos los riesgos que podríamos correr con esta planificación.
- c. La utilización de elementos de protección personal (EPP) son básicos en la eliminación de riesgos industriales, por lo que para cada tarea se analizó los elementos a utilizar y se consideró como obligatorios para toda actividad: guantes, gafas de seguridad y zapatos punto de acero.



**Figura 5.35** Utilización de elementos de seguridad al momento de soldar

Y para terminar con las actividades dispuestas frente a los riesgos, el proceso de pruebas se realizó en función a un protocolo definido, en donde se evaluaron todos los peligros que podríamos tener al momento de realizar mediciones.

En beneficio de la seguridad, se realizó una reunión previa a la experimentación, en donde se determinaron los equipos y el procedimiento con los cuales se recolectarían las medidas. Todas esas actividades de precaución y coordinación se detallan ampliamente en el capítulo 6 “Pruebas de operación”.



# CAPÍTULO 6

## PRUEBAS DE OPERACIÓN

### 6.1 Protocolo de pruebas

El equipo luego de ensamblado, necesita ser expuesto a diferentes pruebas que garanticen la seguridad del operador, la funcionalidad y la eficiencia máxima, dando como resultado la satisfacción del cliente final (Molino San José).

#### 6.1.1 Pruebas a Realizar

Las pruebas están enfocadas a verificar en primer lugar el estado situacional del equipo y luego verificar el sistema de forma termodinámica, obteniendo curvas de calentamiento y de enfriamiento en diferentes puntos del equipo.

**Tabla 6.1** Pruebas de Verificación – Secador de gramíneas.

ORDEN	DESCRIPCIÓN
I	Análisis situacional del equipo
II	Temperatura media de pared interna de cámara
III	Temperatura media de llama adiabática
IV	Temperatura media de gases de salida (en 6) sin aire proceso
V	Análisis de Temperaturas entre: paredes externas y gases de salida (en 6) sin aire de proceso.
VI	Temperatura media de gases de salida (en 6 y 3) con aire proceso
VII	Análisis de Temperaturas entre: paredes externas y gases de salida (en 6 y 3) con aire de proceso.
VIII	Eficiencia de secado.

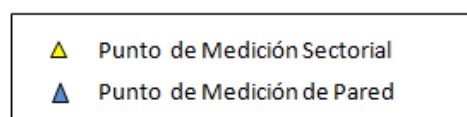
### 6.1.2 Puntos de Medición

Para realizar las pruebas se debe considerar dos tipos de puntos de medición: sectoriales y de pared. Los primeros se refieren a un punto en el cual el instrumento de medición estará en contacto directo con el fluido (aire, gases, etc.) y para el caso de los puntos de pared el la medición se realizará a un objeto que camia sus propiedades física en función de la interacción con el o los fluidos.

**Tabla 6.2** Puntos de Medición – Secador de gramíneas.

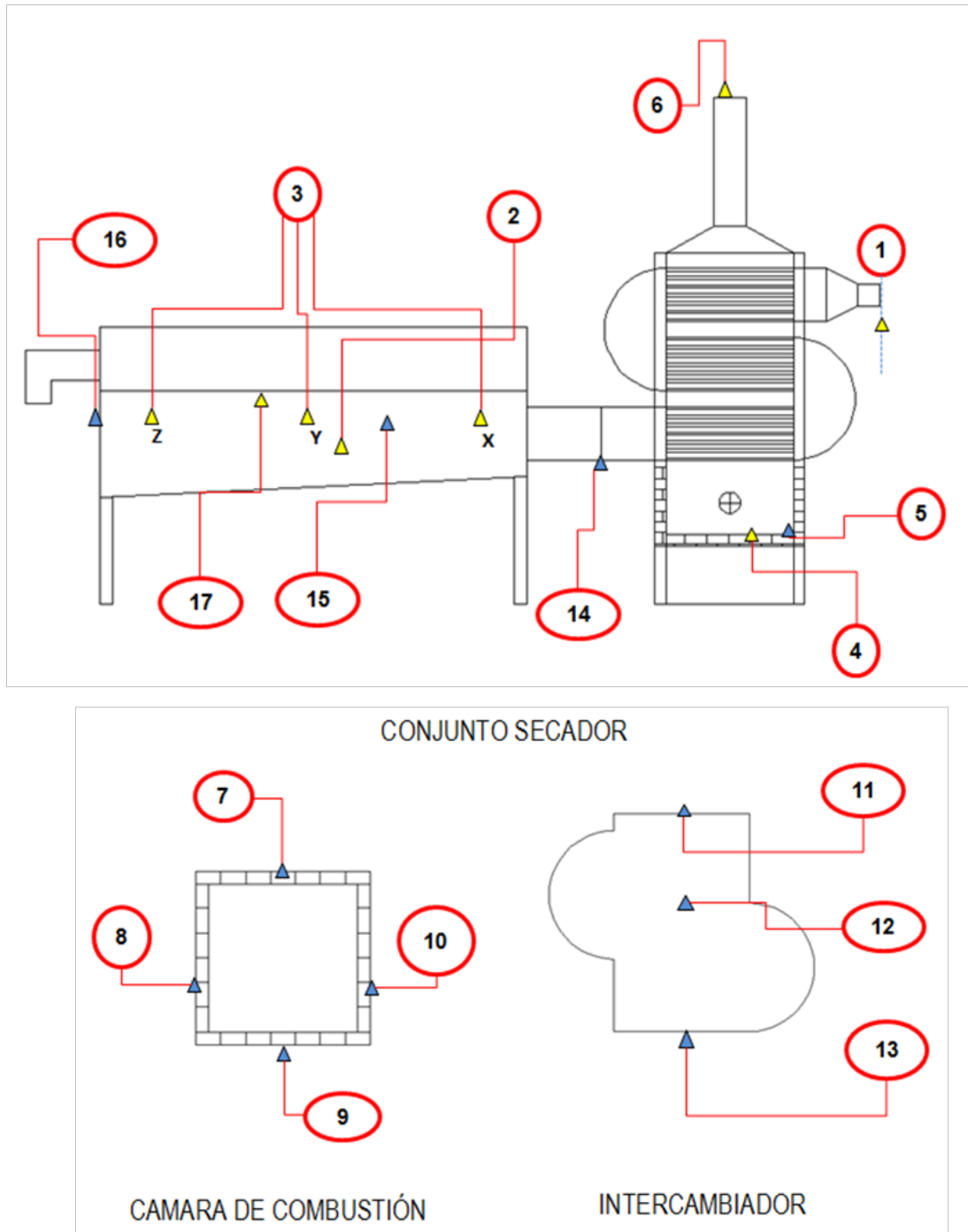
PUNTO	DESCRIPCIÓN
1	Ingreso de aire al intercambiador de calor
2	Posición estacionaria de cámara secado
3	Salida de aire de la cámara de secado
4	Cámara de combustión (Interior)
5	Pared interna cámara de combustión
6	Salida intercambiador de calor
7	Pared externa cámara de combustión norte
8	Pared externa cámara de combustión este
9	Pared externa cámara de combustión sur
10	Pared externa cámara de combustión este
11	Pared externa intercambiador de calor superior
12	Pared externa intercambiador de calor centro
13	Pared externa intercambiador de calor inferior
14	Pared externa ducto de gases
15	Pared externa cámara de secado sur
16	Pared externa cámara de secado este
17	Grano de maíz estacionario

Los Puntos de medición sectoriales y de pared se diferenciarán de la siguiente manera:



**Figura 6.1** Tipos de Puntos de Medición.

A continuación en el gráfico ilustrativo se describen los puntos en donde se realizarán las mediciones:



**Figura 6.2** Puntos de Medición.

## 6.2 Características

Normalmente cuando se realizan pruebas de un equipo de este tipo, su eficiencia puede depender de diferentes parámetros. Entre los más principales y considerando que básicamente las pruebas están enfocadas a principios termodinámicos encontramos a: Factores Geográficos, Ambientales (situacionales) y Tecnológicos (equipos utilizados para realizar las pruebas).



*Figura 6.3* Equipo ensamblado para realizar pruebas.

### 6.2.1 Geográficas.

Las pruebas se realizaron en dos escenarios geográficos totalmente distintos, considerando como factores de comparación a la altura, presión atmosférica, temperatura ambiente y humedad relativa.

### 6.2.1.1 Situación Geográfica 1.

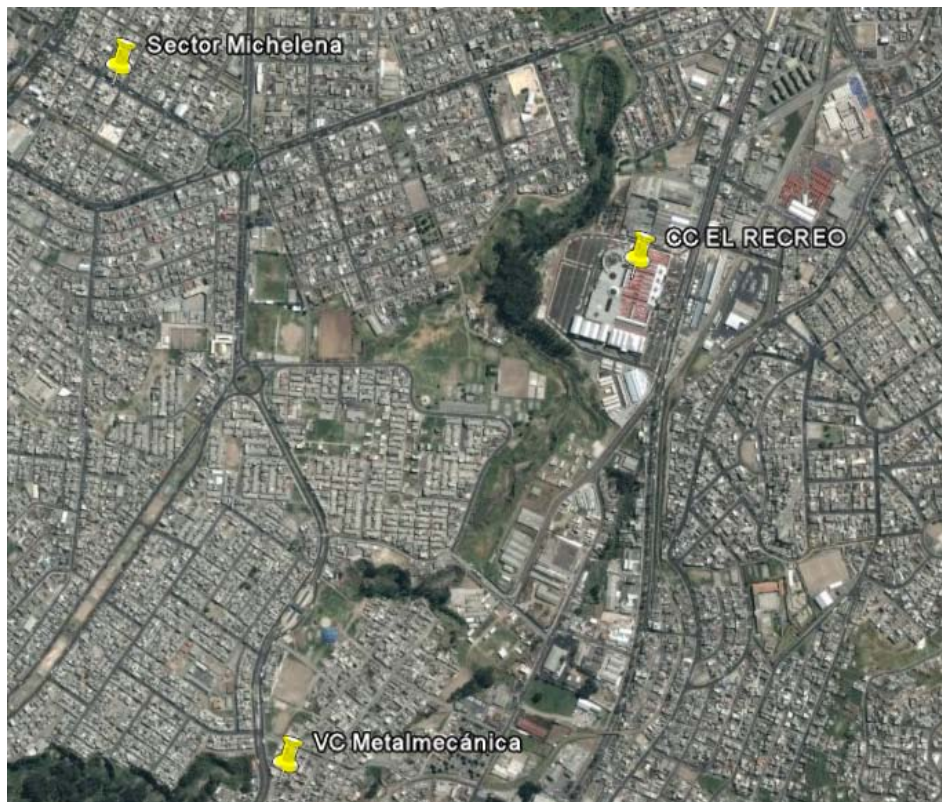
El taller metalmecánico “VC Metal” es el escenario en donde se realizaron las pruebas iniciales del equipo (I a VII Pruebas). Este lugar se encuentra en el Cantón Quito, Provincia de Pichincha, Sector Sur Oeste del Distrito Metropolitano de Quito.

*Identificación:* Taller Metalmecánico – VC Metal

*Latitud:* 0°15'46.17"S

*Longitud:* 78°31'49.27"O

Este lugar fue elegido debido a que fue aquí donde se realizaron las actividades de construcción y montaje del equipo, lo que facilitaría la modificación o re-trabajo si fuese necesario en función de los datos recolectados por estas pruebas.



