



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

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

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA
SECADORA DE CACAO PARA LA EMPRESA CACAO 3H
UBICADA EN EL CANTÓN CUMANDÁ”**

**AUTORES: CASTRILLÓN CUEVA, ANDRÉS FERNANDO
FLORES BALAREZO, FELIPE MARCELO**

DIRECTOR: Ing. CORTÉZ BYRON

SANGOLQUÍ, JUNIO DEL 2016



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA SECADORA DE CACAO PARA LA EMPRESA CACAO 3H UBICADA EN EL CANTÓN CUMANDÁ”***, realizado por los señores: ***ANDRES FERNANDO CASTRILLÓN CUEVA Y FELIPE MARCELO FLORES BALAREZO***, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar para que se sustente públicamente.

Sangolquí, 24 de junio del 2016

A handwritten signature in blue ink is positioned above a horizontal line. The signature is stylized and appears to read 'Byron Cortez'. The line is a simple black horizontal stroke.

Ing. Byron Cortez Pazmiño

DIRECTOR DE TESIS



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **ANDRES FERNANDO CASTRILLÓN CUEVA Y FELIPE MARCELO FLORES BALAREZO**, con cédula de identidad N° 1715652168 y 1718587759 respectivamente, declaramos que este trabajo de titulación **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA SECADORA DE CACAO PARA LA EMPRESA CACAO 3H UBICADA EN EL CANTÓN CUMANDÁ”**, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 24 de junio del 2016

FELIPE MARCELO FLORES BALAREZO
CI: 1718587759

ANDRES FERNANDO CASTRILLÓN CUEVA
CI: 1715652168



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **ANDRES FERNANDO CASTRILLÓN CUEVA Y FELIPE MARCELO FLORES BALAREZO**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA SECADORA DE CACAO PARA LA EMPRESA CACAO 3H UBICADA EN EL CANTÓN CUMANDÁ”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 24 de junio del 2016

FELIPE MARCELO FLORES BALAREZO
CI: 1718587759

ANDRES FERNANDO CASTRILLÓN CUEVA
CI: 1715652168

DEDICATORIA

A quién en vida siempre deseé presenciar la culminación de esta gran etapa en mi vida. Quién con cariño me enseñó el valor del esfuerzo, una vida honesta y mucha humildad.

Dedicado a Fausto Vicente Cueva Tello. Padre, amigo y cómplice.

ANDRÉS FERNANDO CASTRILLÓN CUEVA

DEDICATORIA

Con mucho cariño a mi hermosa hija Isabella, te amo mucho.

FELIPE MARCELO FLORES BALAREZO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme salud y vida para continuar día a día sin desfallecer y por ofrecerme tantas bendiciones en mi vida.

Agradezco a mi familia, quién siempre anheló el cumplimiento de esta gran meta. A mi abuelita Blanca por sus sabios consejos y por su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos.

A mis tíos Guillermo y Álvaro, quienes siempre me inspiraron a continuar con sus palabras de aliento.

A mi madre Katy quién siempre estuvo y está orgullosa de mi pase lo que pase.

A mi abuelo quién me enseñó tantas lecciones de vida valiosas y que ahora estará satisfecho de ver al hombre de bien que ayudó a moldear.

A todos mis amigos quienes hicieron muy emocionante e inolvidable esta etapa universitaria.

A todos aquellos docentes quienes me transmitieron grandes sabidurías y en ocasiones experiencias de vida únicas.

Finalmente me agradezco a mí por el esfuerzo, la valentía y el coraje para nunca rendirme.

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme la oportunidad de vivir y darme la capacidad de ser mejor cada día.

A mis padres Marcelo y Liliana, quienes han brindado todo su esfuerzo, amor y comprensión durante toda mi vida. Este triunfo no lo podría haber realizado sin ellos. Los amo.

A mis hermanos: Karlita, Martin y Luciana, por ser los mejores compañeros de mi niñez y adolescencia, gracias por todos esos momentos.

A la Ing. Katherine Navarrete por todo su amor y apoyo durante la elaboración del presente proyecto de tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xx
RESUMEN	xxii
ABSTRACT	xxiii
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Alcance	5
CAPÍTULO 2	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Cacao ecuatoriano	6
2.2 Características del producto.....	7
2.3 Factores climáticos en el cultivo	8
2.3.1 Humedad Relativa	8
2.3.2 Estaciones.....	9
2.3.3 Luminosidad	9

	x
2.3.4 Precipitación	9
2.3.5 Temperatura	9
2.4 Tratamiento post-cosecha del cacao	10
2.4.1 Cosecha del cacao	10
2.4.2 Fermentación.....	11
2.4.3 Secado	12
2.5 Descripción de la normativa a aplicar	14
2.5.1 Buenas prácticas agrícolas (BPA)	14
2.5.2 Buenas prácticas de Manufactura (BPM).....	15
2.5.3 Instalaciones	15
2.5.4 Personal	17
2.5.5 Materias Primas.....	18
2.5.6 Calidad del Agua y del Aire	18
2.5.7 Procesos de Producción.....	18
2.5.8 Limpiar y Desinfectar	18
2.5.9 Control de Plagas	19
CAPÍTULO 3	20
DISEÑO CONCURRENTE	20
3.1 Método de despliegue de la función de calidad (QFD)	20
3.1.1 Requisitos del cliente.....	20
3.1.2 Características Técnicas	21
3.1.3 Análisis de resultados de la matriz QFD	24
3.2 Generación de conceptos	25
3.2.1 Tablas de combinación de conceptos.....	31

3.3	Descripción de los conceptos.....	32
3.3.1	Secador Rotatorio.....	32
3.3.2	Secador de Bandejas	33
3.3.3	Secador con removedor	33
3.4	Selección de la propuesta de diseño	34
CAPÍTULO 4		37
DISEÑO MECATRÓNICO		37
4.1	Consideraciones de diseño	37
4.2	Componentes del secador.....	37
4.3	Diseño de los componentes mecánicos	38
4.3.1	Agitadores de paleta o pala	38
4.3.2	Selección del motor	45
4.3.3	Cálculos del eje para el removedor	47
4.3.4	Cálculos de dimensiones de la lengüeta.....	48
4.3.5	Estructura base	52
4.3.6	Diseño del pórtico.....	57
4.3.7	Diseño de las Columnas.....	65
4.4	Dimensionamiento de secador	67
4.4.1	Selección de material para el contenedor.....	68
4.4.2	Cámara de secado	68
4.4.3	Geometría superficie micro perforada.....	71
4.4.4	Unión de secciones	76
4.4.5	Soldadura en el pórtico.....	76
4.4.6	Espesor de garganta	78

4.4.7 Soldadura en el contenedor.....	79
4.5 Diseño Térmico	80
4.5.1 Volumen de Cacao por lote	80
4.5.2 Contenido de humedad en base húmeda	81
4.5.3 Masa seca de cacao resultante	81
4.5.4 Masa resultante con humedad deseada	82
4.5.5 Propiedades psicométricas del aire en la ubicación de aplicación....	82
4.5.6 Densidad del aire de secado	85
4.5.7 Análisis de la Curva de Secado	86
4.5.8 Tiempo de secado	87
4.5.9 Tiempo de secado a velocidad constante.....	87
4.5.10 Tiempo de secado a velocidad decreciente	90
4.5.11 Balance de Energía calorífica	91
4.5.12 Calor sensible del cacao.....	91
4.5.13 Calor sensible del agua	92
4.5.14 Calor latente del agua.....	93
4.5.15 Calor sensible en el plato base.....	94
4.5.16 Potencia por calor útil en el proceso de secado.....	95
4.5.17 Pérdidas de calor en la pared cilíndrica	95
4.5.18 Pérdida de calor por conducción	96
4.5.19 Pérdida de calor por convección.....	96
4.5.20 Coeficiente global de transferencia de calor	97
4.5.21 Área de la pared cilíndrica	97
4.5.22 Potencia total Calorífica.....	98

4.5.23 Dimensionamiento de la Niquelina	99
4.5.24 Caudal del aire de secado	100
4.5.25 Cambio de presión por variación de energía potencial	101
4.5.26 Cambio de presión por variación de energía cinética	102
4.5.27 Cambio total de presión útil	102
4.5.28 Pérdidas de presión en el contenedor	103
4.5.29 Pérdidas por fricción	103
4.5.30 Pérdidas por accesorios	107
4.5.31 Pérdida en el lecho de granos	109
4.5.32 Fracción de Vacío.....	109
4.6.11 Diámetro hidráulico de los granos de cacao	110
4.6.12 Pérdidas totales de presión en el sistema	112
4.6.13 Presión requerida por el ventilador	112
4.6.14 Dimensionamiento del ventilador.....	113
4.5.38 Cálculo del espesor del aislante	113
4.6 Diseño de los componentes eléctricos	115
4.6.1 Circuito de control.....	116
4.6.2 Circuito de Potencia	117
4.6.3 Selección de relés magneto-térmicos.....	118
4.6.4 Selección de Variador de Frecuencia	118
4.6.5 Selección del controlador de Temperatura	119
4.6.6 Selección de cables.....	120
CAPÍTULO 5	122
IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO	122

5.1 Estructura mecánica.....	122
5.1.1 Estructura contenedor	122
5.1.2 Estructura de paletas para remoción	126
5.1.3 Estructura de soporte	129
5.1.4 Estructura de Pórtico	134
5.1.5 Ducto de ventilación.....	137
5.1.6 Implementación de los componentes de control y de fuerza	139
CAPÍTULO 6	145
PRUEBAS Y RESULTADOS.....	145
6.1 Prueba de pH.....	146
6.2 Humedad (Peso).....	148
6.3 Prueba de corte de calidad	152
6.4 Protocolo de temperatura de la máquina	154
CAPÍTULO 7	155
ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO.....	155
7.1 Estudio de la demanda.....	155
7.2 Proyección de la demanda	157
7.3 Proyección de la oferta	158
7.4 Cálculo de la Demanda Insatisfecha.....	159
7.5 Presupuesto de Ingresos	161
7.6 Costos de operación	162
7.7 Costos de electricidad	163
7.8 Impuesto al valor agregado (IVA)	163
7.9 Impuesto a la renta	164

7.10 Inversión en la secadora de cacao.....	165
7.11 Balance de Resultados	166
7.12 Periodo real de recuperación de la inversión	166
7.13 Punto de equilibrio del proyecto	167
7.14 Relación costo - beneficio	167
CAPÍTULO 8	169
8.1 Conclusiones.....	169
8.2 Recomendaciones.....	170
CAPÍTULO 9	171
BIBLIOGRAFÍA	171
CAPÍTULO 10	178
ANEXOS	178
10.1 ANEXO 1	178
10.1.1 Manual de usuario.	178
10.2 ANEXO 2	178
10.2.1 Planos mecánicos.	178
10.3 ANEXO 3	178
10.3.1 Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 176	178

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Localización geográfica y datos generales del cantón Cumandá.....	1
Figura 2	Localización geográfica de la empresa Cacao 3H	2
Figura 3	Exportación total del cacao ecuatoriano	3
Figura 4	Sistema mecatrónico	5
Figura 5	Cacao ecuatoriano.....	6
Figura 6	Cacao fino de aroma	7
Figura 7	Cacao fino de aroma	8
Figura 8	Procesamiento del cacao.....	10
Figura 9	Cosecha del cacao	11
Figura 10	Fermentación del cacao en cajas de madera	12
Figura 11	Secado natural de cacao	13
Figura 12	Secadora de cacao industrial.....	14
Figura 13	Instalaciones BPM.....	16
Figura 14	Método de despliegue de la función de calidad QFD.....	20
Figura 15	Porcentaje de ponderación obtenido de la matriz QFD.....	24
Figura 16	“Caja negra” general para la secadora de cacao	26
Figura 17	Refinamiento de sub-funciones.....	26
Figura 18	Secadora de cacao por combustión.....	27
Figura 19	Secadora de cacao por GLP.....	27
Figura 20	Secadora de cacao eléctrica.....	28
Figura 21	Diagrama de descomposición del problema de Energía	30
Figura 22	Diagrama de descomposición del problema de control.....	30
Figura 23	Diagrama de descomposición de actuadores	30
Figura 24	Secador rotatorio directo.....	32
Figura 25	Secador de bandejas	33
Figura 26	Secador de cacao con removedor	34
Figura 27	Sección transversal paletas	38
Figura 28	Vista superior de la trayectoria de las paletas.....	39

Figura 29 Dirección del torque del motor para cada paleta.....	42
Figura 30 Estructura Removedor.....	43
Figura 31 Fuerzas sobre lengüeta.....	50
Figura 32 Sección transversal, perfil de acero negro para soporte.....	55
Figura 33 Simulación de Esfuerzos de Von Mises.....	55
Figura 34 Simulación de deformaciones.....	56
Figura 35 Simulación de factor de seguridad.....	56
Figura 36 Distribución de fuerzas en la viga de soporte.....	58
Figura 37 Distribución de fuerzas en el software online.....	59
Figura 38 Diagrama de fuerza cortante.....	60
Figura 39 Diagrama de momento flector.....	61
Figura 40 Pared contenedor.....	70
Figura 41 Perforación redonda.....	72
Figura 42 Cálculo de área perforada.....	73
Figura 43 Sujeciones y cargas exteriores.....	74
Figura 44 Tensión Von Mises.....	74
Figura 45 Deformación máxima.....	75
Figura 46 Sujeciones y cargas exteriores.....	75
Figura 47 Soldadura en filete, representación de la garganta.....	78
Figura 48 Datos psicométricos de la finca en el cantón Cumandá.....	83
Figura 49 Carta Psicométrica.....	84
Figura 50 Obtención de parámetros del aire.....	84
Figura 51 Curva de Secado de Cacao.....	86
Figura 52 Diagrama general de Secado.....	87
Figura 53 Bosquejo general del sistema de secado.....	101
Figura 54 Diagrama de Moody.....	105
Figura 55 Factor de fricción obtenido gráficamente.....	106
Figura 56 Coeficientes para pérdidas en accesorios.....	108
Figura 57 Elementos de mando.....	115
Figura 58 Diagrama electrónico de circuito de control.....	116

Figura 59	Diagrama electrónico del circuito de fuerza.	117
Figura 60	Circuito controlador de temperatura MYPIN	120
Figura 61	Control industrial de Temperatura.....	120
Figura 62	Componentes de estructura mecánica secador de cacao.....	122
Figura 63	Diagrama de flujo para fabricar contenedor de cacao.....	123
Figura 64	Resultado de corte de acero inoxidable	124
Figura 65	Resultado de planchas de acero roladas	125
Figura 66	Contenedor de acero inoxidable	125
Figura 67	Diagrama de flujo para fabricar removedor de cacao	126
Figura 68	Paleta de removedor	127
Figura 69	Ensamblaje removedor.....	128
Figura 70	Maquinado de chavetero	128
Figura 71	Montaje de removedor	129
Figura 72	Diagrama de flujo para fabricar mesa para soporte de cacao	130
Figura 73	Rolado de tubo cuadrado de bajo espesor	131
Figura 74	Soldadura mesa de soporte.....	131
Figura 75	Estructura mesa de soporte.....	132
Figura 76	Corte de plancha perforada	133
Figura 77	Mesa de soporte para secador de cacao	133
Figura 78	Mesa de soporte con superficie perforada	134
Figura 79	Proceso de manufactura de estructura de pórtico.....	134
Figura 80	Estructura acero ASTM A36	135
Figura 81	Soldadura de pórtico.....	135
Figura 82	Esmerilado de soldadura de pórtico.....	136
Figura 83	Montaje de motorreductor en pórtico	137
Figura 84	Pintado estructura de pórtico	137
Figura 85	Ducto de ventilación	138
Figura 86	Diagrama de procesos para ducto de ventilación	139
Figura 87	Layout del tablero de control.....	140
Figura 88	Diagrama de procesos para elaboración del tablero de control	141

Figura 89	Perforación de agujeros para montaje de HMI.....	142
Figura 90	Montaje de canaletas, riel DIN y dispositivos electrónicos.....	142
Figura 91	Marquillado de conductores eléctricos.....	143
Figura 92	Conexionado de tablero.....	143
Figura 93	HMI de tablero de control.....	144
Figura 94	Pruebas realizadas para establecer el protocolo de secado.....	145
Figura 95	Secado al sol.....	145
Figura 96	Procedimiento de medición de pH.....	147
Figura 97	Medición de masa de cacao mediante balanza analógica.....	148
Figura 98	Curva de masa en función del tiempo de secado.....	150
Figura 99	Curva de secado experimental del prototipo.....	151
Figura 100	Medición final con el higrómetro digital de granos.....	151
Figura 101	Prueba de corte de granos de cacao.....	153
Figura 102	Gráfica de la demanda diaria en toneladas.....	157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Requisitos del cliente.	21
Tabla 2 Características técnicas	21
Tabla 3 Valoración simbólica entre requerimientos	22
Tabla 4 Simbología utilizada en la matriz QFD	23
Tabla 5 Despliegue de la matriz QFD	23
Tabla 6 Solución de sub-problemas de conceptos	29
Tabla 7 Concepto de solución para energía	31
Tabla 8 Concepto de solución para almacenamiento y removedor granos	31
Tabla 9 Concepto de solución para controlador y sensores	32
Tabla 10 Matriz de ponderación	35
Tabla 11 Matriz de selección de alternativa	36
Tabla 12 Volumen de Remoción	40
Tabla 13 Propiedades físicas estructura removedor. Fuente: Software Cad	44
Tabla 14 Dimensiones de lengüetas en función del diámetro del eje.	49
Tabla 15 Dimensiones perfil de acero negro para soporte	54
Tabla 16 Catálogo de perfiles en C.	63
Tabla 17 Dimensiones de los granos de cacao	72
Tabla 18 Parámetros de soldadura en uniones del pórtico de soporte	77
Tabla 19 Espesores de garganta recomendados	78
Tabla 20 Parámetros de soldadura en uniones del pórtico de soporte	79
Tabla 21 Propiedades psicométricas del aire de la finca en Cumandá	85
Tabla 22 Corriente máxima de cada elemento eléctrico	118
Tabla 23 Variadores de frecuencia CFW10	119
Tabla 24 Materiales del tablero de control	140
Tabla 25 Resultados obtenidos de la prueba del pH.	147
Tabla 26 Datos de medición de masa de cacao	149
Tabla 27 Valores de humedad obtenida en el tiempo de secado	150
Tabla 28 Resultados de humedad final e inicial con el higrómetro digital	152

Tabla 29 Protocolo de temperatura	154
Tabla 30 Listado de Clientes Potenciales Empresa Cacao 3H.....	156
Tabla 31 Proyección de la demanda	158
Tabla 32 Proyección de la oferta.....	159
Tabla 33 Demanda insatisfecha	160
Tabla 34 Proyección Oferta, demanda y demanda insatisfecha.....	161
Tabla 35 Proyección Oferta, demanda y demanda insatisfecha en kg.	161
Tabla 36 Presupuesto de ingresos de los 5 primeros años	162
Tabla 37 Costos de operario para la secadora de cacao	162
Tabla 38 Costos de energía eléctrica.....	163
Tabla 39 Valor a pagar IVA al año	163
Tabla 40 Valores de impuesto a la Renta. Servicio de Rentas Internas	164
Tabla 41 Impuesto a la renta anual	164
Tabla 42 Estructura de costos de la secadora de cacao	165
Tabla 43 Balance de Resultados.....	166
Tabla 44 Análisis de rentabilidad financiera	167

RESUMEN

El cacao ecuatoriano es uno de los principales productos de exportación del país, su calidad depende tanto de la especie de cacao como de los procesos post cosecha como el fermentado y secado. Es por eso que el presente proyecto plantea un prototipo de maquina secadora de cacao que permita procesar el mismo con altos estándares de calidad. Se presenta un estudio sobre el cacao, sus características y procesamiento, así como también se describen las normas que exigen las BPM para alimentos. Posteriormente se realiza un análisis de las necesidades del cliente vs las especificaciones por medio de una matriz QFD y se realiza la generación de conceptos y se seleccionó el concepto más adecuado para el secador de cacao. Se desarrollan los cálculos y dimensionamiento de las partes y equipos que conforman la máquina. Luego de la construcción e implementación de la máquina se presentan los resultados obtenidos en base a las pruebas experimentales para medir la calidad final del cacao. Finalmente, se describen las conclusiones y recomendaciones en base a la implementación del prototipo de maquina secadora de cacao.

PALABRAS CLAVE:

CACAO

HUMEDAD

REMOVEDOR

SECADOR

CALIDAD

ABSTRACT

The Ecuadorian cocoa is one of the main export products of the country, its quality depends on the kind of cacao as the post harvest processes such as fermentation and drying. That is why this project posed a prototype cocoa drying machine that allows processing with high quality standards. A study on cocoa, its characteristics and processing is presented, as well as the guidelines required by GMP are also described. Afterwards, an analysis of customer needs vs specifications is performed by a QFD matrix and concept production is performed and the most suitable concept was selected for a cocoa dryer. Calculations and design of the parts and components of the machine are developed. After the construction and implementation of the machine, results obtained based on the experimental evidence are presented to measure the final quality of the cocoa. Finally, conclusions and recommendations are described based on the implementation of the machine dryer cocoa prototype.

KEYWORDS:

COCOA

HUMEDITY

MIXER

DRYER

QUALITY

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Al sur oeste de la provincia de Chimborazo se encuentra ubicado el cantón Cumandá, a una distancia de 321 km de la ciudad de Quito, posee una extensión de 158,7 km²; su altitud varía aproximadamente de 300 hasta 2000 msnm; y con una temperatura promedio de 20°C. El clima subtropical favorece el desarrollo de la agricultura, siendo el cacao y el banano los principales productos que se producen. (Ver Figura 1).

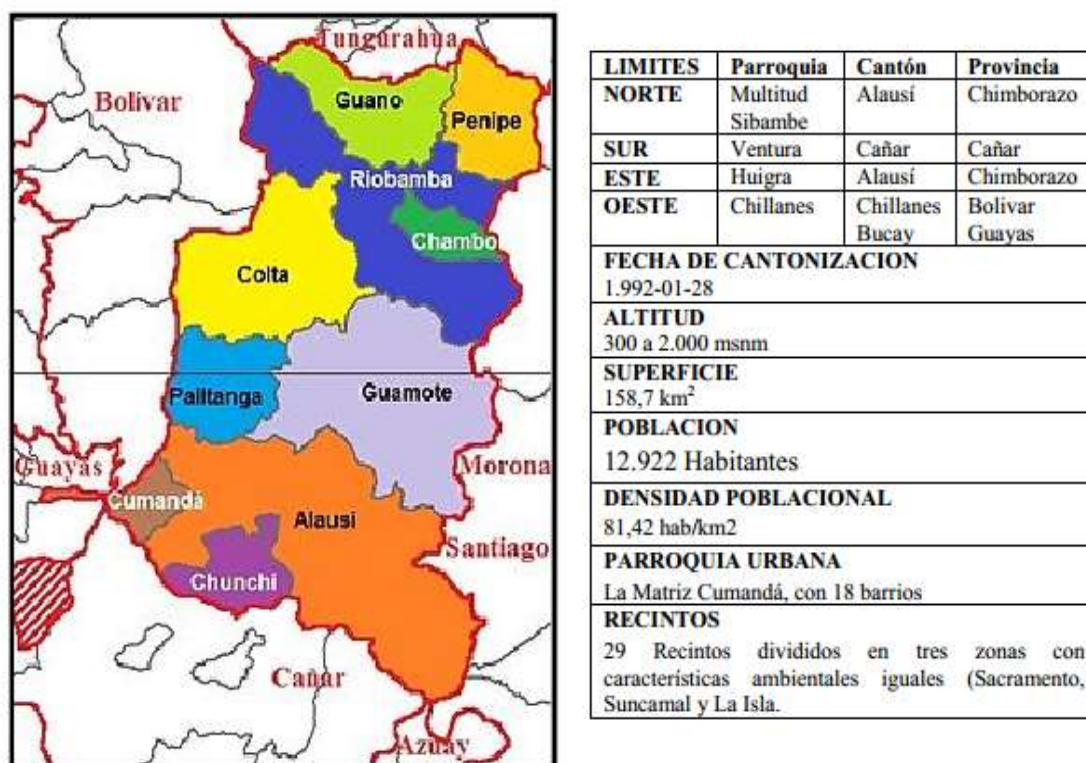


Figura 1: Localización geográfica y datos generales del cantón Cumandá.

Fuente: (Cañizares, 2013)

En el cantón Cumandá, se encuentra la empresa Cacao 3H, ubicada entre los ríos Chimbo y Chanchán (Ver Figura 2), posee 10 hectáreas de plantaciones de cacao nacional. Su proyección para el 2020 es contar con todos los equipos industriales para el tratamiento post cosecha del cacao.

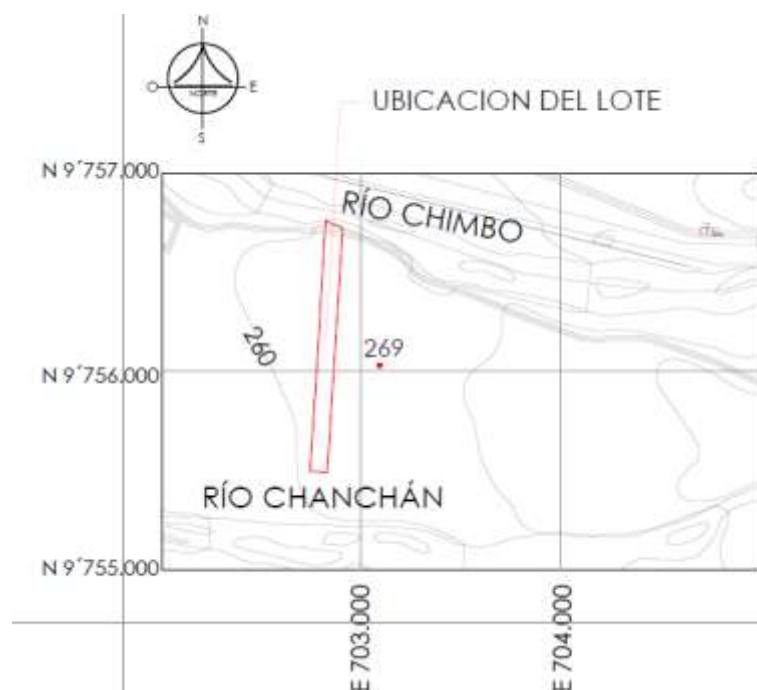


Figura 2: Localización geográfica de la empresa Cacao 3H

El cacao ecuatoriano es uno de los principales productos de exportación del país, por lo que el proceso de producción debe ser controlado para que cumpla con los estándares internacionales de calidad. Los productores ecuatorianos de cacao, han practicado el secado artesanal durante años, sin embargo se ha observado que las principales falencias de éste proceso aséptico, demanda mucho tiempo en secarse y el producto final no es homogéneo.

En el año 2015, las exportaciones ecuatorianas de cacao cerraron un volumen total de 260 mil toneladas métricas de cacao en grano y sus productos derivados, se produjo un aumento del 10% con respecto al 2014. (Ver Figura 3)

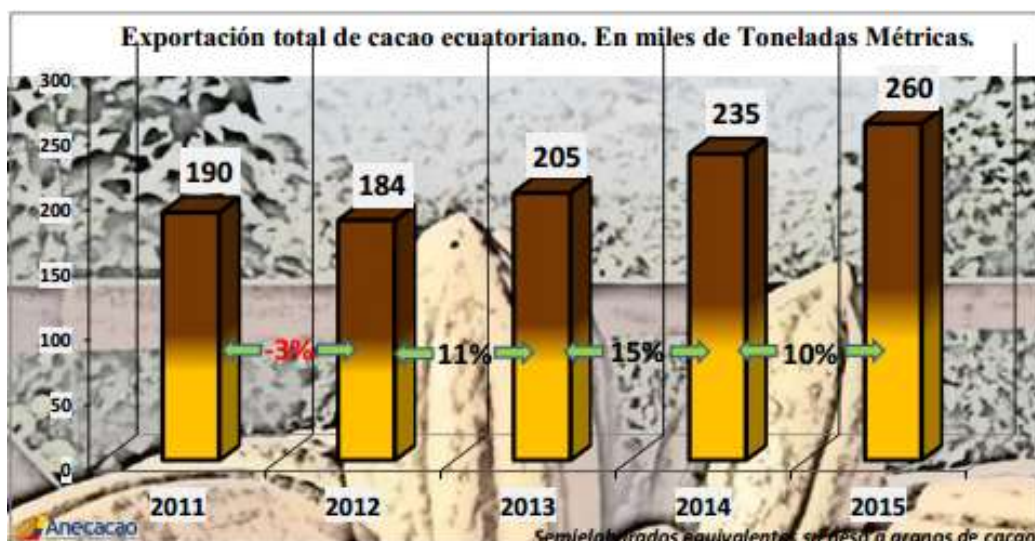


Figura 3: Exportación total del cacao ecuatoriano.
Fuente: (ANECACAO, 2015)

Además, el proceso de secado de grano se lo realiza de forma natural y manual, el cual consiste en exponer el grano a los rayos solares, previo exista un proceso de fermentación. Para que el cacao alcance una humedad óptima del 7 al 10%, por el método natural, requiere someterse de 7 a 8 días de sol intenso. Por lo que el presente proyecto resolverá la necesidad de optimizar el proceso, al disminuir el tiempo de secado y mano de obra, mediante una máquina semiautomática.

