



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA
AUTOMATIZADO DE TRATAMIENTO TÉRMICO PARA
LA MODIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-
QUÍMICAS DEL ARROZ PILADO EN LA EMPRESA
AGRORIVERAVILLAFUERTE S.A.”**

AUTOR: EDGAR SANTIAGO RIVERA GRIJALVA

DIRECTOR: ING. HÉCTOR TERÁN

CODIRECTOR: ING. JUAN CORREA

LATACUNGA

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
CERTIFICACIÓN

ING. HÉCTOR TERÁN (DIRECTOR)

ING. JUAN CORREA (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE TRATAMIENTO TÉRMICO PARA LA MODIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL ARROZ PILADO EN LA EMPRESA AGRORIVERAVILLAFUERTE S.A.” realizado por el señor: EDGAR SANTIAGO RIVERA GRIJALVA ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, SI recomiendan su publicación.

Latacunga, 11 de agosto del 2015.

Ing. Héctor Terán
DIRECTOR

Ing. Juan Correa
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, EDGAR SANTIAGO RIVERA GRIJALVA

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE TRATAMIENTO TÉRMICO PARA LA MODIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL ARROZ PILADO EN LA EMPRESA AGRORIVERAVILLAFUERTE S.A.” ha sido desarrollada con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme a las referencias que constan en las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, 11 de agosto del 2015.

Edgar Santiago Rivera Grijalva

C.C.: 180420763-5

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
AUTORIZACIÓN

Yo, EDGAR SANTIAGO RIVERA GRIJALVA

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la institución, el proyecto de grado titulado: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE TRATAMIENTO TÉRMICO PARA LA MODIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL ARROZ PILADO EN LA EMPRESA AGRORIVERAVILLAFUERTE S.A.” cuyo contenido, ideas y criterios es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, 11 de agosto del 2015

Edgar Santiago Rivera Grijalva

C.C.: 180420763-5

DEDICATORIA

Dedico el fruto de este esfuerzo a Dios por su apoyo y fortaleza durante todos y cada uno de los días que duro está travesía, por saber guiar mi camino y darme la oportunidad de nuevamente enfocar mis metas. Con el cariño más sincero se lo dedico a toda mi familia quienes de una u otra forma colaboraron con el cumplimiento de este sueño; a mi mamá quien es el pilar y sentido de ser de mi vida quien día a día me brinda su amor y comprensión aceptándome siempre con mis locuras y caprichos; a mi hermano, mi ejemplo a seguir y soporte en momentos difíciles por quien siento un profundo respeto y admiración, a mi padre por su perseverancia y positivismo para alcanzar esta meta a pesar de las dificultades y limitantes; a mi tío por siempre apoyarme y ofrecer su colaboración y por supuesto a mí mismo por tener la actitud y aptitud para luchar y alcanzar mis sueños.

Edgar Santiago Rivera Grijalva

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento profundo y sincero a toda mi familia quienes son el cimiento y razón de ser de mi vida además del apoyo incondicional para alcanzar mis sueños y anhelos.

A la empresa AGRORIVERAVILLAFUERTE S.A. por brindarme los conocimientos y la apertura necesaria para realizar y concluir este proyecto; a mi codirector y de manera muy especial a mi director quien colaboro con total desinterés y transparencia brindándome su ayuda y tiempo en cada uno de los días que acudí en busca de una guía.

A todas y cada una de las personas que forman o han formado en algún instante parte de mi vida porque cada una de ellas ha colaborado con algo para motivarme y seguir siempre adelante.

Edgar Santiago Rivera Grijalva

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS	xx
RESUMEN.....	xxiv
ABSTRACT.....	xxv
PRESENTACIÓN	xxvi

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Descripción del proceso	1
1.2. Introducción	2
1.3. Análisis agrónomo.....	3
1.3.1. Origen e historia del arroz	3
1.3.2. Arroz (Oryza Sativa).....	4
a. Características	5
b. Propiedades físicas.....	6
b.1. Beneficio de alterar propiedades físicas.....	10
c. Propiedades químicas.....	11
c.1. Almidón, amilosa y amilopectina	12

c.2.	Beneficios de alterar propiedades químicas	13
d.	Tipos de granos y variedades	14
d.1.	Paddy o arroz con cáscara	14
d.2.	Brown rice o arroz descascarillado (arroz integral)	15
d.3.	Milled rice o arroz elaborado (arroz blanco)	16
1.3.3.	Situación actual del arroz a nivel mundial.....	17
1.3.4.	Situación del arroz en el ecuador	19
1.3.5.	Envejecimiento de arroz.....	21
a.	Método natural de envejecido	22
b.	Método artificial de envejecido	23
1.4.	Área mecánica	24
1.4.1.	Tolva de almacenamiento	25
a.	Descarga por gravedad.....	26
b.	Descarga forzada.....	26
1.4.2.	Transportador mecánico	27
a.	Transportador de tornillo sinfín.....	28
a.1.	Especificaciones	29
b.	Zaranda vibratoria	30
1.4.3.	Sistema de tratamiento térmico alimenticio	32
a.	Métodos básicos de transferencia de calor (secado).....	33
a.1.	Secado de aire.....	34
a.2.	Secador por lotes flat bed-type.....	34
a.3.	Secador por lotes de recirculación	35
a.4.	Secador de la universidad estatal de louisiana.....	36
a.5.	Secador de deflector	37
a.6.	Secador rotatorio.....	38
a.7.	Intercambiador de calor.....	39

1.4.4.	Actuadores.....	40
a.	Ventilador centrífugo	40
b.	Cilindro neumático	41
c.	Niquelinas	42
1.4.5.	Materiales	42
a.	Acero inoxidable.....	42
1.5.	Dispositivos de control	43
1.5.1.	Sensor	43
1.5.2.	Controlador lógico programable (PLC)	44
1.5.3.	Variador de frecuencia	45
1.5.4.	Touch panel	45
1.6.	Sistema de control	46
1.6.1.	Sistema de control a lazo cerrado	46
1.6.2.	Interfaz hombre máquina (HMI).....	47
1.6.3.	Software de programación	48

CAPÍTULO II

2.	DISEÑO	50
2.1.	Introducción	50
2.2.	Diseño por calidad	51
2.2.1.	Casa de la calidad.....	51
2.2.2.	Requisitos del cliente	52
2.2.3.	Requisitos técnicos	53
2.2.4.	Conclusión de la casa de la calidad	53
2.3.	Diseño conceptual.....	57
2.3.1.	Especificaciones para el diseño	57
2.3.2.	Principio básico de funcionamiento	58

	x
2.3.3. Matriz morfológica	60
2.3.4. Matriz de evaluación	65
2.4. Diseño del sistema mecánico	67
2.4.1. Selección del material	68
2.4.2. Diseño de la tolva de almacenamiento	69
a. Capacidad de la tolva	70
b. Dimensionamiento de la tolva	72
2.4.3. Diseño de la cámara de tratamiento	73
a. Capacidad de la cámara	73
b. Dimensionamiento de la cámara	74
c. Distribución de la tubería	77
d. Análisis térmico de la cámara de tratamiento	78
d.1. Energía transferida al arroz	79
d.2. Energía transferida a la cámara	81
2.4.4. Cálculo del caudal del ventilador	86
2.4.5. Diseño de transportador de tornillo sinfín	89
a. Capacidad del transportador	90
b. Potencia requerida	92
b.1. Potencia necesaria para transportar material	92
b.2. Potencia de accionamiento del tornillo sin carga	93
b.3. Potencia debido a la inclinación	94
c. Diseño hélice	95
c.1. Cálculo del volumen de la hélice	96
c.1.1. Cálculo del número de pasos	96
c.1.2. Cálculo del volumen para un paso	97
c.2. Cálculo del peso y carga máxima del material	98
c.3. Cálculo de los parámetros del sinfín	99

c.4.	Cálculo del espesor de la hélice	101
c.4.1.	Diseño por cortante	103
c.4.2.	Diseño por flexión	103
c.4.3.	Diseño por desgaste	104
d.	Selección chumacera de pared	107
2.4.6.	Diseño y selección del cilindro neumático	109
2.4.7.	Diseño de transportador vibratorio	113
a.	Diseño del disco excéntrico	114
b.	Diseño del eje	116
b.1.	Diseño por flexión	118
b.2.	Diseño por torsión	121
b.3.	Diseño por cortante debido a la flexión	123
b.4.	Esfuerzos combinados	124
b.5.	Factor de seguridad estático	126
b.6.	Diseño a fatiga	127
b.6.1.	Límite de resistencia a la fatiga	128
b.6.2.	Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga.....	129
b.6.3.	Factor de seguridad dinámico	133
c.	Selección chumacera de piso.....	134
2.5.	Diseño del sistema eléctrico-electrónico	135
2.5.1.	Descripción elementos de potencia	135
a.	Motor.....	135
a.1.	Motor transportador sinfín	136
a.2.	Motor ventilador	137
a.3.	Motor transportador vibratorio	138
b.	Variador de frecuencia	138
c.	Niquelinas	140

	xii
2.5.2. Descripción elementos de control	141
a. PLC.....	141
b. Módulo de ampliación salidas análogas	143
c. Módulo de ampliación rtd input.....	143
d. Touch panel	144
e. Fuente de voltaje continuo	145
f. Relé de estado sólido.....	146
2.5.3. Dimensionamiento conductores	147
a. Conductor para el alimentador principal	147
b. Conductor para los motores	149
c. Conductor niquelina	150
d. Conductor para el circuito de control	151
2.5.4. Dimensionamiento elementos de protección	152
a. Dimensionamiento de los elementos de protección del sistema potencia.....	152
a.1. Dimensionamiento del contactor	152
a.2. Dimensionamiento del guardamotor.....	154
a.3. Dimensionamiento de fusible	155
b. Dimensionamiento de los elementos de protección del sistema control	156
b.1. Dimensionamiento del interruptor electromagnético.....	156
b.2. Dimensionamiento de fusible	158

CAPÍTULO III

3. IMPLEMENTACIÓN Y MONTAJE	159
3.1. Introducción	159
3.2. Implementación sistema mecánico.....	159

3.2.1.	Diagrama de operación de fabricación del transportador por tornillo sinfín.....	160
a.	Fabricación artesa.....	160
b.	Fabricación transportador helicoidal.....	160
c.	Fabricación compuerta del transportador y tapas laterales	162
d.	Fabricación tolva de almacenamiento	163
3.2.2.	Diagrama de operación de fabricación de la cámara de tratamiento	164
a.	Fabricación deflectores	164
b.	Fabricación tubería interna.....	164
c.	Fabricación sombrero chino	165
d.	Fabricación carcasa interna	166
e.	Fabricación carcasa exterior	167
3.2.3.	Diagrama de operación de fabricación de la compuerta de descarga	168
a.	Fabricación riel compuerta de descarga.....	168
b.	Fabricación compuerta descarga	169
3.2.4.	Diagrama de operación de fabricación del transportador vibratorio	170
a.	Fabricación disco excéntrico	170
b.	Fabricación base y tapa para disco excéntrico	171
c.	Fabricación zaranda.....	172
3.3.	Montaje y ensamblaje del sistema y subsistemas mecánicos	173
3.3.1.	Ensamblaje del transportador por tornillo sinfín.....	174
3.3.2.	Ensamblaje cámara de tratamiento	174
3.3.3.	Ensamblaje compuerta de descarga	175
3.3.4.	Ensamblaje transportador vibratorio.....	176
3.3.5.	Montaje final sistema mecánico	176

	xiv
3.4. Implementación sistema eléctrico	178
3.4.1. Tablero de control	179
a. Conexiones internas	180
3.4.2. Cableado motores y niquelinas	181
3.4.3. Cableado sensores	181
a. Conexión RTD-PT100.....	181
b. Conexión sensor nivel capacitivo	183
3.4.4. Alimentación y puesta a tierra	184
3.5. Implementación sistema neumático	184
3.6. Implementación software	185
3.6.1. Programación variador de frecuencia.....	185
3.6.2. Calibración sensor temperatura	187
3.6.3. Calibración touch panel y HMI.....	188
3.6.4. Bloques programación PLC	191

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y RESULTADOS	192
4.1. Introducción	192
4.2. Operacionalización de variables.....	192
4.2.1. Operacionalización de variable independiente	192
4.2.2. Operacionalización de variable dependiente	193
4.3. Pruebas y resultados	193
4.3.1. Pruebas variable independiente	193
a. Tiempo.....	193
b. Costo	195
b.1. Área mecánica	196

b.2.	Área eléctrica y de control.....	197
c.	Volumen de producción.....	198
4.3.2.	Pruebas variable dependiente.....	200
a.	Humedad	201
b.	Densidad.....	204
b.1.	Arroz sin procesar	207
b.2.	Arroz tratado térmicamente	207
c.	Porosidad.....	207
c.1.	Arroz sin procesar	208
c.2.	Arroz tratado térmicamente	208
d.	Porcentaje de quiebra por muestra	209
4.4.	Análisis comparativo	210
4.5.	Análisis de rentabilidad	213
4.5.1.	TIR (tasa interna de retorno)	214
4.5.2.	VAN (valor actual neto)	215
4.6.	Comprobación hipótesis metodo chi cuadrado	216
4.6.1.	Plantamiento de la hipótesis.....	216
4.6.2.	Plantamiento hipótesis de trabajo y nula	217
4.6.3.	Desingancion de variables	217
4.6.4.	Valor de contingencia.....	217
4.6.5.	Valor de frecuencia observada y esperada	217
4.6.6.	Cálculo chi cuadrado.....	218
4.6.7.	Cálculo de grado de libertad y nivel de significancia	219
4.6.8.	Valor y análisis de chi cuadrado según tabla.....	219

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	221
5.1. Conclusiones	221
5.2. Recomendaciones	223
Bibliografía.....	225
Linkografía.....	227
Anexos.....	229
Anexo A: Características del arroz.	
Anexo B: Características materiales.	
Anexo C: Conductividad y coeficiente de transferencia de calor.	
Anexo D: Características del cilindro neumático.	
Anexo E: Características chumacera.	
Anexo F: Características motor.	
Anexo G: Características variador de frecuencia.	
Anexo H: Características PLC.	
Anexo I: Características módulo salidas análogas.	
Anexo J: Características módulo RTD.	
Anexo K: Características Touch Panel.	
Anexo L: Características fuente 24VDC.	
Anexo M: Características conductor eléctrico.	
Anexo N: Distribución chi cuadrado.	
Anexo O: Fotos construcción.	
Anexo P: Planos mecánicos.	
Anexo Q: Planos eléctricos.	
Anexo R: Manual de usuario.	
Anexo S: Bloques de programación.	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.	Algunas propiedades físicas del arroz	9
Tabla 1.2.	Propiedades del arroz en cascara y arroz blanco	10
Tabla 1.3.	Promedio en porcentaje del contenido de amilosa y amilopectina de seis variedades de arroz ecuatoriano.....	13
Tabla 2.1.	Matriz morfológica tolva	60
Tabla 2.2.	Matriz morfológica transportador mecánico	61
Tabla 2.3.	Matriz morfológica cámara de tratamiento	61
Tabla 2.4.	Matriz morfológica arreglo de tubos	62
Tabla 2.5.	Matriz morfológica sistema de calentamiento	62
Tabla 2.6.	Matriz morfológica sistema de enfriamiento	63
Tabla 2.7.	Matriz morfológica de sistema de control	63
Tabla 2.8.	Matriz morfológica de controlador	64
Tabla 2.9.	Matriz morfológica de medio de interfaz	64
Tabla 2.10.	Matriz de evaluación	65
Tabla 2.11.	Fluidez del material.....	90
Tabla 2.12.	Valor de C.....	91
Tabla 2.13.	Valores Típicos de kd	106
Tabla 2.14.	Especificaciones motor transportador sinfín.....	137
Tabla 2.15.	Especificaciones motor ventilador.....	137
Tabla 2.16.	Especificaciones motor transportador vibratorio	138
Tabla 2.17.	Especificaciones variador de velocidad	139
Tabla 2.18.	Especificaciones niquelina.....	140
Tabla 2.19.	Características del PLC	142
Tabla 2.20.	Características Touch Panel.....	145
Tabla 2.21.	Características fuente de voltaje.....	146

Tabla 2.22.	Características relé de estado sólido	147
Tabla 2.23.	Detalle elementos del sistema de tratamiento térmico	148
Tabla 2.24.	Características del conductor para el alimentador principal.....	149
Tabla 2.25.	Valores de corriente para conductores de los motores	150
Tabla 2.26.	Características del conductor para los motores	150
Tabla 2.27.	Características del conductor para la niquelina.....	151
Tabla 2.28.	Características del conductor circuito de control	151
Tabla 2.29.	Características del contactor.....	153
Tabla 2.30.	Características de los contactores	154
Tabla 2.31.	Características del guardamotor	155
Tabla 2.32.	Características de los fusibles	156
Tabla 2.33.	Carga instalada en control	157
Tabla 2.34.	Características de los fusibles sistema de control.....	158
Tabla 3.1.	Detalle conexión RTD-PT100	183
Tabla 3.2.	Parámetros de configuración variador	186
Tabla 4.1.	Operacionalización de la variable independiente (sistema automático de tratamiento térmico)	192
Tabla 4.2.	Operacionalización de la variable dependiente (propiedades físico-químicas)	193
Tabla 4.3.	Tiempo de las fases de producción	194
Tabla 4.4.	Costo área mecánica	196
Tabla 4.5.	Costo área eléctrica y control.....	197
Tabla 4.6.	Medición de tanda de producción	199
Tabla 4.7.	Medición del porcentaje de humedad	201
Tabla 4.8.	Medición para el cálculo de densidad	204
Tabla 4.9.	Porcentaje de quiebra.....	209

Tabla 4.10.	Análisis comparativo del sistema tradicional versus el propuesto.....	210
Tabla 4.11.	Ventajas y desventajas de aspectos técnicos de ambos sistemas.....	211
Tabla 4.12.	Flujo de efectivo neto proyectado	214
Tabla 4.13.	Tabla de contingencia.....	217
Tabla 4.14.	Tabla de frecuencia observada y esperada	218
Tabla 4.15.	Chi cuadrado	219

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Mapa mundial destacando los países arroceros	3
Figura 1.2.	Arroz (Oryza Sativa)	4
Figura 1.3.	Partes del cariósido de arroz (grano o semilla)	5
Figura 1.4.	Partes vegetativas de la planta de arroz	6
Figura 1.5.	Paddy o arroz con cáscara	14
Figura 1.6.	Brown rice o arroz integral	15
Figura 1.7.	Milled rice o arroz blanco	16
Figura 1.8.	Área y producción de arroz a nivel mundial	18
Figura 1.9.	Principales países por consumo per cápita de arroz.....	19
Figura 1.10.	Superficie sembrada y producción según región y provincia.	20
Figura 1.11.	Envejecimiento natural en bodega de almacenamiento	23
Figura 1.12.	Tubo de vapor curador rotatorio.....	24
Figura 1.13.	Tipos de silos y tolvas de almacenamiento	25
Figura 1.14.	Descarga por gravedad	26
Figura 1.15.	Descarga por sinfín.....	27
Figura 1.16.	Transportador de tornillo sinfín	28
Figura 1.17.	Transportador típico de tornillo sinfín	30
Figura 1.18.	Ejemplo de transportador vibratorio	31
Figura 1.19.	Zaranda limpiadora y clasificadora	32
Figura 1.20.	Secadora por lotes flat bed-type	35
Figura 1.21.	Secador por lotes de recirculación	36
Figura 1.22.	Detalles de secador de la LSU.....	37
Figura 1.23.	Secador de deflector.....	38
Figura 1.24.	Secador rotatorio	39
Figura 1.25.	Intercambiador de tubo y carcasa	39

	xxi
Figura 1.26. Ventilador centrífugo.....	40
Figura 1.27. Cilindro neumático.....	41
Figura 1.28. Niquelina tubular.....	42
Figura 1.29. Láminas de acero inoxidable.....	43
Figura 1.30. Sensor PT100.....	44
Figura 1.31. PLC Siemens S7-1200.....	44
Figura 1.32. Variador de frecuencia Siemens.....	45
Figura 1.33. Simatic Touch Panel KTP600.....	46
Figura 1.34. Sistema de control a lazo cerrado.....	47
Figura 1.35. Interfaz humano máquina HMI.....	48
Figura 1.36. TIA Portal.....	48
Figura 2.1. Casa de la calidad.....	56
Figura 2.2. Diagrama de flujo del proceso.....	59
Figura 2.3. Esquema del sistema.....	67
Figura 2.4. Pirámide cuadrada truncada.....	70
Figura 2.5. Arreglo triangular 30°.....	77
Figura 2.6. Esquema elementos cámara de tratamiento.....	82
Figura 2.7. Equivalente eléctrico del sistema térmico.....	82
Figura 2.8. Apreciación de la tubería y sus dimensiones.....	87
Figura 2.9. Componente de un transportador sinfín.....	89
Figura 2.10. Representación de la hélice del sinfín.....	95
Figura 2.11. Parámetro del sinfín.....	100
Figura 2.12. Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante.....	102
Figura 2.13. Fuerzas actuantes en el cilindro neumático.....	110
Figura 2.14. Diagrama de cuerpo libre.....	112
Figura 2.15. Disco excéntrico.....	115
Figura 2.16. Masa del eje AISI 304.....	117

Figura 2.17.	Masa de la excéntrica AISI 1020	117
Figura 2.18.	Diagrama de fuerza cortante y momento flexionante	118
Figura 2.19.	Diagrama de torsión	121
Figura 2.20.	Esquema de parámetros para diseño a fatiga.....	127
Figura 2.21.	Motor WEG W22 - IE1 Standard Efficiency.....	136
Figura 2.22.	Convertidor de frecuencia DELTA VFD-M	139
Figura 2.23.	Niquelina tubular en M.....	140
Figura 2.24.	PLC S7-1200	142
Figura 2.25.	Módulo de ampliación SM1232.....	143
Figura 2.26.	Módulo de ampliación SB1231RTD	144
Figura 2.27.	Touch Panel Siemens KTP 600 PN Basic	145
Figura 2.28.	Fuente de voltaje LOGO!Power 24VDC.....	146
Figura 2.29.	Relé de estado sólido Q&W	147
Figura 2.30.	Contactador SIEMENS 3RT2015-1AP01	154
Figura 2.31.	Guardamotor SIEMENS 3RV2011-1HA10.....	155
Figura 2.32.	Fusible cilíndrico y base para fusible	156
Figura 2.33.	Interruptor electromagnético	158
Figura 3.1.	Diagrama de proceso fabricación artesana.....	160
Figura 3.2.	Diagrama de proceso fabricación transportador helicoidal..	161
Figura 3.3.	Diagrama de proceso fabricación compuerta superior y laterales.....	162
Figura 3.4.	Diagrama de proceso fabricación tolva de almacenamiento.....	163
Figura 3.5.	Diagrama de proceso fabricación deflectores	164
Figura 3.6.	Diagrama de proceso fabricación tubería interna.....	165
Figura 3.7.	Diagrama de proceso fabricación sombrero chino	166
Figura 3.8.	Diagrama de proceso fabricación carcasa interior	167

Figura 3.9.	Diagrama de proceso fabricación carcasa exterior	168
Figura 3.10.	Diagrama de proceso fabricación riel compuerta descarga.	169
Figura 3.11.	Diagrama de proceso fabricación compuerta descarga	170
Figura 3.12.	Diagrama de proceso fabricación disco excéntrico	171
Figura 3.13.	Diagrama de proceso fabricación base y tapa disco excéntrico.....	172
Figura 3.14.	Diagrama de proceso fabricación cama zaranda	173
Figura 3.15.	Ensamblaje transportador tornillo sinfín	174
Figura 3.16.	Ensamblaje cámara de tratamiento.....	175
Figura 3.17.	Ensamblaje compuerta descarga.....	175
Figura 3.18.	Ensamblaje transportador vibratorio	176
Figura 3.19.	Montaje final	177
Figura 3.20.	Diagrama de proceso montaje final.....	178
Figura 3.21.	Distribución de panel de control.....	179
Figura 3.22.	Conexiones internas tablero de control.....	180
Figura 3.23.	Terminales PT100 3 hilos	182
Figura 3.24.	Diagrama cableado módulo de ampliación RTD Siemens ..	182
Figura 3.25.	Terminales y conexión del sensor de nivel capacitivo	183
Figura 3.26.	Diagrama sistema neumático.....	184
Figura 3.27.	Ventana de configuración módulo RTD	188
Figura 3.28.	Ventana de configuración Touch Panel	189
Figura 3.29.	Ventana de configuración visor de curvas.....	189
Figura 3.30.	Ventana de configuración visor recetas	190
Figura 3.31.	Ventana de configuración conexión Touch Panel y PLC.....	191
Figura 4.1.	Sistema y componentes mecánicos.....	196
Figura 4.2.	Sistema eléctrico y de control	197
Figura 4.3.	Separación de muestras de 100 gr.	201

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el diseño y construcción de un sistema automatizado de tratamiento térmico para la modificación de las propiedades físico-químicas del arroz pilado, mediante la variación de temperatura en un ambiente controlado; se sabe que el proceso natural para la modificación de sus propiedades implica grandes períodos de tiempo en almacenamiento durante el cual las cadenas de almidones (amilosa y amilopectina) se ven modificadas, alterando de esta manera las propiedades organolépticas y cualidades del arroz en el momento de su cocción; investigaciones previas han demostrado que es posible acelerar este proceso de transformación gracias a la elevación de su temperatura de manera parcial, controlada y uniforme; siendo este el fin que busca alcanzar la realización de este proyecto, el proceso de la máquina comienza con el almacenamiento del arroz pilado sin tratar en una tolva para que este sea distribuido a lo largo de la cámara gracias a un transportador helicoidal, una vez dentro se someterá a un aumento y descenso de temperatura durante un tiempo predefinido gracias a la activación de niquelinas y de un ventilador centrífugo. Finalmente cuando el tiempo de reposo haya concluido y las partículas que constituyen el arroz se hayan estabilizado el sistema de descarga se activará abriendo una compuerta en la parte inferior mediante un cilindro neumático y cayendo a un transportador vibratorio encargado de trasladar el producto a un nuevo punto de procesamiento.

PALABRAS CLAVE:

- **SISTEMA AUTOMATIZADO.**
- **TRATAMIENTO TÉRMICO.**
- **PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.**
- **ARROZ.**
- **AMILOSA / AMILOPECTINA.**
- **TRANSPORTADOR MECÁNICO.**

ABSTRACT

This project involves the design and construction of an automated heat treatment system for modifying the physic-chemical properties of milled rice by the temperature variation in a controlled environment; it is known that the natural process for modifying its properties involves large storage periods during which the chains of starches (amylose and amylopectin) are modified, thereby altering the organoleptic properties and qualities of rice at the time of cooking; previous research has shown that it is possible to accelerate this transformation process by raising the temperature in part, controlled and uniform; this being the end it seeks to achieve the realization of this project, the machine process begins with the storage of milled rice untreated into a hopper so that it is distributed along the chamber by a screw conveyor, once inside it will undergo an increase and decrease in temperature for a predetermined time by activating electrical furnace and a centrifugal fan. Finally when the standing time is completed and the rice's particles have stabilized the discharge system is activated by opening a gate at the bottom by a pneumatic cylinder and falling to a vibratory conveyor charge of moving the product to a new point processing.

KEYWORDS:

- **AUTOMATED SYSTEM.**
- **HEAT TREATMENT.**
- **PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES.**
- **RICE.**
- **AMYLOSE / AMYLOPECTIN.**
- **MECHANICAL TRANSPORTADOR.**

PRESENTACIÓN

El presente proyecto describe el diseño y construcción de una máquina de tratamiento térmico para la modificación de las propiedades físico-químicas del arroz pilado en la empresa AGRORIVERAVILLAFUERTE S.A. en la ciudad de Quito.

En el capítulo I, contiene una descripción general del arroz como cereal a nivel mundial, el estado actual y propiedades del arroz ecuatoriano además de sus zonas principales de cultivo, métodos y sistemas de tratamiento térmico los cuales permiten tener una idea de cuál sería el ideal para este caso, además descripción de los elementos y componentes que forman parte del sistema mecánico y eléctrico.

En el capítulo II, se describe el diseño mecánico, eléctrico; la selección de componentes a ser utilizados, además el software utilizado para su diseño.

En el capítulo III, se detalla la construcción y montaje de los elementos mecánicos, la implementación de los componentes del sistema de control, el montaje eléctrico, la creación del programa del PLC.

En el capítulo IV, se refiere la evaluación del proyecto y análisis de los resultados obtenidos, presentando las pruebas realizadas.

En el capítulo V, se presenta las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

AGRORIVERAVILLAFUERTE S.A. es una empresa dedicada al procesamiento y comercialización al por mayor de arroz pilado a nivel nacional, principalmente en la región sierra, su misión se centra en brindar al consumidor un producto de calidad para lo cual cuentan con maquinaria esencial para el procesamiento de arroz.

El proceso de tratamiento térmico al arroz pilado da inicio en el momento que los camiones llegan a sus bodegas y descargan el producto proveniente de las piladoras ubicadas en la región costa, posteriormente se realiza un control de calidad del mismo, en el cual se analiza su variedad, el grado de humedad, el color, la textura y la cantidad de granos quebrados por muestra de arroz. Una vez superada esta etapa el arroz es almacenado en tolvas; el horno de procesamiento tarda cerca de una semana en realizar su tarea; una vez este se encuentra disponible se procede a colocar el arroz almacenado en recipientes metálicos y colocarlos en el interior del horno, teniendo presente el espacio necesario entre recipiente y recipiente para que el aire caliente circule por dentro.

El tiempo que tarda el horno de GLP en alcanzar la temperatura deseada que oscila entre los 90°C a 110°C es de un día aproximadamente debiendo mantenerlo así por cerca de dos a tres días dependiendo de la variedad de arroz y de la calidad que se desee alcanzar, el tiempo de reposo variará de dos a tres adicionales, siendo relevantes los factores antes mencionados.

Una vez concluye esta etapa los recipientes que contienen el arroz tratado térmicamente son extraídos del horno para nuevamente ser colocado en

tolvas de almacenamiento donde reposan por un par de días más hasta finalmente ser ensacados en quintales y enviados a los puntos de venta.

1.2. INTRODUCCIÓN

El arroz al ser el segundo cereal más consumido en el mundo después del trigo requiere un cuidadoso estudio y análisis, por tal razón este es el pilar fundamental en el presente proyecto; el cual busca investigar y estudiar las propiedades físicas y químicas del arroz y mediante el diseño de una cámara de tratamiento térmico mejorar dichas características sin alterar sus propiedades organolépticas.

A pesar de existir grandes limitantes y condicionamientos para el desarrollo del proyecto como la variedad del arroz a tratar, el tiempo de procesamiento, el tiempo de reposo, las características finales esperadas, etc., se procederá a realizar un análisis únicamente de las características indispensables del arroz necesarias en este proyecto; de igual manera en el ámbito mecánico y eléctrico de los componentes de los cuales constará la máquina.

Para tener una visión más clara de la descripción del sistema a diseñar cabe recalcar que este se basa en la elaboración de una doble cámara de tratamiento térmico, en la parte más interna contendrá el arroz pilado y listo a ser tratado térmicamente, este estará aislado de la carcasa exterior para evitar que el operador sufra quemaduras y pueda manipular la maquinaria respetando así normas de seguridad y de ergonomía; se desarrollará un sistema automatizado para el control de temperatura con lo cual se busca aumentarla y reducirla en el interior de la cámara para que de esta manera se disminuya el porcentaje de humedad del grano de arroz en el ciclo de calentamiento y controlar el color que el grano tomará en el proceso de enfriamiento además de cuidar que este no se fragmente durante este ciclo.

1.3. ANÁLISIS AGRÓNOMO

Cereales, legumbres, oleaginosas, frutas y hortalizas son los cultivos alimentarios más importantes en el mundo; la necesidad de aumentar la producción de los mismos y su suministro para mantener una cantidad adecuada de comida en reserva, con el fin de satisfacer las necesidades nutricionales de la creciente población mundial, es indispensable en los tiempos actuales. Los cereales incluyen granos comestibles tales como arroz, trigo, maíz, cebada, centeno, avena, etc., contribuyendo la mayor cantidad de calorías y proteínas de los alimentos siendo consumidas en diversas formas alrededor del mundo, además se alimenta al ganado con ellos y se convierten así en carne, leche o huevos; el arroz y el trigo son dos de los tipos más importantes de alimentos de primera necesidad.

1.3.1. ORIGEN E HISTORIA DEL ARROZ

El arroz cuyo nombre científico es *ORIZA SATIVA*, es uno de los alimentos más antiguos y más universalmente consumidos de la humanidad, es la cosecha de un grano crecido casi exclusivamente para la alimentación humana. La llegada de los granos cultivados en la sociedad humana está estrechamente relacionada con la creación de la ciudad y de la civilización; en algún momento alrededor de 10.000 a.C., los hombres, o más probablemente mujeres, comenzaron a cultivar granos. Muchos creen que el primer cultivo fue a lo largo del río Amarillo (Yellow River) de China o en un terreno acuático y tropical similar en Asia.

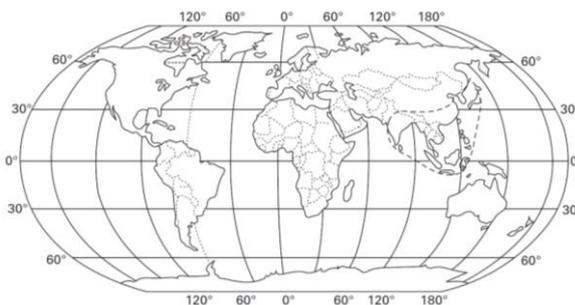


Figura 1.1. Mapa mundial destacando los países arroceros

FUENTE: (Kshirod, 2011). Rice quality a guide to rice properties and analysis.

Debido a su capacidad única de adaptación a diversas condiciones de cultivo, su facilidad de preparación, su sabor y su durabilidad en almacenamiento hizo que el cultivo de arroz como se muestra en la (Figura 1.1) se propague rápidamente a los climas frescos y altas montañas de Nepal y la India, a los desiertos cálidos de Pakistán, Irán y Egipto, y en las regiones tropicales y desérticas del sudeste de Asia y África. (Smith & Dilday, 2003)

1.3.2. ARROZ (ORYZA SATIVA)

El arroz como se observa en la (Figura 1.2) es un alimento básico para la mitad de la población del mundo, incluidas las regiones de alta densidad de población y las de un rápido crecimiento. El arroz se cultiva bajo diversos sistemas agroecológicos, pero las regiones de tierras altas y tierras bajas son los ecosistemas de cultivo de arroz dominantes con 76% del arroz del mundo producido a partir de sistemas de arroz de tierras bajas con sistemas de regadío. Los principales factores climáticos que afectan el crecimiento y desarrollo de arroz son la temperatura, la radiación solar y el agua siendo la temperatura óptima para el máximo rendimiento de aproximadamente 20 a 35 °C.



Figura 1.2. Arroz (Oryza Sativa)

FUENTE: Salud y Buenos Alimentos. Arroz Oryza Sativa. Recuperado de: <http://www.saludybuenosalimentos.es/alimentos/Sin+Gluten&s3=Arroz>

Generalmente es una planta de corto tiempo de vida; rodea entre los 3 a 7 meses, dependiendo del clima y de la variedad sembrada. Cabe recalcar que no es una planta marina pero requiere de abundante cantidad de agua para sobrevivir, por lo que el cultivo del arroz es considerado un sembrío anual y semiacuático. La altura de la planta puede variar desde 0,4 m a más de 5 m en algunos arroces flotantes; poseen tallos muy ramificados que terminan en una panícula de 20 a 30 cm de largo, cada una de estas están poseen de entre 50 y 300 espigas desde las cuales brotan los granos. (Ing. Agr. Leandra Ibarguren, 2014)

a. CARACTERÍSTICAS

El arroz es una gramínea cuya semilla (Figura 1.3) consiste de una cáscara, la parte externa no comestible, y el grano de arroz comestible que se encuentra dentro; la semilla de arroz que se utiliza para cultivar una nueva cosecha es completa; lo que quiere decir que la cáscara se retiene y toda la semilla es plantada. Para llegar al grano de arroz comestible dentro de la semilla la cáscara tiene que ser eliminada; debajo de la cáscara se encuentra el grano de arroz cubierto con una capa de salvado.

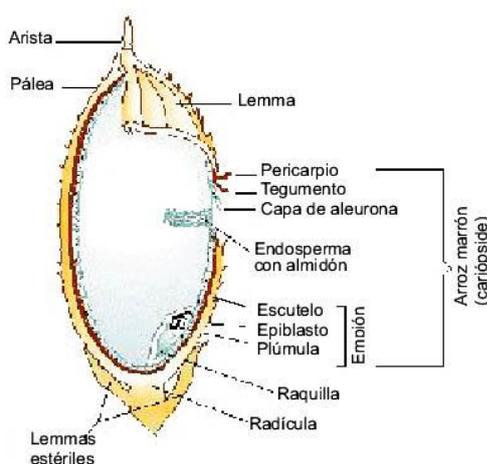


Figura 1.3. Partes del cariósido de arroz (grano o semilla)

FUENTE: Depósito de documentos de la FAO. Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/006/y2778s/y2778s02.htm#TopOfPage>

Una vez que el brote de la planta o plántula tiene cerca de cinco hojas, es autosuficiente y comienza a convertirse en una planta más compleja. Este proceso se llama macollaje (Figura 1.4), que se refiere a que más tallos se desarrollan a partir del tallo principal y toman el nombre de timón, en la parte superior de cada uno de estos nuevos macollos brotan hojas planas. La cantidad de macollaje depende de la variedad de arroz y factores ambientales como la separación, la luz, el suministro de nutrientes, y las prácticas culturales.

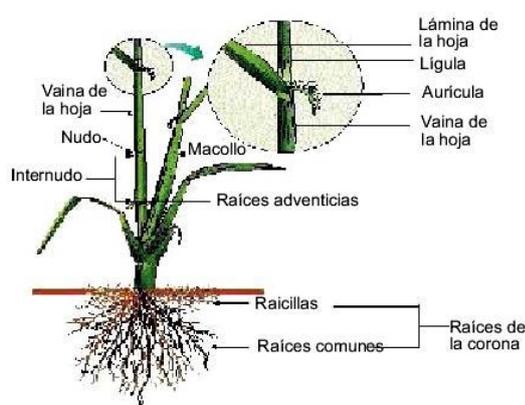


Figura 1.4. Partes vegetativas de la planta de arroz

FUENTE: Depósito de documentos de la FAO. Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/006/y2778s/y2778s02.htm>

Aunque puede que no sea evidente, porque no son grandes o coloridas, las plantas de arroz tienen flores, a estas se refieren más típicamente por su nombre científico “panículas” y ocurren al final de cada timón. El arroz es principalmente auto-polinización, lo que significa que cada planta de arroz puede fertilizar sí mismo con su propio polen.

b. PROPIEDADES FÍSICAS

Dado que el arroz se manipula, procesa y utiliza sobre todo en forma de grano entero, sus propiedades físicas y estructurales constituyen un aspecto esencial de su calidad; estas propiedades no solo del arroz, sino de cualquier grano, abarcan todas las características externas o integrales, tales como su

aparición entre las cuales están: el tamaño, la forma, la suavidad, el color. Otras como el peso, la dureza, el volumen, las propiedades de flujo y así sucesivamente; también debe entenderse que las propiedades físicas de los granos incluyen las propiedades tanto de un grano individual, así como de los granos a granel o en una masa. (Kshirod, 2011)

Por ejemplo; un grano tiene un tamaño individual, forma, densidad y dureza, pero una masa de granos tendría éstos de una manera diferente, especialmente con referencia a propiedades tales como la densidad y propiedades térmicas. Entonces un grano individual puede deslizarse por un plano inclinado en un ángulo particular, pero los mismos granos a granel o masa puede fluir o deslizarse en un ángulo diferente; ambas conductas constituyen las propiedades físicas del grano.

Las propiedades físicas del arroz son de vital importancia en todas las actividades de producción, conservación y utilización de arroz. Es necesario en todas las actividades de recolección, secado, manipulación, almacenamiento de la molienda, envasado, comercialización, cocción y productos derivados. Se necesita de estas propiedades en el diseño de todos los equipos pertinentes requeridos para todas las actividades antes mencionadas, en el transporte, almacenamiento, manejo, transporte (de un equipo a otro), en cualquier tipo de transformación, incluido el pilado y la cocina, en el envasado y la comercialización.

La siguiente puede ser considerada como una lista bastante completa de propiedades que caerían bajo la rúbrica de las propiedades físicas del arroz: (Kunze, Lan, & Wratten, 2004)

- El tamaño y forma del grano (dimensiones).
- La masa (peso).
- La densidad.
- La densidad aparente.
- La porosidad.

- El color.
- El ángulo de reposo.
- Los coeficientes de fricción estática y dinámica.
- Las propiedades higroscópicas (contenido de humedad de equilibrio EMC, conductividad y difusividad higroscópicas).
- Las propiedades térmicas (calor específico, conductividad, coeficiente de expansión y difusividad).
- Las propiedades mecánicas (dureza, tracción, flexión y resistencia a la compresión).

Cabe recalcar que estas propiedades no son autónomas, es decir, la mayoría de éstas se ven afectados por otras variables como son:

- La variedad del grano.
- El contenido de humedad.
- El grado de molienda.
- La temperatura.
- La edad del arroz después de su cosecha.

Es decir, estas no son constantes independientes, sino que dependen de las circunstancias en las que existen los granos. Así, los parámetros tales como las dimensiones, densidad, dureza, la fricción y propiedades mecánicas no sólo varían de una variedad a otra, sino también se ven afectados por el contenido de humedad del grano y su grado de molienda, y también en pequeña medida por la temperatura.

En la (Tabla 1.1) y (Tabla 1.2) se detallan las principales propiedades físicas del arroz, además de sus valores comunes dependiendo de su variedad; siendo todos estos datos una recolección de información de las investigaciones realizadas por (Kunze, Lan, & Wratten, 2004) en su publicación "Physical and mechanical properties of rice".

Tabla 1.1.
Algunas propiedades físicas del arroz

Property	Value				
	Bluebonnet 50 paddy, at mc		Sunbonnet brown rice, at mc		
	13.6	21.9	10.5	23.5	
Grain dimensions:					
Length (mm)	9.68	10.03	7.06	7.42	
Breadth (mm)	2.59	2.69	1.98	2.04	
Thickness (mm)	1.90	1.98	1.62	1.69	
Volume (mm ³)	18.36	19.66	11.83	14.17	
Density (g/ml)	1.365	1.381	1.442	1.379	
Bulk density (g/ml)	0.587	0.616	0.674	0.663	
Coefficient of linear expansion (brown rice)	0.00405/percent moisture content (db)				
	mc (% db)	Normal load (N)	Static friction	Dynamic friction at speed (cm/s)	
				1.91	4.45
Coefficient of friction on sheet steel (paddy)	12.6	89	0.200	0.176	0.186
		267	0.182	0.158	0.177
	21.4	89	0.255	0.207	0.218
		267	0.239	0.182	0.191
	36.2	89	0.302	0.306	0.253
		267	0.277	0.276	0.275
Specific heat	1.0509 + 0.03835 MJ/g °C 1.2686 + 0.02834 MJ/g °C 1.2477 + 0.02797 MJ/g °C				
Conductivity	0.0894 + 0.000958 MW/m °C 0.10102 + 0.00308 MW/m °C				
Coefficient of cubic thermal expansion (milled rice)	2.403 × 10 ⁻⁴ /°C below 53 °C 3.367 × 10 ⁻⁴ /°C above 53 °C				
	Moisture content (% db)		Breaking force (N) under		
			Tension	Compression	
Tensile and compressive strengths (Bluebell brown rice)	6.0		19.154	237.97	
	11.7		16.659	187.43	
	16.2		11.819	121.68	
	19.3		7.736	92.84	

^aCompiled from various data quoted by Kunze *et al.* (2004) from various sources. Used by permission.

mc, *M* = moisture content (dry basis, db%)

FUENTE: (Kshirod, 2011). Rice quality. A guide to rice properties and analysis. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Página 30. Padstow.

Tabla 1.2.

Propiedades del arroz en cascara y arroz blanco

Parameter ^a and unit	No. of samples	Paddy		No. of samples	Milled rice	
		Range	Mean \pm S.D.		Range	Mean \pm S.D.
<i>L</i> , mm	21	6.14–10.84	–	23	3.99–7.66	–
<i>B</i> , mm	21	2.28–3.50	–	23	1.71–2.85	–
<i>T</i> , mm	21	1.59–2.26	–	23	1.43–2.01	–
<i>L/B</i>	21	2.00–3.96	–	23	1.57–3.50	–
<i>B/T</i>	21	1.33–1.59	–	23	1.19–1.47	–
<i>w</i> , mg	21	14.4–32.7	–	23	11.00–23.9	–
<i>D</i> , g/ml	4 ^b	1.174–1.194	1.182 \pm 0.010	21	1.445–1.456	1.452 \pm 0.004
	16 ^c	1.207–1.229	1.224 \pm 0.009			
	1 ^d	1.196				
<i>D_B</i> , g/ml	21	0.563–0.642	–	23	0.735–0.847	
<i>P</i> , %	21	46.2–54.2	–	23	0.687–0.692	0.689
<i>V_S</i> , ml/g	21	0.804–0.852	–	23	1.180–1.287	37.5 \pm 0.5
<i>V_B</i> , ml/g	21	1.556–1.777	–	23	37.0–38.25	36.5
AR, °	14	34.0–38.25	36.5 \pm 1.5	14	35.0–37.6	

Adapted, with permission, from Bhattacharya *et al.* (1972) John Wiley and Sons.

^a*L* = length, *B* = breadth (width), *T* = thickness, *w* = grain weight, *D* = density, *D_B* = bulk density,

P = porosity, *V_S* = specific volume ($= 1/D$), *V_B* = bulk volume ($= 1/D_B$), AR = angle of repose.

^bShort and round grains (*L/B*, 1.99–2.12).

^cAll other grains (*L/B*, 2.26–3.96).

^dIR 8 variety (*L/B*, 2.84).

FUENTE: (Kshirod, 2011). Rice quality. A guide to rice properties and analysis. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Página 31. Padstow.

b.1. BENEFICIO DE ALTERAR PROPIEDADES FÍSICAS

Existen un gran número de ventajas al alterar las propiedades del grano de arroz, pero hay un punto más importante con respecto a la variación de las propiedades físicas del mismo en especial su humedad; en el sentido de que no son químicas ya que generalmente se presenta dicha confusión, estas incluyen propiedades tales como la expansión de volumen y pérdida de sólidos durante la cocción y la textura del arroz cocido. Aunque estas propiedades son estrictamente de naturaleza física, son consideradas como parte de cualquiera de las propiedades de cocción o las propiedades físico-químicas.

Es decir, los beneficios más representativos de modificar estas propiedades están ligadas con el mejoramiento y mayor rendimiento del arroz en el momento de su preparación para el consumo humano, lo mismo se aplica a la viscosidad de un arroz-harina de pasta, la dureza de una muestra

de arroz cocido, el grado de elongación de un grano de arroz durante la cocción, o su expansión de volumen durante la cocción, incluso el comportamiento de la molienda o calidad de molienda es estrictamente una propiedad física que se ve ampliamente aventajada después de mejor dichas propiedades.

Además vale la pena recalcar que el conocimiento de las propiedades físicas de los granos, como el arroz, son componentes importantes para asegurar su calidad; por ejemplo, para diseñar maquinaria que facilite cualquier etapa de procesamiento de arroz, se necesita conocimiento de las propiedades del mismo, como por ejemplo dominio del tamaño, forma y densidad de los granos individuales para diseñar un sistema de aspiración para su limpieza; de sus propiedades de fricción para diseñar el ángulo de la rampa o tolva a través de la cual el grano tiende a fluir durante su procesamiento; de la densidad del arroz en masa (la densidad de una cantidad de granos que se encuentran agrupados, en otras palabras, la densidad aparente) para diseñar la bandeja de recepción o el recipiente de almacenamiento; de la porosidad de su masa para saber cuánta agua se necesita por unidad de peso del material para su procesamiento en húmedo; de la fricción de la superficie y la forma y tamaño del grano en masa para diseñar un sistema de vibración para separar sus formas de grano; entre otras.

c. PROPIEDADES QUÍMICAS

Los granos incluyendo el de arroz se componen de sustancias orgánicas e inorgánicas, tales como carbohidratos, proteínas, vitaminas, grasas, cenizas, agua, sales minerales y enzimas. Arroz, maíz, trigo y semillas de trigo son especialmente ricos en hidratos de carbono, mientras que las legumbres son ricas en proteínas y oleaginosas en aceites.

Generalmente el pericarpio y la cáscara contienen celulosa, pentosán y cenizas del ambiente. La capa de aleurona contiene principalmente a la albúmina y grasa, el endospermo contiene la mayor cantidad de carbohidratos

en forma de almidón, una pequeña cantidad de proteína de reserva, y una muy pequeña cantidad de cenizas y celulosa, mientras que el germen contiene la mayor cantidad de grasa, proteína, y una pequeña cantidad de carbohidratos en la forma de azúcares y una gran cantidad de enzima.

c.1. ALMIDÓN, AMILOSA Y AMILOPECTINA

La biosíntesis del almidón es un proceso que involucra la formación de dos moléculas: amilosa y amilopectina. La relación entre estas dos determina algunas propiedades importantes del arroz durante y después de la cocción. La amilosa y amilopectina son dos moléculas que constan en el almidón (carbohidratos complejos). Ambas se componen de cadenas largas de moléculas de glucosa; cerca del 20% de la mayoría de los almidones es amilosa y el 80% amilopectina.

El contenido de amilosa es considerado el factor más importante a la hora de predecir las características del arroz cocido y su comportamiento durante procesamiento. El contenido de amilosa está directamente relacionado con la absorción de agua, la expansión de volumen, esponjosidad y la separación de los granos cocinados y se encuentra inversamente relacionado con la cohesión y la aglutinación; la amilosa actúa como un diluyente y un inhibidor de la inflamación, especialmente en la presencia de lípidos. (Zhou, Robards, Helliwell, & Blanchard, 2001)

La proporción de amilosa con relación a la de amilopectina, juegan un papel importante en las propiedades térmicas de los almidones. El alto contenido de amilosa está determinado por la acción de enzimas que han sufrido alguna modificación durante la biosíntesis, las moléculas de amilosa son lineales, pueden unirse de manera muy estrecha permitiendo de esta manera la formación de geles y mayor absorción de agua, característica de gran ventaja al momento de elegir alguna variedad. Muy contrario a lo que ocurre con la amilopectina ya que está en altos porcentajes, en el arroz no

forma geles y forman una mezcla pastosa lo cual no es en muchas situaciones requerido.

El contenido de amilosa influye en la temperatura de gelatinización, es inversamente proporcional, ya que a mayor contenido de amilosa, menor temperatura de gelatinización y viceversa. Por lo general, se desea arroces que tengan un contenido intermedio de amilosa ya que proporciona mejores características en productos derivados de este. (Landires, Márquez, & Cornejo, 2013)

Durante la biosíntesis para variedades de arroz ecuatorianas (INIAP 14, 15, 16, 17, F50 y SFL09) los porcentajes normales de amilosa están entre el 25%-30% mientras que de amilopectina están alrededor de los 75%-70%. Siendo las variedades INIAP 17 e INIAP 14 las variedades más recomendadas debido a su alto nivel de amilosa y por diferencia menor nivel de amilopectina como se muestra en la (Tabla 1.3).