**Figura 6.4** Vista satelital – Situación geográfica 1.

### 6.2.1.2 Situación Geográfica 2.

El molino “San José” es el escenario en donde se realizó la prueba final del equipo (VIII Prueba). Este lugar se encuentra en el Cantón Rumiñahui, Provincia de Pichincha, Sector Sur Oeste de la ciudad de Sangolquí.

Identificación: Molino San José

Latitud: 0°19'35.16"S

Longitud: 78°27'4.69"O

Este lugar fue elegido debido a que aquí funcionará el equipo, lo que ayudará a la calibración de parámetros de secado reales.



*Figura 6.5 Vista satelital – Situación geográfica 2.*

## **6.2.2 Ambientales.**

Ya consideradas las situaciones geográficas en las cuales se realizarán las pruebas se debe considerar también las características ambientales de cada lugar:

### **6.2.2.1 Situación Ambiental 1.**

Las pruebas en este escenario se realizaron el día 10 de Octubre del 2008 en horario de 10:30 a 14:00.

Altura: 2 831 m – Sobre el nivel del mar  
Presión Atmosférica: 547,7 mm  
Humedad Relativa Promedio: 75%  
Temperatura Ambiente Promedio: 13.2°C  
Densidad de Aire Promedio: 0.001257 g/cm <sup>22</sup>

### **6.2.2.2 Situación Ambiental 2.**

Las pruebas en este escenario se realizaron el día 26 de Diciembre del 2008 en horario de 09:00 a 13:00.

Altura: 2 488 m – Sobre el nivel del mar  
Presión Atmosférica: 549,8 mm  
Humedad Relativa Promedio: 82%  
Temperatura Ambiente Promedio: 17.3°C  
Densidad de Aire Promedio: 0.001572 g/cm <sup>23</sup>

---

<sup>22</sup> Observatorio Astronómico de Quito - <http://www.epn.edu.ec/pages/OAQ/index.htm>

<sup>23</sup> Publicación III-2006 – Datos Historicos Ilustre Municipio de Rumiñahui

### 6.2.3 Tecnológicas.

Los equipos utilizados para realizar las pruebas fueron:

#### 6.2.3.1 Termómetro laser



**Figura 6.6** Termómetro laser utilizado para Pruebas

#### Características:

Termómetro infrarrojo marca Fluke modelo 65. Este equipo tiene la particularidad de proporcionar medidas rápidas de temperatura sin contacto en una carcasa compacta. La orientación a objetos es fácil gracias al puntero láser. Este termómetro fue elegido debido a que es ideal para realizar medidas de temperaturas de superficies en objetos rotativos, difíciles de alcanzar, con electricidad o extremadamente calientes.

**Tabla 6.3** Especificaciones Técnicas Termómetro laser.

Rango	de -40 a 500°C (de -40 a 932 °F)
Tiempo de respuesta	Menos de 1 segundo
Resolución	de 0,1° hasta 200°, de 1° a más de 200°C
Capacidad de repetición	± 1° de lectura o ± 1% la que sea mayor
Exactitud (Para temperatura ambiente de 23°C)	-40 a 0°C (-40 a 32°F): ± 5°C (±9 °F) 0 a 100°C (32 a 212°F): ± 2°C (±3,5°F) 100 a 500°C (212 a 932°F): ± 2% de lectura
Resolución óptica	Relación de la distancia al blanco 8:1
Emisividad	Fija a 0,95
Dimensiones min. del blanco	Mínimo 200 mm (25 mm de traza)



Utilización:

Este equipo fue utilizado por realizar todas las mediciones de temperatura superficial o de pared externa en la cámara de combustión, el intercambiador de calor, tiro de aire caliente, ducto de transferencia y cámara de secado.

**6.2.3.2 Anemómetro, Hidrómetro y Termómetro (AHT)**



**Figura 6.7** AHT utilizado para Pruebas

Características:

Equipo Higo Thermo-Anemómetro marca Extech, modelo 407412. Este equipo puede medir e indicar la velocidad del aire, la temperatura y humedad relativa. El flujo de aire puede ser indicado en pies por minuto, metros por segundo, millas por hora, kilómetros por hora, y nudos. Las unidades de temperatura y humedad relativa se indican en unidades de °C/°F y % respectivamente.

**Tabla 6.4** Especificaciones Técnicas AHT.

**Velocidad del aire**

Medición	Escala	Resolución:	Precisión
ft/min	80-4921 ft/min	1 ft/min	±(2% + 20ft/min)
m/s	0,4 - 25,00 m/s	0,01 m/s	±(2% + 0.2 m/s)
km/hr	1,4 - 90,0 km/hr	0,1 km/hr	±(2% + 0.2 km/h)
millas/hr	0,9-55,9 millas/hr	0,1 millas/hr	±(2% + 0.2 m/hr)
nudos	0,8 - 48,6 a 48,6 nudos	0,1 nudos	±(2% + 0.2 nudos)

**Temperatura**

Escala	Resolución	Precisión
32°F a 122°F / 0°C a 50°C /	0,1°C/°F	±1,5°F / ±0,8°C

**Humedad relativa**

Escala	Resolución	Precisión
10 a 70% RH	0,1%	±3% RH
70 a 95% RH	0,1%	±4% RH

Utilización:

Este equipo fue utilizado por realizar las mediciones de velocidad del aire a la salida del plenum (Punto de medición 6) y en la cámara de secado (Punto de medición 3). Por otro lado este equipo proporcionó las mediciones de humedad relativa y temperatura ambiente.

**6.2.3.3 Balanza digital**



**Figura 6.8** Balanza digital utilizada para Pruebas

Características:

Balanza digital marca Digiweigh modelo DW-500B, es un equipo de alta precisión, muy versátil y de fácil manejo. Este tipo de equipos es utilizado muchas aplicaciones: laboratorios, alimenticios, joyería, etc.

**Tabla 6.5** Especificaciones Técnicas balanza digital.

Escale de Medición	3" (D) x 5" (W) x 0.75" (H)
Modos de Pesaje	g/oz/dwt/gn
rango de Medición	0.01-10 gram
Precisión	0.01 gram
Medidas de Plataforma	3" x 2.5"

Utilización:

Este equipo fue utilizado para identificar a lo largo del proceso de secado, el peso del grano de maíz y poder construir la curva de descenso de cantidad de masa en función de la disminución de volumen de agua presente en el grano de maíz.

**6.2.3.4 Monitor de humedad**



**Figura 6.9** Monitor de humedad utilizado para Pruebas

Características:

Equipo monitor de humedad de grano modelo G-7 marca Draminski, mide la humedad en toda clase de granos y semillas. Gama de medición del 6-48% según tipo de grano. Este medidor es especialmente útil para probar la humedad contenida en los granos de arroz y maíz.

**Tabla 6.6** Especificaciones Técnicas Monitor de humedad.

PODER	9 V , pila tipo 6F22
CORRIENTE	14 mA
PANTALLA	LCD alfanumérica
TEMPERATURA DE MEDICIÓN	0-50 grados centígrados
PRECISIÓN DE MEDICIÓN DE TEMP.	+ - 1 grado cent.
PRECISIÓN DE MEDICIÓN DE HUMEDAD	+ - 1% en los extremos de
DIMENSIONES	19 cm x 15 cm x 9 cm
PESO	1050 g
FUENTE DE PODER EXTERNO	9V-12V DC

Utilización:

Este Equipo fue utilizado para realizar la prueba VIII, en donde a lo largo del tiempo se midió el contenido de humedad que dos granos de maíz seleccionados registraban. Este equipo mostró de forma práctica la funcionalidad del equipo secador.

### **6.3 Procedimiento**

A continuación se desglosa el procedimiento realizado en las pruebas a las cuales se sometió el equipo secador de maíz, listadas en el punto 6.1.1

### **6.3.1 Análisis situacional de equipo.**

- 1 Revisar el estado de acoplamiento de los ladrillos refractarios dentro de la cámara de combustión de forma visual.
- 2 Revisar visualmente el estado de los tubos del intercambiador de calor de forma visual.
- 3 Revisar visualmente el estado general de la cámara de secado de forma visual.
- 4 Acoplar el equipo en su totalidad: Cámara de combustión (CC), Intercambiador de calor (IC) y Cámara de secado (CS).
- 5 Elegir un punto de revisión para cada sub sistema (CC, IC y CS), y realizar una revisión de cordones de soldadura de forma visual.
- 6 Elegir un punto de revisión para cada sub sistema, y realizar una revisión de las juntas empernadas de forma visual.
- 7 Elegir un punto de revisión para cada sub sistema, y realizar una revisión de las juntas remachadas de forma visual.
- 8 Elegir un punto de revisión para cada sub sistema, y realizar una revisión de pintura de forma visual.
- 9 Revisión del ruteo y empate de cableado eléctrico de forma visual.
- 10 Revisión de terminales eléctricos de forma visual.
- 11 Realizar la conexión del sistema de gas para la alimentación del quemador.
- 12 Realizar la presurización del sistema de gas.
- 13 Verificar las fugas en el sistema de alimentación de gas y quemador.
- 14 Setear el sistema de control a 40 °C.
- 15 Encender el equipo sin carga de materia prima (maíz).
- 16 Verificar el encendido automático del ventilador.
- 17 Verificar la calidad de llama por medio del visor del quemador.
- 18 Setear el sistema de control a una temperatura menor de lo censado por la termocupla.
- 19 Verificar el apagado automático del ventilador de forma visual.
- 20 Setear el sistema de control a 40 °C.
- 21 Verificar el encendido automático del ventilador de forma visual.
- 22 Verificar fugas de aire por las juntas empernadas por medio de la prueba de la hoja.
- 23 Verificar fugas de aire por las juntas remachadas por medio de la prueba de la hoja.
- 24 Setear el sistema de control a 60 °C.
- 25 Verificar la llegada de aire de proceso a la cámara de secado por medio de la prueba de la hoja.
- 26 Verificar el incremento de temperatura por medio del indicador en el panel de control.
- 27 Verificar el apagado automático del ventilador a 60 °C de forma visual.
- 28 Despresurizar el sistema de gas.
- 29 Apagar el sistema de secado desde el panel de control.
- 30 Verificar el apagado del quemador por medio del visor del mismo.
- 31 Verificar el apagado del ventilador de forma visual.

### **6.3.2 Temperatura media de pared interna de cámara.**

- 1 Desacoplar la cámara de combustión del sistema secador.
- 2 Realizar la conexión del sistema de gas para la alimentación del quemador.
- 3 Realizar la presurización del sistema de gas.
- 4 Setear el sistema de control a 40 °C.
- 5 Encender el sistema desde el panel de control.
- 6 Setear el sistema de control a una temperatura menor de lo censado por la termocupla.
- 7 Verificar el apagado automático del ventilador de forma visual.
- 8 Por medio de una termocupla o un termómetro digital, realizar 12 mediciones cada dos minutos en la pared contraria al cañón del quemador (punto 5).
- 9 Registrar las temperaturas en °C, en una tabla y encontrar la temperatura media de pared interna.
- 10 Despresurizar el sistema de gas.

- 11 Apagar el sistema de secado desde el panel de control.
- 12 Verificar el apagado del quemador por medio del visor del mismo.

### **6.3.3 Temperatura media de llama adiabática.**

- 1 Desacoplar la cámara de combustión del sistema secador.
- 2 Realizar la conexión del sistema de gas para la alimentación del quemador.
- 3 Realizar la presurización del sistema de gas.
- 4 Setear el sistema de control a 40 °C.
- 5 Encender el sistema desde el panel de control.
- 6 Setear el sistema de control a una temperatura menor de lo censado por la termocupla.
- 7 Verificar el apago automático del ventilador de forma visual.
- 8 Por medio de una termocupla o un termómetro digital, realizar 12 mediciones cada dos minutos en el centro de la cámara de combustión (punto 4).
- 9 Registrar las temperaturas en °C, en una tabla y encontrar la temperatura media de cámara de combustión.
- 10 Despresurizar el sistema de gas.
- 11 Apagar el sistema de secado desde el panel de control.
- 12 Verificar el apagado del quemador por medio del visor del mismo.