1.2 Justificación

El continuo avance de la tecnología ha llevado a reemplazar ciertas operaciones humanas por equipos o máquinas que realicen la misma función, con la ventaja de que son automatizados, precisos y disminuyen el error de operación. Así, los equipos y máquinas se han convertido en un factor indispensable en diferentes sectores industriales, en este caso la agroindustria. Esto ha permitido la creación de un nuevo mercado, dedicado específicamente a la manufactura de máquinas y equipos, destinados a mejorar la calidad de los procesos industriales en el sector agrónomo. En el Ecuador, no existen

compañías que fabriquen dichas máquinas o equipos, por lo que el mercado ecuatoriano se ve obligado a importarlas o realizar el trabajo de forma artesanal.

Por tal motivo, el diseño y construcción de un prototipo de secador de cacao es una alternativa para optimizar el tiempo de secado de cacao de días a pocas horas, para reducir la mano de obra y mejorar la calidad del cacao secado en la empresa Cacao 3H.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar y construir un prototipo de secador de cacao mediante un diseño mecánico, electrónico y de control para optimizar el tiempo de secado, en la empresa Cacao 3H del cantón Cumandá.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Dimensionar los componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos y del sistema de control para el diseño del prototipo, para obtener un secado diario de al menos 3 quintales de cacao.
- Calcular la potencia del motor AC necesaria para el sistema de remoción, que pueda soportar al menos un lote de 50 kg de cacao.
- Dimensionar el controlador digital para obtener una temperatura estacionaria entre 50 y 60 grados centígrados.
- Diseñar y simular el sistema mecánico removedor con sus respectivos accesorios.
- Implementar el prototipo en base al diseño realizado.
- Diseñar e implementar un HMI para el monitoreo y control de las variables del proceso.
- Validar el prototipo, mediante pruebas de funcionamiento y pruebas de calidad en el producto final, de acuerdo a los requerimientos de la empresa Cacao 3H.

1.4 Alcance

El sistema mecatrónico del secador de cacao será controlado por un circuito semiautomático y monitoreado a través de una HMI (Human Machine Interface - Interface Humano Máquina) que permitirá visualizar y establecer los parámetros del proceso de secado según los requerimientos del operario. (Ver Figura 4)

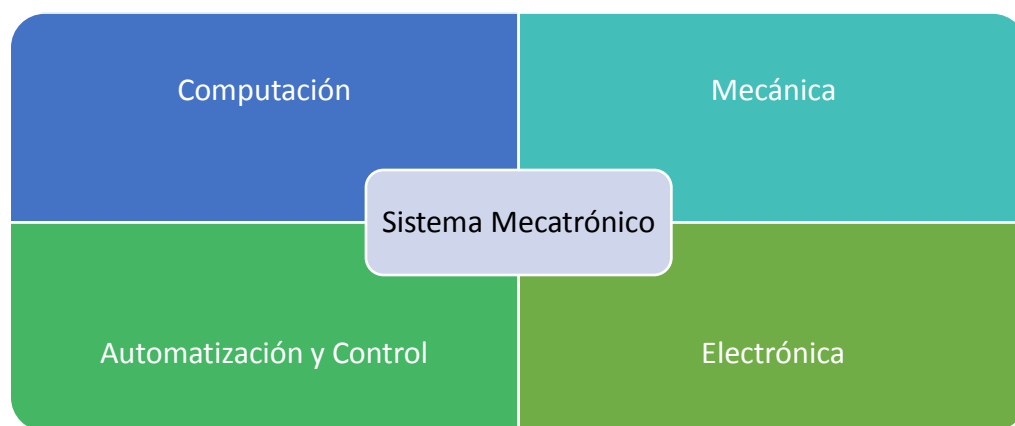


Figura 4: Sistema mecatrónico

Se dimensionará un removedor para optimizar el tiempo de secado y reducir la mano de obra que requiere el proceso de secado de granos, el removedor será accionado por un motorreductor en corriente alterna AC. Además se diseñará y construirá un tanque contenedor en acero inoxidable, con un sistema de ventilación interna, ubicado en la parte inferior capaz de permitir el secado del grano mediante el principio de convección forzada. El sistema contará con un ventilador centrífugo y un sistema de resistencias eléctrica calefactoras, se implementará un controlador de temperatura para mantener una temperatura entre (50 y 60°C), temperatura ideal para secar el cacao.

Por último, se realizará pruebas de funcionamiento del prototipo y pruebas higroscópicas para conocer la humedad final del grano de cacao, mediante un sensor de humedad de granos externo, el cual permitirá conocer la humedad final del grano cuyo rango de humedad ideal es: 7%-12%.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Cacao ecuatoriano

El cacao o cacaotero es un árbol tropical de la familia de las esterculiáceas, conocido científicamente como *Theobroma cacao*, procede del griego “*Theos*” que significa “Dios” y “*broma*” que significa “alimento” (León, 2000). Existen aproximadamente unas 20 especies del género *Theobroma*, la más comercial es el cacao (*Theobroma Cacao*) cuyas semillas son la materia prima para la elaboración de polvo de cacao, manteca de cacao y barras de chocolate (Loor, 2002). (Ver Figura 5)

Ecuador es calificado como un país mega-diverso, aloja una gran cantidad de especies de animales y plantas. Dentro de las plantas se encuentra el cacao, individualmente el cacao ‘Nacional’, siendo el máspreciado entre los fabricantes de chocolate, por la calidad de sus granos y su fino aroma. *Cacao Arriba* significa cacao ecuatoriano, es un forastero aborigen del bosque húmedo ecuatoriano. Este corresponde a la mezcla entre cacao de tipo nacional y trinitarios, el cual produce almendras de un gran tamaño de color ligeramente marrón.



Figura 5: Cacao ecuatoriano
Fuente: (CMC, 2015)

2.2 Características del producto

El cacao es una fruta de principio tropical, su árbol posee flores blancas-amarillas de sépalos grandes y largos, su fruto posee forma alargada. Dependiendo del tipo de cacao su fruto puede ser de color amarillo, blanco, verde o rojo. El grano de cacao es envuelto de una pulpa rica en azúcar, la cual desempeña un papel importante en el proceso de fertilización del grano. La producción de cacao se lleva a cabo en la costa y amazonia del Ecuador. (CMC, 2015)

En el Ecuador se desarrollan 2 tipos de cacao:

- Cacao Fino de Aroma, conocido también como Criollo o Nacional, su fruto es de coloración amarilla, usado a nivel internacional para la elaboración del chocolate. (Ver Figura 6)



Figura 6: Cacao fino de aroma
Fuente: (ANDES, 2012)

- Cacao CCN-51, distinguido también como colección *Castro Naranjal* cuyo producto posee una coloración rojiza. Reconocido por sus cualidades de gran utilidad para la extracción de

semielaborados, esencial para la producción de chocolates. La relación existente en la participación del Clon y el Cacao Nacional Fino en las exportaciones ecuatorianas hasta al momento es de: 75 % Cacao Nacional y 25 % CCN-51.(Ver Figura 7)



Figura 7: Cacao fino de aroma

Fuente: (ANECACAO, 2015)

2.3 Factores climáticos en el cultivo

De acuerdo a la zona donde lleve a cabo la producción de cultivos cacaoteros se tiene diferencias climáticas, las mismas involucran un papel importante en el crecimiento del árbol de cacao. Los principales factores climáticos son: humedad relativa, estaciones, luminosidad, precipitación y temperatura.

2.3.1 Humedad Relativa

La humedad relativa se define como la razón entre la presión del vapor de agua y la presión de vapor saturado a una cierta temperatura dada (Campos Olgúin, 2006). El ambiente donde se encuentre plantaciones de cacao debe ser húmedo, cuya humedad relativa adecuada varía entre 70 – 80%. La humedad relativa se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Humedad Relativa} = \frac{\text{presión parcial de H}_2\text{O}}{\text{presión de vapor saturado de H}_2\text{O}} \times 100\%$$

2.3.2 Estaciones

El Ecuador se caracteriza por tener 2 estaciones: el invierno y el verano. El invierno se caracteriza por las frecuentes lluvias y cambio de temperatura, las mismas que se presentan en los meses de Enero – Abril, permiten el riego de ciertas plantaciones, en el verano se mantiene un clima seco por al menos 6 meses, sin embargo no existen riesgos ya que se presenta un clima nublado y cálido ideal para las plantaciones de cacao.

2.3.3 Luminosidad

La planta de cacao requiere cierta radiación solar para el desarrollo, la luminosidad depende de la latitud y el tiempo. Se requiere que la plantación este expuesta a un 50% de luminosidad, en ciertos países se reportan incrementos superiores al 180%, con tiempos de sombra, y labores agronómicas de fertilización y riegos de suelos.

2.3.4 Precipitación

La planta de cacao es sensible a la falta de humedad en el suelo, por esta razón se recomienda exponerla a cierta cantidad de lluvias durante todo el año; se considera un mínimo de 100 mm/mes. Si la zona es muy lluviosa se recomienda tener un sistema de drenaje. La distribución de lluvias determina el periodo cacaotero, el cual contiene las etapas: descanso, brote, floración y cosecha.

2.3.5 Temperatura

La temperatura es determinante en el desarrollo del cultivo de cacao, su media anual debe estar alrededor de 24 a 26 °C, se recomienda no pasar de

30°C, La temperatura media diaria no debe ser inferior a 15°C. La oscilación diaria de temperatura entre el día y la noche no debe ser inferior a 9°C. Las condiciones de temperatura en zonas tropicales Ecuador son óptimas para el desarrollo del cultivo y la producción del cacao de calidad.

2.4 Tratamiento post-cosecha del cacao

Previo al cultivo del cacao se debe realizar un proceso para la correcta distribución y exportación del cacao, el cual se debe regir a la norma NTE INEN 176, los procesos más relevantes para el procesamiento del cacao se muestran en la figura, el correcto procedimiento y aplicación normas de calidad hacen del cacao y sus derivados un producto muy cotizado en el mercado internacional. (Ver Figura 8)

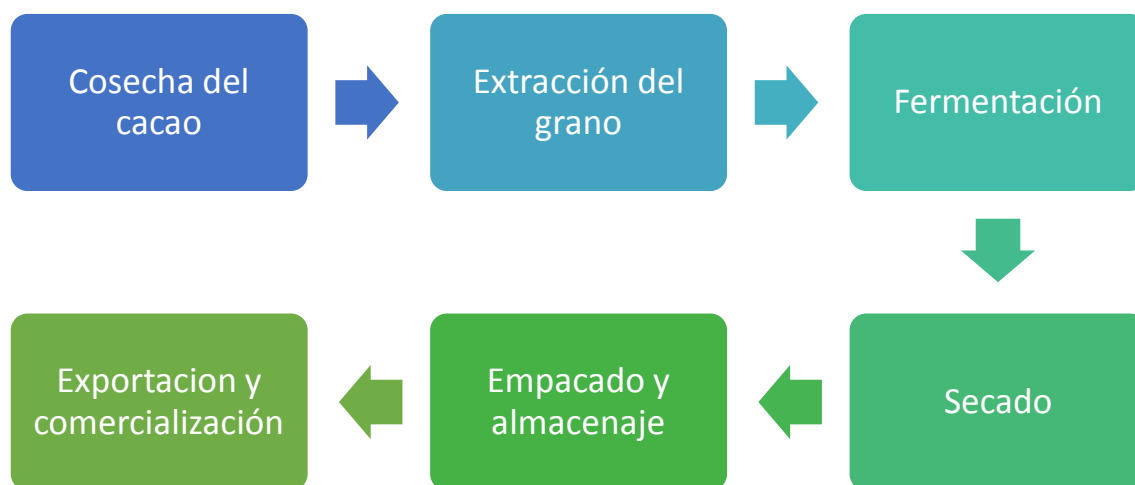


Figura 8: Procesamiento del cacao

2.4.1 Cosecha del cacao

En Ecuador se inicia la cosecha de las mazorcas al lograr su madurez, se identifica por la coloración del fruto según la variedad se tornan verde a amarillas

(criollos, forasteros amazónicos y Nacional) (Ver Figura 9); y de rojo a amarillento, (Trinitarios), deben tomarse las siguientes recomendaciones:

- Cosechar solamente mazorcas maduras y sanas.
- No mezclar tipos de cacao.



Figura 9: Cosecha del cacao

Fuente: (ANECACAO, 2015)

2.4.2 Fermentación

La fermentación es un proceso dentro del cual el cacao elimina los restos de pulpa que recubren al grano, su objetivo es matar el germen que existe en el grano y la razón principal de la fermentación es el desarrollo del sabor, aroma y color de la almendra para obtener un cacao de aroma fino. El proceso de fermentación es un proceso de reacciones químicas, mediante las cuales los azúcares contenidos en la pulpa se transforman en productos como agua, alcohol etílico y ácido acético (Ver Figura 10). Físicamente el grano de cacao se hincha, por penetración de agua y ácido acético provenientes de la pulpa, se forman grietas o estrías internas del grano. (ANECACAO, 2015)



Figura 10: Fermentación del cacao en cajas de madera

Fuente: (CANACACAO, 2015)

La fermentación exige tener una trayectoria anaeróbica donde el cacao persiste en reposo durante al menos 3 días seguidos, subsiguientemente se debe voltear todo el cacao por cada 24 horas cuyo objetivo es liberar el CO₂ generado inicialmente y que en su lugar los granos se expongan al oxígeno para garantizar el proceso de oxidación. Con los volteos se logra una fermentación uniforme entre los granos, siendo ello garantía para obtener un producto con aroma, color y sabor a chocolate. El tiempo de fermentación debe ser de 5 a 6 días consecutivos contados a partir del depósito del grano en los recipientes, sacos o cajas. (ANECACAO, 2015)

2.4.3 Secado

La desecación o secado de sólidos es un tratamiento que consiste en separar cierto porcentaje de agua u otro líquido de un material sólido, cuyo objetivo es disminuir el contenido de agua en estado líquido hasta un valor relativamente bajo. El secado es la etapa final de una serie de operaciones, culminado el proceso se realiza el empaquetado y sellado del producto. Las condiciones para el secado de materiales sólidos dependen en su mayoría de la cantidad y volumen de sólido, de la naturaleza y estado del disolvente que se desea reducir, de la sensibilidad del producto a la temperatura de secado y la

presión atmosférica a la cual se encuentre sometido. El secado específicamente debe reducir la humedad del grano de 50% al 7%. (ANECACAO, 2015)

2.4.3.1 Secado Natural

Es el procedimiento más común empleado por los agricultores ecuatorianos, los exponen en tendales con camas de espesor bajos, sin embargo su uso depende de la época y la zona, se obtiene una humedad baja dentro de 6 a 7 días. En el primer día de secado se aconseja extender los granos en una capa de espesor gruesa de al menos 8 cm de espesor, se disminuye el espesor los próximos días.

Una práctica que no se recomienda realizar es el uso de las carreteras asfaltadas para secar cacao, puesto que el asfalto posee metales pesados que dañan la calidad y el aroma, la contaminación de los automóviles y el humo de los escapes produce un sabor indeseable y no apto para el consumo del ser humano. (Ver Figura 11)



Figura 11: Secado natural de cacao
Fuente: (CANACACAO, 2015)

2.4.3.2 Secado artificial

Producido por máquinas secadoras, son colocadas en zonas donde no es posible ejecutar el secado natural debido a desventajas climáticas. Las condiciones que se obtienen con el secado artificial no son las mismas que proporciona el secado natural, sin embargo se garantiza un rápido secado del grano de cacao. (Ver Figura 12) En el caso del uso de secado artificial se recomienda tener un control en la temperatura de secado. (SIRCA, 2015)



Figura 12: Secadora de cacao industrial
Fuente: (SIRCA, 2015)

2.5 Descripción de la normativa a aplicar

2.5.1 Buenas prácticas agrícolas (BPA)

Hace referencia al uso sostenible de los recursos naturales en la elaboración de productos alimenticios, se evalúa la situación económica y la sociedad envuelta en el medio. Sirve como principios y buenas prácticas de propósito general para limpieza en frutas y hortalizas del consumo humano. Garantizan la inocuidad y calidad de los productos de la cadena alimentaria, generan ventajas comerciales en base una buena gestión de cadenas de suministro y crean oportunidades para el mercado de productores y exportadores. (FAO, 2016)

La aplicación de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) durante operaciones como; siembra, cultivo, limpieza, fermentado, secado, empaque, molienda, empaquetado, entre otros es indispensable para erradicar medios de contaminación de tipo agrotóxico y patógeno. Se requiere que todo el personal de producción agrícola sea capacitado para efectuar su labor.

2.5.2 Buenas prácticas de Manufactura (BPM)

Se definen como normas obligatorias para la industria alimenticia, se enfoca en las buenas prácticas de fabricación de productos para el consumo del ser humano. Su objetivo principal es proteger la salud del consumidor mediante la inocuidad alimenticia y el estricto cumplimiento de sus normas. En Ecuador las Buenas prácticas de Manufactura (BPM) se rigen bajo el reglamento de buenas prácticas para alimentos procesados.

El Sistema Ecuatoriano de Metrología, Normalización, Acreditación, Certificación (MNAC) acredita a las entidades de inspección públicas y privadas para la certificación de BPM, dentro del alcance se encuentra: instalaciones, equipos y utensilios, personal, adiestramiento y capacitación, prácticas sanitarias e higiene, diseño y material del equipo, manejo y calidad del aire, suministro de agua, materias primas, procesos de producción, envasado y etiquetado, almacenamiento y transporte, limpieza y desinfección, control de plagas.

2.5.3 Instalaciones

Los establecimientos deberán ubicarse alejados de:

- Zonas contaminadas.
- Áreas expuestas a inundaciones.
- Lugares expuestos a invasiones de plagas.
- Zonas que no pueden retirarse de manera eficaz los desechos tanto sólidos como líquidos.

Los establecimientos no deben tener comunicación directa con viviendas, los pisos, paredes y techos deben ser de material lavable como baldosa y epóxico. Las superficies y materiales, particularmente los que están en contacto con los alimentos, no pueden ser tóxicos, y deben ser fáciles de mantener, limpiar y desinfectar como el acero inoxidable, el plástico y el titanio. Las instalaciones normadas facilitan un control efectivo de plagas y dificultan el acceso y refugio de las mismas. (Reglamento de buenas practicas para alimentos procesados, 2002) (Ver Figura 13)



Figura 13: Instalaciones BPM.
Fuente: (Bys, 2016)

Se debe mantener los drenajes adecuados para evitar la contaminación y mantener suficiente espacio para la ubicación de los equipos. No deben existir cañerías sobre las áreas de trabajo. Las áreas de proceso de alimentos deben estar separadas de otras instalaciones que puedan causar contaminación. Las luminarias deben estar protegidas para evitar contaminación por rotura de focos. La calidad del aire y la ventilación debe ser adecuada para prevenir contaminación por polvo y otras sustancias arrastradas por el aire. (Reglamento de buenas practicas para alimentos procesados, 2002)

El área de baños debe estar provista y equipada con materiales de limpieza y en buenas condiciones. Deben existir la cantidad de baños necesaria. Deben existir lavamanos y o facilidades desanitización. La basura debe ser almacenada en un lugar adecuado (alejado del área de proceso) y protegido contra insectos, roedores y otras pestes, y debe ser retirada continuamente.

2.5.4 Personal

Corresponde a todo la normativa sobre el talento humano que manipulará el proceso o los alimentos, se tiene las siguientes indicaciones:

- Capacitación: El curso de manipulación de alimentos es exigido por el Ministerio de Salud y toda planta debe tener un programa de capacitación en BPM.
- Salud: Contar con el carnet de salud que debe ser renovado anualmente (examen médico y clínico) especialmente los empleados nuevos.
- Higiene personal y prácticas sanitarias.

También se requiere tener una higiene personal:

- Bañarse todos los días
- Lavarse las manos con agua y jabón antes de comenzar el trabajo, siempre que salga y regrese al área asignada, usar los servicios sanitarios y luego de manipular cualquier material u objeto que pudiese representar un riesgo de contaminación para el alimento. El uso de guantes no exime al personal de la obligación de lavarse las manos. (Reglamento de buenas practicas para alimentos procesados, 2002)
- Es obligatorio realizar la desinfección de las manos cuando los riesgos asociados con la etapa del proceso así lo justifique.

2.5.5 Materias Primas

No se aceptan materias primas e ingredientes que contengan parásitos, microorganismos patógenos, sustancias tóxicas (tales como, metales pesados, drogas veterinarias, pesticidas), ni materias primas en estado de descomposición o extrañas y cuya contaminación no pueda reducirse a niveles aceptables mediante la operación de tecnologías conocidas para las operaciones usuales de preparación (art.18). Deben almacenarse en sitios específicos y separados de las áreas de producción (Reglamento de buenas practicas para alimentos procesados, 2002)

2.5.6 Calidad del Agua y del Aire

El agua utilizada como materia prima o para lavado de los alimentos debe estar potabilizada, en caso de utilizar aire o gases dentro del proceso, este no debe ser una fuente de contaminación para el producto. (Reglamento de buenas practicas para alimentos procesados, 2002)

2.5.7 Procesos de Producción

Dependiendo del alimento a tratar la norma da énfasis a los procesos de reducción de microorganismos tales como el tratamiento térmico, tiempo, temperatura, humedad y congelación. (Art.34) (Reglamento de buenas practicas para alimentos procesados, 2002).

2.5.8 Limpiar y Desinfectar

Es la acción de quitar la suciedad, restos de comida, grasas y otras materias consideradas como perjudiciales para la salud. Se elimina a los microorganismos por medios mecánicos, físicos o químicos. (Reglamento de buenas practicas para alimentos procesados, 2002)

2.5.9 Control de Plagas

Se debe contar con un sistema de control de plagas, que se puede realizar directamente la empresa o un servicio tercerizado. El proceso no debe poner en riesgo la inocuidad de los alimentos. Por principio, no se deben realizar actividades de control de roedores con agentes químicos dentro de las instalaciones de producción, envase, transporte y distribución de alimentos. Sólo se usarán métodos físicos dentro de estas áreas. (Reglamento de buenas practicas para alimentos procesados, 2002).

CAPÍTULO 3

DISEÑO CONCURRENTES

3.1 Método de despliegue de la función de calidad (QFD)

El QFD por sus siglas en inglés (Quality Function Deployment) es un método de gestión de calidad basado en transformar los requerimientos del usuario en los requisitos técnicos apropiados para cada concepto en la etapa del desarrollo de producto y de producción, aumentar la calidad, y por último ayuda al personal técnico en permanecer enfocado en las especificaciones de diseño más importantes. (Yacuzzi, 2008, pág. 9) (Ver Figura 14)

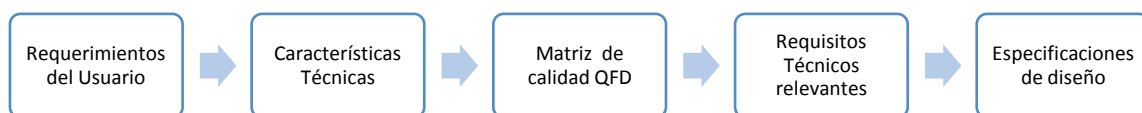


Figura 14: Método de despliegue de la función de calidad QFD.
Fuente: (Quality Progress, 2012)

3.1.1 Requisitos del cliente

Cacao3H auspiciante del proyecto de investigación ha mencionado los principales requerimientos para el sacado de cacao (Ver Tabla 2):

- Elaborar un prototipo de máquina mecatrónica capaz de secar el cacao.
- Minimizar el tiempo de secado del cacao.
- Reducir la mano de obra en el secado.
- Cuidar las características organolépticas y calidad del cacao.
- Realizar un diseño de bajo costo.
- Realizar un prototipo que funcione con energía limpia por el cambio de la matriz energética.

Tabla 1
Requisitos del cliente.

Ítem	Requisitos del cliente	Prioridad (1: No relevante; 5: Muy relevante)
1	Minimizar el tiempo de secado del cacao	4
2	Soportar temperatura y humedad	5
3	Reducir la mano de obra	4
4	Bajo costo	3
5	Bajo consumo de energía (Renovable)	4
6	Preservar la calidad del cacao	5

3.1.2 Características Técnicas

Previo al conocimiento de los requerimientos del clientes, se enumera las características técnicas que debe ser consideradas para el diseño del prototipo del secador de cacao, se debe considerar que las mismas son de carácter cuantitativo con el objetivo de dar soluciones a las necesidades del usuario. En la Tabla 2 se muestra las posibles características técnicas.

Tabla 2
Características técnicas

Ítem	Características Técnicas	Valor
1	Temperatura del flujo de aire caliente	50-70°C
2	Humedad final de granos	7%
3	Velocidad del removedor	7 rpm
4	Potencia de motores	½ Hp
5	Consumo de energía	Energía Eléctrica
6	Material para procesar alimentos	Plástico, Acero Inoxidable

Los grupos de los requerimientos del cliente, como las características técnicas se las analizan en la matriz de calidad QFD, donde se puede reconocer una lista de las características técnicas finales de acuerdo a la mayor relevancia y prioridad para la ejecución del diseño. Dentro del QFD se entrega valores de prioridad a las necesidades del usuario, para luego identificar por medio de símbolos el nivel de correlación entre los requerimientos del cliente y las características técnicas. Los símbolos y características son mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3
Valoración simbólica para medir la correlación entre requerimientos del cliente y características técnicas

Grado de correlación	Símbolo	Valoración
Fuerte	θ	9
Media	0	3
Débil	Δ	1
Nula		0

Con los valores de correlación y el porcentaje de prioridad de los requerimientos del cliente obtenemos el porcentaje de ponderación de las características técnicas, cuya información se utiliza para el diseño y construcción del prototipo de máquina secadora de cacao. De la misma manera se utiliza un patrón de símbolos cuyo objetivo es determinar el nivel de correlación entre las características técnicas, mediante esta manera conocer el efecto que tiene cada una sobre las demás. (Ver Tabla 4)

Tabla 4
Simbología utilizada en la matriz QFD para interrelacionar las características técnicas

Grado de correlación	Símbolo
Fuerte	++
Media	+
Débil	-
Nula	--

En la **Tabla 5** se muestra el despliegue de la matriz QFD:

Tabla 5
Despliegue de la matriz QFD

	Prioridad	Porcentaje de Prioridad	Temperatura del flujo de aire caliente	Humedad final de granos	Velocidad del removedor	Potencia motores	Consumo de energía	Materiales anticorrosivos
Minimizar el tiempo de secado del cacao	4	16	θ		o		o	
Soportar temperatura y humedad	5	20	Δ	Δ				θ
Reducir la mano de obra	4	16			θ	o	o	
Bajo costo	3	12					Δ	
Bajo consumo de energía (Renovable)	4	16				θ	θ	
Preservar la calidad del cacao.	5	20	θ	θ				θ
Ponderación			344	200	228	192	252	360
Porcentaje de Ponderación			21.83	12.69	14.47	12.18	15.99	22.84

3.1.3 Análisis de resultados de la matriz QFD

Como resultado de aplicar la técnica de correlación se obtiene el nivel de importancia de cada una de las características técnicas, se encuentra relacionado directamente con las necesidades del cliente y se lo reconoce en forma de porcentajes como se aprecia en la Figura 15.

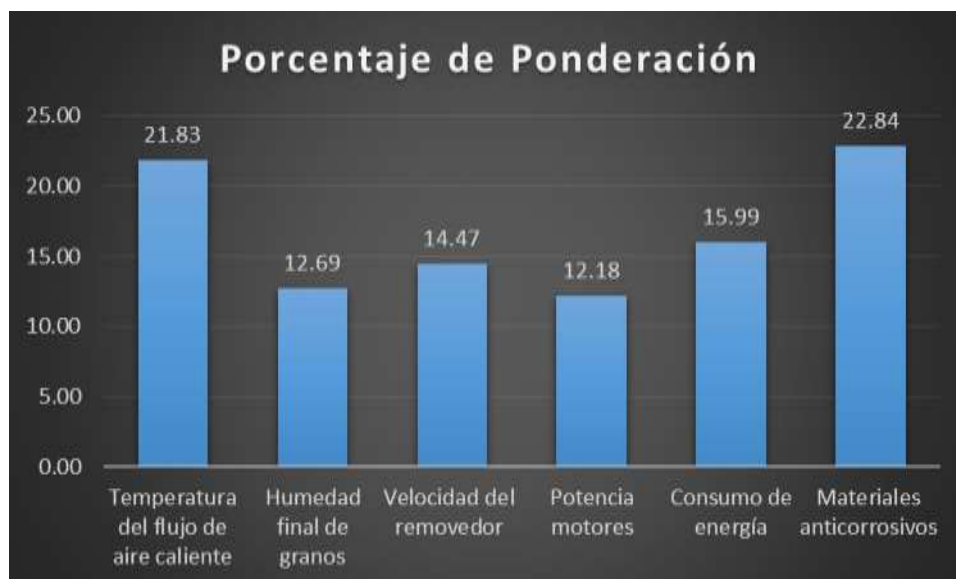


Figura 15: Porcentaje de ponderación obtenido de la matriz QFD.

Con un 22,84% de importancia la selección del material y materia prima es el primer parámetro más significativo por donde se recomienda iniciar el diseño del prototipo, utilizar normas de calidad vigentes para el tratado y procesamiento de alimentos. En segundo lugar con un 21,83% de importancia se ha determinado que la temperatura del flujo de aire caliente es la segunda característica técnica que se debe considerar para realizar un secado constante y sin tostar el grano de cacao. Ambas características se relacionan de manera que el material debe ser seleccionado para soportar la temperatura del flujo de aire caliente.