Tabla 1.3.
Promedio en porcentaje (\pm desviación estándar) del contenido de amilosa y amilopectina de seis variedades de arroz ecuatoriano

Variedades de arroz	Contenido de amilosa	Contenido de amilopectina
INIAP 14	41,5 \pm 3,7	58,5 \pm 3,7
INIAP 15	29,2 \pm 3,2	70,8 \pm 3,2
INIAP 16	30,5 \pm 4,3	69,5 \pm 4,3
INIAP 17	65,8 \pm 1,9	29,2 \pm 1,9
SFL09	24,8 \pm 2,7	75,2 \pm 2,7
F50	26,7 \pm 2,2	73,3 \pm 2,2

FUENTE: (Landires, Márquez, & Cornejo, 2013). Análisis del Contenido Amilosa-Amilopectina en seis Variedades de Arroz Ecuatoriano. Página 3. Guayaquil.

c.2. BENEFICIOS DE ALTERAR PROPIEDADES QUÍMICAS

Existe un factor sumamente importante en relación a la alteración de las propiedades químicas y el beneficio que esto trae; el cambio que presenta las cadenas de almidón y la cantidad de moléculas de amilosa y amilopectina son

vitales dentro de este proyecto; es decir, gracias al tratamiento térmico al que es sometido el arroz estas moléculas se ven alteradas aumentando la cantidad de amilosa y disminuyendo la de amilopectina; lo cual como se mencionó anteriormente es el factor decisivo en la calidad del arroz cocido, su soltura, sabor, textura y color.

d. TIPOS DE GRANOS Y VARIEDADES

Todas las propiedades antes mencionadas tienen que ser considerados en términos de las tres formas de grano que existen: paddy, brown rice y milled rice.

d.1. PADDY O ARROZ CON CÁSCARA

El arroz con cáscara o “paddy” son los granos de arroz individuales que se encuentran en su estado natural, sin procesar tal como se muestra en la (Figura 1.5). A veces se refiere al arroz como áspero, se cosecha directamente de los campos de arroz o arrozales y son transportados a un sitio de procesamiento. Como parte del procesamiento, se retira la cáscara, dejando sólo el grano de arroz real para el consumo.



Figura 1.5. Paddy o arroz con cáscara

FUENTE: Dreamstime. Paddy rice. Recuperado de: <http://www.dreamstime.com/stock-image-paddy-rice-image23161251>

d.2. BROWN RICE O ARROZ DESCASCARILLADO (ARROZ INTEGRAL)

El arroz integral, llamado también arroz cargo, arroz pardo o arroz moreno, es arroz descascarillado, al que se le ha quitado la cáscara exterior o gluma, no comestible como se observa en la (Figura 1.6), conserva el germen íntegro con la capa de salvado que lo envuelve, lo que le confiere un color moreno claro.

Tiene más valor nutritivo que el arroz blanco debido a que el salvado contiene muchos elementos como fibra, vitaminas B1, B2, B3, D, hierro, magnesio, calcio y potasio que se pierden con la molienda a la que es sometido el arroz blanco.

El arroz integral también conserva el germen que aporta proteínas y ácidos grasos pero requiere más tiempo de cocción, es más duro que el arroz blanco al masticar, y se vuelve rancio más rápidamente. En Asia, ha sido considerado tradicionalmente como un alimento para pobres y tiempos de penurias y guerras. En los países occidentales, desde la segunda mitad del siglo XX se le asocia a menudo con la alimentación sana. Mayormente es utilizado en la preparación de platos vegetarianos.



Figura 1.6. Brown rice o arroz integral

FUENTE: Butterbeliever. Brown rice vs White rice which is healthy. Recuperado de: <http://butterbeliever.com/brown-rice-vs-white-rice-which-is-healthy/>

d.3. MILLED RICE O ARROZ ELABORADO (ARROZ BLANCO)

El arroz blanco o “milled rice” es el nombre dado al arroz que ha eliminado su cáscara, el salvado y el germen como se observa en la (Figura 1.7). Esto altera el sabor, la textura y la apariencia del arroz y ayuda a prevenir el deterioro y extender su vida de almacenamiento.

En cuanto a sus propiedades nutritivas, el arroz blanco cocido contiene 72,2% de agua y 25,2% de carbohidratos. La grasa está en pequeñísimas cantidades 0,1% y su contenido proteínico es bajo 2,40%, al igual que el resto de cereales. Otros nutrientes que destacan en el arroz son vitaminas del complejo B así como la fibra.



Figura 1.7. Milled rice o arroz blanco

FUENTE: Dreamstime. Arroz blanco o crudo. Recuperado de: <http://es.dreamstime.com/fotos-de-archivo-arroz-blanco-crudo-image36247713>

Después de la molienda, el arroz se pule, resultando en una semilla con una apariencia blanca y brillante; los procesos de molienda y pulido remueven nutrientes importantes. Una dieta basada en arroz blanco enriquecido deja a las personas vulnerables a enfermedades, debido a una deficiencia de vitamina B1. Al igual que con todos los alimentos naturales, la composición nutricional precisa del arroz varía ligeramente dependiendo de la variedad, las condiciones del suelo, las condiciones ambientales y tipos de fertilizantes.

1.3.3. SITUACIÓN ACTUAL DEL ARROZ A NIVEL MUNDIAL

Kumar N. Fageria, un respetado científico e investigador menciona en su libro *Mineral Nutrition of Rice*, (Kumar, 2014): “El arroz es el alimento básico de más de la mitad de la población mundial y también seguirá siendo el principal cultivo alimentario en el siglo siguiente. Es el tercer cereal más importante después del trigo y el maíz, y es el principal alimento para los pueblos de Asia, África y América del Sur. También es consumido por un gran número de inmigrantes asiáticos, africanos y sudamericanos que viven en Estados Unidos, Europa y Australia. Como fuente primaria de alimentos, el arroz representa el 35-75% de la ingesta de calorías de más de tres mil millones de personas.”

Más del 90% del arroz se produce y consume en Asia, donde la importancia histórica de este cultivo es importante, el 95% del arroz del mundo se cultiva en las naciones menos desarrolladas situadas principalmente en Asia, África y América Latina; siendo China e India los productores y consumidores de arroz más grandes del mundo. Con la población mundial proyectada para ser más de nueve mil millones en el año 2050, la demanda de arroz crecerá más rápido que para otros cultivos.

Además, la tierra disponible para la producción agrícola es cada vez menor debido al crecimiento urbano y la degradación de la tierra. Por lo tanto, un aumento en la producción de arroz tendrá que venir de la misma o incluso menor cantidad de tierra. Prácticas de producción adecuada de arroz deben ser desarrolladas y adoptadas para mejorar el rendimiento del arroz por unidad de área. Hoy en día, la producción de arroz se estancó en muchas regiones productoras de arroz del mundo, y muchos estreses bióticos y abióticos son los responsables de este dilema. (Prasad, 2011)

Basado en datos de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) y su publicación en RMM (*Rice Market Monitor*), con un volumen de 744,7 millones de toneladas (496,6 millones de toneladas

de arroz elaborado), el pronóstico de la producción mundial de arroz de 2014 fue ligeramente (0,2 por ciento) inferior al de 2013, como consecuencia de la reducción del 0,1 por ciento de las siembras y los rendimientos, que se situaron en 162,9 millones de hectáreas y 4,57 toneladas por hectárea respectivamente, ocasionada por las condiciones meteorológicas desfavorables, en la (Figura 1.8) se puede observar la evolución mundial que ha tenido en los últimos años la producción de arroz en millones de toneladas en relación con el área requerida para su cultivo en millones de hectáreas.

La utilización mundial de arroz en 2015 se pronostica a 500,5 millones de toneladas; alrededor del 83 por ciento de la utilización, o sea 415,4 millones de toneladas, corresponderá a alimentos para el consumo humano, mientras que para la alimentación animal representará 14,5 millones de toneladas, o el 3 por ciento del total, y los 70,6 millones de toneladas restantes, o el 14 por ciento de la utilización, corresponderán a las semillas, los uso industriales no alimentarios y los desechos.

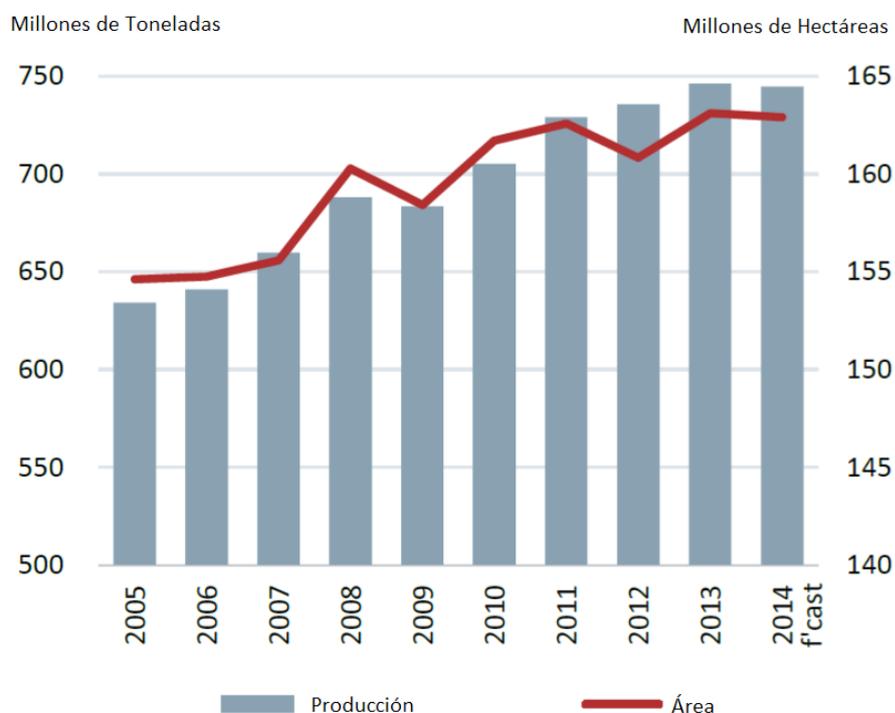


Figura 1.8. Área y producción de arroz a nivel mundial

FUENTE: (Food and Agriculture Organization, 2014). Rice Market Monitor/December 2014.

La (Figura 1.9) muestra en términos per cápita el consumo de arroz a nivel mundial, a pesar del aumento de los precios minoristas vigentes en la mayoría de las regiones con respecto al año anterior este aumentará ligeramente, pasando en promedio de 57,3 kilogramos en 2013/14 a 57,5 kilogramos en 2014/15. (Food and Agriculture Organization, 2014)

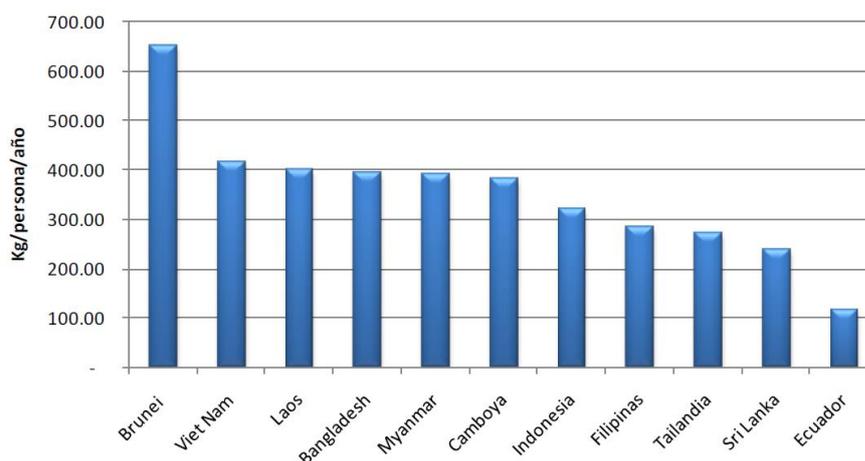


Figura 1.9. Principales países por consumo per cápita de arroz

FUENTE: (Food and Agriculture Organization, 2014). Rice Market Monitor/December 2014.

En cuanto a la región andina el principal consumidor de arroz es Ecuador (119,16 kg/habitante anuales), seguido de Perú (113,39 kg/habitante anuales) y Colombia 83,89 (kg/habitante anuales), según estimaciones de la FAO.

1.3.4. SITUACIÓN DEL ARROZ EN EL ECUADOR

El arroz es un cultivo semi-acuático propio de la región Costa por todas las facilidades climáticas y geográficas que dicha región ofrece. Los productores de esta gramínea se encuentran altamente concentrados en las provincias de Guayas y Los Ríos; según la ESPAC (Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua) y datos del 2013 dichas provincias concentran el 61% y 34% respectivamente del total de la producción anual en el Ecuador, el 5% restante corresponde al resto de provincias costeñas y a los valles cálidos de las provincias de la Sierra y la Amazonía, en la (Figura 1.10) se puede observar la zonificación del cultivo de arroz en el Ecuador .

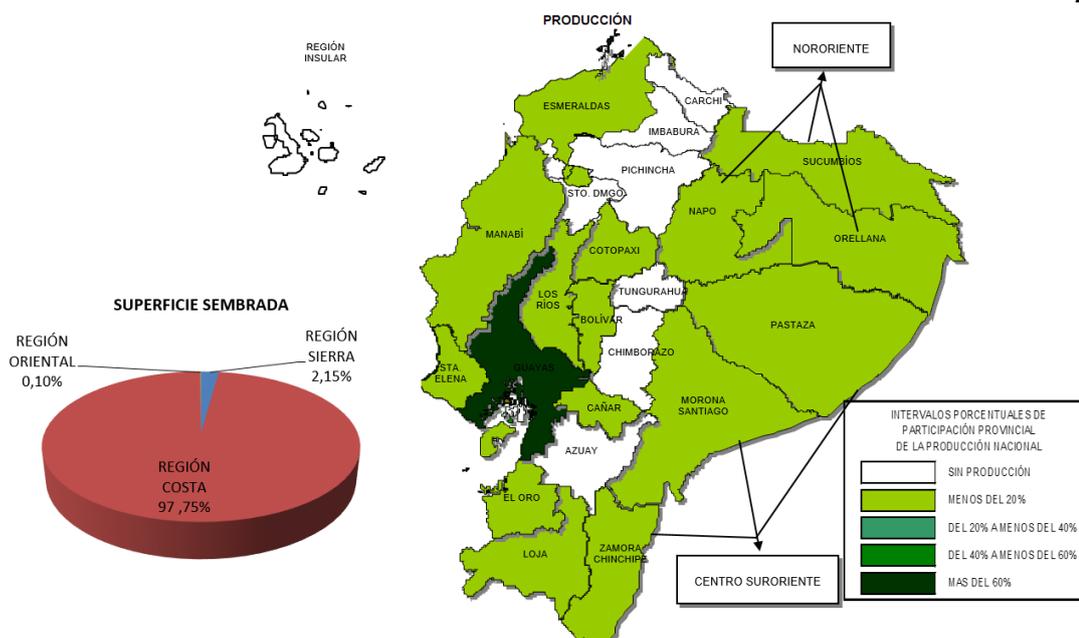


Figura 1.10. Superficie sembrada y producción según región y provincia

FUENTE: (INEC, ESPAC, 2013). ESPAC. Arroz en cascara porcentaje de superficie sembrada. Recuperado de: http://www.inec.gob.ec/espac_publicaciones/espac-2011/

En lo que se refiere a la distribución de la tierra destinada a este cultivo, el 45% de los productores son pequeños (entre 1 y 5 Has.) y poseen 17% de la tierra cultivable; los medianos (entre 5 y 20 Has.) son el 35% del total de los productores y poseen el 32% de la tierra. Por último los grandes productores (de 20 Has. en adelante) son el 19% del total de los productores pero poseen 50% de la tierra empleada para el cultivo de la gramínea; en conclusión existe una alta concentración de tierra hacia los mayores productores.

Existen diferentes variedades de arroz para cultivo, entre las más conocidas están las SFL09, F50 y la INIAP 14, 15, 16, 17; las cuatro primeras variedades provienen del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y las dos últimas de la división agrícola INDIA PRONACA (INEC, Análisis del Sistema Agroalimentario del Arroz en el Ecuador, 2009). La importancia del uso de semilla certificada es el alto rendimiento que estas otorgan debido a la menor cantidad de malezas y mayor calidad del producto que ofrecen, si el rendimiento promedio es de 4,1 TM/Ha,

al utilizar semilla certificada se espera un rendimiento de entre 5 y 7 TM/Ha. Según el INIAP, en el Ecuador entre el 10% y el 12% del total de las semillas son certificadas, justificándose este bajo porcentaje por el costo que implica la compra de semilla de buena calidad, actualmente el INIAP ofrece semillas por 45 USD/saco de 45Kg cantidad requerida para la siembra de una hectárea. (INIAP, 2015)

1.3.5. ENVEJECIMIENTO DE ARROZ

El envejecimiento de arroz es un proceso complicado, que implica cambios en las propiedades físicas y químicas de los granos; durante el almacenamiento, una serie de cambios físico-químicos y fisiológicos ocurren, esto generalmente se denomina envejecimiento. Estos cambios, que incluyen propiedades de color, sabor, aglutinación y composición afectan a la calidad del arroz. El almidón, proteínas y lípidos son los componentes principales de los granos de arroz que afectan la cocción y la calidad comestible del mismo; el conjunto de estos elementos contenidos en el grano de arroz se mantiene esencialmente sin cambios durante el almacenamiento pero en ellos se producen cambios estructurales o internos. Estos cambios afectan a la aglutinación y propiedades de gelatinización, al sabor y la textura del arroz cocido. (Zhou, Robards, Helliwell, & Blanchard, 2001)

Aunque el mecanismo de envejecimiento de arroz no se entiende completamente, la apreciación de los cambios durante el almacenamiento es importante para poder dar un correcto tratamiento a la molienda, la cocción y un comer de calidad. El envejecimiento comienza antes de la cosecha y continúa con el tiempo; siendo la temperatura y la humedad índices relevantes durante este proceso; por lo que el envejecimiento de arroz es un proceso complejo que está presente durante todas las fases de transformación comenzando en el grano de arroz natural, arroz integral, arroz blanco, almidón de arroz y arroz cocido.

La absorción de agua y la pérdida de sólidos durante la cocción, la viscosidad y la pegajosidad del arroz disminuyen progresivamente durante el envejecimiento, mientras que la expansión de volumen, dureza del arroz cocido y esponjosidad aumentan. En otras palabras, los componentes del grano se organizan y se refuerzan progresivamente con la edad del arroz. Es importante recalcar que el almacenamiento en frío retrasa el envejecimiento por lo que la calefacción por otro lado promueve este fenómeno, es decir, que el envejecimiento de arroz o el efecto que tiene el mismo pueden ser simulados por tratamiento térmico; la temperatura puede ser incluso tan alta como 100°C y el producto final será similar. (Kshirod, 2011)

El envejecimiento es único en el arroz, ningún otro grano muestra tal comportamiento por lo que se han propuesto muchas teorías para explicar el envejecimiento del arroz pero aún no se ha afianzado ninguna de estas; siendo así el envejecimiento del arroz la última frontera de la investigación sobre el arroz.

a. MÉTODO NATURAL DE ENVEJECIDO

El envejecimiento del arroz es tan esencial e importante como lo es el añejamiento para el vino y el whisky. El envejecimiento natural mejora los atributos del arroz mediante la reducción de contenido de humedad, el aumento de aroma, de longitud, de sabor y resultados de cocción.

El arroz debe ser comprado en temporada y mantenerse en almacenamiento ya sea en cáscara o pilado durante un mínimo de un año dentro de bodegas o silos como se muestra en la (Figura 1.11). Por lo tanto, el almacenamiento seguro del arroz debe ser una consideración que se tome muy en serio protegiéndolo de la humedad y las lluvias propias de la región. Se requiere un enorme espacio de almacenamiento con la mayoría de las condiciones de higiene, fumigación y seguridad; garantizando la máxima protección del producto con el suelo, la humedad, excrementos de pájaros, roedores e infestación a través de microorganismos e insectos, que son

claramente los principales riesgos que presenta un producto al ser almacenado por un largo periodo de tiempo. (KRBL, 2014)

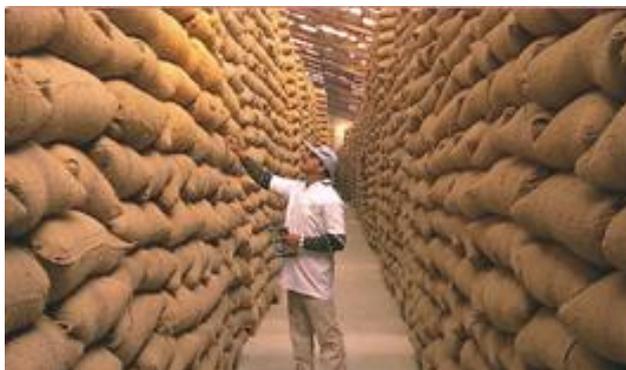


Figura 1.11. Envejecimiento natural en bodega de almacenamiento

FUENTE: (KRBL, 2014). KRBL. Our strengths, Ageing and Storage. Recuperado de: <http://www.krblice.com/ourstrengths.html>

b. MÉTODO ARTIFICIAL DE ENVEJECIDO

El proceso de envejecido artificial del arroz genera propiedades y características similares al proceso natural; debido a que acelera la pérdida de humedad del grano y mejora la estabilidad de los componentes internos del mismo. Los procesos artificiales de envejecimiento no son nuevos y existen desde hace ya muchos años, siendo desarrollados en países netamente arroceros como son la India o Japón; los científicos en Bangalore y Mysore en la India, mientras investigaba en el área arroceras vinieron la necesidad y la posibilidad de envejecer artificialmente el arroz nuevo; la experiencia de campo que adquirieron donde el arroz cosechado a menudo se almacenaba en una pila generando así una cierta cantidad de calor y produciendo la decoloración del grano, proporcionó alguna pista para desarrollar un proceso de envejecimiento artificial. Con estas consideraciones; (Desikachar & Subrahmanyam, 1960) lograron desarrollar un proceso en el arroz recién cosechado fue vaporizado después su secado (arroz precocido). Aunque hubo algunos problemas tecnológicos además de agrietamiento y como resultado la rotura de molienda, el arroz se cocinó como arroz envejecido naturalmente, este proceso tomó el nombre de “curado”.

En la publicación “Curing of freshly harvested rice by heat treatment” de (Bhattacharya, Desikachar, & Subrahmanya, 1964) idearon un proceso para envejecer arroz de una manera acelerada; se encontró que el tratamiento de arroz con una combinación adecuada de temperatura y humedad en un horno de humedad provocarían que el arroz nuevo cocido rinda y posea características similares al arroz envejecido de manera natural. Luego, los autores probaron un sistema de mini-piloto en el que el arroz nuevo y pilado se calentó con agitación en un tambor giratorio cerrado como se muestra en la (Figura 1.12) y luego se enfría lentamente en otro recipiente cerrado, encontrando así que el arroz presentaba un envejecido idéntico al natural.

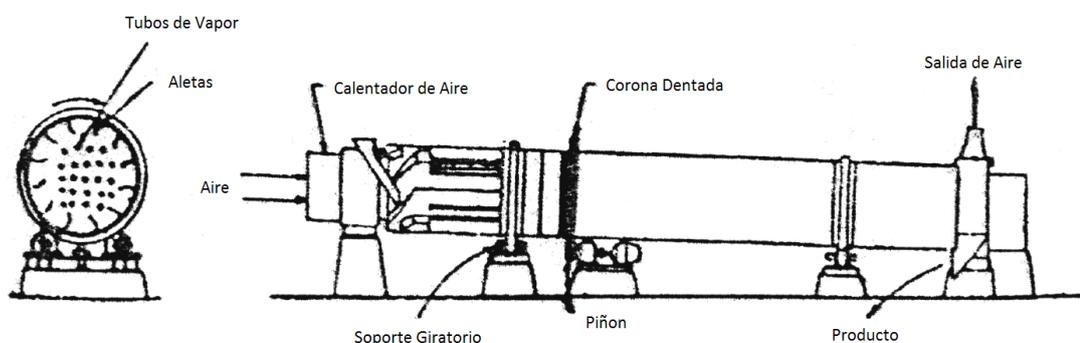


Figura 1.12. Tubo de vapor curador rotatorio

FUENTE: (Chakraverty & Singh, 2014). Postharvest technology and food process engineering.

1.4. ÁREA MECÁNICA

Los sistemas mecánicos constituyen la primera y una de las más importantes etapas dentro del diseño de cualquier tipo de proyecto; estos sistemas requieren de un análisis exhaustivo que considere los componentes o actuadores eléctricos, neumáticos, hidráulicos, electrónicos entre otros para posteriormente ser construidos. Estos sistemas están constituidos fundamentalmente por componentes, dispositivos o elementos que tienen como función específica transformar o transmitir el movimiento desde las fuentes que lo generan hasta el punto o sitio de trabajo. Los diseñadores y los ingenieros de diseño crean aparatos o sistemas que satisfagan necesidades

especificadas de una manera eficiente y rápida; teniendo siempre en cuenta el ámbito económico y ambiental.

1.4.1. TOLVA DE ALMACENAMIENTO

Estos son equipos para almacenamiento de productos líquidos y sólidos que se diseñan bajo normas internacionales. Las características del producto a almacenar definen su material y algunos aspectos técnicos como: ángulo de aristas, acabados, accesorios y tapas. Las tolvas pueden ser con sistemas de pesaje incorporadas, medidores de nivel, sistemas neumáticos en las compuertas, y grado de instrumentación y control que se requiera para el buen manejo del producto. Existen tres tipos de tolvas de almacenamiento y silos como se muestra en la (Figura 1.13) cilíndrico, cuadrados y rectangulares respectivamente.



Figura 1.13. Tipos de silos y tolvas de almacenamiento

FUENTE: Nuteco. Silos y tolvas de almacenamiento. Recuperado de: <http://grupocomes.com/silos-y-tolvas-de-almacenamiento/>

Generalmente, los granos alimenticios se almacenan en grandes volúmenes en estructuras gigantes conocidas como silos o en unas de menos volumen conocidas como tolvas dependiendo de la necesidad de descargar el producto continuamente. El material de construcción y el tamaño de las estructuras varían ampliamente. (Chakraverty & Singh, 2014). La descarga de tolvas de almacenamiento, en todos los casos se efectuará por gravedad o descarga forzada las cuales se detallan a continuación:

a. **DESCARGA POR GRAVEDAD**

Este tipo de descarga se realiza a través de compuertas de descarga manual o automática como se muestra en la (Figura 1.14); utiliza el beneficio de la fuerza de gravedad para realizar su propósito pero se debe tener muy en cuenta durante su diseño el ángulo y volumen de caída para asegurar de esta manera que todo el producto sea evacuado.



Figura 1.14. Descarga por gravedad

FUENTE: Nuteco. Silos y tolvas de almacenamiento. Recuperado de: <http://www.nutecomes.com/silos-y-tolvas-de-almacenamiento/>

b. **DESCARGA FORZADA**

En ocasiones se requiere controlar de manera exacta el flujo de descarga y el volumen de material a utilizar o simplemente por condiciones físicas y geográficas, es necesario el uso de transportadores de tornillo sinfín como se observa en la (Figura 1.15), con los cuales se puede obtener una mayor exactitud a pesar de que su costo se eleva considerablemente.



Figura 1.15. Descarga por sinfín

FUENTE: Nuteco. Silos y tolvas de almacenamiento. Recuperado de: <http://www.nutecomes.com/silos-y-tolvas-de-almacenamiento/>

El presente proyecto usará una tolva para almacenar el arroz previo a su ingreso a la cámara de tratamiento; además el método de descarga más apropiado para este fin es forzado, debido a las condiciones geométricas de la máquina se requiere arrastrar el producto a lo largo de toda la cámara de tratamiento de una manera uniforme.

1.4.2. TRANSPORTADOR MECÁNICO

Los transportadores son máquinas de diferentes diseños que aplican distintos principios; estas pueden ser horizontales, verticales o en pendiente; son usados para el transporte continuo de materiales en una trayectoria determinada hasta el punto final o de descarga. Hay transportadores que son accionados por gravedad, por fuerza motriz o electromotriz o en ciertos casos hasta neumáticos e hidráulicos. Los transportadores se usan para muchos propósitos en la industria, entre ellos movimiento de materiales, medición, mezclado y clasificación según el tamaño; teniendo en cuenta que cada tipo de transportador tiene sus ventajas y desventajas y ningún transportador será apto para todas las aplicaciones.

Existen diversos factores a considerar para la selección de un transportador mecánico adecuado para determinada aplicación; entre los principales tenemos:

- Condiciones del entorno.
- Geografía (altitud, tipo de terreno, accesibilidad).
- Infraestructura.
- Tipo de material a transportar (sólido, líquido, gaseoso).
- Forma, densidad y volumen del material a transportar.
- Distancia y dirección del transporte.

a. TRANSPORTADOR DE TORNILLO SINFÍN

Un transportador de tornillo consiste en un tornillo helicoidal continuo o interrumpido fijado a un eje que gira en una cubeta en forma de U para empujar material a granel de grano fino a través del canal como se muestra en la (Figura 1.16). El material a granel se desliza a lo largo del canal por el mismo principio que una tuerca impedida de girar se movería en un tornillo giratorio. La carga contenida está imposibilitada de girar con el tornillo por el peso del material y por la fricción del material contra la pared del canal. (Siddhartha, 2008)

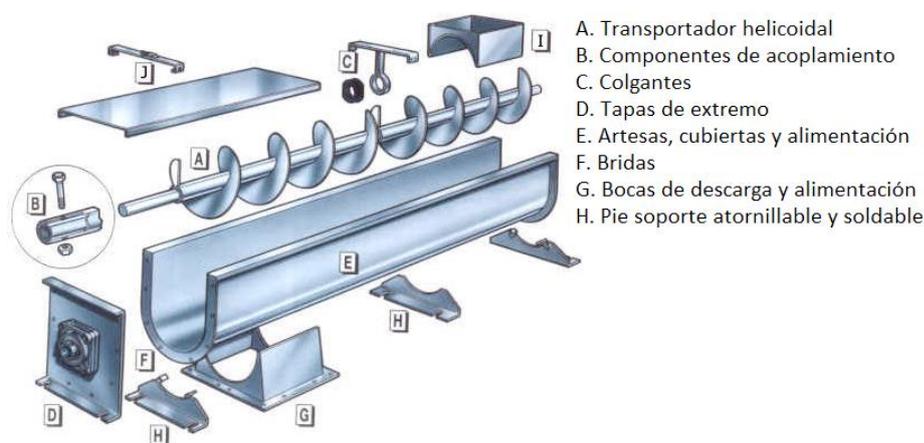


Figura 1.16. Transportador de tornillo sinfín

FUENTE: Anilcosa. Tornillo sinfín transportador. Recuperado de: <http://taninos.tripod.com/tornillo.html>

Un transportador de tornillo es adecuado para cualquier material viscoso no pulverizado o granular, e incluso a alta temperatura. Este transportador es particularmente adecuado para mezclar el o los materiales durante el transporte y también para controlar la velocidad de alimentación de materiales en una planta de procesamiento. La abrasión y por consiguiente cierta cantidad de degradación del material son inevitables, por lo tanto, no es adecuado para materiales abrasivos frágiles y altas.

a.1. ESPECIFICACIONES

Un transportador de tornillo típico se muestra en la (Figura 1.17). El eje de tornillo, si es corto (hasta 5 metros), se apoya en dos extremos; pero para los ejes más largos (hasta 40 a 50 m), se apoyan en soportes de cojinetes, en puntos intermedios.

El eje puede ser sólido o hueco, los ejes huecos son más ligeros y pueden ser fácilmente unidos para hacer un eje largo. El eje del husillo se acciona en un extremo, y el diseño puede permitir la descarga de material desde la parte inferior o un extremo.

El canal o artesa es fabricado en forma de U y está generalmente cubierto en la parte superior para evitar la contaminación por partículas. La parte inferior de la artesa es de sección transversal circular que coincide con el diámetro del tornillo, en general, un intervalo radial de 10 mm a 20 mm se mantiene entre el tornillo y el canal, dependiendo del tamaño del tornillo.

La unidad de accionamiento consta de un motor eléctrico, caja de engranajes y acoplamientos; el material se alimenta a través de la tolva de alimentación fija en la cubierta de la artesa. (Siddhartha, 2008)

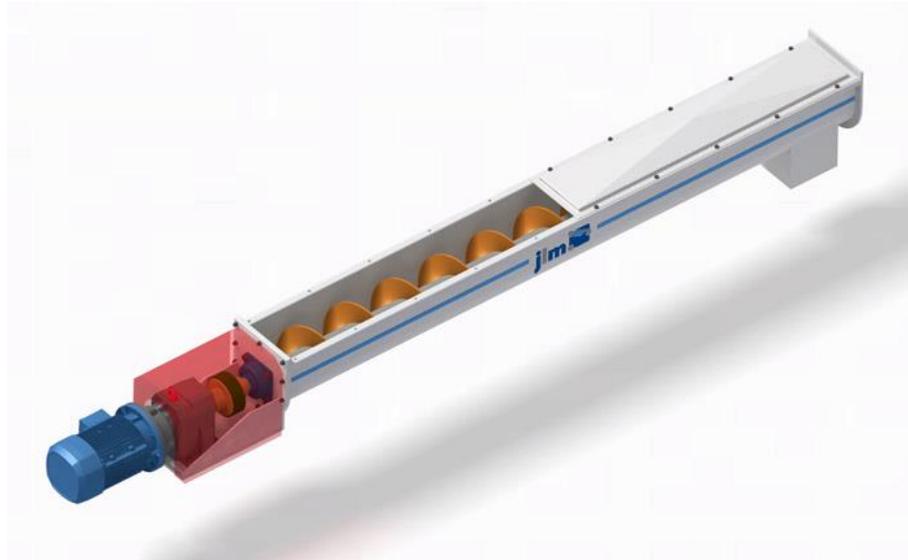


Figura 1.17. Transportador típico de tornillo sinfín

FUENTE: JLM Engineering. Productos transportadores de tornillo sinfín: Sinfín. Recuperado de: <http://www.jlmingeneria.com/sinfin.html>

Un número de brotes de descarga con cremalleras de cierre y apertura en caso necesario se proporcionan para la descarga del producto transportado. Los transportadores de tornillo son generalmente operados en horizontal o en una pequeña inclinación (10° a 20°). Sin embargo, hay diseños especiales donde la carga se mueve verticalmente hacia arriba o en un pequeño ángulo a la vertical, estos son los llamados transportadores de tornillo verticales.

Para la cámara de tratamiento térmico el uso de un transportador de tornillo sinfín es necesario para el arrastre del producto a lo largo de toda la cámara, repartiéndolo de una manera equitativa y distribuida para que de esta manera no exista concentración de producto en un determinado punto y todo el arroz sea tratado por igual.

b. ZARANDA VIBRATORIA

Los transportadores vibratorios o zarandas vibratorias (McGuire, 2010) son únicas y útiles para todos los propósitos; los componentes del transportador permanecen estacionarios y sólo el producto que se transmite se está moviendo. Con el uso de vibración controlada, el producto se puede

mover muy fiable en una dirección específica, la idea es que el movimiento de avance es ligeramente hacia arriba y lento mientras que el movimiento de retorno es a la baja y rápido. Este movimiento vibratorio se pueden crear utilizando un dispositivo neumático que se desliza hacia atrás y adelante; la orientación del dispositivo dicta el movimiento vibratorio.

El método más popular es un volante con motor que no está equilibrado como se observa en la (Figura 1.18), este método requiere el uso de miembros de resorte direccionales para controlar el movimiento vibratorio.

Este es el medio más apropiado para transportar el arroz después de su tratamiento térmico, debido a la favorable ventaja que presenta la acción de la vibración en el mismo, al romper las uniones de producto que se producen por efecto de la temperatura y el tiempo de reposo propio del proceso.

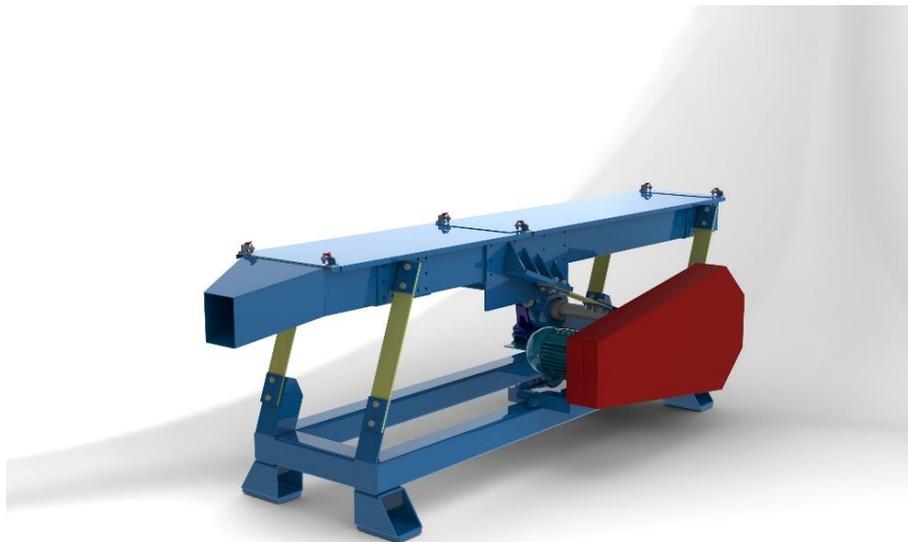


Figura 1.18. Ejemplo de transportador vibratorio

FUENTE: Dindel S.A. Transporte vibratorio con limpieza y transportador de tierra. Recuperado de: <http://www.dindelsa.com/productos.php?cat=Trasportadores%20vibratorios>

El uso de acero inoxidable para el transportador vibratorio es un medio ideal para el transporte de productos alimenticios (Figura 1.19) porque no hay una superficie que mantener limpia, a diferencia de las bandas

transportadoras en las que si las hay y prácticamente ninguna parte de la mesa permite que las bacterias se escondan; haciendo a los transportadores vibratorios muy populares para la manipulación de medicamentos y producto alimenticios.

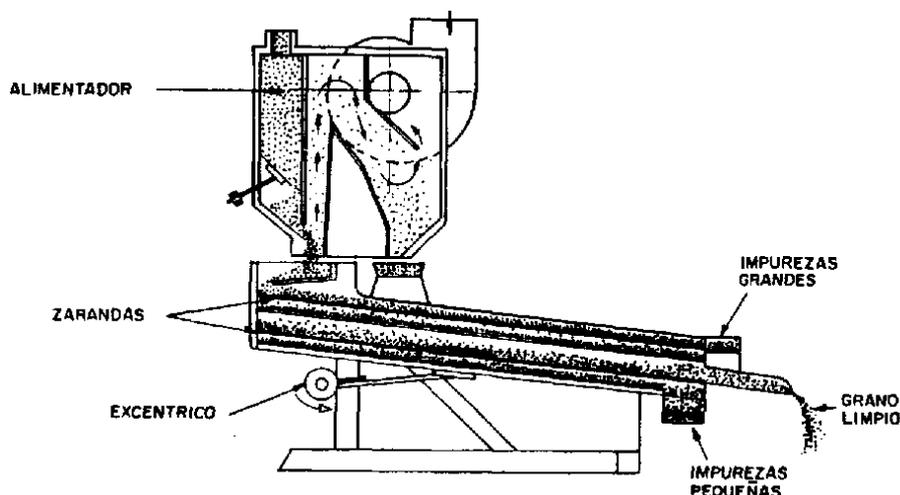


Figura 1.19. Zaranda limpiadora y clasificadora

FUENTE: FAO. Limpieza con ventilador y zarandas. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/x5027s/x5027s04.htm>

1.4.3. SISTEMA DE TRAMATIENTO TÉRMICO ALIMENTICIO

Las técnicas de procesamiento térmico son tomadas en cuenta para mejorar la seguridad y la calidad de los productos alimentarios tanto para su consumo y para extender la vida útil de los productos; estas técnicas de procesamiento térmico implican la producción, transformación y conservación de alimentos. La esterilización y pasteurización son procesos realizados para inactivar o destruir la actividad enzimática y microbiológica de los alimentos. Cocinar (incluyendo hornear, asar y freír) es un proceso de calentamiento para alterar la calidad de consumo de alimentos y para destruir los microorganismos y enzimas para la seguridad alimentaria. La deshidratación y el secado es un proceso para eliminar la mayoría del agua en los alimentos por evaporación (o por sublimación para la liofilización) para extender la vida útil de los alimentos debido a una reducción en la actividad de agua.

Cuando un alimento se coloca en contacto con un medio líquido o sólido de diferentes temperaturas o concentraciones, aparece un potencial para un flujo de energía y/o masa; los principios de los procesos térmicos en los que muchos alimentos se basan son el intercambio de calor y masa; entre el medio en el que se encuentre y el producto a tratar. Esto es importante para el desarrollo de nuevas fuentes de alimentos y productos alimenticios, para el procesamiento más económico y eficaz de los alimentos, y para una mejor calidad y seguridad de los alimentos.

Si el mecanismo de un proceso se entiende bien, los modelos matemáticos pueden ser desarrollados eficientemente para representar el proceso. Experimentos prácticos pueden llevarse a cabo en modelos matemáticos en condiciones muy generales de una manera económica y que ahorra tiempo. Con los modelos del proceso y cálculos cuantitativos se pueden hacer predicciones para un diseño más confiable, óptimo y con condiciones de operación favorables, por lo tanto, los avances de los procesos térmicos de alimentos pueden llegar a ser posibles sobre la base de una mejor comprensión de los mecanismos de transferencia de calor y de masa. (Da-Wen , 2012)

Muchas de las operaciones de procesos alimentarios térmicos implican la transferencia de calor dentro o fuera de un alimento, el calor puede ser transferido por uno o más de los tres mecanismos que son conducción, convección y radiación. La mayor parte de las operaciones de transferencia de calor industrial implican una combinación de éstos, pero a menudo es el caso que un mecanismo es dominante.

a. MÉTODOS BÁSICOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR (SECADO)

El secado de productos alimenticios es el proceso más similar al contexto hacia el cual va dirigido este proyecto, debido a que este se caracteriza principalmente por la pérdida de humedad en los alimentos y es una operación de procesamiento térmico comúnmente utilizado para la conservación de los

mismos. La reducción de agua en los alimentos durante el secado puede lograr una mejor conservación microbiológica y retardar muchas reacciones indeseables.

El secado también puede disminuir el envasado, manipulación, almacenamiento y los costos de transporte debido a la disminución de peso de los alimentos, en la mayoría de los casos, la eliminación del agua de un alimento se logra haciendo soplar un flujo de aire seco, que transporta el agua desde la superficie del producto a la corriente de aire (Da-Wen , 2012).

El secado de los materiales alimenticios es normalmente un proceso complejo que implica simultáneamente intercambio de calor y transferencia de masa entre los materiales por lo que es importante conocer los mecanismos relacionados con los movimientos de agua dentro y fuera del alimento a tratar.

a.1. SECADO DE AIRE

Secado al aire o natural se realiza generalmente en el depósito de almacenamiento, es por eso que el secado al aire sin calentar también se conoce como en bandejas o en el almacenamiento de secado. El secado al aire natural se utiliza comúnmente para el secado de un volumen relativamente pequeño por un periodo tan largo como varias semanas, dependiendo del clima.

a.2. SECADOR POR LOTES FLAT BED-TYPE

Se trata de un secador por lotes que se compone de una cama profunda y estática como se observa en la (Figura 1.20). Este tipo de secador por lotes es muy simple en diseño y más popular para el secado en las explotaciones agrícolas en muchos países.

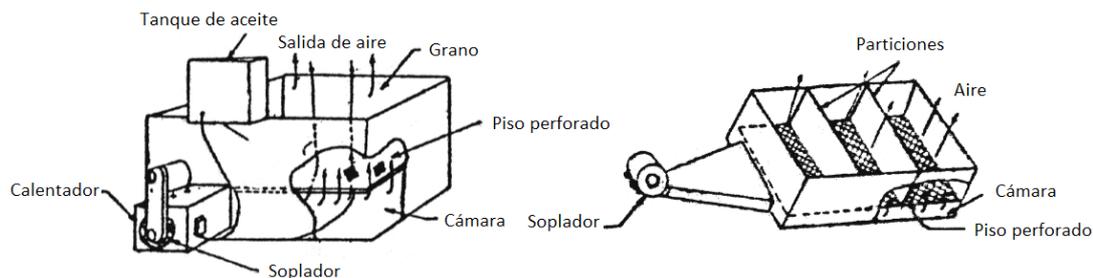


Figura 1.20. Secadora por lotes flat bed-type

FUENTE: (Chakraverty & Singh, 2014). Postharvest technology and food process engineering.

Para su operación el grano se coloca en la pantalla de soporte y el aire calentado es forzado a través del lecho profundo de grano. Después de secar los granos hasta el nivel de humedad deseado, se descarga manualmente. La temperatura del aire calentado se debe limitar a 45 °C y la velocidad de secado varía con la temperatura de secado.

a.3. SECADOR POR LOTES DE RECIRCULACIÓN

Se trata de un secador de tipo flujo continuo no mezclador (Figura 1.21) que se compone de dos cilindros circulares concéntricos de chapa de acero dulce. Los dos cilindros se fijan con una separación de 15 a 20 cm y apoyados en cuatro secciones de canal. Todo el marco puede ser apoyado por una fundación adecuada o puede ser atornillada a un marco hecho de la sección del canal.

Un elevador de capacidad adecuada se utiliza para alimentar y recircular el grano en la secadora, un ventilador centrífugo sopla el aire caliente en el cilindro interior, que actúa como una cámara de tratamiento. El aire caliente procedente de la cámara pasa a través del grano que se mueve hacia abajo por la gravedad y sale del cilindro perforado exterior hacia el ambiente. Un quemador de antorcha se emplea para suministrar el calor necesario.

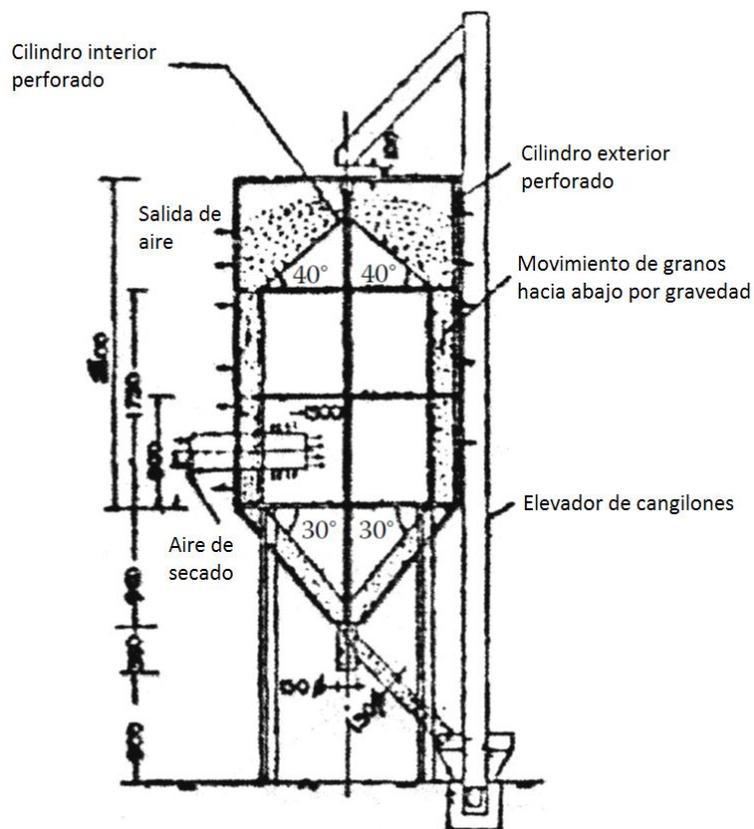


Figura 1.21. Secador por lotes de recirculación

FUENTE: (Chakraverty & Singh, 2014). Postharvest technology and food process engineering.

a.4. SECADOR DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE LOUISIANA

Este es un tipo de secadora-mezcladora de flujo continuo que es muy popular en la India y los Estados Unidos. Consiste en una cámara de secado rectangular, un soplador de aire con conductos, un mecanismo de descarga con un fondo de tolva y un sistema de calefacción de aire.

Las capas de canales en forma de V invertida están instalados en la cámara de secado, el aire caliente se introduce en muchos puntos por medio de estos canales. Los puertos de entrada y salida están dispuestos uno debajo del otro en un patrón de desplazamiento, todos estos puertos del mismo tamaño están dispuestos en el mismo espacio entre ellos.

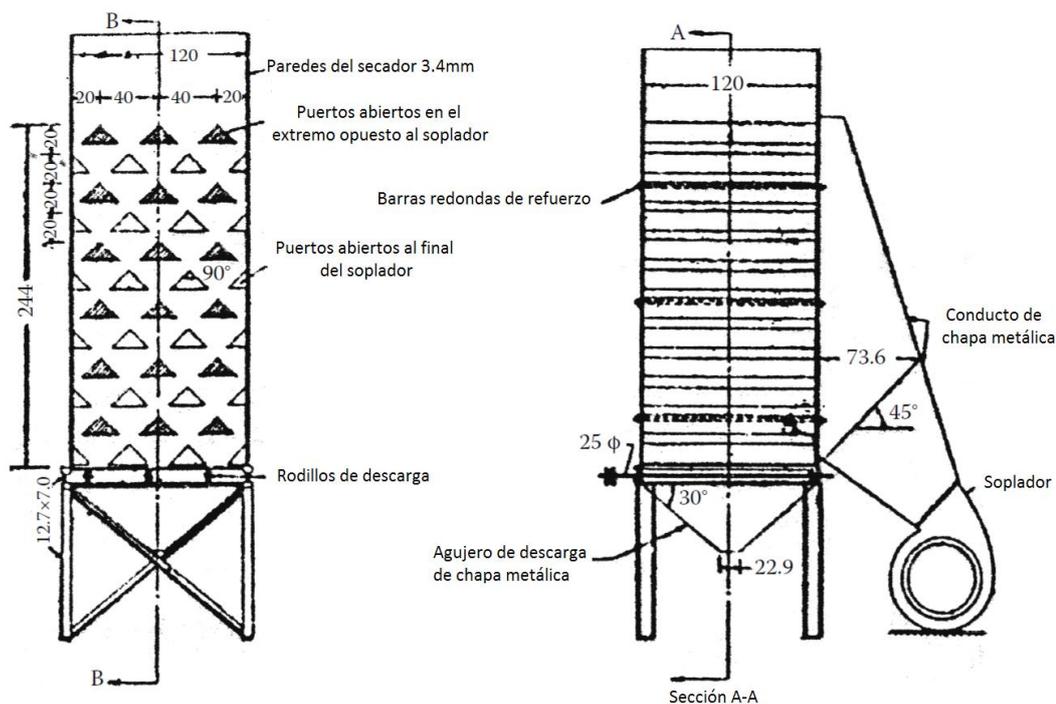


Figura 1.22. Detalles de secador de la LSU

FUENTE: (Chakraverty & Singh, 2014). Postharvest technology and food process engineering.

El número de puertos que contienen un secador varía ampliamente dependiendo del tamaño de la secadora. Las ventajas más favorables de este modelo son un secado uniforme del producto si la secadora está diseñada correctamente además de que puede ser utilizada para diferentes tipos de granos; su principal desventaja es el alto capital que se requiere para su construcción.

a.5. SECADOR DE DEFLECTOR

El secador de deflector consiste de un bin para recibir el grano, la cámara de secado equipado con deflectores, la cámara equipada con entrada de aire caliente, el dispositivo de control de descarga de grano y el fondo similar a una tolva (Figura 1.23). Un número de deflectores están equipados con la cámara de secado para desviar el flujo y efectuar cierto grado de mezcla del grano. Las dos placas deflectoras con los lados exterior e interior se

establecen a 20 cm de separación para el paso del grano en la cámara de secado.