### **6.3.4 Temperatura media de gases de salida (en 6) sin aire proceso.**

- 1 Acoplar el equipo en su totalidad: Cámara de combustión (CC), Intercambiador de calor (IC) y Cámara de secado (CS).
- 2 Realizar la presurización del sistema de gas.
- 3 Setear el sistema de control a 40 °C.
- 4 Encender el sistema desde el panel de control.
- 5 Setear el sistema de control a una temperatura menor de lo censado por la termocupla.
- 6 Verificar el apago automático del ventilador de forma visual.
- 7 Por medio de una termocupla o un termómetro digital, realizar 12 mediciones cada dos minutos en el punto de salida de gases de combustión (punto 6).
- 8 Registrar las temperaturas en °C, en una tabla y encontrar la temperatura media de gases de combustión a la salida.
- 9 Despresurizar el sistema de gas.
- 10 Apagar el sistema de secado desde el panel de control.
- 11 Verificar el apagado del quemador por medio del visor del mismo.

### **6.3.5 Análisis de Temperaturas entre: paredes externas y gases de salida (en 6) sin aire de proceso.**

- 1 Acoplar el equipo en su totalidad: Cámara de combustión (CC), Intercambiador de calor (IC) y Cámara de secado (CS).
- 2 Marcar por medio de un marcador de metal los puntos a medir en las paredes del sistema (7,8,9,10,11,12 y 13)
- 3 Por medio de una termocupla o un termómetro digital, realizar una medición en los punto 6,7,8,9,10,11,12,13 y ambiente; por medio de un hidrómetro realizar una medición de la humedad relativa.
- 4 Realizar una medición de velocidad de salida de gases en el punto 6.

- 5 Registrar las mediciones en una tabla, considerando estas como temperaturas de pared inicial y sectorial y de igual manera la humedad relativa como inicial.
- 6 Realizar la presurización del sistema de gas.
- 7 Setear el sistema de control a 40 °C.
- 8 Encender el sistema desde el panel de control.
- 9 Setear el sistema de control a una temperatura menor de lo censado por la termocupla.
- 10 Verificar el apagado automático del ventilador de forma visual.
- 11 Por medio de una termocupla o un termómetro digital, realizar 7 mediciones cada cinco minutos en los punto 6,7,8,9,10,11, 12 y 13
- 12 Por medio de un hidrómetro y un termómetro medir la húmeda relativa y la temperatura ambiente en la misma cantidad de veces.
- 13 De igual manera realizar mediciones de la velocidad de gases en el punto 6.
- 14 Registrar las mediciones en una tabla, considerando estas como temperaturas y humedad relativa a lo largo del tiempo.
- 15 Despresurizar el sistema de gas.
- 16 Apagar el sistema de secado desde el panel de control.
- 17 Verificar el apagado del quemador por medio del visor del mismo.
- 18 Realizar una gráfica comparativa de tiempo vs. temperaturas
- 19 Realizar una gráfica comparativa de tiempo vs. humedad relativa

### **6.3.6 Temperatura media de gases de salida (en 6 y 3) con aire.**

- 1 Acoplar el equipo en su totalidad: Cámara de combustión (CC), Intercambiador de calor (IC) y Cámara de secado (CS).
- 2 Realizar la presurización del sistema de gas.
- 3 Setear el sistema de control a 60 °C.
- 4 Encender el sistema desde el panel de control.
- 5 Por medio de una termocupla o un termómetro digital, realizar 12 mediciones cada dos minutos en el punto de salida de gases de combustión (punto 6) y de proceso (punto 3).
- 6 Registrar las temperaturas en °C, en una tabla y encontrar la temperatura media de gases de combustión a la salida.
- 7 Despresurizar el sistema de gas.
- 8 Apagar el sistema de secado desde el panel de control.
- 9 Verificar el apagado del quemador por medio del visor del mismo.

### **6.3.7 Análisis de Temperaturas entre: paredes externas y gases de salida (en 6 y 3) con aire de proceso.**

- 1 Acoplar el equipo en su totalidad: Cámara de combustión (CC), Intercambiador de calor (IC) y Cámara de secado (CS).
- 2 Marcar por medio de un marcador de metal los puntos a medir en las paredes del sistema (X,Y,Z,7,8,9,10,11,12,13, 14 ,15 y 16)
- 3 Por medio de una termocupla o un termómetro digital, realizar una medición en los puntos 2,X,Y,Z,6,7,8,9,10,11,12, 13,14,15 y 16 y por medio de un hidrómetro realizar una medición de la humedad relativa.
- 4 Realizar una medición de la temperatura ambiente por medio una termocupla.
- 5 Realizar una medición de la velocidad de salida de gases en el punto 6, por medio de un anemómetro.
- 6 Registrar las mediciones en una tabla, considerando estas como temperaturas de pared inicial y sectorial y de igual manera la humedad relativa como inicial.
- 7 Realizar la presurización del sistema de gas.

- 8 Setear el sistema de control a 60 °C.
- 9 Encender el sistema desde el panel de control.
- 10 Por medio de una termocupla o un termómetro digital, realizar 7 mediciones cada cinco minutos en los puntos 2,X,Y, Z,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15 y 16 y temperatura ambiente.
- 11 Por medio de un hidrómetro y un anemómetro, realizar la misma cantidad de mediciones de humedad relativa velocidad de gases respectivamente.
- 12 Registrar las mediciones en una tabla, considerando estas como temperaturas y humedad relativa a lo largo del tiempo.
- 13 Despresurizar el sistema de gas.
- 14 Apagar el sistema de secado desde el panel de control.
- 15 Verificar el apagado del quemador por medio del visor del mismo.
- 16 Realizar una gráfica comparativa de tiempo vs. temperaturas
- 17 Realizar una gráfica comparativa de tiempo vs. humedad relativa
- 18 Realizar una gráfica comparativa de temperaturas sin aire de proceso vs con aire de proceso (puntos 6,7,8,9,10,11, 12 y 13)
- 19 Realizar una gráfica comparativa de humedad relativa sin aire de proceso vs con aire de proceso

### **6.3.8 Eficiencia de secado.**

- 1 Cargar la cámara de secado con una capa de maíz sobre la plancha perforada con una distribución uniforme.
- 2 Marcar dos granos de maíz para poderlos identificar en el conjunto.
- 3 Obtener el peso inicial de cada grano por medio de una balanza y el porcentaje de humedad por medio de un hidrómetro.
- 4 Por medio de una termocupla o un termómetro digital, realizar una medición en los puntos 2,3,6 y 17 y considerar estos datos como temperaturas iniciales
- 5 Realizar una medición de la temperatura ambiente, por medio de un termómetro de bulbo seco.
- 6 Registrar las mediciones en una tabla.
- 7 Realizar la presurización del sistema de gas.
- 8 Setear el sistema de control a 60 °C.
- 9 Encender el sistema desde el panel de control.
- 10 Por medio de los instrumentos de medición realizar la toma de datos descritos en los ítems 3,4 y 5 de este procedimiento, cada 10 minutos.
- 11 Continuar con las mediciones hasta que el porcentaje de humedad de los dos granos sea menor a igual a 12%.
- 12 Realizar una gráfica por cada grano comparando tiempo vs. cada uno de los parámetros medidos.

## **6.4 Toma de datos**

Las mediciones fueron levantadas de forma tabulada y graficadas en función de la variable tiempo. Los registros están detallados en los anexos: 6.4.A al 6.4.H





*Figura 6.10 Marcación de puntos de medición – Intercambiador y Plenum.*



*Figura 6.11 Marcación de puntos de medición - Cámara de Secado.*



**Figura 6.12** Marcación de puntos de medición - Cámara de Combustión.



**Figura 6.13** Recolección de Datos



*Figura 6.14 Utilización de equipos de medición*

## **6.5 Análisis de resultados**

Como conclusión general se puede detallar que todas las pruebas fueron desarrolladas en un ambiente térmico adecuado y los resultados obtenidos fueron satisfactorios, con lo que se determina que el equipo fue construido bajo un diseño térmico adecuado y construido considerando todas las variantes de falla.

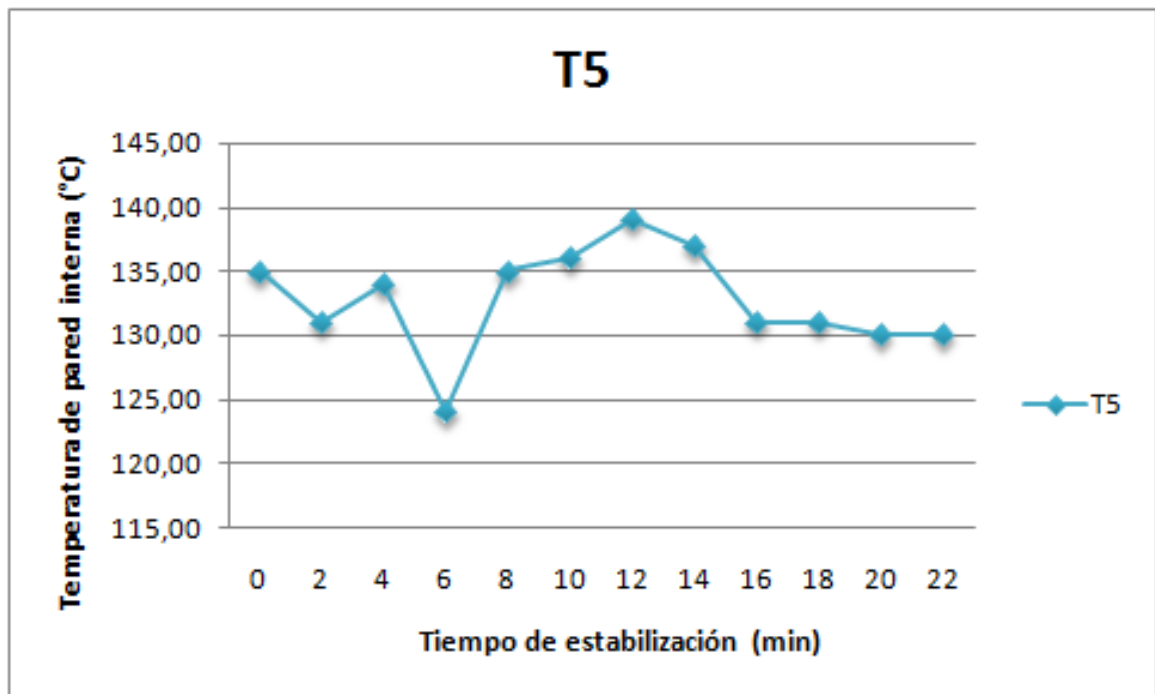
### **6.5.1 Conclusiones Prueba I.**

El análisis situacional del equipo fue satisfactorio, no se encontró ninguna anomalía en el proceso constructivo. Las juntas empernadas y remachadas obtuvieron un cierre adecuado; los equipos de apoyo (quemador y ventilador) fueron inicializados y probados durante el período recomendado por el fabricante sin ninguna irregularidad.