3.2 Generación de conceptos

Según Ulrich & Eppinger (2013) para la generación de conceptos se incluye la búsqueda interna, búsqueda externa, exploración sistemática y demás actividades que correspondan, además se generan los conceptos para el prototipo de máquina secadora de cacao, los cuales brindan una descripción aproximada de la tecnología, principios de trabajo y forma del producto. Se considera las necesidades del cliente (ver Tabla 1). Por último el sistema es dividido en sub problemas o partes más sencillas, mediante descomposición funcional.

A continuación se describe los pasos para la generación de conceptos:

Paso 1: Aclarar el problema

Los problemas en la selección de concepto del prototipo de máquina secadora de cacao son:

- Tipo de secador
- Energía de operación
- Medio de transferencia de calor
- Actuadores para removedor y ventilador
- Ventilador de aire

Descomposición de un problema complejo en sub-problemas más sencillos

Se representa al problema en una caja negra, dividido en sub-funciones para crear una descripción más específica de los elementos del prototipo de máquina secadora de cacao. (Ver

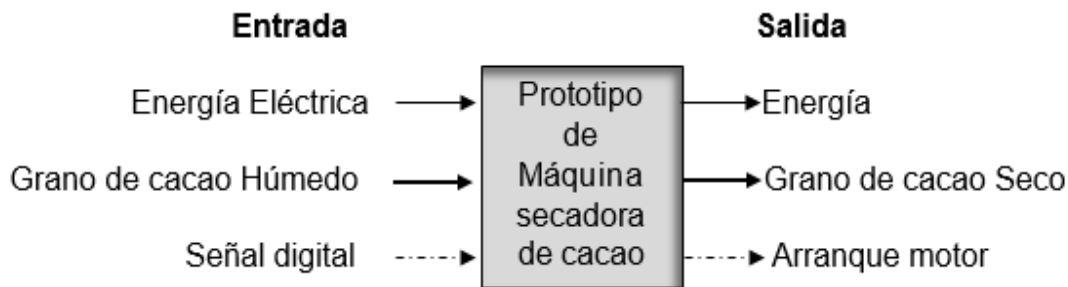


Figura 16 y Figura 17)

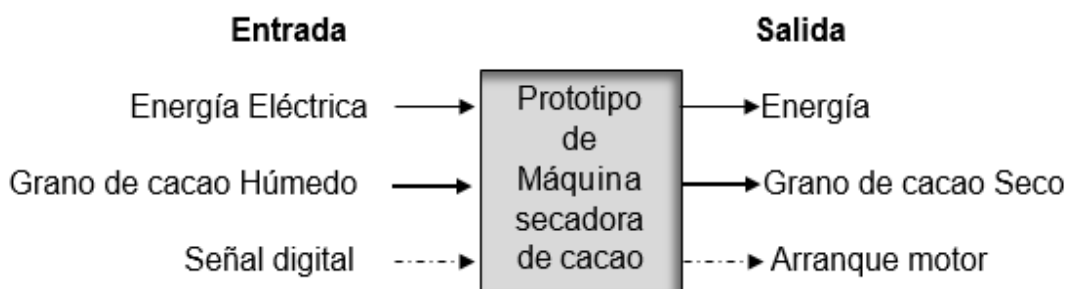


Figura 16: “Caja negra” general para el prototipo de máquina secadora de cacao

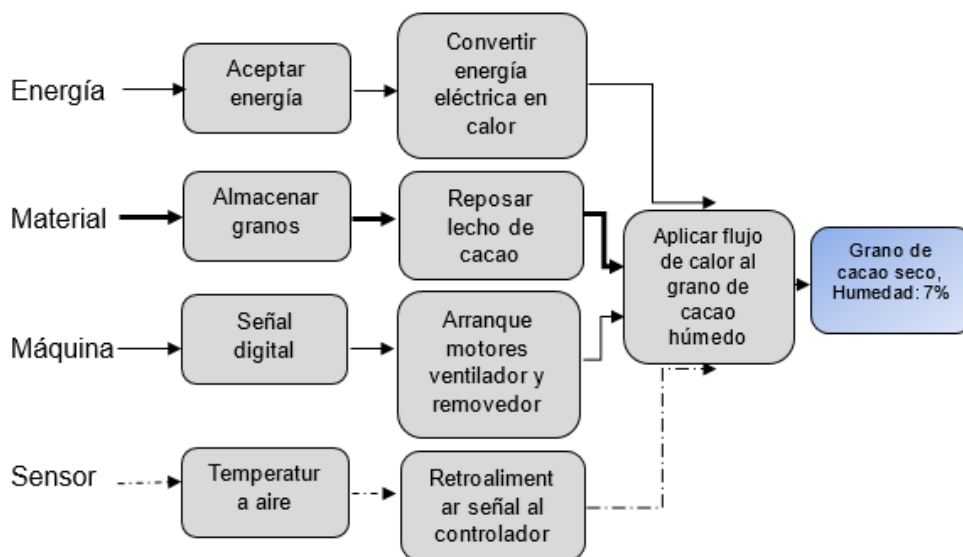


Figura 17: Refinamiento de sub-funciones

Paso 2: Buscar externamente

Las máquinas secadoras de cacao existentes en el mercado utilizan diferentes tecnologías, entre ellas se encuentran secadoras que consumen combustible por medio de cámaras de quemado e intercambiadores de calor, gas licuado de petróleo GLP por medio de quemadores industriales y las secadoras eléctricas por medio de niquelinas industriales. (Ver Figura 18, Figura 19 y Figura 20)



Figura 18: Secadora de cacao por combustión

Fuente: (WILPAC, 2015)



Figura 19: Secadora de cacao por GLP
Fuente: (GUINUM, 2016)

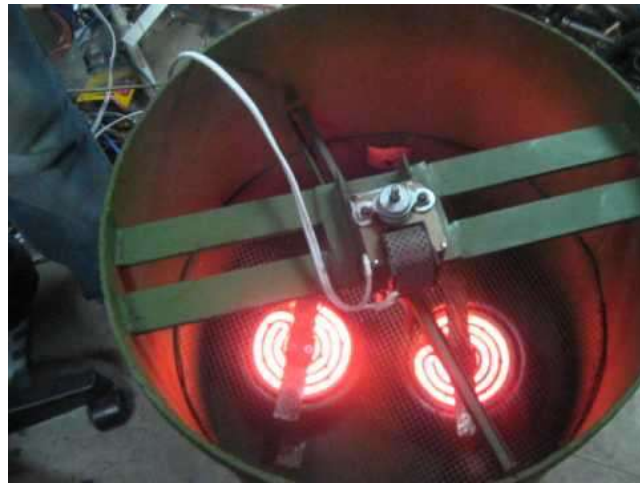


Figura 20: Secadora de cacao eléctrica
Fuente: (Máquina Perú S.A., 2016)

Paso 3: Buscar Internamente

Para este paso, se realizó una reunión entre las personas involucradas en el diseño, en el cual, mediante una lluvia de ideas se obtuvo diferentes soluciones

para el prototipo de máquina secadora de cacao como se evalúa en los pasos posteriores.

Paso 4: Exploración sistemática

Por medio de tablas de solución de conceptos se realiza una exploración sistemática de las posibles soluciones correspondientes a cada sub-problema, como se indica en la Tabla 6.

Tabla 6
Solución de sub-problemas de conceptos

SUB-PROBLEMAS	Alimentación del prototipo	Contenedor de granos	Tipo de señales	Actuadores	Mando y Control	Sensores de temperatura	Sensor de humedad	Tipo de Calefactor
SOLUCIONES	-Baterías -Generadores a base de gasolina -GLP -Energía solar -Energía Eléctrica	-Tolva -Cernidero -Contenedor	-Señal eléctrica -Señal neumática -Señal hidráulica	-Motor a pasos -Motor DC -Motor AC -Motor reductor -Motor hidráulico bidireccional	-Relés mecánicos industriales -Relés de estado sólido -Contactores -Disyuntores	-Termocuplas tipo J,K -Pt100 -RTD -Termómetro	-Sensor de humedad de granos tipo zonda. -Sensor de humedad de granos portable FSR-04.	-Resistencias eléctricas -Quemador de GLP -Intercambiador de calor

Además, se pueden observar los diagramas de flujo para cada problema. (Ver Figura 21, Figura 22 y Figura 23)

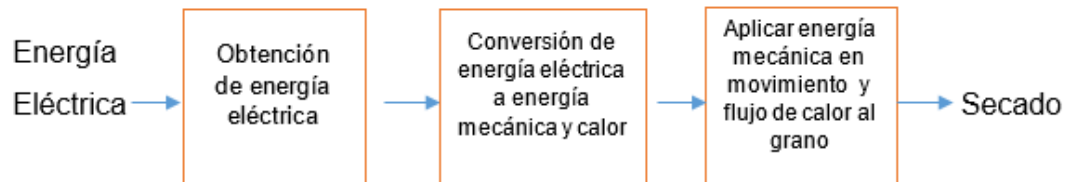


Figura 21: Diagrama de descomposición del problema de Energía



Figura 22: Diagrama de descomposición del problema de control

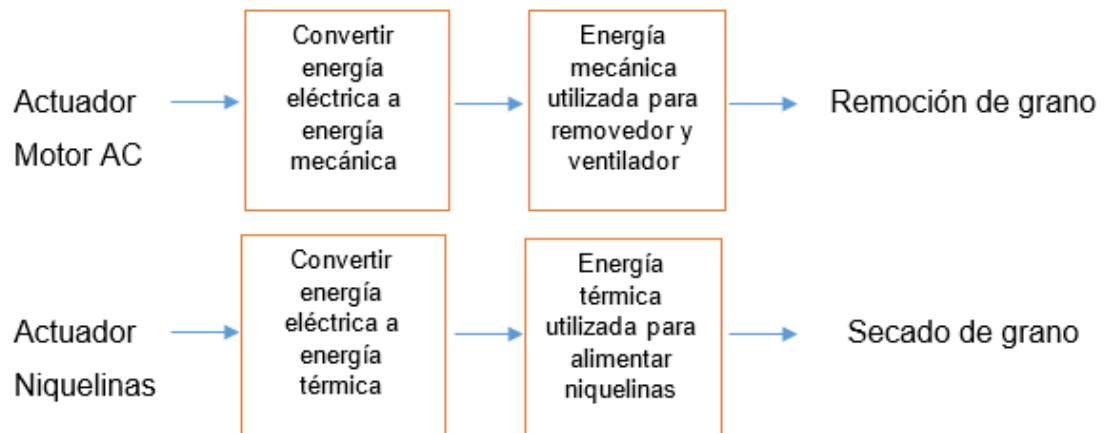


Figura 23: Diagrama de descomposición de actuadores

3.2.1 Tablas de combinación de conceptos

Una vez evaluado las posibles soluciones de cada sub-problema, se estableció la mejor alternativa para el prototipo mediante la combinación de conceptos como se puede observar en las Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9.

Tabla 7
Concepto de solución para energía

Suministro de energía	Convertir de energía eléctrica a energía mecánica	Aplicar energía mecánica en remoción
Energía eléctrica	Movimiento rotacional	Motor lineal
Baterías	Movimiento lineal	Motor reductor
GLP		Motor a pasos
Energía solar		
Uso de combustibles		

Tabla 8
Concepto de solución para almacenamiento y removedor granos

Tipo almacenador	Forma	Removedor de granos
Tolva	Cerrado	Removedor de paletas
Contenedor	Base perforada	Removedor de turbina
Cernidero	Rotatorio	Removedor de hélice

Tabla 9

Concepto de solución para controlador y sensores

Tipo de Controlador	Tipo de calefactor	Tipo de sensor
Controlador PID	Resistencias eléctricas	Termocuplas
Control Proporcional	Quemador de GLP	Pt 100
Control Fuzzy	Intercambiador de calor	Termómetro

3.3 Descripción de los conceptos.

3.3.1 Secador Rotatorio

El secador rotatorio posee un movimiento giratorio que permite la remoción de granos cuando por su pared perforada ingresa el aire caliente de secado, este tipo de secador se utiliza generalmente gas licuado de petróleo como método energético de incremento de temperatura del aire (Ver Figura 24). El desplazamiento longitudinal del grano se produce por la carcasa que se encuentra montada con un determinado ángulo de inclinación que permitirá la expulsión del producto seco.

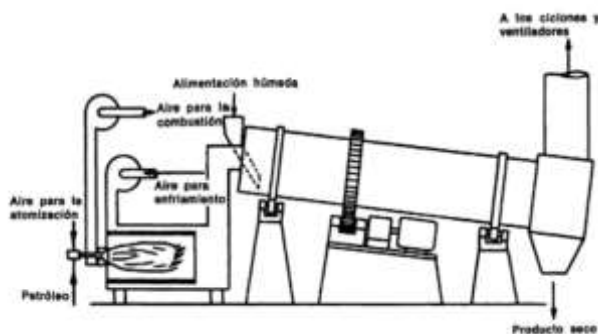


Figura 24: Secador rotatorio directo

Fuente: (Nonhebel, 2008)

3.3.2 Secador de Bandejas

Este tipo de secador consiste en una cabina provista en su interior de un ventilador que será el encargado de circular el aire caliente de manera horizontal a una serie de bandejas dispuestas paralelamente entre sí. Cada bandeja contendrá cierta cantidad del producto a secar. (Ver Figura 25)

El secador de bandejas puede utilizar tanto energía eléctrica como energía a base de combustión para generar el calentamiento del aire provisto por el ventilador.

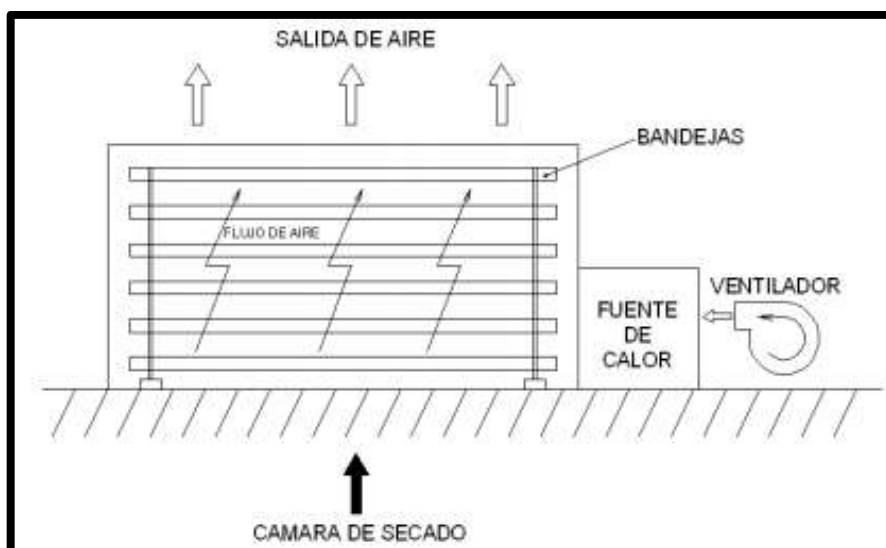


Figura 25: Secador de bandejas

Fuente: (Calle & Aparicio, 2011)

3.3.3 Secador con removedor

Este tipo de secador posee un diseño muy utilizado durante los últimos años debido a sus grandes capacidades de secado. Está compuesto por un ventilador que ingresa aire caliente a través de un conducto en la base del contenedor, dicho aire caliente se desplaza verticalmente a través de una bandeja perforada que está encargada de contener toda la capacidad de cacao.

En la parte superior se dispone de un mecanismo rotatorio con varios rastrillos que irán removiendo a los granos de cacao mientras el aire caliente

ascendente los va secando; este secador genere una gran calidad final de secado gracias al sistema de remoción automático que evita la interacción de la mano de obra humana. (Ver Figura 26)



Figura 26. Secador de cacao con removedor

Fuente: (García, 2015)

3.4 Selección de la propuesta de diseño

Consiste en seleccionar la mejor alternativa de diseño en base a los parámetros de desempeño y la ponderación que cada uno de estos tiene. Posteriormente se realiza una matriz de selección para obtener la propuesta más adecuada para el presente proyecto.

Los parámetros más importantes a considerar son:

- **Costo de implementación**
Involucra toda la inversión necesaria en materiales, equipos de medición, sensores, mano de obra, transporte, entre otros.
- **Rendimiento**
Parámetro que determina cuánta capacidad de cacao puede secar el prototipo y si en prototipo tiene la característica de mejorarse para incrementar su capacidad a futuro.

- **Espacio ocupado**
Se refiere al espacio físico que ocupará el prototipo en su lugar de trabajo.
- **Grado de automatización**
Este parámetro determina si el equipo es autónomo y evita la necesidad de un operador de tiempo completo.
- **Calidad de resultado**
Este parámetro determina la calidad final del producto dependiendo del modelo a utilizar.

La ponderación de cada uno de estos parámetros se aprecia en la Tabla 10, y la matriz de selección de alternativa se puede visualizar en la Tabla 11.

Tabla 10
Matriz de ponderación

Significado	Valor
Inconveniente	1
Poco aceptable	2
Aceptable	3
Conveniente	4
Muy conveniente	5

Tabla 11
Matriz de selección de alternativa

Parámetros	% Relevancia	Tipo de Secador		
		Rotatorio continuo	De Bandejas	Con removedor
Costo de implementación	0,15	2	3	2
Rendimiento	0,2	4	4	4
Espacio ocupado	0,15	4	4	3
Grado de automatización	0,25	3	3	5
Calidad del resultado	0,25	3	3	5
TOTAL	1	3,2	3,35	4,05

Por lo tanto se concluye que la mejor alternativa para utilizarse en el diseño y construcción del prototipo es el Secador de Cacao con Removedor.

CAPÍTULO 4

DISEÑO MECATRÓNICO

4.1 Consideraciones de diseño

El diseño del prototipo de secador de cacao tiene las siguientes consideraciones para facilitar los cálculos mediante las siguientes hipótesis:

- Durante el secado de cacao las condiciones climatológicas no varían.
- El flujo de aire caliente y la generación de calor es constante.
- La velocidad de remoción de granos es constante.
- Para los cálculos y dimensionamientos se considera el aire seco y el vapor de agua como gases ideales.
- La velocidad de flujo de aire caliente es constante durante todo el proceso.

4.2 Componentes del secador

El prototipo de máquina secadora de cacao está conformado por los siguientes componentes:

- Estructura estática de soporte.
- Sistema de remoción por motor reductor.
- Contenedor abierto con superficie inferior micro perforada en acero inoxidable para tratamiento de alimentos.
- Sistema de inyección de flujo de calor (ventilador, resistencias eléctricas).
- Elementos de control y de seguridad.

Nota: Se tiene elementos que no se requirió diseñar, únicamente se los seleccionó de acuerdo a las necesidades del cliente.

4.3 Diseño de los componentes mecánicos

4.3.1 Agitadores de paleta o pala

Los agitadores industriales de paletas giran a una velocidad baja comprendida entre 5 y 150 rpm. El removedor de paletas produce una remoción suave, en un tanque abierto para secado de granos. Las paletas que remueven el cacao se dimensionaron de acuerdo a la altura del lecho de granos, se tiene que la altura de lecho es 10 cm (Figura 27), y se impuso una distancia entre centros de paletas de 13 cm (Figura 28).

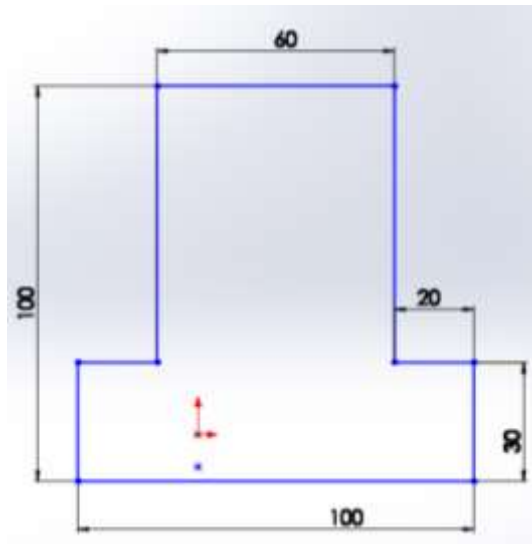


Figura 27: Sección transversal paletas

4.3.1.1 Cálculo de torque que ejercen las paletas

Para encontrar el torque aproximado que ejercen las paletas sobre el cacao se toma en cuenta el área de contacto de las paletas, cuyo valor se calcula en base a la siguiente fórmula:

$$A_p = b_1 * h_1 + b_2 * h_2$$

Ec. 1

$$A_p = 0.0072 \text{ m}^2$$

Donde:

A_p : Área de la sección transversal de cada paleta, [m²]

b_1 : Base menor de la paleta, 0.06 [m]

b_2 : Base mayor de la paleta, 0.1 [m]

h_1 : Altura mayor de la paleta, 0.08 [m]

h_2 : Altura menor de la paleta, 0.03 [m]

Cada paleta tendrá que remover cierto volumen de cacao de acuerdo a la trayectoria originada por el removedor, cuya estructura está compuesta por 8 paletas, divididas en 4 por cada lado simétricamente al eje de rotación del motor. Cada paleta tiene una separación entre centros de 15cm, se impone 10 cm de holgura entre paletas para el paso del cacao al ser removido. (Ver Figura 28)

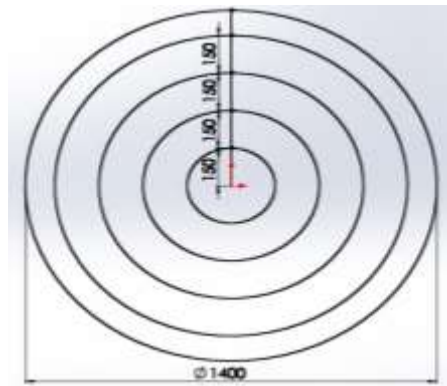


Figura 28. Vista superior de la trayectoria de las paletas

Para calcular el volumen aproximado que remueve cada paleta se toma en cuenta el perímetro de la circunferencia la cual rota constantemente multiplicada por su respectiva sección transversal en contacto, en la Tabla 12, se detalla los resultados:

$$\text{Perímetro circunferencia, } (P) = \pi * d$$

$$\text{Área rectángulo, } (A) = b * h$$

$$\text{Volumen remoción, } (V) = A * P$$

Tabla 12
Volumen de Remoción

Paleta	Radio, r (m)	Área (m^2)	Perímetro (m)	Volumen (m^3)
1,2	0,15	0,0072	0,94	0,00068
3,4	0,30		1,89	0,00136
5,6	0,45		2,83	0,00204
7,8	0,60		3,77	0,00271

Para encontrar la masa de cacao a remover por las paletas, se ha considerado la densidad del grano de cacao húmedo:

$$m_i = \rho \text{ cacao} * V_i \quad \text{Ec. 2}$$

Obteniéndose:

$$m_{1,2} = 480 * 0,0068 = 3,26 \text{ Kg}$$

$$m_{3,4} = 480 * 0,0136 = 6,53 \text{ Kg}$$

$$m_{5,6} = 480 * 0,0204 = 9,79 \text{ Kg}$$

$$m_{7,8} = 480 * 0,0271 = 1,301 \text{ Kg}$$

Donde:

m_i : Masa de la i ésima paleta, [kg]

V_i : Volumen de la i ésima paleta, [m³] Ver Tabla 12

ρ_{cacao} : Densidad del cacao, 480 [kg/m³] (Tinoco & Yomali, 2010)

Se considera la aceleración de la gravedad 9,81 m/s² a la cual se exponen los granos de cacao, de modo que las fuerzas de remoción de las paletas son:

$$F_i = m_i \cdot g \quad \text{Ec. 3}$$

Obteniéndose:

$$F_{1,2} = 3,26 * 9,81 = 3,198 \text{ N}$$

$$F_{3,4} = 6,53 * 9,81 = 6,406 \text{ N}$$

$$F_{5,6} = 9,79 * 9,81 = 9,604 \text{ N}$$

$$F_{7,8} = 13,01 * 9,81 = 12,763 \text{ N}$$

Donde:

F_i : Fuerza de remoción de la i ésima paleta, [N]

m_i : Masa de la i ésima paleta, [kg] Ec. 2

g : Aceleración de la gravedad, 9.81 [m/s²]

Para dimensionar el motor es necesario obtener el parámetro del momento o torque necesario para la remoción, se consideró la separación entre centros de de cada paleta de la Figura 28:

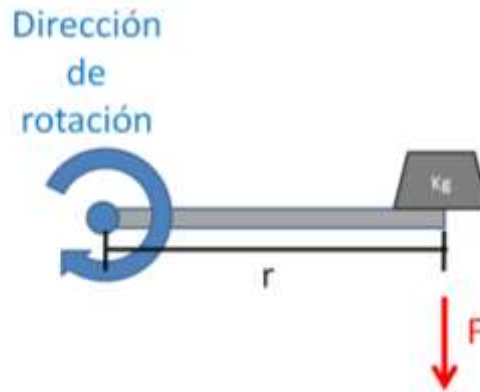


Figura 29. Dirección del torque del motor para cada paleta

El torque de remoción necesario en cada paleta es (Ver Figura 29):

$$\tau_i = F_i * r_i \quad \text{Ec. 4}$$

Obteniéndose:

$$\tau_{1,2} = 3,198 * 0,15 = 0,479 \text{ Nm}$$

$$\tau_{3,4} = 6,406 * 0,3 = 1,922 \text{ Nm}$$

$$\tau_{5,6} = 9,604 * 0,45 = 4,322 \text{ Nm}$$

$$\tau_{7,8} = 12,763 * 0,60 = 7,658 \text{ Nm}$$

Donde:

τ_i : Torque de la i ésima paleta, [Nm]

F_i : Fuerza de remoción de la i ésima paleta, [N] Ver Ec. 3

r_i : Radio de momento de la i ésima paleta, [m] Ver Tabla 12

De tal manera que el torque total de remoción es:

$$\tau_{total} = \sum_{i=1}^8 \tau_i \quad \text{Ec. 5}$$

$$\tau_{total} = 28.762 \text{ Nm}$$

Donde:

τ_{total} : Torque total de remoción del sistema, [Nm]

τ_i : Torque de la i ésima paleta, [Nm] Ver Ec. 4

4.3.1.2 Cálculo del torque para vencer momentos de inercia

Por medio de software CAD se encontró la inercia total, obtenido desde el centro de masa del ensamblaje de la estructura del removedor de cacao, ver Tabla 13 y **Figura 30**.

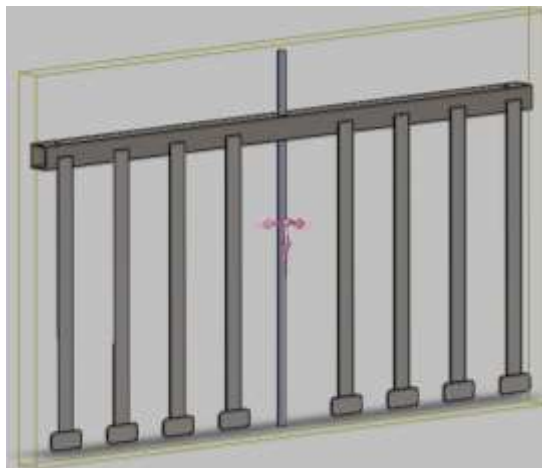
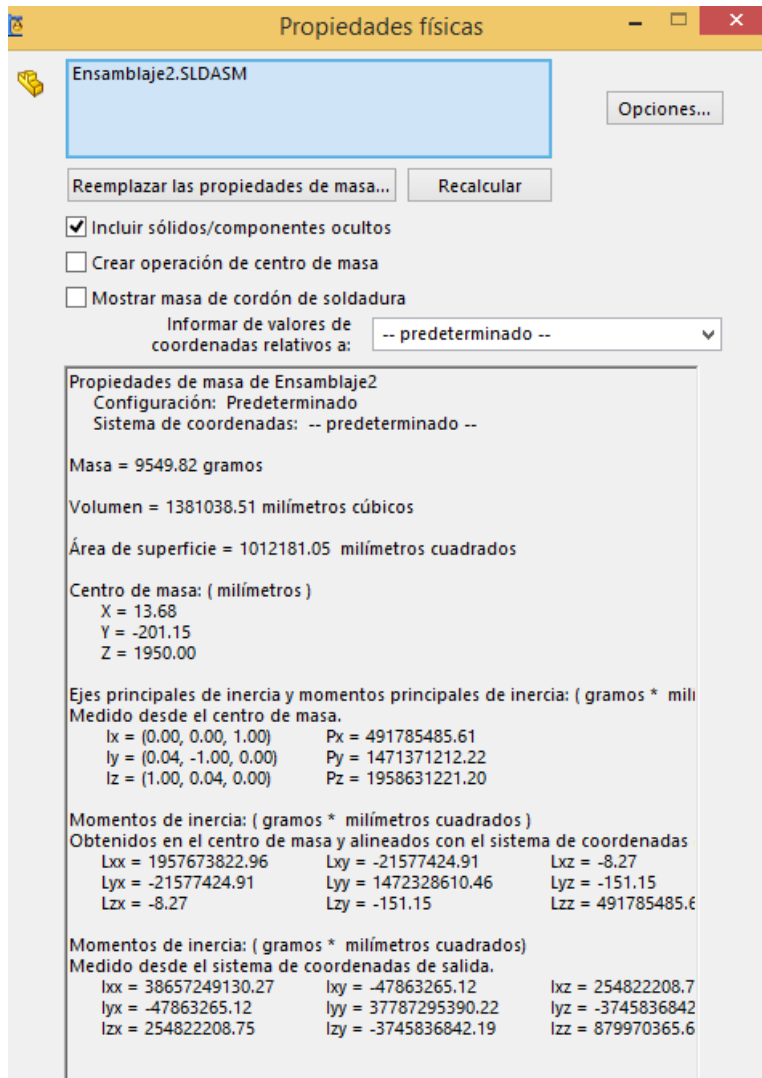


Figura 30: Estructura Removedor

Tabla 13

Propiedades físicas estructura removedor.