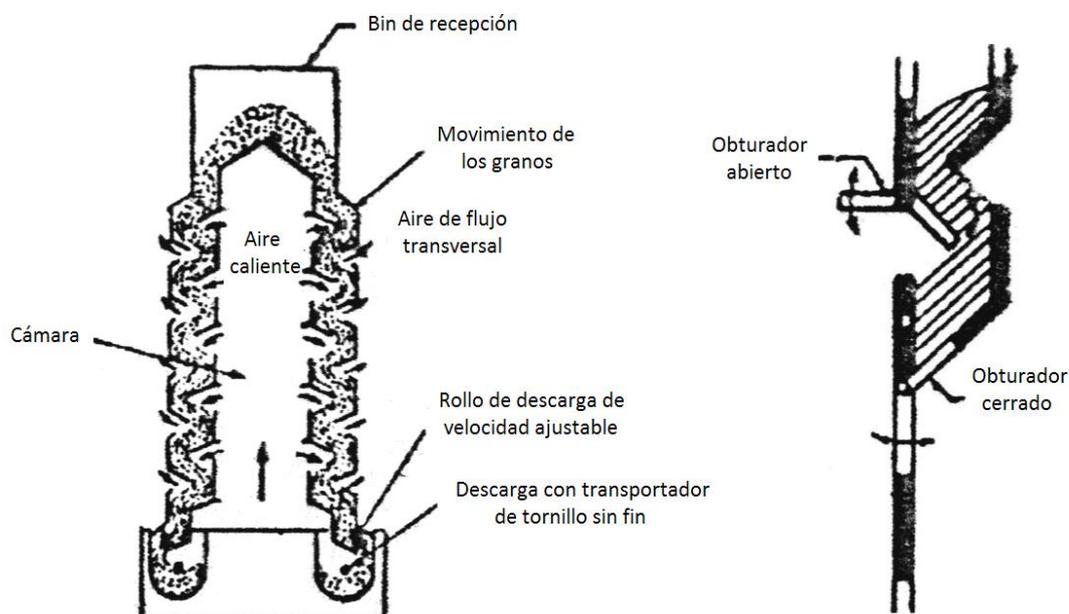


Figura 1.23. Secador de deflector

FUENTE: (Chakraverty & Singh, 2014). Postharvest technology and food process engineering.

a.6. SECADOR ROTATORIO

Este es un secador continuo (Figura 1.24), ya que permite que el producto final se seque de forma continua. Secadores rotatorios horizontales de varios diseños han sido desarrollados por diferentes países para el secado del arroz precocido. Algunos de ellos también están equipados con camisas de vapor externos y tubos de vapor internos.

Como el arroz precocido puede soportar altas temperaturas sin un aumento significativo de las grietas en los granos, estos secadores se pueden emplear para el rápido secado usando temperaturas de hasta 100 °C a 110 °C.

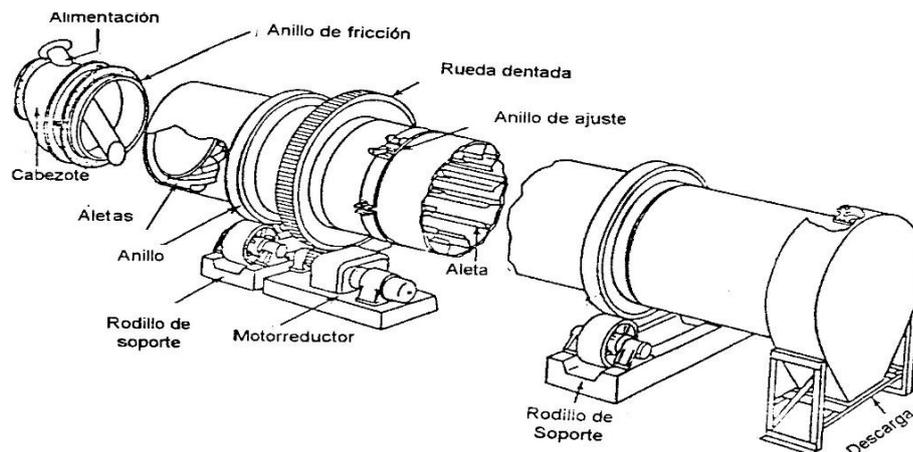


Figura 1.24. Secador rotatorio

FUENTE: (Perry, 1973). Direct-heat rotary dryer.

a.7. INTERCAMBIADOR DE CALOR

La transferencia de calor es una interacción que se produce entre los materiales a causa de la diferencia de temperatura entre ellos, es el tipo más común de interacción en equipos intercambiadores de calor (Figura 1.25), la transferencia de calor entre los fluidos, sólidos o gases generalmente se efectúa indirectamente: las corrientes están separadas por un material sólido, tal como una pared o placa de tubo de metal, o incluso una membrana de plástico, y el calor pasa del primer fluido o gas a través del material sólido para el segundo fluido, sólido o gas.

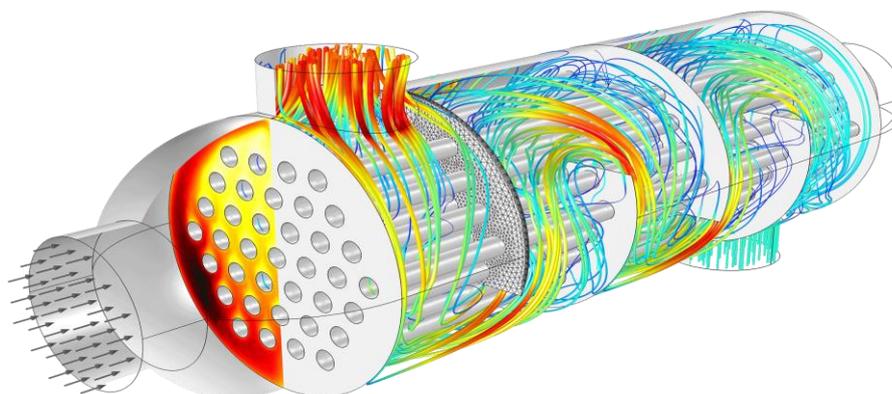


Figura 1.25. Intercambiador de tubo y carcasa

FUENTE: Process Simulation. Shell and tube heat exchanger. Recuperado de: <http://processimulation.blogspot.com/2014/04/chemcad-diseno-y-simulacion-de-un.html>

Los efectos de la transferencia de calor hacen que la temperatura del fluido, gas o sólido refrigerador aumente y por otra parte disminuya la del fluido o gas más caliente; por lo tanto también pueden implicar el cambio de fase de los componentes del sistema. La transferencia de calor también puede tener lugar cuando los líquidos están en contacto directo, por ejemplo, cuando un fluido es agua caliente y el otro es el aire fresco.

1.4.4. ACTUADORES

Son dispositivos mecánicos cuya función es proporcionar fuerza para mover otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles como son la presión neumática, la presión hidráulica y la fuerza motriz eléctrica que puede ser generada por un motor eléctrico o solenoide. Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denominará neumático, hidráulico o eléctrico.

a. VENTILADOR CENTRÍFUGO



Figura 1.26. Ventilador centrífugo

FUENTE: Airtechnics. Ventiladores centrífugos de baja presión. Recuperado de: <http://www.airtechnics.com/es/Product/13400/70/2050/ventilador-centrifugo-bdt>

Un ventilador centrífugo (Figura 1.26) es un aparato utilizado para generar corrientes de aire, está compuesto de un rodete de álabes o aletas que gira dentro de una carcasa espiral o espiraloide conocida como voluta. Este

emplea el principio de la fuerza centrífuga al hacer pasar un volumen de aire o gas a través de una rueda en rotación. El gas entra al rotor en forma axial y cambia su dirección justo a la entrada, este continuará su viaje en dirección radial sobre el álabe siendo expulsado de esta en forma tangencial; es decir son aquellos en los cuales el flujo de aire cambia su dirección, en un ángulo de 90°, entre la entrada y salida. (Quiminet, 2010)

Su principio de funcionamiento es importante en el desarrollo de este proyecto para facilitar el proceso de enfriamiento de la cámara además de ayudar a controlar de ser el caso un exceso de calor durante el tratamiento térmico.

b. CILINDRO NEUMÁTICO

Los cilindros neumáticos (Figura 1.27) son unidades que transforman la energía potencial del aire comprimido en energía cinética o en fuerzas prensoras. Básicamente consisten en un recipiente cilíndrico provisto de un émbolo o pistón cuya fuerza de empuje es proporcional a la presión del aire y a la superficie del pistón. Este será implementado en la máquina para colaborar con la apertura y cierre de las compuertas de descarga, para de esta manera controlar tanto el flujo de caída y el hermetismo del sellado durante el tratamiento térmico.



Figura 1.27. Cilindro neumático

FUENTE: Direct Industry. FESTO Cilindro neumático de doble efecto. Recuperado de: <http://www.directindustry.es/prod/festo/cilindro-neumatico-doble-efecto-4735-11264.html>

c. NIQUELINAS

Las niquelinas o resistencias calentadoras (Figura 1.28) convierten energía eléctrica en calor, este fenómeno se produce al hacer circular corriente eléctrica a través de un conductor liberando calor por encontrar resistencia en su paso. Su utilización en el desarrollo del presente proyecto es de vital importancia durante el ciclo de calentamiento y de estabilidad de temperatura.



Figura 1.28. Niquelina tubular

FUENTE: Edina. Codiresi, Construcción y Diseño de Resistencia Industriales. Recuperado de: <http://www.edina.com.ec/16730/9/238/codiresi/calentadores-electricos-resistencia-electrica>

1.4.5. MATERIALES

Cada aplicación necesita de un material que cumpla unas características determinadas; por lo que ingenieros y diseñadores necesitan analizar las ventajas e inconvenientes de cada uno de los materiales y elegir adecuadamente aquel que mejor se adapte a las necesidades requeridas. Para elegir adecuadamente un material es necesario conocer, entre otras, sus propiedades sensoriales, ópticas, térmicas, magnéticas, químicas, mecánicas, etcétera.

a. ACERO INOXIDABLE

Los aceros inoxidable (Figura 1.29) son una gama de aleaciones que contienen un mínimo de 11% de Cromo; este forma en la superficie del acero

una película extremadamente delgada, continua y estable. Esta película deja la superficie inerte a las reacciones químicas siendo esta la característica principal de resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable.



Figura 1.29. Láminas de acero inoxidable

FUENTE: Metales y Aceros Especiales. Acero Inoxidable. Recuperado de: <http://laminasdeaceroinoxidable.com/>

1.5. DISPOSITIVOS DE CONTROL

1.5.1. SENSOR

Un sensor es un dispositivo eléctrico y/o mecánico que convierte magnitudes físicas como la luz, el magnetismo, la presión, la temperatura, etc. en valores medibles de dicha magnitud, (Sandler, 1999). La temperatura es la variable principal en este proyecto, siendo esta es una medida del promedio de energía cinética de las partículas en una unidad de masa, expresada en unidades de grados en una escala estándar.

Un detector de resistencia de temperatura (RTD) de platino (Figura 1.30) es un dispositivo con una resistencia típica de 100Ω a 0°C , su resistencia varía con la temperatura y generalmente puede medir temperaturas hasta 850°C . La relación entre la resistencia y la temperatura es relativamente lineal. (National Instruments, 2013)

Este sensor es indispensable en el desarrollo del sistema de tratamiento térmico en especial para el proceso de control colaborando con la medición de la temperatura y optimizando la funcionalidad de la máquina.



Figura 1.30. Sensor PT100

FUENTE: TMS. 3-wire Pt100 RTD. Recuperado de: <http://www.tmswebshop.co.uk/buy/3-wire-pt100-rtd-3-8-9-5mm-dia-x-150mm-long-3-5m-stainless-steel-over-braid-lead-rtd>

1.5.2. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

El Controlador Lógico Programable PLC (Figura 1.31) no es más que un aparato electrónico que sustituye los circuitos auxiliares o de mando de los sistemas automáticos. A él se conectan los captadores (finales de carrera, pulsadores, etc.) por una parte, y los actuadores (bobinas de contactores, lámparas, pequeños receptores, etc.) por otra.



Figura 1.31. PLC Siemens S7-1200

FUENTE: SIEMENS. SIMATIC S7-1200 PLCs Support. Recuperado de: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/57027057?lc=en-WW>

Debido a la complejidad del presente proyecto el uso de un PLC facilita el proceso de control del sistema de tratamiento térmico gracias a su capacidad de cambiar y replicar la operación o proceso mientras a la par continúa con la recolección de datos y la transmisión de información vital hacia el sistema.

1.5.3. VARIADOR DE FRECUENCIA

Se trata de dispositivos electrónicos, que permiten el control completo de motores eléctricos de inducción; los hay de c.c. (variación de la tensión), y de c.a. (variación de la frecuencia); los más utilizados son los de motor trifásico de inducción y rotor sin bobinar (jaula de ardilla). También se les suele denominar inversores o variadores de velocidad (Figura 1.32). Su utilización se ve justificada en el presente proyecto debido a la necesidad de controlar la velocidad del ventilador centrífugo para regular el caudal que este produzca en el interior de la cámara de tratamiento térmico.



Figura 1.32. Variador de frecuencia Siemens

FUENTE: Technik. Produkte Frequenzumrichter Siemens. Recuperado de: <http://www.js-technik.de/produkte/frequenzumrichter/siemens/733/siemens-0012-g110uss-fb>

1.5.4. TOUCH PANEL

El panel táctil o touchpanel (Figura 1.33) permite representar gráficamente los estados de servicio, los valores actuales de procesos y las anomalías de un control acoplado y manejar confortablemente la máquina o instalación a supervisar. A tal efecto, la utilización de un panel táctil facilitará en gran magnitud la operación de la máquina a diseñar ofreciendo toda una serie de

funciones estándar y una representación gráfica y continua del estado del proceso.



Figura 1.33. Simatic Touch Panel KTP600

FUENTE: Hyper-Tech. SIMATIC HMI KTP600 Basic color. Recuperado de: <http://www.hypertech.hk/node/248>

1.6. SISTEMA DE CONTROL

La finalidad de un sistema de control es conseguir, mediante la manipulación de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida, de modo que estas alcancen unos valores prefijados superando las dificultades que suponen las perturbaciones propias del sistema.

1.6.1. SISTEMA DE CONTROL A LAZO CERRADO

Un sistema de control de lazo cerrado como se observa en la (Figura 1.34), es aquél en el que la acción de control es, en cierto modo, dependiente de la salida, es decir, la señal de salida influye en la entrada; para esto es necesario que la entrada sea modificada en cada instante en función de la salida. Esto se consigue por medio de la llamada realimentación o retroalimentación (Junta De Andalucía, 2013). Es necesaria la implementación de este tipo de control

en la máquina a desarrollar porque se requiere que exista una realimentación de la señal de salida (control niquelinas), de manera que ésta ejerce un efecto sobre la acción de control (PID).

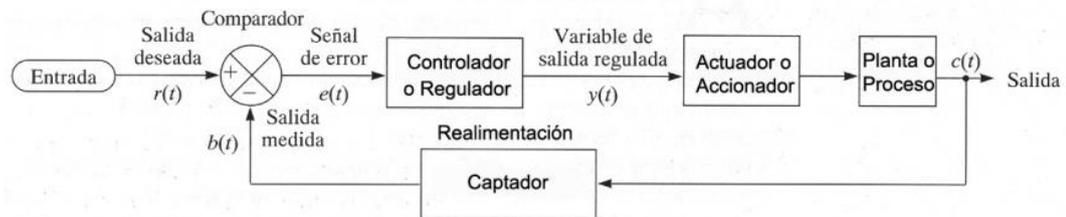


Figura 1.34. Sistema de control a lazo cerrado

1.6.2. INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA (HMI)

La interfaz hombre-máquina (HMI) es el punto de acción en que un hombre entra en contacto con una máquina. Para que una interfaz hombre-máquina (HMI) sea útil y significativa para las personas, debe estar adaptada a sus requisitos y capacidades (Copa-Data, 2014). Un HMI (Figura 1.35) debe cumplir varias funciones indispensables para el correcto funcionamiento de un proceso industrial entre estos:

- Monitoreo (indicación del estado del proceso en tiempo real).
- Supervisión.
- Alarmas (información al operador de una situación anormal).
- Control (ejecución de acciones de mando).
- Registro o historial (almacenamiento del estado de las variable o anomalías).
- Reportes (conocer el proceso durante un período de tiempo determinado).



Figura 1.35. Interfaz humano máquina HMI

FUENTE: Cross Automation. Allen Bradley PanelView. Recuperado de: <http://cross-automation.com/blog/allen-bradley-panelview-replacement-option-redlion-hmis>

1.6.3. SOFTWARE DE PROGRAMCIÓN

El TIA Portal (Totally Integrated Automation) (Figura 1.36) integra por primera vez los sistemas de ingeniería para las diversas tareas de automatización. Mediante un framework común, una interfaz unitaria y una configuración similar de tareas de automatización equiparables, se garantiza un tiempo mínimo de familiarización y un alto grado de reconocimiento para equipos de la marca SIEMENS.



Figura 1.36. TIA Portal

FUENTE: Siemens Industry. Siemens Software TIA Portal. Recuperado de: <http://www.industry.siemens.com/topics/global/es/tia-portal/Pages/default.aspx>

El software antes mencionado es necesario para la programación del PLC a usarse en el presente proyecto y para la configuración de la Touch Panel; ambas Siemens debido a la alta fiabilidad de su marca y la facilidad de vincular los mismos en procesos industriales.

CAPÍTULO II

2. DISEÑO

2.1. INTRODUCCIÓN

Desde el comienzo de los tiempos y con la existencia de la especie humana ha crecido la necesidad de solucionar problemas que se presentan a diario con la invención, descubrimiento o creación de aparatos, métodos o sistemas que faciliten y mejoren el estilo de vida de los seres humanos; de aquí nace la razón por la cual se crean nuevas máquinas o se mejoran las existentes de una manera vertiginosa, para de esta manera solucionar una necesidad presente o previsible que afecta nuestra calidad de vida.

El proceso de creación se inicia con la concepción de un dispositivo, que sirva para una determinada finalidad; a la idea concebida sigue el estudio de la disposición de las diversas partes y de la posición y longitud de las conexiones, así como de los movimientos relativos o cinemática entre los elementos (Faires, 1999). Es evidente que esto lleva a modificaciones y perfeccionamientos continuos sobre la idea inicial, llegando así a múltiples soluciones al mismo problema pero de las cuales se debe adoptar la más óptima y eficiente.

En la práctica únicamente los conocimientos científicos no siempre son suficientes ni totalmente eficientes para dar solución a problemas complejos, en ocasiones es necesario la combinación con los conocimientos adquiridos por la experiencia para optimizar el proyecto a realizar; es decir, en la mayoría de los casos una cooperación entre la ciencia y la práctica es la mejor sociedad para obtener resultados más eficaces en el diseño de maquinaria novedosa.

Los elementos esenciales del proceso de diseño en ingeniería están determinados por el establecimiento de objetivos y especificaciones, la síntesis, el análisis, la construcción, las pruebas y la evaluación. Además se debe tener en cuenta las diferentes restricciones como son los factores económicos, seguridad, estéticos, éticos, impacto social e impacto ambiental. (Garcia, 2004)

Teniendo en cuenta todos estos factores antes mencionados, para el diseño del sistema automatizado de tratamiento térmico para el arroz, se ha optado realizarlo bajo el concepto de diseño por calidad y todos los aspectos que este abarque.

2.2. DISEÑO POR CALIDAD

El sistema automatizado de tratamiento térmico para el arroz, se desarrolla en base a las características y principios básicos del sistema existente dentro de la empresa, tomando como método esencial la transmisión de calor en un horno controlado para el proceso de tratamiento del arroz con el fin de buscar similares o mejores características en el producto final.

El sistema se diseñará, construirá y optimizará con el fin de mejorar el tiempo de procesamiento del producto, reducción del personal requerido durante el tratamiento, mejoramiento y cumplimiento de normas higiénicas en productos alimenticios y sobre todo salvaguardando la integridad física de las personas u operadores que se encuentren en contacto directo o indirecto con la máquina.

2.2.1. CASA DE LA CALIDAD

El despliegue de la función de la calidad o QFD fue desarrollado para crear una interfaz personal entre el cliente y el diseñador, es decir, para fomentar una fabricación moderna, óptima y sistemática a pequeña y gran escala. En la sociedad industrial de hoy, donde la creciente distancia entre productores y

usuarios es una preocupación, el QFD vincula las necesidades del usuario final o cliente con el diseño, desarrollo, ingeniería, fabricación e inclusive en funciones de servicio.

El QFD implica aspectos como:

- Comprensión de los requisitos del cliente.
- Maximizar la calidad positiva que agrega valor al producto.
- Abarcar un sistema de calidad integral para satisfacción del cliente.
- Comprender las verdaderas necesidades del cliente, observando desde la perspectiva del cliente.
- Entender en que aspectos el cliente o usuario final se interesa, prefiere y en cuál de ellos está satisfecho.
- Decidir qué características incluir y cuáles excluir.
- Determinar qué nivel es posible alcanzar y factible de realizar.
- Vincular de manera inteligente las necesidades del cliente con el diseño, desarrollo, ingeniería y fabricación.

2.2.2. REQUISITOS DEL CLIENTE

Dentro del diseño por calidad, la voz del cliente y sus requerimientos son el factor más importante para el diseño, por lo cual a continuación se detallan a criterio de la empresa AGRORIVERAVILLAFUERTE S.A. sus preferencias en cuanto al diseño y funcionamiento de la máquina:

- Que la tolva de alimentación al sistema tenga un volumen para 45kg.
- Que la alimentación al sistema sea automática.
- Que el sistema tenga una capacidad de 220 kg por tanda de producción.
- Que la descarga del sistema sea automática.
- Que se eliminen las agrupaciones en forma de pelotas producidas por la temperatura en el momento de la descarga o transporte.

- Que el proceso de calentamiento sea mediante energía eléctrica y su funcionamiento sea con motores y sistemas neumáticos.
- Que la máquina requiera de pocos operadores para su funcionamiento.
- Que posea una interfaz amigable con el proceso y con el operador.
- Que sea de fácil operación.
- Que sea de fácil mantenimiento.
- Que procure la integridad del operador.

2.2.3. REQUISITOS TÉCNICOS

Después de analizar los requerimientos y necesidades que presenta el cliente, se procede a traducirlos en requerimientos técnicos que se detallan a continuación:

- Tamaño de la tolva de alimentación.
- Tipo, tamaño y forma del sistema alimentador y de descarga.
- Tamaño y forma de la cámara de tratamiento térmico.
- Método de generación de temperatura.
- Método de descenso de temperatura.
- Exactitud y precisión de los dispositivos utilizados.
- Nivel de automatización en el proceso.
- Distribución y ergonomía de los componentes del sistema.

2.2.4. CONCLUSIÓN DE LA CASA DE LA CALIDAD

Luego de examinar los requerimientos técnicos solicitados por la empresa, a continuación se menciona las principales características y componentes, resultado del análisis de la casa de la calidad que se muestra en la (Figura 2.1):

- Tamaño de la tolva: Para satisfacer el requerimiento de la empresa la tolva deberá diseñarse para almacenar un volumen mínimo de 45kg,

siendo libre elección la forma de la misma pero inicialmente se escogerá un modelo de pirámide truncada.

- Tipo, tamaño y forma del sistema de alimentación: Un transportador mecánico es la opción más viable para solucionar este requerimiento, de tipo transportador de tornillo sinfín por la facilidad que presenta para transportar sólidos y volúmenes considerables; sus dimensiones dependerán principalmente de la longitud de la cámara de tratamiento térmico, teniendo en cuenta además el paso que tendrá el tornillo ya que de este dependerá la cantidad de producto transportada, todos estos valores serán calculados posteriormente durante su diseño.
- Tipo, tamaño y forma del sistema de descarga: Para la descarga se usará una compuerta neumática en la parte inferior de la cámara y una zaranda vibratoria para además de transportar el producto hacia un nuevo punto este elimine las agrupaciones o pelotas formadas por el factor vibratorio que hará que el arroz se suelte y rompa sus uniones.
- Tamaño y forma de la cámara: Esta se diseñará para contener un volumen mínimo de 220Kg en su espacio útil, la forma de la misma por análisis en eficiencia de transferencia de calor y por su facilidad en el momento de la construcción será de forma cilíndrica cuyas dimensiones dependerán de cálculos realizados posteriormente.
- Generación de temperatura: Debido a las políticas actuales del país, el método seleccionado será eléctrico mediante la utilización de niquelinas, por el bajo costo que implica su uso y la seguridad que presentan al no existir la presencia de un combustible o de un carburante inflamable que ponga en riesgo la seguridad de los operarios o del proceso en sí.
- Disminución de temperatura: Para solucionar este requerimiento se opta por el método más eficiente y lógico, el uso de un ventilador centrífugo es la opción más óptima debido a su principio de funcionamiento; donde el flujo de aire producido cambia su dirección en forma tangencial con respecto al de entrada, de esta forma refrigerando la cámara de tratamiento en su totalidad.

- Exactitud y precisión de los dispositivos: El éxito del correcto tratamiento térmico del arroz está claramente influenciado por la precisión de los dispositivos utilizados en el proceso, los algoritmos de control y el nivel de perturbaciones externas que presente el sistema durante su funcionamiento. Se ha decidido utilizar dispositivos y elementos de control de fácil adquisición en el mercado que sean de simple manipulación y reemplazables en caso de fallo.
- Nivel de automatización del proceso: Es evidente que este es uno de los retos a vencer dentro del proyecto, el nivel de automatización será desarrollado en base a los requerimientos de la empresa la cual ha solicitado que únicamente un operario sea capaz de supervisar el correcto funcionamiento de todo el proceso.
- Distribución y ergonomía: El tamaño y forma del sistema depende principalmente de la distribución que se le dé a los elementos que forman parte del mismo. Por facilidad en la distribución se ha considerado una distribución lineal como la más adecuada y óptima para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. Además para garantizar la ergonomía se facilitará un panel de control principal desde el cual el operador pueda controlar todo el proceso.

Todos los aspectos antes descritos están íntimamente relacionados y son vitales para el correcto funcionamiento de la máquina; por lo que es necesario un análisis profundo de cada uno de los componentes a utilizarse, sus formas y dimensiones para de esta manera optar por el diseño para eficiente y ergonómico a pesar de que ya existen parámetros iniciales y componentes previamente seleccionados debido a los requerimientos de la empresa y su existencia en stock dentro de sus bodegas.

A pesar de los requerimientos técnicos se tendrá presente los parámetros esenciales y más importantes que están siempre presentes en el diseño de cualquier máquina o sistema como son la rapidez en el tratamiento térmico, la facilidad de operación y la facilidad de mantenimiento.

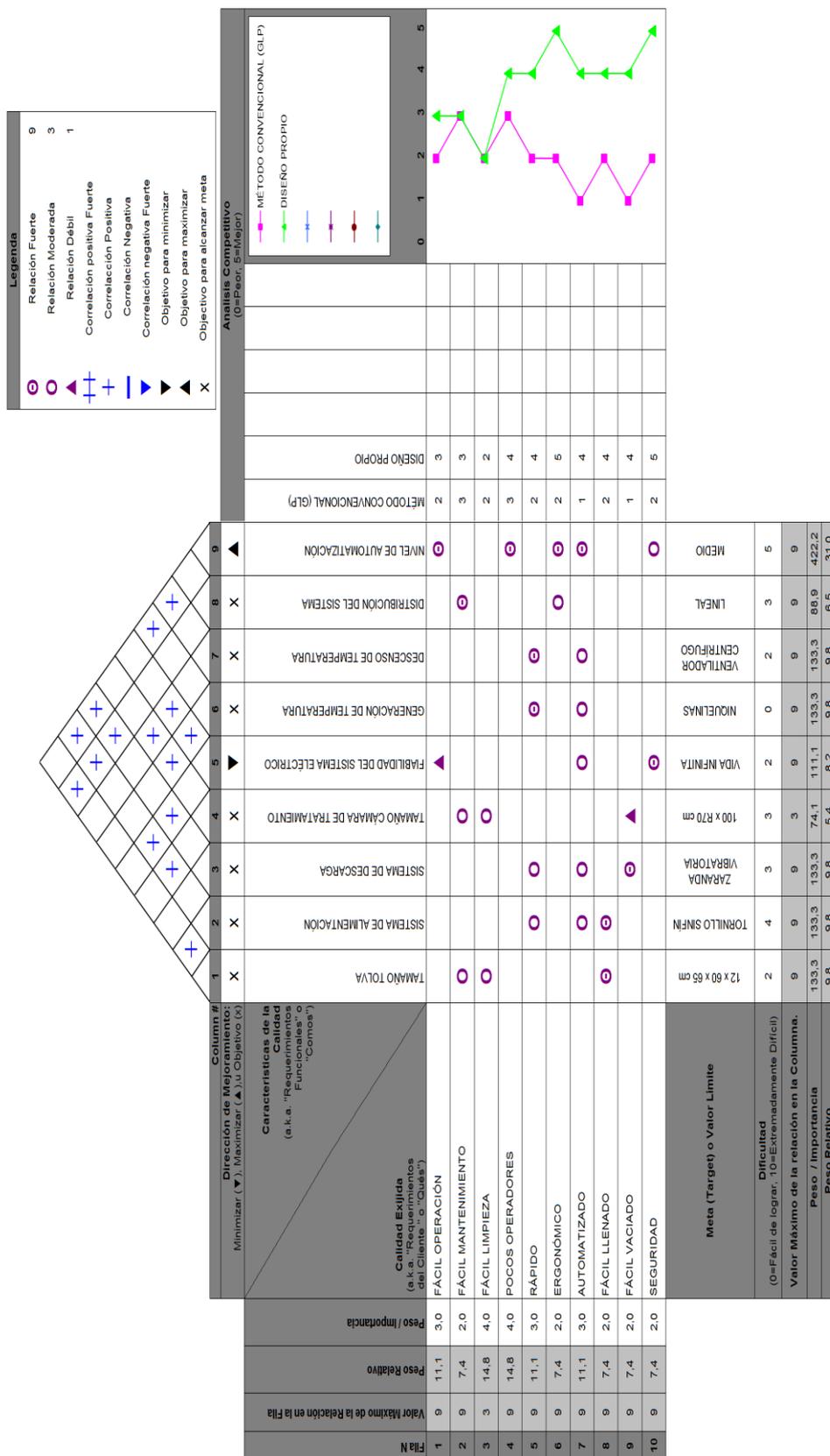


Figura 2.1. Casa de la calidad

2.3. DISEÑO CONCEPTUAL

2.3.1. ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO

La necesidad de crear un sistema automatizado de tratamiento térmico para el arroz pilado, establece una serie de requerimientos y lineamientos que se deben satisfacer en el diseño a realizar. Gracias al análisis realizado en el diseño por calidad y las conclusiones tomadas de la casa de la calidad se puede determinar las metas claras a ser alcanzadas en el presente proyecto.

El sistema debe ser capaz de realizar el tratamiento térmico de una manera eficiente y rápida; la tolva principal debe ser capaz de almacenar un volumen mínimo de 45 kg, por ser el valor promedio contenido en un quintal de arroz. El transportador mecánico que realice el transporte del arroz desde la tolva de almacenamiento hasta la cámara de tratamiento debe tener la particularidad de poder manejar sólidos y un arrastre de volúmenes considerables de producto.

La cámara de tratamiento es la parte más delicada y considerable del diseño, esta debe ser capaz de contener un volumen aproximado de 220 kg y una forma geométrica con mayor eficiencia térmica para el propósito del proyecto; la distribución de los tubos debe ser analizada para optimizar de mejor manera el volumen de la cámara, además estos deben ser de un material resistente y de conductividad térmica elevada para optimizar tiempo y energía.

En el diseño del sistema de calentamiento se debe tener presentes normas de seguridad, costo y de energía requerida para elevar la temperatura de toda la cámara hasta los 110°C aproximadamente; para el sistema de enfriamiento se debe analizar la capacidad y rapidez con la que se realice este proceso. La etapa de calentamiento y de enfriamiento del sistema automatizado de tratamiento térmico debe ser susceptible de poderse manipular mediante retroalimentación a un sistema de control en lazo cerrado.

El sistema de transporte de descarga debe poder contener un gran volumen de producto y poder mezclarlo durante su ruta hasta el punto de almacenamiento. Todas las partes de la máquina deben ser diseñadas con materiales lo suficientemente fuertes para garantizar estabilidad del equipo, seguridad durante la operación del sistema y optimizar la funcionalidad del mismo; para de esta manera reducir los riesgos de deflexiones, fracturas y fallas en general.

Con respecto al control del proceso este debe ser diseñado para monitorear, controlar y supervisar todos los aspectos antes mencionados; es necesario la aplicación de un sistema de control a lazo cerrado retroalimentado con sensores de temperatura para controlar el proceso y sus perturbaciones además de que un análisis y aplicación de un sistema avanzado de control es necesario para garantizar un óptimo funcionamiento del proceso.

2.3.2. PRINCIPIO BÁSICO DE FUNCIONAMIENTO

Una vez descritas anteriormente todas las necesidades requeridas para el diseño del sistema de tratamiento, a continuación se muestra un diagrama de flujo (Figura 2.2) en el cual se procede a describir con mayor detalle el funcionamiento del proceso; considerando los errores más probables que se puedan presentar dentro del sistema además de considerar la secuencia real que este tendrá durante su operación.

A pesar de que la máquina contará de procesos con un nivel de complejidad medio el sistema de control y la interfaz humano máquina que se desarrollará tiene como objetivo facilitar el entendimiento del proceso además de ser amigable con el operario para de esta manera simplificar y facilitar su uso.

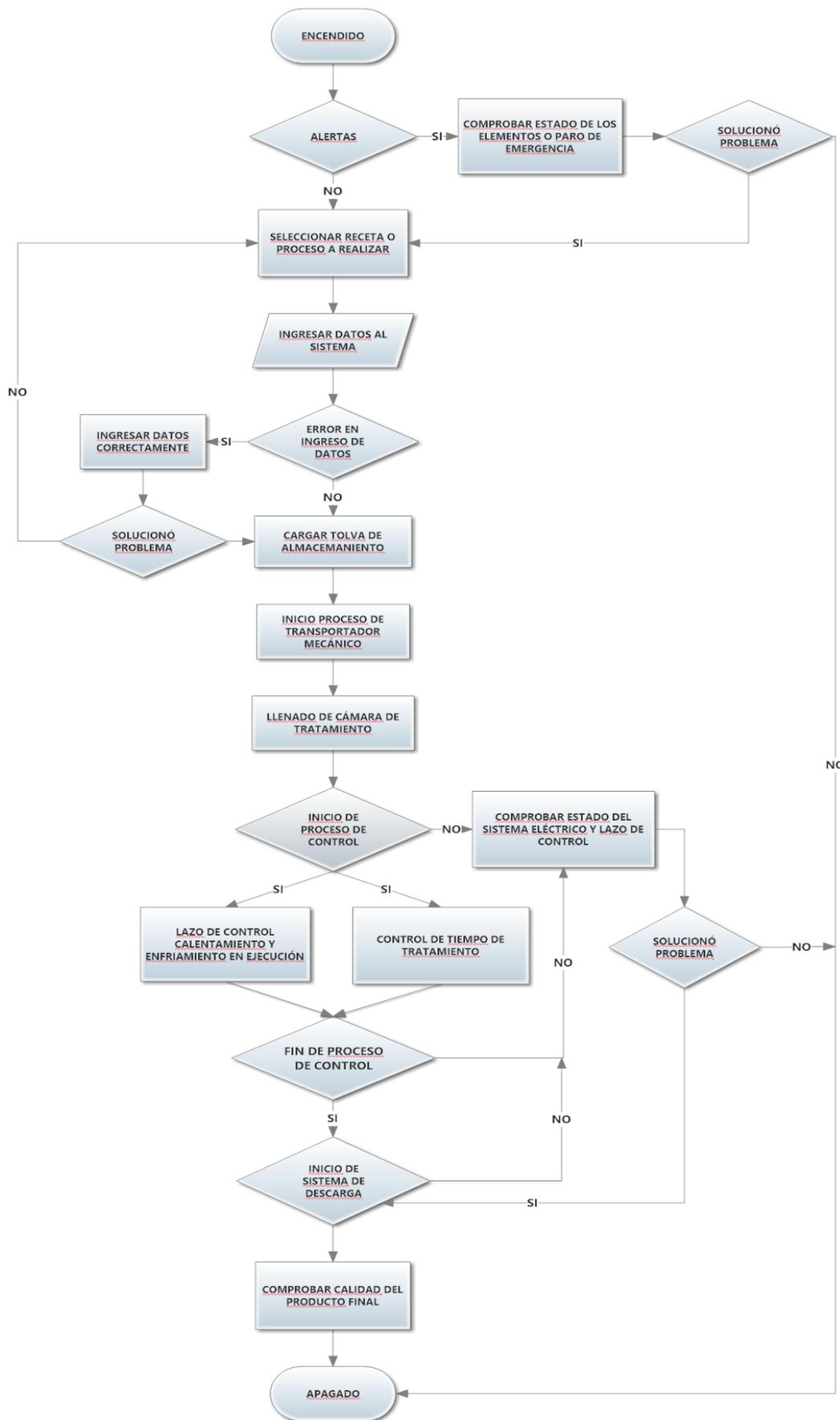


Figura 2.2. Diagrama de flujo del proceso

2.3.3. MATRIZ MORFOLÓGICA

Teniendo claras y detalladas cada una de las necesidades y del método de funcionamiento que contemplará el sistema de tratamiento, se procede a realizar un análisis por matriz morfológica de las principales alternativas que son acoplables a cada uno de los sistemas de los que consta el proyecto; para ello se realizan cuadros comparativos entre las posibles alternativas del diseño de cada una de las partes del producto final.

Al ser este un sistema con partes muy distintas una de la otra y con múltiples funcionamientos cada una de ellas, es preferible realizar un análisis separado, es decir realizar una matriz morfológica para cada parte constitutiva de la máquina. En cada matriz se analizará las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas para llegar así a la mejor selección para el diseño de un producto final eficiente y de calidad.

Tabla 2.1.

Matriz morfológica tolva

Parte: Tolva de almacenamiento para flujo másico			
Alternativa	Cilíndrica con cono cónico	Cilíndrica con base cuadrada	Piramidal con base cuadrada
Ventaja	Se descarga fácilmente, bajo costo, reduce tiempo de almacenaje.	Bajo costo, ideal para productos sólidos, control del flujo de salida.	Alta capacidad de almacenaje, control de flujo de salida, vaciado según principio first in – last out.
Desventaja	Difícil manufactura, menor capacidad de almacenamiento.	Difícil manufactura, vaciado según principio first in – first out.	Costo de fabricación, tamaño físico.

Tabla 2.2.**Matriz morfológica transportador mecánico**

Parte:		Transportador Mecánico de Carga a la Cámara		
Alternativa	Banda Transportadora	Tornillo Sinfín	Zaranda Vibratoria	
Ventaja	Gran capacidad de transporte, transporte de materiales a gran distancia, alta velocidad.	Compacto, fácil instalación, soporta altas temperaturas, versátil, varias zonas de carga y descarga.	Fácil de instalar y calibrar, único que realiza separación basada en el tamaño físico, larga duración.	
Desventaja	Alto costo, requiere mantenimiento constante.	No grandes distancias, no transporta materiales frágiles.	Posibilidad de atasco, genera un alto impacto sonoro.	

Las alternativas para el transportador mecánico de descarga del sistema de tratamiento térmico y su matriz morfológica será similar a la (Tabla 2.2) ya que se consideran las mismas opciones para su selección. El análisis para la cámara de tratamiento dependerá de dos parámetros, el uno la distribución de los tubos dentro de la misma y la segunda la forma geométrica que tendrá la cámara de tratamiento para optimizar la transferencia de calor:

Tabla 2.3.**Matriz morfológica cámara de tratamiento**

Parte:		Cámara de tratamiento forma geométrica		
Alternativa	Cilíndrica	Cuadrada	Hexagonal	
Ventaja	Fácil de construir, media efectividad en transferencia de calor, costo reducido.	Elevada efectividad en transferencia de calor, fácil de construir.	Capacidad de volumen elevada.	
Desventaja	Menor capacidad de volumen.	Costo de fabricación, dificultad de continuidad de diseño (descarga).	Baja efectividad de transferencia de calor, dificultad de construcción, elevado costo.	

Tabla 2.4.**Matriz morfológica arreglo de tubos**

Parte:	Distribución tubería dentro de la cámara de tratamiento		
Alternativa	Ángulo de arreglo 30°	Ángulo de arreglo 45°	Ángulo de arreglo 90°
Ventaja	Permite mayor densidad de tubos, tienen una mayor relación de transferencia de calor.	Permite solo el 85% de los tubos que permite el arreglo de 30°, permite limpieza exterior fácilmente.	Permite solo el 85% de los tubos que permite el arreglo de 30°, permite limpieza exterior fácilmente.
Desventaja	No permite limpieza del sistema.	Tiene una relación de transferencia de calor a caída de presión alta.	Tiene una relación de transferencia de calor a caída de presión alta.

El método de calentamiento y enfriamiento del sistema se analiza en las siguientes matrices con las posibles alternativas más coherentes:

Tabla 2.5.**Matriz morfológica sistema de calentamiento**

Parte:	Sistema de calentamiento		
Alternativa	Quemadores de GLP	Niquelinas	Vapor de agua
Ventaja	Alta eficiencia, bajo costo, fácil de implementar.	Bajo costo, libre de mantenimiento, usa como medio energía eléctrica, fácil de instalar.	Higiénico, alcanza altas temperaturas rápidamente.
Desventaja	Alto nivel de peligrosidad, mantenimiento constante.	Tarda en alcanzar su potencia nominal.	Genera un ambiente húmedo, requiere de un caldero.

Tabla 2.6.**Matriz morfológica sistema de enfriamiento**

Parte:	Sistema de enfriamiento		
Alternativa	Sistema de refrigeración	Medio natural	Ventilador centrífugo
Ventaja	Alta eficacia, rapidez en descenso de temperatura.	Costo bajo.	Controlable, eficaz, durabilidad, facilidad de instalación.
Desventaja	Sumamente complejo, difícil de instalar, costo elevado.	Lento, poco controlable.	Complejidad de diseño, costo medio.

Para el análisis de alternativas del ámbito eléctrico y de control del sistema, es necesario tener presente los requerimientos del cliente en lo referente a nivel de automatización y lo amigable del sistema con el operario.

Tabla 2.7.**Matriz morfológica de sistema de control**

Parte:	Sistema o algoritmo de control inteligente		
Alternativa	PID	Control difuso	Redes neuronales
Ventaja	Altamente recomendable en procesos de control de variables, diversos parámetros para modificar.	Útil en procesos ambiguos, acción ante una situación, solución a sistemas complejos y no lineales.	Son altamente adaptables, tolerable a fallas, tienen la capacidad de aprender y tomar decisiones propias.
Desventaja	Difícil sintonización, requiere de conocimientos técnicos.	Se requiere de implementación de conjuntos difusos, tiempo de respuesta lento comparado con otros sistemas.	Requiere de previo entrenamiento, difícil de diseñar, parámetros iniciales difíciles de seleccionar.

Tabla 2.8.**Matriz morfológica de controlador**

Parte:		Controlador		
Alternativa	PLC	CPU/PC	FPGA	
Ventaja	Ideal para ambientes industriales, bajo costo, flexibilidad, facilidad de programación.	Elevada velocidad de procesamiento, bajo costo.	Extremadamente veloz en el procesamiento de información, gran cantidad de entradas y salidas.	
Desventaja	Memoria reducida, centraliza el proceso, mano de obra especializada.	Robustez, delicado, susceptible a ralentizarse o colgarse.	Complejidad de programación, frágil y delicado, no apto para ambientes industriales.	

Tabla 2.9.**Matriz morfológica de medio de interfaz**

Parte:		Medio de interacción entre humano y máquina		
Alternativa	PC	Tablero de control	TouchPanel	
Ventaja	Flexibilidad, bajo costo, variedad de software, versatilidad.	Sencillo de instalar, interacción directa con el operario, económico.	Versátil, fácil de programar, amigable con el usuario, flexible.	
Desventaja	Espacio físico requerido, frágil, adecuaciones extras.	Poco amigable con el usuario, posibilidad de confusión al operar, tamaño.	Costoso, requiere de técnicos para su instalación, delicado.	

Una vez analizada cada una de las posibles alternativas a usarse en la máquina se podrá determinar la geometría final del sistema con las opciones más adecuadas y eficientes para cumplir su propósito final.

2.3.4. MATRIZ DE EVALUACIÓN

Para terminar el análisis se procede a realizar una matriz de evaluación (Tabla 2.10) en la cual se da ponderaciones a cada una de las opciones de diseño presentadas en las matrices morfológicas; aquí se evalúa las mismas según parámetros y ciertos criterios relevantes dentro del diseño y requerimientos que debe cumplir la maquina; en este caso se evaluarán: costo (cos), tamaño (tam), durabilidad (dur), seguridad (seg), funcionalidad (fun), mantenimiento (mnt) y manufacturabilidad (mf).

Tabla 2.10.
Matriz de evaluación

Parte	Alternativa	Criterios de evaluación							Total
		Cos (1.5)	Tam (1)	Dur (1.5)	Seg (2)	Fun (1)	Mnt (1)	Mf (2)	
									10
Tolva	Cilíndrica con cono cónico	1	0,7	1,3	1,8	0,7	1	1,5	8
	Cilíndrica con base cuadrada	1,3	0,7	1,2	1,8	0,7	1	1,4	8,1
	Piramidal con base cuadrada	1,2	1	1,3	2	0,9	0,8	1,7	8,9
Mecanismo de carga	Banda Transportadora	1	0,7	1	1,8	0,8	0,6	1,2	7,1
	Tornillo Sinfín	1,3	0,8	1	1,5	1	0,6	1,6	7,8
	Zaranda Vibratoria	1,2	0,6	1,1	1,3	0,7	0,8	1,5	7,2
Mecanismo de descarga	Banda Transportadora	1	0,7	1	1,8	0,8	0,6	1,2	7,1
	Tornillo Sinfín	1,3	0,8	1	1,5	0,6	0,6	1,6	7,4
	Zaranda Vibratoria	1,2	0,6	1,1	1,3	1	0,8	1,5	7,5

CONTINÚA



Geometría cámara de tratamiento	Cilíndrica	1,3	0,7	1,5	1,8	0,8	0,9	1,5	8,5
	Cuadrada	1	0,7	1,5	1,8	0,7	0,9	1,3	7,9
	Hexagonal	1,2	0,8	1,5	1,8	0,8	0,9	1	8
Arreglo de tubos	Ángulo de arreglo 30°	1,1	0,9	1,3	1,7	0,9	0,7	1,6	8,2
	Ángulo de arreglo 45°	1,3	0,8	1,3	1,4	0,6	0,8	1,7	7,9
	Ángulo de arreglo 90°	1,3	0,7	1,3	1,5	0,7	0,8	1,7	8
Sistema de calentamiento	Quemadores de GLP	1,3	0,8	1	1	1	0,5	1,6	7,2
	Niquelinas	1,2	0,9	1,4	1,8	0,8	0,9	1,8	8,8
	Vapor de agua	1	0,6	1,2	1,4	0,7	0,8	1,6	7,3
Sistema de enfriamiento	Sistema de refrigeración	0,9	0,5	1,2	1,2	1	0,6	1,1	6,5
	Medio natural	1,5	1	1,5	1,5	0	1	2	8,5
	Ventilador centrífugo	1,4	0,7	1,4	1,6	1	0,9	1,9	8,9
Sistema de control	PID	1,3	1	1,3	1,7	0,9	0,9	1,6	8,7
	Control difuso	1,2	1	1,3	1,6	0,7	0,8	1,4	8
	Redes neuronales	1	1	1,5	1,8	0,6	0,6	1,2	7,7
Controlador	PLC	1,1	0,9	1,2	1,4	1	0,9	1,8	8,3
	CPU/PC	1	0,6	1,2	1,8	0,8	0,7	1,2	7,3
	FPGA	1,1	1	1	1,6	0,8	0,8	1,4	7,7
Interacción operario	PC	1,1	0,6	1	1,6	0,7	0,8	1,2	7
	Tablero de control	1,4	0,4	1,3	1,5	0,6	0,7	1,2	7,1
	TouchPanel	1,2	0,9	1,1	1,5	0,9	0,8	1,8	8,2

Con el análisis realizado en la matriz morfológica, la matriz de evaluación y tomando los mayores valores en la calificación se tiene ya una idea más clara de cuál será el diseño final, sus componentes principales y la geometría de la máquina; con lo cual es posible proceder al desarrollo del diseño mecánico y eléctrico del sistema de tratamiento con total seguridad y claridad de todos y cada uno de los elementos que contendrá el mismo.

2.4. DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO

El diseño del área mecánica del sistema automatizado de tratamiento térmico constituye una actividad difícil, compleja y multidisciplinaria; por lo que se detallará de la manera más minuciosa el proceso y cálculo de cada uno de los componentes de la máquina.

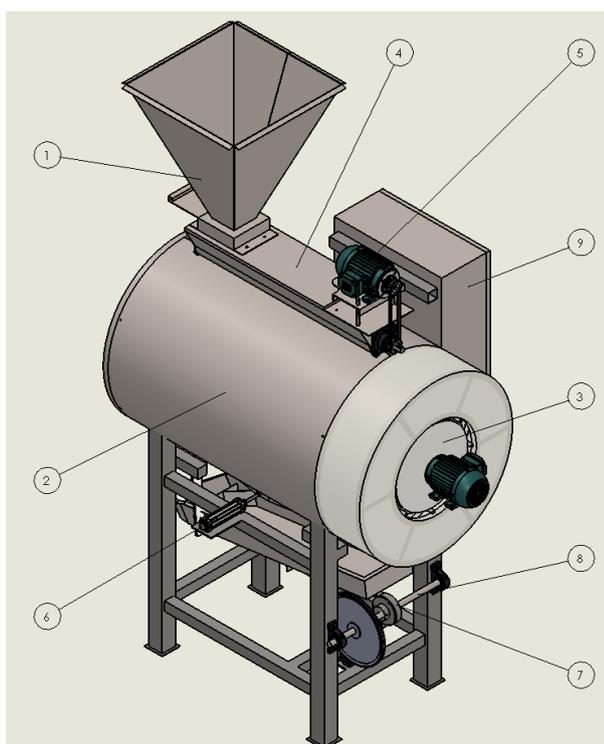


Figura 2.3. Esquema del sistema

En la (Figura 2.3) se observa el esquema del sistema automatizado de tratamiento térmico y el detalle de los principales componentes de la misma;

a continuación se enumera los elementos críticos del sistema y en los cuáles se fundamentará el proceso de diseño:

1. Tolva de almacenamiento.
2. Cámara de tratamiento.
3. Ventilador de recirculación.
4. Transportador de tornillo sinfín.
5. Potencia requerida por el tornillo sinfín.
6. Cilindro neumático.
7. Disco excéntrico del transportador vibratorio.
8. Eje disco excéntrico.
9. Sistema eléctrico.

2.4.1. SELECCIÓN DEL MATERIAL

Un ingeniero o diseñador, busca el material ideal para su diseño y los componentes que conforman el mismo, por lo tanto, estos deben cumplir con características como disponibilidad para su reemplazo, economía, rigidez, estabilidad a diferentes temperaturas, estructura liviana, resistente a la corrosión y al desgaste, y sin efectos sobre el medio ambiente o las personas

Existen dos materiales ideales para la fabricación de la máquina, uno de ellos es el acero suave o también conocido como dulce, cuyas características mecánicas y físicas son adecuadas para la construcción de los diversos componentes que forman la máquina ya sea en las partes donde se necesitará planchas como en las que se utilizará tubería; debido a sus características el acero laminado en frío es el más adecuado porque no necesita ser limpiado para obviar la oxidación del metal, lo cual es un factor muy favorable para el diseño, el metal laminado en caliente posee márgenes de tolerancia poco estrictos por lo que el metal laminado en frío permite un cálculo más preciso de sus dimensiones debido a que el material ya ha pasado por el proceso de enfriamiento y se encuentra más cerca de sus dimensiones finales con lo que el material además es más duro y resistente.

El segundo material considerado es el acero inoxidable, al igual que el anterior por sus propiedades físicas y mecánicas aporta de manera ideal para la realización del proyecto con el valor agregado de resistencia a la corrosión y prevención de la contaminación del producto con el que se encuentra en contacto; pero con el grave inconveniente que su costo es elevado comparado con el uso del acero convencional.