Al momento de evaluar la funcionalidad de estos equipos y las partes constitutivas del secador, los resultados obtenidos fueron muy buenos, sobrepasando las expectativas que se formaron en el período de construcción.

### 6.5.2 Conclusiones Prueba II.

La temperatura media de pared interna de la cámara de combustión (T5) fue evaluada durante un período de 22 minutos, obteniendo una temperatura media de 132.75°C. Como se puede apreciar en la figura 6.15 la temperatura se estabilizó luego de 16 minutos, tiempo que se debe considerar para el calentamiento inicial del equipo secador; considerando que al elevar la capacidad calorífica del quemador se puede provocar un daño colateral en los tubos del intercambiador de calor.

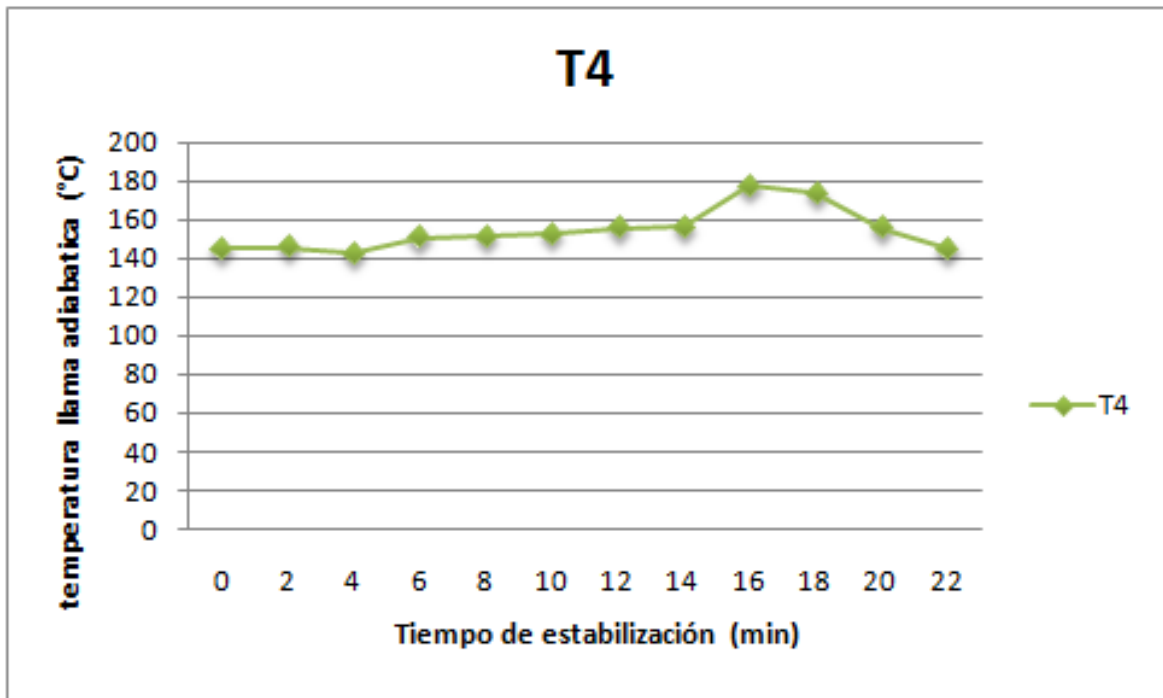


*Figura 6.15 Temperatura de pared interna*

### 6.5.3 Conclusiones Prueba III.

La capacidad calorífica del quemador fue calibrada a 105000 Btu/hr por parte de la representación técnica del equipo, esto considerando que el valor teórico calculado fue 105700 Btu/hr.

La temperatura de pared (T4) considerada para el cálculo, se fijó en el rango de 140 - 150°C. Por lo que al analizar la figura 6.16 se puede concluir que la calibración del quemador fue la adecuada y el diseño térmico se realizó en función de un dato muy cercano a la realidad (Temperatura promedio 154.67°C, en 12 mediciones).



*Figura 6.16 Temperatura de llama adiabática*

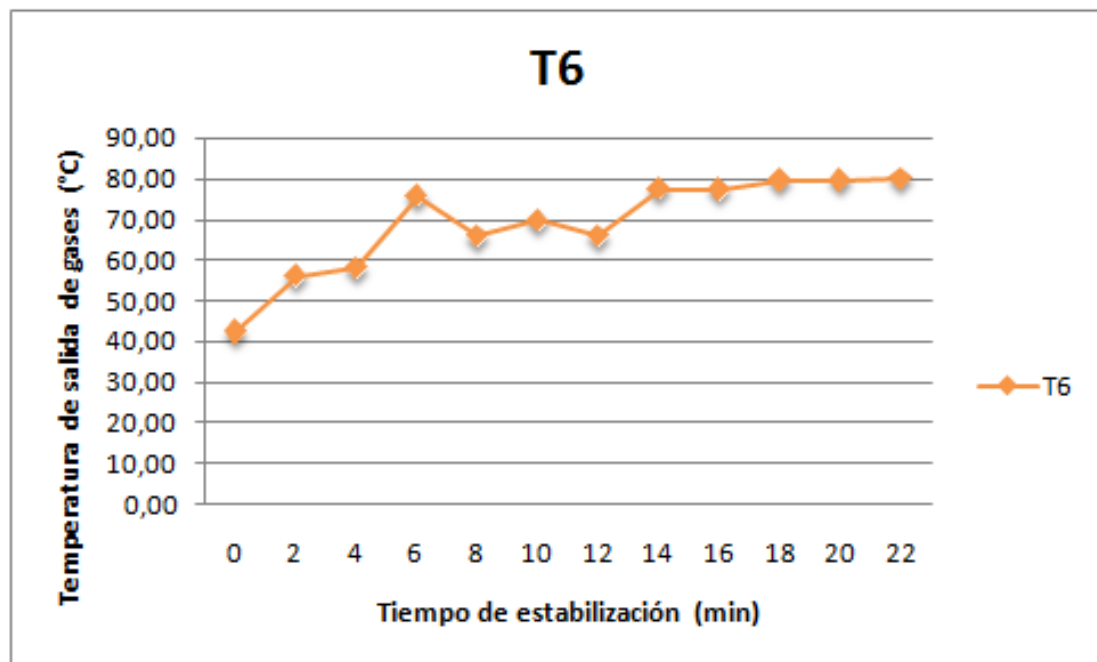
### 6.5.4 Conclusiones Prueba IV.

En función de realizar el calentamiento inicial del sistema, tubos del intercambiador, ladrillos refractarios, y estructura general, se acopló la cámara de calentamiento, el intercambiador de calor y el recolector de gases de combustión

(plenum y chimenea), se encendió el quemador y se mantuvo apagada el quemador; de esta forma los gases de combustión viajaron entre los tubos del intercambiador de calor y salieron por la chimenea.

Luego de 30 minutos de calentamiento se retiró el recolector de gases de combustión y se evaluó visualmente el estado de los tubos del intercambiador, siendo satisfactoria la prueba del material utilizado.

Ya evaluada la resistencia del material, se evalúa la interferencia al desplazamiento de los gases de combustión, que según el teorema dinámico de gases de combustión <sup>24</sup>, el cual expresa que la temperatura a la salida de los gases en un sistema de calentamiento es directamente proporcional a la temperatura de ingreso dividido para la relación de alturas entre la llama adiabática y el plenum con la altura total.



**Figura 6.17** Temperatura de gases a la salida sin aire de proceso

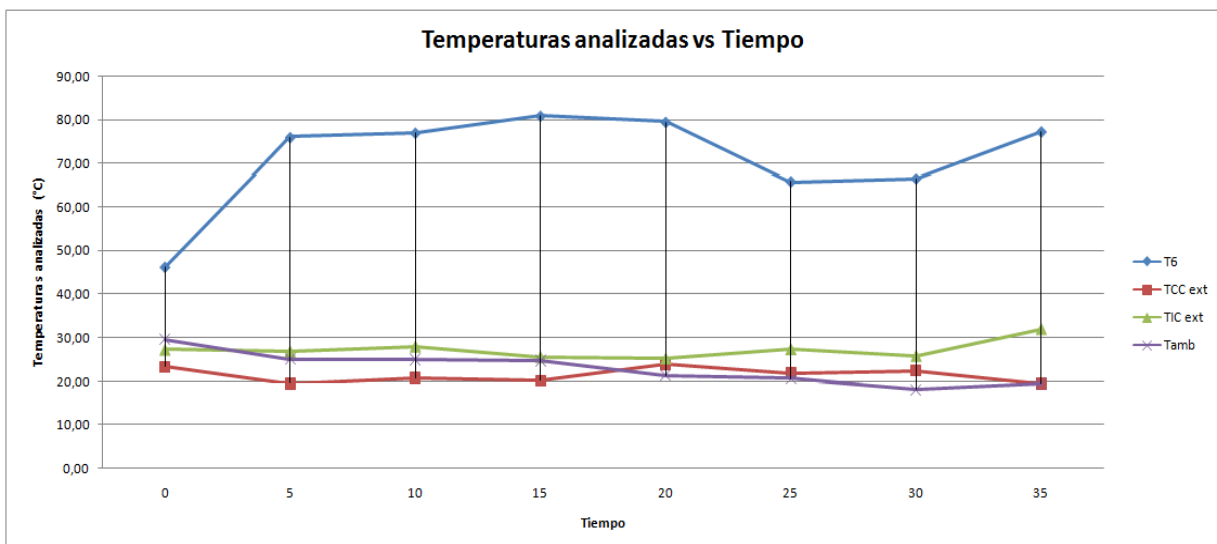
<sup>24</sup> Diseño de Secadores, Armando Fernández, Editorial Ariel, 1998, pág. 123.

El promedio de la temperatura a la salida sin aire de proceso (T6) obtenida fue 68.86 °C, concluyendo que la existencia de obstáculos dinámicos es nula, ya que la temperatura según el teorema debería ser 71.93°C (Temperatura de calentamiento 154.67°C y relación de distancia entre puntos de medición 2.15).

### 6.5.5 Conclusiones Prueba V.

Esta prueba estuvo encaminada a realizar el análisis térmico de los aislantes en los diferentes puntos del sistema de calentamiento comparando: la temperatura de pared externa de la cámara de combustión (TCC ext - ladrillo refractario como aislante) e intercambiador de calor (TIC ext - lana de vidrio como aislante) con respecto a la temperatura de gases de combustión y temperatura ambiente.