Fuente: Software Cad



De la se toma el valor de lzz.

$$I_{zz} = 0,879 [kg \cdot m^2]$$

El torque está dado por la ecuación

$$T = \left(\sum I_{xx} \right) (\alpha)$$

Donde:

T: Torque [Nm]

I_{xx}: Momento de inercia [kgm²]

α: Aceleración Angular [rev/s²]

Se obtiene la aceleración angular:

$$\alpha = \frac{\Delta w}{\Delta t} = \frac{w - w_0}{t - t_0}$$

Donde:

α: Aceleración angular [rev/s²]

w: Velocidad angular [rev/s]

t: Tiempo [s]

Se tiene que parte del reposo y los valores W₀, t₀ son igual a cero. Se sabe que la velocidad de remoción es de 7 a 10 rpm y se asume un tiempo de arranque de 1 segundo, Por tanto:

$$\alpha = \frac{w}{t} = \frac{7}{1} = 7 \text{ rad/s}^2$$

Se obtiene un torque de:

$$T = 0,879 \text{ [kg.m}^2\text{]} * 7 \text{ rad/s}^2$$

$$T = 6,16 \text{ N.m}$$

4.3.2 Selección del motor

Para dimensionar el motor eléctrico que trasmite energía mecánica al mecanismo rotacional se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

condiciones de la red eléctrica, potencia, velocidad del motor y condiciones medioambientales.

4.3.2.1 Alimentación del motor

Las principales características que identifican una red eléctrica son la tensión y la frecuencia. Para la aplicación del removedor y secador de cacao se dispone a usar una red bifásica de 220VAC y una frecuencia normalizada de 60 Hz.

4.3.2.2 Potencia del motor

Generalmente la carga es el parámetro el cual define la potencia y velocidad del motor, para el caso del removedor se debe tener en cuenta el peso del removedor y la fuerza necesaria para remover el cacao.

Para encontrar la potencia del motor necesaria se tiene:

$$P_{HP} = \frac{\tau_{total} * n_{rpm}}{716,2} \quad \text{Ec. 6}$$

$$P_{HP} = 0.035 \text{ HP}$$

Donde:

P_{HP} : Potencia total del sistema de remoción, [HP]

τ_{total} : Torque total de remoción, 3.56 [kg m]

n_{rpm} : Velocidad angular de remoción considerada, 7 [rpm]

Por tanto fue necesario seleccionar un motor reductor comercial trifásico de 1/4 HP con velocidad final de 21 rpm y un factor de servicio de 1,2.

4.3.3 Cálculos del eje para el removedor

Se determina que el eje del removedor únicamente está sometido a torsión, de tal manera que el esfuerzo cortante por torsión es uniforme.

Se utiliza la siguiente ecuación para el diseño del eje:

$$De = \left(\frac{32n}{\pi} \sqrt{\left(\frac{K_t M}{S'_n} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

De: Diametro del eje, (Mott, 2006)

n: Factor de seguridad

Kt: Factor de concentrador de esfuerzos

Sy: Limite de fluencia

T: Torsión máxima

Nota: En el diseño no existen fuerzas transversales que causen flexión.

No se requiere el factor de concentración de esfuerzos en el término del esfuerzo cortante torsional, no genera efecto sobre el potencial de falla. La ecuación se reduce a:

$$De = \left(\frac{32n}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. 8}$$

$$De = 17.01 \text{ mm}$$

Donde:

De: Diametro del eje, (Mott, 2006)

n: Factor de seguridad, 2.

Sy: Limite de fluencia del acero inoxidable, 310 [Mpa]

T: Torsión máxima

Se utiliza un factor de seguridad de $n=2$, cuyo valor mantiene confianza entre las cargas y la resistencia del material.

Se tiene como resultado un diámetro de mínimo 17mm de acero inoxidable AISI 304, se seleccionó un eje de medidas comerciales de 25mm de diámetro.

El eje principal será empotrado directamente al motor reductor y luego al mecanismo removedor por medio de chavetas, la velocidad de 5rpm del removedor de cacao permite reducir la mano de obra de remoción durante el proceso de secado.

4.3.4 Cálculos de dimensiones de la lengüeta

Para ejes menores a 165 mm de diámetro, se emplea una lengüeta cuyo ancho W_L es igual a su altura H_L . (Mott, 2006)

Tabla 14

Dimensiones preferidas de lengüetas en función del diámetro del eje.

Fuente: (Mott, 2006)

Tamaño nominal del eje		Tamaño nominal de la cuña		
Más de	Hasta (incl.)	Ancho, w	Altura, H	
			Cuadrada	Rectangular
5/16	7/16	3/32	3/32	
7/16	9/16	1/8	1/8	3/32
9/16	7/8	3/16	3/16	1/8
7/8	1 1/4	1/4	1/4	3/16
1 1/4	1 3/8	5/6	5/6	1/4
1 3/8	1 3/4	3/8	3/8	5/6
1 3/4	2 1/4	1/2	1/2	3/8
2 1/4	2 3/4	5/8	5/8	1/2
2 3/4	3 1/4	3/4	3/4	5/8
3 1/4	4 1/2	7/8	7/8	3/4
3 3/4	4 1/2	1	1	7/8
4 1/2	5 1/2	1 1/4	1 1/4	1
5 1/2	6 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/4
6 1/2	7 1/2	1 3/4	1 3/4	1 1/2
7 1/2	9	2	2	1 3/4
9	11	2 1/2	2 1/2	2
11	13	3	3	2 1/2
13	15	3 1/2	3 1/2	3
15	18	4		3 1/2
18	22	5		4
22	26	6		5
26	30	7		

Según la norma ANSI B17.1-1967 se especifican las dimensiones de lengüetas en función de diámetros de los ejes (Tabla 14). En la Figura 31 se muestran las fuerzas que actúan en la lengüeta.

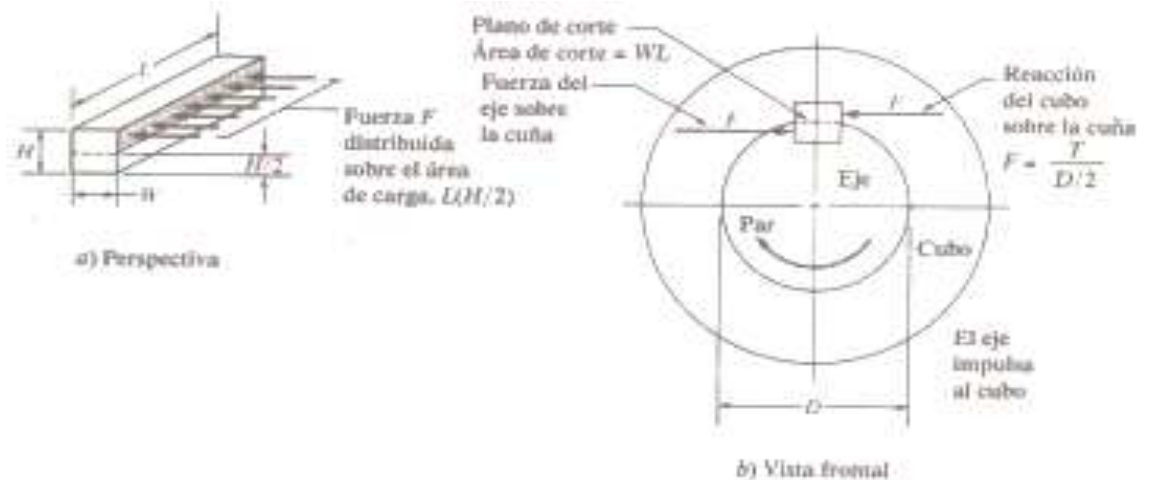


Figura 31: Fuerzas sobre lengüeta.

Fuente: (Mott, 2006)

De la Tabla 14 se selecciona las dimensiones:

$$W_L = H_L = 6,35mm$$

Sin embargo se tiene que el acople del reductor de velocidad posee un ancho de chavetero de 8mm, por lo que se realizó el cálculo de esa dimensión:

$$W_L = H_L = 8mm$$

Se considera una lengüeta de acero ASTM A-36 cuya resistencia a la fluencia es $S_y=250$ Mpa.

Se obtiene el esfuerzo de diseño mediante la teoría de falla por esfuerzo contante máximo.

$$\tau_d = 0,5 \frac{S_y}{n}$$

$$\tau_d = 41.67 \text{ MPa}$$

Ec. 9

Donde:

τ_d : Esfuerzo de diseño, [MPa]

S_y : Resistencia a la fluencia del acero A-36, 25 [MPa]

n : Factor de seguridad de diseño, 3

La longitud necesaria de la lengüeta está dada por:

$$L_l = \frac{2T}{\tau_d D_e W_L}$$

$$L_l = 23.99 \text{ mm}$$

Ec. 10

Donde:

L_l : Longitud de la lengüeta, [mm]

τ_d : Esfuerzo de diseño por cortante, 41.67 [MPa]

D_e : Diámetro del eje, 25 [mm]

Se obtiene el esfuerzo de diseño mediante la teoría de esfuerzos de compresión:

$$\sigma_d = \frac{S_y}{n}$$

$$\sigma_d = 103.3 \text{ MPa}$$

Ec. 11

Donde:

S_y : Resistencia a la fluencia del acero A-36, 25 [MPa]

n : Factor de seguridad de diseño, 3

Se calcula la longitud de la lengüeta en base a los esfuerzos de compresión por medio de la Ec 11:

$$L_l = 19,36 \text{ mm}$$

Se tiene como resultado una lengüeta de 19,36 mm, sin embargo para facilitar la construcción y un diseño conservador se optó por una lengüeta de 30 mm.

4.3.5 Estructura base

La estructura base se diseño para entregar soporte y estabilidad al prototipo de máquina secadora de cacao, los calculos y diseño para seleccionar el espesor del acero estructural se realizaron en base a una carga puntual situada en un apoyo fijo del secador.

Para los calculos se impone un perfil cuadrado de acero ancho 50mm y de espesor 2mm (Ver

Tabla 15 y Figura 32), la carga puntual fue establecida por el peso de cacao y el peso de la estructura. En base a la norma NTE INEN 2415 se selecciono como materia prima el perfil de acero negro ASTM A500.

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

Ec. 12

$$\sigma_D = 2,62 \text{ MPa}$$

Donde:

σ_D : Esfuerzo axial generado por la carga de cacao, [MPa]

F: Carga total en la estructura de soporte estimada, 981 [N]

A: Área total de soporte, 0.000374, [m²]

Se calcula el factor de seguridad para verificar que el perfil garantiza seguridad en el diseño, el esfuerzo permisible del acero A500 es de 317Mpa (ONEAL, 2016):

$$n_s = \frac{\sigma_{PER}}{\sigma_D} \quad \text{Ec. 13}$$

$$n_s = 120.9$$

Donde:

n_s : Factor de seguridad para la estructura de soporte

σ_{PER} : Esfuerzo permisible del acero A500, 317 [Mpa]

σ_D : Esfuerzo de diseño para la estructura de soporte, 26229.94 [Pa]

Se obtiene un factor de seguridad de 120 lo cual permite tener confianza en seleccionar las medidas del perfil de acero.

Tabla 15

Dimensiones perfil de acero negro para soporte

Fuente: (IPAC, 2015)

Designaciones	Área	Peso	Propiedades Estáticas			
			Eje x-x = y-y			
			Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	
B	e	A	P	I	W	i
mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm
20	1,40	0,99	0,78	0,56	0,56	0,75
	1,50	1,05	0,83	0,58	0,58	0,75
	1,80	1,23	0,96	0,66	0,66	0,73
	2,00	1,34	1,05	0,70	0,70	0,72
25	1,40	1,27	1,00	1,16	0,93	0,95
	1,50	1,35	1,06	1,22	0,97	0,95
	1,80	1,59	1,25	1,39	1,11	0,94
	2,00	1,74	1,36	1,49	1,19	0,93
30	1,40	1,55	1,22	2,08	1,39	1,16
	1,50	1,65	1,30	2,20	1,47	1,15
	1,80	1,95	1,53	2,53	1,68	1,14
	2,00	2,14	1,68	2,73	1,82	1,13
40	1,40	2,11	1,66	5,18	2,59	1,57
	1,50	2,25	1,77	5,49	2,75	1,56
	1,80	2,67	2,09	6,39	3,19	1,55
	2,00	2,94	2,31	6,95	3,47	1,54
	2,50	3,59	2,82	8,23	4,12	1,51
	3,00	4,21	3,30	9,36	4,68	1,49
	4,00	5,35	4,20	11,18	5,59	1,45
50	1,40	2,67	2,10	10,42	4,17	1,97
	1,50	2,85	2,24	11,07	4,43	1,97
	1,80	3,39	2,66	12,95	5,18	1,96
	2,00	3,74	2,93	14,15	5,66	1,95
	2,50	4,59	3,60	16,96	6,78	1,92
	3,00	5,41	4,25	19,50	7,80	1,90
	4,00	6,95	5,45	23,84	9,54	1,85
60	1,50	3,45	2,71	19,52	6,51	2,38
	1,80	4,11	3,22	22,95	7,65	2,36
	2,00	4,54	3,56	25,15	8,38	2,35
	2,50	5,59	4,39	30,36	10,12	2,33
	3,00	6,61	5,19	35,17	11,72	2,31
	4,00	8,55	6,71	43,65	14,55	2,26
70	1,50	4,05	3,18	31,46	8,99	2,79
	1,80	4,83	3,79	37,09	10,60	2,77
	2,00	5,34	4,19	40,73	11,64	2,76
	2,50	6,59	5,17	49,43	14,12	2,74
	3,00	7,81	6,13	57,56	16,45	2,72
	4,00	10,15	7,97	72,22	20,64	2,67
75	1,50	4,35	3,42	38,92	10,38	2,99
	1,80	5,19	4,07	45,95	12,25	2,98
	2,00	5,74	4,50	50,50	13,47	2,97
	2,50	7,09	5,56	61,40	16,37	2,94
	3,00	8,41	6,60	71,65	19,11	2,92
	4,00	10,95	8,59	90,29	24,08	2,87
90	1,80	6,27	4,92	80,71	17,94	3,59
	2,00	6,94	5,45	88,87	19,75	3,58
	2,50	8,59	6,74	108,57	24,13	3,56
	3,00	10,21	8,01	127,32	28,29	3,53
	4,00	13,35	10,48	162,02	36,01	3,48
100	1,80	6,99	5,48	111,62	22,32	4,00
	2,00	7,74	6,07	123,01	24,60	3,99
	2,50	9,59	7,53	150,65	30,13	3,96
	3,00	11,41	8,96	177,08	35,42	3,94
	4,00	14,95	11,73	226,46	45,29	3,89
	5,00	18,36	14,41	271,36	54,27	3,84
	6,00	21,63	16,98	312,00	62,40	3,80
125	3,00	14,41	11,31	354,53	56,73	4,96
	4,00	18,95	14,87	457,33	73,17	4,91
	5,00	23,36	18,33	552,87	88,46	4,87
	6,00	27,63	21,69	641,41	102,63	4,82
135	3,00	15,61	12,25	449,88	66,65	5,37
	4,00	20,55	16,13	581,80	86,19	5,32
	5,00	25,36	19,90	705,16	104,47	5,27
	6,00	30,03	23,58	820,25	121,52	5,23
150	3,00	17,41	13,67	622,76	83,03	5,98
	4,00	22,95	18,01	807,92	107,72	5,93
	5,00	28,36	22,26	982,37	130,98	5,89
	6,00	33,63	26,40	1146,43	152,86	5,84

En la base del prototipo se diseñó una estructura de acero al carbono, su función es de soporte para la plancha donde reposa el cacao y la estructura del removedor. Se considera un tubo de sección cuadrada para estabilizar al prototipo con el piso (Figura 32).

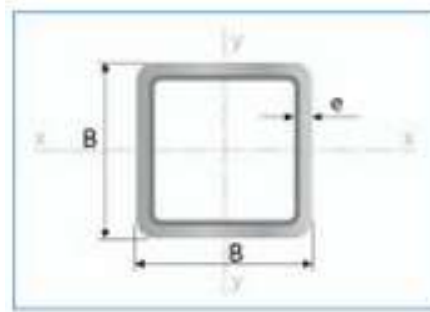


Figura 32: Sección transversal, perfil de acero negro para soporte

Fuente: (IPAC, 2015)

Mediante software CAD/CAM/CAE se realiza la simulación de esfuerzos, deflexión máxima y factor de seguridad como se puede observar en la Figura 33, Figura 34 y Figura 35.

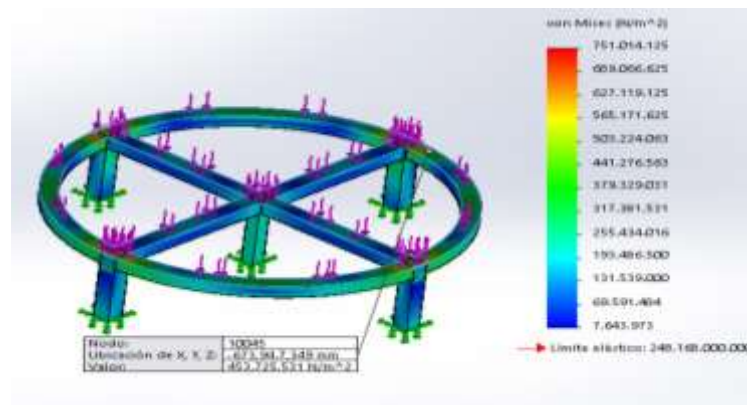


Figura 33. Simulación de Esfuerzos de Von Mises.

Fuente: Software CAD

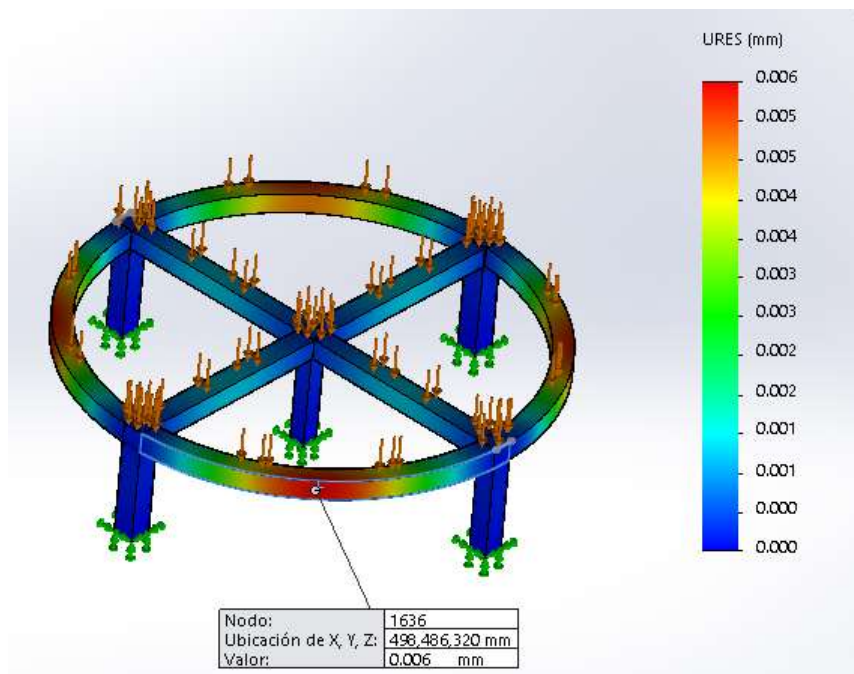


Figura 34. Simulación de deformaciones.

Fuente: Software CAD

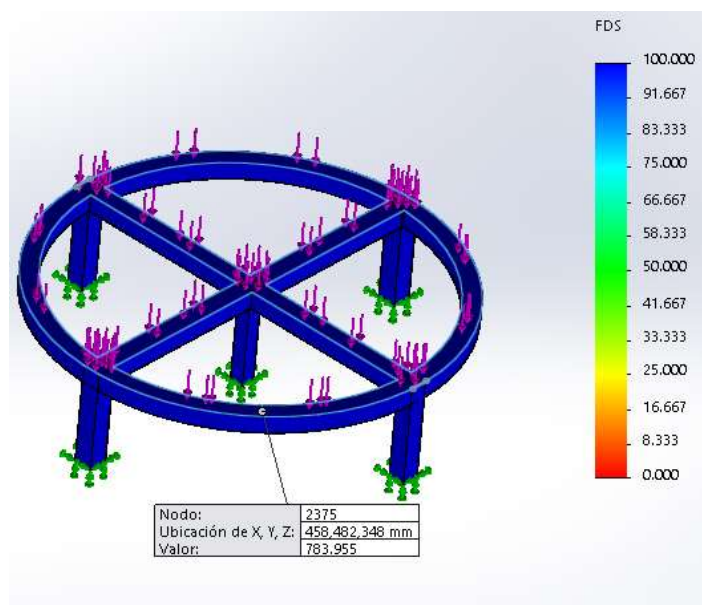


Figura 35. Simulación de factor de seguridad.

Fuente: Software CAD

4.3.6 Diseño del pórtico

4.3.6.1 Diseño de la viga

A partir de los datos del fabricante del motorreductor se obtienen los siguientes datos preliminares:

$$C_m = \frac{m_m \cdot g}{x_m} \quad \text{Ec. 14}$$

$$C_m = 1471.5 \frac{N}{m}$$

Donde:

C_m : Carga total distribuida del motorreductor, [kg/m]

m_m : Masa estimada del motorreductor, 30 [kg]

x_m : Distancia en el eje x ocupada por el motorreductor, 0.2 [m]

g : Aceleración de la gravedad, 9.81 [m/s²]

En vista que el diámetro del cilindro contenedor de cacao es de 1.4 m se determina que la longitud más adecuada de luz deberá ser un 10% mayor como medida de seguridad, por lo tanto tenemos:

$$L = 1.1 \cdot D \quad \text{Ec. 15}$$

$$L = 1.54 \text{ m}$$

Donde:

L : Distancia de luz en la viga, [m]

D : Diámetro del contenedor, 1.4 [m]

En la figura se muestran todas las fuerzas externas de la viga.

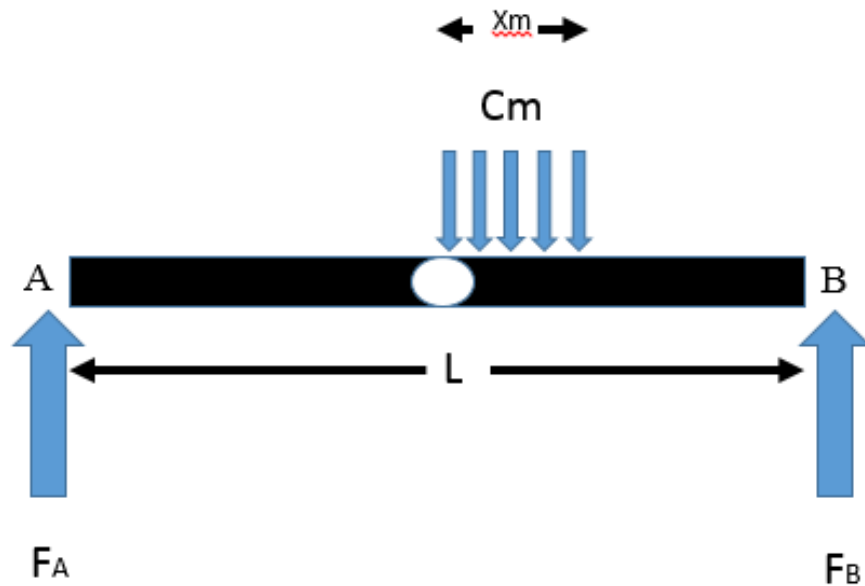


Figura 36. Distribución de fuerzas en la viga de soporte

A partir de la Figura 36 se pueden deducir las leyes de equilibrio de momentos se tiene como referencia al punto A y el equilibrio de fuerzas en el eje “y”.

$$F_B = \frac{L + X_m}{2 \cdot L} \cdot m_m \cdot g \quad \text{Ec. 16}$$

$$F_B = 166.28 \text{ N}$$

Donde:

F_B : Fuerza en el apoyo B, [kg]

L : Distancia de luz de la viga, 1.54 [m]

X_m : Distancia en el eje x del motorreductor, 0.2 [m]

m_m : Masa estimada del motorreductor, 30 [kg]

g : Aceleración de la gravedad, 9.81 [m/s²]

$$F_A = m_m \cdot g - F_B$$

Ec. 17

$$F_A = 128.02 \text{ N}$$

Donde:

F_A : Fuerza en el apoyo A, [kg]

F_B : Fuerza en el apoyo B, 16.95 [kg]

m_m : Masa estimada del motorreductor, 30 [kg]

g : Aceleración de la gravedad, 9.81 [m/s²]

Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flector

Se procede a simular la viga mediante la aplicación online gratuita: <http://bendingmomentdiagram.com/free-calculator/>. (Ver Figura 37, Figura 38 y Figura 39)

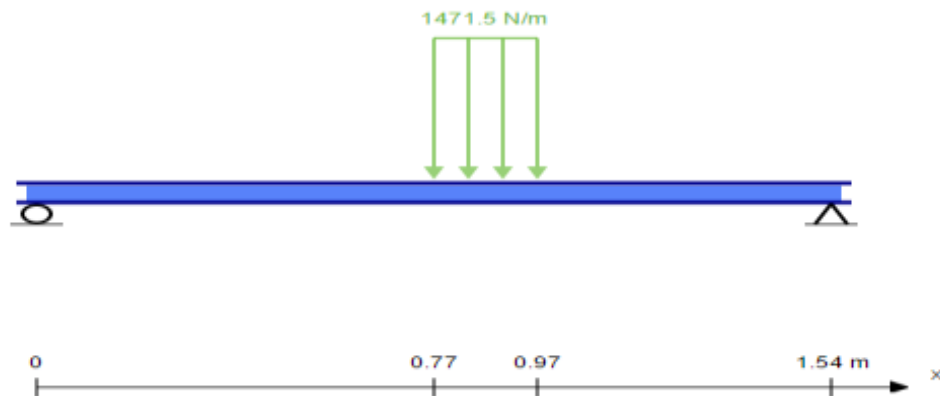


Figura 37. Distribución de fuerzas en el software online de simulación.

Fuente: (SkyCiv, 2014)

Por lo tanto el diagrama de fuerza cortante será:

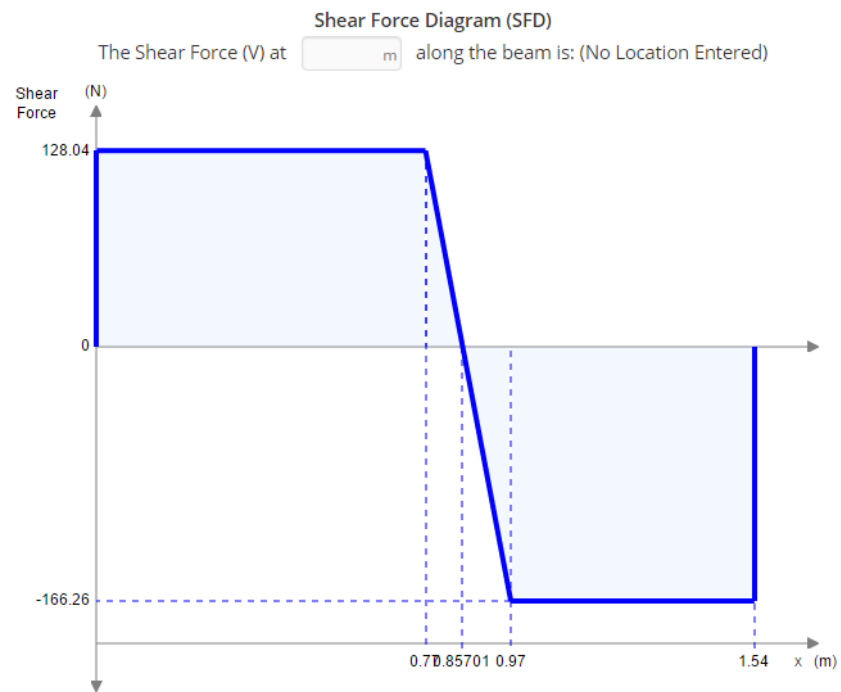


Figura 38. Diagrama de fuerza cortante.

Fuente: (SkyCiv, 2014)

El diagrama de momento flector será:

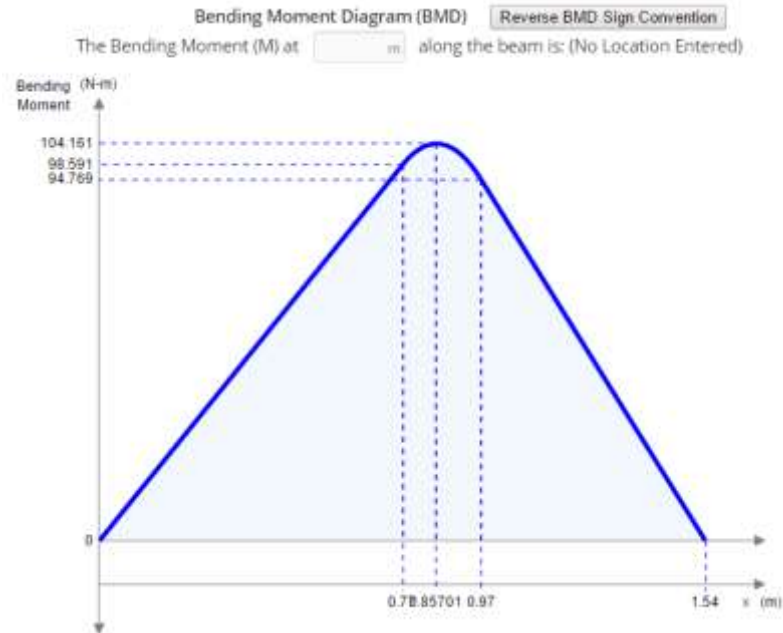


Figura 39. Diagrama de momento flector.