Con estos antecedentes y teniendo presente los factores como la resistencia a la corrosión y desgaste, a la abrasión producida por los cambios de temperatura a los que estará sometida la máquina ya que al estar en contacto con el producto se debe conservar las propiedades organolépticas, la capacidad para ser plegado, cortado, pulido, soldado, la disponibilidad en el mercado, el espesor, el costo, la apariencia, la maquinabilidad y el peso; se ha optado por el uso de ambos aceros para la fabricación de la máquina, por una parte el acero suave será empleado para la elaboración de la cámara de tratamiento; teniendo en cuenta que a pesar de ser un proceso en el cual se encuentre en contacto un producto alimenticio, el mismo no es un proceso final sino una transformación previa en la cual todavía el alimento no será consumido por el ser humano y con la gran ventaja de poseer un elevado coeficiente de transferencia térmica siendo muy favorable para el propósito del proyecto.

Por otra parte el acero inoxidable será utilizado para la fabricación del resto de elementos mecánicos del sistema debido a sus propiedades anticorrosivas; ambos enmarcados en las exigencias de las buenas prácticas de manufactura (BPM) durante todo el proceso de fabricación y de funcionamiento del sistema.

2.4.2. DISEÑO DE LA TOLVA DE ALMACENAMIENTO

Como se analizó en la matriz morfológica el mejor diseño es una tolva piramidal con base truncada, la cual será usada como un contenedor de

recepción del arroz sin procesar con una capacidad a petición del cliente de aproximadamente 45kg.

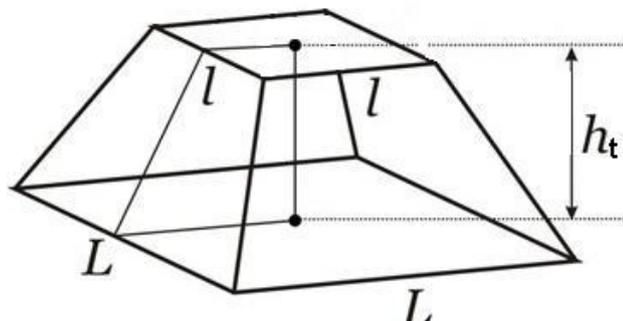


Figura 2.4. Pirámide cuadrada troncada

FUENTE: (Wikipedia, 2015). Tronco Geometría. Tronco de pirámide. Recuperado de: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Tronco_\(geometria\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Tronco_(geometria))

La forma seleccionada se muestra en la (Figura 2.4) cuya fórmula de volumen se detalla en la (Ec. 2.1).

$$V = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2})$$

Ec. 2.1.

Donde:

h	Altura (m).
A_1	Área inferior (m^2).
A_2	Área superior (m^2).
V	Volumen (m^3).

a. CAPACIDAD DE LA TOLVA

Para determinar la capacidad de la tolva de almacenamiento es necesario tener presentes los requerimientos de diseño hechos por el cliente; en este caso se partirá del cálculo del volumen necesario para contener los 45kg solicitados; para ellos se empleará la fórmula de la densidad (Ec. 2.2).

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

Ec. 2.2.

Donde:

ρ Densidad ($\frac{kg}{m^3}$).

m Masa del material (kg).

V Volumen (m^3).

Se conoce el valor de la masa (45kg), y el valor de la densidad del arroz (735 kg/m³) dato tomado de la tabla de ANEXO A-1, con los cuales se procede a despejar el volumen de la (Ec. 2.2) y realizar el cálculo con los valores conocidos.

Si:

$$m = 45kg$$

$$\rho = 735 \frac{kg}{m^3}$$

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

$$V = \frac{45 kg}{735 \frac{kg}{m^3}}$$

$$V = 0.061 m^3$$

El volumen que debe contener la tolva es de 0.061 m³, pero cabe recalcar que este valor limita a la tolva a trabajar al máximo de su capacidad, por lo que se usa un factor de seguridad de 1.3 para asegurar el correcto funcionamiento de la misma ante cualquier error del operador.

$$V = 1.3 * 0.061 m^3$$

$$V = 0.08 \text{ m}^3$$

Una vez conocido el volumen que debe poseer la tolva de almacenamiento es posible realizar el dimensionamiento de la misma.

b. DIMENSIONAMIENTO DE LA TOLVA

Determinar el dimensionamiento de la tolva, no es más, que encontrar los valores o parámetros geométricos que esta debe poseer para proceder a su construcción, es necesario tener presente las limitaciones de espacio físico que posee la máquina por lo que los datos conocidos son:

$$l = 0.12 \text{ m}$$

$$A_1 = 0.0144 \text{ m}^2$$

$$L = 0.60 \text{ m}$$

$$A_2 = 0.36 \text{ m}^2$$

$$h = 0.65 \text{ m}$$

Con estos datos y reemplazándolos en la (Ec. 2.1) se obtiene el volumen de la tolva común.

$$V = \frac{0.65}{3} * (0.0144 + 0.36 + \sqrt{0.0144 * 0.36})$$

$$V = 0.09 \text{ m}^3$$

Como se observa el volumen final alcanzado por la tolva de almacenamiento es superior al requerido por el cliente durante el análisis de la casa de la calidad; por lo que se asegura la satisfacción total en esta parte del diseño.

2.4.3. DISEÑO DE LA CÁMARA DE TRATAMIENTO

a. CAPACIDAD DE LA CÁMARA

La capacidad de la cámara de tratamiento viene determinada por el peso de la materia prima y su densidad. La empresa dentro de sus requerimientos solicitó que 220 Kg sea la capacidad por tanda de producción.

A continuación se muestran los cálculos realizados para determinar el volumen ocupado por el arroz; se usa un método muy similar al anteriormente usado para el cálculo del volumen de la tolva de almacenamiento.

De la (Ec. 2.2) se despeja el volumen y con los datos se procede al cálculo:

Si:

$$m = 220 \text{ kg}$$

$$\rho = 735 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

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

$$V = \frac{220 \text{ kg}}{735 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V = 0.299 \text{ m}^3$$

El volumen requerido para llenar la cámara de tratamiento es de 0.299 m³, pero por factores de seguridad, de manipulación durante el funcionamiento de la máquina o de falla por parte del operador es muy riesgoso y poco profesional dejar el uso de la máquina al límite, es decir al 100%, por lo que se realizará una pequeña aproximación para evitar cualquier complicación en el momento de su funcionamiento.

$$V = 0.31 \text{ m}^3$$

El volumen con el que se realizará el análisis de aquí en adelante será de 0.31 m^3 , el cuál debe contener una masa aproximada de 220kg.

b. DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA

Para el dimensionamiento de la cámara se debe tener en cuenta parámetros un poco más complejos; para este análisis se considerará su forma geométrica, el número de entidades internas y el área que estas ocupan gracias a la (Ec. 2.3).

$$A_c = \pi * r^2 = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

Ec. 2.3.

Donde:

A_c	Área circunferencia (m^2).
r	Radio circunferencia (m).
D	Diámetro circunferencia (m).

Del ANEXO B-1 se considera las dimensiones y características del tubo redondo de 38.1 mm x 1.5 mm; la selección de esta geometría se detalló en el diseño conceptual y su análisis por matriz morfológica.

Para el cálculo del área usada por la tubería interna se considera la (Ec. 2.3) y un número total de 63 entidades utilizadas.

$$A_{tubería} = \pi * \left(\frac{0.0381 \text{ m}}{2}\right)^2$$

$$A_{tubería} = 0.00114 \text{ m}^2$$

$$A_{total tubería} = 63 * 0.00114$$

$$A_{total tubería} = 0.072 \text{ m}^2$$

Para el cálculo del volumen (Ec. 2.4), se consideran las limitaciones de dimensiones de la máquina.

$$V_c = A_c * h$$

Ec. 2.4.

Donde:

V_c Volumen cilindro (m^3).

A_c Área base cilindro (m^2).

h Altura cilindro (m).

Para la longitud de la cámara, es recomendable usar un valor total de un metro, tanto para la tubería interna como para la longitud de la cámara de tratamiento; esta medida nace de un análisis de fabricación y optimización de uso de material; debido a que comercialmente cada tubo seleccionado tiene una longitud total de seis metros y por tanto se puede obtener seis pedazos de cada uno de estos sin desperdiciar material ni realizar soldaduras entre pedazos sobrantes.

Teniendo presente esta consideración el volumen de los elementos internos de la cámara será:

$$V_{tubería} = 0.072 m^2 * 1 m$$

$$V_{tubería} = 0.072 m^3$$

Ahora, realizando un análisis inverso se puede determinar cuál debe ser la dimensión de la cámara de tratamiento como tal; para ello analizamos el volumen requerido por la cámara para procesar los 220kg es decir su capacidad.

$$V_{total} = V_{Cámara} - V_{tubería}$$

Ec. 2.5.

Donde:

V_{total} Volumen productivo, capacidad de la cámara (m^3)

$V_{cámara}$ Volumen de la cámara (m^3)

$V_{tubería}$ Volumen ocupado por los 63 tubos (m^3)

De la (Ec. 2.5), es posible obtener el volumen que debe tener la cámara de tratamiento para contener el volumen de los tubos sumado el volumen del producto a tratar.

$$\begin{aligned} V_{cámara} &= V_{total} + V_{tubería} \\ V_{cámara} &= 0.31 \text{ m}^3 + 0.072 \text{ m}^3 \\ V_{cámara} &= 0.382 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

El volumen de la cámara es de 0.328 m^3 , valor que contendrá el volumen ocupado por el producto a tratar y el volumen ocupado por la tubería interna.

Para determinar el radio de la cámara de tratamiento es necesario saber el área de la misma, la cual es 0.382 m^2 debido a que su altura será al igual que la tubería de un metro; por lo tanto despejando de la (Ec. 2.3):

$$\begin{aligned} r_{cámara} &= \sqrt{\frac{A_{cámara}}{\pi}} \\ r_{cámara} &= \sqrt{\frac{0.382 \text{ m}^2}{\pi}} \\ r_{cámara} &= 0.349 \text{ m} \end{aligned}$$

El radio aproximado del cual debe ser la cámara de tratamiento térmico para abarcar el volumen requerido es de 0.35 m o lo que es igual a un diámetro de 70 cm .

c. DISTRIBUCIÓN DE LA TUBERÍA

Existen 4 maneras posibles de realizar la distribución de la tubería en la cámara de tratamiento si se la analiza como un intercambiador de calor (Thulukkanam, 2013); la primera de ellas un arreglo cuadrado la cual presenta la ventaja de una baja caída de presión, la segunda un arreglo cuadrado rotado con la misma ventaja que la primera, un tercer arreglo es el triangular 30° con la notable ventaja que puede alcanzar valores altos del coeficiente de transmisión de calor, consiguiendo coeficientes en torno al 25% mayores que con la disposición en cuadro bajo condiciones similares; el cuarto arreglo es el triangular 60° poco usado debido a las bajas caídas de presión que genera.

Bajo estas condiciones la distribución de tubos seleccionada es la triangular 30° como se observa en la (Figura 2.5) debido al gran beneficio que presenta la alta eficiencia que posee con respecto a la transferencia de calor, además de que para diseños con interiores no removibles se usa siempre esta distribución.

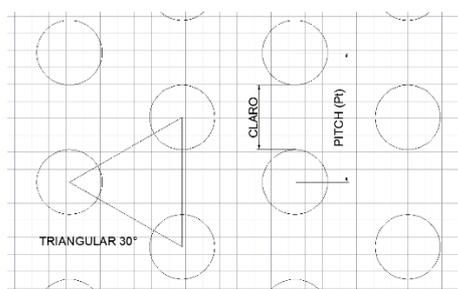


Figura 2.5. Arreglo triangular 30°

Los orificios de los tubos no pueden taladrarse muy cerca uno de otro, porque se debilitaría estructuralmente la cámara de tratamiento. La distancia más corta entre dos orificios adyacentes se denomina claro, y la distancia de centro a centro en tubos adyacentes es el espaciado de los tubos (Ec. 2.6), estando ambas dimensiones casi siempre normalizadas. Una buena práctica para el arreglo de tubos es considerar un paso de 1.25 a 2 veces el diámetro exterior, usualmente conviene seleccionar tubos largos, ya que el diseño

resultante es más económico que uno de tubos cortos con un área equivalente.

$$Pt = 2 * \phi_{ext}$$

Ec. 2.6.

Para el caso particular de este proyecto se utilizará un espaciado de tubos (Pt) del doble del diámetro exterior del tubo es decir:

$$Pt = 2 * 0.0381 \text{ m}$$

$$Pt = 0.0762 \text{ m}$$

Esto quiere decir que la separación entre centro y centro de dos tubos adyacentes será de 76.2 mm el cual es un valor adecuado teniendo en cuenta que el grano de arroz se encontrará contenido en dicho espacio, el cual es lo suficientemente distante para no concentrar calor excesivo y quemar el producto.

d. ANÁLISIS TÉRMICO DE LA CÁMARA DE TRATAMIENTO

Para el análisis térmico de la cámara de tratamiento es necesario tener claro el concepto de lo que se pretende lograr; en primer lugar se necesita elevar la temperatura de la masa total de arroz cerca de los 100°C para lo cual se requiere calcular la cantidad de energía requerida para que esto suceda y como segundo objetivo se necesita conocer cuál es la cantidad de energía necesaria para elevar los componentes mecánicos de la máquina, es decir, se debe calcular la energía necesaria para elevar la temperatura de la cámara y de los elementos internos.

La energía total requerida para elevar la temperatura del arroz es la suma de ambas energías, es decir, la energía para calentar el arroz sumado el análisis de la energía para calentar la cámara como se muestra en la (Ec. 2.7).

$$q_{total} = q_{arroz} + q_{cámara}$$

Ec. 2.7.

d.1. ENERGÍA TRANSFERIDA AL ARROZ

Para el cálculo de la energía requerida para elevar la temperatura del arroz es necesario conocer la (Ec. 2.8) la cual indica el calor transferido al arroz.

$$Q = m * C_p * (T_2 - T_1)$$

Ec. 2.8.

Donde:

Q	Calor transferido (KJ).
m	Masa (m).
C_p	Calor específico ($\frac{KJ}{Kg^{\circ}C}$).
T_1	Temperatura ambiente ($^{\circ}C$).
T_2	Temperatura deseada ($^{\circ}C$).

La (Ec. 2.9) muestra la tasa de transferencia de calor o flujo de energía o potencia que requiere el sistema en las horas determinadas para el tratamiento térmico.

$$q = \frac{Q}{\Delta t}$$

Ec. 2.9.

Donde:

q	Flujo de energía o potencia (Watt)
Q	Calor transferido (J).
Δt	Tiempo de tratamiento (Segundos)

Para el cálculo del calor transferido es necesario conocer el calor específico del arroz, para obtener este dato es necesario dirigirse a la tabla del ANEXO A-3, en donde se indica que a una humedad del 14.2% el valor del $C_p = 0.415 \frac{Kcal}{Kg^{\circ}C}$ además es preciso recordar que el valor de temperatura al que se desea llegar es de $T_2 = 100^{\circ}C$ y la masa que desea procesar es de $m = 220 kg$. Por lo tanto con la (Ec. 2.8) es posible llegar a calcular el calor transferido al arroz que se necesita para elevar la temperatura del mismo al valor deseado.

Si:

$$C_p = 0.415 \frac{Kcal}{Kg^{\circ}C} * \frac{4.187 KJ}{1 Kcal} = 1.738 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C}$$

Entonces:

$$Q = 220 Kg * 1.738 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C} * (100^{\circ}C - 25^{\circ}C)$$

$$Q = 28677 KJ$$

El valor de energía necesaria para elevar la masa total del producto es de 28677 KJ; para el cálculo del flujo de energía es necesario recurrir a la (Ec. 2.9) teniendo presente que el tiempo de tratamiento térmico será de aproximadamente cuatro horas.

$$q_{arroz} = \frac{28677000 J}{14400 seg}$$

$$q_{arroz} = 1991.46 W$$

El flujo de energía o potencia requerida para elevar la temperatura del arroz por cuatro horas es de 2 KW; a este valor se debe sumar la energía necesaria para elevar la temperatura de la cámara de tratamiento para obtener la verdadera energía requerida.

d.2. ENERGÍA TRANSFERIDA A LA CÁMARA

Dentro de este análisis es necesario tener presente la constitución del diseño como se muestra en la (Figura 2.6), la cámara consta de tres elementos; el primero la lámina de acero ASTM-A36 de un espesor de 3mm seguido de una separación de aire de 5cm y a continuación una capa de poliuretano como aislante térmico de 25.4mm de espesor; después se encuentra como cubierta exterior una lámina de acero inoxidable AISI 201 de 1,2mm de espesor la cual protege al usuario de cualquier contacto con el interior.

Para facilitar el cálculo de la transferencia térmica en el interior de la cámara, se realiza su analogía a un circuito eléctrico, como se indica en la (Ec. 2.10), esto gracias a la ley de Fourier y su símil eléctrico a la ley de Ohm.

$$q = \frac{\Delta T}{R_T} \rightarrow \rightarrow \rightarrow I = \frac{\Delta V}{R}$$

Ec. 2.10.

Donde:

q	Potencia eléctrica o flujo de energía (<i>Watt</i>)
ΔT	Diferencia de temperatura ($^{\circ}k$)
R_T	Resistencia térmica ($\frac{^{\circ}k}{Watt}$)

Es importante mencionar que estos son equivalentes a un circuito eléctrico, donde la potencia eléctrica es equivalente a la corriente, la diferencia de temperatura es equivalente a la diferencia de potencial y la resistencia térmica a la resistencia eléctrica.

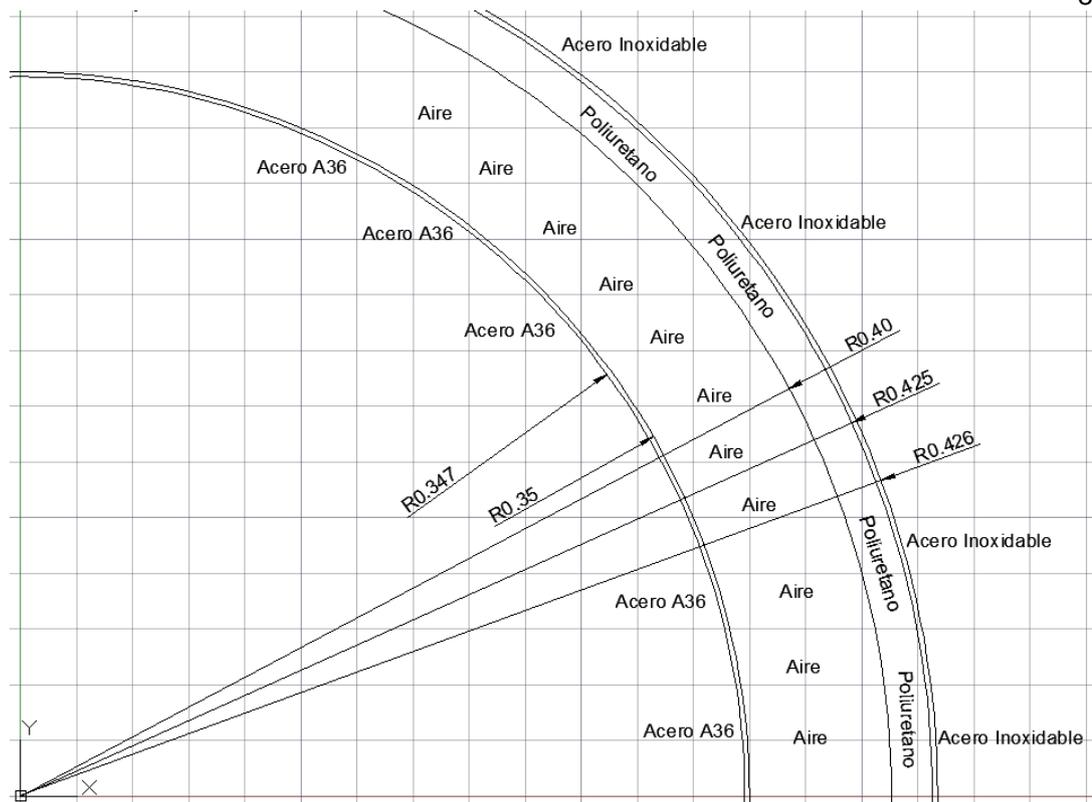


Figura 2.6. Esquema elementos cámara de tratamiento

Una vez aclarada la similitud con los circuitos eléctricos es sencillo encontrar el circuito equivalente para el esquema de la cámara de tratamiento como se muestra en la (Figura 2.7); para ello se considera que la transferencia de calor será desde el interior hacia el exterior pasando en primer lugar desde dentro de los tubos; lugar donde está contenido el arroz; hacia la plancha de acero ASTM-A36, posteriormente por la cámara horizontal con aire en convección ventilada y aislada del exterior por una capa de poliuretano y una plancha de acero inoxidable AISI 201.

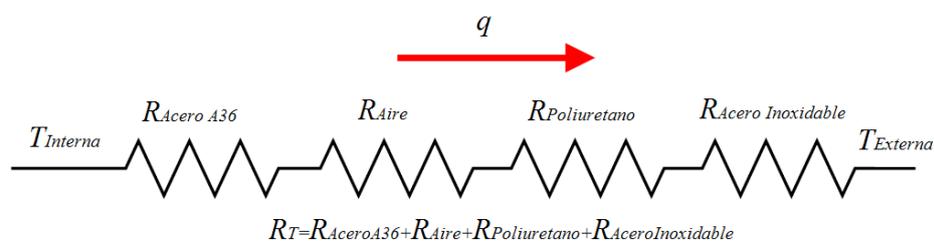


Figura 2.7. Equivalente eléctrico del sistema térmico

Es necesario tener claro que la transferencia de calor se realiza a través de paredes cilíndricas por lo que el análisis de resistencia de las mismas será mediante la (Ec. 2.11) para el fenómeno de conducción y la (Ec. 2.12) para la transferencia mediante convección; la primera es un fenómeno que se presenta en sólidos y la segunda en gases.

$$R_{Conducción} = \frac{\log\left(\frac{r_{ext}}{r_{inte}}\right)}{2\pi * k * L}$$

Ec. 2.11.

Donde:

$R_{Conducción}$	Resistencia cilíndrica por conducción $\left(\frac{^{\circ}K}{Watt}\right)$
r_{ext}	Radio exterior (m)
r_{int}	Radio interior (m)
k	Conductividad térmica $\left(\frac{Watt}{m^{\circ}K}\right)$
L	Longitud cilindro (m)

$$R_{Convección} = \frac{1}{h * 2\pi r * L}$$

Ec. 2.12.

Donde:

$R_{Convección}$	Resistencia cilíndrica por convección $\left(\frac{^{\circ}K}{Watt}\right)$
h	Coefficiente de transferencia de calor $\left(\frac{Watt}{m^2^{\circ}K}\right)$
r	Radio (m)
L	Longitud cilindro (m)

Para proceder al cálculo de cada una de las resistencias del sistema es necesario tener presente que la longitud de la cámara de tratamiento es de

un metro y los valores de conductividad térmica y coeficiente de transferencia de calor son tomados del ANEXO C.

El valor de la resistencia del acero ASTM-A36 es:

$$R_{Acero A36} = \frac{\log\left(\frac{0.35 \text{ m}}{0.347 \text{ m}}\right)}{2\pi * 50 \frac{W}{m^{\circ}K} * 1 \text{ m}}$$

$$R_{Conducción} = 0.000027 \frac{^{\circ}K}{W}$$

El valor de la resistencia del aire es:

$$R_{Aire} = \frac{1}{12.5 \frac{W}{m^2^{\circ}K} * 2\pi * 0.40 \text{ m} * 1 \text{ m}}$$

$$R_{Aire} = 0.031831 \frac{^{\circ}K}{W}$$

El valor de la resistencia del poliuretano es:

$$R_{Poliuretano} = \frac{\log\left(\frac{0.425 \text{ m}}{0.40 \text{ m}}\right)}{2\pi * 0.029 \frac{W}{m^{\circ}K} * 1 \text{ m}}$$

$$R_{Poliuretano} = 0.332714 \frac{^{\circ}K}{W}$$

El valor de la resistencia del acero inoxidable es:

$$R_{Acero Inoxidable} = \frac{\log\left(\frac{0.426 \text{ m}}{0.425 \text{ m}}\right)}{2\pi * 16.3 \frac{W}{m^{\circ}K} * 1 \text{ m}}$$

$$R_{Acero Inoxidable} = 0.000023 \frac{^{\circ}K}{W}$$

El valor total de resistencia es igual a la suma de las resistencias de los elementos del sistema de tratamiento (Ec. 2.13).

$$R_T = R_{Acero\ A36} + R_{Aire} + R_{Poliuretano} + R_{Acero\ Inoxidable}$$

Ec. 2.13.

Es decir la resistencia total del sistema es:

$$R_T = 0.000027 \frac{^{\circ}K}{W} + 0.031831 \frac{^{\circ}K}{W} + 0.332714 \frac{^{\circ}K}{W} + 0.000023 \frac{^{\circ}K}{W}$$

$$R_T = 0.3646 \frac{^{\circ}K}{W}$$

El valor total de resistencia es $0.3646 \frac{^{\circ}K}{W}$, para el cálculo de flujo de energía es necesario recurrir a la (Ec. 2.10), además de considerar que el valor de temperatura inicial es $100^{\circ}C$, es decir el valor que requiere el arroz para su tratamiento térmico mientras que el valor de temperatura final es de $25^{\circ}C$ que es el valor promedio de la temperatura ambiente.

$$q_{cámara} = \frac{100^{\circ}K - 25^{\circ}K}{0.3646 \frac{^{\circ}K}{W}}$$

$$q_{cámara} = 205.71 W$$

El valor de flujo de energía o potencia eléctrica requerida para elevar la temperatura de los componentes de la máquina y compensar la pérdida de energía producida por los mismos es $205.71 W$, el valor total de energía (Ec. 2.7) requerida por todo el sistema para su correcto funcionamiento es:

$$q_{total} = 1991.46 W + 205.71 W$$

$$q_{total} = 2197.17 W$$

Para asegurar el funcionamiento de la cámara de tratamiento en el tiempo requerido es necesario implementar un fuente de energía que brinde una

potencia de 2.2 KW, es decir, se requiere adquirir niquelinas que posean este valor de potencia a un voltaje de 220V.

2.4.4. CÁLCULO DEL CAUDAL DEL VENTILADOR

El caudal de un ventilador, es la masa de aire que éste puede desplazar en una unidad de tiempo $\frac{m^3}{s}$; para mover el aire a través de una extracción localizada o un sistema de ventilación, en general es necesario aportar energía para vencer las pérdidas de carga del sistema.

Los ventiladores son las máquinas más usadas para producir el movimiento del aire en la industria. Su funcionamiento se basa en la entrega de energía mecánica al aire a través de un rotor que gira a alta velocidad y que incrementa la energía cinética del fluido, que luego se transforma parcialmente en presión estática. Se dividen en dos grandes grupos: los ventiladores axiales y los ventiladores centrífugos.

Conocer cuál es el flujo másico de aire que se debe de suministrar para recircular el aire dentro de la cámara de tratamiento en un tiempo determinado es muy importante para realizar una correcta selección del ventilador a emplear. Teniendo presente la distribución de la cámara de tratamiento térmico según el número de tubos y el espacio de la cámara de aire es posible conocer el caudal de aire requerido mediante la (Ec. 2.14).

$$Q_T = \frac{V_{Tubos} + V_{cámara\ de\ aire}}{Tiempo}$$

Ec. 2.14.

Analizando la (Figura 2.8), es notable apreciar que el volumen a ser analizado es aquel que contiene al aire de la cámara de tratamiento; es decir, se procede al cálculo del volumen con el diámetro interno de la tubería, esto gracias a la (Ec. 2.3 y Ec. 2.4).

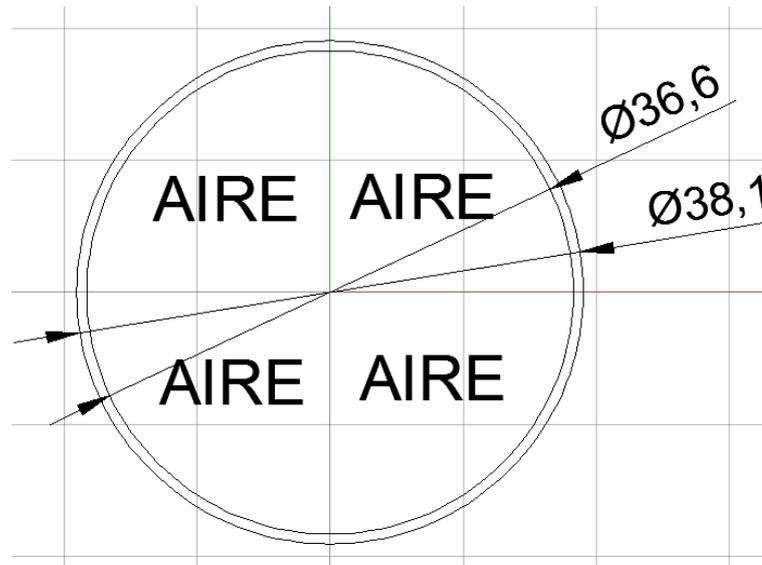


Figura 2.8. Apreciación de la tubería y sus dimensiones

$$V_{Tubería} = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 * h$$

$$V_{Tubería} = \pi \left(\frac{0.0366 \text{ m}}{2} \right)^2 * 1 \text{ m}$$

$$V_{Tubería} = 0.001052 \text{ m}^3$$

El volumen total del aire contenido en las tuberías será igual a 63 veces el volumen de una tubería.

$$V_{Tubos} = 63 * 0.001052 \text{ m}^3$$

$$V_{Tubos} = 0.066282 \text{ m}^3$$

Para determinar el volumen de la cámara de aire es necesario recurrir a la (Figura 2.6), donde se aprecia los radios de la cámara de tratamiento térmico; para el correcto cálculo de su volumen se procede a obtener el volumen de ambos radios y calcular su diferencia para determinar el volumen de la cámara de aire, se utiliza la (Ec. 2.15).

$$V_{Cámara \text{ de aire}} = V_{Rmay} - V_{Rmen}$$

Ec. 2.15.

El valor del volumen de la cámara se obtiene gracias a las (Ec. 2.3 y Ec. 2.4) tal como se realizó anteriormente.

$$V_{Rmay} = \pi * (0.40 \text{ m})^2 * 1.35 \text{ m}$$

$$V_{Rmay} = 0.678584 \text{ m}^3$$

$$V_{Rmen} = \pi * (0.35 \text{ m})^2 * 1.35 \text{ m}$$

$$V_{Rmen} = 0.519541 \text{ m}^3$$

El volumen real de la cámara de aire se determina gracias a la (Ec. 2.15), como se detalla a continuación:

$$V_{\text{Cámara de aire}} = 0.678584 \text{ m}^3 - 0.519541 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Cámara de aire}} = 0.159043 \text{ m}^3$$

Para determinar el caudal total requerido es preciso analizar el fin para el cual se coloca el ventilador dentro del sistema de tratamiento térmico; se podría pensar que el único uso que se dará al caudal que genere, será para la refrigeración y enfriamiento del sistema dentro del tiempo de reposo del arroz, pero si se analiza de una manera más profunda no es esta su única función, es decir, tiene un propósito mucho más importante dentro del proceso de tratamiento térmico y es recircular el aire a lo largo de todo el periodo de funcionamiento de la máquina, la razón por la cual se considera este parámetro es evitar la condensación de la humedad desprendida que generará la elevación de temperatura del grano de arroz .

Al tener claro cuál es el verdadero propósito de la colocación de un ventilador dentro del sistema de tratamiento se deduce que se requiere por cada segundo el manejo de la masa de aire calculada, es decir, mediante la (Ec. 2.14) el valor del caudal es:

$$Q_T = \frac{0.066 \text{ m}^3 + 0.159 \text{ m}^3}{1 \text{ seg}}$$

$$Q_T = 0.225 \frac{m^3}{s}$$

Para asegurar la recirculación de la masa de aire contenida en la cámara de tratamiento es necesario la adquisición de un ventilador centrífugo que genere un caudal mínimo de $0.225 \frac{m^3}{s}$.

2.4.5. DISEÑO DE TRANSPORTADOR DE TORNILLO SINFIN

Un transportador de tornillo sinfín consta principalmente de los componentes descritos en la (Figura 2.9), los cuales serán diseñados para el correcto funcionamiento del transportador.

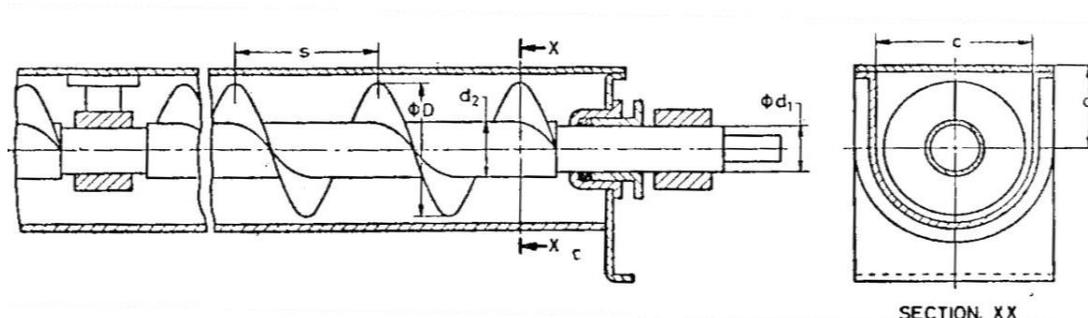


Figura 2.9. Componente de un transportador sinfín

FUENTE: (Ray, 2008). Introduction to Materials Handling. Conveyors.

Donde:

S	Paso del tornillo
D	Tamaño nominal
a	Altura de la tapa desde el centro del eje del tornillo
d_1	Diámetro de acoplamiento
d_2	Diámetro del eje
C	Anchura de la tapa

a. CAPACIDAD DEL TRANSPORTADOR

La capacidad volumétrica de un transportador de tornillo sinfín viene dada por la (Ec. 2.16), donde muchas de sus variables dependen de características particulares de los transportadores y de propiedades del producto a transportar.

$$V_v = \frac{\pi D^2}{4} S 60 N \varphi \rho C$$

Ec. 2.16.

Donde:

V_v	Capacidad volumétrica ($\frac{kg}{h}$).
D	Diámetro del tornillo (m).
S	Paso del tornillo (m).
N	Velocidad de rotación (rpm).
φ	Eficiencia de carga; fluidez.
ρ	Densidad ($\frac{kg}{m^3}$).
C	Factor de inclinación del transportador.

El valor de fluidez depende de las características del material como se muestra en la (Tabla 2.11).

Tabla 2.11.

Fluidez del material

Características de Materiales	Valor de φ
1. Flujo lento, abrasivos (<i>linker, ceniza</i>)	0.125
2. Flujo lento, suave abrasivo	0.25
3. Flujo libre, suave abrasivo (<i>arena</i>)	0.32
4. Flujo libre, no abrasivo (<i>grano</i>)	0.4

FUENTE: (Ray, 2008). Introduction to Materials Handling. Conveyors. Página 116. New Delhi

El arroz al ser un producto no abrasivo y de flujo libre se considera un valor de $\varphi = 0.4$ para su cálculo posterior.

El valor del factor de inclinación (C) varía con el ángulo de inclinación β ; sus valores se mencionan en la (Tabla 2.12).

Tabla 2.12.

Valor de C

β	0°	5°	10°	15°	20°
C	1.0	0.9	0.8	0.7	0.65

FUENTE: (Ray, 2008). Introduction to Materials Handling. Conveyors. Página 116. New Delhi

Dado que el transportador de tornillo sinfín será ubicado en la parte superior del equipo sin ningún ángulo de inclinación el valor de $C = 1$.

El sistema de alimentación del arroz mediante el transportador de tornillo sinfín hacia la cámara de tratamiento térmico, es fundamental para el funcionamiento de la máquina por lo que a continuación se efectúa el cálculo de la velocidad requerida (N) para cumplir los requerimientos planteados.

Si:

$$V_\gamma = 500 \frac{Kg}{h}$$

$$D = 0.125 \text{ m}$$

$$S = 0.08 \text{ m}$$

$$\varphi = 0.4$$

$$\rho = 735 \frac{kg}{m^3}$$

$$C = 1$$

Despejando de la (Ec. 2.16), obtenemos el valor de la velocidad requerida para satisfacer estas condiciones:

$$N = \frac{V_\gamma}{15\pi * D^2 * S * \varphi * \rho * C}$$

$$N = \frac{500 \frac{kg}{h}}{15\pi * (0.125 m)^2 * 0.08 m * 0.4 * 735 \frac{kg}{m^3} * 1}$$

$$N = 28.87 rpm$$

El valor de la velocidad de giro requerida en el motor es de aproximadamente 29 rpm para transportar el volumen de 500 kg/h, es decir, el tiempo que tomará el sistema para llenarse a su máxima capacidad de 220kg es de 26 minutos.

b. POTENCIA REQUERIDA

El valor de potencia requerida según (Ray, 2008) viene dado por la (Ec. 2.17); este valor determina la cantidad de potencia requerida para accionar un transportador de tornillo sinfín y asegurar su funcionamiento durante la carga al sistema.

$$P = P_H + P_N + P_{st}$$

Ec. 2.17.

Donde:

- P_H Potencia necesaria para transportar el material.
- P_N Potencia motriz del transportador sin carga.
- P_{st} Potencia requerida para la inclinación del transportador.

b.1. POTENCIA NECESARIA PARA TRANSPORTAR MATERIAL

La potencia necesaria para transportar el material viene dado por la (Ec. 2.18), que manifiesta el valor requerido para trasladar el arroz a lo largo de toda la longitud de transportación del alimentador de tornillo sinfín.

$$P_H = \frac{V_\gamma L'}{367} \lambda [KW]$$

Ec. 2.18.

Donde:

V_γ Capacidad volumétrica ($\frac{Kg}{h}$).

L' Longitud de transportación (m).

λ Coeficiente de resistencia de material.

λ es el coeficiente normal de fricción de la materia a transportar; esto a pesar de que existe el deslizamiento del producto contra la carcasa y el tornillo, este valor es despreciable ya que la mayor fricción se da entre las partículas del producto contra sí mismas dando lugar a una fricción interna. Con esta consideración el valor de $\lambda = 1.2$ para el arroz pilado; dato recopilado de valores típicos para cereales en grano.

Para el cálculo de la potencia necesaria para transportar el material se debe considerar que la longitud de transporte es $L' = 0.77$ m. Por lo tanto reemplazando en la (Ec. 2.18), se obtiene:

$$P_H = \frac{500 * 0.77}{367} * 1.2$$

$$P_H = 1.258 KW$$

b.2. POTENCIA DE ACCIONAMIENTO DEL TORNILLO SIN CARGA

El cálculo de esta potencia determina el valor necesario para accionar los elementos mecánicos de los cuales consta el tornillo sinfín; viene dado por la (Ec. 2.19), siendo proporcional al diámetro del tornillo y la longitud total del tornillo.

$$P_N = \frac{DL}{20} [KW]$$

Ec. 2.19.

Donde:

D Diámetro nominal del tornillo (m).

L Longitud total del tornillo (m).

Para el cálculo de la potencia de accionamiento es necesario conocer la longitud total del tornillo la cual es igual a $L = 0.98 m$; valor que representa la distancia total del eje, aplicando la (Ec. 2.19):

$$P_N = \frac{0.125 * 0.98}{20}$$

$$P_N = 6.125 W$$

b.3. POTENCIA DEBIDO A LA INCLINACIÓN

Este requisito de potencia viene dada por la (Ec. 2.20), que es el producto de la tasa del flujo másico y la altura a la que el material está siendo transportado.

$$P_{st} = \frac{V_\gamma H}{367} [W]$$

Ec. 2.20.

Donde:

V_γ Flujo requerido del material ($\frac{Kg}{hora}$).

H Altura (m).

Debido a que el alimentador de tornillo sinfín se encuentra en posición horizontal no existe ángulo de inclinación y por lo tanto tampoco una altura; con esta consideración se obtiene:

$$P_{st} = 0 W$$

Aplicando la (Ec. 2.17), se obtiene la potencia total requerida para el correcto funcionamiento del transportador de tornillo sinfín:

$$P_T = 1258 W + 6.125 W + 0 W$$

$$P_T = 1264.13 W$$

$$P_T = \frac{1264.13 W}{746 \frac{W}{hp}}$$

$$P_T = 1.69 hp$$

Para el óptimo funcionamiento del sistema de alimentación por transportador de tornillo sinfín es necesario un motor que brinde una potencia de 1.3 KW a una velocidad de 29 rpm.

c. DISEÑO HÉLICE

La hélice del transportador como se muestra en la (Figura 2.10) se calcula considerándola como a una viga corta en voladizo proyectada desde el eje del transportador sinfín. La carga se toma como paralela al eje concentrado en el radio medio de la hélice, el ancho de la viga es igual a la longitud de la hélice media en el radio medio (Rivera Grijalva, 2013).

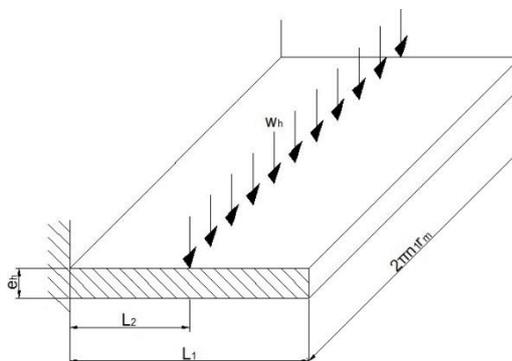


Figura 2.10. Representación de la hélice del sinfín

FUENTE: (Rivera Grijalva, 2013). Diseño y Construcción de un Sistema Automático de Dosificación de Micronutrientes para Optimizar el Proceso de Producción en la Empresa AviPaz Cia. Ltda (Tesis pregrado). Pag. 85.

Donde:

e_h	Espesor de la hélice.
L_1	Ancho de la hélice.
L_2	Distancia del radio medio.
w_h	Carga máxima que empuja la hélice.
n_1	Número de Pasos.
r_m	Radio medio.

c.1. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LA HÉLICE

Es necesario calcular el volumen contenido en cada paso de la hélice para conocer de esta manera la cantidad de material que se encuentra en determinado instante en el interior del transportador de tornillo sinfín; esto para determinar la carga máxima de empuje de la hélice y las fuerzas que actúan en la misma.

c.1.1. CÁLCULO DEL NÚMERO DE PASOS

El cálculo del número de pasos contenidos en la hélice viene dado por la (Ec. 2.21).

$$n_1 = \# Pasos = \frac{L}{P}$$

Ec. 2.21.

Donde:

n_1	Número de Pasos.
L	Longitud del eje (m).
P	Paso del tornillo (m).

Utilizando la (Ec. 2.21) para un $P = 0.08 \text{ m}$ y una longitud de $L = 0.98 \text{ m}$ se obtiene:

$$n_1 = \frac{0.98 \text{ m}}{0.08 \text{ m}}$$

$$n_1 = 12$$

c.1.2. CÁLCULO DEL VOLUMEN PARA UN PASO

El volumen ocupado por cada paso viene dado por la (Ec. 2.22).

$$V = \frac{\pi D^2}{4} P$$

Ec. 2.22.

Donde:

D Diámetro nominal del tornillo (m).

Resolviendo la (Ec. 2.22) para un valor $D = 0.125 \text{ m}$ se obtiene:

$$V = \frac{\pi(0.125 \text{ m})^2}{4} \times 0.08 \text{ m}$$

$$V = 9.82 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

El volumen real transportado por el tornillo sinfín no es el indicado anteriormente, debido a que este valor señala el 100% del volumen contenido en un paso, es decir completamente lleno, lo cual en la realidad no ocurre por lo tanto se considera un porcentaje máximo de llenado en el transportador del 30%; este valor se lo obtiene del análisis de la tabla en el ANEXO A-1.

$$V_{30\%} = 2.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

c.2. CÁLCULO DEL PESO Y CARGA MÁXIMA DEL MATERIAL

La masa para el volumen ocupado en el paso del tornillo sinfín a un 30% de su capacidad viene dada por la (Ec. 2.23).

$$m = \rho * V_{30\%}$$

Ec. 2.23.

$$m = 735 \frac{Kg}{m^3} * 2.5 \times 10^{-5} m^3$$

$$m = 0.0183 Kg$$

El peso generado por dicha cantidad de material viene dada por la (Ec. 2.24).

$$W = W_p = m * g$$

Ec. 2.24.

Donde:

W_p Peso para un paso (N).

m Masa (kg).

g Gravedad ($9.81 \frac{m}{s^2}$).

$$W_p = (0.0183 Kg) \left(9.81 \frac{m}{s^2} \right)$$

$$W_p = 0.1794 N$$

El peso hallado corresponde únicamente a un paso del transportador por lo que para el análisis de toda la hélice es necesario multiplicarlo por el número total de pasos; es decir se aplica la (Ec. 2.25).

$$W = W_p * n_1$$

Ec. 2.25.

$$W = 0.1794 * 12 N$$

$$W = 2.15 N$$

La fuerza normal de contacto w_h es igual al peso de la carga máxima por el factor de fricción del material a ser transportado (Ec. 2.26).

$$w_h = W \mu_s$$

Ec. 2.26.

Donde:

- w_h Carga máxima que empuja la hélice (N).
- W Peso total del material en el sin fin (N).
- μ_s Factor de fricción del material (5) ANEXO A-2.

$$w_h = 2.15 N * (5)$$

$$w_h = 10.76 N$$

c.3. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DEL SINFÍN

A partir de la (Ec. 2.27), (Ec. 2.28) y (Ec. 2.29) se determinarán los parámetros L_1 , L_2 y r_m indicados en la (Figura 2.11) para el análisis del sinfín como una viga corta en voladizo.

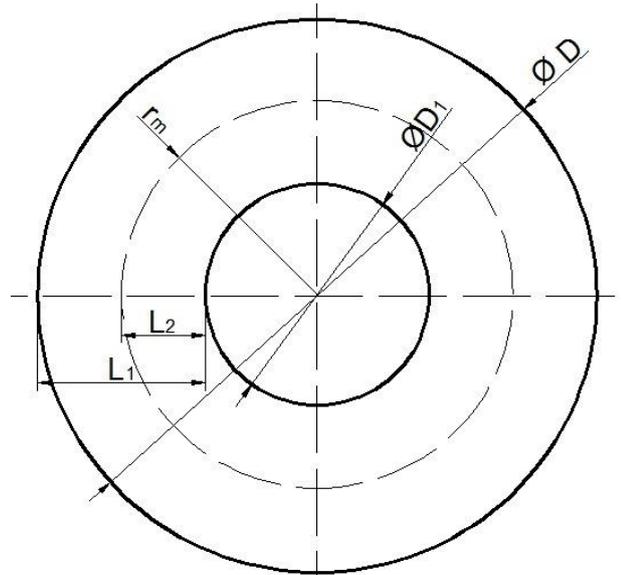


Figura 2.11. Parámetro del sinfín

FUENTE: (Rivera Grijalva, 2013). Diseño y Construcción de un Sistema Automático de Dosificación de Micronutrientes para Optimizar el Proceso de Producción en la Empresa AviPaz Cia. Ltda (Tesis pregrado). Pag. 89.

$$L_1 = \frac{D}{2} - \frac{D_1}{2}$$

Ec. 2.27.

$$L_2 = \frac{L_1}{2}$$

Ec. 2.28.

$$r_m = \frac{D_1}{2} + L_2$$

Ec. 2.29.

Donde:

D Diámetro de la hélice (m).

D_1 Diámetro del eje (m).

Resolviendo las (Ec. 2.27), (Ec. 2.28) y (Ec. 2.29) se obtiene respectivamente:

$$L_1 = \left(\frac{0.125}{2} - \frac{0.043}{2} \right) m$$

$$L_1 = 0.041 \text{ m}$$

$$L_2 = \frac{0.041}{2}$$

$$L_2 = 0.0205 \text{ m}$$

$$r_m = \frac{0.043}{2} + 0.0205$$

$$r_m = 0.042 \text{ m}$$

c.4. CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA HÉLICE

Utilizando el software MDSolid, se obtiene los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante (Figura 2.12) tomando en consideración que la carga máxima que afecta al sinfín actúa como una carga puntual a lo largo de la longitud. Realizando el análisis de la hélice como una viga en voladizo, aplicando las condiciones de sumatoria de fuerzas y sumatoria de momentos se halla el valor de las reacciones:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_1 = w_h$$

$$R_1 = 10.76 \text{ N}$$

$$\Sigma M_o = 0$$

$$M_1 = (10.76 \text{ N})(0.0205 \text{ m})$$

$$M_1 = 0.2206 \text{ Nm}$$

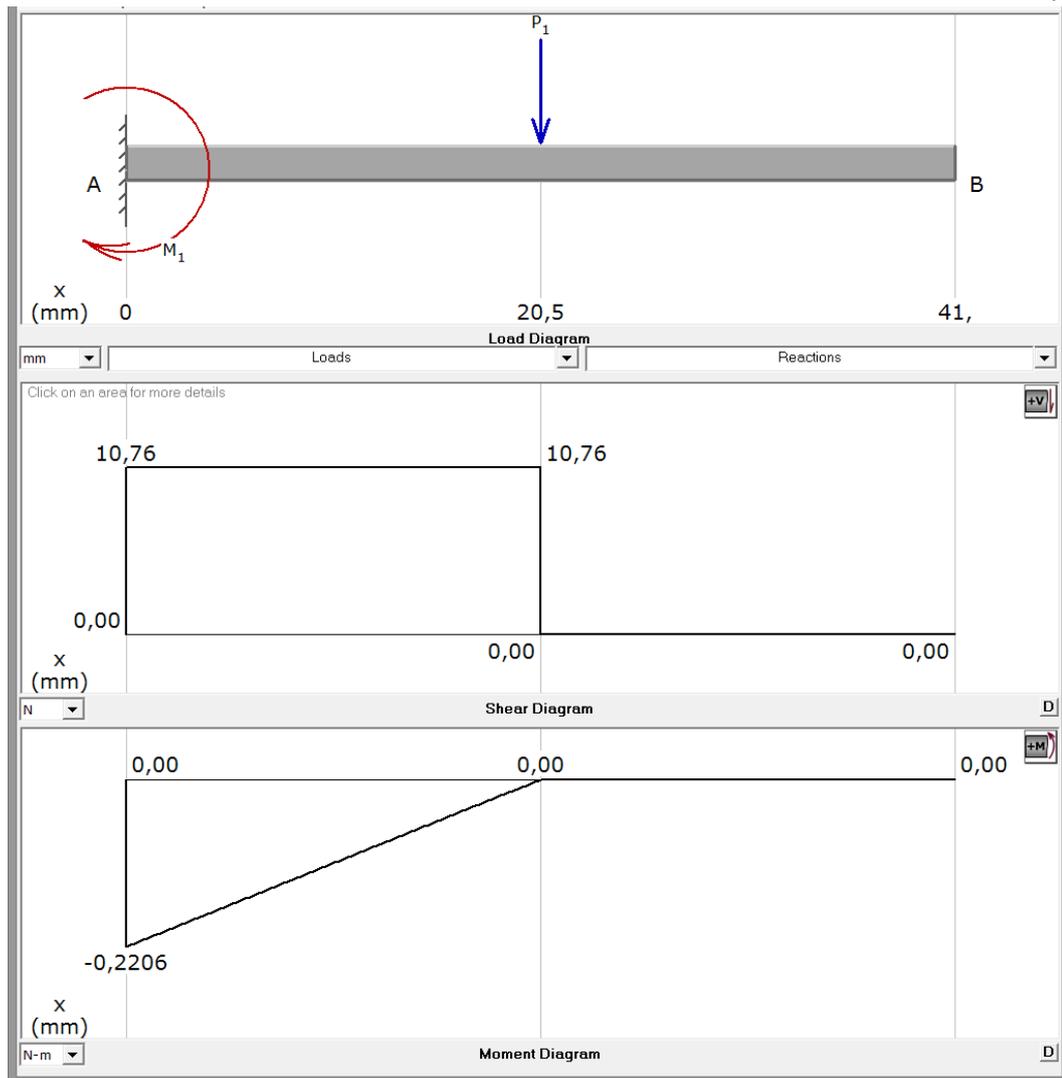


Figura 2.12. Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante

A partir de esto se utilizará los conceptos de diseño por cortante, diseño por flexión y diseño por desgaste para obtener el valor del espesor con el que se deberá construir la hélice del sinfín. Para evitar deformaciones permanentes cuando se quiten las cargas se utiliza un esfuerzo admisible (o esfuerzo de trabajo) que no debe rebasar al esfuerzo calculado. Los límites de tensión para distintas situaciones según ASME son:

- Corte: El esfuerzo admisible en corte en una sección es:

$$F_v = 0.4 S_y$$

- Tensión: El esfuerzo admisible de la tensión en una sección es:

$$F_b = 0.6 S_y$$

c.4.1. DISEÑO POR CORTANTE

Para el diseño por cortante se utiliza la (Ec. 2.30) y el criterio que indica que el esfuerzo cortante máximo debe ser menor que el esfuerzo admisible en corte; el valor de S_y es tomado del ANEXO B-2.

$$\tau_{max} = \frac{3V}{2A} \leq F_V$$

Ec. 2.30.

$$\tau_{max} = \frac{3V}{2e_h[2\pi n_1 r_m]} \leq 0.4 S_y$$

$$\frac{3(10.76)}{2e_h[2\pi(12)(0.042)]} = 0.4 (276 \times 10^6)$$

$$e_h = 4.61 \times 10^{-8} \text{ m}$$

c.4.2. DISEÑO POR FLEXIÓN

Para el diseño por flexión se utiliza la (Ec. 2.31) y el criterio que indica que el esfuerzo flexionante máximo debe ser menor que el esfuerzo admisible en flexión.

$$\sigma_{max} = \frac{M_1 e}{I_n} \leq F_b$$

Ec. 2.31.

$$\sigma_{max} = \frac{M_1 e}{\frac{2\pi n_1 r_m e^3}{12}} \leq 0.6 S_y$$

$$\sigma_{max} = \frac{6M_1}{2\pi n_1 r_m e_h^2} \leq 0.6 S_y$$

$$\frac{6(0.2206)}{\pi(12)(0.042)e_h^2} = 0.6(276 \times 10^6)$$

$$e_h = 7.1 \times 10^{-5} \text{ m}$$

c.4.3. DISEÑO POR DESGASTE

Para evitar un desgaste prematuro del material y tener la certeza de un diseño totalmente eficiente es necesario realizar un análisis del contacto existente entre la hélice del tornillo sinfín y el producto a ser transportado; fenómeno que genera fricción y un deterioro del material. El diseño por desgaste viene dado por la (Ec. 2.32).

$$V_d = \frac{k_d F X_d}{3P_f}$$

Ec. 2.32.