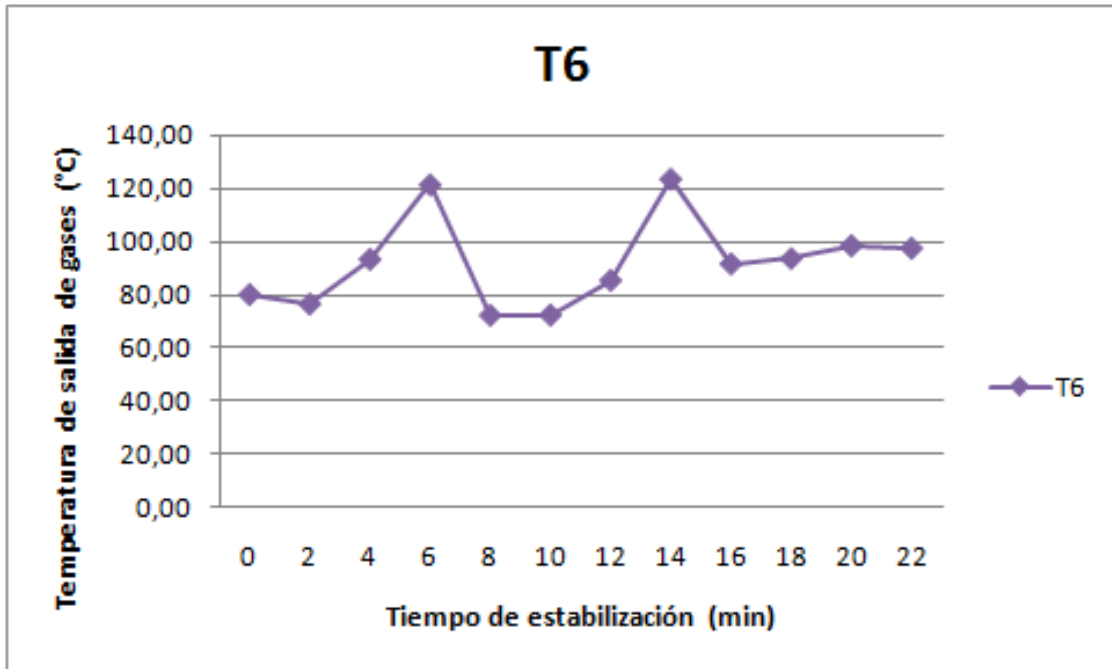
Los resultados fueron muy alentadores al encontrar que el promedio de estas temperaturas (TCC y TCI) luego de realizar mediciones cada 5 minutos durante un período de 35 minutos están dentro de un rango no mayor a +/- 5°C respecto a la temperatura ambiente y muy lejos del promedio encontrado para la temperatura de gases de combustión, tal y como se observa en la figura 6.18.



**Figura 6.18** Temperaturas de paredes externas del sistema de calentamiento

### 6.5.6 Conclusiones Prueba VI.

Las pruebas anteriores se realizaron sin la influencia del aire de proceso (generación de aire con ventilador), por lo que en esta prueba se analizó el comportamiento de la temperatura a la salida en la chimenea (T6) y en la cámara de secado (T3).



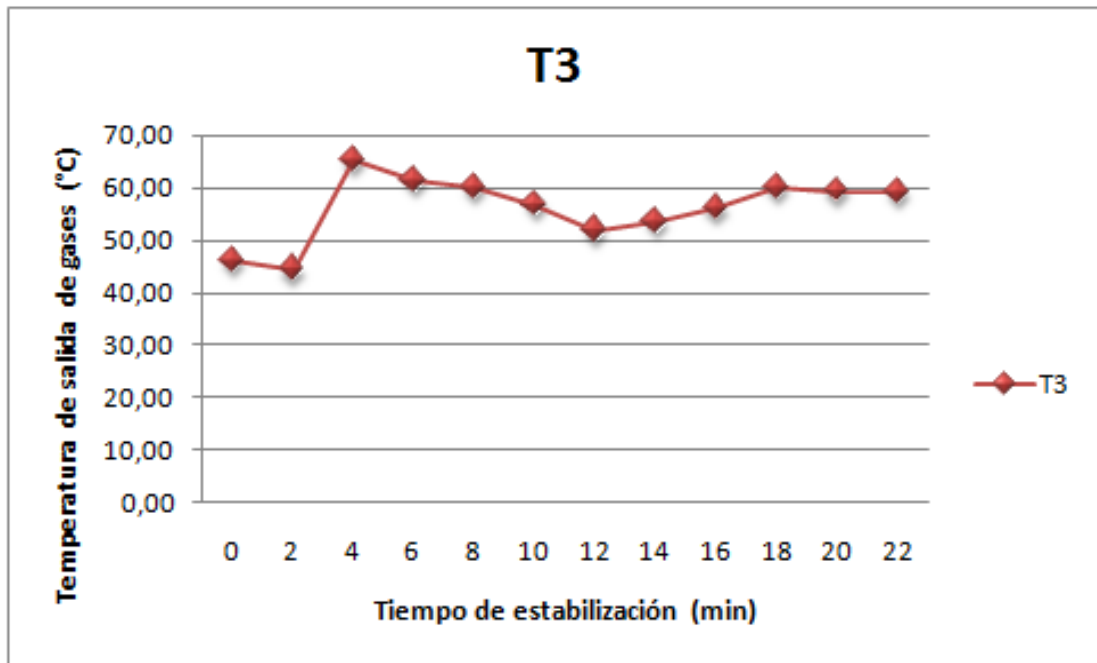
*Figura 6.19 Temperatura de gases a la salida sin aire de proceso*

La temperatura de gases a la salida del sistema de calentamiento tiende a subir como se observa en la figura 6.19 con un promedio de 92.25°C (68.86°C – prueba sin aire de proceso), esto debido a que las condiciones ambientales al momento de realizar esta prueba tendieron a variar de forma drástica. Esto podría ocasionar el daño de los tubos del intercambiador de calor, si la temperatura llegaría a los parámetros de deformación del acero, por lo que se recomendará realizar el apagado continuo del quemador en función de la temperatura de secado.

Como se observa en la figura 6.20, la temperatura de secado o en la cámara de secado se encuentra bajo los índices esperados y aconsejados para realizar el



secado de maíz (56.17°C), por lo que se concluye que la temperatura a la salida (T6) en esta ocasión es un evento utópico ya que las pruebas se realizaron al aire libre. Nuevas mediciones para verificar esta hipótesis fueron realizadas cuando el equipo fue instalado en el Molino San José y el rango de temperatura no superó los 75°C.



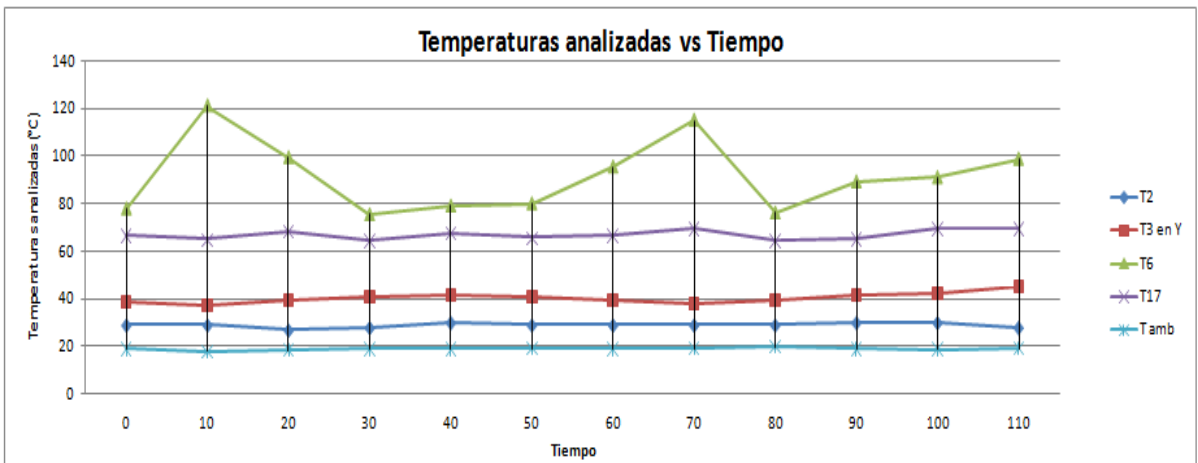
*Figura 6.20 Temperatura de gases a la salida de la cámara de secado*

### 6.5.7 Conclusiones Prueba VII.

Ya puesto en marcha el equipo en su totalidad (ensamblado y con aire de proceso), es necesario verificar si la temperatura de los gases de combustión, tiene efecto sobre el calentamiento del aire de proceso. Se debe considerar que la temperatura de secado ideal para el maíz es 60 +/- 10°C y que la temperatura de salida de gases de combustión puede disminuir debido al calentamiento inicial de tubos en el intercambiador de calor y la humedad relativa del ambiente.

Como se muestra en la figura 6.21, la temperatura promedio sobre la cama de secado es 48.32°C (T3), un medio de la temperatura de salida de gases de

combustión (86,79°C) y considerando que la temperatura a la salida del ventilador fue de 21°C, se puede concluir que el proceso térmico de intercambio de calor es eficiente y directamente proporcional a la fracción sustraída del proceso de calentamiento de gases. De todos modos la temperatura de calentamiento no esta dentro del rango de la temperatura teórica del secado de maíz, esto puede provocar que el quemador deba ser calibrado en un poder calorífico superior o extender el tiempo de secado dependiendo de la calidad del producto al finalizar la eliminación de humedad de los granos; esto se determinará luego de analizar los resultados de la prueba VIII.



**Figura 6.21** Temperatura de gases a la salida y análisis de temperatura de pared

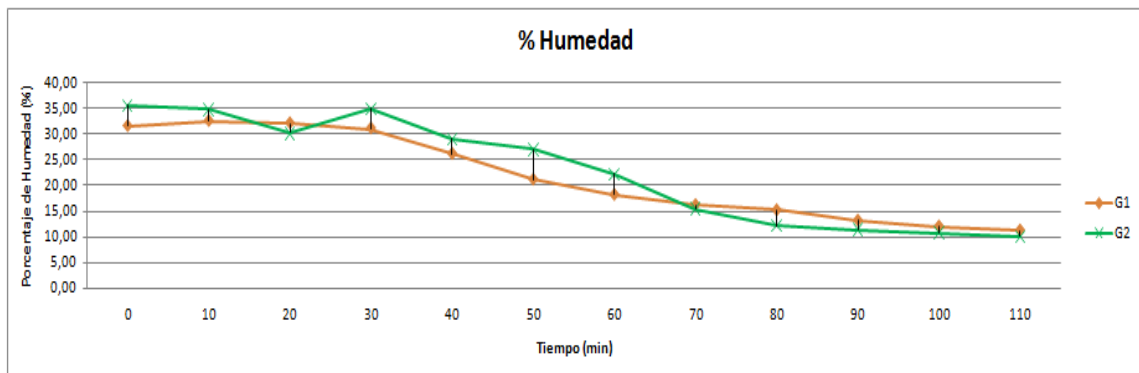
El igual que en la prueba V, por medio de esta se puede verificar que los aislamientos de las paredes tanto en el puente entre el sistema de calentamiento y la cámara de secado son muy eficientes ya que los valores de temperatura registrados en estos puntos son muy cercanos a los registrados de la temperatura ambiente y menores a los registrados para al aire de proceso.

### 6.5.8 Conclusiones Prueba VIII.

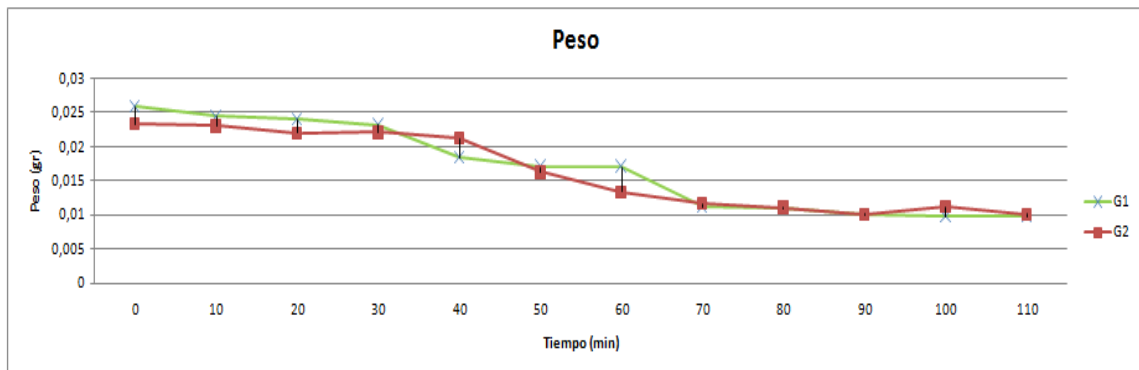
Por último la prueba para verificar la hipótesis con la cual se concibió este equipo secador “eficiencia de secado”, se consideró dos granos al asar de la

capacidad cargada en la cama de secado, se los señaló y se fueron analizando en función del tiempo los parámetros de humedad de grano y peso.