Fuente: (SkyCiv, 2014)

4.3.6.2 Diseño por Flexión

El límite de fluencia del acero estructural A 36 es:

$$S_y = 250 \text{ MPa}$$

El esfuerzo de diseño a utilizarse viene dado por:

$$S_b = \frac{S_y}{N_y}$$

Ec. 18

$$S_b = 125 \text{ MPa}$$

Donde:

S_b : Esfuerzo flexionante, [MPa] (Jackson & Wirtz, 1985)

S_y : Límite de Fluencia del acero A 36, 250 [MPa]

N_y : Factor de seguridad de diseño para una carga fija, 2. (Jackson & Wirtz, 1985)

A partir del diagrama de momento flector se obtiene el Momento máximo en la distancia de 0.85 m de la viga que es:

$$M_{m\acute{a}x} = 104.161 Nm$$

Es necesario determinar el módulo de sección para poder definir la viga más adecuada de manera comercial y éste se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$Z = \frac{M_{m\acute{a}x}}{S_b} \quad \text{Ec. 19}$$
$$Z = 0.837$$

Donde:

Z: Módulo de sección mínimo, [cm³]

$M_{m\acute{a}x}$: Momento flector máximo en la viga, 104.61 [Nm]

S_b : Esfuerzo flexionante de diseño en la viga de acero A36, 125 [MPa]

El ancho mínimo del perfil deberá ser de 18 cm debido a las dimensiones del motorreductor y el módulo de sección deberá ser mayor que 0.837 cm³.

Tabla 16

Catálogo de perfiles en C.

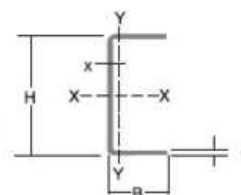
Fuente: (Kubiec Conduit, 2016)

Canales "C"

ESPECIFICACIONES GENERALES

Largo normal: 6 metros.

Otras dimensiones o formas: A pedido, previa consulta.



Características Técnicas

DIMENSIONES			PROPIEDADES									
H mm	B mm	e mm	Area cm ²	Peso Aproximado		EJE X-X			EJE Y-Y			
				Kg / m	Kg / 6m	I cm ⁴	S cm ³	rx cm	I cm ⁴	S cm ³	ry cm	x cm
50	25	1.50	1.42	1.11	6.66	5.48	2.19	1.97	0.87	0.48	0.78	0.70
		1.80	1.69	1.33	7.98	6.44	2.58	1.95	1.03	0.58	0.78	0.71
		2.00	1.87	1.47	8.82	7.06	2.83	1.94	1.13	0.63	0.78	0.72
		3.00	2.70	2.12	12.72	9.70	3.88	1.89	1.57	0.91	0.76	0.77
80	40	1.80	2.77	2.17	13.01	28.05	7.01	3.18	4.44	1.52	1.27	1.08
		2.00	3.07	2.41	14.46	30.80	7.71	3.17	4.89	1.68	1.26	1.09
		3.00	4.50	3.54	21.24	43.90	11.00	3.12	7.01	2.45	1.25	1.14
		4.00	5.87	4.61	27.66	55.40	13.90	3.07	8.92	3.17	1.23	1.19
100	50	1.80	3.49	2.74	16.45	55.81	11.16	4.00	8.82	2.40	1.59	1.33
		2.00	3.87	3.04	18.24	61.50	12.30	3.99	9.72	2.66	1.59	1.34
		3.00	5.70	4.48	26.88	88.50	17.70	3.91	14.10	3.90	1.57	1.39
		4.00	7.47	5.87	35.22	113.00	22.60	3.89	18.10	5.07	1.56	1.44
125	50	2.00	4.37	3.43	20.58	103.00	16.50	4.86	10.40	2.74	1.54	1.20
		3.00	6.45	5.07	30.42	149.00	23.90	4.81	15.10	4.02	1.53	1.24
		4.00	8.47	6.65	39.90	192.00	30.70	4.76	19.40	5.24	1.51	1.29
150	50	2.00	4.87	3.82	22.92	138.00	21.10	5.71	10.90	2.80	1.50	1.09
		3.00	7.20	5.66	33.96	230.00	30.70	5.65	15.90	4.11	1.49	1.13
		4.00	9.47	7.44	44.64	297.00	39.60	5.60	20.50	5.36	1.47	1.17
200	50	2.00	5.87	4.61	27.66	316.00	31.60	7.34	11.80	2.88	1.42	0.92
		3.00	8.70	6.83	40.98	462.00	46.20	7.29	17.10	4.23	1.40	0.96

A partir de la información proporcionada por el catálogo comercial de perfiles de Kubiec – Conduit (Ver Tabla 16) se determina que la mejor opción de perfil a utilizar es:

$$H = 200 \text{ mm}$$

$$B = 50 \text{ mm}$$

$$e = 2 \text{ mm}$$

Donde:

H: Es la altura de la viga en C, [mm]

B: Es la base de la viga en C, [mm]

e: Es el espesor de la viga en C, [mm]

4.3.6.3 Diseño por Cortante

Del diagrama de fuerza cortante se obtiene la fuerza cortante máxima:

$$V = 166.26 \text{ N}$$

Se partió de la condición que el ancho mínimo del perfil debe ser de 18 cm debido a las dimensiones del motorreductor y el módulo de sección debe ser mayor que 0.837 cm^3 y por catálogo comercial la altura total del perfil es 200 mm.

La expresión para el esfuerzo cortante en vigas en C es:

$$S_c = \frac{V}{e \cdot H} \quad \text{Ec. 20}$$

Donde:

S_c : Esfuerzo cortante, [MPa] (Jackson & Wirtz, 1985)

En base al esfuerzo de diseño se obtiene:

$$e = \frac{V}{S_b \cdot H} \quad \text{Ec. 21}$$

$$e = 6 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

Donde:

e : Espesor mínimo de la viga en C, [mm]

V : Fuerza cortante máxima en la viga, 166.26 [N]

S_b : Esfuerzo de diseño para la viga de acero estructural A36, 125 [Mpa]

H : Altura del perfil de la viga en C, 200 [mm]

En el diseño por flexión se determinó que el espesor es de 3mm por lo tanto se comprueba en el diseño por cortante que la viga a utilizarse a partir del catálogo de Kubiec – Conduit, ver Tabla 16, es:

$$H = 200 \text{ mm}$$

$$B = 50 \text{ mm}$$

$$e = 2 \text{ mm}$$

4.3.7 Diseño de las Columnas

En el catálogo de Kubiec – Conduit se indica que los perfiles de acero estructural A36 se venden por 6 m de largo, por lo tanto resulta económico utilizar un solo perfil para la viga y las 2 columnas.

La longitud total de las columnas se considera de 1.3 m cada una ya que la altura del contenedor es de 1 m. Se impuso que la longitud de la viga es de 1.54 m entonces da un total de 4.14 m entre los tres elementos por lo tanto una plancha de 6 metros resultaría más que suficiente para construir la estructura.

El presente diseño de las columnas tiene por objetivo analizar si el perfil de acero A 36 ya seleccionado para la viga también cumple para la columna que soporta mayor esfuerzo axial.

Inicialmente es necesario analizar el factor esbeltez y la relación de la columna mediante la siguiente expresión:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}}$$

Ec. 22

$$C_c = 125.66$$

Donde:

C_c : Factor de esbeltez.

E: Módulo de elasticidad del acero A36, 200 [GPa]

S_y : Esfuerzo de fluencia del acero A36, 250 [MPa]

Posteriormente se determina la siguiente relación:

$$\frac{K \cdot l}{r_x} = 11.51$$

Ec. 23

$$\frac{K \cdot l}{r_y} = 59.5$$

Ec. 24

Donde:

K: Factor de columna recomendado para extremos fijos, 0.65. (Jackson & Wirtz, 1985)

l: Longitud entre soportes, 1.3 [m]

r_x : Radio de giro en el eje x, 0.0734 [m]

r_y : Radio de giro en el eje y, 0.0142 [m]

Como en ambos ejes se obtuvo que:

$$\frac{K \cdot l}{r} < C_c$$

Ec. 25

Entonces se considera como una columna intermedia, por lo tanto la ecuación de la carga axial máxima es:

$$F_a = \frac{[1 - (Kl/r)^2 / (2C_c^2)] S_y}{\frac{5}{3} + (3Kl/r) / (8C_c) - (Kl/r)^3 / (8C_c^3)}$$

Ec. 26

$$F_a = 121 \text{ MN}$$

Donde:

Fa: Fuerza máxima axial que soporta la columna de acero A36, [MN] (Jackson & Wirtz, 1985)

En vista que la fuerza axial que se requiere aplicar a la viga calculada en la Ec. 49 es solo de 166.28 N, la plancha de acero A36 seleccionada cumple para ambas columnas.

Por lo tanto se concluye que la plancha de acero A36 de 6m seleccionada es suficiente para construir el pórtico.

4.4 Dimensionamiento de secador

Las dimensiones del contenedor, sistema de remoción y sistema de inyección de calor se calcularon en base a la cantidad de granos de cacao a secar por lote (50 Kg).

4.4.1 Selección de material para el contenedor

El acero inoxidable es usado por su alta resistencia a la oxidación, dureza, higiene y belleza de acabado. (Reglamento de buenas practicas para alimentos procesados, 2002). Además el acero inoxidable AISI 304 es recomendado por BPM (*Buenas Prácticas de Manufactura*) para procesos que contengan contacto directo con alimentos, dentro de sus beneficios están:

- El material no transmite sustancias tóxicas, olores ni sabores, ni reaccionen con los ingredientes o materiales que intervengan en el proceso.
- Facilidades para la limpieza, desinfección e inspección.
- Alta durabilidad.

4.4.2 Cámara de secado

Para el diseño se tomó en cuenta las medidas nominales de las planchas de acero de bajo espesor (1200X2440 mm), donde el contenedor cilíndrico tiene mejores resultados de remoción y recirculación del aire, para lo cual se calcula el perímetro de una circunferencia, con un diámetro del contenedor inicial de 1,4 m y altura de 1 m fue:

$$P = \pi \times D \quad \text{Ec. 27}$$
$$P = 4.398 \text{ m}$$

Donde:

P: Perímetro de la circunferencia

D: Diámetro de la circunferencia, 1.4 [m]

Es necesario determinar cuántas planchas comerciales se requerirán para la construcción del contenedor, de tal manera que el número de planchas necesarias es:

$$P = n * L \qquad \text{Ec. 28}$$

Donde:

P: Perímetro de la circunferencia, 4.398 [m]

L: Largo de Planchas, 2.44 [m]

n: Número de planchas

Se tiene:

$$n = 1,80 \approx 2$$

Finalmente se dedujo que se requiere dos planchas de acero para realizar el contenedor, ya que la relación del perímetro del contenedor (4,389 m) y del largo de la plancha de acero inoxidable (2,44 m) es 2 m. (Ver Figura 40)

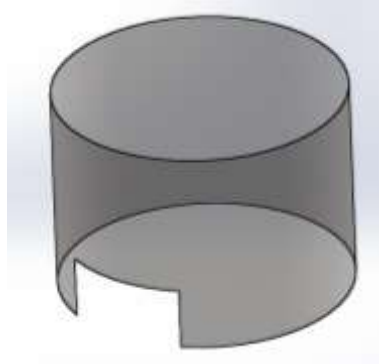


Figura 40: Pared contenedor

Es necesario utilizar la tensión máxima admisible del material (σ_t), que es el resultado de dividir la tensión admisible del material por el coeficiente de seguridad aplicado en cada caso, por tanto la tensión máxima admisible es:

$$\sigma_t = \frac{\sigma_a}{n} \quad \text{Ec. 29}$$

$$\sigma_t = 31 \text{ MPa}$$

Donde:

σ_a : Resistencia a la fluencia del acero inoxidable 304, 310 [GPa]

(Sumitec, 2016)

n: Factor de seguridad seleccionado, 10.

Según el código API-ASME 650, para calcular el espesor de pared de tanques que trabajan a presión atmosférica y contienen productos (sólidos) en su interior se debe tener en cuenta la siguiente expresión:

$$t_{cilindro} = \frac{\gamma * d * r}{\sigma_t * E_s} \quad \text{Ec. 30}$$

$$t_{cilindro} = 0,17 \text{ mm}$$

Donde:

$t_{cilindro}$: Espesor del cilindro, [mm].

γ : Peso específico del producto almacenado, 4708.8 [kgF/m³]

d = nivel máximo de producto almacenado, 0.1 [m].

r = radio del cilindro, cono y cabeza elipsoidal, 0.7 [m].

σ = tensión máxima admisible del material, 31 [Mpa]

E_s = eficiencia de soldadura según tipo de soldadura. Para junta soldada a tope en doble V y no examinada, toma valor de 0.6.

Se tomó en cuenta la corrosión debido al producto almacenado y a los agentes externos, por lo que el espesor final es:

$$t_c = t_{cilindro} + t_{corrosión} \quad \text{Ec. 31}$$

$$t_c = 1,17 \approx 2mm$$

Donde:

t_c : Espesor de la plancha de acero inoxidable necesario, [mm]

$t_{corrosión}$: Espesor de corrosión = 1 mm.

4.4.3 Geometría superficie micro perforada

Para el diseño y selección de la plancha de acero perforada se ha tomado en cuenta las dimensiones promedio del grano húmedo de cacao (Ver Tabla 17):

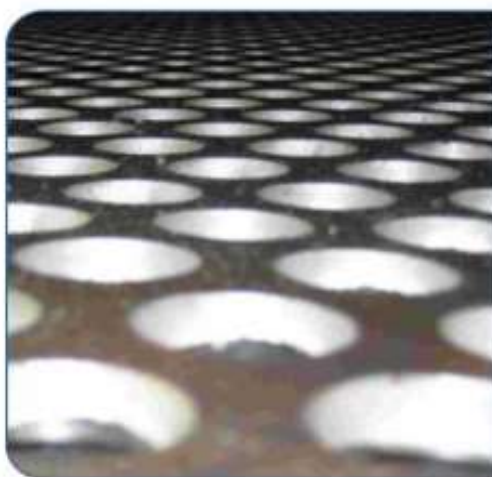
Tabla 17

Dimensiones de los granos de cacao

Fuente: (Buitrón, 2015)

<i>Dimensión</i>	<i>Unidad</i>	<i>Promedio</i>
<i>Peso</i>	[gr]	5,3
<i>Largo</i>	[mm]	29,55
<i>Ancho</i>	[mm]	19,40

Se sabe que la carga máxima por lote será 50 kg se realiza el diseño en base a una plancha de acero inoxidable de perforación redonda y se requiere un 50% de área perforada para permitir el paso de flujo de aire caliente.

**Figura 41: Perforación redonda**

Fuente: (Perfomallas, 2016)

El área de perforación debe ser al menos 50% y el radio de los agujeros debe ser menor a 19mm, se encuentra los parámetros de diámetro y paso en función de planchas perforadas comerciales (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Figura 42):

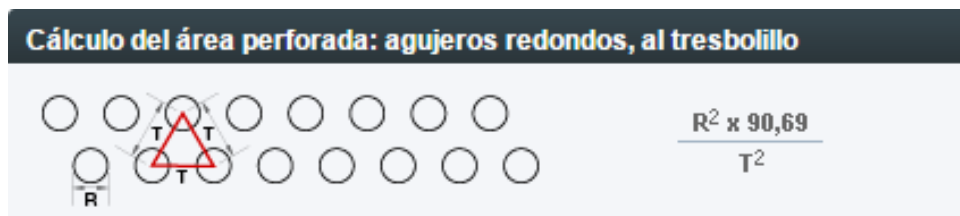


Figura 42: Cálculo de área perforada

Fuente: (RMIG, 2016)

Por tanto el área perforada es:

$$Area\ perforada = \frac{R^2 * 90,69}{T^2} \cdot 100\%$$

Ec. 32

$$Area\ perforada = 53,66\%$$

Donde:

R: Radio de agujero comercial, 5 [mm] (RMIG, 2016)

T: Distancia nominal entre agujeros, 8 [mm]. (RMIG, 2016)

Por medio de simulación en software CAD para verificar tensiones, deformaciones y factor de seguridad a plena carga, se tiene como resultado:

Colocación de puntos rígidos como sujeciones empernados en la mesa de soporte, carga de masa distribuida de 50Kg y gravedad:

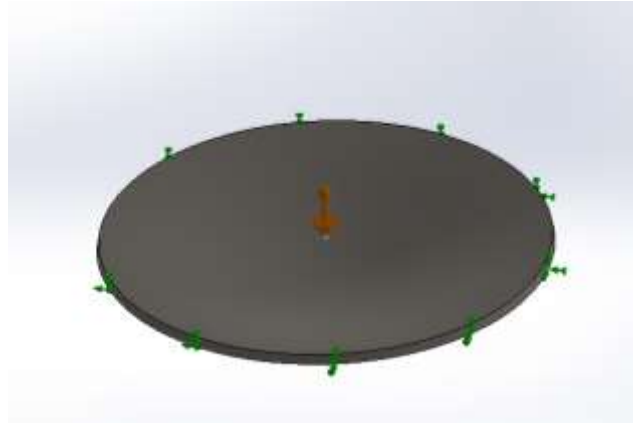


Figura 43: Sujeciones y cargas exteriores.

Fuente: Software CAD

Como se puede ver en la Figura 43, Figura 44, Figura 45 y Figura 46, se tiene como límite elástico 205 Mpa, y dentro de las tensiones de Von Mises mediante un análisis de elementos finitos se obtiene un punto crítico de 684Kpa, sin embargo se conserva un factor de seguridad de 6 y una deformación máxima de 0,33 mm para el mismo punto lo cual se encuentra dentro de los parámetros ideales para el diseño.

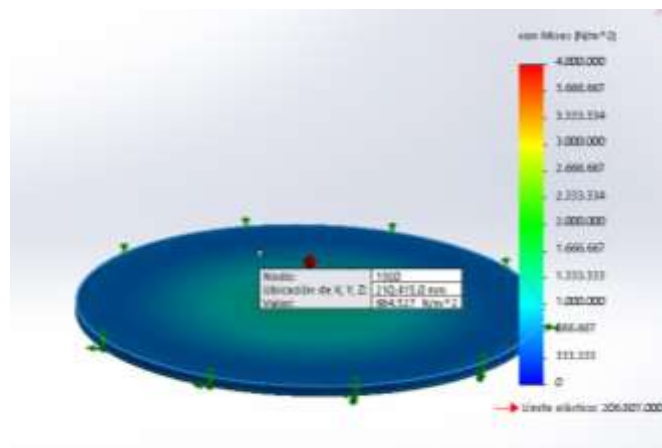


Figura 44: Tensión Von Mises.

Fuente: Software CAD

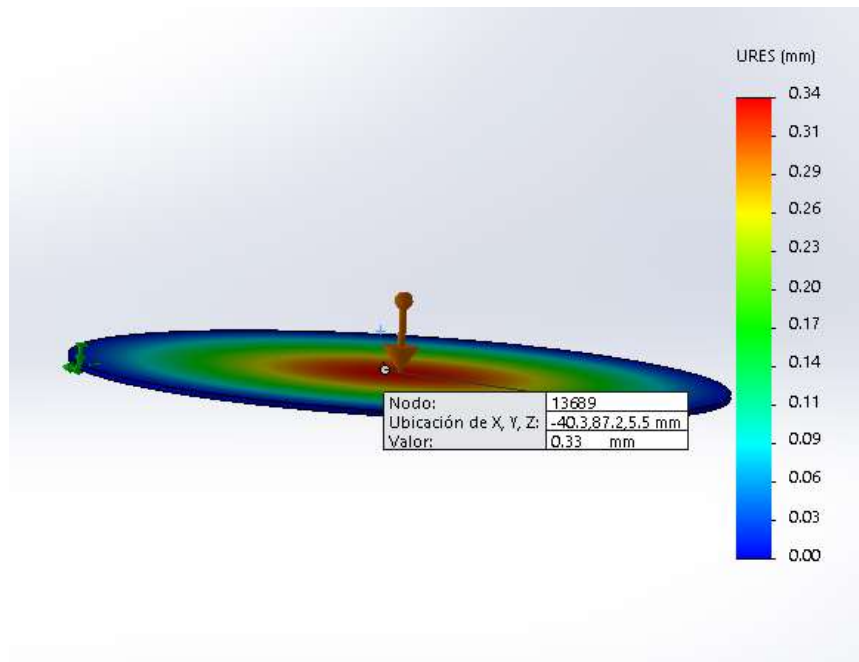


Figura 45: Deformación máxima.

Fuente: Software CAD

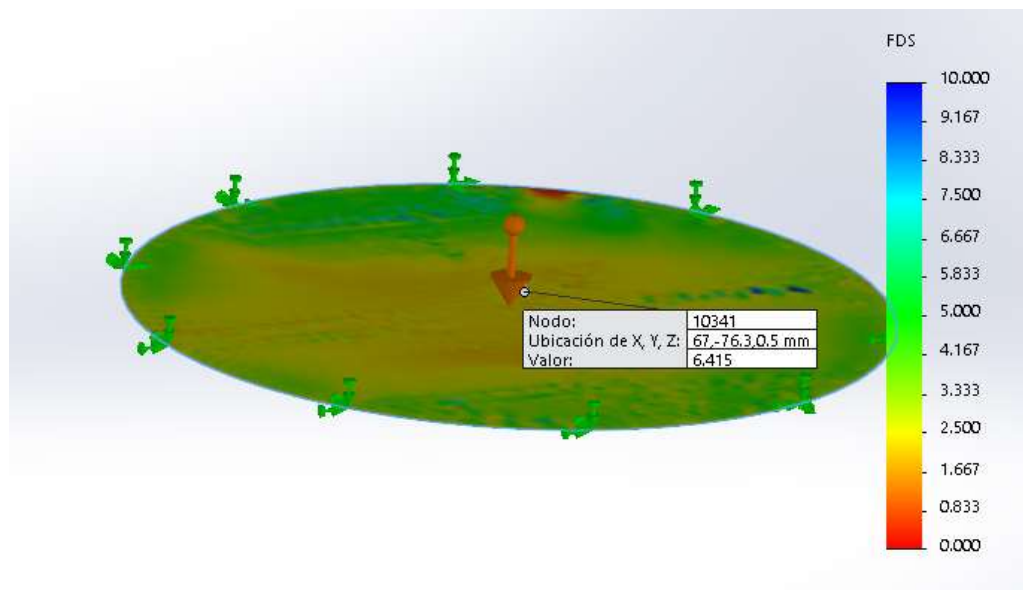


Figura 46: Sujeciones y cargas exteriores.

Fuente: Software CAD

4.4.4 Unión de secciones

Una vez dimensionados todos los elementos estructurales que estarán sometidos a cargas estáticas, es necesario determinar el método de unión entre los mismos. El método de unión estructural se determina dependiendo de la necesidad, en el presente proyecto se debe partir de los requerimientos del cliente, la facilidad de aplicación, su seguridad y economía.

Los principales métodos de unión de secciones son:

- Remaches
- Soldadura
- Pernos
- Tornillos

Para el presente proyecto se resuelve optar por soldar todas las uniones estructurales en vista que es el método más convencional en unión de aceros, otorga alta seguridad de unión, es factible económicamente, y es un método conveniente ya que en la presente aplicación las partes requieren ser unidas de manera permanente.

4.4.5 Soldadura en el pórtico

Tras determinar que la viga y las dos columnas que comprenden el pórtico son de acero estructural A-36, con perfil en C y un espesor de 2 milímetros; es necesario determinar el proceso de soldadura a utilizarse, el tipo de electrodo, tipo de unión. Todos estos parámetros iniciales se detallan en la Tabla 18, donde se detalla la justificación respectiva.

Tabla 18**Parámetros de soldadura en uniones del pórtico de soporte**

Parámetro	Elección	Justificación
Proceso de soldadura	SMAW	Proceso económico y muy uno de los más utilizados en la unión de aceros estructurales.
Tipo de electrodo	E6010	Electrodo de fácil operación con resistencia a la tensión mayor a la del acero A36.
Tipo de unión	Filete	La junta entre columna y viga presenta una disposición perpendicular, propia de la aplicación de unión en filete.

4.4.6 Espesor de garganta

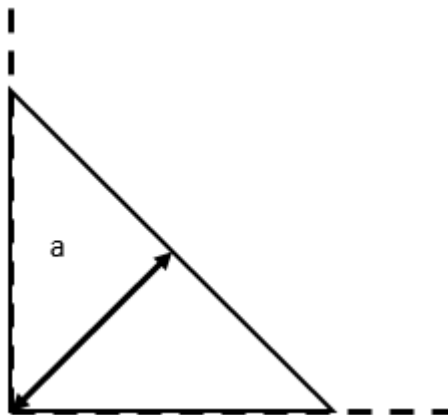


Figura 47. Soldadura en filete, representación de la garganta

El espesor de garganta de una soldadura en ángulo debe cumplir la condición expresada en la Tabla 19. (Ver **Figura 47**)

Donde:

a: Espesor de garganta, [mm] (Universidad Politécnica de Valencia, 2016)

e_{\min} : Espesor mínimo de la plancha de acero A36, 2[mm]

Tabla 19

Espesores de garganta recomendados

Fuente: (Universidad Politécnica de Valencia, 2016)

$a \geq 3 \text{ mm}$	Para $e_{\min} \leq 10 \text{ mm}$
$a \geq 4.5 \text{ mm}$	Para $e_{\min} \leq 20 \text{ mm}$
$a \geq 5.6 \text{ mm}$	Para $e_{\min} > 20 \text{ mm}$

Por lo tanto se concluye que el espesor de garganta mínimo aceptable para la unión de las planchas de acero A36 es:

$$a = 3 \text{ mm}$$

4.4.7 Soldadura en el contenedor

Tras dimensionar la bandeja perforada y el contenedor cilíndrico de acero inoxidable 304, ambos de un espesor de 2 milímetros, es necesario determinar el proceso de soldadura a utilizarse para la unión del contorno de la bandeja y el cuerpo del contenedor, el tipo de electrodo. Todos estos parámetros iniciales se detallan en la Tabla 20, donde se detalla la justificación respectiva.

Tabla 20

Parámetros de soldadura en uniones del pórtico de soporte

Parámetro	Elección	Justificación
Proceso de soldadura	TIG	Proceso económico y muy uno de los más utilizados en la unión de aceros estructurales.
Tipo de electrodo	Tungsteno puro	Electrodo para uso general, recomendado para DC y AC. Es el más económico.
Tipo de unión	Filete	La junta entre la pared interna y el contorno de la bandeja perforada presenta una disposición perpendicular, propia de la aplicación de unión en filete.

4.5 Diseño Térmico

4.5.1 Volumen de Cacao por lote

Para el presente diseño se ha considerado secar lotes de 50 kg de cacao húmedo, se determina el volumen total a secar dentro del contenedor a partir de la densidad del grano de cacao.

$$V_c = \frac{m_c}{\rho_{cacao}} \quad \text{Ec. 33}$$

$$V_c = 0.104 \text{ m}^3$$

Donde:

m_c : Masa total de cacao en el contenedor, 50 [kg]

V_c : Volumen de cacao en el contenedor [m³]

ρ_{cacao} : Densidad del cacao, 480 [kg/m³] (Tinoco & Yomali, 2010)

Se determina la altura del producto en el contenedor:

$$h_p = \frac{V_c}{\pi \frac{D^2}{4}} \quad \text{Ec. 34}$$

$$h_p = 0,067 \text{ m}$$

Donde:

D: Diámetro del contenedor, 1.4 [m]

h_p : Altura de la capa del producto en el contenedor [m]

La altura calculada por el producto de 6,2 cm será contenida con una altura mínima de 10 cm en el contenedor de modo que las almendras posean mayor libertad al momento de la remoción.

4.5.2 Contenido de humedad en base húmeda

“Las semillas de cacao se encuentran dentro de las cinco celdas del fruto o mazorca; rodeadas de una pulpa mucilaginosa; una vez que ha llegado a su madurez fisiológica son blancas o amargas, con un contenido de humedad de aproximadamente 50% base húmeda.” (Ospina, 2001)

$$CH_{bh}(\%) = \left(\frac{m_{50\%} - m_s}{m_{50\%}} \right) \cdot 100\% \quad \text{Ec.35}$$

A partir de la definición se toma el valor aproximado ideal de contenido de humedad en base húmeda del grano de cacao.

$$CH_{bh}(\%) = 50\%$$

Donde:

CH_{bh} : Contenido de humedad en base húmeda. (Ospina, 2001)

$m_{50\%}$: Masa inicial con 50% de humedad.

m_s : Masa seca del material.