Donde:

- P_f Presión de Flujo (Pa).
- X_d Distancia de desplazamiento del punto de desgaste (m).
- k_d Coeficiente de desgaste.
- F Fuerza al punto de contacto (N).
- V_d Volumen del material (m^3).

Presión de Flujo

La presión de flujo se calcula según la (Ec. 2.33).

$$P_f = 3 S_y$$

Ec. 2.33.

$$P_f = 3(276 \times 10^6) Pa$$

$$P_f = 828 \times 10^6 Pa$$

Tiempo de ciclo

El tiempo de ciclo depende de la velocidad de giro del sinfín y del número de pasos; para la velocidad de giro del sinfín la cual es 29 rpm se obtiene:

$$29 \frac{rev}{min} \times \frac{1 min}{60 seg} = 0.48 \frac{rev}{seg}$$

El número de pasos total del sinfín determina el ciclo del sistema; es decir, para completar un ciclo del producto debe generarse 12 vueltas del sinfín; por lo tanto el tiempo que toma dar este número de giros es:

$$ciclo = 12 \times 0.48 = 5.8 \text{ seg}$$

Y el número de ciclos por hora es:

$$\frac{1 ciclo}{5.8 s} \times \frac{3600 seg}{1 hora} = 620.69 \frac{ciclo}{hora}$$

Longitud de desgaste

La longitud de desgaste (Ec. 2.34) es igual a la longitud del sinfín como se indicó en la (Figura 2.10).

$$L_d = 2\pi n_1 r_m$$

Ec. 2.34.

$$L_d = 2\pi(12)(0.042) = 3.167 \text{ m}$$

Distancia de desplazamiento del punto de desgaste

El cálculo de la distancia de desplazamiento del punto de desgaste se realiza a través de la (Ec. 2.35). Para una vida útil de servicio de 10000 horas se obtiene:

$$X_d = \frac{\text{ciclo}}{\text{hora}} \times L_d \times \text{horas de trabajo}$$

Ec. 2.35.

$$X_d = \frac{\text{ciclo}}{\text{hora}} \times L_d \times 10000$$

$$X_d = 620.69 \times 3.167 \times 10000$$

$$X_d = 1.966 \times 10^7 \text{ m}$$

Coeficiente de desgaste

El coeficiente de desgaste k_d , se obtiene de la (Tabla 2.13); para el caso de este sistema se toma el valor de 5×10^{-6} para desgaste entre no metálicos y metálicos con una lubricación de las superficies limpia.

Tabla 2.13.
Valores Típicos de k_d

VALORES TÍPICOS DE k_d			
Lubricación de las Superficies	Metal – Metal		No metálicos Metálicos
	Deseable – No deseable		
Limpia	5×10^{-3}	2×10^{-4}	5×10^{-6}
Pobre	2×10^{-4}	2×10^{-4}	5×10^{-6}
Promedio	2×10^{-5}	2×10^{-5}	5×10^{-6}
Excelente	2×10^{-6}	2×10^{-6}	5×10^{-6}
	5×10^{-7}	2×10^{-7}	5×10^{-6}

FUENTE: (Lipson & Charles., 1970).Importancia del desgaste en el diseño. Sección 10-49. Centro Regional de Ayuda Técnica.

Volumen de desgaste

Es el volumen obtenido a partir de la (Figura 2.10) y se calcula mediante la (Ec. 2.36).

$$V_d = L_d \times L_1 \times e_d$$

Ec. 2.36.

$$V_d = 3.167 \times 0.041 \times e_d$$

$$V_d = 0.129 * e_d$$

Remplazando los valores obtenidos en la (Ec. 2.32) para diseño por desgaste se obtiene:

$$V_d = \frac{k_d F X_d}{3 P_f}$$

$$0.129 e_d = \frac{(5 \times 10^{-6})(10.76)(1.966 \times 10^7)}{3(828 \times 10^6)}$$

$$e_d = 3.30 \times 10^{-6} m$$

Finalmente el espesor de la hélice está dada por la (Ec. 2.37) la cual es la suma de los espesores encontrados por el diseño de los esfuerzos y diseño de desgaste. Entre el espesor hallado por el diseño cortante y de flexión se elige el de mayor valor para la suma.

$$e = e_h + e_d$$

Ec. 2.37.

$$e = 7.1 \times 10^{-5} + 3.30 \times 10^{-6}$$

$$e = 0.000074 m$$

$$e = 0.074 mm$$

El espesor hallado para la fabricación de la hélice del transportador de tornillo sinfín es de 0.074 mm, pero este no es un valor estándar por lo que se seleccionará un espesor de 1mm para su implementación.

d. SELECCIÓN CHUMACERA DE PARED

La selección de la chumacera viene limitada por la carga dinámica que soportará el rodamiento cuya fórmula se detalla en la (Ec. 2.38).

$$C = P_d * \sqrt[3]{\frac{60 * L_{10h} * N}{10^6}} [N]$$

Ec. 2.38.

Donde:

C Capacidad de carga dinámica del rodamiento (N).

P_d Carga dinámica equivalente (N).

L_{10h} Duración nominal del rodamiento (*horas*).

N Velocidad constante de rotación (*rpm*).

La carga dinámica equivalente para el caso particular de este diseño viene dada por la (Ec. 2.39), se debe tener presente que al ser el transportador de tornillo sinfín un elemento giratorio estará sostenido en sus extremos por una chumacera en cada lado por lo cual es factible distribuir su carga para ambas, es decir, dividir para dos el valor total de carga dinámica.

$$P_d = \frac{F_{empuje} + F_{peso}}{2}$$

Ec. 2.39.

Donde:

F_{empuje} Fuerza ejercida por el transportador para mover el material (N).

F_{peso} Fuerza ejercida por el propio peso del transportador (N).

Se conoce que la masa del transportador de tornillo sinfín es $m = 2.54 \text{ kg}$ por lo tanto gracias a la (Ec. 2.24) es posible conocer la fuerza ejercida por su propio peso.

$$F_{peso} = 2.54 \text{ (kg)} * 9.81 \left(\frac{m}{s^2}\right)$$

$$F_{peso} = 24.92 \text{ (N)}$$

Empleando la (Ec. 2.39) es posible calcular el valor de la carga dinámica equivalente para selección de la chumacera:

$$P_d = \frac{10.76 + 24.92}{2} (N)$$

$$P_d = 17.84 (N)$$

Se busca una duración nominal del rodamiento de aproximadamente 30000 horas, siendo este un valor comúnmente acogido para el diseño de maquinaria industrial; además se sabe que la velocidad de rotación del transportador será de $N = 29 \text{ rpm}$, al utilizar la (Ec. 2.38) se obtiene:

$$C = 17.84 \sqrt[3]{\frac{60 * 30000 * 29}{10^6}} (N)$$

$$C = 66.67 (N)$$

Como se puede observar en el ANEXO E-1 es factible seleccionar la chumacera de pared de 20 mm de diámetro con una capacidad dinámica de $C = 11600 [N]$ pero únicamente por motivos de fabricación y de facilidad de adquisición se seleccionó la chumacera de 1 in de diámetro con una capacidad dinámica de $C = 12500 [N]$ la cual garantiza el correcto funcionamiento del sistema y descarta cualquier falla en el momento de su implementación.

2.4.6. DISEÑO Y SELECCIÓN DEL CILINDRO NEUMÁTICO

Para la selección del cilindro neumático es necesario recordar los requerimientos de la casa de la calidad, donde por solicitud del cliente el volumen de producción por tanda es de 220kg; por lo tanto el cilindro neumático debe soportar dicho peso en la compuerta inferior de la cámara de tratamiento; en la (Figura 2.13) se observa las fuerzas actuantes en el desplazamiento del cilindro.

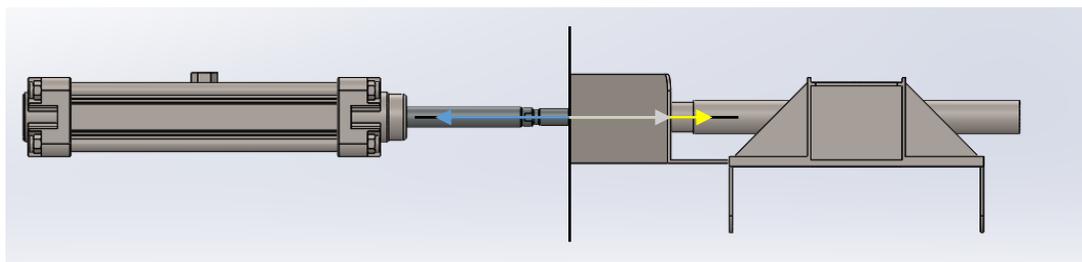


Figura 2.13. Fuerzas actuantes en el cilindro neumático

Para el cálculo del peso es necesario recurrir a la (Ec. 2.40):

$$w = m * g$$

Ec. 2.40.

Donde:

- w Peso (N).
- m Masa (kg).
- g Gravedad ($9.8 \frac{m}{s^2}$).

Para un análisis adecuado, además de considerar el peso del producto se debe considerar las fuerzas de rozamiento que se opondrán al movimiento en el momento de la apertura de la compuerta. Por cuestiones de diseño y de seguridad se considera una masa total de 230 kg considerando el peso de la compuerta como tal; el valor entonces será:

$$w = 230 \text{ kg} * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$w = 2254 \text{ N}$$

Ahora mediante la (Ec. 2.41) se calcula el valor de la fuerza de rozamiento que existe entre los granos de arroz pilado y la compuerta.

$$F_r = w * \mu$$

Ec. 2.41.

Donde:

F_r	Fuerza de rozamiento (N).
w	Peso (N).
μ	Coeficiente de rozamiento.

Para determinar el valor de μ es necesario dirigirse al ANEXO A-2, donde el valor del coeficiente de fricción entre el arroz con un 12.6% de humedad y una pieza de metal es de $\mu = 0.2$; con este valor y gracias a la (Ec. 2.41) es posible determinar la fuerza de fricción generada.

$$F_{r\text{arroz}} = 2254 N * 0.2$$

$$F_{r\text{arroz}} = 450.8 N$$

Existe además una fuerza adicional que afecta al sistema que es la fuerza de rozamiento que se origina por la fricción existente entre la compuerta y el carril sobre el cual se desplaza, es decir, entre ambos metales y también viene dada por la (Ec. 2.41), para su cálculo se debe tener presente que el coeficiente de rozamiento entre metal sobre metal es de 0.15, entonces:

$$F_{r\text{metal}} = 2254 N * 0.15$$

$$F_{r\text{metal}} = 338.1 N$$

Una vez analizados los efectos de estas tres fuerzas es posible realizar la sumatoria de las mismas para determinar la fuerza resultante; es necesario tener en cuenta que el peso y las fuerzas de rozamiento son opuestos a la fuerza de contracción del pistón.

La compuerta del sistema de descarga estará sostenida en tres bocines guías los cuales se encargarán de soportar la mayor cantidad del peso generado por el arroz hacia la compuerta, por tal razón es factible despreciar dicha fuerza generada y únicamente considerar las fuerzas de rozamiento representadas en la (Figura 2.14).

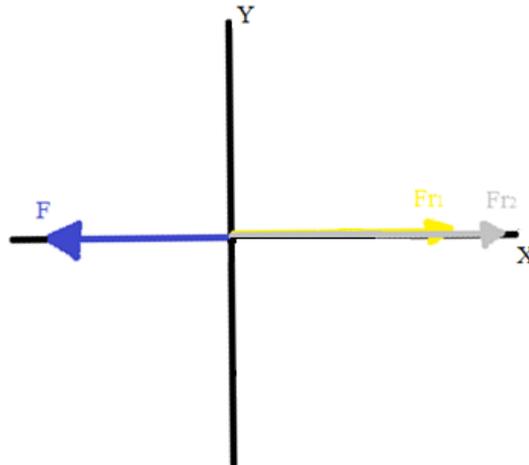


Figura 2.14. Diagrama de cuerpo libre

$$\Sigma F = 0$$

$$F = F_{\text{arroz}} + F_{\text{metal}}$$

$$F = 450.8 \text{ N} + 338.1 \text{ N}$$

$$F = 788.9 \text{ N}$$

Este valor es requerido para poder realizar una correcta apertura del mecanismo de la compuerta de descarga, para determinar el cilindro neumático idóneo es necesario calcular el diámetro del émbolo mediante la (Ec. 2.42).

$$P = \frac{F}{A}$$

$$A = \pi \frac{\phi^2}{4}$$

$$P = \frac{4F}{\pi \phi^2}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4F}{\pi P}}$$

Ec. 2.42.

Donde:

P Presión (MPa).

F Fuerza (N).

\emptyset Diámetro (m).

La presión de aire provista por la fuente neumática es de aproximadamente 0.7 MPa, con este valor y la (Ec. 2.42) es posible determinar el diámetro del cilindro:

$$\emptyset = \sqrt{\frac{4 * 788.9 \text{ N}}{\pi * 0.7 * 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}}$$

$$\emptyset = 0.03788 \text{ m}$$

$$\emptyset = 37.88 \text{ mm}$$

Mediante el cálculo el diámetro del cilindro debe ser aproximadamente 37.88 mm se procederá a escoger un cilindro estándar de 40mm de diámetro, su carrera depende de la ubicación en la máquina para asegurar la correcta apertura y cierre de la compuerta, esta será de 100mm; características más detalladas del cilindro neumático seleccionado se detallan en el ANEXO D.

2.4.7. DISEÑO DE TRANSPORTADOR VIBRATORIO

Estos equipos conocidos también como zarandas vibratorias, transportan material a través de vibraciones dirigidas cuya construcción es robusta y de gran resistencia; los transportadores vibratorios se diseñan de acuerdo a las condiciones de operación y pueden usarse para transportar, distribuir, orientar, clasificar o inspeccionar productos.

Las vibraciones pueden generarse a partir de motores para aplicaciones continuas como transporte, distribución y glaseado; de vibración electromagnética con ajuste infinito de la carrera del vibrador entre cero y el

máximo y con gran rapidez de respuesta de arranque y parada, por vibración por resonancia que presenta las mismas ventajas que la vibración por motor, pero requiere menos energía y, por consiguiente, permite un motor más pequeño.

Para el diseño de la zaranda transportadora necesaria en la etapa de descarga del sistema automatizado de tratamiento térmico se usará la vibración generada por un motor eléctrico acoplado a un eje excéntrico contenido en un disco que se encargará de generar el movimiento lineal a la zaranda gracias a una placa soldada emulando la función de una biela.

a. DISEÑO DEL DISCO EXCÉNTRICO

El diseño del disco excéntrico brinda la carrera o recorrido que tendrá la cama de la zaranda; para un correcto transporte del grano de arroz se debe tener presente que dichos pasos deben ser relativamente cortos debido a dos aspectos fundamentales; el primero de ellos es eliminar las aglomeraciones de arroz que se producen al ser sometidos al tratamiento térmico y la segunda evitar que el arroz se quiebre durante el transporte.

Teniendo presente los aspectos antes mencionados una carrera apropiada para el sistema de descarga es de 25mm; la (Ec. 2.43) determina el valor del radio de la excéntrica necesario para cumplir este requerimiento.

$$Carrera = 2 * r_{excéntrica}$$

Ec. 2.43.

Por lo tanto gracias a la (Ec. 2.43) es posible determinar el radio excéntrico en el plato:

$$r_{excéntrica} = \frac{25 \text{ mm}}{2}$$

$$r_{excéntrica} = 12.5 \text{ mm}$$

Como se indica en la (Figura 2.15), la distancia idónea para generar la carrera deseada es de 12.5mm las dimensiones restantes del disco excéntrico se detallan en el ANEXO P-PMC29.

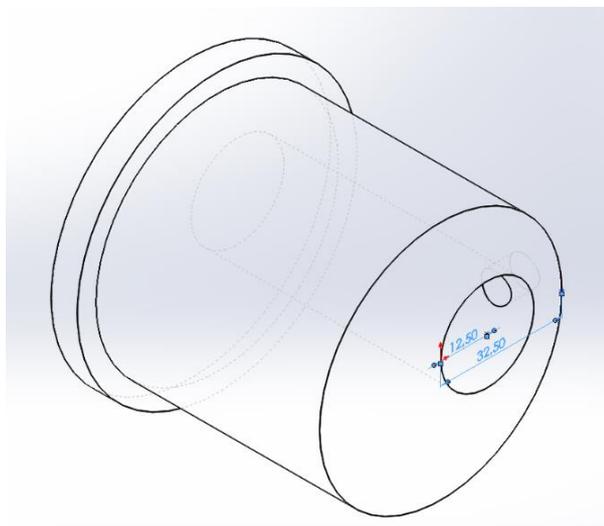


Figura 2.15. Disco excéntrico

Debido a la existencia de ejes de 25.4mm de acero inoxidable categoría 304 en las bodegas de la empresa se ha decidido usar dicho eje para la fabricación del mecanismo para la zaranda; además los requerimientos de distancia del radio excéntrico para generar una carrera de 25mm se acopla perfectamente a la medida del material presente en la empresa facilitando de tal forma el proceso de fabricación de las piezas. Teniendo en cuenta que se usará un eje de 25.4 mm de diámetro es previsible que el radio del disco excéntrico debe ser mayor que este valor para asegurar un correcto funcionamiento y evitar riesgos por falla mecánica.

Aunque las dimensiones sean óptimas para la implementación al sistema del material almacenado en las bodegas es necesario realizar los cálculos de esfuerzos y momentos a los que será sometido el eje para garantizar su idoneidad para el trabajo que será empleado.

b. DISEÑO DEL EJE

A pesar de la existencia de un eje aparentemente idóneo para satisfacer las necesidades y soportar los esfuerzos generados por la excéntrica, es necesario realizar un análisis del mismo y comprobar su funcionalidad en el sistema de descarga de la máquina.

Un eje puede ser considerado como una viga sometida a cargas de flexión, tensión, compresión o torsión que actúan individualmente o combinadas. En ocasiones, se presentan también tensiones por esfuerzo de corte vertical y tensiones normales directas que se deben a cargas axiales, sin embargo, su efecto es, por lo regular, mínimo a tal grado que es válido omitirlas (Mott, 1992).

Para el caso del eje es evidente que este se encontrará sometido a dos esfuerzos; el primero de ellos es la flexión originada por el peso propio del eje y la segunda es la generada por el peso de la excéntrica como tal; además existe una torsión originada por el torque del motor.

Debido a que en la empresa contaba con un eje listo para utilizarse se hará el análisis respectivo para comprobar que es idóneo para esta aplicación. Se obtuvo la masa del eje la cual es de Acero AISI 304 utilizando el software Solid Works 2014 como se indica en la (Figura 2.16); y la masa total de la excéntrica en Acero AISI 1020 como se muestra en la (Figura 2.17).

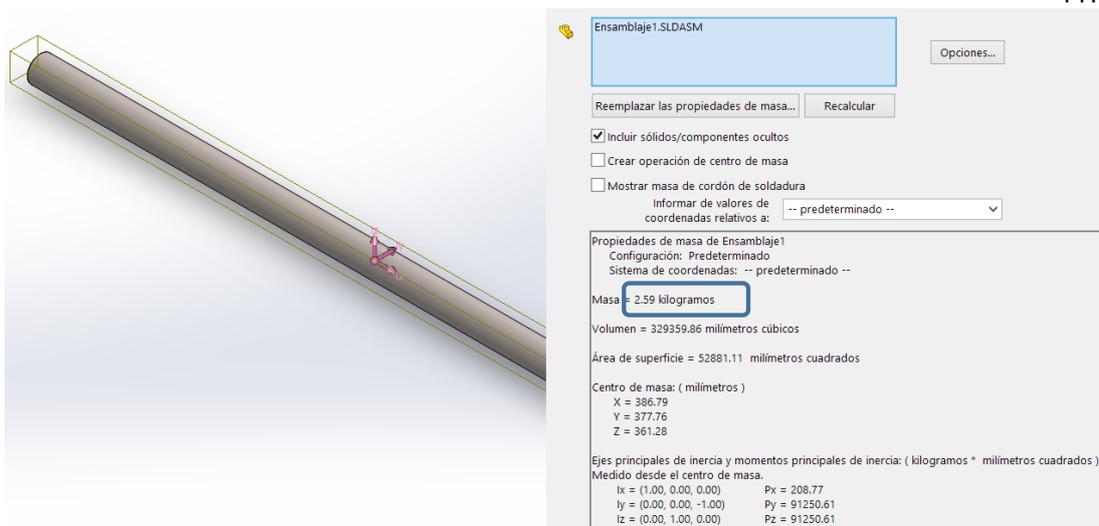


Figura 2.16. Masa del eje AISI 304

La masa del eje con la que se trabajará es de $m_{eje} = 2.59 \text{ kg}$ y una longitud $l = 0.65 \text{ m}$; para los cálculos se lo considera con un elemento sólido y de sección circular cuyo diámetro es de $d = 25.4 \text{ mm}$.

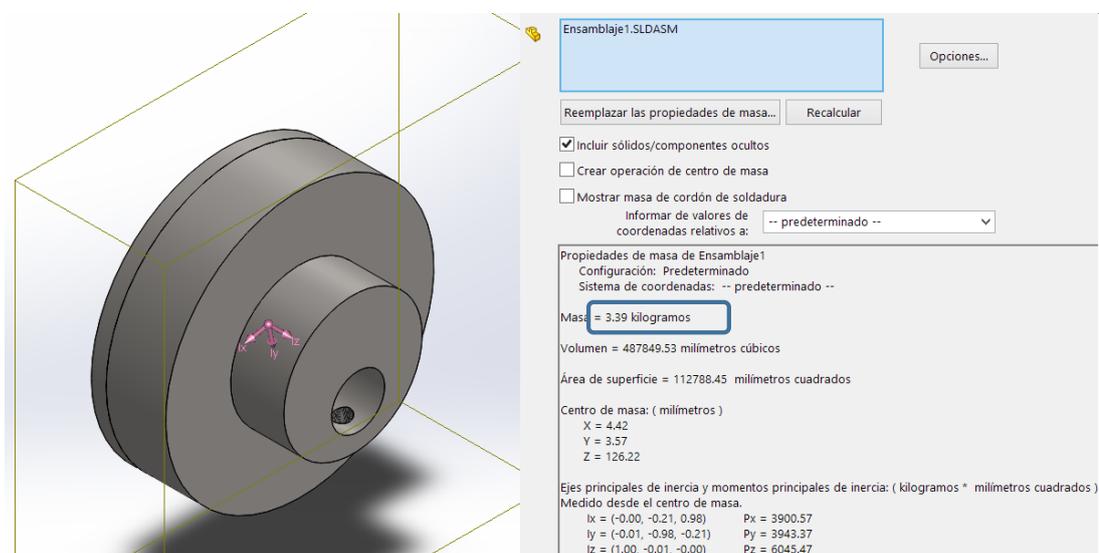


Figura 2.17. Masa de la excéntrica AISI 1020

Para la excéntrica se trabajará con una masa de $m_{excéntrica} = 3.39 \text{ kg}$ que se encontrará en el centro del eje; para ambos casos se considerará el valor de la gravedad como $g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, y sus cargas serán uniformemente distribuida y puntual respectivamente.

El valor del peso viene dado por la (Ec. 2.40), valor necesario para el cálculo de los momentos presentes en el eje; entonces:

$$w_{eje} = 2.59 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$e_{je} = 25.41 \text{ N}$$

$$w_{excéntrica} = 3.39 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$w_{excéntrica} = 33.26 \text{ N} = F_{excéntrica}$$

b.1. DISEÑO POR FLEXIÓN

El eje será considerado como una viga de sección transversal circular uniforme, simplemente apoyada con una carga concentra y una uniformemente distribuida. Realizando un análisis en el software MDSolid se obtuvo el diagrama de fuerza cortante y momento flexionante como se muestra en la (Figura 2.18), valores que son verificados mediante cálculos.

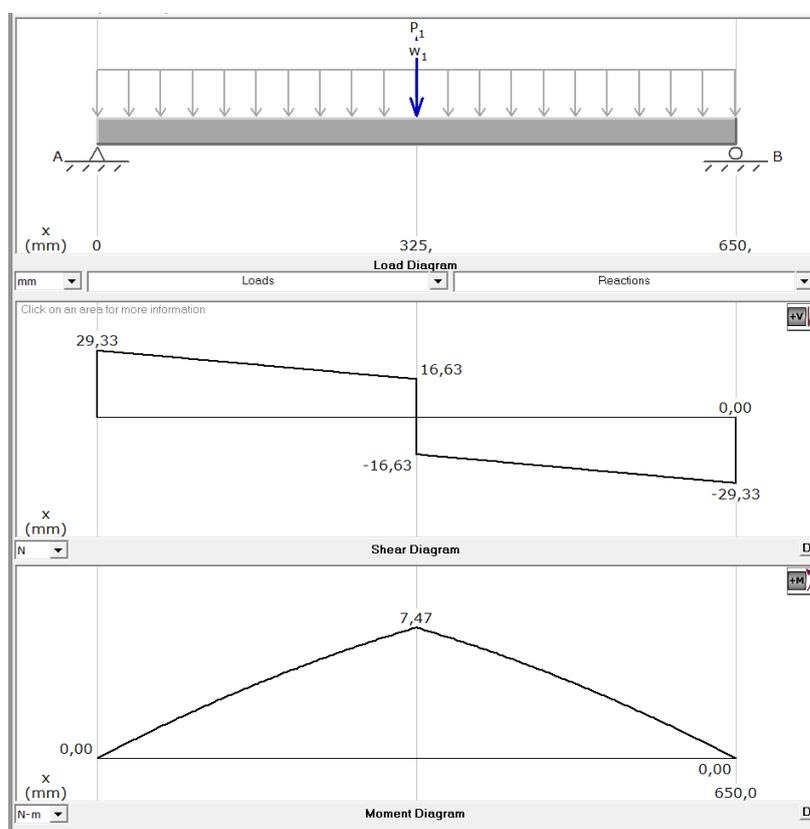


Figura 2.18. Diagrama de fuerza cortante y momento flexionante

La fórmula de la flexión viene dada por la (Ec. 2.44).

$$\sigma_{x_{flexion}} = \frac{M_{max}}{S}$$

Ec. 2.44.

Donde:

$\sigma_{x_{flexion}}$ Esfuerzo por flexión (MPa).

M_{max} Momento flexionante máximo (Nm).

S Módulo de resistencia (m^3).

S para una sección circular viene dado por la (Ec. 2.45).

$$S = \frac{\pi * d^3}{32}$$

Ec. 2.45.

Donde:

d Diámetro del eje (m).

Remplazando el valor del diámetro del eje en la (Ec. 2.45) se obtiene:

$$S = \frac{\pi * (0.0254 \text{ m})^3}{32}$$

$$S = 1.61 \times 10^{-6} [m^3]$$

Para el momento máximo se debe considerar las dos fuerzas presentes en el sistema, para la fuerza puntual que actúa en el medio del eje la (Ec. 2.46) representa el valor del momento flexionante máximo en ese punto y para la carga uniformemente distribuida la (Ec. 2.47) facilita hallar el valor del momento flexionante.

$$M_{excéntrica} = \frac{1}{4} F_{excéntrica} * l$$

Ec. 2.46.

Donde:

$M_{excéntrica}$ Momento Flexionante Máximo Excéntrica (Nm).

$F_{excéntrica}$ Fuerza o Peso Excéntrica (N).

l Longitud el eje (m).

$$M_{eje} = \frac{1}{8} W_{eje} * l$$

Ec. 2.47.

Donde:

M_{eje} Momento Flexionante Máximo Eje (Nm).

F_{eje} Peso Eje (N).

l Longitud el eje (m).

Resolviendo la (Ec. 2.46) y (Ec. 2.47) se obtiene:

$$M_{excéntrica} = \frac{33.26 * 0.65}{4}$$

$$M_{excéntrica} = 5.41 Nm$$

$$M_{eje} = \frac{25.41 * 0.65}{8}$$

$$M_{eje} = 2.06 Nm$$

El momento máximo flexionante viene dado por la suma de ambos momentos (Ec. 2.48).

$$M_{max} = M_{excéntrica} + M_{eje}$$

Ec. 2.48.

$$M_{max} = 5.41 \text{ Nm} + 2.06 \text{ Nm}$$

$$M_{max} = 7.47 \text{ Nm}$$

Considerando $S = 1.61 \times 10^{-6} [m^3]$ y el $M_{max} = 7.47 [N m]$ se sustituye en la (Ec. 2.44):

$$\sigma_{x_{flexion}} = \frac{7.47 [Nm]}{1.61 \times 10^{-6} [m^3]}$$

$$\sigma_{x_{flexion}} = 4.63 \text{ MPa}$$

b.2. DISEÑO POR TORSIÓN

Cuando un eje se somete a un torque, sufre un giro en el que una sección transversal gira en relación a otras secciones transversales en el eje. Al igual que el anterior el análisis de esfuerzo por torsión se simuló en el software MDSolid con los resultados que se indican en la (Figura 2.19), valores que se comprueban a continuación.

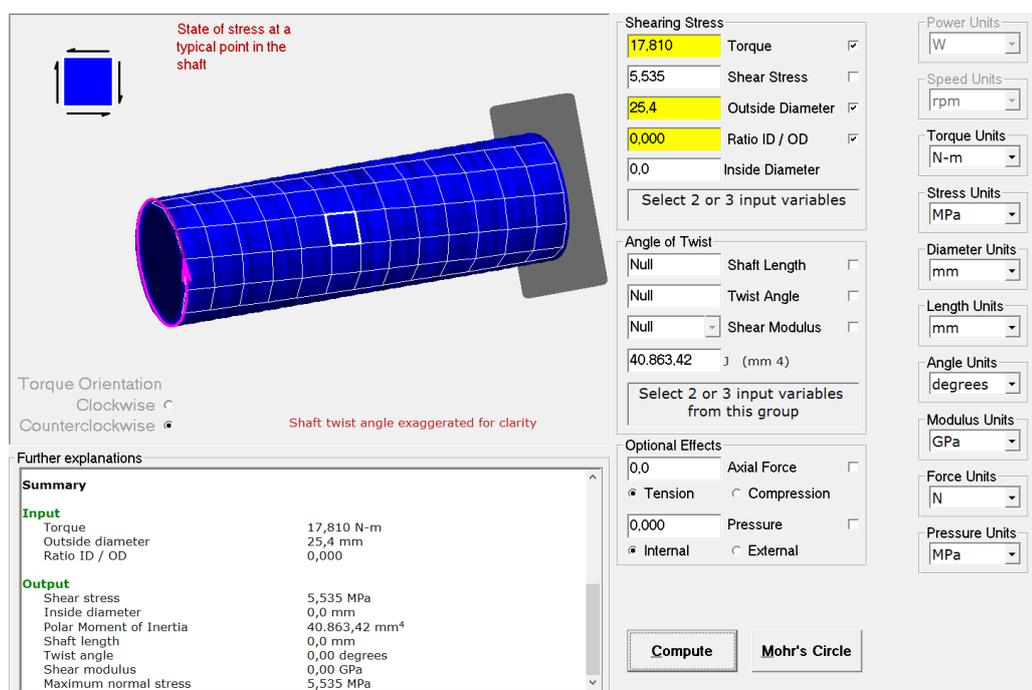


Figura 2.19. Diagrama de torsión

El cálculo del esfuerzo por torsión viene dado por la (Ec. 2.49).

$$\tau_{torsión} = \frac{T}{S_t}$$

Ec. 2.49.

Donde:

$\tau_{torsion}$ Esfuerzo por torsión (MPa).

T Momento torsionante (Nm).

S_t Módulo polar de sección (m^3).

El módulo polar de sección en el caso del eje circular sólido viene dado por la (Ec. 2.50).

$$S_t = \frac{\pi d^3}{16}$$

Ec. 2.50.

Donde:

d Diámetro del eje (m).

Resolviendo la (Ec. 2.50) con el diámetro del eje se obtiene:

$$S_t = \frac{\pi(0.0254 \text{ m})^3}{16}$$

$$S_t = 3.22 \times 10^{-6} [m^3]$$

Se requiere además calcular el torque a partir de la (Ec. 2.51):

$$T = \frac{P}{n}$$

Ec. 2.51.

Donde:

T Momento torsionante (Nm).

P Potencia ($Watt$).

n Velocidad angular $\frac{rad}{s}$.

Considerando que se utilizará para el transportador vibratorio o zaranda un motor con una potencia de 746 W y a una velocidad de giro de 400 rpm; reemplazando en la (Ec. 2.51) se tiene:

$$T = \frac{746 \text{ Watt}}{400 \frac{rev}{min} \times \frac{2\pi}{1 rev} \times \frac{1 min}{60 s}}$$

$$T = 17.81 Nm$$

Teniendo en cuenta un $T = 17.81 Nm$ y un módulo polar de sección $S_t = 3.22 \times 10^{-6} [m^3]$ y reemplazándolos en la (Ec. 2.49):

$$\tau_{torsión} = \frac{17.81 Nm}{3.22 \times 10^{-6} m^3}$$

$$\tau_{torsión} = 5.53 MPa.$$

b.3. DISEÑO POR CORTANTE DEBIDO A LA FLEXIÓN

El esfuerzo por corte en una sección transversal circular viene dado por la (Ec. 2.52).

$$\tau_{corte} = \frac{4V}{3A}.$$

Ec. 2.52.

Donde:

τ_{corte} Esfuerzo cortante máximo debido a la flexión (MPa).

- V Fuerza cortante (N).
 A Área de la sección transversal (m^2).

Para el cálculo del área de la sección transversal circular es necesario recurrir a la (Ec. 2.3):

$$A = \frac{\pi}{4} * (0.0254 \text{ m})^2$$

$$A = 5.07 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Remplazando el valor del área $A = 5.07 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ y la fuerza cortante $V = 29.33 \text{ N}$ en la (Ec. 2.52):

$$\tau_{corte} = \frac{4 * 29.33 \text{ N}}{3 * 5.07 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\tau_{corte} = 0.0771 \text{ MPa}$$

La sumatoria de esfuerzos cortantes viene dada por la (Ec. 2.53).

$$\tau_{xy} = \tau_{torsión} + \tau_{corte}$$

Ec. 2.53.

Remplazando $\tau_{torsión}$ y τ_{corte} en la (Ec. 2.53) se tiene:

$$\tau_{xy} = (5.53 + 0.0771) \text{ MPa}$$

$$\tau_{xy} = 5.61 \text{ MPa}$$

b.4. ESFUERZOS COMBINADOS

Los esfuerzos principales y los esfuerzos cortantes máximos en el punto de aplicación se determinan usando las ecuaciones de transformación de esfuerzos mediante las (Ec. 2.54), (Ec. 2.55) y (Ec. 2.56).

Esfuerzo Principal Máximo σ_1 :

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Ec. 2.54.

Esfuerzo Principal Mínimo σ_2 :

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Ec. 2.55.

Esfuerzo Cortante Máximo τ_{max} :

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Ec. 2.56.

$$\sigma_x = \sigma_{x_{flexión}} = 4.63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y = 0 \text{ Pa}$$

$$\tau_{xy} = 5.61 \text{ MPa}$$

Remplazando $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ en las (Ec. 2.54), (Ec. 2.55) y (Ec. 2.56) se obtienen los siguientes resultados:

$$\sigma_1 = 8.38 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -3.75 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = 6.07 \text{ MPa}$$

Con estos valores se aplica la Teoría de la energía de distorsión máxima o de Von Mises (Ec. 2.57).

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2}$$

Ec. 2.57.

Reemplazando los valores de los esfuerzos se obtiene:

$$\sigma' = \sqrt{(8.38)^2 - [(8.38) * (-3.75)] + (-3.75)^2}$$

$$\sigma' = 10.76 \text{ MPa}$$

La teoría afirma que si se cumple la condición de la (Ec. 2.58) se comprueba que no existirá falla en el material:

$$\sigma' \leq S_y$$

Ec. 2.58.

El factor a la fluencia S_y para el Acero AISI 304 se obtuvo del ANEXO B-2
 $S_y = 276 \text{ MPa}$.

$$10.76 \text{ MPa} \leq 276 \text{ MPa}$$

Al cumplir esta condición se puede asegurar que el material no presentará falla alguna por diseño estático durante el funcionamiento del sistema de tratamiento.

b.5. FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO

El factor de seguridad viene dado por la (Ec. 2.59), según criterios de diseño de Von Mises.

$$FS = \frac{S_y}{\sigma'}$$

Ec. 2.59.

Reemplazando los valores de factor a la fluencia y el esfuerzo resultante se obtiene:

$$FS = \frac{276 \text{ MPa}}{10.76 \text{ MPa}}$$

$$FS = 25.65$$

Al determinar un factor de seguridad $FS = 25.65$, se asegura y por mucho que el eje a emplearse satisface y soportará los esfuerzos estáticos a los que será sometido; por lo tanto el uso del eje existente en las bodegas de la empresa es apto para ser empleado en el proceso de descarga del sistema de tratamiento térmico automatizado.

b.6. DISEÑO A FATIGA

La falla por fatiga se debe a la formación y propagación de grietas, por lo general, una grieta se inicia en una discontinuidad del material donde el esfuerzo cíclico es máximo. Las discontinuidades pueden surgir debido al diseño de cambios rápidos en la sección transversal, orificios, chaveteras, etc., donde ocurren concentraciones del esfuerzo; sin embargo, debido a la naturaleza compleja de la fatiga hay mucho más que tomar en cuenta, desde este punto, se procederá en forma metódica y en etapas para realizar el mejor diseño a fatiga del eje.

En la (Figura 2.20) se puede observar un diagrama en el cual se señalan los puntos críticos a tomarse en cuenta para el diseño del eje.

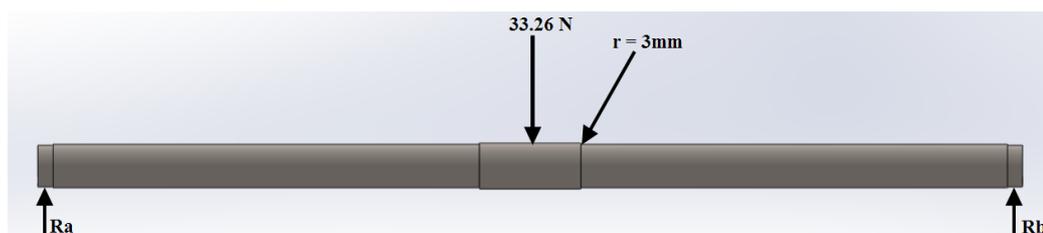


Figura 2.20. Esquema de parámetros para diseño a fatiga

b.6.1. LÍMITE DE RESISTENCIA A LA FATIGA

El límite de resistencia a la fatiga es una magnitud del esfuerzo fluctuante necesario para producir una falla en una probeta de ensayo de fatiga después de un número especificado de ciclos de carga. La resistencia en este punto se llama límite de resistencia a la fatiga Se' y ocurre en algún lugar entre 10^6 y 10^7 ciclos. La marca de prima en Se' se refiere al límite de resistencia a la fatiga de la pieza de laboratorio controlada. Los datos de resistencia se basan en muchas condiciones controladas que no serán las mismas que para una parte de máquina real (Budynas & Nisbett, 2008).

Existe un método para estimar los límites de resistencia a la fatiga; este depende de las condiciones indicadas en la (Ec. 2.60); de la cual se selecciona la condición (Ec. 2.61) debido a que el $S_{ut \text{ AISI } 304} = 276 \text{ MPa}$.

$$Se' = \begin{cases} 0.5 S_{ut} & \rightarrow S_{ut} \leq 200 \text{ KPsi} \\ 100 \text{ KPsi} & \rightarrow S_{ut} > 200 \text{ KPsi} \\ 700 \text{ MPa} & \rightarrow S_{ut} > 1400 \text{ MPa} \end{cases}$$

Ec. 2.60.

Donde:

Se' Límite de resistencia a la fatiga en probeta rotativa.

S_{ut} Resistencia a la tensión mínima.

$$Se' = 0.5 S_{ut} \quad \text{si} \quad S_{ut} \leq 200 \text{ KPsi} \text{ o } 1400 \text{ MPa}$$

Ec. 2.61.

Es posible determinar el límite de resistencia a la fatiga mediante la (Ec. 2.61):

$$Se' = 0.5 \times 276 \text{ MPa}$$

$$Se' = 138 \text{ MPa}$$

b.6.2. FACTORES QUE MODIFICAN EL LÍMITE DE RESISTENCIA A LA FATIGA

Los factores de modificación se definen y usan para tomar en cuenta las diferencias entre la pieza de prueba y la parte de máquina real en relación con las condiciones de la superficie, el tamaño, la carga, la temperatura, la confiabilidad y factores diversos; todos estos se resumen en la (Ec. 2.62) o de Marin.

$$Se = k_a \times k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times k_f \times \frac{1}{K_f} \times Se'$$

Ec. 2.62.

Donde:

Se	Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.
k_a	Factor de modificación de la condición superficial.
k_b	Factor de modificación del tamaño.
k_c	Factor de modificación de la carga.
k_d	Factor de modificación de la temperatura.
k_e	Factor de confiabilidad.
f	Factor de modificación de efectos varios.
K_f	Factor de concentración de esfuerzos y sensibilidad a la muesca.

- Factor de superficie k_a

El factor k_a depende de la calidad del acabado de la superficie de la parte y de la resistencia a la tensión indicada mediante la (Ec. 2.63). A fin de determinar expresiones cuantitativas para acabados comunes de parte de máquinas (esmerilada, maquinada o estirada en frío, laminada en caliente y forjada) los valores de a y b se obtienen de la tabla 6-2 del ANEXO B-3 para un eje maquinado.

$$k_a = aS_{ut}^b$$

Ec. 2.63.

Se conoce el valor de $S_{ut \text{ AISI } 304} = 276 \text{ MPa}$ y gracias a la tabla el valor de $a = 4.51$ y $b = -0.265$, por lo tanto se tiene:

$$k_a = 4.51(276)^{-0.265}$$

$$k_a = 1.017$$

- Factor de tamaño k_b

El factor k_b depende de la forma y tamaño del eje a usarse; su selección depende de las condiciones indicadas en la (Ec. 2.64).

$$k_b = \begin{cases} \left(\frac{d}{0.3}\right)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91 d^{-0.107} & 2 \leq d \leq 10 \text{ pulg} \\ \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51 d^{-0.107} & 51 \leq d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Ec. 2.64.

Al tener presente que el diámetro nominal del eje es de 25mm se utilizará la (Ec. 2.65) para determinar el factor k_b en el diseño.

$$k_b = \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} \quad \text{si } 2.79 \text{ mm} \leq d \leq 51 \text{ mm}$$

Ec. 2.65.

$$k_b = \left(\frac{25}{7.62}\right)^{-0.107}$$

$$k_b = 0.881$$

- Factor de carga k_c

Cuando la torsión está combinada con otros esfuerzos como la flexión, se asume un valor de $k_c = 1$ y la carga combinada se maneja usando el esfuerzo de Von Mises.

- Factor de temperatura k_d

Si se conoce el límite de la resistencia a la fatiga de una viga rotativa a temperatura ambiente, entonces se emplea el valor de S_T/S_{RT} tomado de la tabla 6-4 ubicada en el ANEXO B-3. Para el caso del sistema analizado la barra trabajará a temperatura ambiente de aproximadamente 20°C por lo que $k_d = 1$.

- Factor de confiabilidad k_e

En la tabla 6-5 del ANEXO B-3 se detalla los valores de confiabilidad más comunes para los distintos casos de diseño; para el sistema desarrollado se seleccionó una confiabilidad del 99%.

$$k_e = 0.814 \quad \text{con un 99\% confiabilidad}$$

- Factor de efectos varios k_f

Aunque el factor k_f tiene el propósito de tomar en cuenta la reducción del límite de resistencia a la fatiga debido a todos los otros efectos, en verdad significa un recordatorio que estos efectos se deben tomar en cuenta, porque los valores reales de este factor no siempre están disponibles; para este caso se considera un $k_f = 1$.

- Factor de concentración de esfuerzos y sensibilidad a la muesca K_f

En un diseño mucho más real se suele tener una concentración del esfuerzo en el cambio de sección o muesca, por la cual el comportamiento de la fatiga depende del factor estático de concentración del esfuerzo y la sensibilidad del material del componente al daño por fatiga. La (Ec. 2.66) define el factor de concentración del esfuerzo.

$$K_f = 1 + \frac{k_{ts} - 1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}}$$

Ec. 2.66.

Donde:

- k_{ts} Factor de concentración del esfuerzo.
 \sqrt{a} Constante de Neuber.
 r Radio de la muesca.

En el ANEXO B-4 se observa la gráfica de concentración de esfuerzos para un eje redondo en torsión de donde se obtiene el valor de $k_{ts} = 1.2$; la constante de Neuber se obtiene de la (Ec. 2.67).

$$\sqrt{a} = 0.245799 - 0.307794(10^{-2})S_{ut} + 0.150874(10^{-4})S_{ut}^2 - 0.266978(10^{-7})S_{ut}^3$$

Ec. 2.67.

Resolviendo la (Ec. 2.67) se obtiene el valor de la constante de Neuber; se sabe que el radio de la muesca es de 3mm por lo cual es posible resolver la (Ec. 2.66) y obtener el valor del factor K_f .

$$\sqrt{a} = 0.7313 \sqrt{mm}$$

$$K_f = 1 + \frac{1.2 - 1}{1 + \frac{0.7313}{\sqrt{3}}}$$

$$K_f = 1.1406$$

Al obtener todos los valores de las constantes se determina el valor real del límite de resistencia a la fatiga gracias a la (Ec. 2.62).

$$S_e = 1.017 \times 0.881 \times 1 \times 1 \times 0.814 \times 1 \times \frac{1}{1.1406} \times 138 \text{ MPa}$$

$$S_e = 88.24 \text{ MPa}$$

b.6.3. FACTOR DE SEGURIDAD DINÁMICO

El factor de seguridad dinámico viene dado por la (Ec. 2.68), el cual al igual que el factor de seguridad estático si su valor es mayor a 1 el diseño será aceptable.

$$FS = \frac{S_e}{\sigma}$$

Ec. 2.68.

Resolviendo la (Ec. 2.68) se obtiene el factor de seguridad dinámico:

$$FS = \frac{88.24}{10.76}$$

$$FS = 8.2$$

El factor de seguridad dinámico es $FS = 8.2$ valor mucho menor que el factor de seguridad estático pero a pesar de su notable diferencia es suficiente para asegurar un diseño totalmente confiable y eficiente además que se garantiza que cumplirá con su trabajo por un periodo de tiempo infinito.

c. SELECCIÓN CHUMACERA DE PISO

Al igual que para la selección de la chumacera de pared se emplea la (Ec. 2.38) para determinar la capacidad de carga dinámica del rodamiento y la (Ec. 2.39) servirá para calcular la carga dinámica equivalente para la chumacera de piso.

En el caso de este diseño se considera para la carga dinámica equivalente el peso del propio eje y el peso generado por la excéntrica; de igual forma que para la selección de la chumacera anterior al estar sostenida en sus extremos por un rodamiento es factible dividir dicha carga para dos, como se detalla a continuación:

$$P_d = \frac{25.41 + 33.26}{2} [N]$$

$$P_d = 29.34 [N]$$

Se busca una duración nominal del rodamiento de aproximadamente 30000 horas; además se sabe que la velocidad de rotación de la excéntrica será de $N = 400 \text{ rpm}$, al utilizar la (Ec. 2.38) se obtiene:

$$C = 29.34 * \sqrt[3]{\frac{60 * 30000 * 400}{10^6}} [N]$$

$$C = 262.97 [N]$$

En el ANEXO E-2 se puede observar la selección de la chumacera de piso, la cual fue de 1 in de diámetro debido a factores de fabricación y de facilidad de adquisición de la misma; esta asegura el correcto funcionamiento del sistema ya que su capacidad dinámica es de $C = 12500 [N]$.

2.5. DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO-ELÉCTRONICO

La planificación del diseño eléctrico y electrónico, de un sistema de distribución adecuado y de un suministro de energía eficiente es de vital importancia para asegurar la operación adecuada y confiabilidad de cualquier tipo de proyecto.

Es fundamental enfatizar en el correcto diseño y dimensionamiento de los componentes que formarán parte de la máquina, ya que de ellos depende en gran porcentaje el correcto funcionamiento y el grado de eficiencia que tenga el proceso de tratamiento térmico; para esta parte del diseño se dividirá en dos grupos de análisis a los elementos del sistema, en el primer grupo se considerará la selección de los elementos de potencia tomando en cuenta las características, formas y especificaciones necesarias que requieren para su funcionamiento basándose en los cálculos y dimensionamiento realizados en el diseño mecánico; y como segundo grupo se analizará los elementos de control necesarios para la automatización del proceso; para ambos grupos se examinará una breve descripción, dimensionamiento del cable conductor y los elementos de protección necesarios para resguardar la vida útil de los componentes ante cualquier falla eléctrica del sistema.

2.5.1. DESCRIPCION ELEMENTOS DE POTENCIA

Los elementos de potencia requeridos dentro del sistema automatizado de tratamiento térmico se detallan a continuación.

a. MOTOR

Tomando en cuenta que se requiere la generación de movimiento dinámico para ciertos componentes de la máquina, es necesario la implementación de tres motores para satisfacer las necesidades del diseño; cabe recalcar que las ventajas que presenta el usar un motor se detallan a continuación:

- Elevado par de arranque.
- Regulación de velocidad.
- Aceleración bastante rápida hacia la velocidad nominal.
- Buena capacidad de disipación de calor.