Tras casi dos horas de prueba, los granos llegaron a parámetros ideales con lo que concluimos que no es necesario realizar una calibración del quemador para elevar la capacidad calorífica en busca de aumentar la temperatura de secado.



**Figura 6.22** Humedad de granos de maíz analizados



**Figura 6.23** Peso de granos de maíz analizados

Los granos elegidos del lote bajaron su humedad de un promedio de 34% a 11% en 110 minutos, pese a que su peso fue similar, si pudo verificar que la eficiencia en el secado del grano en un sistema plano o tipo cama, depende de la posición. El

grano que siempre se mantuvo cerca a las paredes disminuyó su humedad más lento que el grano que siempre estuvo en la mitad de la cámara.

Los fabricantes industriales de este tipo de equipos consideran que un secado regular de los granos, depende del movimiento constante al cual estos sean sometidos a lo largo del tiempo.

## CAPÍTULO 7

### ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO

#### 7.1 Análisis económico

Mediante este análisis se establecerá el valor neto del equipo, ya que se considerará los gastos directos, indirectos e imprevistos. Este será el punto inicial para determinar que tan rentable será la inversión realizada por “Molinos San José”.

##### 7.1.1 Costos directos.

Los costos directos o bien llamados contribucionales, son aquellos que se han realizado en función de poder construir el equipo, tales como: materiales, equipos, honorarios, etc.

##### a) Material metalmecánico

**Tabla 7.1** Costos material metalmecánico.

ORDEN	DESCRIPCION DE MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	V.TOTAL
1	Angulo de 2" x 3/16"	uni	1	17,54	17,54
2	Ángulos de 1" x 1/8"	uni	5	13,12	65,60
3	Juegos de pernos 5/16 x 1"	uni	150	0,65	97,50
4	Plancha de acero inoxidable 1.5 mm	uni	1	245,67	245,67
5	Plancha de tol negro de 2 mm	uni	1	153,45	153,45
6	Plancha perforada de acero de 2 m x 1 m x 2	uni	1	223,60	223,60
7	Planchas de acero al carbono de 1.8 mm	uni	2	46,54	93,08
8	Planchas de acero galvanizado de 0.75 mm	uni	5	45,12	225,60
9	Planchas de tol negro de 3 mm	uni	4	52,14	208,56
10	Platinas de 1" x 1/8"	uni	4	12,12	48,48
11	Remaches pop de 3/16" x 1/2 "	uni	100	0,17	17,00
12	Tubos cuadrados de 50 x 50 x 2mm	uni	2	18,50	37,00
13	Tubos de acero de 1" espesor 2 mm	uni	24	19,14	459,36
14	Tubos rectangulares de 40 x 20 x 2 mm	uni	2	16,78	33,56
					1.926,00

b) Material eléctrico

**Tabla 7.2** Costos material eléctrico.

ORDEN	DESCRIPCION DE MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	V.TOTAL
15	Amarra cable 4"x2,5MM rápidos (50 uni)	uni	1	1,42	1,42
16	Amarra cable 6"x4,8MM rápidos (50 uni)	glb	1	1,52	1,52
17	Cable Flexible #18	m	30	0,20	6,00
18	Conector Recto BX 1/2"	uni	4	0,54	2,16
19	Control de Temperatura 0-400°C 110/220V	uni	1	54,85	54,85
20	Gabinete Metálico 20x20x16	uni	1	22,56	22,56
21	Interruptor tipo palanca	uni	1	6,31	6,31
22	Manguera anillada BX 1/2"	uni	4	1,62	6,48
23	Terminal conector tipo orquilla	uni	12	0,13	1,56
24	Terminales PIN#18	uni	20	0,05	1,00
25	Termocupla tipo RT	uni	1	12,15	12,15
					116,01

c) Material complementario

**Tabla 7.3** Costos material complementario.

ORDEN	DESCRIPCION DE MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	V.TOTAL
26	Abrazaderas de 1/2"	uni	2	0,58	1,16
27	Adaptador b-3 de 1/2 bronce	uni	2	1,12	2,24
28	Adaptador b-3 de 3/8	uni	2	1,45	2,90
29	Anticorrosivo	gal	1	15,18	15,18
30	Bushing de 3/4x1/2	uni	2	1,12	2,24
31	Cilindro de gas 15 kg	uni	1	67,56	67,56
32	Ladrillos refractarios	uni	36	4,18	150,48
33	Manguera 300 psi	m	5	1,06	5,30
34	Mortero refractario humedo	Kg	35	1,06	37,10
35	Neplo 122 1/4x1/4	uni	2	2,15	4,30
36	Pintura de alta temperatura	gal	2	45,18	90,36
37	Quemador a gas Marca Wayne	uni	1	744,80	744,80
38	Reductor de 1/4x1/2 G-4	uni	2	12,16	24,32
39	Regulador 753B	uni	1	15,68	15,68
40	Rollo de lana de vidrio de 50 mm de espesor	uni	1	143,54	143,54
41	Silicón transparente	uni	1	7,54	7,54
42	Venterol eléctrico de 4" 110V	uni	1	128,21	128,21
					1.442,91

d) Material consumible

**Tabla 7.4** Costos material consumible.

ORDEN	DESCRIPCION DE MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	V.TOTAL
43	Broca 3/16x3-1/2"	uni	1	3,12	3,12
44	Broca de cobalto 1/4"	uni	1	3,65	3,65
45	Broca de cobalto 5/32"	uni	1	2,43	2,43
46	Broca HSS 3/16"	uni	1	3,14	3,14
47	Broca HSS 5/32"	uni	1	2,87	2,87
48	Brochas blancas 2 1/2"	uni	2	1,54	3,08
49	Cepillo multiusos	uni	2	1,98	3,96
50	Disco de corte 7"	uni	2	15,45	30,90
51	Disco desbaste 7"	uni	2	17,87	35,74
52	Discos de corte	uni	2	19,12	38,24
53	Electrodos E6011 $\varnothing$ 1/8"	Kg	5	7,99	39,95
54	Envases	uni	2	1,34	2,68
55	Juego de Brocas	glb	1	15,67	15,67
56	Lija de agua	uni	6	0,65	3,90
57	Sierra Grano fino	uni	1	17,87	17,87
58	Sierra Grano grueso	uni	1	17,54	17,54
59	Taipe	uni	2	0,56	1,12
60	Teflones	uni	3	0,35	1,05
61	Tiñer	gal	2	5,43	10,86
					237,77

e) Otros gastos

**Tabla 7.5** Costos por servicios complementarios.

ORDEN	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	V.TOTAL
62	Alquiler de taller	día	24	20,00	480,00
63	Servicio de corte de planchas	uni	2	12,30	24,60
64	Servicio de Instalación eléctrica	glb	1	56,00	56,00
65	Honorarios Soldador	día	20	10,00	200,00
					760,60

De esta manera al sumar todos los costos directos detallados, se obtiene un total de: **\$ 4 483.29**

## 7.1.2 Costos indirectos

A diferencia de los costos directos, los indirectos (estructurales), son gastos que no influyen directamente en el costo del bien. Son aquellos en los cuales se ha tenido que incurrir para poder concluir con la construcción, y se detallan así:

### a) Seguridad y complementarios

**Tabla 7.6** Costos por seguridad y complementarios.

ORDEN	DESCRIPCION DE MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	V.TOTAL
66	Gafa protección clara	uni	4	1,96	7,84
67	Guantes de cuero	uni	2	9,01	18,02
68	Overoles	uni	2	15,12	30,24
69	Plastico negro ( Cobertor)	m	15	1,89	28,35
70	Respirador gases tóxicos	uni	4	1,34	5,36
					89,81

### b) Otros gastos generales

**Tabla 7.7** Costos generales.

ORDEN	DESCRIPCION DE MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	V.TOTAL
71	Alimentación	glb	1	215,00	215,00
72	Transporte	glb	1	280,00	280,00
73	Internet	glb	1	210,00	210,00
74	Copias	glb	1	70,00	70,00
75	Utiles de Oficina	glb	1	139,00	139,00
76	Varios	glb	1	50,00	50,00
					964,00

Obteniendo como total de costos indirectos: **\$ 1 053.85**. Dentro de los gastos indirectos, deberían verse reflejados los sueldos de los empleados y asesores técnicos que se vieron inmersos en el proceso de ingeniería, pero debido a tratarse de un proyecto de grado, no se incluyen estos valores.



### **7.1.3 Costo Total**

Sumando los costos directos e indirectos se obtienen el costo total del equipo: **\$ 5 537.10**, tomando en cuenta que a estos costos se les debe aumentar un aproximado de 25% por regla financiera correspondientes a gastos intelectuales e imprevistos se puede concluir que el costo aproximado del secador de gramíneas – Zea mays esta bordeando los **\$ 6 921.37**.

## **7.2 Análisis financiero**

De aquí en adelante se detalla el análisis de costo beneficio, en donde se determinará, que tan rentable será la actividad de secado de maíz con la construcción de este equipo (Anexo 7.2.A), en especial verificar la teoría de disminución de gasto para los dueños del proyecto, “Molinos San José”.

### **7.2.1 Consumo Energético**

El equipo consume dos tipos de energías: GLP para la producción de calor por medio del quemador y energía eléctrica para potencia y control de los equipos soporte (quemador, ventilador y control de temperatura).

Concerniente al consumo de GLP, se acepta como valida la expectativa de los dueños del proyecto quienes aspiran realizar 3 tandas (sesiones) de secado diarias y se asume como cierto el tiempo experimental de 110 minutos por cada sesión. Adicionalmente se considera un valor oficial de 0.15 USD por Kg. de GLP (Enero del 2009), precio que incluye IVA y transportación. De esta manera podemos determinar cual es el costo por combustible utilizado en el proceso de secado en el lapso de un año.

**Tabla 7.8** Consumo de combustible.

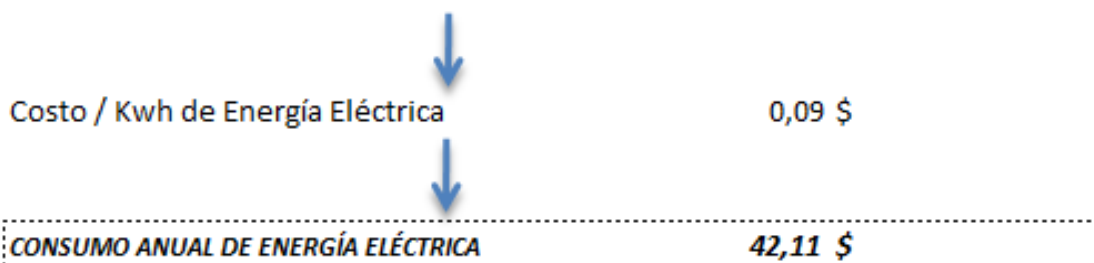
**Consumo de Combustible**

Tiempo de secado / cada tanda	110,00 min
Tandas / día	3 uni
<hr/>	
Tiempo total de secado / día	330,00 min
↓	
Tiempo de secado / año	858,00 horas
Consumo de combustible	1,00 cilindro/10 horas
↓	
<b>CONSUMO ANUAL DE GLP</b>	
	<b>85,8 cilindros</b>
↓	
Kilogramos de GLP / cilindro	15,00 Kg
Kilogramos de GLP / consumo anual	1287 kg
Costo / Kg de GLP	0,15 \$
↓	
<b>CONSUMO ANUAL DE GLP</b>	
	<b>193,05 \$</b>

Con respecto al consumo energético, se realizan las siguientes consideraciones: El consumo total de energía eléctrica es de 5.2 Amperios (A) tomado en la interacción total de los equipos por medio de un amperímetro y el costo por Kw/h (Enero 2009) es de 0.0858 USD.