4.5.3 Masa seca de cacao resultante

A partir del contenido de humedad en base seca de la ecuación 9, se obtiene la expresión para la masa resultante de material seco.

$$m_s = m_c(1 - CH_{bh}) \quad \text{Ec.36}$$

Donde:

m_c : Masa total de cacao en el contenedor, 50 [kg].

En base a una carga inicial de 50 kg de cacao, se obtiene la masa de materia seca resultante.

$$m_s = 25 \text{ kg}$$

4.5.4 Masa resultante con humedad deseada

Nuevamente se utiliza la Ec. 37 para determinar la expresión de la masa resultante de cacao con 7% de porcentaje de humedad final.

$$m_{7\%} = \left(\frac{m_s}{1 - 0.07} \right) \quad \text{Ec.37}$$

$$m_{7\%} = 26.88 \text{ kg}$$

Donde:

$m_{7\%}$: Masa total de cacao resultante con 7% de humedad [kg].

4.5.5 Propiedades psicométricas del aire en la ubicación de aplicación

En vista que el agente de secado es el aire caliente, es necesario determinar las condiciones iniciales y finales del mismo con respecto a la ubicación exacta de la aplicación del prototipo.

El cantón Cumanda posee una temperatura ambiente entre 18 y 20 °C, una altitud de 300 a 2000 msnm y una humedad relativa media de 78%. (Romero, Alarcón, Segovia, & Cuadrado, 2002)

Para el diseño es necesario determinar cifras exactas de temperatura ambiente y presión atmosférica de la finca donde se ejecutará el prototipo.

La aplicación online www.altitude.nu proporciona la altitud exacta del terreno del cliente. (Ver **Figura 48**)



Figura 48. Datos psicrométricos de la finca en el cantón Cumandá.

Fuente: (Altitude, s.f.)

Mediante los datos de temperatura ambiente, porcentaje de humedad relativa y la altitud del terreno se procede a determinar las demás variables psicrométricas que determinarán las condiciones del aire para el diseño del secador. Tradicionalmente se utiliza la carta psicrométrica como se muestra en la **Figura 49**.

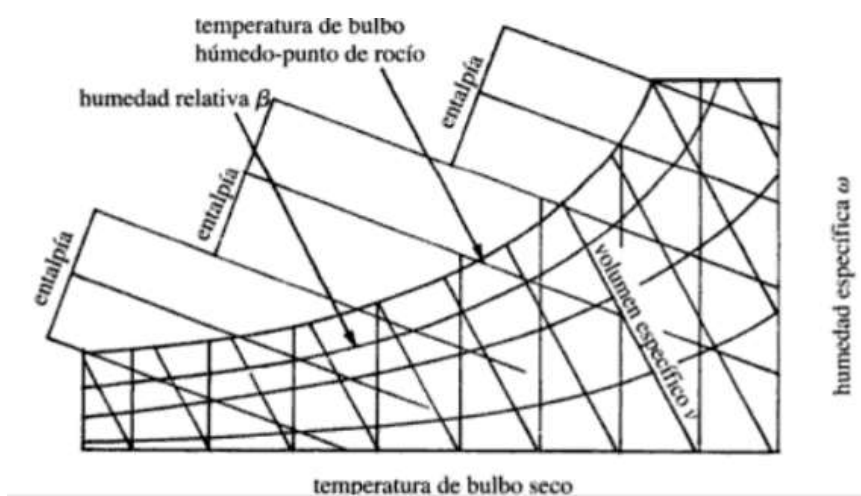


Figura 49. Carta Psicométrica.

Fuente: (Kurt C. Rolle, 2003)

Actualmente existen múltiples aplicaciones online y offline, libres y con licencia, que permiten la obtención de estos parámetros del aire. (Ver **Figura 50**) Para el efecto se utiliza la aplicación online gratuita de psicometría: <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/CartaPsy.htm>, de donde se obtiene los parámetros del aire que se presentan en la Tabla 21.

Psicrometría				
Datos			Resultados	
Unidades:	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> Ing.		
Parámetro:	Valor	Unidad		
Temperatura:	20	C	Presión Atmosférica	0.9752658854225 bar
Temp. h. húmedo:	17.62496139366	C	Pv sat	23.38797752964 mbar
Humedad relativa:	80	%	Pv	18.71038202371 mbar
Punto de rocío:	16.47490589730	C	Humedad absoluta	0.012166421684 kg/kg
Altitud SNM	311	m	Entalpía	50.98021463319 kJ/kg
<input type="button" value="Calcular"/>			Volumen específico	0.878768846153 m ³ /kg

Figura 50. Obtención de parámetros del aire.

Fuente: (Milán, 2016)

Tabla 21

Propiedades psicométricas del aire de la finca en Cumandá.

Fuente: (Milán, 2016)

Parámetro	Valor	Unidad
Presión atmosférica (P_{atm})	97.52	kPa
Humedad relativa (HR)	80	%
Presión de vapor de saturación ($P_{v\ sat}$)	2.3387	kPa
Presión de vapor de agua (P_v)	1.8710	kPa
Humedad Absoluta (HA)	0.012166	Kg/kg
Volumen específico (v_{esp})	0.8787	m ³ /kg
Entalpía (h)	50.9802	kJ/kg

4.5.6 Densidad del aire de secado

A partir de los parámetros obtenidos en la tabla 14 se obtiene la expresión de la densidad del aire de secado, a través de:

$$\rho_{SEC} = \frac{1}{v_{esp}} \quad \text{Ec.38}$$

$$\rho_{SEC} = 1.128 \frac{kg}{m^3}$$

Donde:

v_{esp} : Volumen específico del aire de secado, 0.8787 [m³/kg]

ρ_{SEC} : Densidad del aire de secado [kg/m³]

4.5.7 Análisis de la Curva de Secado

El proceso de secado se lo puede representar a través del diagrama conocido como curva de secado donde se expresa la relación entre el contenido de humedad y el tiempo de secado.

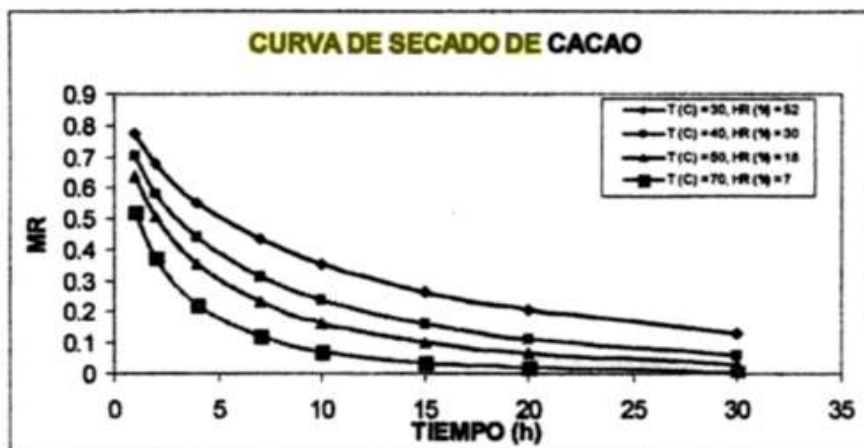


Figura 51. Curva de Secado de Cacao.

Fuente: (Ospina, 2001)

En la **Figura 51** se muestra una curva típica de un proceso de secado de cacao donde se relaciona la Razón de humedad promedio (MR) con el tiempo de secado junto con los parámetros de temperatura y humedad relativa del aire.

Las curvas de secado se las obtiene mediante ensayos de laboratorio con la ayuda de instrumentos de medición y sensores específicos para el proceso.

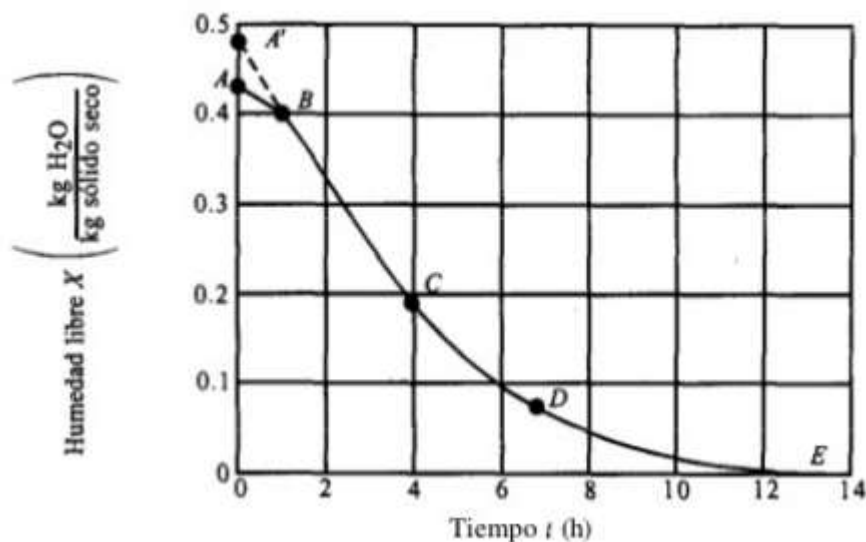


Figura 52. Diagrama general de Secado.

Fuente: (Sigüencia, 2013)

En la **Figura 52** se muestra el diagrama general de secado, para el efecto de diseño se analizarán 2 etapas principales:

- Período de velocidad constante
- Período de velocidad decreciente

4.5.8 Tiempo de secado

El tiempo de secado es un parámetro importante dentro de las especificaciones de desempeño de la secadora, ya que el objetivo principal es reducir lo más posible el tiempo de secado hasta obtener la humedad adecuada en las almendras. Para encontrar el tiempo de secado se determina primero el tiempo a velocidad constante y se lo adiciona al tiempo de velocidad decreciente.

4.5.9 Tiempo de secado a velocidad constante

Si el secador es de cámara de secado opaca, el aire se usa como medio de transporte de energía (aporte de calor al producto) y como medio de extracción

de humedad. Esto hace que las velocidades del aire deban ser mucho mayores que los sistemas rotativos-convectivos; del orden de 0.4 a 3 [m/s]. (Corvalan, Horn, Roman, & Saravia, 2000)

La velocidad lineal del aire dentro del contenedor para el diseño será:

$$V_S = 3 \frac{m}{s}$$

Con la velocidad lineal del aire y la densidad del aire de secado obtenido se tiene:

$$G_V = 3600 \cdot V_S \cdot \rho_{SEC} \quad \text{Ec.39}$$

$$G_V = 12182.4 \frac{kg}{m^2h}$$

Donde:

G_V : Velocidad másica del aire de secado [kg/m²s]

Nota: El valor 3600 en la ecuación 13 es un factor de transformación de unidades de tiempo a horas.

La ecuación admitida para el coeficiente de convección para un flujo de aire perpendicular a la superficie de contacto con las almendras es:

$$h_c = G_V^{0.37} \quad \text{Ec.40}$$

$$h_c = 32.487 \frac{kcal}{m^2h^{\circ}C}$$

Donde:

h_c : Coeficiente de convección para flujo de aire de secado perpendicular, [kcal/m²h°C]. (Ocon, Quinta Edición)

$$R_c = h_c \cdot \frac{T_{SEC} - T_g}{H_{fg}} \quad \text{Ec.41}$$

$$R_c = 3.15 \frac{kg}{m^2 h}$$

Donde:

R_c : Velocidad constante de secado por unidad de tiempo [kg/m²h].

(Ocon, Quinta Edición)

T_{SEC} : Temperatura de aire de secado, 65 [°C].

T_g : Temperatura de los granos de cacao en bulbo húmedo, 17.62 [°C].

H_{fg} : Calor latente de evaporación a temperatura de bulbo húmedo, 539.43 [kcal/kg].

El tiempo de secado a velocidad constante viene dado por:

$$t_c = \frac{m_s(X_i - X_c)}{A_s \cdot R_c} \quad \text{Ec.42}$$

$$t_c = 0.515 h$$

Donde:

t_c : Tiempo de secado a velocidad constante, [h]. (Geankoplis, 1998)

m_s : Masa seca de cacao, 25 [kg].

X_c : Humedad crítica del material en base seca, 40 [%]

(Geankoplis, 1998)

X_i : Humedad inicial del cacao, 50 [%].

A_s : Área de secado, 1.54 [m²].

R_c : Velocidad constante de secado por unidad de tiempo [kg/m²h].
(Guachamin & Velásquez, 2010)

4.5.10 Tiempo de secado a velocidad decreciente

El tiempo de secado a velocidad decreciente se lo determina a partir del análisis de la Figura 51 ya que corresponde a un tramo logarítmico y corresponde a la siguiente expresión:

$$t_d = \frac{m_s(X_c - X_e)}{A_s \cdot R_c} \ln\left(\frac{X_c - X_e}{X_f - X_e}\right) \quad \text{Ec.43}$$

$$t_d = 5.16 \text{ h}$$

Donde:

t_d : Tiempo de secado a velocidad decreciente [h].

m_s : Masa seca de cacao, 25 [kg].

A_s : Área de secado, 1.54 [m²].

R_c : Velocidad constante de secado por unidad de tiempo, 3.15 [kg/m²h]

X_e : Humedad de equilibrio del material en base seca, 5[%]. (Espinoza & Ruiz, 2015)

X_f : Humedad final deseada, 7[%].

X_c : Humedad crítica del material en base seca, 40[%]. (Espinoza & Ruiz, 2015)

Por lo tanto el tiempo total de secado es:

$$\begin{aligned} t_T &= t_c + t_d \\ t_T &= 5.67 \text{ h} \end{aligned} \quad \text{Ec.44}$$

Donde:

t_T : Tiempo total de secado, [h].

4.5.11 Balance de Energía calorífica

Se realiza el análisis energético para estimar la cantidad de calor total necesaria para el presente proceso de secado. El calor útil necesario para realizar el proceso de secado está conformado por:

- Calor sensible del cacao
- Calor sensible del agua
- Calor latente del agua
- Calor sensible del contenedor

4.5.12 Calor sensible del cacao

Es el calor que reciben los granos de cacao para que puedan elevar su temperatura hasta el punto deseado. Para el cálculo se tiene:

$$\begin{aligned} Q_C &= m_s \cdot cp_C \cdot \Delta T_C \\ Q_C &= 1944 \text{ kJ} \end{aligned} \quad \text{Ec.45}$$

Donde:

Q_C : Calor sensible del cacao, [kJ].

m_s : Masa seca de cacao [kg].

cp_C : Calor específico del cacao, 1728 [J/kg °K]. (Espinoza & Ruiz, 2015)

ΔT : Diferencia entre la temperatura de secado y la temperatura inicial del cacao 45[K].

4.5.13 Calor sensible del agua

Para obtener el calor sensible del agua es necesario tener en cuenta que el calor específico cambia conforme varía la temperatura instantánea. Para el diseño se determina primero la temperatura promedio que alcanza en el proceso:

$$\bar{T} = \frac{T_{SEC} + T_{amb}}{2} \quad \text{Ec.46}$$

$$\bar{T} = 42.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Donde:

\bar{T} : Temperatura promedio de secado, [°C]

Por lo tanto el calor específico del agua a esa temperatura es:

$$cp_{H_2O} = 4179 \frac{J}{kg \text{ } K}$$

Donde:

cp_{H_2O} : Calor específico del agua a 42.5 °C, [kJ/kg K]. (Vaxa Software, 2007)

Para determinar el calor sensible del agua en el proceso de secado, se tiene:

$$Q_{H2O} = m_{H2O} \cdot cp_{H2O} \cdot \Delta T \quad \text{Ec.47}$$

$$Q_{H2O} = 4701 \text{ kJ}$$

Donde:

Q_{H2O} : Calor sensible del agua [kJ].

m_{H2O} : Masa de agua a evaporarse [kg].

cp_{H2O} : Calor específico del agua a la temperatura promedio de secado [J/kg K]. (Vaxa Software, 2007)

ΔT : Diferencia entre la temperatura de secado y la temperatura inicial del cacao 45[K].

4.5.14 Calor latente del agua

Es el calor necesario para que el agua cambie de fase de líquido a vapor durante el proceso, se tuvo en cuenta la cantidad de agua que se evapora.

$$Q_L = m_{vapor} \cdot H_L \quad \text{Ec.48}$$

$$Q_L = 57800 \text{ kJ}$$

Donde:

Q_L : Calor latente del agua [kJ].

m_{vapor} : Masa de agua transformada en vapor, 23.12 [kg].

H_L : Calor latente de vaporización de agua, 2500 [kJ/kg]. (Sevilla, 2014)

4.5.15 Calor sensible en el plato base

El plato base de acero inoxidable perforado que se encuentra en contacto con las almendras también sufre un cambio de temperatura por lo cual se genera un calor sensible, dicho esto se tiene:

$$m_{plato} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \rho_{inox} \cdot e_P \quad \text{Ec.49}$$

$$m_{plato} = 12.16 \text{ kg}$$

Donde:

m_{plato} : Masa del plato perforado de acero inoxidable 304, [kg]

D: Diámetro del plato 1.4 [m]

ρ_{inox} : Densidad del acero inoxidable 304, 7900 [kg/m³]. (Sevilla, 2014)

e_P : Espesor del plato, 0.001 [m]

Por lo tanto para obtener el calor sensible en el plato base se tiene:

$$Q_{Plato} = m_{Plato} \cdot cp_{inox} \cdot \Delta T \quad \text{Ec.50}$$

$$Q_{Plato} = 261.04 \text{ kJ}$$

Donde:

Q_{Plato} : Calor sensible en el plato base de acero inoxidable 304.

cp_{inox} : Calor específico del acero inoxidable 304, 477 [J/kg K].

(Sevilla, 2014)

ΔT : Diferencia entre la temperatura de secado y la temperatura inicial del cacao 45[K].

Mediante la sumatoria de todos los calores calculados se obtiene el calor útil total:

$$Q_{util} = Q_{plato} + Q_L + Q_{H_2O} + Q_C \quad \text{Ec.51}$$

$$Q_{util} = 64706 \text{ kJ}$$

Donde:

Q_{util} : Calor útil total del proceso de secado, [kJ].

Nota: No se toma en cuenta la reducción de calor debido a las perforaciones ya que no ofrece un valor significativo para el presente cálculo.

4.5.16 Potencia por calor útil en el proceso de secado

La potencia por calor útil se la obtiene mediante la relación entre el calor útil y el tiempo total de secado, entonces para el diseño se tiene:

$$\dot{Q}_{util} = \frac{Q_{util}}{t_T} \quad \text{Ec.52}$$

$$\dot{Q}_{util} = 3.17 \text{ KW}$$

Donde:

\dot{Q}_{util} : Es la potencia necesaria para generar el calor útil del proceso de secado, [kW].

Q_{util} : Calor útil en el proceso de secado, 64706 [KJ].

t_T : Tiempo total de secado, 20412 [s].

4.5.17 Pérdidas de calor en la pared cilíndrica

Las pérdidas de calor en la pared se dividen en tres diferentes tipos:

- Pérdida de calor por conducción
- Pérdida de calor por convección
- Pérdida de calor por radiación

4.5.18 Pérdida de calor por conducción

Este fenómeno se presenta debido a que en la pared interna del contenedor se maneja una temperatura de secado que se conducirá a través del espesor de la pared hacia el exterior que posee la temperatura ambiente del sector. Como el material de conducción es el acero inoxidable 304 entonces la constante de conductividad térmica es:

$$k_{inox} = 16.3 \frac{W}{m K}$$

4.5.19 Pérdida de calor por convección

En la parte baja del contenedor la pared de acero inoxidable absorbe calor por convección debido al flujo de aire inicial a temperatura de secado. El flujo de aire se traslada paralelo a la superficie de la pared cilíndrica en forma de espiral por lo tanto el coeficiente de convección para este caso es:

$$h_{CP} = 0.0175 \cdot G_V^{0.8} \quad \text{Ec.53}$$

$$h_{CP} = 32.48 \frac{kcal}{m^2 h^\circ C}$$

Nota: Para fines de cálculo posterior es necesario utilizar todas las unidades en el sistema internacional.

4.5.20 Coeficiente global de transferencia de calor

El coeficiente global de transferencia de calor es obtenido mediante algoritmos matemáticos para simplificar los cálculos de pérdidas de calor por diversos fenómenos. Para el diseño se tiene:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{CP}} + \frac{e_p}{k_{inox}}} \quad \text{Ec.54}$$

$$U = 37.52 \frac{W}{m^2 K}$$

Donde:

U: Coeficiente global o equivalente de transferencia de calor, [W/m²K].
(Universidad de Oviedo, 2014)

h_{CP} : Coeficiente de convección de flujo paralelo a la pared en SI, 37.7 [W/m²K]

e_p : Espesor de la pared cilíndrica de acero inoxidable 304, 0.002 [m]

k_{inox} : Coeficiente de conductividad térmica del acero inoxidable 304, 16.3[W/mK]

4.5.21 Área de la pared cilíndrica

Para el cálculo de la superficie de la pared se aplica la siguiente expresión:

$$A_p = \pi \cdot D \cdot H \quad \text{Ec.55}$$

$$A_p = 1.54 \text{ m}^2$$

Donde:

A_p : Área de la pared cilíndrica [m²]

D: Diámetro del contenedor circular, 1.4 [m].

H: Altura de la pared cilíndrica en contacto con el flujo de aire caliente, 0.35 [m].

Por lo tanto las pérdidas en la pared cilíndrica se calculan mediante la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_P &= U \cdot A_P \cdot \Delta T & \text{Ec.56} \\ \dot{Q}_P &= 2.6 \text{ kW}\end{aligned}$$

4.5.22 Potencia total Calorífica

Al obtener la potencia de calor útil y el flujo de calor por pérdidas en la pared se obtiene la potencia total necesaria en el proceso de secado:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_T &= \dot{Q}_{util} + \dot{Q}_P & \text{Ec.57} \\ \dot{Q}_T &= 5.77 \text{ kW}\end{aligned}$$

Donde:

\dot{Q}_T : Potencia de transferencia de calor total en el proceso de secado [kW].

\dot{Q}_{util} : Potencia de calor útil, 3.17 [kW].

\dot{Q}_P : Potencia de calor perdido en la pared cilíndrica, 2.6 [kW]

4.5.23 Dimensionamiento de la Niquelina

A partir de la potencia total de transferencia de calor dimensionamos la potencia por parte de la resistencia eléctrica por medio de la siguiente expresión:

$$P_R = f_s \cdot \dot{Q}_T \quad \text{Ec.58}$$

$$P_R = 7.5 \text{ kW}$$

Donde:

P_R : Potencia de la niquelina. [kW]

f_s : Factor de seguridad de la niquelina, 1.3 [kW].

\dot{Q}_T : Potencia de transferencia de calor total en el proceso de secado [kW].

A nivel comercial las niquelinas tienen un valor estándar de 2.5 kW de potencia por lo tanto es necesario determinar cuántas resistencias comerciales se requerirán para cumplir con ese requisito.

$$n_r = \frac{P_R}{P_C} \quad \text{Ec.59}$$

$$n_r = 3$$

Donde:

P_C : Potencia comercial de las resistencias, 2.5 [kW].

n_r : Número de resistencias a utilizar.

A partir de la potencia de cada niquelina y el voltaje de la red eléctrica se calcula el valor de resistencia:

$$R = \frac{V^2}{P_c} \quad \text{Ec.60}$$

$$R \approx 20 \Omega$$

Por lo tanto se utilizará una disposición de 3 niquelinas conectadas en paralelo con una resistencia de 20 ohmios.

4.5.24 Caudal del aire de secado

El caudal del aire de secado se determina por medio de la velocidad lineal deseada y el área transversal al movimiento del fluido. Para el diseño tenemos que:

$$Q = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot V \quad \text{Ec.61}$$

$$Q = 0.462 \frac{m^3}{s}$$

Donde:

Q: Caudal del aire de secado, [m³/s]

Balance de Energía por el flujo de aire caliente

Es necesario realizar el análisis energético para estimar la potencia necesaria del ventilador que permitirá generar la velocidad deseada del aire de secado. Para el diseño se determina la presión total que se debe generar en el proceso que está compuesta por:

- Cambio de presión por variación de energía potencial
- Cambio de presión por variación de energía cinética

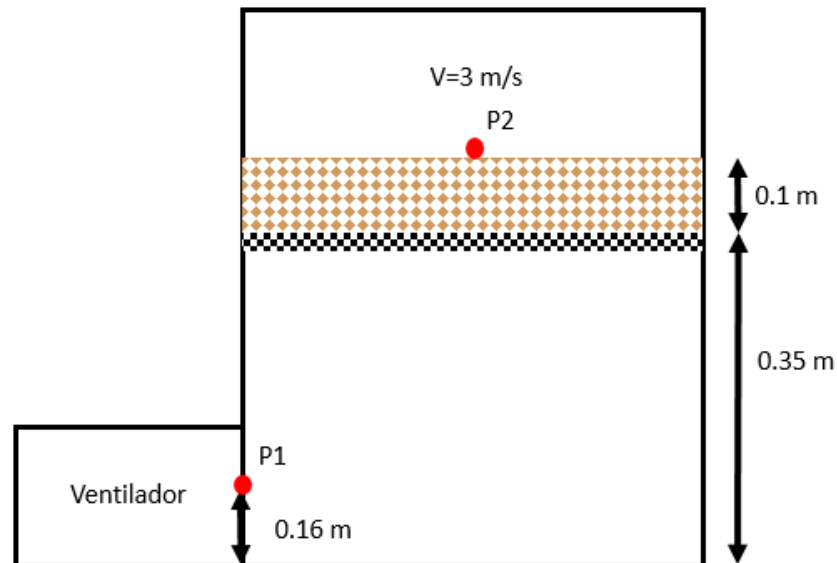


Figura 53. Bosquejo general del sistema de secado

En la **Figura 53** se muestra un bosquejo del prototipo en general para la realización adecuada de todos los cálculos posteriores del análisis de mecánica de fluidos.

4.5.25 Cambio de presión por variación de energía potencial

El cambio de presión generado por la diferencia de alturas viene dado por la siguiente expresión:

$$\Delta P_{Pot} = \rho \cdot g \cdot (h_2 - h_1) \quad \text{Ec.62}$$

$$\Delta P_{Pot} = 4.125 \text{ Pa}$$

Donde:

ΔP_{Pot} : Cambio de presión por variación de energía potencial, [Pa].

ρ : Densidad del aire a 65°C, 1.045 [kg/m³].

g: Aceleración de la gravedad, 9.81 [m/s²].

h1: Altura en el punto 1, 0.16 [m].

h2: Altura en el punto 2, 0.45 [m].

4.5.26 Cambio de presión por variación de energía cinética

El cambio de presión generado por el incremento de velocidad del aire viene dado por la siguiente expresión:

$$\Delta P_{cin} = \frac{\rho \cdot g \cdot V^2}{2} \quad \text{Ec.63}$$

$$\Delta P_{cin} = 46.13 \text{ Pa}$$

Donde:

ΔP_{cin} : Cambio de presión por variación de energía cinética, [Pa].

ρ : Densidad del aire a 65°C, 1.045 [kg/m³].

g: Aceleración de la gravedad, 9.81 [m/s²].

V : Velocidad del aire de secado deseada, 3 [m/s].

4.5.27 Cambio total de presión útil

Una vez obtenidos los cambios de presión necesarios para alcanzar la velocidad de secado deseada obtenemos el cambio total de presión requerido en el sistema.

$$\Delta P_{util} = \Delta P_{cin} + \Delta P_{pot} \quad \text{Ec.64}$$

$$\Delta P_{util} = 50.25 \text{ Pa}$$

4.5.27.1 Potencia por cambio de presión útil

La potencia por cambio de presión útil necesaria se define como el producto del cambio total de presión útil y del caudal del sistema.

$$Pot_u = \Delta P_{util} \cdot Q \quad \text{Ec.65}$$

$$Pot_u = 0.23 \text{ kW}$$

Donde:

Q: Caudal del aire de secado, 0.462 [m³/s]

4.5.28 Pérdidas de presión en el contenedor

Las pérdidas de presión en el contenedor se dividen en tres diferentes tipos:

- Pérdidas por fricción
- Pérdidas por accesorios
- Pérdidas en el lecho de granos

4.5.29 Pérdidas por fricción

Las pérdidas por fricción se determinan directamente por la trayectoria que debe seguir el fluido, para determinar estas pérdidas es necesario determinar el régimen del fluido para lo cual se determina primero el número de Reynolds.

$$Re = \frac{V \cdot D}{v_{cin}} \quad \text{Ec.66}$$

$$Re = 216495$$

Donde:

Re: Número de Reynolds.

V: Velocidad del fluido, 3[m/s].

D: Diámetro del contenedor, 1.4 [m].

ν_{cin} : Viscosidad cinemática del aire a 65°C, $1.94 \cdot 10^{-5}$ [m²/s]. (Universidad Técnica del Norte, 2016)

Nótese que el número de Reynolds es mayor a 4000 por lo tanto se encuentra en régimen turbulento. Para el cálculo de factor de fricción es necesario utilizar el diagrama de Moody utilizado específicamente para la obtención de este factor en régimen turbulento de manera sencilla. Para utilizar el diagrama es necesario utilizar el diagrama de Moody para obtener la rugosidad promedio del acero inoxidable 304 que es:

$$e = 0.046 \text{ mm}$$

A partir de este dato se obtiene la rugosidad relativa del contenedor de acero inoxidable 304, esta es:

$$\frac{e}{D} = 0.00003285 \quad \text{Ec.67}$$

Donde:

e: Es la rugosidad promedio del contenedor de acero, 0.046 [mm]. (Universidad Técnica del Norte, 2016)

D: Diámetro del contenedor, 1.4 [m].