Para el caso de los tres motores se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- El voltaje de alimentación trifásico de 220/440 V ya que la empresa cuenta con estos niveles de tensión.
- El factor de servicio de 1.15 para operación con variador de velocidad.
- La frecuencia de operación de 60 Hz porque es la existente en la red de alimentación del país.

Presente estas tres consideraciones, se detalla la selección de cada uno de los motores que requiere el sistema.

a.1. MOTOR TRANSPORTADOR SINFIN

Para la implementación del motor al transportador de tornillo sinfín se debe analizar los productos existentes en el mercado, por lo que se seleccionó el motor WEG W22 - IE1 Standard Efficiency (Figura 2.21), cuyos datos se muestran en la (Tabla 2.14).



Figura 2.21. Motor WEG W22 - IE1 Standard Efficiency

FUENTE: PRWEB. WEG Electric Releases 2010. Recuperado de: <http://www.prweb.com/releases/2011/1/prweb8046694.htm>

Tabla 2.14.**Especificaciones motor transportador sinfín**

Datos Técnicos	
Potencia	1500 W.
Velocidad	1730 RPM
Numero de Polos	4
Voltaje de Alimentación	220/440 VAC
Corriente Nominal	6.08 A
Factor de Servicio	1.15
Clase de Aislamiento	F
Frecuencia de Operación	60 Hz

El resto de especificaciones técnicas se encuentran detalladas en el ANEXO F-1.

a.2. MOTOR VENTILADOR

Para la implementación del motor que generará el movimiento del ventilador centrífugo se seleccionó al igual que el anterior, un motor de la marca WEG W22 - IE1 Standard Efficiency, cuyos datos se muestran en la (Tabla 2.15).

Tabla 2.15.**Especificaciones motor ventilador**

Datos Técnicos	
Potencia	1100 W.
Velocidad	3390 RPM
Numero de Polos	2
Voltaje de Alimentación	220/440 VAC
Corriente Nominal	4.27 A
Factor de Servicio	1.15
Clase de Aislamiento	F
Frecuencia de Operación	60 Hz

El resto de especificaciones técnicas se encuentran detalladas en el ANEXO F-2.

a.3. MOTOR TRANSPORTADOR VIBRATORIO

Para la implementación del motor que se encargará de generar la rotación al eje de la excéntrica y dar vida al movimiento de la zaranda se seleccionó un motor de la marca WEG W22 - IE1 Standard Efficiency, cuyos datos se muestran en la (Tabla 2.16).

Tabla 2.16.

Especificaciones motor transportador vibratorio

Datos Técnicos	
Potencia	750 W.
Velocidad	1730 RPM
Numero de Polos	4
Voltaje de Alimentación	220/440 VAC
Corriente Nominal	3.07 A
Factor de Servicio	1.15
Clase de Aislamiento	F
Frecuencia de Operación	60 Hz

El resto de especificaciones técnicas se encuentran detalladas en el ANEXO F-3.

b. VARIADOR DE FRECUENCIA

Durante el proceso de tratamiento térmico es necesario poder controlar de manera variable la velocidad a la que el ventilador gire para asegurar una correcta recirculación del aire dentro de la cámara y controlar además el descenso de temperatura en el proceso de enfriamiento, por lo que se adquirió un variador de frecuencia (Figura 2.22) que controlará la velocidad del motor mediante señales enviadas por el PLC al variador de velocidad. Los requerimientos para el variador son:

- Voltaje de alimentación 220/440 V.
- Potencia del motor 1100W.

- Frecuencia nominal de la red 60 Hz.
- 3 Entradas digitales para control de accionamiento del variador.
- 1 Entrada analógica para control de velocidad.



Figura 2.22. Convertidor de frecuencia DELTA VFD-M

FUENTE: VARITEL. Variador VFD-M Convertidor compacto para instalación en cuadro.
Recuperado de: <http://varitel.com/html/vfd-m.html>

Tomando en cuenta estos parámetros se eligió el convertidor de frecuencia DELTA VFD015M23A, de tipo modular y que cuenta con las siguientes características (Tabla 2.17).

Tabla 2.17.

Especificaciones variador de velocidad

Características seleccionadas	
Potencia	1.5 kW
Datos Técnicos	
Tensión de alimentación	TRIFÁSICA 200-240 VAC +/- 10%
Frecuencia de Salida	0.1 – 400 Hz
Resolución	0.1 HZ
Temperatura de Operación	-10°C a 50°C
Entradas Digitales	6
Salidas Digitales	2 (10 VDC)
Entradas Análogas	2
Datos Mecánicos	
Grado de protección	IP20

El resto de especificaciones pueden ser encontradas en el ANEXO G.

c. NIQUELINAS

Para elevar la temperatura de la cámara de tratamiento es necesario la implementación de niquelinas tubulares en la parte frontal de la máquina, estas deben trabajar a un voltaje de alimentación de 220V, tener una potencia mínima de 2.2KW y ser aptas a realizar control por SCR.

Para ello se escogió niquelinas tubulares en forma de M (Figura 2.23), de la marca BACKER EHP INC cuyas características se detallan en la (Tabla 2.18).



Figura 2.23. Niquelina tubular en M

FUENTE: ANCORA INDUSTRIAL. Resistencias Eléctricas. Recuperado de: <http://ancor.mx/productos/resistencias/>

Tabla 2.18.

Especificaciones niquelina

Datos Técnicos	
Marca	Backer EHP
# Catálogo	CH44X134
Potencia	3000 W.
Voltaje	220 V
Bushing conexión	Si
Tipo	Tubular en M
Corriente Nominal.	13.64 A

2.5.2. DESCRIPCIÓN ELEMENTOS DE CONTROL

Es necesario la implementación de elementos de control para la automatización del sistema de tratamiento térmico, su selección se detalla a continuación.

a. PLC

El PLC (Controlador Lógico Programable) representará el cerebro del sistema de automatización de la máquina por lo tanto este debe tener una gran capacidad de respuesta frente a los diversos requerimientos y perturbaciones que se presenten en el sistema, además de mostrar robustez para trabajo en ambientes hostiles y la facilidad de adquirirlo así como de programarlo.

En la selección será considerado varios aspectos importantes, cuyo objetivo es adquirir un dispositivo que cumpla con los requerimientos de la máquina para un óptimo desarrollo del sistema de control.

Las consideraciones son las siguientes:

- Controlar la velocidad del ventilador a través de un variador de velocidad.
- Controlar la potencia de las niquelinas mediante un relé de estado sólido.
- Lectura de sensor de temperatura tipo RTD PT100.
- Lectura de sensor capacitivo de nivel.
- Salidas digitales 8.
- Salidas análogas 2.
- Entradas digitales 2.
- Entrada analógica específica temperatura 1.
- Puerto de comunicación Ethernet.
- Posibilidad de incorporaciones o modificaciones futuras.

- HMI realizable con Touch Panel.
- Voltaje de alimentación 110/220 V.
- Disponibilidad dentro del mercado.

Teniendo presente estos parámetros necesarios para la selección del PLC adecuado se determina que el más idóneo para solucionar los requerimientos del sistema automatizado de tratamiento térmico es el S7-1200 tipo 6ES7214-1BG31-OXB0 de la familia SIEMENS (Figura 2.24) que cumple con los requerimientos del control del proceso y cuyas características principales se encuentran en la (Tabla 2.19).



Figura 2.24. PLC S7-1200

FUENTE: CONRAD. Siemens S7-1200. Recuperado de:
<http://www.conrad.com/ce/en/product/197494/Siemens-6ES7214-1HG31-OXB0-SIMATIC-S7-1200>

Tabla 2.19.

Características del PLC

S7-1200 CPU1214C	
Tipo	AC-DC-Relé
Alimentación	110-220 VAC
Entradas Digitales	14 a 24 VDC
Salidas Digitales	10 Tipo relé
Entradas Análogas	2 (0-10 VDC)
Memoria	75 KB
Puerto de Comunicación	Profinet/Industrial Ethernet RJ45 10/1000 Mbps
Potencia	14 W

El resto de especificaciones pueden ser encontradas en el ANEXO H.

b. MÓDULO DE AMPLIACIÓN SALIDAS ANÁLOGAS

Como se detalló anteriormente es necesario de dos salidas análogas, la primera de ellas para controlar el variador de velocidad y de esta manera la velocidad a la que gire el ventilador y la segunda para controlar la potencia de las niquelinas mediante un relé de estado sólido.

Por tal razón se seleccionó un módulo SM1232 (Figura 2.25) de la familia SIEMENS, este tipo de módulo de ampliación posee dos salidas analógicas configurable para voltaje o corriente, los demás detalles técnicos se muestran en el ANEXO I.



Figura 2.25. Módulo de ampliación SM1232

FUENTE: CONRAD. Siemens 6ES7232-4HB32-0XB0 SM 1232 Analogue Output Module. Recuperado de: <http://www.conrad.com/ce/en/product/197748/Siemens-6ES7232-4HB32-0XB0-SM-1232-Analogue-Output-Module>

c. MÓDULO DE AMPLIACIÓN RTD INPUT

Para la correcta lectura de la temperatura a la que se encuentra la cámara de tratamiento térmico es necesario un módulo de ampliación específico para este fin por lo que se ha seleccionado el SB1231RTD (Figura 2.26), el cual

cuenta con una entrada específica para lectura de temperatura mediante sensor tipo PT100.



Figura 2.26. Módulo de ampliación SB1231RTD

FUENTE: AUTOMATION24. SIEMENS SB 1231 RTD - 6ES7231-5PA30-0XB0. Recuperado de: <http://www.automation24.es/sistemas-de-control/siemens-sb-1231-rtd-6es7231-5pa30-0xb0-i101-1703-0.htm>

El resto de especificaciones pueden ser encontradas en el ANEXO J.

d. TOUCH PANEL

Para una interacción adecuada con el operario se implementará un HMI mediante una Touch Panel y para la implementación de la misma se ha optado con seleccionar el modelo KTP600 PN Basic HMI (Figura 2.27) de la marca SIEMENS; las características de la misma se detallan en la (Tabla 2.20).

Sus especificaciones de una manera más detallada se describen en el ANEXO K.



Figura 2.27. Touch Panel Siemens KTP 600 PN Basic

FUENTE: INGENIERIA INTELIGENTE. SIMATIC HMI Panel KTP600 Basic color PN. Recuperado de: http://www.ingenieriainteligente.com.mx/detalles_Panel-KTP600-Basic-color-DP,13,12,4.htm

Tabla 2.20.

Características Touch Panel

KTP600 PN Basic HMI	
Display	TFT
Tamaño Display	6 in
Número de colores	256
Teclas de función	6
Voltaje de alimentación	24 VDC
Consumo Nóminal	0.35 A
Puerto de Comunicación	Profinet/Ethernet
Potencia	9 W

e. FUENTE DE VOLTAJE CONTINUO

Debido a la presencia de la Touch Panel es necesario la implementación de una fuente de voltaje que suministre la tensión requerida para su funcionamiento. Para ello se selecciona la fuente de poder de la marca SIEMENS (Figura 2.28), cuyas características técnicas se detallan en la (Tabla 2.21).



Figura 2.28. Fuente de voltaje LOGO!Power 24VDC

FUENTE: AUMATION24. Fuente de alimentación siemens logo!power 24v 2,5 A. Recuperado de: <http://www.automation24.es/fuentes-de-alimentacion/fuente-de-alimentacion-siemens-logo-power-24v-25a-6ep1332-1sh43-i28-959-0.htm>

Tabla 2.21.

Características fuente de voltaje

Fuente de Alimentación SIEMENS LOGO!POWER 24V 2,5A	
Tipo	Fuente de alimentación en carril DIN
Variante	1-fase
Tensión nominal de entrada	100/240 V AC
Rango de frecuencia	50/60 Hz
Consumo de corriente	0,66-1,22 A
Tensión nom. de salida	24 V DC
Corriente nom. de salida	2,5 A
Protección	IP20

El resto de especificaciones técnicas se encuentran detalladas en el ANEXO L.

f. RELÉ DE ESTADO SÓLIDO

Para el control de las niquelinas es necesario implementar el uso de un relé de estado sólido, el cual gracias a la señal de control enviada por el PLC

regulará la potencia generada por las niquelinas; para ello se ha seleccionado de la marca Q&W el relé de estado sólido (Figura 2.29), cuyas especificaciones se detallan en la (Tabla 2.22).



Figura 2.29. Relé de estado sólido Q&W

FUENTE: Q&W. Solid state relay 1phase. Recuperado de: http://www.china-sensor.com/product_view.php?partid=2&mpid=17&id=49

Tabla 2.22.

Características relé de estado sólido

Q&W Solid State Relay	
Voltaje de control	3-32V DC
Corriente de manejo	40 A
Corriente de control	3-25 mA
Voltaje de manejo	90-480V AC

2.5.3. DIMENSIONAMIENTO CONDUCTORES

a. CONDUCTOR PARA EL ALIMENTADOR PRINCIPAL

Para el cálculo del calibre del conductor es necesario realizar un análisis del consumo de corriente de todo el sistema; esto se detalla en la (Tabla 2.23).

Tabla 2.23.

Detalle elementos del sistema de tratamiento térmico

Etapa de Potencia	
Elemento	Corriente nominal [A]
Motor Sinfín	6.08
Motor Ventilador	4.27
Motor Zaranda	3.07
Niquelina	13.64
Consumo Aproximado Potencia	27.06
Etapa de Control	
Elemento	Corriente nominal [A]
PLC	0.05
Touch Panel	0.35
Fuente Voltaje DC	1.22
Consumo Aproximada Control	1.62

El conductor para el alimentador principal se calcula mediante la (Ec. 2.69), aumentando el 25% a la corriente nominal del motor más grande y luego agregando los valores de corriente de los otros motores y demás dispositivos.

$$I_a = FS I_{PC}(MG) + \Sigma I_{PC}(MR) + I(C.C)$$

Ec. 2.69.

Donde:

- I_a Corriente de los alimentadores
- FS Factor de sobredimensionamiento
- $I_{PC}(MG)$ Corriente a plena carga del motor más grande
- $\Sigma I_{PC}(MR)$ Corriente a plena carga del resto de motores
- $I(C.C)$ Corriente aproximada de los circuitos de control

Reemplazando los valores en la (Ec. 2.69), se obtiene:

$$I_a = (1.25)(6.08) + [4.27 + 3.07 + 13.64] + 1.62$$

$$I_a = 30.2 A$$

Con el valor total de corriente consumida por el sistema es factible determinar el conductor adecuado para el alimentador principal del sistema; se selecciona un cable flexible calibre 12 AWG cuyas características principales se detallan en la (Tabla 2.24).

Tabla 2.24.

Características del conductor para el alimentador principal

Conductor alimentador	
Tipo	Cable Flexible TW-F 60°C - 600V
Calibre AWG	12
Sección mm ²	3.31
Amperaje	30 A
Formación	27x0.40 mm
Espesor Aislamiento	1.14 mm
Diámetro Exterior	4.67 mm
Peso Total Kg/Km	46.50

En el ANEXO M-1 se detalla las especificaciones técnicas del conductor seleccionado.

b. CONDUCTOR PARA LOS MOTORES

La corriente que debe manejar un conductor que alimenta a un motor de corriente alterna debe cumplir la (Ec. 2.70), en la cual se establece que debe soportar el 125% de la corriente nominal dividida para el factor de instalación.

$$I = 1.25 \frac{I_{PC}}{Factor}$$

Ec. 2.70.

Si se considera un factor de 0.80 que corresponde al cableado de 4 a 6 conductores portadores de corriente por ducto, es posible obtener gracias a la (Ec. 2.70), los valores de corriente que debe soportar cada uno de los conductores para los tres motores existentes en el sistema; en la (Tabla 2.25) se detalla los valores obtenidos.

Tabla 2.25.**Valores de corriente para conductores de los motores**

Corriente manejada por el conductor	
Motor Sinfín	9.5 A
Motor Ventilador	6.67 A
Motor Zaranda	4.79 A

Con estos valores de corriente es posible determinar el conductor adecuado para alimentar los motores; se tomará en cuenta únicamente el mayor valor de la corriente para la selección y se usará un mismo calibre de conductor para el cableado de los motores; en la (Tabla 2.26) se detalla la selección.

Tabla 2.26.**Características del conductor para los motores**

Conductor motor	
Tipo	Cable Flexible TW-F 60°C - 600V
Calibre AWG	14
Sección mm ²	2.08
Amperaje	25 A
Formación	30x0.30 mm
Espesor Aislamiento	1.14 mm
Diámetro Exterior	4.17 mm
Peso Total Kg/Km	32.30

En el ANEXO M-1 se detalla las especificaciones técnicas del conductor seleccionado.

c. CONDUCTOR NIQUELINA

El conductor que soporte la potencia generada por las niquelinas debe tener características especiales debido a que se encontrará en el interior del sistema de tratamiento térmico y por ende estará sometido a altas temperaturas; la (Tabla 2.27) muestra el detalle del cable seleccionado.

Tabla 2.27.**Características del conductor para la niquelina**

Conductor niquelina	
Tipo	Cable de silicona SC123 180°C-300V
Calibre AWG	12
Sección mm ²	4
Conductor	Alambre de cobre estañado
Diámetro Exterior	4.5 mm
Peso Total Kg/Km	51

En el ANEXO M-2 se detalla las especificaciones técnicas del conductor seleccionado.

d. CONDUCTOR PARA EL CIRCUITO DE CONTROL

El conductor para el circuito de control se detalla en la (Tabla 2.28), su selección se basa en el consumo de corriente total de la etapa de control la cual se calculó en la (Tabla 2.23).

Tabla 2.28.**Características del conductor circuito de control**

Conductor etapa de control	
Tipo	Cable Flexible TFF 60°C - 600V
Calibre AWG	18
Sección mm ²	0.823
Amperaje	7 A
Formación	12x0.30 mm
Espesor Aislamiento	0.76 mm
Diámetro Exterior	2.72 mm
Peso Total Kg/Km	13.43

En el ANEXO M-1 se detalla las especificaciones técnicas del conductor seleccionado.

2.5.4. DIMENSIONAMIENTO ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

Los elementos de protección son de vital importancia en todo diseño eléctrico y electrónico, ya que estos se encargan de salvaguardar la integridad de los operadores y proteger los elementos eléctricos que conforman la máquina. Por ello es necesario realizar el dimensionamiento de los elementos de protección del sistema automatizado de tratamiento térmico tanto para la etapa de potencia como para la de control. A continuación se detalla el dimensionamiento de dichos elementos.

a. DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA POTENCIA

El sistema de potencia de la máquina consta de motores, variador de frecuencia y niquelinas; para ellos se requiere realizar el dimensionamiento de los elementos de protección.

a.1. DIMENSIONAMIENTO DEL CONTACTOR

Para el dimensionamiento del contactor es necesario tener presente algunos parámetros vitales de selección, los cuales deben analizarse antes de adquirir los elementos de protección. Algunos de estas características a tener en cuenta se detallan a continuación.

- Voltaje Nominal.
- Voltaje de la bobina.
- Intensidad nominal del motor.
- Tipo de Accionamiento.
- Frecuencia.
- Categoría de utilización establecida por la norma IEC (Comisión Electrotécnica Internacional).
- Clase de Servicio.
- Números de contactos auxiliares.

Ahora es preciso mencionar que los contactores se seleccionan en base a la potencia nominal del motor y tomando en cuenta un sobredimensionamiento de 10% según la (Ec. 2.71).

$$P_{contactor} = 1.10 P_{n_{motor}}$$

Ec. 2.71.

El sistema consta de tres motores; para el dimensionamiento del contactor únicamente se considerará el más grande de ellos y con su potencia se realizará el cálculo gracias a la (Ec. 2.71).

$$P_{contactor} = 1.10 (1500)W$$

$$P_{contactor} = 1650 W$$

Al analizar los parámetros y requerimientos anteriores, en la (Tabla 2.29) se detallan las características que debe poseer el contactor.

Tabla 2.29.

Características del contactor

Dimensionamiento contactor	
Elemento	Contactor Motor
Potencia Nominal (W)	1500
Voltaje Nominal (V)	220
Corriente Nominal (A)	6.08
Categoría de Servicio	AC3
Potencia Contactor (W)	1650

Con el análisis realizado en la (Tabla 2.29) es posible seleccionar el contactor; existe un sin número de contactores de diversas marcas que cumplen estas condiciones sin embargo se ha escogido de la marca SIEMENS el tipo 3RT2015-1AP01 (Figura 2.30) cuyas características se detallan en la (Tabla 2.30).



Figura 2.30. Contactor SIEMENS 3RT2015-1AP01

FUENTE: OCTOPART. Siemens contactor. Recuperado de: <https://octopart.com/3rt2015-1ap01-siemens-22799761>

Tabla 2.30.

Características de los contactores

Contactor SIEMENS 3RT2015-1AP01	
Voltaje Nominal (V)	220
Frecuencia (Hz)	60
Voltaje de Aislamiento (Ui)	600
Categoría de Servicio	AC3
Clase de Servicio	Intermitente
N° Contactos Aux.	1 NA
Corriente (A)	7

a.2. DIMENSIONAMIENTO DEL GUARDAMOTOR

Para la selección del guardamotor es necesario referirse a la corriente nominal que consume, ya que la función que realiza dicho elemento de protección es limitar el consumo de corriente por ende de una manera indirecta lo protege contra cortocircuito, pérdida de fase y sobrecarga.

Para la selección del mismo al igual que en el caso anterior se seleccionó un guardamotor de la marca SIEMENS modelo 3RV2011-1HA10 (Figura 2.31), cuyas características se detallan en la (Tabla 2.31).



Figura 2.31. Guardamotor SIEMENS 3RV2011-1HA10

FUENTE: ELECTROROMANIA. Guardamotor Siemens. Recuperado de: <http://electroromania.ro/3rv2011-1ha10-motorstarter--siemens--5-5-a-8-a-s00/306.htm>

Tabla 2.31.

Características del guardamotor

Guardamotor SIEMENS 3RV2011-1HA10	
Regulación Bimetálico (A)	5.5-8
Cortocircuito (A)	104
Contacto Auxiliar	No

a.3. DIMENSIONAMIENTO DE FUSIBLE

El dimensionamiento del fusible viene dado principalmente por las características del variador de frecuencia que se detallan en el ANEXO G-4; como se indica allí la corriente de entrada a 230 V es 9A por lo tanto el fusible recomendado para protección de este elemento debe ser de 16 A, por lo que se ha seleccionado un fusible cilíndrico de cerámica marca DIXSEN (Figura 2.32) con capacidad 16 A cuyas características son mostradas en la (Tabla 2.32).



Figura 2.32. Fusible cilíndrico y base para fusible

FUENTE: YESS. Fusible cerámico 16 A. Recuperado de: <http://www.yesss-fr.com/c1006101/appareillage-et-installation/protection-cartouches-fusibles-domestique-sans-voyant-taille-10-3x25-8.php?c=2692>

Tabla 2.32.

Características de los fusibles

DIXSEN FUSIBLE 16 A	
Tipo	Fusible Cilíndrico de Cerámica gG
Tensión Asignada	500 V AC – 50-60 Hz
Poder de corte	100 KA
Grado de Protección de la base	IP20
Tamaño	10x38 mm

b. DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA CONTROL

b.1. DIMENSIONAMIENTO DEL INTERRUPTOR ELECTROMAGNÉTICO

El interruptor electromagnético comúnmente conocido como breaker protege al sistema ante una sobrecarga instantánea, por medio de este elemento de protección se resguardará la integridad de los elementos de control PLC, módulos de ampliación, solenoide, touch panel.

Para dimensionar el interruptor electromagnético o breaker se considera la carga total instalada en la etapa de control y se multiplica por el factor de demanda provisto para cada equipo. El factor de demanda será considerado al 100% para el respectivo cálculo lo cual supone que todos los elementos de

control estarán activos. En la (Tabla 2.33) se muestra el análisis de cargas instalada

Tabla 2.33.

Carga instalada en control

Elemento	Carga Instalada [W]	Factor de Demanda FD [%]	Carga Total [W]
PLC	12	100	12
Módulos de Ampliación	2.64	100	2.64
Touch Panel	9	100	9
Fuente Voltaje 24DC	60	100	60
Bobina del Contactor	3x27	100	81
Bobina de la Electroválvula	3.5	100	3.5
Subtotal de Carga			168.14

La corriente consumida por la totalidad del sistema de control se obtiene según la (Ec. 2.72).

$$I_{ct} = \frac{P}{V}$$

Ec. 2.72.

Donde:

I_{ct} Corriente Total Consumida (A).

P Carga Total (Watt).

V Voltaje de Fuente (V).

Reemplazando los valores en la (Ec. 2.72), se obtiene:

$$I_{ct} = \frac{168.14}{220}$$

$$I_{ct} = 0.764 \text{ A}$$

Con el valor de corriente hallado se escoge un interruptor electromagnético siendo el más adecuado un Siemens tipo 5Sx1201-7 (Figura

2.33) cuya corriente térmica es de 1A y una capacidad de ruptura a 220V de 10kA.



Figura 2.33. Interruptor electromagnético

FUENTE: SKA. Clases de Eléctrica básica. [Blog]. Recuperado de: <http://www.skaviados.net/articulos-libros-estudios/13071-clases-de-electrica-basica.html>

b.2. DIMENSIONAMIENTO DE FUSIBLE

El dimensionamiento del fusible que protegerá a la etapa de control depende de la corriente consumida por los elementos que conforman esta parte del sistema en la (Tabla 2.23) se detalló el consumo de estos componentes por lo cual se ha decidido utilizar un fusible cilíndrico de cerámica con capacidad 2A para su protección. Las características técnicas de estos fusibles se muestran en la (Tabla 2.34).

Tabla 2.34.

Características de los fusibles sistema de control

Fusible 2A	
Tipo	Fusible Cilíndrico de Cerámica gG
Tensión Asignada	230-400 V AC – 50-60 Hz
Tensión de Aislamiento	Ui:2000 V
Poder de corte	20 KA
Grado de Protección de la base	IP20
Tamaño	10x38 mm

CAPÍTULO III

3. IMPLEMENTACIÓN Y MONTAJE

3.1. INTRODUCCIÓN

Una vez concluida la fase de diseño del sistema automatizado de tratamiento térmico se da paso al proceso de construcción, implementación y montaje de los elementos mecánicos y eléctricos que conforman los distintos subsistemas de la máquina para poder proceder con la implementación final y global del sistema total; este capítulo se enfoca en detallar los procesos ejecutados en el área mecánica, eléctrica y de control para poder materializar el diseño y dar inicio a la puesta en marcha de la máquina realizando pruebas de funcionamiento y corrección de fallas; en el ANEXO O se puede observar fotos reales de la construcción de cada uno de los componentes del sistema hasta el resultado final.

3.2. IMPLEMENTACIÓN SISTEMA MECÁNICO

La implementación del sistema mecánico incluye la fabricación de todos los elementos que forman parte de la máquina; estos de acuerdo al ANEXO P, de los cuales se analizará su proceso constructivo después de su diseño y selección en el capítulo anterior.

Mediante el uso de diagramas de operación de proceso se mostrará en una secuencia cronológica todas las operaciones, inspecciones, márgenes de tiempo y materiales a utilizar en cada uno de los procesos de fabricación, desde la llegada de la materia prima hasta el empaque del producto terminado. A continuación se detallan los diagramas de operación de procesos para los componentes más representativos del sistema automatizado de tratamiento térmico.

3.2.1. DIAGRAMA DE OPERACIÓN DE FABRICACIÓN DEL TRANSPORTADOR POR TORNILLO SINFIN

a. FABRICACIÓN ARTESA

La fabricación de la artesa o cama del tornillo sinfín se efectuó de acuerdo a los planos mecánicos detallados en el ANEXO P-PMC18 con plancha de acero inoxidable AISI 201 de 1.2mm de espesor; los procesos utilizados para su elaboración se detallan en el diagrama de la (Figura 3.1).

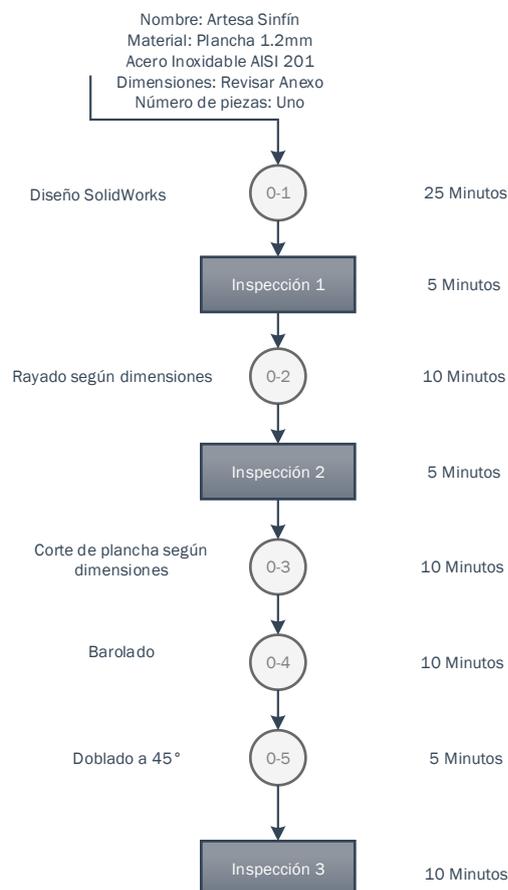


Figura 3.1. Diagrama de proceso fabricación artesana

b. FABRICACIÓN TRANSPORTADOR HELICOIDAL

La fabricación del transportador helicoidal o tornillo sinfín se efectuó de acuerdo a los planos mecánicos detallados en el ANEXO P-PMC21 con plancha de acero inoxidable AISI 201 de 1.2mm de espesor; para armar el

cuerpo del transportador se empleó tubo de acero inoxidable de 40mm de diámetro; los procesos utilizados para su elaboración se detallan en el diagrama de la (Figura 3.2).

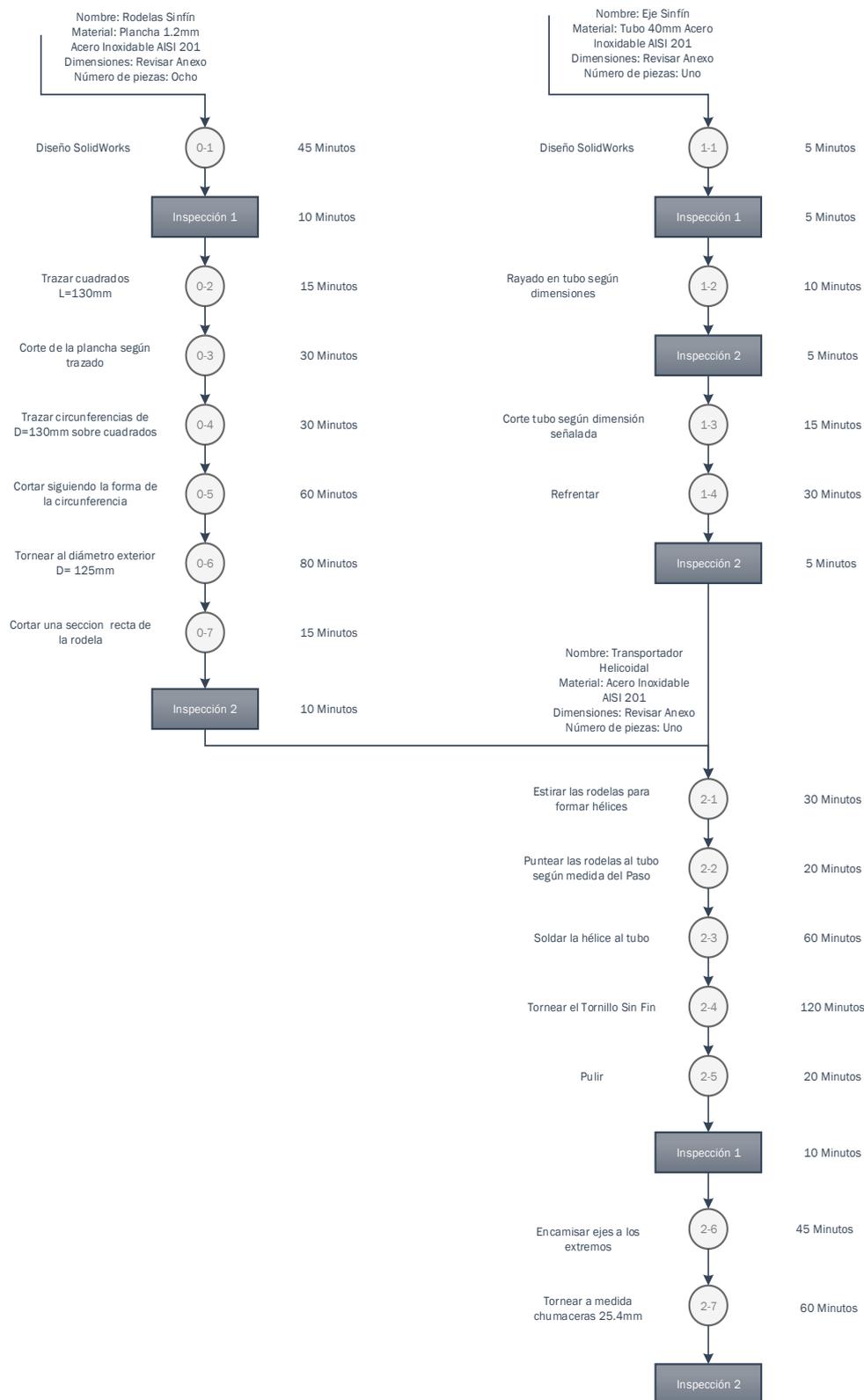


Figura 3.2. Diagrama de proceso fabricación transportador helicoidal

c. FABRICACIÓN COMPUERTA DEL TRANSPORTADOR Y TAPAS LATERALES

La fabricación de la compuerta y tapas laterales del transportador se efectuó de acuerdo a los planos mecánicos detallados en el ANEXO P-PMC19 y P-PMC24 con plancha de acero inoxidable AISI 201; los procesos utilizados para su elaboración se detallan en el diagrama de la (Figura 3.3).

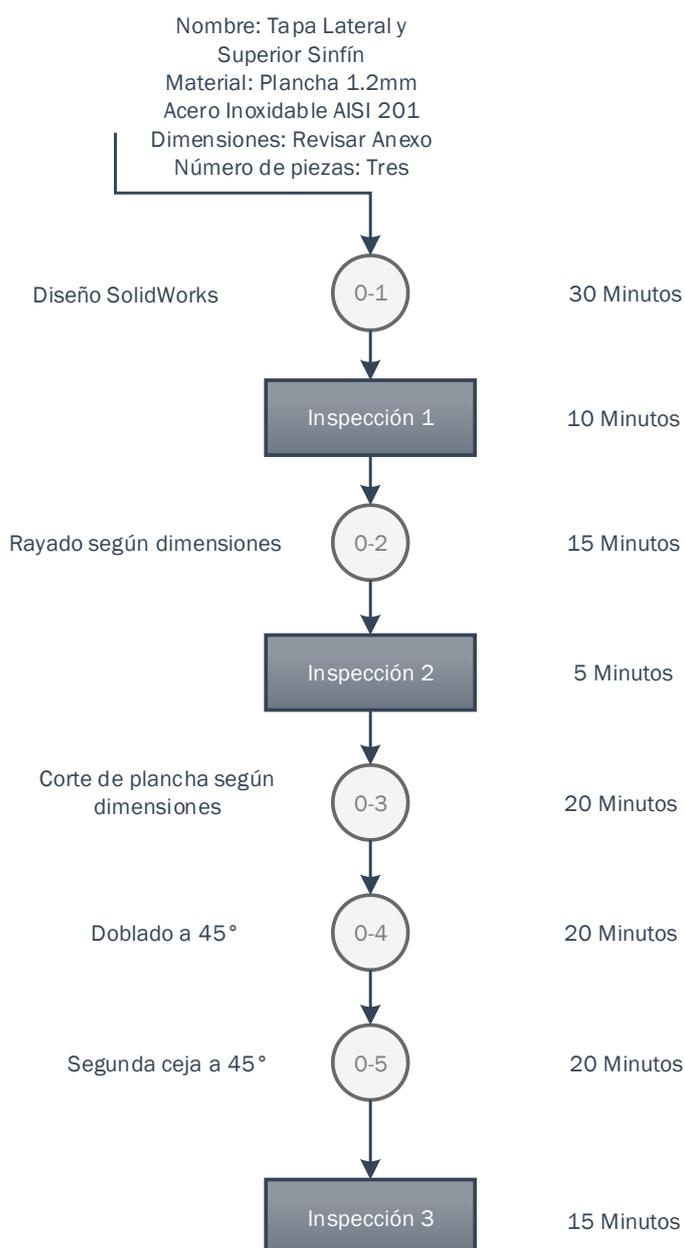


Figura 3.3. Diagrama de proceso fabricación compuerta superior y laterales

d. FABRICACIÓN TOLVA DE ALMACENAMIENTO

La fabricación de la tolva de almacenamiento se efectuó de acuerdo a los planos mecánicos detallados en el ANEXO P-PMC20 con plancha de acero inoxidable AISI 201 de 1.2mm de espesor; los procesos utilizados para su elaboración se detallan en el diagrama de la (Figura 3.4).

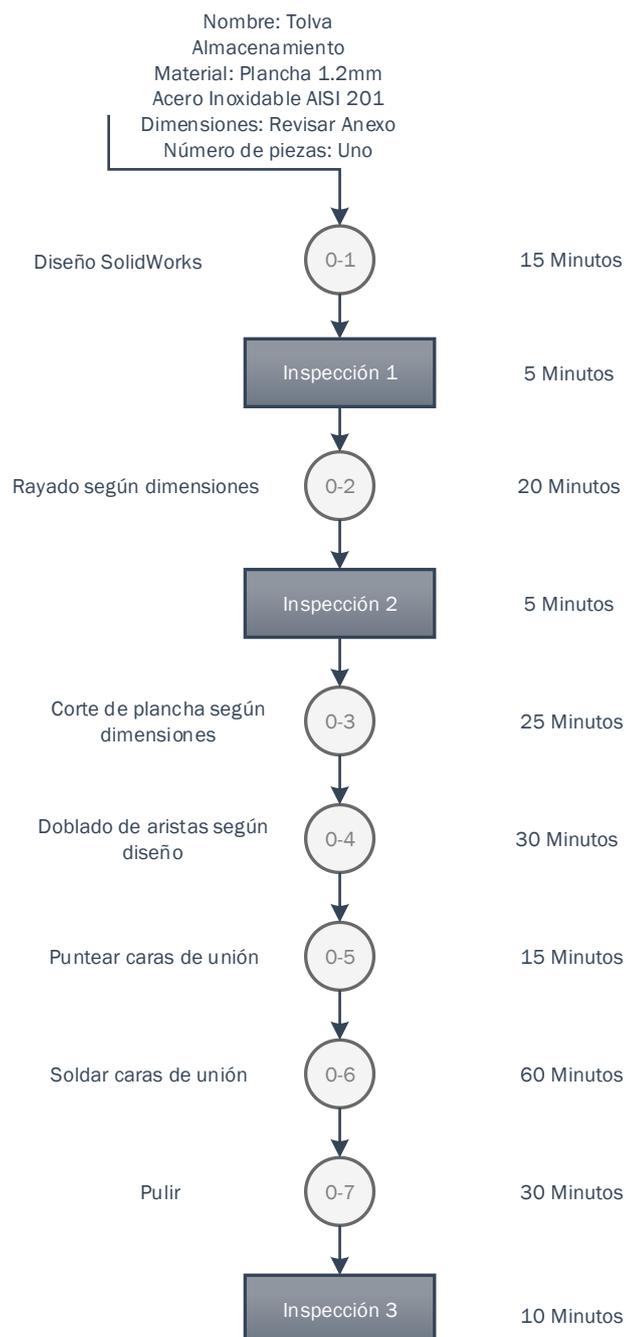


Figura 3.4. Diagrama de proceso fabricación tolva de almacenamiento

3.2.2. DIAGRAMA DE OPERACIÓN DE FABRICACIÓN DE LA CÁMARA DE TRATAMIENTO

a. FABRICACIÓN DEFLECTORES

Los deflectores o caras frontales se construyeron de acuerdo a los planos detallados en el ANEXO P-PMC07 utilizando como material planchas de acero laminada al frío ASTM-A36 de 3mm de espesor. Los procesos utilizados para su elaboración se presentan en el diagrama de la (Figura 3.5).

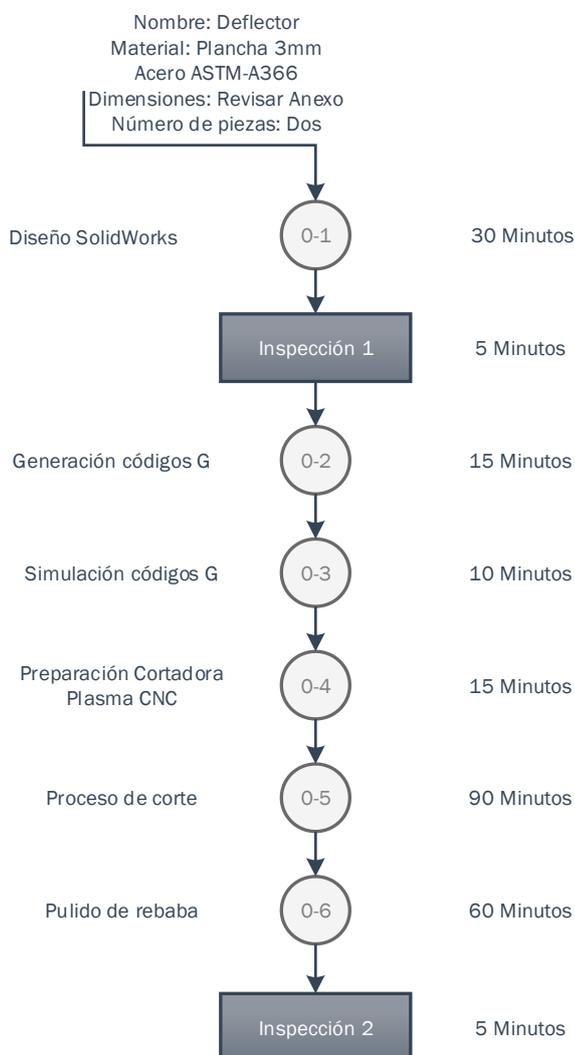


Figura 3.5. Diagrama de proceso fabricación deflectores

b. FABRICACIÓN TUBERÍA INTERNA

La fabricación de la tubería interna se efectuó con tubo redondo ASTM-A513 de 38.1mm de diámetro y 1.5mm de espesor; los procesos utilizados para su elaboración se detallan en el diagrama de la (Figura 3.6).

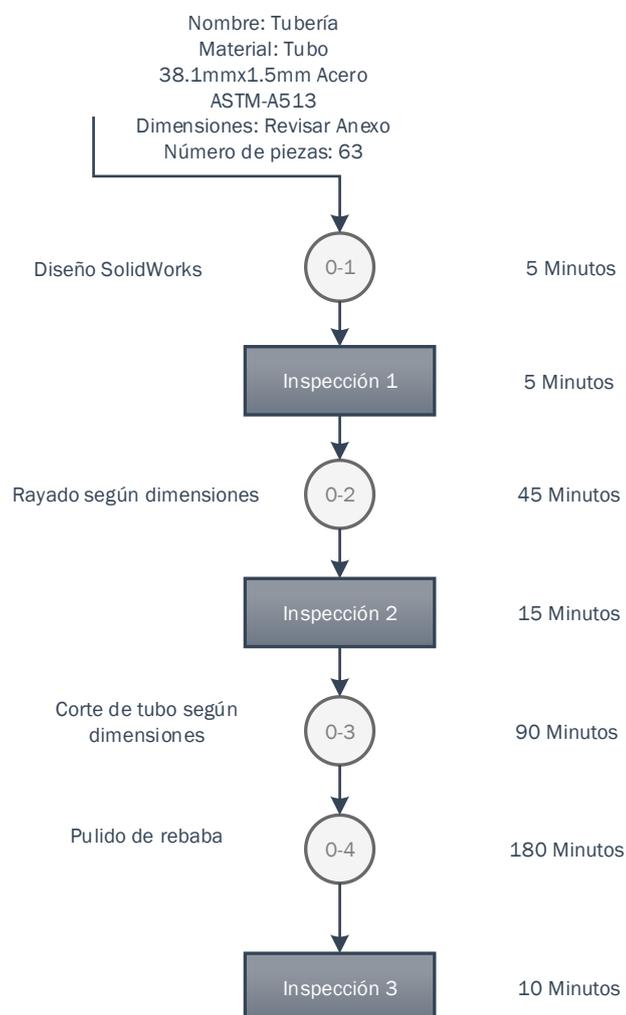


Figura 3.6. Diagrama de proceso fabricación tubería interna

c. FABRICACIÓN SOMBRERO CHINO

La fabricación del sombrero chino se efectuó de acuerdo a los planos mecánicos detallados en el ANEXO P-PMC10 con plancha de acero ASTM-A36 de 3mm de espesor; los procesos utilizados para su elaboración se detallan en el diagrama de la (Figura 3.7).

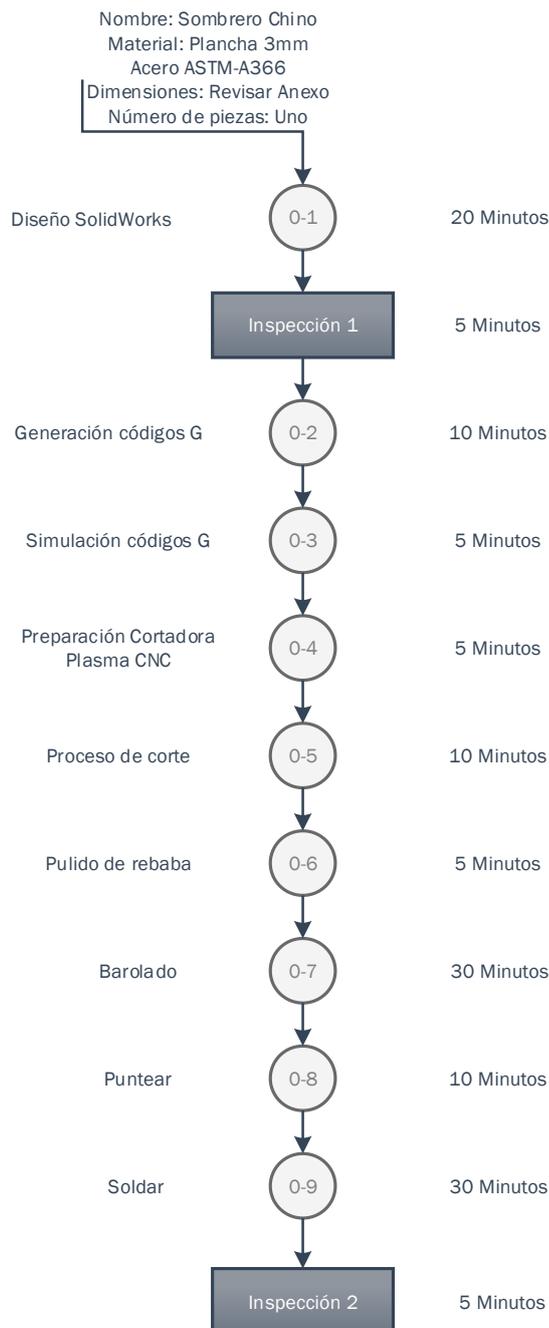


Figura 3.7. Diagrama de proceso fabricación sombrero chino

d. FABRICACIÓN CARCASA INTERNA

La fabricación de la carcasa interna se efectuó de acuerdo a los planos mecánicos detallados en el ANEXO P-PMC06 con plancha de acero ASTM-A36 de 2mm de espesor; los procesos utilizados para su elaboración se detallan en el diagrama de la (Figura 3.8).

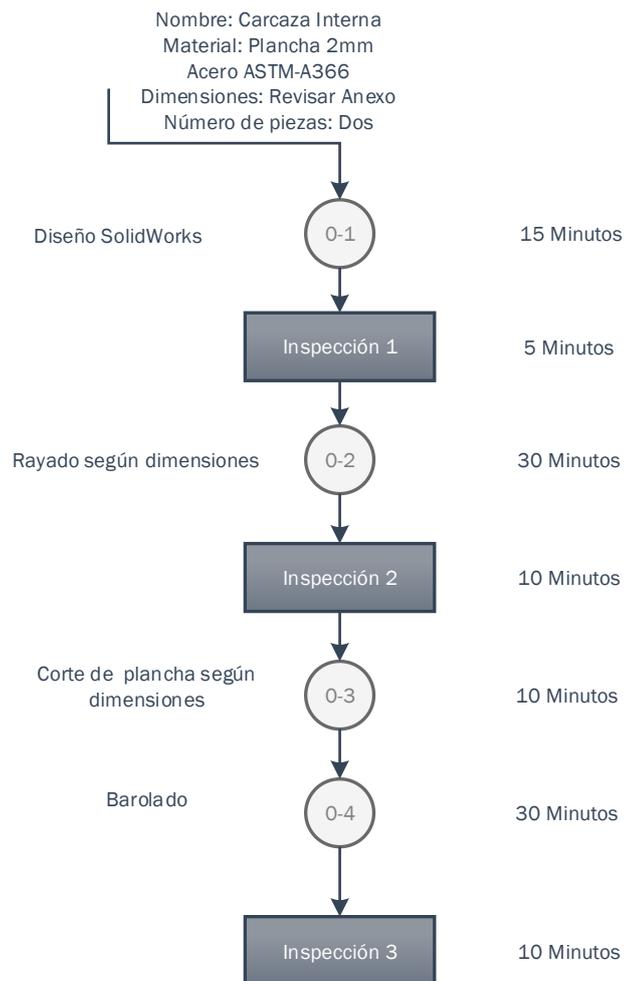


Figura 3.8. Diagrama de proceso fabricación carcasa interior

e. FABRICACIÓN CARCASA EXTERIOR

La fabricación de la carcasa exterior se efectuó de acuerdo a los planos mecánicos detallados en el ANEXO P-PMC12 con plancha de acero inoxidable AISI 201 de 1.2mm de espesor; como aislante térmico se aplicó una capa de poliuretano rígido de 25mm de espesor en las paredes de la carcasa; los procesos utilizados para su elaboración se detallan en el diagrama de la (Figura 3.9).