**Tabla 7.9** Consumo de energía eléctrica.

Consumo de Energía (Intensidad -I)	5,2 A
Suministro de Energía (Voltaje -V)	110 V
<hr/>	
Potencia Consumida ( $P = I \times V$ )	572 W
↓	
<b>CONSUMO ANUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA</b>	
<b>(<math>P_a = P \times \text{Horas de trabajo}</math>)</b>	<b>490,78 Kw/h</b>



De esta manera obtenemos el costo total por energía consumida en el período de un año:

<b>Costo Anual x Energía</b>	<b>235,16 \$</b>
------------------------------	------------------

## 7.2.2 Fuentes de Financiamiento

El proyecto fue concebido para facilitar y mejorar el proceso de molienda de maíz en el “Molino San José” por lo que gran parte de la inversión vino desde esta microempresa y en una cantidad mínima por nosotros los estudiantes. En La siguiente tabla se muestra la carga de financiación de este proyecto:

**Tabla 7.10** Fuentes de financiamiento.

	Molino San José	%	Estudiantes	%
Material metalmecánico	1.926,00	100%		
Material eléctrico	116,01	100%		
Material complementario	1.442,91	100%		
Material Consumible	237,77	100%		
Otros Gastos	760,60	100%		
Seguridad y complementarios			89,81	100%
Otros gastos generales			964,00	100%
Imprevistos	692,14	50%	692,14	50%
<b>SUBTOTAL</b>	<b>5.175,43</b>		<b>1.745,95</b>	
<b>TOTAL</b>	<b>6.921,38</b>			

### 7.2.3 Depreciación general del equipo

Financieramente los equipos y/o maquinarias de este tipo tienen una vida útil de 10 años, para calcular el valor final se utiliza el método de depreciación de línea recta, considerando que el valor de retorno esperado por “Molinos San José”, al término de la vida útil del bien es de \$1 500.00.

**Tabla 7.11** Depreciación en línea recta del equipo.

Valor del activo	6.921,38	<i>Costo Inicial del Equipo</i>
Valor de retorno	1.500,00	<i>Costo Final del Equipo</i>
Vida útil (Años)	10	

Año	Cuota depreciación	Depreciación acumulada	Valor neto en libros
1	542,14	542,14	(542,1)
2	542,14	1.084,28	(1.084,3)
3	542,14	1.626,41	(1.626,4)
4	542,14	2.168,55	(2.168,6)
5	542,14	2.710,69	(2.710,7)
6	542,14	3.252,83	(3.252,8)
7	542,14	3.794,96	(3.795,0)
8	542,14	4.337,10	(4.337,1)
9	542,14	4.879,24	(4.879,2)
10	542,14	5.421,38	(5.421,4)

### 7.2.4 Flujo de Caja

Flujo de caja es la interacción de ingresos y egresos que cierto bien generará a lo largo de su vida útil, para este caso:

Vida útil - Secador de gramíneas Zea mays: 10 años.

Con respecto a los ingresos, este equipo generará un servicio secado de maíz diario de 600 kilogramos (kg) que representan 3 tandas de secado de 2 quintales cada una y una eficiencia de funcionamiento del 100%.

Molinos “San José” realizará este servicio los días martes, jueves y domingo de las 52 semanas del año; coincidiendo con los días de comercio del Cantón Rumiñahui (Comuneros emigran a la ciudad para dotarse de servicios y provisiones). El costo por quintal será establecido en \$ 4,50 para el primer año y de ahí en adelante se realizará un ajuste del 3% por cada año.

**Tabla 7.12** Ingresos a lo largo del tiempo influenciados por inflación.

<b>AÑO</b>	<b>INGRESOS TOTALES (SERVICIO)</b>
1	4.212,00
2	4.338,36
3	4.468,51
4	4.602,57
5	4.740,64
6	4.882,86
7	5.029,35
8	5.180,23
9	5.335,64
10	5.495,70
<b>TOTAL</b>	<b>48.285,86</b>

Con respecto a los egresos, se consideran para este análisis, seis fuentes de gasto a lo largo de los 10 años de utilidad del equipo, siendo estos:

Egreso 1: Inversión inicial o costo total del equipo \$ 6 921,38

En lo que tiene que ver a gasto por depreciación, se establece un valor fijo anual (calculado en 7.2.3):

Egreso 2: Gasto por depreciación del equipo \$ 5 421,38

El costo por energía consumida, GLP y energía eléctrica fue calculado en base a condiciones del primer año de funcionamiento del equipo (7.2.1). Para el flujo de caja considerando que la situación financiera del Ecuador es muy fluctuante a lo largo del tiempo se consideró un aumento del 3% por concepto de inflación para cada año:

Egreso 3: Gasto por consumo de energía \$ 2 695,83

El mantenimiento del equipo es un gasto considerable a lo largo de la vida útil del mismo. Según nuestras expectativas, como constructores, pensamos que la frecuencia de mantenimiento preventivo e inspección de partes, no debe ser superior a bimensual. El costo aproximado por cada revisión es \$ 100; en el flujo de caja se lo muestra como un ítem influenciado por el porcentaje de inflación estatal.

Egreso 4: Gasto anual por mantenimiento del equipo \$ 6 878,33

Todo equipo no automático necesita de un operador responsable del mismo, para el caso de este secador, el operador utiliza la mitad de su tiempo al mes en el manejo y control del equipo. De los 24 días que el operador trabaja en Molinos “San José”, 12 dedica para el fin en mención y su sueldo mensual incluido horas extras es de \$ 250.00.

Egreso 5: Gasto por mano de obra \$ 17 195,82

Para terminar con los egresos a los cuales se someterá nuestra inversión en función de la vida útil, se establece un valor de imprevistos al año, el cual contempla: publicidad, limpieza fina y otros.

Egreso 6: Gasto por imprevistos \$ 1 719, 52

La suma de todos los egresos y listados por cada año (10 años) se muestran en la tabla 7.12.

**Tabla 7.13** Egresos a lo largo del tiempo.

AÑO	EGRESOS TOTALES
1	(9.948,67)
2	(3.101,85)
3	(3.178,64)
4	(3.257,74)
5	(3.339,21)
6	(3.423,12)
7	(3.509,55)
8	(3.598,57)
9	(3.690,26)
10	(3.784,71)
<b>TOTAL</b>	<b>(40.832,31)</b>

Para terminar el flujo de caja es positivo luego de los 10 años de vida útil como se muestra en la tabla 7.13

**Tabla 7.14** Flujo de Caja a lo largo del tiempo.

AÑO	FLUJO DE CAJA
1	(5.736,67)
2	1.236,51
3	1.289,87
4	1.344,83
5	1.401,44
6	1.459,74
7	1.519,80
8	1.581,66
9	1.645,37
10	1.711,00
<b>TOTAL</b>	<b>7.453,55</b>

### 7.2.5 Valor Actual Neto.

Este índice financiero nos permitirá calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por la inversión inicial.

- VAN > 0 La inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida (r)
- VAN < 0 La inversión produciría pérdidas por encima de la rentabilidad exigida (r)
- VAN = 0 La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas

La fórmula que nos permite calcular el Valor Actual Neto es:

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n} \quad (7.1)$$

Donde:

Q<sub>n</sub>: Flujos de caja.

I : Valor del desembolso inicial de la inversión.

N : Número de períodos considerado.

R : Tipo de interés.

Visualizando el flujo de caja podemos considerar que este proyecto no tiene riesgo, por lo que r se tomará como referencia el tipo de la renta fija financiera del Ecuador (10%).

A apoyados en Microsoft Excel, realizamos el cálculo con la formula VNA y obtenemos el siguiente resultado.



**Tabla 7.15** Cálculo de valor actual neto.

AÑO	FLUJO DE CAJA
<i>INVERSIÓN</i>	(6.921,38)
1	1.184,70
2	1.236,51
3	1.289,87
4	1.344,83
5	1.401,44
6	1.459,74
7	1.519,80
8	1.581,66
9	1.645,37
10	1.711,00
<b>TOTAL</b>	<b>7.453,55</b>

*N* (bracket on the left side of the table, covering years 1-10)

*I* (bracket on the left side of the table, covering the investment row)

*Q<sub>n</sub>* (bracket on the right side of the table, covering years 1-10)

*Q<sub>i</sub>* (bracket on the right side of the table, covering the investment row)

<i>r</i>	% Rentabilidad	10%
----------	----------------	-----

<b>VAN</b>	<b>\$ 1.485,96</b>
------------	--------------------

<b>TIR</b>	<b>15%</b>
------------	------------

Como podemos apreciar en la tabla 7.15, el VAN es positivo con lo que se puede concluir que: *La inversión producirá ganancias por encima de la rentabilidad exigida (r) – el proyecto debe ser ejecutado.*

### 7.2.6 Tasa Interna de Retorno.

Este indicador está definido como la tasa de interés con la cual el valor actual neto es igual a cero. Es un hito financiero de la rentabilidad de un proyecto, a mayor TIR, mayor rentabilidad.

La Tasa Interna de Retorno es el tipo de descuento que hace igual a cero el VAN:

$$VAN = -I + \sum_{i=1}^N \frac{Q_i}{(1 + TIR)^i} = 0 \quad (7.2)$$

Donde:

$Q_i$  : Flujo de Caja en el periodo  $i$ .

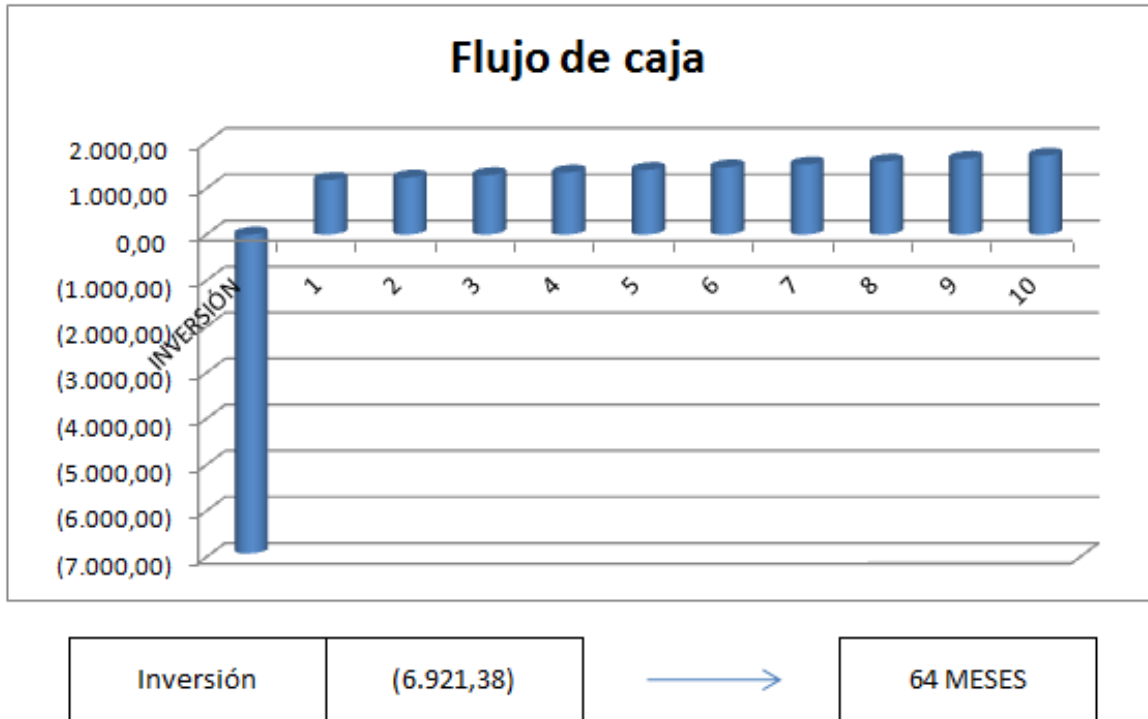
- Si  $TIR \geq r \rightarrow$  Se aceptará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad mayor que la rentabilidad mínima requerida (el coste de oportunidad).
- Si  $TIR < r \rightarrow$  Se rechazará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad menor que la rentabilidad mínima requerida.