Con el número de Reynolds y la rugosidad relativa del contenedor de acero se puede identificar en el diagrama el valor del factor de fricción (Ver **Figura 54** y **Figura 55**):

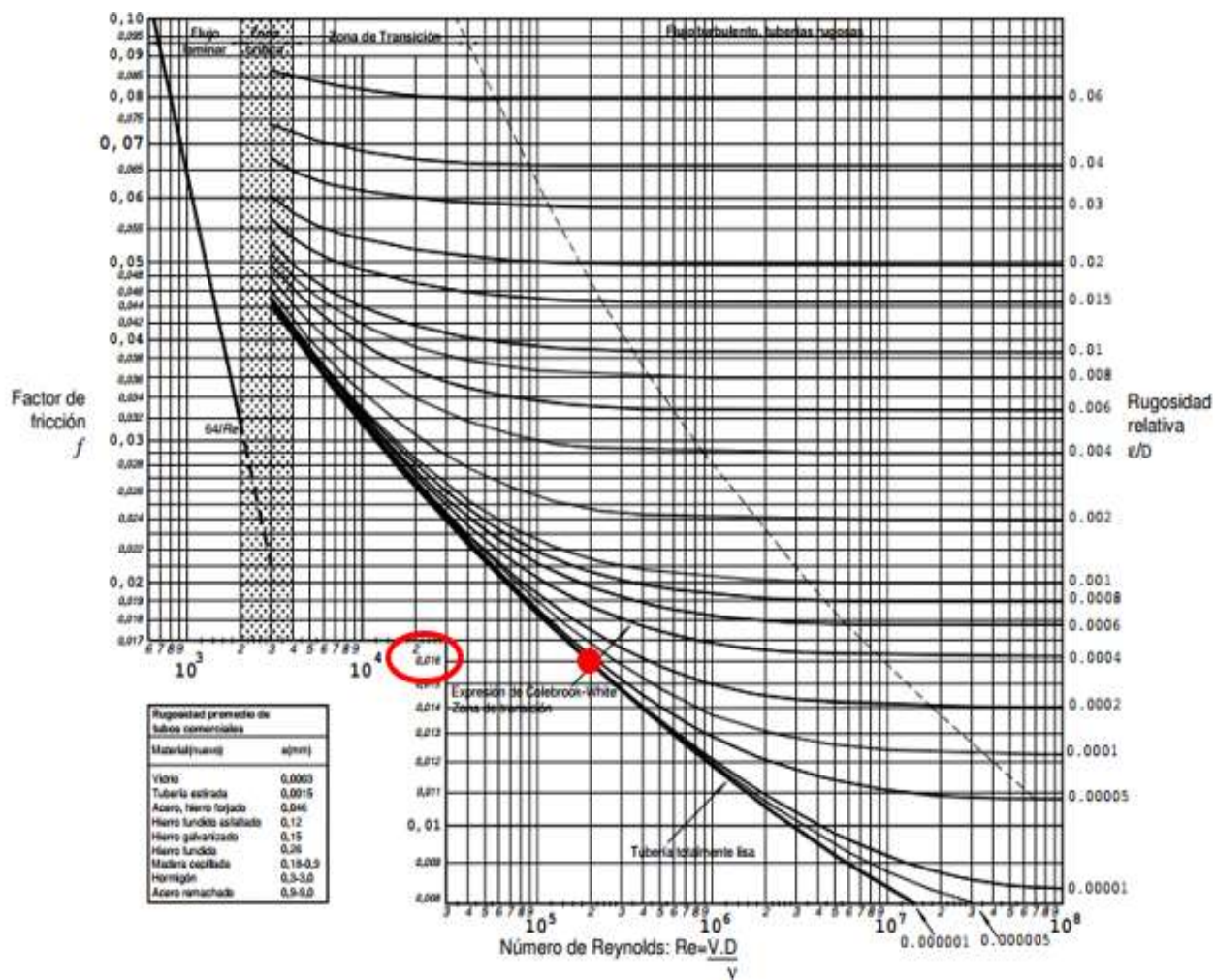


Figura 54. Diagrama de Moody.

Fuente: (Universidad Técnica del Norte, 2016)

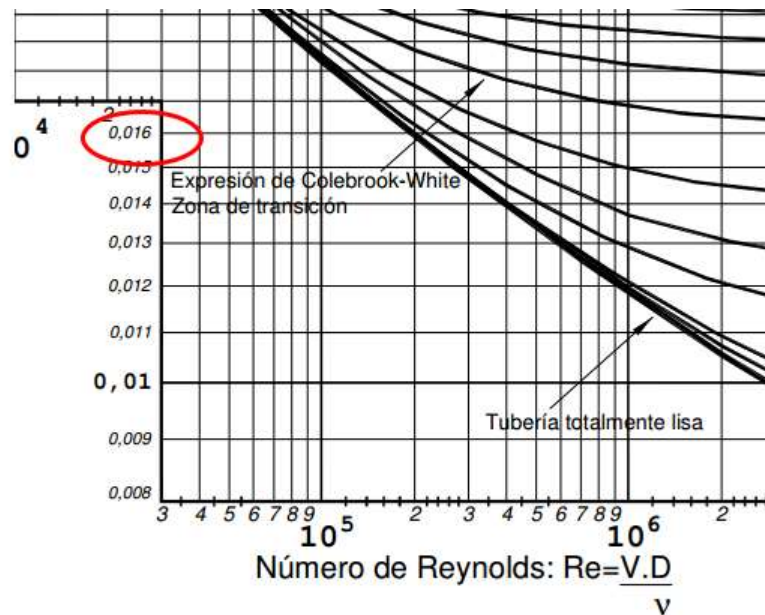


Figura 55. Factor de fricción obtenido gráficamente.

Fuente: (Universidad Técnica del Norte, 2016)

$$f = 0.0016$$

Donde:

f: Factor de fricción del contenedor.

Por lo tanto las pérdidas por longitud expresadas en altura se obtienen mediante:

$$h_f = \frac{f \cdot L_T \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot D}$$

Ec.68

$$h_f = 0.0023 \text{ m}$$

Donde:

h_f : Altura equivalente añadida por fricción, [m]

f: Factor de fricción.

L_T : Longitud de recorrido del aire caliente, 0.45[m].

V: Velocidad del aire caliente deseada, 3 [m/s].

D: Diámetro del contenedor, 1.4 [m].

g: Aceleración de la gravedad, 9.81 [m/s²].

Para hallar la pérdida de presión por fricción generada aplicamos la siguiente expresión:

$$\Delta P_f = \rho \cdot g \cdot h_f \quad \text{Ec.69}$$

$$\Delta P_f = 0.023 Pa$$

Donde:

ΔP_f : Pérdida por fricción en el contenedor de acero inoxidable, [Pa].

ρ : Densidad del aire a 65°C, 1.045 [kg/m³].

g: Aceleración de la gravedad, 9.81 [m/s²].

4.5.30 Pérdidas por accesorios

Dentro del diseño es necesario considerar las pérdidas que se originan por la bandeja perforada de acero inoxidable 304.

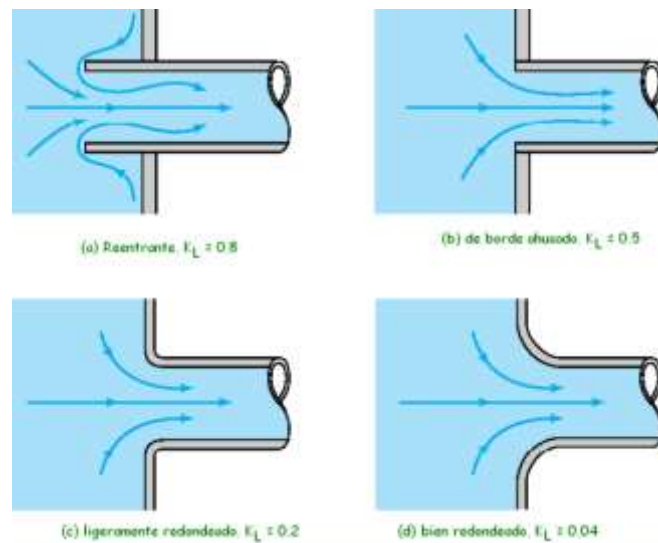


Figura 56. Coeficientes para pérdidas en accesorios.

Fuente: (Gonzales, 2002)

En la **Figura 56** se muestran varios casos de perforaciones posibles y sus respectivos factores de geometría, para el caso de la bandeja perforada tomaremos el caso b. Por lo tanto las pérdidas por accesorio expresadas en altura vienen dadas por la siguiente expresión:

$$h_A = \frac{k \cdot V^2}{2 \cdot g}$$

Ec.70

$$h_A = 2.29$$

Donde:

h_A : Altura equivalente añadida por la pérdida ocasionada en la bandeja perforada de acero inoxidable 304, [m].

k : Factor de geometría debido a la bandeja perforada.

V : Velocidad deseada del aire caliente de secado, 3[m/s].

g: Aceleración de la gravedad, 9.81 [m/s²].

Para hallar la pérdida de presión por fricción generada aplicamos la siguiente expresión:

$$\Delta P_A = \rho \cdot g \cdot h_A \quad \text{Ec.71}$$

$$\Delta P_A = 23.47 \text{ Pa}$$

Donde:

ΔP_A : Pérdida de presión por la bandeja perforada de acero inoxidable, [Pa].

ρ : Densidad del aire a 65°C, 1.045 [kg/m³].

g: Aceleración de la gravedad, 9.81 [m/s²].

4.5.31 Pérdida en el lecho de granos

Para hallar las pérdidas en el lecho de granos es necesario determinar algunas variables necesarias para el cálculo posterior, esta pérdida es de gran importancia en vista que depende de la cantidad de granos se deberá considerar incrementar el flujo de aire caliente.

4.5.32 Fracción de Vacío

Esta variable es la razón entre el volumen vacío del lecho y el volumen total del lecho. Primero es necesario determinar el volumen total de vacío en el contenedor mediante la siguiente expresión:

$$V_v = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h_v \quad \text{Ec.72}$$

Donde:

h_v: Es la altura de vacío dentro del contenedor, 0.65 [m]

La altura de vacío por encima del lecho es de 0.65 m conforme a las dimensiones establecidas inicialmente. Por lo tanto el volumen de vacío es:

$$V_v = 1 \text{ m}^3$$

En la ecuación 1 se obtuvo que el volumen de cacao dentro del contenedor es:

$$V_c = 0.096 \text{ m}^3$$

La expresión para determinar el factor de vacío es:

$$E = \frac{V_v}{V_v + V_c} \quad \text{Ec.73}$$

$$E = 0.91$$

Donde:

E: Factor de vacío del contenedor de la secadora.

4.6.11 Diámetro hidráulico de los granos de cacao

Otra variable importante en el cálculo de pérdidas por el lecho es el diámetro hidráulico que viene dado por la siguiente expresión:

$$D_h = \frac{E}{s \cdot (1 - E)} \quad \text{Ec.74}$$

$$D_h = 0.245 \text{ m}$$

Donde:

Dh: Diámetro hidráulico de los granos de cacao.

E: Factor de vacío.

s: Superficie específica de un grano de cacao promedio, 41.14 [1/m].
(Espinoza & Ruiz, 2015)

Finalmente las pérdidas de carga producidas en el lecho son calculadas mediante la siguiente expresión:

$$\Delta P_C = h_v \cdot \left(\frac{150 \cdot \mu \cdot V \cdot (1 - E)^2}{E^2 \cdot Dh^2} + \frac{1.75 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot (1 - E)}{Dh \cdot E^3} \right) \quad \text{Ec.75}$$

$$\Delta P_C = 5.216 \text{ Pa}$$

Donde:

ΔP_C : Pérdida de presión por el lecho de cacao, [Pa]. (Espinoza & Ruiz, 2015)

h_v : Altura de la capa total del contenedor, 0.65 [m]

μ : Viscosidad dinámica del aire a 65°C, 2.02 E -5 [N s/m²].

V: Velocidad del aire de secado, 3 [m/s].

E: Factor de vacío, 0.91.

Dh: Diámetro hidráulico equivalente del cacao, 0.245 [m].

ρ : Densidad del aire a 65°C, 1.045 [kg/m³].

4.6.12 Pérdidas totales de presión en el sistema

Una vez obtenidas las diferentes pérdidas de presión se calcula el valor total perdido.

$$\Delta P_{p\acute{e}rdida} = \Delta P_f + \Delta P_A + \Delta P_c \quad \text{Ec.76}$$

$$\Delta P_{util} = 28.71 \text{ Pa}$$

Donde:

$\Delta P_{p\acute{e}rdida}$: Pérdida total de presión en el sistema, [Pa]

ΔP_f : Pérdida total por fricción, 0.023 [Pa].

ΔP_A : Pérdida total en la bandeja perforada, 23.47 [Pa].

ΔP_c : Pérdida total en el lecho de cacao, 5.216 [Pa].

4.6.13 Presión requerida por el ventilador

La presión requerida en el ventilador se calcula mediante la suma entre la presión útil del flujo de aire caliente más la presión por pérdidas de presión mediante la siguiente expresión:

$$P_{ventilador} = \Delta P_{util} + \Delta P_{p\acute{e}rdida} \quad \text{Ec.77}$$

$$P_{ventilador} = 78.96 \text{ Pa}$$

La presión del ventilador también se puede expresar en inH₂O (pulgadas de agua) que es una variable comercial:

$$P_{ventilador} = 0.3 \text{ inH}_2\text{O}$$

4.6.14 Dimensionamiento del ventilador

Mediante el diseño previo realizado se obtiene una presión de 0.3 inH₂O y un flujo de aire de 1483 CFM. Se elige un ventilador centrífugo con las siguientes características:

Ventilador Centrífugo Monofásico a 220V Código: CBD-2525-4M 3/4.
(Sodeca)

$$P_{Comercial} = 1 \text{ inH}_2\text{O}$$

$$Caudal_{m\acute{a}x} = 2000 \text{ CFM}$$

$$Potencia \text{ motor} = \frac{3}{4} \text{ HP}$$

4.5.38 Cálculo del espesor del aislante

Primero es necesario determinar la resistencia térmica por parte del contenedor que resulta de ser la inversa del coeficiente de transferencia de calor global determinado anteriormente.

$$R_{in} = \frac{1}{U} \quad \text{Ec. 78}$$

$$R_{in} = 0.027 \frac{m^2K}{W}$$

Donde:

R_{in} : Resistencia de aislamiento de lana de vidrio, [m²K/W]

U: Coeficiente global de transferencia de calor, 37.52 [W/m²K]

Es necesario determinar la resistencia térmica exterior al contenedor que asegura un ambiente seguro térmicamente para cualquier operario. El coeficiente de convección máximo exterior del aire es 0.73 W/m²K. (Instituto para la diversificación y ahorro de energía)

$$R_{out} = \frac{1}{C_{C\ máx}} \quad \text{Ec. 79}$$

$$R_{out} = 1.37 \frac{m^2K}{W}$$

Donde:

R_{out} : Resistencia exterior del aire, [m²K/W].

Se calcula la resistencia del aislamiento a partir de la siguiente expresión:

$$R_{ais} = R_{out} - R_{in} \quad \text{Ec. 80}$$

$$R_{ais} = 1.34 \frac{m^2K}{W}$$

Donde:

R_{ais} : Resistencia térmica del aislante de lana de vidrio, [m²K/W]

R_{in} : Resistencia térmica dentro del contenedor, 0.027 [m²K/W]

R_{out} : Resistencia exterior del aire, 0.73 [m²K/W]

El espesor del material aislante se obtiene mediante:

$$e_{ais} = R_{ais} \cdot k_{ais} \quad \text{Ec. 81}$$

$$e_{ais} = 0.044 \text{ m}$$

Donde:

e_{ais} : Espesor del material aislante, [m]

k_{ais} : Conductividad térmica del material aislante, 0.033[W/mK]. (Espinoza & Ruiz, 2015)

R_{ais} : Resistencia térmica del aislante de lana de vidrio, 1.34 [m²K/W]

4.6 Diseño de los componentes eléctricos

El sistema eléctrico del prototipo de máquina secadora de cacao se encuentra conformado por todos los elementos que energizan y protegen a los circuitos de control y de potencia, su principal función se enfoca en transmitir señales entre los diferentes componentes de mando (Ver Figura 57) y control mediante conductores eléctricos.



Figura 57: Elementos de mando

Fuente: (Torre, 2016)

4.6.1 Circuito de control

Se diseñó un circuito de control para el accionamiento de los actuadores (motor-reductor, ventilador centrifugo y niquelina eléctrica) mediante pulsadores, su lógica de control se realizó por medio de contactores y circuitos de enclavamiento (Ver Figura 58). El circuito de control se encuentra energizado por una fuente de corriente directa de 24 V a 6,25 A.

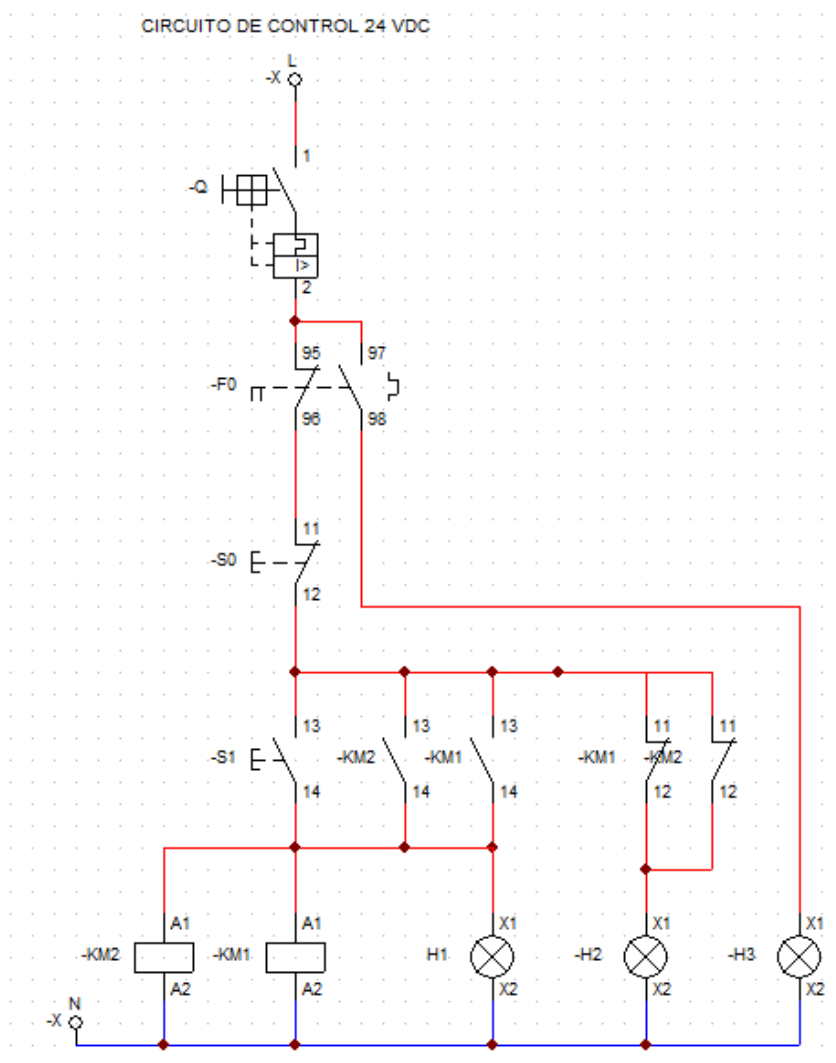


Figura 58: Diagrama electrónico de circuito de control

4.6.2 Circuito de Potencia

Para el accionamiento de la etapa de potencia se seleccionó 2 contactores de 9 A, cuya bobina es energizada a 24 VDC, al presionar el pulsador “S1” (Ver Figura 58), se activara el sistema de remoción y el ventilador centrífugo activados por los contactores KM1 y KM2 (Ver Figura 59). El pulsador “S0” permite detener el sistema de remoción y ventilación.

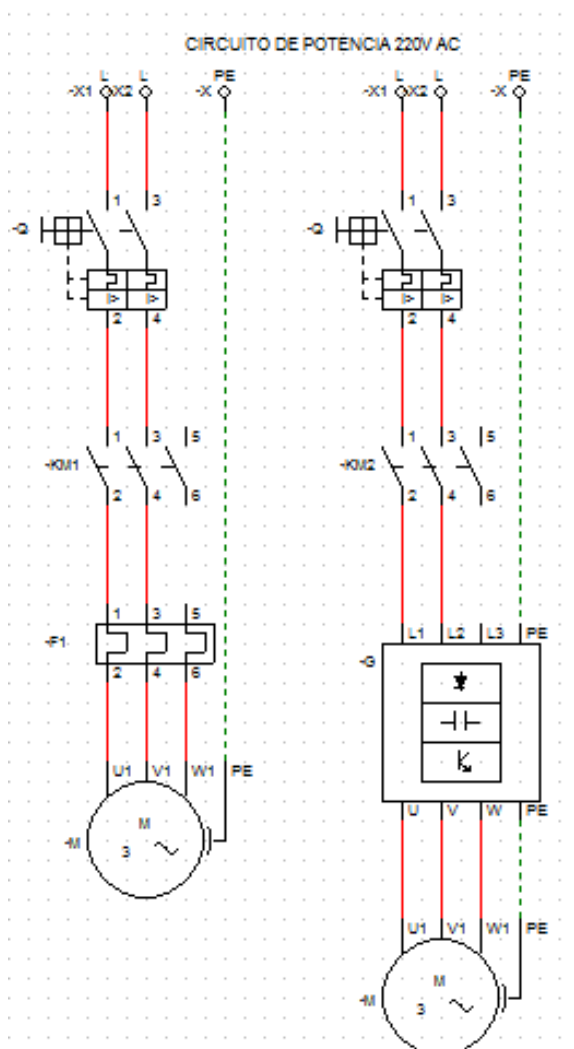


Figura 59: Diagrama electrónico del circuito de fuerza.

4.6.3 Selección de relés magneto-térmicos

En la Tabla 22 se enlistarán los elementos necesarios del diseño con sus respectivas variables eléctricas:

Tabla 22

Corriente máxima de cada elemento eléctrico

Elemento	Voltaje de alimentación (V)	de Potencia suministrada (W)	Corriente máxima (A)
Resistencias eléctricas(X3)	220 V	2000 W	27,3 A
Ventilador Centrífugo	220 V	550 W	2.5 A
Motorreductor ½ HP	220V	370 W	1,7 A
Variador de frecuencia	220V	370 W	1,7 A

- De la Tabla 22 se obtiene como corriente máxima 34 A, por tanto un se seleccionó un interruptor magneto térmico de 40 amperios cuya función es de proteger a los equipos de cortocircuito y sobre corriente.

4.6.4 Selección de Variador de Frecuencia

Para seleccionar el variador de frecuencia se considera las características del motor reductor, como se puede ver en la Tabla 23 se dimensiona un variador marca WEG modelo MX CFW10 0040 S 2024 SSZ. La tensión de la salida del motor es de 220 V trifásica para todos los modelos, su corriente nominal es de 4A, ideal para motores de hasta 1HP.

Tabla 23

Variadores de frecuencia CFW10

Fuente: (Molina, 2016)

CFW10
0,18 a 4 kW (0,25 a 5 HP)

Código	Modelo	Corriente Nominal	Transistor Frenado	Motor	Tamaño	Peso (kg)	Dimensiones	PRECIO UNITARIO
		(A)	Reostát.	(HP)			Al. x An. x Pr. (mm)	
11 0-127 V - 1A C								
10687141	MX CFW10 0016 S 1112 SSZ	1.6	No	0.25	1	0,9	132 x 95 x 121	254.58
10234109	MX CFW10 0026 S 1112 SSZ	2.6	No	0.5	1	0,9	132 x 95 x 121	271.56
10687143	MX CFW10 0040 S 1112 SSZ	4.0	Si	1	2	1,5	161 x 115 x 122	431.10
220 V - 1AC								
10687144	MX CFW10 0016 S 2024 SSZ	1.6	No	0.25	1	0,9	132 x 95 x 121	220.64
10194087	MX CFW10 0026 S 2024 SSZ	2.6	No	0.5	1	0,9	132 x 95 x 121	235.91
10194088	MX CFW10 0040 S 2024 SSZ	4.0	No	1	1	0,9	132 x 95 x 121	242.70
10194089	MX CFW10 0073 S 2024 SSZ	7.3	Si	2	2	1,5	161 x 115 x 122	375.09
10194090	MX CFW10 0100 S 2024 SSZ	10.0	Si	3	3	1,8	191 x 115 x 122	446.37
220 V - 3AC								
10883596	MX CFW10 0016 T 2024 SSZ	1.6	No	0.25	1	0,9	132 x 95 x 121	269.86
10883597	MX CFW10 0026 T 2024 SSZ	2.6	No	0.5	1	0,9	132 x 95 x 121	283.44
10883608	MX CFW10 0040 T 2024 SSZ	4.0	No	1	1	0,9	132 x 95 x 121	293.62
10883609	MX CFW10 0073 T 2024 SSZ	7.3	Si	2	2	1,5	161 x 115 x 122	363.21
10883610	MX CFW10 0100 T 2024 SSZ	10.0	Si	3	3	1,8	191 x 115 x 122	468.44
10883611	MX CFW10 0152 T 2024 SSZ	15.2	Si	5	3	1,8	191 x 115 x 122	566.87

La tensión de la salida y del motor será siempre de 220 V Trifásica para todos los modelos.

4.6.5 Selección del controlador de Temperatura

El control de temperatura del aire caliente se lo realiza en base a un controlador industrial de temperatura marca MYPIN, modelo TA4-SNR+K, cuyas características fueron seleccionadas en base al voltaje de alimentación 220VAC, la temperatura de medición (0-999°C) y la salida a un relé de estado sólido SSR. El circuito de conexión se puede ver en la Figura 60.

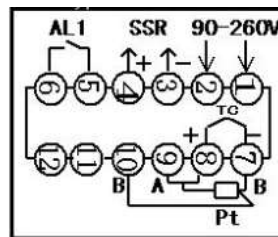


Figura 60: Circuito controlador de temperatura MYPIN



Figura 61: Control industrial de Temperatura

Fuente: (Savemoney, 2016)

4.6.6 Selección de cables

El tipo de embalaje mínimo es de 100 m de tal modo que se toma el mismo calibre para todas las conexiones con el objetivo de reducir costos de cable. La corriente máxima a utilizarse en una línea es de 10 A por lo tanto se tomará un calibre 14 de corriente admisible de 20 A. (Electrocables, s.f.)

De tal modo que el cable a utilizarse del catálogo Electrocables es:

Calibre: 14 AWG

Capacidad de corriente: 20 A

Tipo de Cable: TW

Alternativa de embalaje: Rollo de 100 m

CAPÍTULO 5

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

5.1 Estructura mecánica

El prototipo de máquina secadora de cacao se encuentra conformado mecánicamente por un conjunto de estructuras como se muestra en la Figura 62, en el capítulo 4 se realizó el diseño y los cálculos para la ingeniería de detalle de cada componente o estructura, el presente capítulo describe los métodos y procesos de manufactura necesarios para transformar la materia prima en el producto final deseado. (Ver Figura 62)

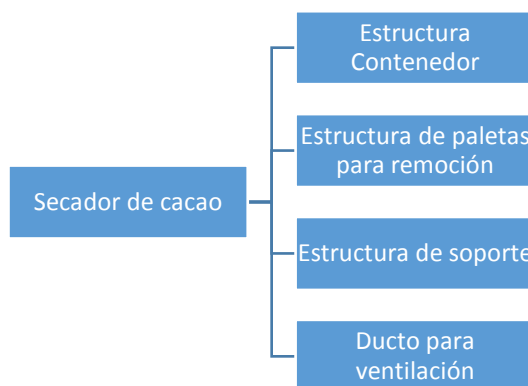


Figura 62 Componentes de estructura mecánica secador de cacao

5.1.1 Estructura contenedor

Para fabricar la estructura del contenedor fue necesario utilizar el proceso de corte y rolado de planchas de bajo espesor, el proceso de mecanizado se lo realizó en base a la Figura 63, la estructura del contenedor es la encargada de almacenar y permite el reposo del cacao durante el proceso de secado. Las especificaciones del plano de construcción, se puede ver en la sección anexos, N° de dibujo MCT-PTS-PZ-3.