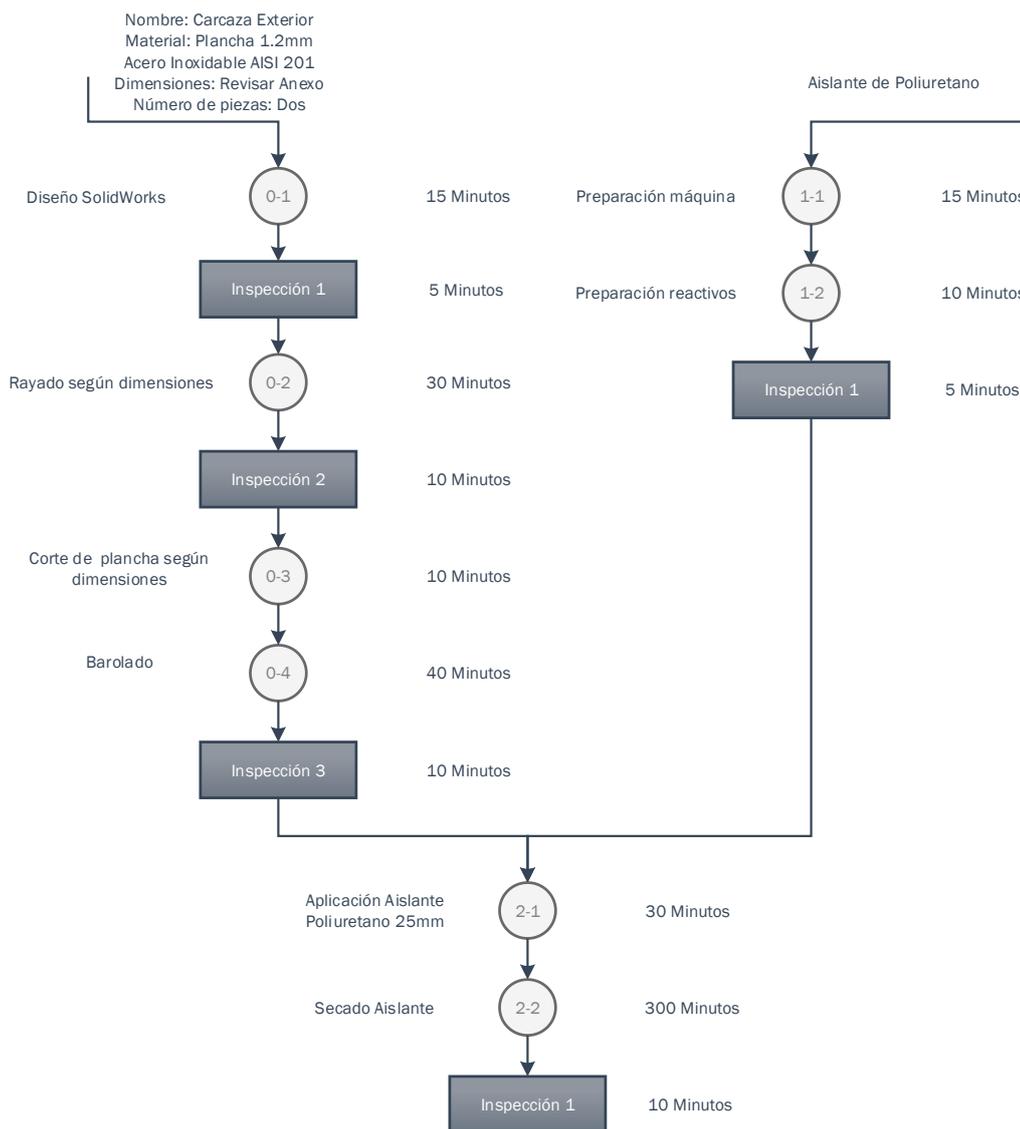


Figura 3.9. Diagrama de proceso fabricación carcasa exterior

3.2.3. DIAGRAMA DE OPERACIÓN DE FABRICACIÓN DE LA COMPUERTA DE DESCARGA

a. FABRICACIÓN RIEL COMPUERTA DE DESCARGA

La fabricación del riel de la compuerta de descarga se efectuó de acuerdo a los planos mecánicos detallados en el ANEXO P-PMC16 con plancha de acero inoxidable AISI 201 de 2mm de espesor; los procesos utilizados para su elaboración se detallan en el diagrama de la (Figura 3.10).

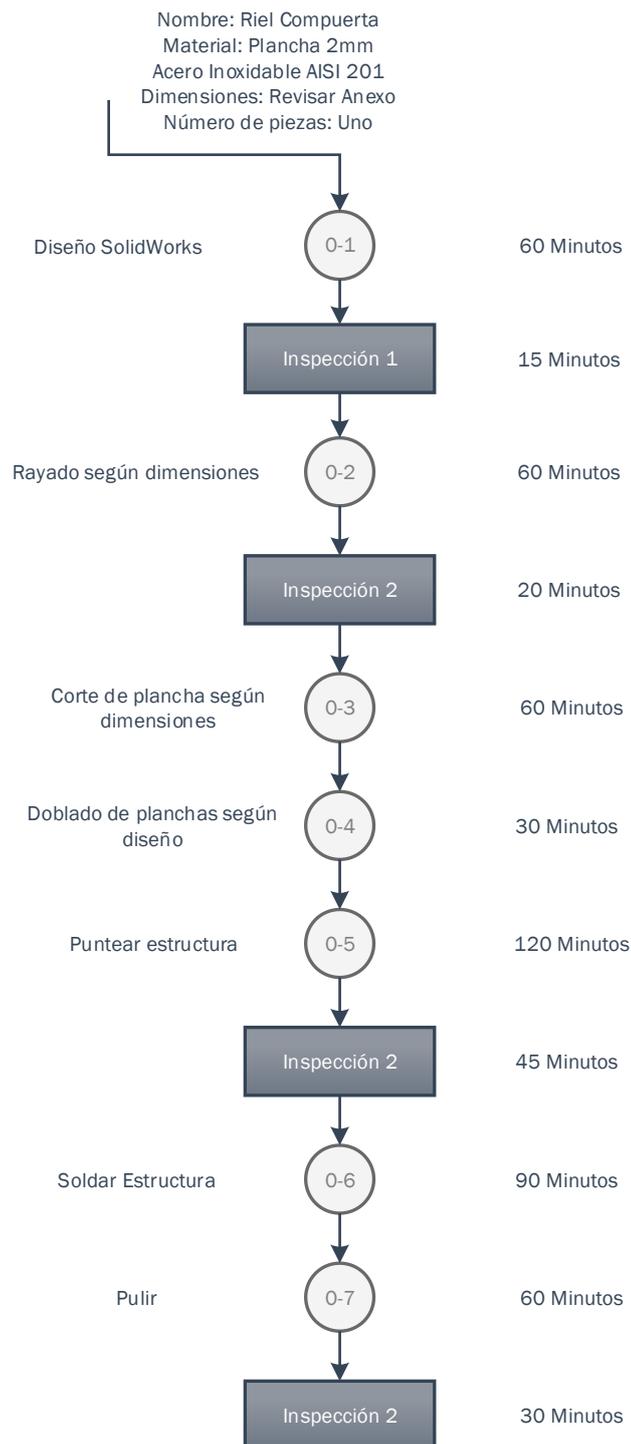


Figura 3.10. Diagrama de proceso fabricación riel compuerta descarga

b. FABRICACIÓN COMPUERTA DESCARGA

La fabricación de la compuerta de descarga se efectuó de acuerdo a los planos mecánicos detallados en el ANEXO P-PMC15 con plancha de acero

inoxidable AISI 201 de 2mm de espesor; los procesos utilizados para su elaboración se detallan en el diagrama de la (Figura 3.11).

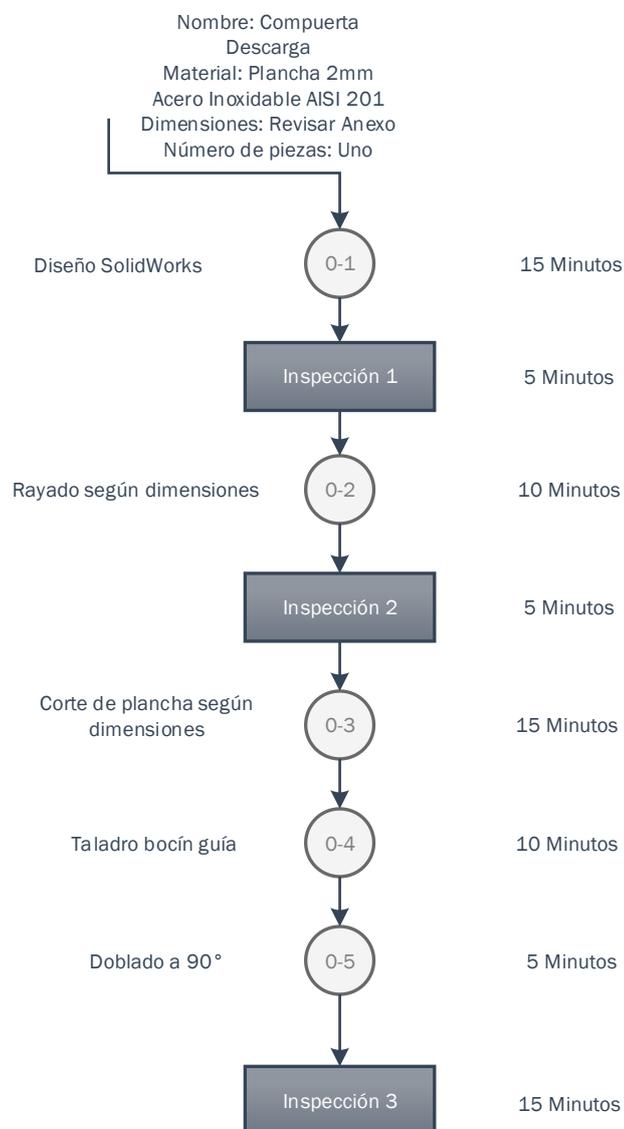


Figura 3.11. Diagrama de proceso fabricación compuerta descarga

3.2.4. DIAGRAMA DE OPERACIÓN DE FABRICACIÓN DEL TRANSPORTADOR VIBRATORIO

a. FABRICACIÓN DISCO EXCÉNTRICO

La fabricación del disco excéntrico se efectuó de acuerdo a los planos mecánicos detallados en el ANEXO P-PMC29 con eje de acero AISI 1020 de

76.2mm de diámetro; los procesos utilizados para su elaboración se detallan en el diagrama de la (Figura 3.12).

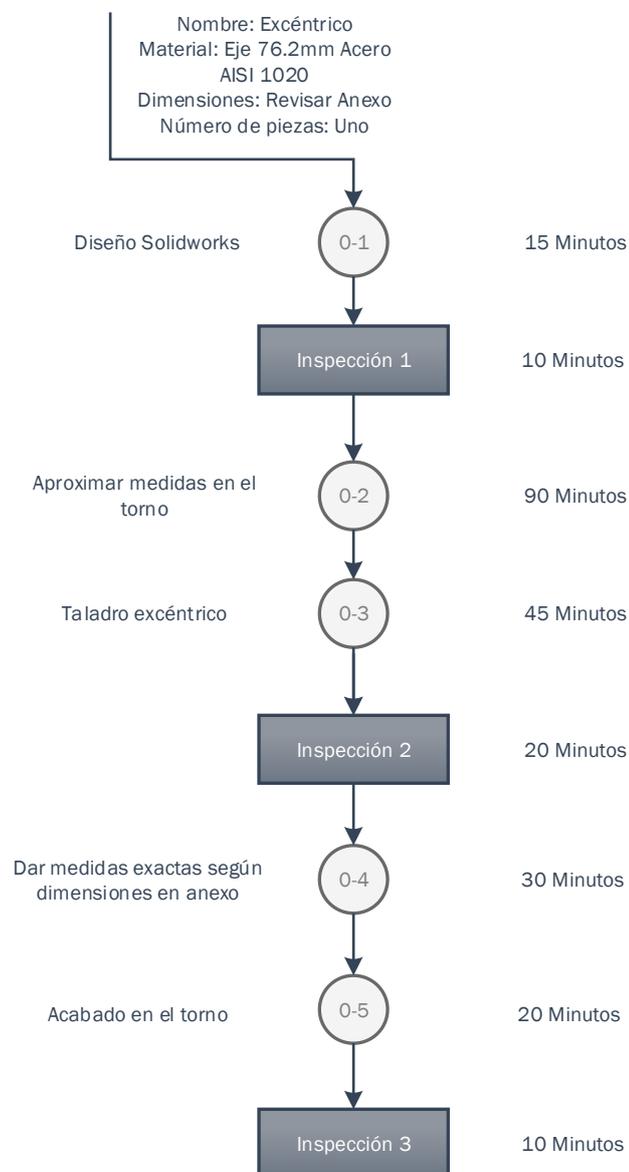


Figura 3.12. Diagrama de proceso fabricación disco excéntrico

b. FABRICACIÓN BASE Y TAPA PARA DISCO EXCÉNTRICO

La fabricación de la base y tapa para el disco excéntrico se efectuó de acuerdo a los planos mecánicos detallados en el ANEXO P-PMC30 y P-PMC31 con eje de acero AISI 1020 de 101.6mm de diámetro; los procesos utilizados para su elaboración se detallan en el diagrama de la (Figura 3.13).

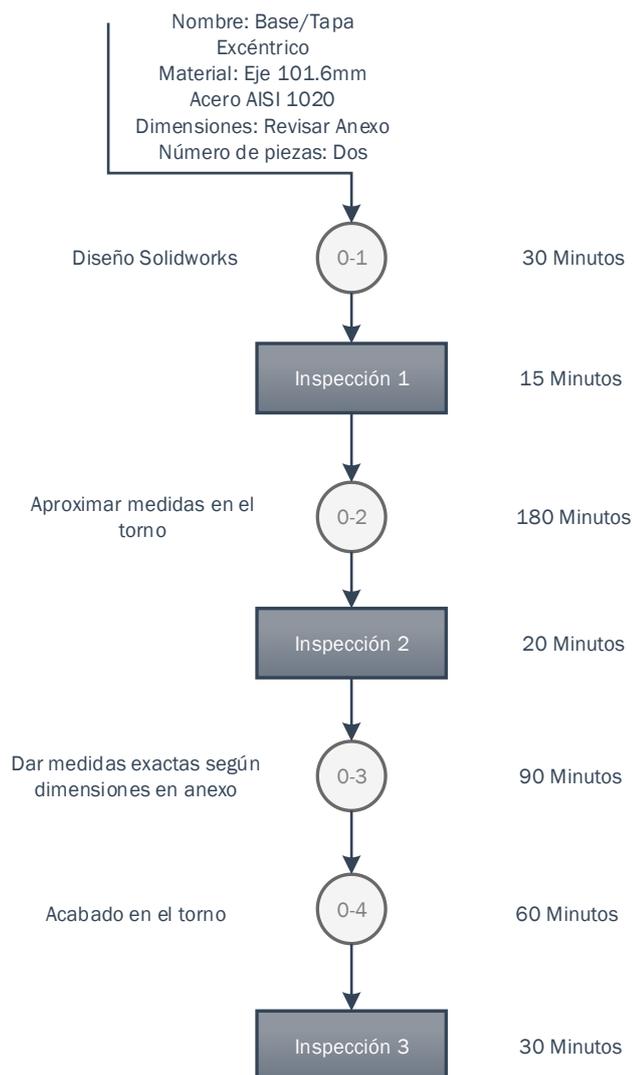


Figura 3.13. Diagrama de proceso fabricación base y tapa disco excéntrico

c. FABRICACIÓN ZARANDA

La fabricación de la zaranda se efectuó de acuerdo a los planos mecánicos detallados en el ANEXO P-PMC36 con plancha de acero inoxidable AISI 201 de 1.2mm de espesor; los procesos utilizados para su elaboración se detallan en el diagrama de la (Figura 3.14).

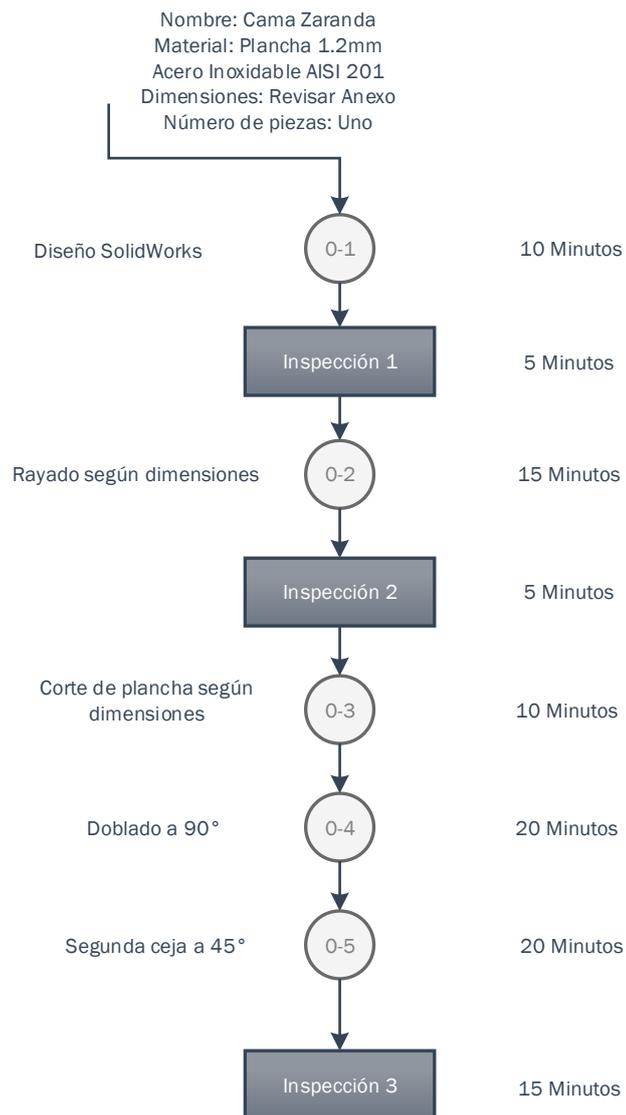


Figura 3.14. Diagrama de proceso fabricación cama zaranda

3.3. MONTAJE Y ENSAMBLAJE DEL SISTEMA Y SUBSISTEMAS MECÁNICOS

Dentro de los pasos a seguir para la implementación mecánica del sistema de tratamiento térmico es necesario realizar el montaje y ensamblaje de los subsistemas que forman parte de la máquina; es decir, se requiere armar por separado los distintos componentes del sistema como son el transportador sinfín, la cámara de tratamiento, la compuerta de descarga y el transportador vibratorio; todo esto para posteriormente realizar un montaje final del sistema y comprobar su funcionamiento conjunto.

3.3.1. ENSAMBLAJE DEL TRANSPORTADOR POR TORNILLO SINFÍN

El ensamblaje del transportador por tornillo sinfín se muestra en la (Figura 3.15) para su realización se requiere de métodos de sujeción para sostener juntas en dos o más partes. Para este caso en concreto, el método de sujeción implica el uso de sujetadores roscados como pernos, tornillos y tuercas que permiten tener una facilidad de ensamble y desensamble.

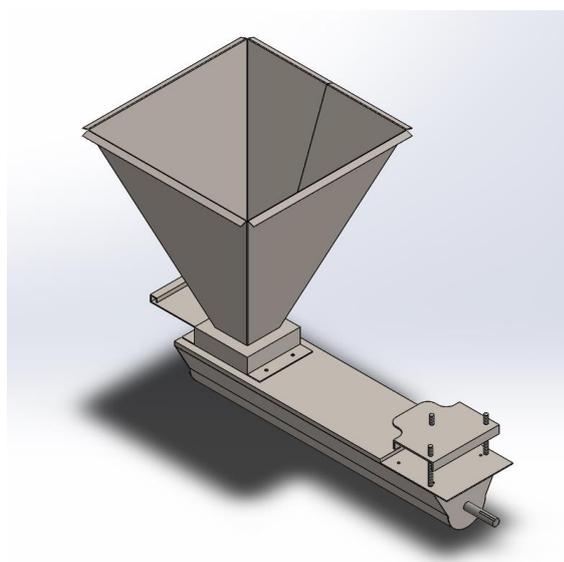


Figura 3.15. Ensamblaje transportador tornillo sinfín

Como sujetadores roscados se ha escogido utilizar pernos de cabeza hexagonal, rodela y tuercas elaboradas en acero inoxidable, que es el mismo material con que se ha construido el resto de piezas mecánicas, de esta manera se reduce al máximo el efecto de la corrosión galvánica que sería producida por la mezcla de distintos materiales metálicos en contacto directo.

3.3.2. ENSAMBLAJE CÁMARA DE TRATAMIENTO

El ensamblaje de la cámara de tratamiento se muestra en la (Figura 3.16) para su realización además de la necesidad de usar sujetadores roscados como pernos y tuercas se requiere el uso de soldadura como fijación permanente para algunos componentes de la cámara como las tuberías y la estructura de soporte de la carcasa exterior.

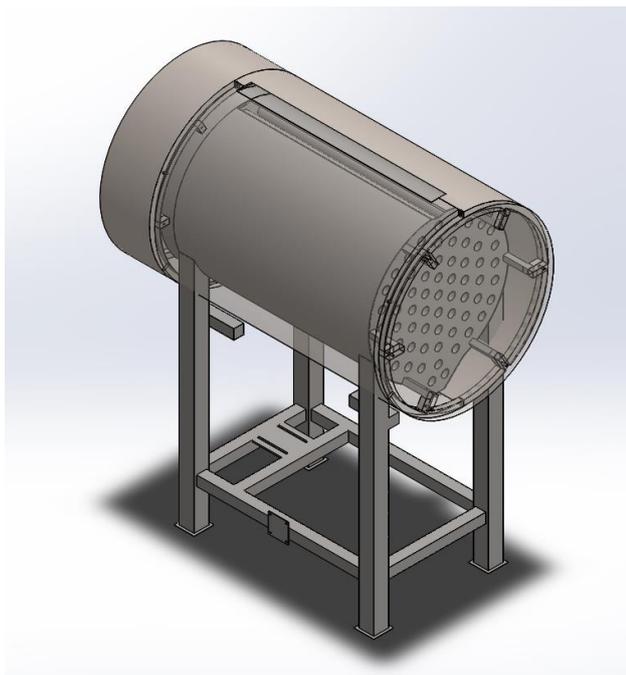


Figura 3.16. Ensamblaje cámara de tratamiento

3.3.3. ENSAMBLAJE COMPUERTA DE DESCARGA

El ensamblaje de la compuerta de descarga se muestra en la (Figura 3.17) para su realización se debe considerar valores de tolerancia mínimos; debido a la necesidad de alcanzar una apertura y cierre de la compuerta apropiados; evitando así problemas en el momento de descargar del producto como atascamientos de la compuerta. Para su implementación se usaron métodos de sujeción fijos como soldadura, además de sujetadores roscados para su acoplamiento al sistema general.

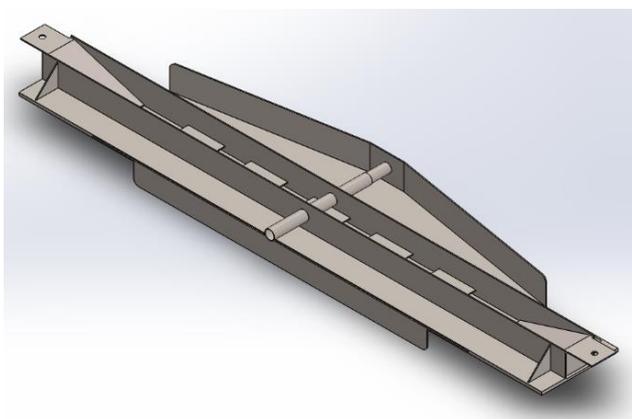


Figura 3.17. Ensamblaje compuerta descarga

3.3.4. ENSAMBLAJE TRANSPORTADOR VIBRATORIO

El ensamblaje del transportador vibratorio se muestra en la (Figura 3.18) para su implementación se requirió el uso de sujetadores roscados además de mecanismos que faciliten su funcionamiento como rodamientos y chumaceras; además se recurrió al uso de pernos prisioneros para asegurar la rotación del eje y de seguros exteriores para garantizar la posición de los componentes del disco excéntrico.

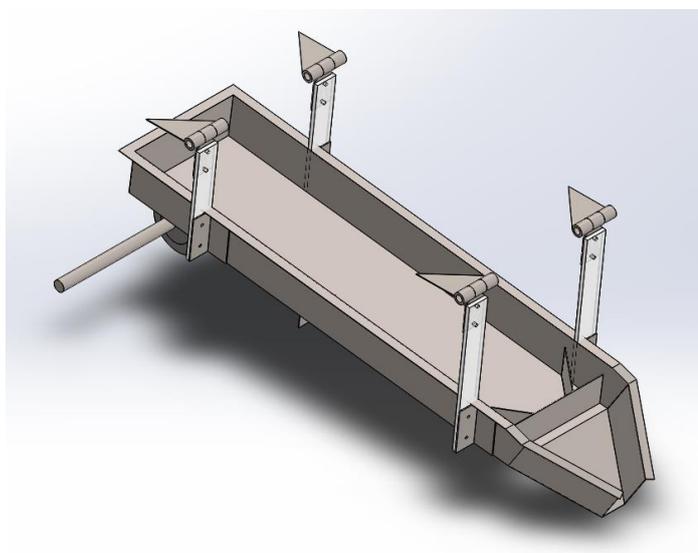


Figura 3.18. Ensamblaje transportador vibratorio

3.3.5. MONTAJE FINAL SISTEMA MECÁNICO

Para el montaje del sistema es necesario contar con todos los subsistemas listos y funcionales para proceder con el ensamblaje final como se muestra en la (Figura 3.19); para continuar con este paso se requirió de un minucioso proceso de inspección de cada uno de los elementos previamente ensamblados y de un orden preestablecido para que no exista problemas ni colisiones en el instante del montaje.

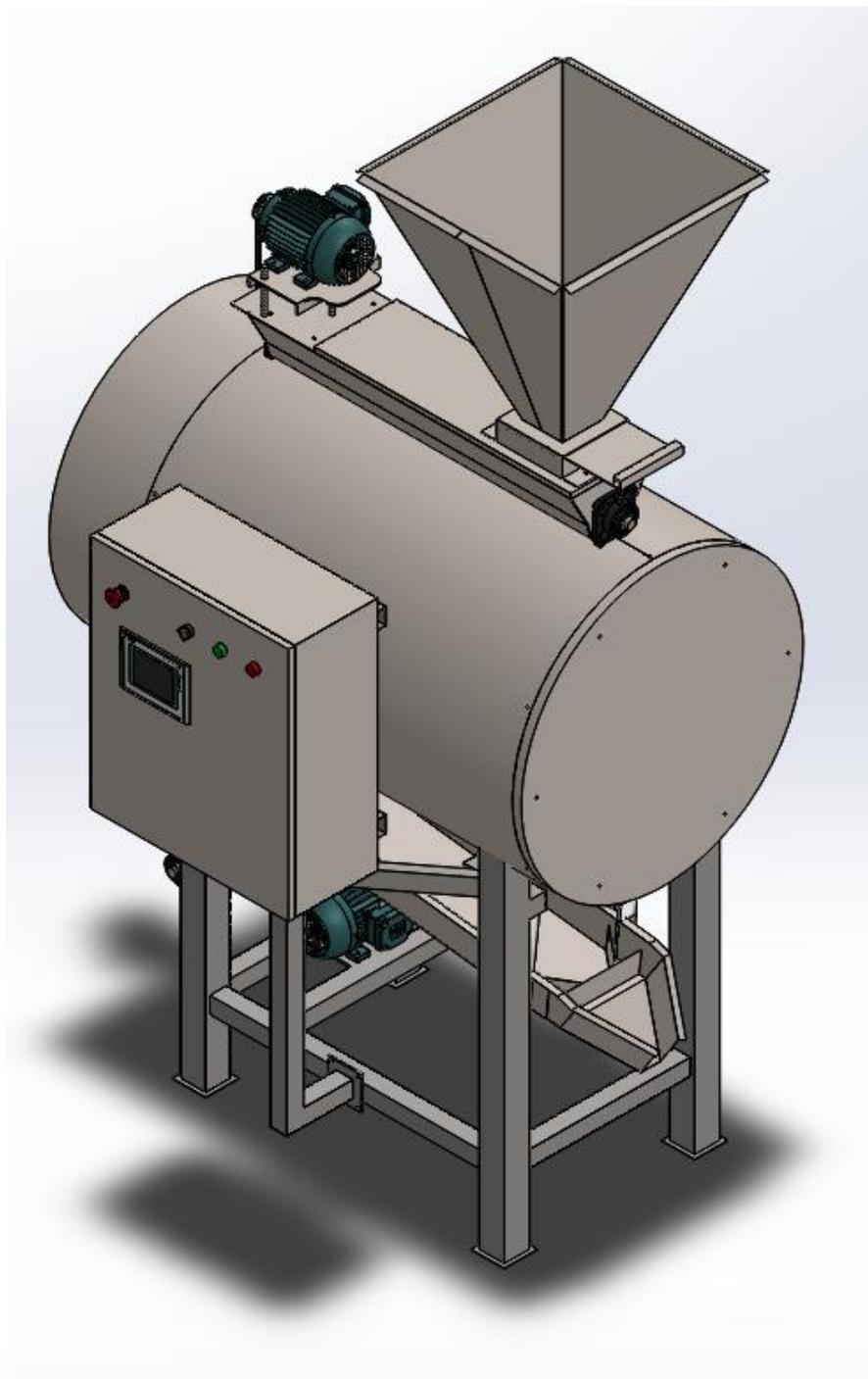


Figura 3.19. Montaje final

En la (Figura 3.20) se detalla el diagrama de proceso de montaje final; al igual que en los ensamblajes previos fue necesario el uso de sujetadores roscados, rodela y tuercas facilitando así su montaje y en caso de ser necesario para mantenimientos posteriores haciendo posible su desensamble.

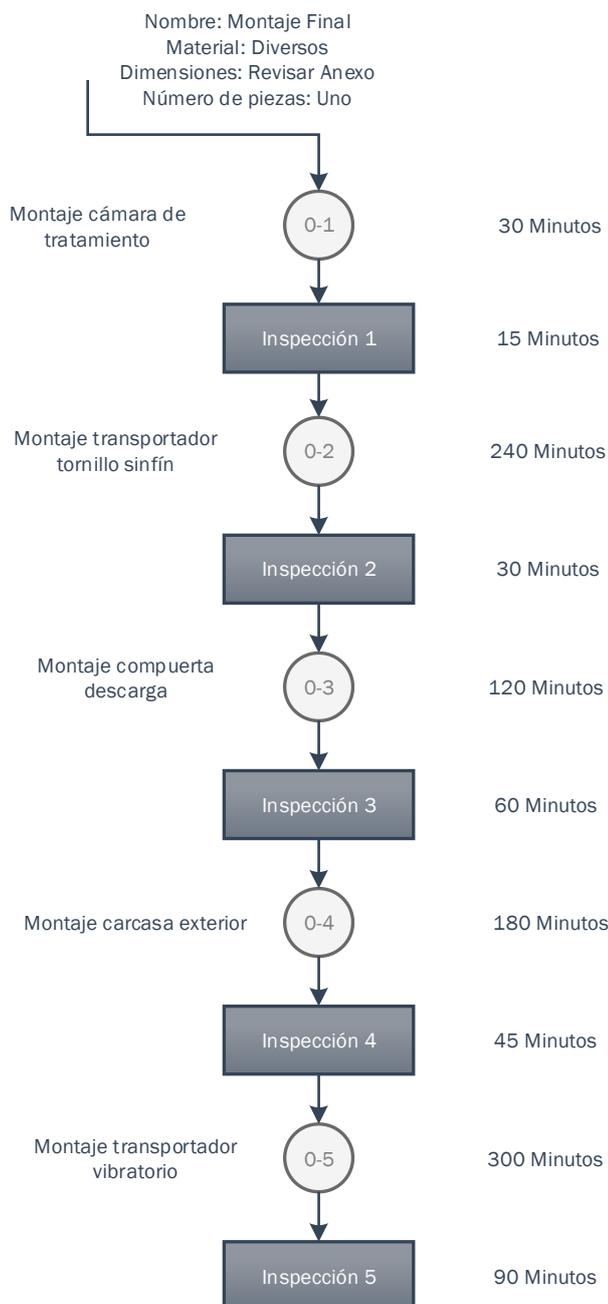


Figura 3.20. Diagrama de proceso montaje final

3.4. IMPLEMENTACIÓN SISTEMA ELÉCTRICO

Para su implementación es necesario tener presente los parámetros designados en la fase de diseño eléctrico y electrónico del sistema automatizado de tratamiento térmico; a continuación se detallan las partes más representativas y críticas de la implementación eléctrica del sistema.

3.4.1. TABLERO DE CONTROL

La correcta distribución e implementación del tablero de control es fundamental para asegurar el óptimo funcionamiento del sistema de tratamiento térmico. Es necesario tener presente la correcta ubicación de cada uno de los componentes eléctricos que forman parte del sistema para asegurar su correcta instalación según las normas que dicta cada elemento; en la (Figura 3.21) se detalla un diseño de la ubicación de los elementos, partiendo de la distribución del PLC, variador de frecuencia, guardamotores, contactores, fuente DC, breakers y fusibles.

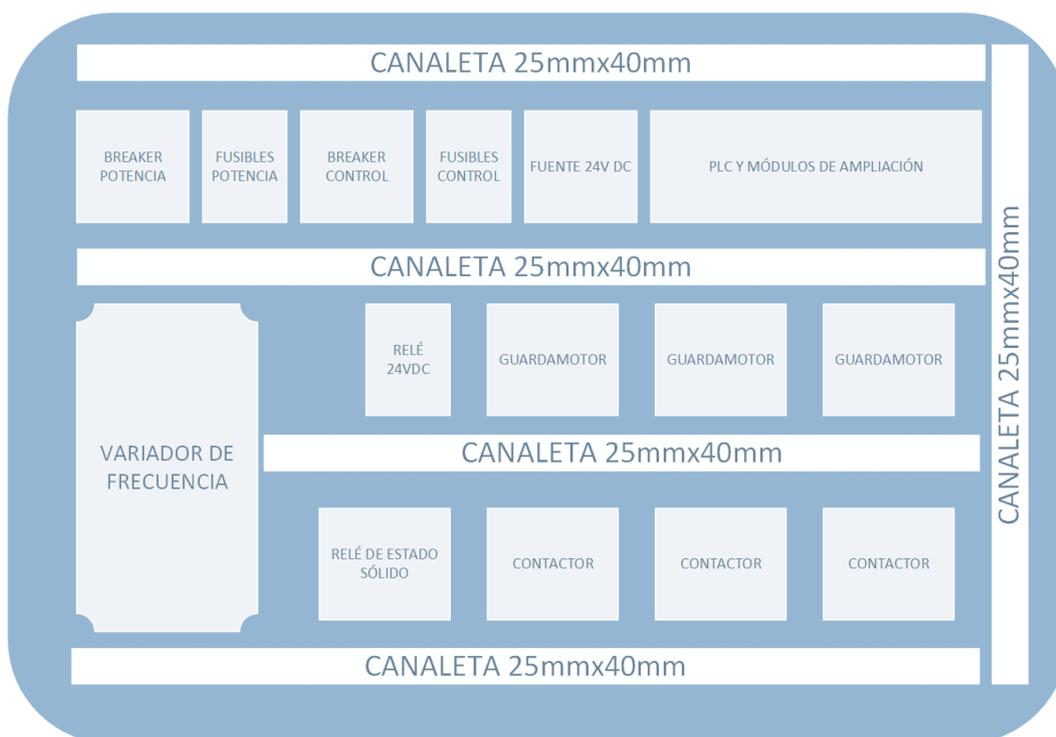


Figura 3.21. Distribución de panel de control

Es importante destacar que los cables de alimentación y de señales deben tener un tendido correcto y una dimensión apropiada evitando las longitudes innecesarias y reduciendo el uso de conductor al máximo para evitar caídas de tensión o afectación generadas por el ruido.

a. CONEXIONES INTERNAS

Para la implementación de las conexiones internas del tablero de control es necesario mantener un orden y una distribución adecuada; para ello se implementó riel tipo DIN de 35mm para montar los elementos además de canaleta plástica ranurada de 25mmX40mm para el cableado ordenado de los conductores como se muestra en la (Figura 3.22).



Figura 3.22. Conexiones internas tablero de control

Como se indicó en el capítulo de diseño el conductor a usarse para las conexiones internas del circuito de control es cable flexible TFF AWG 18 tanto para las salidas y entradas digitales del PLC como para la activación de las bobinas de los contactores; para las señales analógicas del PLC se usa cable flexible TFF AWG 18 blindado.

El detalle de las conexiones de la etapa de control se detalla en el ANEXO Q-PEC01.

3.4.2. CABLEADO MOTORES Y NIQUELINAS

Para el cableado de los motores y la etapa de potencia del sistema eléctrico se usó como se indicó en el diseño del dimensionamiento del conductor cable flexible TW-F AWG 14; mientras que las niquelinas son alimentadas con un conductor flexible THHN AWG 12 cuya característica principal es su resistencia a altas temperaturas.

El detalle de las conexiones de la etapa de potencia se detalla en el ANEXO Q-PEC02.

3.4.3. CABLEADO SENSORES

La necesidad de sensores es indispensable en la automatización de procesos industriales; en el sistema automatizado de tratamiento térmico se emplea dos sensores para su funcionamiento, a continuación se detalla la conexión requerida para ambos.

a. CONEXIÓN RTD-PT100

Para controlar la temperatura a la cual trabaja la cámara de tratamiento es necesario emplear el uso de un sensor de temperatura; para asegurar su correcto funcionamiento es fundamental reconocer el tipo de RTD-PT100 que se emplea y los terminales del módulo de expansión del PLC.

La (Figura 3.23) muestra los terminales de una PT100 estándar de 3 hilos; dichos colores y conexiones se basan en la norma IEC751 la cual especifica que los cables conectados al mismo extremo de la resistencia sean del mismo color ya sea rojo o blanco y que los cables en cada extremo sean diferentes.

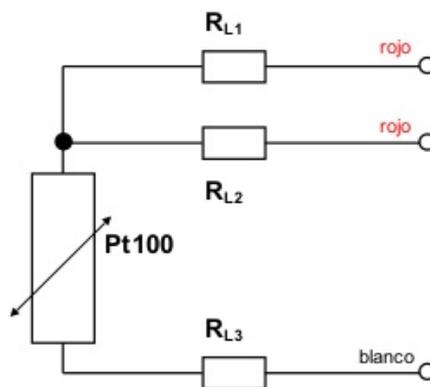
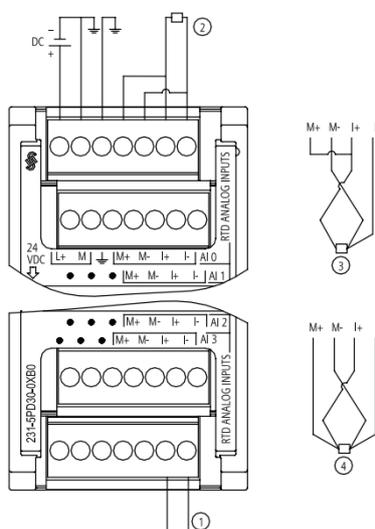


Figura 3.23. Terminales PT100 3 hilos

FUENTE: WIKA. Pt100/Pt1000 resistance thermometer. Recuperado de: http://en-co.wika.de/landingpage_pt100_pt1000_en_co.WIKA

El módulo de ampliación SIEMENS SB1231RTD muestra su propio circuito de conexión para RTD-PT100 de 2, 3 y 4 hilos el cual se muestra en la (Figura 3.24), aquí se detallan los terminales a conectar entre el módulo y la RTD.



6ES7 231-5PD30-0XB0

- ① Entradas loopback del RTD no utilizadas
- ② RTD a 2 hilos
- ③ RTD de 3 hilos
- ④ RTD de 4 hilos

Figura 3.24. Diagrama cableado módulo de ampliación RTD Siemens

FUENTE: (SIEMENS, 2012). Módulo de señales SM 1231 RTD. Recuperado de: <http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores/Documents/S71200%20-%20SM1231RTC.PDF>

Gracias a estos dos diagramas es posible determinar el correcto método de conexión del sensor al módulo de ampliación del PLC, en la (Tabla 3.1) se detalla la manera adecuada de realizarlo.

Tabla 3.1.

Detalle conexión RTD-PT100

CONEXIÓN PT100-PLC	
PT100 3 Hilos	Módulo SB1231RTD
Rojo	M-
Rojo	I-
Blanco	I+ y M+

b. CONEXIÓN SENSOR NIVEL CAPACITIVO

Para detener el proceso de carga de la cámara de tratamiento térmico es necesario detectar en que instante esta se encuentra llena para lo cual se emplea el uso de un sensor de nivel capacitivo; se utiliza un sensor Q&W modelo CM18-3008NA el cual es un sensor de proximidad capacitivo cuyo voltaje de trabajo es de 6VDC a 36VDC con una distancia de sensibilidad de 8mm y de tipo NPN normalmente abierto, su diagrama de terminales se detalla en la (Figura 3.25).

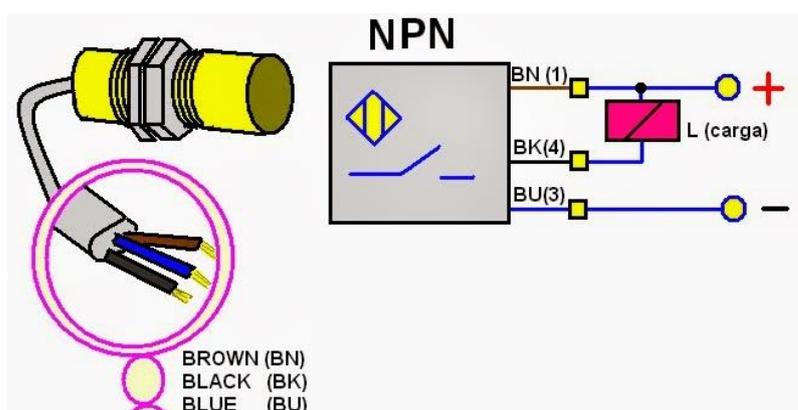


Figura 3.25. Terminales y conexión del sensor de nivel capacitivo

FUENTE: COPAROMAN. Diagrama eléctrico de sensor de proximidad. Recuperado de: <http://coparoman.blogspot.com/2014/08/diagramas-electricos-de-sensores-de.html>

Es importante recalcar que para su funcionamiento como una entrada digital al PLC es necesario que el sensor esté conectado a una carga (load) por lo que se requiere conectar la señal de salida del sensor a un relé de 24VDC el cual se encargará de enviar el pulso de control al PLC en el instante que el sensor de nivel se active y detecte el llenado de la cámara de tratamiento. En el ANEXO Q-PEC01 se detalla la conexión descrita anteriormente.

3.4.4. ALIMENTACIÓN Y PUESTA A TIERRA

La alimentación de la red principal y la puesta a tierra del sistema automatizado de tratamiento térmico provendrá de las instalaciones propias de la empresa y de su tablero de control principal.

3.5. IMPLEMENTACIÓN SISTEMA NEUMÁTICO

Para el funcionamiento de la compuerta de descarga se ha utilizado un sistema neumático, en la (Figura 3.26) se muestra la conexión usada, para ella se empleó un cilindro de doble efecto, válvula estranguladora, una válvula de 5 vías dos posiciones, válvula reguladora de presión con manómetro y una fuente de aire comprimido.

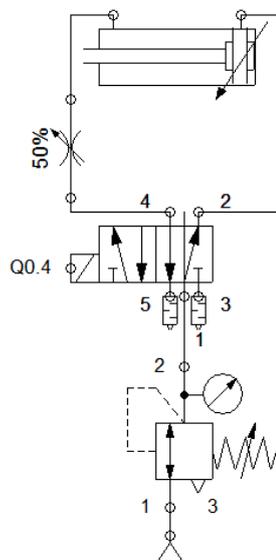


Figura 3.26. Diagrama sistema neumático

3.6. IMPLEMENTACIÓN SOFTWARE

Como todo sistema automatizado se requiere de un software encargado del control del proceso, amigable con el programador y de fácil uso y entendimiento para el operador; el desarrollo tecnológico brinda un sin número de posibilidades para este fin con mayores y menores prestaciones pero para la implementación del sistema automatizado de tratamiento térmico se ha optado por el uso de TIA Portal; un software específico de la marca SIEMENS para una integración total de procesos industriales facilitando así la programación del PLC y Touch Panel a usarse en el presente proyecto también provenientes de la marca antes mencionada.

A continuación se detalla parte de los componentes fundamentales de la implementación del software donde se indicarán pautas esenciales para la programación de los diversos elementos de control existentes en el sistema; cabe recalcar que la interfaz humano máquina o HMI se realizará mediante ventanas programadas en la Touch Panel donde el operador podrá monitorear y controlar el estado del sistema.

3.6.1. PROGRAMACIÓN VARIADOR DE FRECUENCIA

Para controlar la velocidad de giro del ventilador y asegurar una correcta recirculación de aire en el interior de la cámara así como el cumplimiento del tiempo de enfriamiento del sistema, es necesario un control estricto mediante el variador de frecuencia hacia el motor designado para girar la turbina del ventilador.

Es necesario controlar los parámetros del variador mediante señales enviadas desde el PLC tanto para el encendido, apagado y control PID del ventilador; para ello este será programado mediante la puesta en servicio rápido gracias al Digital Keypad y la variación de sus parámetros.

En la (Tabla 3.2) se muestra los parámetros implementados en la programación del variador de frecuencia DELTA VFD015M23A de manera que su control se pueda realizar desde el PLC.

Tabla 3.2.

Parámetros de configuración variador

Parameter	Explanation	Settings	Factory Setting
Pr.00	Source of Frequency Command	00: Master frequency determined by digital keypad (LC-M02E) 01: Master frequency determined by 0 to +10 V input on AVI terminal with jumpers 02: Master frequency determined by 4 to 20mA input on ACI terminal with jumpers 03: Master frequency determined by RS-485 Communication port 04: Master frequency determined by potentiometer on digital keypad	00
Pr.01	Source of Operation command	00: Operation determined by digital keypad 01: Operation determined by external control terminals, keypad STOP is effective 02: Operation determined by external control terminals, keypad STOP is ineffective 03: Operation determined by RS-485 communication port, keypad STOP is effective 04: Operation determined by RS-485 communication port, keypad STOP is ineffective	00
Pr.38	Multi-function Input Terminal (M0,M1)	00: M0: FWD/STOP, M1: REV/STOP 01: M0: RUN/STOP, M1: REV/FWD 02: M0, M1, M2: 3-wire operation control mode	00

CONTINÚA



Pr.39	Multi-function Input Terminal (M2)	00: No Function 01: Output OFF (N.O.) (enabled when running) 02: Output OFF (N.C.) (enabled when running) 03: External Fault (normally open) N.O. 04: External Fault (normally close) N.C 05: RESET 06: Multi-Step Speed Command 1 07: Multi-Step Speed Command 2 08: Multi-Step Speed Command 3 09: Jog Operation 10: Accel/Decel Speed Inhibit 11: First or Second Accel/Decel Time 12: Base-block (B.B.) (N.O) 13: Base-block (B.B.) (N.C)	05
Pr.40	Multi-function Input Terminal (M3)		06
Pr.41	Multi-function Input Terminal (M4)		07
Pr.42	Multi-function Input Terminal (M5)		08

Para el funcionamiento mediante PLC es necesario realizar los siguientes cambios; colocar el parámetro Pr.00 en 01, el parámetro Pr.01 en 01, el parámetro Pr.38 en 01; los parámetros Pr.39, Pr.40, Pr.41 y Pr.42 se pueden configurar de diversas maneras según las distintas necesidades, pero en el caso de este sistema se los dejarán con el valor por default.

Especificaciones más concretas acerca de todos sus parámetros y método de conexión se pueden encontrar en el ANEXO G-7 Y G-8.

3.6.2. CALIBRACIÓN SENSOR TEMPERATURA

Para la calibración del sensor de temperatura se requiere únicamente de la configuración de ciertos parámetros dentro del software de programación, debido a la facilidad que brinda el uso de un módulo específico para lectura de RTD y el conocimiento del tipo de sensor a usarse dentro del proyecto.

La (Figura 3.27) muestra la ventana de configuración para el módulo de RTD dentro del sistema de ingeniería de SIEMENS para aplicaciones de automatización TIA Portal; aquí se observa los parámetros adecuados para el

funcionamiento del sensor RTD PT-100 de 3 hilos, es importante indicar que cada módulo ya sea de entrada o salida tiene su dirección propia para controlar la señal, en el caso del módulo usado la dirección asignada es la IW80, en la cual se registrará el valor medido por el sensor.

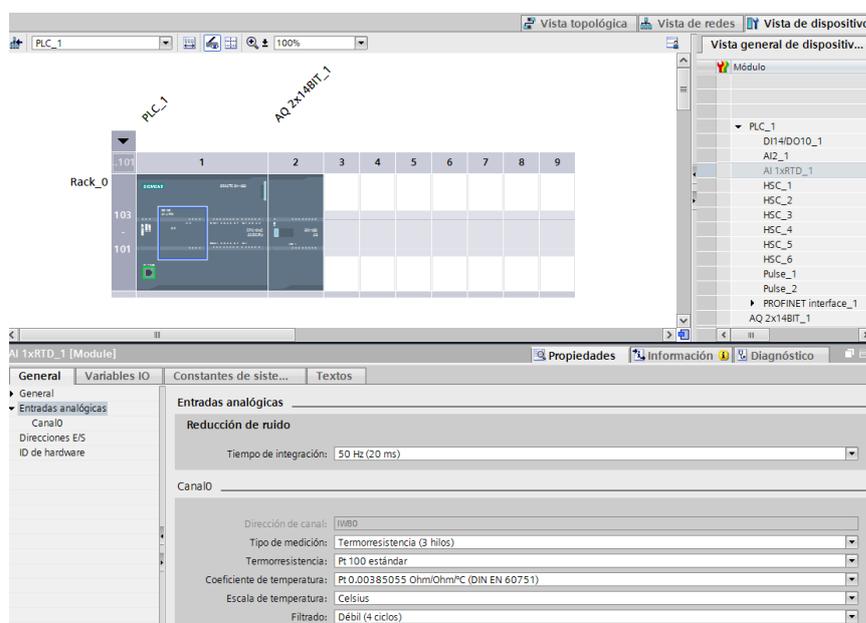


Figura 3.27. Ventana de configuración módulo RTD

3.6.3. CALIBRACIÓN TOUCH PANEL Y HMI

La calibración de la Touch Panel al igual que el sensor de temperatura es simplificada gracias al uso de componentes SIEMENS y su software de programación TIA Portal evitando de esta manera conflictos entre direcciones de programación y el uso servidores OPC innecesarios.

En la (Figura 3.28) se observa la configuración del Touch Panel KTP600 Basic color PN con interfaz de comunicación Profinet para protocolo de comunicación Ethernet con el PLC y de esta manera poder compartir datos y sincronizar el estado de las variables.

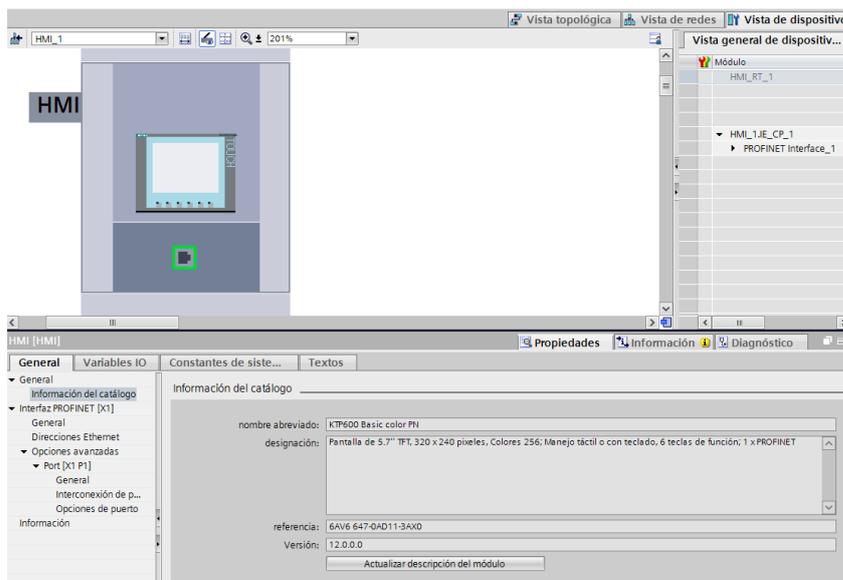


Figura 3.28. Ventana de configuración Touch Panel

El uso de una Touch Panel para la implementación del HMI o interfaz humano máquina presenta muchas ventajas y facilidades en el instante de la programación; entre ellas se encuentran los controladores para visión de recetas, curvas, avisos, usuarios y un sistema visor de diagnóstico; todos estos contienen parámetros configurables para su uso y eventos predefinidos que pueden usarse mediante indicadores o botones dependiendo de la necesidad.