Utilizando de igual manera Microsoft Excel, realizamos el cálculo con la formula TIR y obtenemos los resultados que se muestran en la figura 7.15.

Ya calculados el VAN y el TIR, podemos concluir que la inversión para Molinos “San José” será rentable y segura. Y la rentabilidad para no generar perdidas esta dentro de un rango superior a la rentabilidad general del Estado Ecuatoriano.

### **7.2.7 Plazo de recuperación.**

El también llamado Pay-back, es método de selección estático. Se trata de una técnica que tienen las empresas para hacerse una idea aproximada del tiempo que tardarán en recuperar el desembolso inicial en una inversión.



**Figura 7.1** Análisis de plazo de recuperación

Como se puede apreciar en la Figura 7.1, el proyecto es rentable. El retorno del capital invertido está pronosticado en un tiempo de: 72 meses. Esto provoca que los flujos de caja futuros y los de los últimos períodos, no afecten a la recuperación de inversión considerando que este es un método estático de análisis.

### 7.2.8 Relación Beneficio - Costo.

La relación costo beneficio (B/C) toma los ingresos y egresos presentes netos del flujo de caja, para determinar cuáles son los beneficios por cada dólar que se invierte en el proyecto.

- $B/C > 1$  implica que los ingresos son mayores que los egresos, entonces el proyecto es aconsejable.

- B/C = 1 implica que los ingresos son iguales que los egresos, entonces el proyecto es indiferente.
- B/C < 1 implica que los ingresos son menores que los egresos, entonces el proyecto no es aconsejable.

La forma de calcular esta relación esta descrita por la siguiente ecuación.

$$B/C = \sum_{i=0}^n \frac{\frac{V_i}{(1+i)^i}}{\frac{C_i}{(1+i)^i}} \quad (7.3)$$

Donde:

Vi : Ingresos a lo largo de la vida útil

Ci : Egresos a lo largo de la vida útil

Para realizar el cálculo con mucha más facilidad utilizaremos el siguiente proceso, primero realizaremos el cálculo del beneficio anual por medio de la siguiente forma.

$$\text{Beneficio Total} = \frac{\text{Flujo de Caja en } n}{(1 + i)^n}$$

Para luego dividir este beneficio para los costos generales del equipo (inversión inicial).

**Tabla 7.16** Cálculo de la relación beneficio vs. costo.

AÑO	FLUJO DE CAJA	BENEFICIO
<b>INVERSIÓN</b>	(6.921,38)	
1	1.184,70	1.077,00
2	1.236,51	1.021,91
3	1.289,87	969,10
4	1.344,83	918,54
5	1.401,44	870,18
6	1.459,74	823,99
7	1.519,80	779,90
8	1.581,66	737,86
9	1.645,37	697,80
10	1.711,00	659,66
<b>TOTAL</b>	<b>7.453,55</b>	<b>8.555,93</b>

<i>i</i>	% Rentabilidad	10%
----------	----------------	-----

B/C	1,2
-----	-----

Al encontrar que la relación B/C es > 1 podemos determinar que el proyecto es aconsejable y 100% seguro.

## CAPÍTULO 8

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 8.1 Conclusiones

- El equipo secador para gramíneas de *Zea mays* fue diseñado y construido bajo todo el sustento teórico y práctico, desarrollado en la vida universitaria así como fundamentado en la consulta e investigación. El equipo funciona según lo planificado y es el pionero en la microempresa de molienda del cantón Rumiñahui.
- La publicidad y el mercadeo que se ha realizado en torno a este equipo, ha provocado que el “Molino San José”, amplíe su gama de servicios y sea la única micro-empresa que ofrezca un servicio agregado con respecto a la competencia. Mejorando sustancialmente la utilidad de los cosechadores de maíz.
- La selección de un secador tipo lecho fijo horizontal, benefició el proceso y la adaptación del equipo al medio físico que se ha destinado para el funcionamiento del equipo. Su diseño esbelto garantiza la explotación industrial del equipo en función de la demanda.
- La utilización de constantes y variables, aplicadas a la altura o temperatura de la situación geográfica del Cantón Rumiñahui, jugaron un papel definitivo en la

valía del sistema, el rendimiento térmico es excelente y no promueve vacíos de producción a consecuencia de anomalías térmicas.

- Las pruebas y la puesta en marcha demostraron, la eficiencia adecuada de secado que tiene este equipo, al cumplir con todas las fases en tan solo dos horas aproximadamente, bajando la humedad de grano en un 23% (2 Quintales).
- Los granos de maíz obtenidos del proceso de secado, en calidad y peso son aceptables, por lo cual el proceso de generación de harinas ha mejorado sustancialmente.
- La aplicación de una herramienta de análisis de riesgos generó un apoyo total a lo largo de todo el proceso, desde el momento que se inició el diseño hasta el término de la construcción, garantizando de esta manera la eliminación en un gran porcentaje de los accidentes e incidentes, causados por falta de conocimiento y/o manipulación inadecuada de las sub-partes.
- El análisis financiero, mostró que la inversión realizada (Costo total del equipo \$ 6 921.37), tiene un retorno bueno, dando confiabilidad a la inversión. Los índices como VAN, TIR, PAYBACK y B/C están dentro de los rangos de optimismo y proponen un panorama alentador para la realización del proyecto.
- El costo de secado se fijó en \$ 4.5 dólares por quintal, en función de lograr rentabilidad con la ejecución del proyecto. La acogida de este sistema innovador para Rumiñahui, podría provocar el aumentar de 4 tandas de 1.5 quintales por día a 6 tandas; generando disminución del costo unitario.

## 8.2 Recomendaciones

- Para lograr un secado mas uniforme, se recomienda que el producto se distribuya uniformemente a lo largo de toda la cámara de secado y se realice un movimiento cada 20 minutos por medio de un ordenador (rastrillo).
- La persona que realiza el movimiento del producto y tareas de limpieza sobre la cámara de secado (malla perforada), no debe exceder los 60 kg de peso, en función de precautelar la integridad física del mismo.
- La limpieza de la cámara baja de combustión por medio de la escotilla de mantenimiento debe ser realizada una vez por semana, como se muestra en el manual de mantenimiento y funcionamiento (Anexo A), evitando de esta manera la contaminación general del intercambiador de calor.
- En el caso de necesitar un movimiento del equipo a otra situación geográfica, será necesario realizar una calibración del quemador, para garantizar la misma eficiencia del secado.
- Por seguridad y cumplimiento con las leyes del Gobierno ecuatoriano, se recomienda el uso de cilindros de gas industrial para la operación del equipo. Y si el propietario esta en la posibilidad de adquirir un sistema centralizado de GLP, se eliminarían cualquier riesgo mayor de afectación.



## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Carlos Alberto de Dios, Secado de granos y secadoras, de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Santiago - Chile 1996
2. Valdecir Antoninho, Secado de granos: natural, solar y a bajas temperaturas, de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Santiago – Chile 1991
3. Marcal Daniel, Marques José, Principios de secado de granos psicrometría higroscopia, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 1991.
4. Cengel Yunus y Boles Michael, Termodinámica, Tomo I y II, 2da ed. México, McGraw-Hill 2000
5. Incropera Frank y de Witt, Fundamentos de transferencia de calor, 4ta ed, México, Prentice Hall, 1999.
6. Singh Paúl, Heldman Dennis, Introducción a la Ingeniería de Alimentos, Acribia S.A., 1998
7. Hreith F., Black, W. Transferencia de Calor principios fundamentales, Alambra, 1983.
8. Arellano Iván, Selección, Operación y Mantenimiento de calderos industriales, 2007.
9. Guasumba José, Sistemas térmicos para aplicaciones industriales, Quito 2009
10. Guasumba José, Intercambiadores de calor, Quito 2009

11. Wayne Combustion System, Manual de funcionamiento y mantenimiento Quemadores serie P250 AF

## FUENTES DE INFORMACIÓN

- [www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maiz.asp](http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maiz.asp)
- [www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/Ing%20Rizzo/maiz/cultivo\\_maiz.htm](http://www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/Ing%20Rizzo/maiz/cultivo_maiz.htm)
- [www.sc.ehu.es/nmwmigaj/carta\\_psicrometrica.htm](http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/carta_psicrometrica.htm)
- [www.fao.org/docrep/x5057s/x5057S02.htm](http://www.fao.org/docrep/x5057s/x5057S02.htm)
- [www.itc.edu.co/carreras\\_itc/mantenimiento/aire/Psicrometria.htm](http://www.itc.edu.co/carreras_itc/mantenimiento/aire/Psicrometria.htm)
- [www.directindustry.es/prod/wayne-combustion-systems/quemador-para-caldera-21961-81317.html](http://www.directindustry.es/prod/wayne-combustion-systems/quemador-para-caldera-21961-81317.html)
- [www.mavainsa.com/documentos/2\\_transferencia\\_calor.pdf](http://www.mavainsa.com/documentos/2_transferencia_calor.pdf)
- [www.zonaeconomica.com/excel/van-tir](http://www.zonaeconomica.com/excel/van-tir)
- [www.technologytraining.com.mx/ttc-mexico/seminrios-administracion/fame\\_f07.html](http://www.technologytraining.com.mx/ttc-mexico/seminrios-administracion/fame_f07.html)
- [http://buscon.rae.es/drael/SrvltConsulta?TIPO\\_BUS=3&LEMA=cultura](http://buscon.rae.es/drael/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=cultura)

# **ANEXO A**

## **MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

# **ANEXO B**

## **DIAGRAMAS DE PROCESOS – CONSTRUCCIÓN**

- **ANEXO B1: Cámara base**
- **ANEXO B2: Cámara de combustión**
- **ANEXO B3: Intercambiador de calor**
- **ANEXO B4: Ducto de evacuación de gases**
- **ANEXO B5: Cámara de secado**
- **ANEXO B6: Tina para productos**
- **ANEXO B7: Ducto de entrada del ventilador y base**

# **ANEXO C**

## **ANEXOS POR CÁPITULOS**

# **ANEXO D**

## **FOTOGRAFIAS DEL EQUIPO**

# **ANEXO E**

## **CARTA DE SATISFACCIÓN**

# **ANEXO F**

## **PLANOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**



# **ANEXO G**

## **CATALOGOS Y AYUDAS VARIAS**