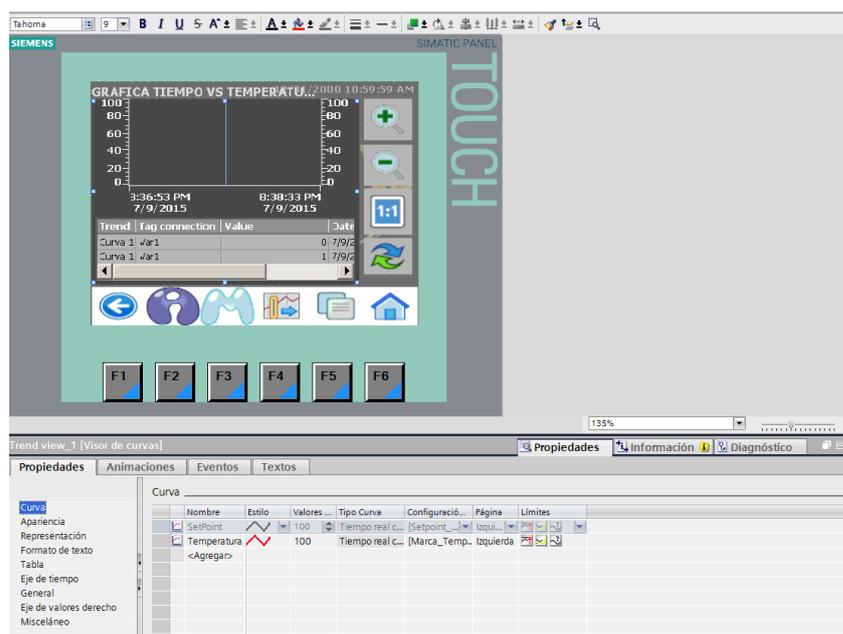


Figura 3.29. Ventana de configuración visor de curvas

Para el sistema de tratamiento térmico se implementó el uso del visor de curvas (Figura 3.29) y del visor de recetas (Figura 3.30), ambos fueron programados y configurados a las necesidades del sistema; simplificando y facilitando su entendimiento para mejor comprensión del operador de la máquina.

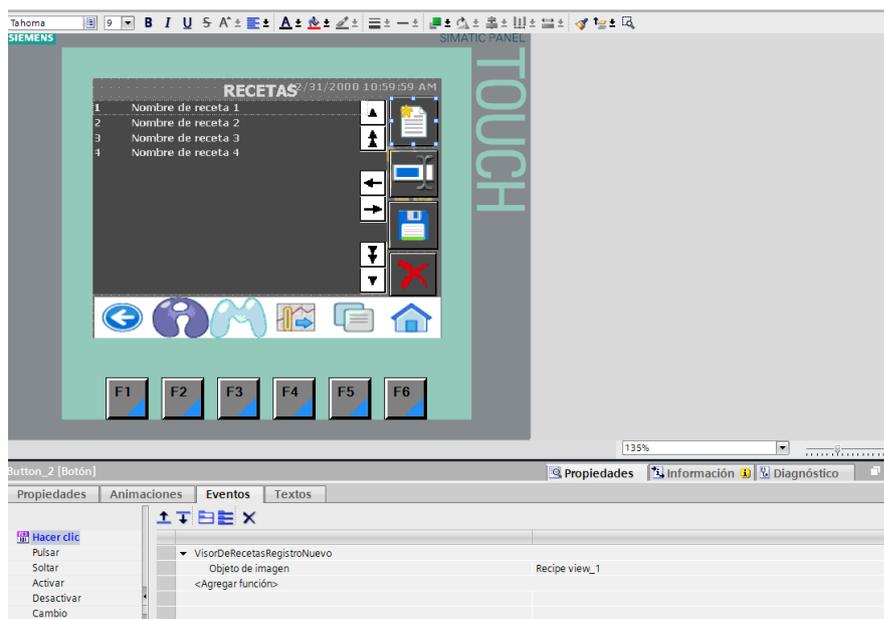


Figura 3.30. Ventana de configuración visor recetas

Es importante indicar que la Touch Panel al igual que el PLC puede ser considerada como un dispositivo capaz de percibir señales o valores de información pero de una manera virtual; por lo que en su interior posee variables propias y direcciones específicas para almacenar dichos datos, los cuales por obvias razones deben ser enviados a un controlador capaz de procesar dicha información y generar las acciones de control respectivas.

Para asegurar dicha comunicación es necesario configurar los parámetros de conexión entre el PLC y la Touch Panel como se muestra en la (Figura 3.31); para ello es preciso conocer las direcciones IP de ambos y su protocolo de comunicación.

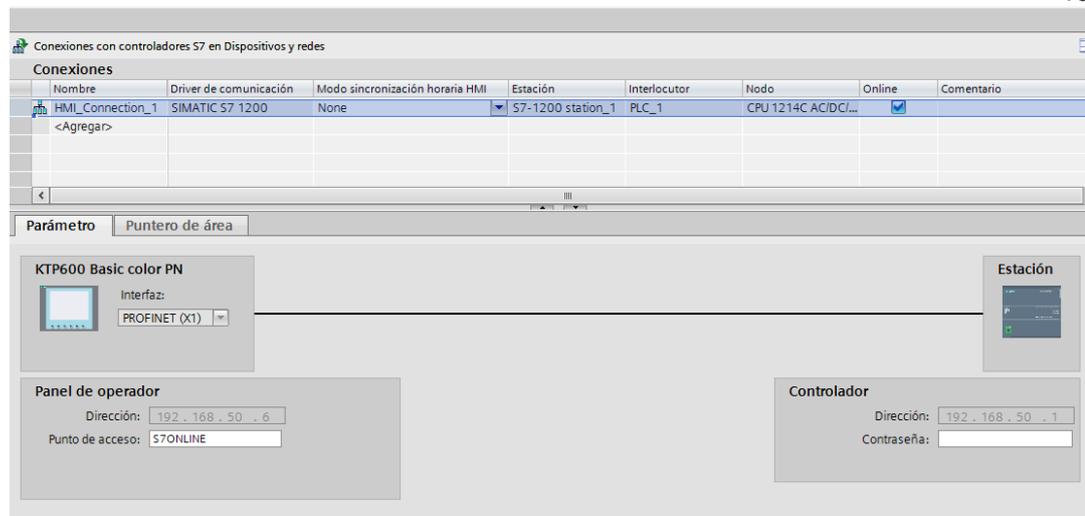


Figura 3.31. Ventana de configuración conexión Touch Panel y PLC

3.6.4. BLOQUES PROGRAMACIÓN PLC

Para la programación del PLC se realizó un análisis de las necesidades y requerimientos en el instante del funcionamiento de la máquina; esto llevó a la conclusión de generar una programación para poder manipular el sistema de tratamiento térmico de dos maneras distintas.

La primera de ellas es mediante un programa en modo manual; es decir que el operario pueda controlar a su gusto la activación de los transportadores, ventilador, compuerta de descarga y valor de la temperatura; esto ya que puede darse el caso de un tratamiento térmico fuera de los estándares preestablecidos o de la necesidad de forzar perturbaciones externas al sistema. El segundo método de control de la máquina es puramente automático; es decir únicamente se seleccionará la receta a usarse y el sistema se encargará de manera autónoma del llenado, control de temperatura, tiempo de enfriamiento y descarga; o de ser el caso se podrá crear, eliminar o reconfigurar los valores de tiempo y temperatura dentro de la ventana de recetas para situaciones fuera de los parámetros estándar de funcionamiento. Los bloques de programación de manera detallada se encuentran en el ANEXO R.

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se analizará la variable independiente y dependientes integradas dentro del proyecto, desarrollando únicamente las más relevantes y necesarias para alcanzar las metas propuestas y los objetivos planteados.

4.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

4.2.1. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE INDEPENDIENTE

Tabla 4.1.

Operacionalización de la variable independiente (sistema automático de tratamiento térmico)

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Los sistemas alimenticios de tratamiento térmico son indispensables para garantizar la calidad, salubridad y valores nutricionales de los alimentos. Es necesario tener presente sus características técnicas para de esta manera mejorar y optimizar los procesos de producción alimenticios.	Tiempo	Horas/Tanda producción	Cronómetro
	Volumen de producción	Kg/Tanda producción	Balanza electrónica y cálculos
	Costo	Dólares	Contabilidad (Dólar Americano)

4.2.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE DEPENDIENTE

Tabla 4.2.

Operacionalización de la variable dependiente (propiedades físico-químicas)

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Las propiedades físicas, químicas y estructurales constituyen un aspecto fundamental en las características y calidad de los alimentos en general. Estas son de vital importancia en todas las actividades de producción, conservación y utilización de cereales, en este caso particular, las del arroz.	Humedad	%/muestra	Sensor de humedad
	Densidad	Kg/m ³	Balanza electrónica y cálculos
	Porosidad	%/muestra	Cálculo mediante densidad
	Porcentaje Quebra	%/muestra	Conteo manual

4.3. PRUEBAS Y RESULTADOS

Para la realización de las pruebas sobre el sistema automatizado de tratamiento térmico se procedió a trabajar con la máquina al 100% de su capacidad y utilizando todas las funciones que esta posee; incluyendo sistema de alimentación, descarga, calentamiento y enfriamiento.

4.3.1. PRUEBAS VARIABLE INDEPENDIENTE

a. TIEMPO

Para determinar el tiempo de producción por lote de arroz, se tomó en cuenta todos los aspectos previos y posteriores al tratamiento térmico, es decir, el análisis fue concebido desde el momento de carga del producto a la tolva de almacenamiento, el tiempo de alimentación a la cámara, las horas de tratamiento, el tiempo de reposo y duración de la descarga.

A continuación en la (Tabla 4.3) se detalla cada una de las fases del proceso de producción con datos reales tomados durante su funcionamiento.

Tabla 4.3.
Tiempo de las fases de producción

Fase	Representación	Tiempo(h:m:s)	Representación
Carga Tolva		0:04:51	<div style="text-align: center;">Cronómetro</div> <div style="font-size: 2em; margin: 10px 0;">04:51</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> Cancelar Pausa </div>
Proceso de alimentación		0:03:34	<div style="text-align: center;">Cronómetro</div> <div style="font-size: 2em; margin: 10px 0;">03:34</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> Cancelar Pausa </div>
Tratamiento térmico		4:13:19	<div style="text-align: center;">Cronómetro</div> <div style="font-size: 2em; margin: 10px 0;">4:13:19</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> Cancelar Pausa </div>

CONTINÚA 

<p>Reposo</p>		<p>1:45:12</p>	<p>Cronómetro</p> <p>1:45:12</p> <p>Cancelar Pausa</p>
<p>Proceso de descarga</p>		<p>0:02:48</p>	<p>Cronómetro</p> <p>02:48</p> <p>Cancelar Pausa</p>

El tiempo total de producción requerido para tratar térmicamente una tanda de arroz es de 6h:09m:44s, tiempo que abarca el ciclo completo de procesamiento.

b. COSTO

Dentro del análisis económico de fabricación de la máquina es importante recalcar que esta consta de dos partes claramente diferenciadas, una de ellas, la parte mecánica la cual abarca todo el mecanismo y estructura necesaria para su funcionamiento y la otra el sistema de control y sus componentes requeridos para el funcionamiento y automatización.

b.1. ÁREA MECÁNICA

El área mecánica enmarca la estructura y mecanismos del sistema de tratamiento térmico como se observa en la (Figura 4.1), a continuación se detalla en la (Tabla 4.4) el costo de fabricación.



Figura 4.1. Sistema y componentes mecánicos

Tabla 4.4.

Costo área mecánica

Cantidad	Detalle	Valor	Total
1	<i>Plancha Acero A36 de 3mm</i>	\$55	\$55
1	<i>Plancha Acero A36 de 2mm</i>	\$37	\$37
1	<i>Plancha Acero Inoxidable 201 de 1.5mm</i>	\$145	\$145
2	<i>Plancha Acero Inoxidable 201 de 1.2mm</i>	\$110	\$220
11	<i>Tubo redondo 1 ½' x 1.5mm</i>	\$9,25	\$101,75
1	<i>Tubo cuadrado 3' por 2mm</i>	\$35	\$35
1	<i>5 Kg Electrodo 6011</i>	\$22	\$22
1	<i>5 Kg Electrodo 6013</i>	\$25	\$25

CONTINÚA



1	3 Kg Electrodo acero inoxidable	\$29	\$29
3	Motor trifásico	\$150	\$450
4	Niquelina 220V	\$60	\$240
1	Cilindro neumático	\$150	\$150
	<i>Total</i>		<i>\$1.509,75</i>

El valor total aproximado de la fabricación de la máquina es de \$1.510, únicamente en el aspecto mecánico.

b.2. ÁREA ELÉCTRICA Y DE CONTROL

El área de eléctrica y control (Figura 4.2), abarca los aspectos considerados en la (Tabla 4.5) donde se detalla los costos de los elementos más relevantes para la automatización de la máquina.

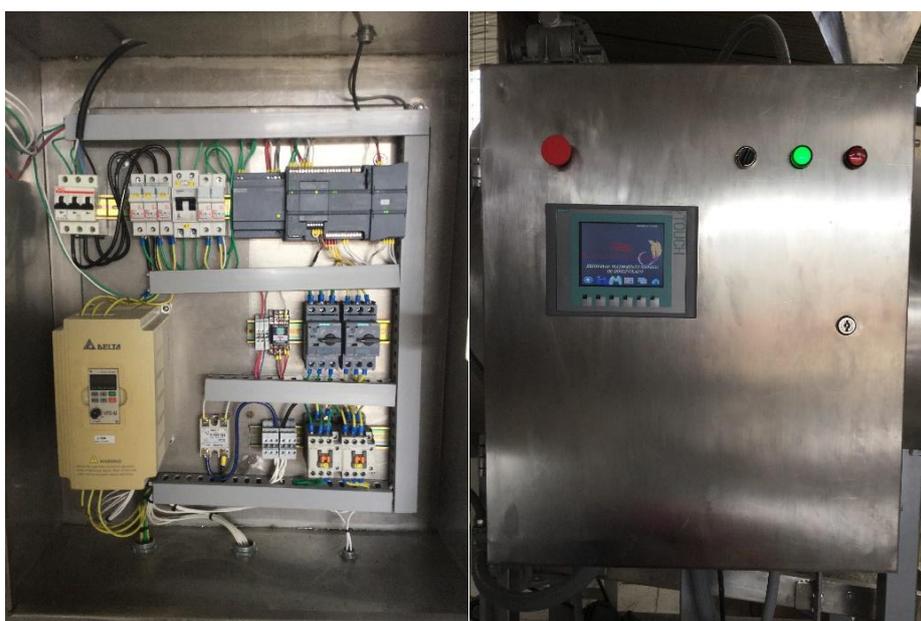


Figura 4.2. Sistema eléctrico y de control

Tabla 4.5.

Costo área eléctrica y control

Cantidad	Detalle	Valor	Total
1	PLC Siemens S7-1200	\$695	\$695
1	Signal Board RTD	\$190	\$190

CONTINÚA



1	<i>Módulo salida análoga</i>	\$430	\$430
1	<i>Variador de Frecuencia</i>	\$520	\$520
1	<i>TouchPanel Siemens KTP600</i>	\$1315	\$1315
1	<i>Fuente 24V DC Siemens</i>	\$100	\$100
1	<i>PT100</i>	\$65	\$65
1	<i>Sensor capacitivo</i>	\$20	\$20
1	<i>Braker</i>	\$60	\$60
3	<i>Fusibles</i>	\$5	\$15
1	<i>Cables</i>	\$100	\$100
3	<i>Contactador</i>	\$118	\$354
1	<i>Relé estado sólido 40A</i>	\$20	\$20
		<i>Total</i>	<i>\$3.884</i>

El valor total de los principales componentes del área eléctrica y de control es de \$3.884; con un total de aproximadamente \$5.400 como valor de fabricación y automatización de la máquina.

c. VOLUMEN DE PRODUCCIÓN

Para analizar el volumen de producción del sistema de tratamiento térmico automatizado se procede a dividirlo en dos etapas, la primera de ellas, mediante el uso de una balanza electrónica determinar el peso total de producto procesado; y como segundo paso gracias a la ayuda de cálculos determinar la capacidad volumétrica del sistema.

En la (Tabla 4.6) se detalla el peso del arroz procesado, debido a limitaciones del instrumento utilizado para la medición se ha dividido en 5 partes la muestra total para no sobrecargar la capacidad de la balanza electrónica.

Tabla 4.6.
Medición de tanda de producción

Muestra	Medición (kg)	Representación
1	44.5	 <p>A digital scale with a red LED display showing '44.5 kg'. The scale has a control panel with several buttons and the model number 'YH-T6'.</p>
2	45.0	 <p>A digital scale with a red LED display showing '45.0 kg'. The scale has a control panel with several buttons and the model number 'YH-T6'.</p>
3	45.4	 <p>A digital scale with a red LED display showing '45.4 kg'. The scale has a control panel with several buttons and the model number 'YH-T6'.</p>
4	45.2	 <p>A digital scale with a red LED display showing '45.2 kg'. The scale has a control panel with several buttons and the model number 'YH-T6'.</p>

CONTINÚA



5	45.3	
Total	225.4	

Con este valor total y gracias a la (Ec. 2.2), se procede a despejar el volumen de arroz procesado por el sistema.

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

$$V = \frac{225.4 \text{ kg}}{735 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V = 0.306 \text{ m}^3$$

El volumen de producción de la máquina es de aproximadamente 0.31 m^3 ; pero un dato más relevante que el volumen de producción es la capacidad de procesamiento en kg; es decir la cantidad de quintales que se pueden procesar por lote de producción, en el caso de este sistema es de aproximadamente 5 quintales trabajando a su máxima capacidad.

4.3.2. PRUEBAS VARIABLE DEPENDIENTE

Para la realización de las pruebas de variable dependiente se analizarán muestras de 100 gr de arroz (Figura 4.3) antes y después de ser procesado, a continuación se detalla cada una de las variables a comprobar.



Figura 4.3. Separación de muestras de 100 gr.

a. HUMEDAD

La medición de la humedad en el grano de arroz es un valor sumamente importante para demostrar y comprobar el propósito de este proyecto; para obtener estos valores se ha utilizado un medidor de humedad marca KETT modelo PM-410 que presenta gran versatilidad a la hora de realizar mediciones en distintas variedades de granos y cereales.

Para asegurar una correcta medición y datos más exactos se procede a tomar cinco muestras de arroz antes y después de ser procesado, para realizar las mediciones y sacar el promedio de sus valores. A continuación en la (Tabla 4.7) se muestra los resultados de las pruebas realizadas en el equipo siguiendo el procedimiento indicado por el manual de operación.

Tabla 4.7.

Medición del porcentaje de humedad

Número de muestra	Tipo de arroz	Valor	Representación
1	Sin procesar	16%	

CONTINÚA →

2	Sin procesar	16%	
3	Sin procesar	16.3%	
4	Sin procesar	16.1%	
5	Sin procesar	16.4%	
	Valor promedio	16.2%	

CONTINÚA



1	Procesado	10.5%	
2	Procesado	10.2%	
3	Procesado	10.3%	
4	Procesado	10.4%	
5	Procesado	10.2%	

CONTINÚA



	Valor promedio	10.3%	
--	----------------	-------	--

El valor promedio de humedad en arroz sin procesar es de 16.2% y en arroz procesado térmicamente se reduce a un valor promedio de 10.3%.

b. DENSIDAD

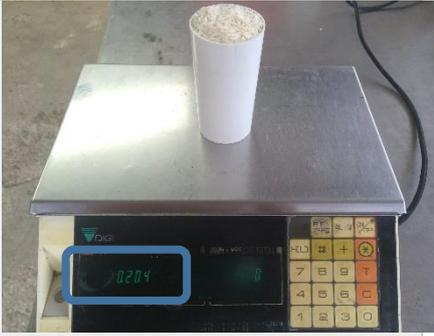
Para las pruebas de densidad, por limitaciones de equipo, se la realiza mediante dos pasos; el primero de ellos realizar mediciones de la masa de cinco muestras en un volumen conocido; para este caso el volumen del recipiente es 240cc, como segundo paso con el promedio de estas mediciones y un cálculo matemático se podrá obtener la densidad del arroz antes y después de ser procesado.

En la (Tabla 4.8), se indican las mediciones realizadas en las muestras de arroz; al igual que la anterior se analizan cinco muestras por arroz y se trabaja con el promedio de las mismas.

Tabla 4.8.
Medición para el cálculo de densidad

Número de muestra	Tipo de arroz	Valor (kg)	Representación
1	Sin procesar	0.206	

CONTINÚA 

2	Sin procesar	0.202	
3	Sin procesar	0.204	
4	Sin procesar	0.206	
5	Sin procesar	0.208	
	Valor promedio	0.205	
1	Procesado	0.192	

CONTINÚA



2	Procesado	0.196	
3	Procesado	0.198	
4	Procesado	0.194	
5	Procesado	0.198	
Valor promedio		0.196	

Con estos valores promedios de masa y gracias a la (Ec. 2.2), se procede a realizar el cálculo de la densidad tanto del arroz sin procesar como del tratado térmicamente; a continuación se muestra dicho procedimiento.

b.1. ARROZ SIN PROCESAR

El arroz sin procesar presenta ligeramente una masa superior que el arroz procesado, con un valor promedio de 0.205 Kg contenido en un recipiente de 240 cm³, el valor de su densidad (kg/m³) es calculado a continuación.

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

$$\rho = \frac{0.205 \text{ kg}}{0.000240 \text{ m}^3}$$

$$\rho = 854.17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

b.2. ARROZ TRATADO TÉRMICAMENTE

El arroz procesado presenta una masa promedio de 0.196 Kg contenido en un recipiente del mismo volumen 240 cm³, esto se debe a la pérdida de humedad que presenta el grano durante el proceso de tratamiento térmico, a continuación se desarrolla el cálculo de su densidad.

$$\rho = \frac{0.196 \text{ kg}}{0.000240 \text{ m}^3}$$

$$\rho = 816.67 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Existe una pequeña diferencia entre las densidades de los dos tipos de arroz; aunque no es muy grande este valor es suficiente para demostrar que el grano ha disminuido su porcentaje de humedad, el análisis de este suceso se detallará de mejor manera en el capítulo de conclusiones.

c. POROSIDAD

La porosidad en el caso particular del grano de arroz es obtenida mediante un cálculo matemático basado en los valores alcanzados en las pruebas anteriormente realizadas; es importante recalcar que la porosidad es una

proporción de la cantidad de material propiamente dicho y la cantidad de aire contenida en la misma; es decir, la cantidad de espacio vacío dentro de un grano de arroz y la fracción de volumen de espacios sobre el volumen total.

Para el cálculo de la porosidad del arroz antes y después del proceso de tratamiento térmico se procede a usar la (Ec. 4.1).

$$P_v = \frac{D - D_B}{D} * 100\%$$

Ec. 4.1.

Donde:

P_v	Porosidad volumétrica
D	Densidad real del material
D_B	Densidad aparente del material

c.1. ARROZ SIN PROCESAR

La porosidad en el arroz sin procesar es menor debido a la mayor densidad que presenta este tipo de arroz; su valor viene calculado por:

$$P_v = \frac{1445 \frac{kg}{m^3} - 854 \frac{kg}{m^3}}{1445 \frac{kg}{m^3}} * 100\%$$

$$P_v = 40.89\%$$

c.2. ARROZ TRATADO TÉRMICAMENTE

El porcentaje de porosidad en el arroz tratado térmicamente será mayor debido a la menor densidad que posee; su valor es:

$$P_v = \frac{1445 \frac{kg}{m^3} - 816 \frac{kg}{m^3}}{1445 \frac{kg}{m^3}} * 100\%$$

$$P_v = 43.52\%$$

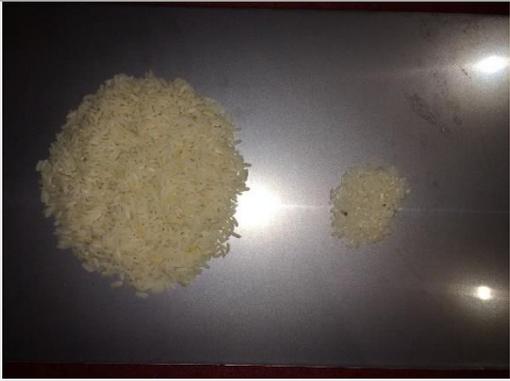
La porosidad al estar ligada directamente con la densidad del material es mayor en el arroz tratado térmicamente aunque su diferencia con el arroz sin procesar es mínima y no presenta ningún efecto perjudicial significativo en la calidad del mismo.

d. PORCENTAJE DE QUIEBRA POR MUESTRA

En el proceso de tratamiento térmico es fundamental mantener un porcentaje de quiebra igual o similar al que ingresa en el arroz sin procesar; para controlar esta variable se procede a realizar un conteo manual en una muestra de 100gr antes y después de su ingreso en la máquina; a continuación en la (Tabla 4.9) se muestran los resultados.

Tabla 4.9.

Porcentaje de quiebra

Tipo de arroz	Porcentaje de quiebra	Representación
Sin procesar	3%	
Procesado	5%	

4.4. ANÁLISIS COMPARATIVO

El análisis de funcionalidad, prestaciones, rapidez y costo entre el sistema convencional de tratamiento térmico con quemadores de GLP y hornos de ladrillo, comparada con la máquina desarrollada y propuesta en el presente proyecto; es fundamental para determinar la viabilidad de la misma y las ventajas que posee frente diseños tradicionales.

Para dicho análisis es esencial examinar las características que presenta cada una con respecto a las variables independientes analizadas anteriormente; teniendo en cuenta las dimensiones de la máquina y su capacidad de procesamiento lo correcto es considerar un volumen similar para los sistemas convencionales de producción, es decir el análisis realizado en la (Tabla 4.10) estudia a ambos sistemas en condiciones iguales de producción.

Tabla 4.10.

Análisis comparativo del sistema tradicional versus el propuesto

Variable	Sistema tradicional	Sistema propuesto
Humedad	10.6%	10.3%
Densidad	833.33 kg/m ³	816.67 kg/m ³
Porosidad	42.35%	43.52%
% Quiebra por muestra	7%	5%
Tiempo	19h:45m:00s	6h:10m:00s
Volumen de producción	225kg	225Kg
Costo	\$500	\$5400

En la tabla anterior se observa de manera específica los valores finales que presenta cada uno de los sistemas después de someter al arroz al procesamiento térmico; el hecho que existan similitudes en las propiedades físicas analizadas (humedad, densidad, porosidad, % de quiebra) es un indicador favorable para demostrar que los beneficios del sistema son iguales e incluso mejores en algunos aspectos (% de quiebra) que los brindados por el sistema convencional.

Realizando un análisis más profundo en los aspectos técnicos de la máquina, es decir, dejando de lado las propiedades finales que presente el arroz procesado, ambos sistemas muestran notables diferencias; la primera de ellas es el elevado tiempo que requiere el procesamiento por el método tradicional siendo este en muchos de los casos la mayor limitación para mejorar y optimizar los volúmenes de producción de grandes industrias dedicadas al procesamiento térmico del arroz.

Por otra parte el elevado costo de la implementación del sistema automatizado de tratamiento térmico es un factor desfavorable en el momento de comparar ambos sistemas; pero aquí nace un análisis mucho más profundo; el costo beneficio que representa reducir casi en un 70% el tiempo de procesamiento por lote producido hace que sea justificable la inversión y económicamente rentable ya que el volumen diario de producción aumentará y por lo tanto la tasa interna de retorno será mucho mayor; más adelante en este mismo capítulo se desarrolla un análisis del TIR y el VAN para este proyecto. A continuación la (Tabla 4.11) muestra una comparación en aspectos técnicos de ambos sistemas de tratamiento térmico.

Tabla 4.11.
Ventajas y desventajas de aspectos técnicos de ambos sistemas

Variable	Sistema tradicional	Sistema propuesto
Tiempo		Tiempo de producción aceptable (horas)
	Elevado tiempo de producción (días) debido a la falta de sistema de control	Tiempo de elevación de temperatura regulable gracias al sistema de control
	Elevado tiempo de ascenso de temperatura	Bajo tiempo de enfriamiento (regulable y opcional)
	Elevado tiempo de enfriamiento	Mínimo tiempo de carga y descarga debido a la automatización del proceso
	Elevado tiempo durante la carga y descarga del producto	Reducido tiempo de procesamiento gracias a la eficiencia térmica del sistema
	Extenso tiempo de procesamiento	

CONTINÚA 

Costo	Elevado costo de infraestructura Costo de recipientes para el procesamiento Costo constante de tanque de GLP Costo de mantenimiento y servicio Costo de operadores para carga, descarga y control del proceso	Elevado costo de automatización Reducido costo área mecánica Bajo costo de funcionamiento Costo nulo por mantenimiento Ahorro en personal operario
Volumen de producción	Volumen variable de producción Desperdicio de producto	Volumen constante de producción No existe desperdicio

Después de analizar las tres variables principales y las características de ambos sistemas en cada una de estas, es apreciable que el sistema convencional presenta ausencia de automatización en pasos indispensables (carga, procesamiento, descarga) y problemas de eficiencia a la hora de presentar un proceso sólido y óptimo para el tratamiento térmico del arroz, siendo una de sus más grandes desventajas el elevado tiempo requerido (días) para el procesamiento del producto; además del elevado costo de su funcionamiento el cuál se verá notablemente incrementado con el anticipado precio del tanque de GLP.

Por otra parte el sistema propuesto en este proyecto presenta grandes fortalezas en los aspectos deficientes del método tradicional; por ejemplo, el tiempo de procesamiento es ampliamente mejorado gracias a la automatización de los procesos de carga y descarga; el tiempo de tratamiento térmico es reducido en gran magnitud (únicamente horas) debido al uso de un sistema de control inteligente con variables controladas, tanto en el momento del calentamiento como del descenso de temperatura, para de esta manera, controlar el tiempo de procesamiento teniendo siempre presentes los parámetros técnicos del grano de arroz.

Con relación al costo de la implementación del sistema, a pesar de su considerable valor en el ámbito de control y automatización, este es recompensado con el valor del área mecánica y el poco mantenimiento que

requiere; teniendo en cuenta que el costo de operación se reduce considerablemente gracias a que el sistema es diseñado para ser operado por únicamente una persona. El bajo costo de la energía eléctrica es otro factor importante al momento de analizar las ventajas del sistema presentado; su funcionamiento es únicamente eléctrico incluso para la generación de temperatura, reduciendo de esta manera el costo de operación comparado con los hornos convencionales de GLP.

Además vale la pena mencionar una ventaja adicional que presenta este proyecto, su HMI o interfaz con el usuario es fundamental para el mejoramiento del proceso y garantizar que sea totalmente eficiente y controlable permitiendo al operario que se encuentre a todo instante conectado con el estado del procesamiento térmico. Es necesario recalcar que las ventajas del sistema automatizado de tratamiento térmico no son solo a nivel de producción y optimización del proceso sino que además mejoran varias de las propiedades físicas y químicas del arroz como se comprobó anteriormente.

4.5. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

Es importante dentro de cualquier proyecto con fines empresariales involucrarlo en dos análisis ineludibles como son la viabilidad y rentabilidad. Dos herramientas muy útiles para evaluar la rentabilidad de un proyecto empresarial son el TIR y el VAN; los cuales nos permiten tener una visión más clara y seguridad en el momento de esperar beneficios económicos de una inversión o emprendimiento.

Para iniciar con el análisis de rentabilidad es necesario calcular el valor del TIR la cual brindará una guía para determinar la tasa de rentabilidad del proyecto.

4.5.1. TIR (TASA INTERNA DE RETORNO)

La TIR es la tasa de descuento (TD) de un proyecto de inversión que permite que el beneficio neto actualizado (BNA) sea igual a la inversión (VAN igual a 0). La TIR es la máxima TD que puede tener un proyecto para que sea rentable, pues una mayor tasa ocasionaría que el BNA sea menor que la inversión (VAN menor que 0).

Entonces para hallar la TIR se necesitan conocer el tamaño de la inversión y el flujo de caja neto proyectado. Para el análisis de este proyecto se conoce de antemano la inversión inicial y a continuación en la (Tabla 4.12) se detalla el flujo de caja neto proyectado con ingresos y egresos a 5 años.

Tabla 4.12.

Flujo de efectivo neto proyectado

Flujo de ingresos		Flujo de egresos		Flujo de efectivo neto	
AÑO	VALOR	AÑO	VALOR	AÑO	VALOR
1	\$ 12.000,00	1	\$ 8.400,00	1	\$ 3.600,00
2	\$ 12.240,00	2	\$ 8.820,00	2	\$ 3.420,00
3	\$ 12.484,80	3	\$ 9.261,00	3	\$ 3.223,80
4	\$ 12.734,50	4	\$ 9.724,05	4	\$ 3.010,45
5	\$ 12.989,19	5	\$ 10.210,25	5	\$ 2.778,93
TOTAL	\$ 62.448,48	TOTAL	\$ 46.415,30	TOTAL	\$ 16.033,18

Para la proyección del flujo de ingresos a 5 años se realizó analizando el precio actual del arroz sin procesar y su diferencia con el arroz procesado y se redujo su ganancia únicamente a cinco dólares por quintal, además se consideró una producción diaria de 10 quintales durante 20 días al mes con un incremento anual en ganancias del 2%. Para la proyección del flujo de egresos se estimó el uso de únicamente un operario con una remuneración básica y beneficios de ley, además un gasto mensual de \$100 en gastos operativos y \$100 en gastos extraordinarios; dichos gastos se incrementan anualmente en un 5% debido a la inflación del país.

Con el flujo de efectivo neto proyectado para cada año es posible poder calcular el valor del TIR mediante la (Ec. 4.2).

$$TIR: 0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t}$$

Ec. 4.2.

Donde:

I_0 : Inversión inicial.

F_t : Flujo neto del año t .

t : Año.

r : TIR.

$$0 = -5400 + \frac{3600}{(1+r)} + \frac{3420}{(1+r)^2} + \frac{3223.80}{(1+r)^3} + \frac{3010.45}{(1+r)^4} + \frac{2778.93}{(1+r)^5}$$

$$TIR = r = 56\%$$

Si esta tasa fuera mayor que el 56%, el proyecto empezaría a no ser rentable, pues el BNA empezaría a ser menor que la inversión. Y si la tasa fuera menor el proyecto sería cada vez más rentable, pues el BNA sería cada vez mayor que la inversión.

4.5.2. VAN (VALOR ACTUAL NETO)

El VAN es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, nos quedaría alguna ganancia. Gracias al cálculo del TIR se sabe que el valor de la tasa de descuento r no puede ser mayor que el 56%, porque de lo contrario la inversión inicial será mayor que el beneficio obtenido y por lo tanto un VAN negativo.

Para el caso particular de este proyecto se ha adoptado que el valor de la rentabilidad mínima esperada en función del riesgo es decir de la tasa de

descuento es del 15% el cual es un valor usualmente utilizado en proyectos de emprendimiento. Para su cálculo se emplea la (Ec. 4.3).

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

Ec. 4.3.

$$VAN = -5400 + \frac{3600}{(1+r)} + \frac{3420}{(1+r)^2} + \frac{3223.80}{(1+r)^3} + \frac{3010.45}{(1+r)^4} + \frac{2778.93}{(1+r)^5}$$

$$VAN = \$5.539$$

Como indica el análisis del VAN, al obtener un valor mayor que cero ya representa una inversión o un proyecto rentable; en el análisis económico realizado al sistema de tratamiento térmico automatizado se obtuvo un valor del VAN con ganancias de \$5.539 en el lapso de 5 años, lo cual garantiza la rentabilidad de este proyecto y asegura no solo la recuperación de la inversión sino también ganancias significativas dentro de los primeros años de funcionamiento de la máquina.

4.6. COMPROBACIÓN HIPÓTESIS METODO CHI CUADRADO

El método estadístico chi cuadrado o ji-cuadrado, sirve para someter a prueba hipótesis referidas a distribuciones de frecuencias. En términos generales, esta prueba contrasta frecuencias observadas con las frecuencias esperadas de acuerdo con la hipótesis.

A continuación se desarrolla los pasos para determinar si es aceptada la hipótesis de trabajo o por el contrario la hipótesis nula es válida.

4.6.1. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS

¿El diseño y construcción de un sistema automatizado de tratamiento térmico permitirá mejorar las propiedades físico-químicas del arroz pilado?

4.6.2. PLANTEAMIENTO HIPÓTESIS DE TRABAJO Y NULA

Hipótesis de trabajo: Las propiedades físico-químicas del arroz se modifican al someterlo a un tratamiento térmico.

Hipótesis nula: Las propiedades físico-químicas del arroz son independientes de someterlo o no a un tratamiento térmico.

4.6.3. DESINGANCIÓN DE VARIABLES

Variable Independiente: Tratamiento térmico.

Variable Dependiente: Propiedades físico-químicas.

4.6.4. VALOR DE CONTINGENCIA

La tabla de contingencia (Tabla 4.13); muestra de manera cuantificada y ordenada las pruebas realizadas y los resultados obtenidos en las mismas; para este caso en particular se ha designado como favorable o desfavorable los efectos que provocó el tratamiento térmico con respecto a las propiedades físico-químicas del arroz pilado.

Tabla 4.13.

Tabla de contingencia

Propiedades Físico-Químicas/ Tratamiento térmico	Humedad	Densidad	Porosidad	% Quiebra
Favorable	5	3	1	5
Desfavorable	0	2	4	0

4.6.5. VALOR DE FRECUENCIA OBSERVADA Y ESPERADA

La tabla de frecuencia observada y esperada (Tabla 4.14); muestra la regularidad con la que se espera obtener los resultados en próximos ensayos; para obtener los valores de cada frecuencia esperada se multiplica el total de

cada columna y fila correspondiente a la celda que se desea obtener y se divide para la suma total.

Tabla 4.14.

Tabla de frecuencia observada y esperada

Tabla de frecuencia observada

Propiedades Físico-Químicas/Tratamiento térmico	Humedad	Densidad	Porosidad	% Quiebra	TOTAL
<i>Favorable</i>	5	3	1	5	14
<i>Desfavorable</i>	0	2	4	0	6
TOTAL	5	5	5	5	20

Tabla de frecuencia esperada

Propiedades Físico-Químicas/Tratamiento térmico	Humedad	Densidad	Porosidad	% Quiebra	TOTAL
<i>Favorable</i>	3,5	3,5	3,5	3,5	14
<i>Desfavorable</i>	1,5	1,5	1,5	1,5	6
TOTAL	5	5	5	5	20

4.6.6. CÁLCULO CHI CUADRADO

Para el cálculo del chi cuadrado se emplea la (Ec. 4.4), por facilidad este cálculo es realizado y colocado de manera didáctica en la (Tabla 4.15).

$$x^2_{calc} = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

Ec. 4.4.

Donde:

f_o : Frecuencia del valor observado.

f_e : Frecuencia del valor esperado.

Tabla 4.15.
Chi cuadrado

CHI CUADRADO					
Propiedades Físico-Químicas/Tratamiento térmico	Humedad	Densidad	Porosidad	% Quebra	Valor de chi cuadrado
Favorable	0,6429	0,0714	1,7857	0,6429	
Desfavorable	1,5000	0,1667	4,1667	1,5000	
TOTAL	2,1429	0,2381	5,9524	2,1429	10,4762

$$x^2_{calc} = 10,4762$$

4.6.7. CÁLCULO DE GRADO DE LIBERTAD Y NIVEL DE SIGNIFICANCIA

El cálculo de grado de libertad se realiza mediante la (Ec. 4.5).

$$v = (\text{cantidad de filas} - 1) * (\text{cantidad de columnas} - 1)$$

Ec. 4.5.

$$v = (2 - 1) * (4 - 1)$$

$$v = 4$$

El nivel de significancia es el error que se puede cometer al rechazar la hipótesis nula siendo verdadera; por lo general se trabaja con un nivel de significancia de 0,05; que indica que hay una probabilidad de que la hipótesis nula sea verdadera; es decir establece un nivel de confianza del 95%.

4.6.8. VALOR Y ANÁLISIS DE CHI CUADRADO SEGÚN TABLA

Para obtener el valor de chi cuadrado es necesario conocer el grado de libertad $v = 4$ y el nivel confianza que en este caso es del 95% y gracias a la tabla del ANEXO N-1, es posible obtener dicho valor y proceder a analizarlo.

$$x^2_{tabla} = 9,488$$

Las condiciones de análisis por chi cuadrado mencionan: si $x^2_{calc} \geq x^2_{tabla}$, entonces se acepta la hipótesis de trabajo y se rechaza la hipótesis nula; mientras que por el contrario si $x^2_{tabla} < x^2_{calc}$, entonces se rechaza la hipótesis de trabajo y se acepta la hipótesis nula.

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de tratamiento térmico automatizado por el método de chi cuadrado que se resume en:

$$x^2_{calc} = 10,47 > x^2_{tabla} = 9,488$$

Se concluye que el sistema adopta la hipótesis de trabajo y rechaza la nula; es decir, las propiedades físico-químicas del arroz se ven modificadas al someterlo a un tratamiento térmico o variación de temperatura.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se redujo el tiempo de procesamiento en un 70% comparado con los sistemas tradicionales de tratamiento, gracias a la implementación de un sistema de control que garantiza el funcionamiento y cumplimiento de los parámetros en los tiempos preestablecidos.
- Se disminuyó el porcentaje de humedad en un 6% entre el arroz procesado y el arroz sin someterse al tratamiento térmico.
- Se afectó la densidad en el arroz tratado térmicamente en un 5% influyendo directamente a la masa final del producto; el peso final que presenta el producto se reduce ligeramente comparado con el inicial.
- Con el procesamiento térmico se presenta un cambio en el color y apariencia del grano de arroz, pasando de un tono blanco y pálido a un color crema y ligeramente amarillento.
- La uniformidad y forma del grano no presenta cambio alguno antes, durante ni después del procesamiento térmico, siendo un factor favorable y siempre deseable en los sistemas convencionales pero muy pocas veces alcanzado.
- El sistema de tratamiento térmico automatizado cumple con el objetivo principal que es modificar las propiedades físico-químicas del arroz pilado gracias a la variación de temperatura y tiempo en un ambiente controlado asegurando un producto de calidad y apto para cumplir los requerimientos y exigencias del mercado nacional.

- El análisis del TIR y VAN demuestran la rentabilidad del proyecto con ganancias aproximadas de \$5.500 dentro de los cinco primeros años y una tasa interna de retorno del 56% lo cual indica que el margen de riesgo del negocio es bajo.
- El despliegue de la función de la calidad y su herramienta “Casa de la Calidad” colaboró de gran manera para obtener un diseño adecuado; definiendo, identificando y filtrando los requerimientos del cliente y las necesidades técnicas del diseñador a ser plantadas en el producto final.
- El análisis por matriz morfológica facilitó la selección de la opción más adecuada para solucionar los determinados requerimientos y problemas presentes durante el diseño; junto con el desarrollo de la matriz de evaluación se pudo comparar las distintas opciones y seleccionar las más viables y lógicas para la optimización del diseño.
- Se comprobó la validación de la hipótesis de trabajo gracias al método de chi cuadrado, en la cual se concluyó que, las propiedades físico-químicas del arroz se ven modificadas al someterlo a un tratamiento térmico o variación de temperatura.
- Se superó por mucho las expectativas esperadas del diseño brindando un ahorro significativo en costo y tiempo de producción, optimizando de esta manera el proceso frente a los métodos tradicionales usados por las empresas nacionales.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para optimizar el sistema de tratamiento térmico se puede considerar la idea de volver dinámico al sistema, es decir, volverlo giratorio con lo cual se lograría una distribución más uniforme del calor y se obtendría un producto con mejores características físicas y químicas, además de reducir las horas necesarias para el procesamiento.
- Es posible mejorar la eficiencia calorífica del sistema si se analizan diferentes alternativas de distribución de los elementos generadores de calor; es decir, un distinto orden de colocación de las niquelinas por ejemplo a lo largo de toda la cámara o dentro de las tuberías podría optimizar la termodinámica de la máquina.
- El desarrollo a nivel industrial de la máquina es ampliamente recomendable después de observar los resultados positivos que presentó la misma; al aumentar su volumen de producción e implementarla en plantas procesadoras de arroz mejoraría notablemente el sector agroindustrial de nuestro país.
- Enfocar la producción del sistema automatizado de tratamiento térmico no solo a pequeñas empresas sino también a medianos y grandes productores o piladoras dedicadas al procesamiento del arroz por medios convencionales.
- El emprendimiento también es una gran alternativa que presenta el sistema desarrollado, ya que su precio es accesible y su rentabilidad permite recobrar la inversión en poco tiempo teniendo ganancias en un periodo razonable; además para su uso no se requiere de personal capacitado ni de un gran número de operarios por lo que sus gastos operativos son bajos.

- Para garantizar un producto final de calidad se recomienda realizar un análisis previo a la materia prima a utilizarse, es decir, se debe inspeccionar cada una de las propiedades iniciales como humedad, porosidad, color, variedad de grano, etc. para de esta manera adecuar el proceso y los parámetros de configuración de la máquina asegurando así los resultados esperados en el grano de arroz.
- El uso de equipos especializados para medir las propiedades químicas del arroz aseguraría de mejor manera la calidad del producto final, los porcentajes de almidón y moléculas de amilosa y amilopectina son muy importantes para afirmar una soltura y firmeza durante la cocción del producto, lastimosamente el costo de dichos equipos es elevado y su implementación implicaría una fuerte inversión y de personal calificado para realizar las pruebas.
- Para optimizar costos de fabricación se puede en la medida de lo posible realizar el diseño con elementos y materiales normalizados reduciendo costos de maquinado.
- Es necesario realizar un mantenimiento programado y preventivo del sistema de tratamiento térmico para evitar problemas con los elementos mecánicos como reductor, desalineamiento del eje transportador, atascamiento del sistema de descarga y también con los elementos eléctricos como niquelinas evitando así consumo o pérdida de energía innecesaria.

BIBLIOGRAFÍA

- Bhattacharya, K. R., Desikachar, H. S., & Subrahmanya. (1964). Curing of freshly harvested rice by heat treatment. *Indian J Technology*, 378-380.
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY*. Mexico D.F.: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Chakraverty, A., & Singh, P. R. (2014). *Postharvest Technology and Food Process Engineering*. New York: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Da-Wen , S. (2012). *Thermal Food Processing New Technologies and Quality Issues*. Dublin: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Desikachar, H. S., & Subrahmanyan, V. (1960). The relative effects of enzymatic and physical changes during storage on the culinary properties of rice. *Cereal Chem*, 1-8.
- Faires, V. M. (1999). *Diseño de elementos de máquinas*. Barcelona: Limusa S.A.
- Food and Agriculture Organization, U. (Diciembre de 2014). FAO Rice Market Monitor. *Trade and Markets Division, XVII(4)*, 1-4.
- Garcia, J. (2004). *Fundamentos del Diseño Mecánico*. Cali, Colombia.: Artes Gráficas del Valle.
- INEC. (2009). *Análisis del Sistema Agroalimentario del Arroz en el Ecuador*. Quito.
- Ing. Agr. Leandra Ibarguren. (2014). *Cereales estivales: ARROZ*. Mendoza: Universidad Nacional de Cuyo.
- Kshirod, B. R. (2011). *Rice quality A guide to rice properties and analysis*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited.
- Kumar, N. F. (2014). *Mineral Nutrition of Rice*. Boca Raton, Florida: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Kunze, O. R., Lan, Y., & Wratten, F. T. (2004). Physical and mechanical properties of rice. *Rice Chemistry and Technology*, 191-221.
- Landires, D. G., Márquez, G. C., & Cornejo, F. (2013). *Análisis del Contenido Amilosa- Amilopectina en seis Variedades de Arroz Ecuatoriano*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL).

- Lipson, & Charles. (1970). *Importancia del Desgaste en el Diseño*. Mexico D.F.: Centro Regional de Ayuda Técnica.
- McGuire, P. M. (2010). *Conveyors Application, Selection, and Integration*. New York: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Mott, R. (1992). *Diseño de Elementos de Máquinas*. Nacaulpan de Juarez, Edo. de Mexico: Pretince Hall Hispanoamerica, S.A.
- Prasad, R. (2011). Aerobic rice systems. *Advantage Agronomy*, 207-247.
- Ray, S. (2008). Conveyors. En S. Ray, *Introduction to Materials Handling* (págs. 114-118). Kolkata: New Age International Publisher.
- Rivera Grijalva, P. A. (2013). *Diseño y Construcción de un Sistema Automático de Dosificación de Micronutrientes para Optimizar el Proceso de Producción en la Empresa AviPaz Cia. Ltda. (Tesis pregrado)*. Latacunga, Ecuador.
- Sandler, B. Z. (1999). *Robotics Designing the Mechanisms for Automated Machinery*. San Diego: Academic Press.
- Siddhartha, R. (2008). *Introduction to materials handling*. Kolkata: New Age International Limitedes.
- Smith, W. C., & Dilday, R. H. (2003). *RICE Origin, History, Technology and Production*. New Jersey : JohnWiley & Sons, Inc.
- Thulukkanam, K. (2013). *Heat Exchanger Design Handbook Second Edition*. Ohio: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., & Blanchard, C. (2001). Ageing of Stored Rice: Changes in Chemical and Physical Attributes. *Journal of Cereal Science* 33, 1-15.

LINKOGRAFÍA

- Copa-Data. (Recuperado 15 de Febrero de 2015). *Copa-Data Industry*.
Obtenido de Copa-Data Industry:
<http://www.copadata.com/es/productos/product-features/interfaz-hombre-maquina-hmi.html>
- INEC. (Recuperado 22 de Febrero de 2015). *ESPAC*. Obtenido de
http://www.inec.gob.ec/espac_publicaciones/espac-2011/
- INIAP. (Recuperado 20 de Febrero de 2015). *Arroz: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias*. Obtenido de Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias Web Site: <http://www.iniap.gob.ec/web/>
- Junta De Andalucía. (Recuperado 26 de Febrero de 2013). *Junta de Andalucía Educacion*. Obtenido de Junta de Andalucía Educacion:
http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~23005153/d_tecnologia/bajables/2%20bachillerato/SISTEMAS%20AUTOMATICOS%20DE%20CONTROL.pdf
- KRBL, L. (Recuperado 25 de Enero de 2015). *Our strengths-Ageing and Storage*. *KRBL Limited*. Obtenido de KRBL Limited Web Site:
http://www.krblice.com/ageing_storage.html
- National Instruments. (Recuperado 19 de Marzo de 2015). *National Instruments Soporte y Servicios*. Obtenido de National Instruments Soporte y Servicios: <http://www.ni.com/tutorial/7115/es/>
- Quiminet. (Recuperado 25 de Mayo de 2015). *QuimiNet Información y Negocios segundo a segundo*. Obtenido de QuimiNet Información y Negocios segundo a segundo:
<http://www.quiminet.com/articulos/caracteristicas-de-un-ventilador-centrifugo-42822.htm>
- SIEMENS. (Recuperado 20 de Mayo de 2015). *Siemens Industry*. Obtenido de Siemens Industry:
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/346/1145346/att_36435/v1/Tp2737_s.pdf

Wikipedia. (Recuperado 12 de Enero de 2015). *Enciclopedia Libre Wikipedia*.

Obtenido de Enciclopedia Libre Wikipedia:

http://es.wikipedia.org/wiki/Resistencia_calentadora

ANEXOS

- Anexo A:** Características del arroz.
- Anexo B:** Características materiales.
- Anexo C:** Conductividad y coeficiente de transferencia de calor.
- Anexo D:** Características del cilindro neumático.
- Anexo E:** Características chumacera.
- Anexo F:** Características motor.
- Anexo G:** Características variador de frecuencia.
- Anexo H:** Características PLC.
- Anexo I:** Características módulo salidas análogas.
- Anexo J:** Características módulo RTD.
- Anexo K:** Características Touch Panel.
- Anexo L:** Características fuente 24VDC.
- Anexo M:** Características conductor eléctrico.
- Anexo N:** Distribución chi cuadrado.
- Anexo O:** Fotos construcción.
- Anexo P:** Planos mecánicos.
- Anexo Q:** Planos eléctricos.
- Anexo R:** Manual de usuario.
- Anexo S:** Bloques de programación.

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue realizado por el señor Edgar Santiago Rivera Grijalva.

Ing. Héctor Terán
DIRECTOR

Ing. Juan Correa
CODIRECTO

Elaborado por:

Edgar Santiago Rivera Grijalva

Aprobado por:

Ing. Vicente Hallo
DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

Certificado por:

Dr. Fredy Jaramillo Ch.
SECRETARIO ACADÉMICO