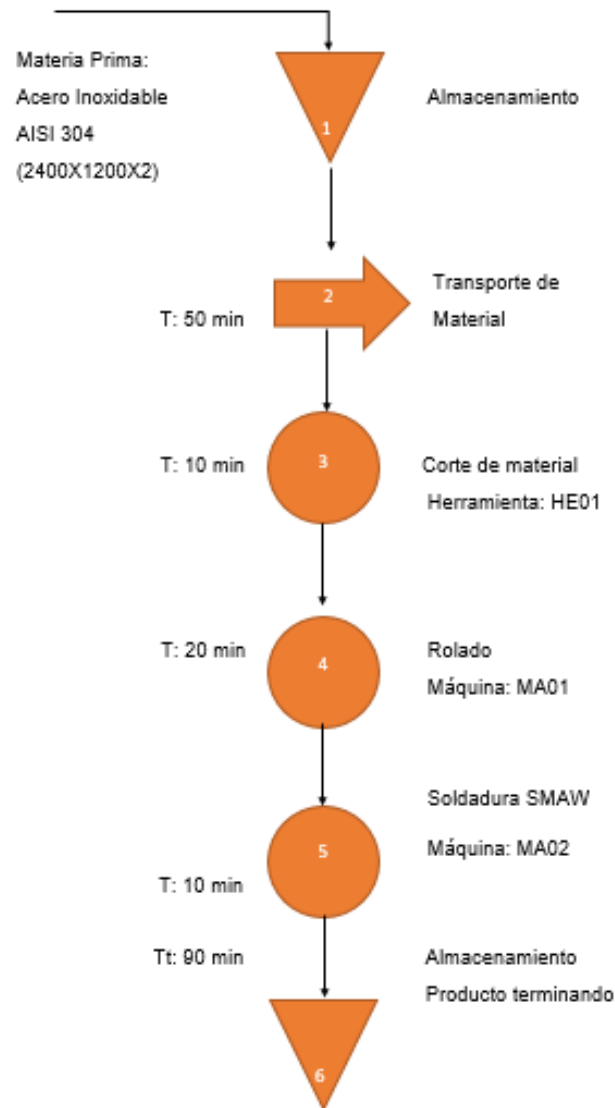


Figura 63: Diagrama de flujo para fabricar contenedor de cacao

Como se observa en la Figura 63, durante el proceso de fabricación se empleó la Herramienta 1 (HE01): disco de corte para acero inoxidable (4,5 x 1.6 PSF), se realizó el corte del material y se eliminó las rebabas por medio de un disco flap N60, obteniendo los resultados de la Figura 64.

Para el rolado de las planchas de acero inoxidable se utilizó la maquina 1 (MA01): roladora de tubos por motorreductor, se considera un radio de 700mm, obteniendo un doblado perfecto como se aprecia en la Figura 65. Finalmente se realizó la unión de las planchas roladas por medio de la máquina 2 (MA02): Soldadora SMAW, se empleó un electrodo E308-16 1/8", su material de aporte es acero inoxidable y su resultado final se puede verificar en la Figura 66.

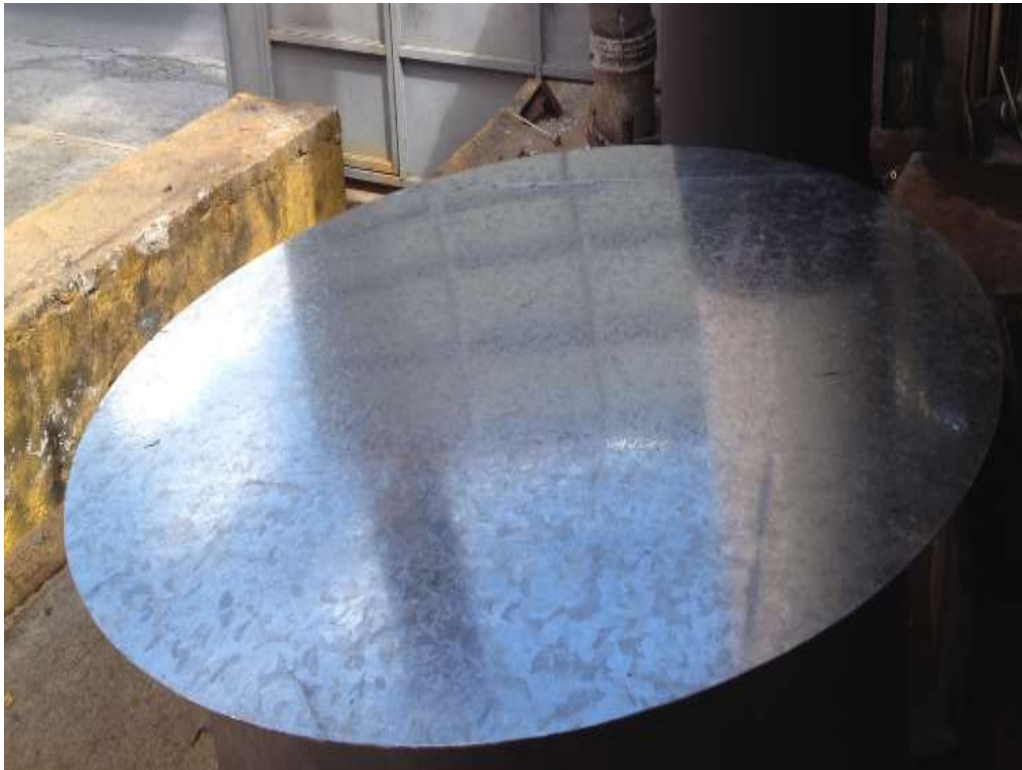


Figura 64: Resultado de corte de acero inoxidable



Figura 65: Resultado de planchas de acero roladas



Figura 66: Contenedor de acero inoxidable

5.1.2 Estructura de paletas para remoción

Para fabricar la estructura de paletas para remoción fue necesario utilizar el proceso de corte, fresado, perforado y soldadura por electrodo revestido, el proceso de mecanizado se lo realizó en base a la **Figura 67**, la estructura de paletas es encargada de realizar la remoción de granos de cacao durante el proceso de secado. Las especificaciones del plano de construcción, se puede ver en la sección anexos, N° de dibujo MCT-PTS-SB-1.

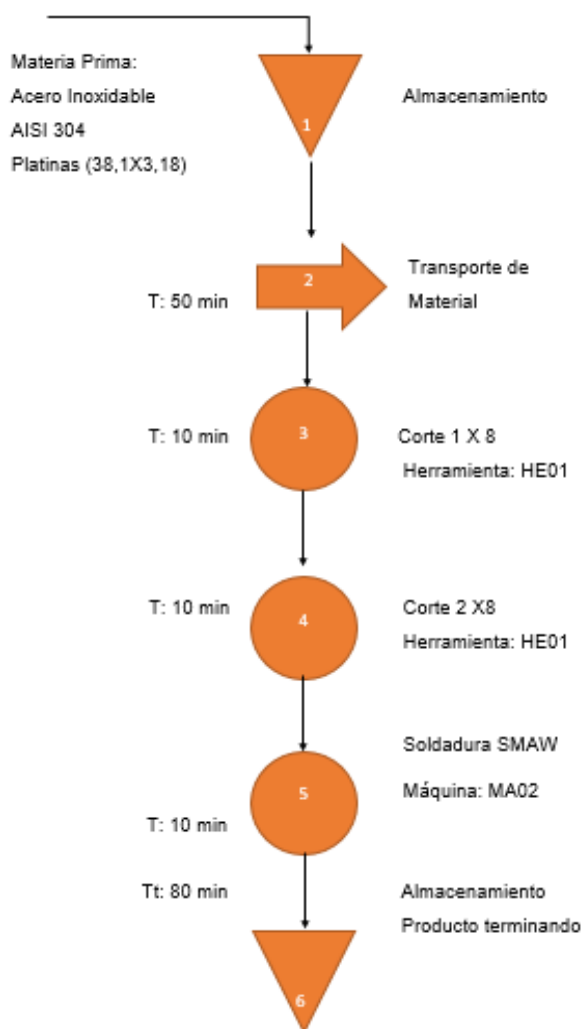


Figura 67: Diagrama de flujo para fabricar removedor de cacao

Las paletas del removedor fueron realizadas en platinas de acero inoxidable de 3,18mm de espesor. Para su unión se utiliza soldadura de electrodo revestido (SMAW). Para eliminar las aristas vivas se realiza un redonde de radio 10mm, se realizo un total de 8 paletas para el sistema de remocion. (Ver Figura 68)



Figura 68: Paleta de removedor

Para ensamblar el removedor a las paletas se lo realizo mediante soldadura de electrodo revestido (SMAW) (Ver **Figura 69**), por medio de una unión a tope por todo el contorno, la separación entre paletas fue de 150mm respecto al eje de simetría (Ver Anexos N° de Dibujo MCT-PTS-SB-1).



Figura 69: Ensamblaje removedor

Se realiza una unión solidaria entre el eje y el motorreductor, la cual tiene un acople por medio de una chaveta entre sí para transmitir potencia y evitar que se produzcan deslizamientos de una pieza sobre la otra. Las dimensiones del chavetero (Ver Figura 70), se encuentran en la sección anexo, N° de Dibujo MCT-PTS-PZ-1.



Figura 70: Maquinado de chavetero

En la Figura 71 se puede ver el montaje del removedor en el prototipo de secador de cacao, su movimiento se caracteriza por ser libre de vibraciones e interferencias mecánicas, su apoyo radica en una chumacera de piso, cuyo diámetro es de 1 pulgada y su material es de acero inoxidable AISI 304, la chumacera permite el movimiento del removedor de paletas respecto al eje de salida del motorreductor.



Figura 71: Montaje de removedor

5.1.3 Estructura de soporte

Para fabricar la estructura de soporte fue necesario utilizar el proceso de corte, rolado y soldadura por electrodo revestido, el proceso de mecanizado se realiza en base a la **Figura 72**, su función es brindar apoyo y soporte a los granos de cacao durante el proceso de secado. Las especificaciones del plano de construcción, se puede ver en la sección anexos, N° de dibujo MCT-PTS-SB-2.

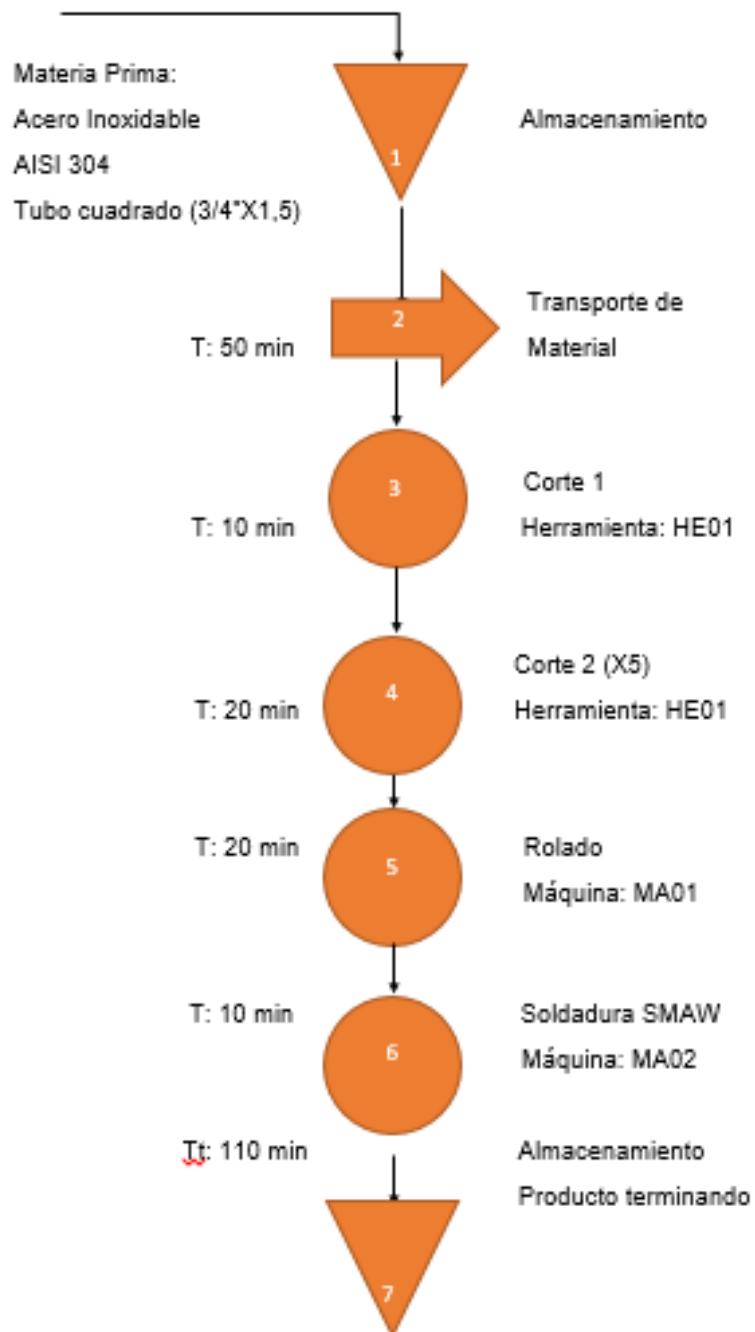


Figura 72: Diagrama de flujo para fabricar mesa para soporte de cacao

Para realizar la estructura de la mesa de soporte fue necesario rolar el tubo cuadrado (Ver **Figura 73**), de manera que tome la forma del contenedor de cacao, para unir los cortes de la mesa se empleó soldadura de electrodo revestido (SMAW)(Ver **Figura 74**), las dimensiones de las patas de la mesa se puede verificar en el la seccion anexos, N° de Dibujo MCT-PTS-SB-2.



Figura 73: Rolado de tubo cuadrado de bajo espesor



Figura 74: Soldadura mesa de soporte

Durante el proceso de construcción de la mesa de soporte se verificó que las dimensiones son adecuadas para que la mesa ingrese en el contenedor, en la **Figura 75** se muestra que las medidas son equivalentes para el ensamblaje final del prototipo de máquina secadora de granos de cacao.



Figura 75: Estructura mesa de soporte

Previo a la construcción de la mesa de soporte, se realizaron los cortes en la plancha perforada (Ver **Figura 76**), su función es permitir el paso del aire caliente a la cama de bajo espesor de granos de cacao, finalmente se realiza la unión entre la mesa y la plancha perforada y se comprueba su resistencia a cargas superiores a 1 quintal de cacao. (Ver **Figura 77** y **Figura 78**)



Figura 76: Corte de plancha perforada



Figura 77: Mesa de soporte para secador de cacao

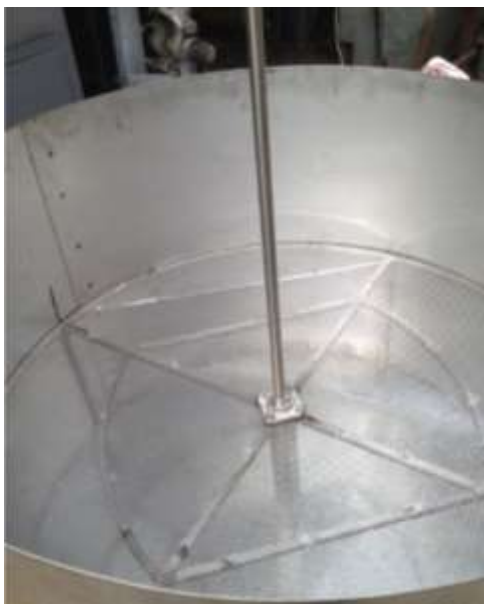


Figura 78: Mesa de soporte con superficie perforada

5.1.4 Estructura de Pórtico

La manufactura empleada para la estructura donde se empotró al motorreducto se basa en el procedimiento de Figura 79, su materia prima seleccionada fue de acero al carbono ASTM A36 (Ver **Figura 80**), la estructura no posee contacto con alimentos y solo brindará soporte a al prototipo de máquina secadora de cacao, sus dimensiones fueron realizadas en base al plano macánico de la sección anexos, N° de Dibujo MCT-PTS-PZ-4.



Figura 79: Proceso de manufactura de estructura de pórtico



Figura 80: Estructura acero ASTM A36

La soldadura empleada fue por arco manual con electrodo revestido, obteniéndose el resultado de la **Figura 81**, su alta temperatura que produce el arco permite que se funda el acero del material de aporte en el material base con un cordón uniforme, se selecciono el electrodo 6011, adecuado para soldar acero al carbono, su revestimiento celulósico sódico permite soldar con corriente positiva de 70 amperios.



Figura 81: Soldadura de pórtico

Previo al proceso de soldar, se realizó el esmerilado con piedra flap N60 por medio de una máquina amoladora, como se puede identificar en la Figura 82 y **Figura 83**, se entrega un acabado sin aristas vivas y adecuado para el trabajo de operarios. Finalmente se realizó el proceso de pintado y perforaciones en la estructura , cuyos agujeros sirven para la union de la estructura mediante pernos M10 con cabeza hexagonal (Ver **Figura 84**).



Figura 82: Esmerilado de soldadura de pórtico



Figura 83: Montaje de motorreductor en pórtico



Figura 84: Pintado estructura de pórtico

5.1.5 Ducto de ventilación

El proceso de manufactura empleado para fabricar la estructura del ducto de ventilación (Ver **Figura 85**) se basa en el procedimiento de la **Figura 86**, su materia prima seleccionada fue de tol galvanizado, la estructura no posee contacto con alimentos y solo permite el paso del aire a los granos de cacao, sus

dimensiones fueron establecidas por el ducto de salida del ventilador centrifugo (300X400mm).



Figura 85: Ducto de ventilación

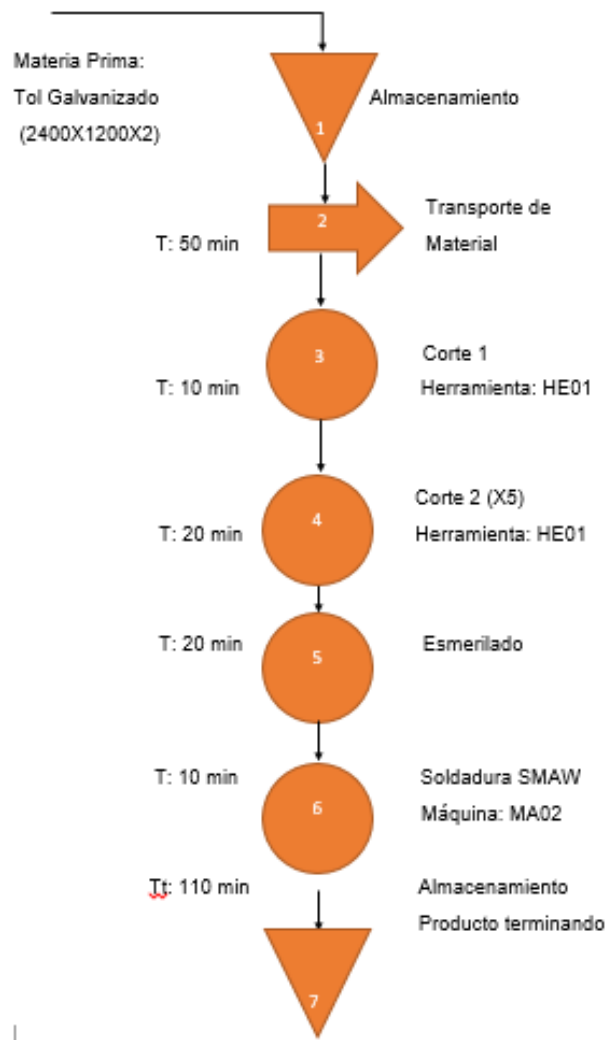


Figura 86: Diagrama de procesos para ducto de ventilación

5.1.6 Implementación de los componentes de control y de fuerza

El montaje de los elementos de control y de fuerza se los realizó dentro de una caja de paso con doble fondo marca: Beaucoup, cuyas dimensiones son 400X400mm, su material es de acero galvanizado y el espacio seleccionado se realizó en base al layout del tablero de control de la Figura 87 y los materiales de la Tabla 24.

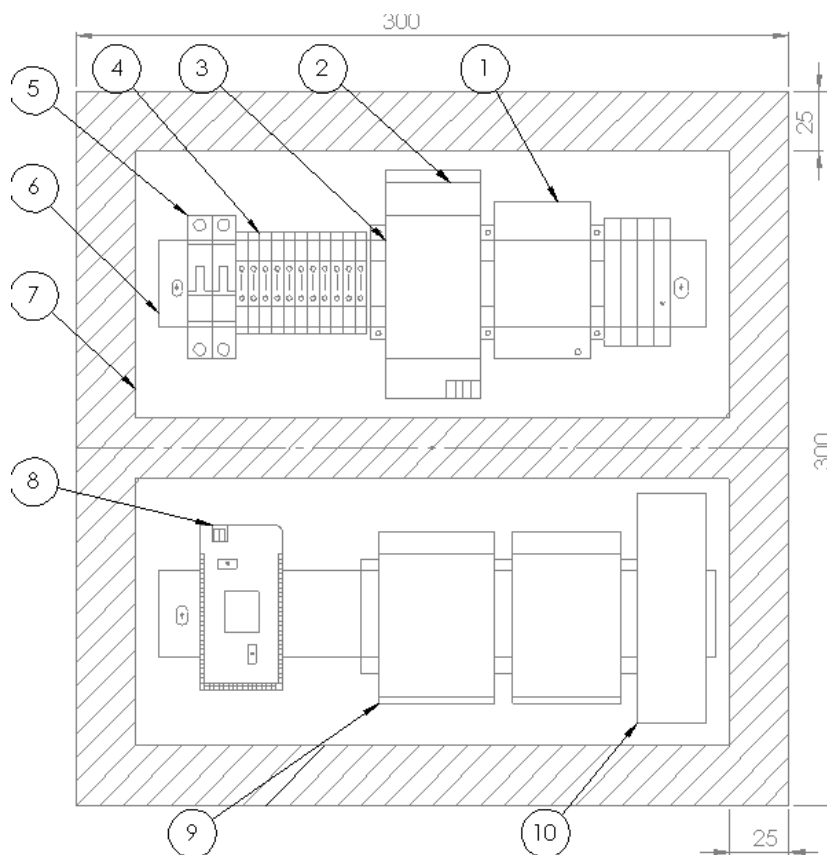


Figura 87: Layout del tablero de control

Tabla 24

Materiales del tablero de control

10		Relé temporizador ciclico 220V
9		Contactores bipolares 220VAC 20 A
8		Controlador de temperatura
7		Canaleta Ranurada 25x25mm
6		Riel din 35 X230
5		Relés Magneto Térmicos 40 A 220 V AC bipolar
4		Barraetas de distribución 220VAC
3		Sujetador Clip Fix
2		Fuente de alimentación de corriente directa 24 VDC
1		Variador de frecuencia tipo vectorial 220V
Item	Numero piezas	Denominación

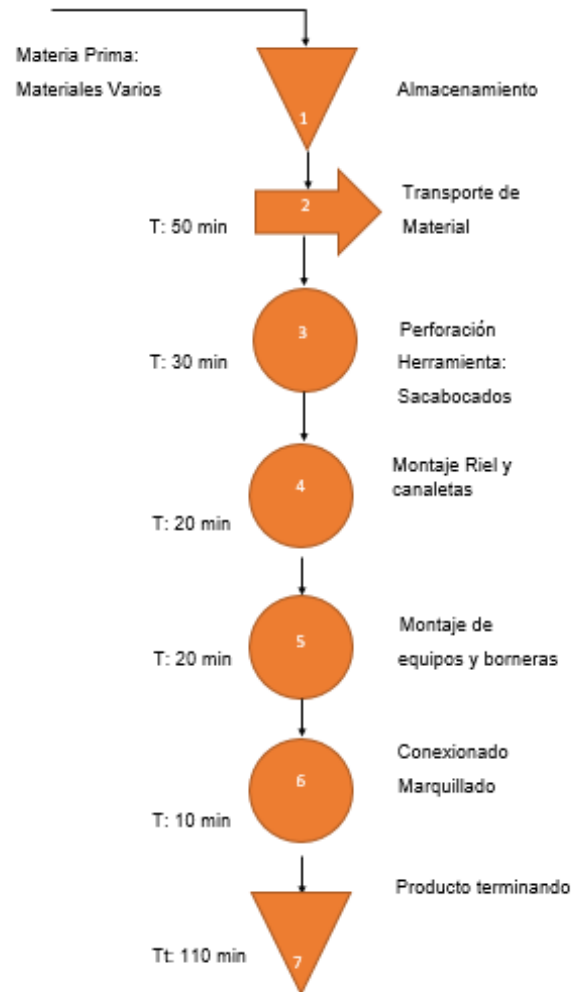


Figura 88: Diagrama de procesos para elaboración del tablero de control

El diseño y armado del gabinete de control cumple los requisitos de la norma eléctrica nacional e IEC 61439. Para realizar los agujeros se utilizaron brocas de acero de 5, 10, 19 y 25 mm de diámetro, previo al proceso de perforado se realizó el montaje de canaletas y riel DIN para el montaje de los dispositivos de mando y control. (Ver **Figura 89** y **Figura 90**)



Figura 89: Perforación de agujeros para montaje de HMI



Figura 90: Montaje de canaletas, riel DIN y dispositivos electrónicos

Para el proceso de conexionado fue necesario utilizar una cortadora y peladora de cables, el proceso de marquillado requirió de marquillas de tecnología termo contraíbles y una máquina sopladora térmica BT-HA. En la **Figura 91** y **Figura 92** se muestra la instalación de los conductores eléctricos entre componentes.

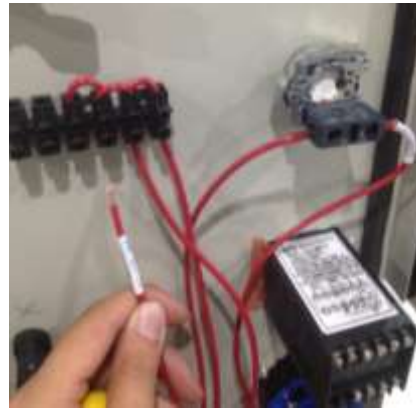


Figura 91: Marquillado de conductores eléctricos



Figura 92: Conexionado de tablero

En la Figura 93 se muestra todos los componentes del HMI del tablero de control, se dispone de un interruptor de encendido y apagado de la máquina, pulsadores de marca y paro, paro de emergencia, indicadore de temperatura del sistema, selector de velocidad del ventilador centrifugo, potenciometro de velocidad y sentido de giro del removedor de paletas.



Figura 93: HMI de tablero de control

CAPÍTULO 6

PRUEBAS Y RESULTADOS

Se realizó varias pruebas para determinar la calidad del cacao seco y en base a estos parámetros se obtuvo un protocolo de temperatura de la máquina. (Ver **Figura 94**).

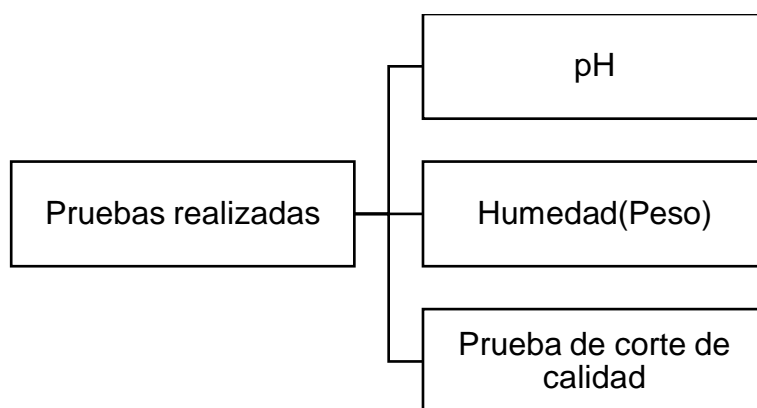


Figura 94: Pruebas realizadas para establecer el protocolo de secado.

Antes de secar en la máquina propuesta, el cacao fermentado se sometió un día a secado al sol, como recomienda Moreno & Sanchez (1989). (Ver **Figura 95**)



Figura 95: Secado al sol.

6.1 Prueba de pH

El pH es una prueba que se realiza para medir la calidad del cacao después del proceso de secado. Según *Álvarez et al.*, (2012), el pH óptimo del cacao está en un rango de 5.3 - 5.85.

Así, se utilizó el protocolo descrito por Bravo & Mingo (2011):

Materiales:

- 10 granos de cacao seco
- Mortero de cristal
- Agua destilada
- Pinzas
- Vasos de precipitado milimetrados

Equipos

- pH-metro Thermo-Scientific Orion 3 STAR pH Benchtop

Procedimiento:

1. Se comprobó que el pH-metro este calibrado el pH por medio del agua destilada, el mismo que arrojó un valor de 7 (estándar).
2. Posteriormente, con la ayuda de pinzas estériles se retiró la cascarilla de 10 granos de cacao seco (escogidos aleatoriamente del lote de cacao secado) .
3. Cada grano se colocó en el mortero de cristal y se amasó hasta obtener una masa pastosa.
4. Se añadió 3 mL de agua destilada a la masa, se mezcló bien y se dejó reposar durante 7 minutos.
5. Transcurrido este tiempo, se midió el pH de las muestras. (Ver **Figura 96**)



Figura 96: Procedimiento de medición de pH.

Resultados obtenidos:

Los datos de pH obtenidos se pueden visualizar en la Tabla 25.

Tabla 25

Resultados obtenidos de la prueba del pH.

<i>Muestra</i>	pH
1	5.45
2	5.19
3	4.98
4	5.77
5	5.74
6	5.53
7	5.26
8	5.02
9	5.65
10	5.73
<i>Promedio</i>	5.43

6.2 Humedad (Peso)

Para la prueba de humedad se utilizó el proceso de masa seca y masa húmeda. Mediante la utilización de una balanza analógica se pesa la masa de cacao en 10 intervalos de tiempo tomados y posteriormente se determina el porcentaje de humedad en base húmeda por medio de la Ec 35, la temperatura del aire de secado fue de 45 grados (temperatura máxima) y se tomó como referencia una muestra inicial de 100 gramos de cacao a humedad inicial 50% y masa seca de 50 gramos.



Figura 97. Medición de masa de cacao mediante balanza analógica.

Los resultados obtenidos con la balanza con apreciación de 25 gramos se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26
Datos de medición de masa de cacao

Tiempo (min)	Masa húmeda medida (g)
0	1000
15	925
30	800
45	775
60	725
75	700
90	650
105	650
120	625
135	600
150	575
165	575
180	575
195	575
210	550
225	550
240	550
255	550
270	550
285	525
300	525

La curva adoptada por la medición de la masa de cacao en un equivalente de 300 minutos de secado se muestra en la Figura 98.

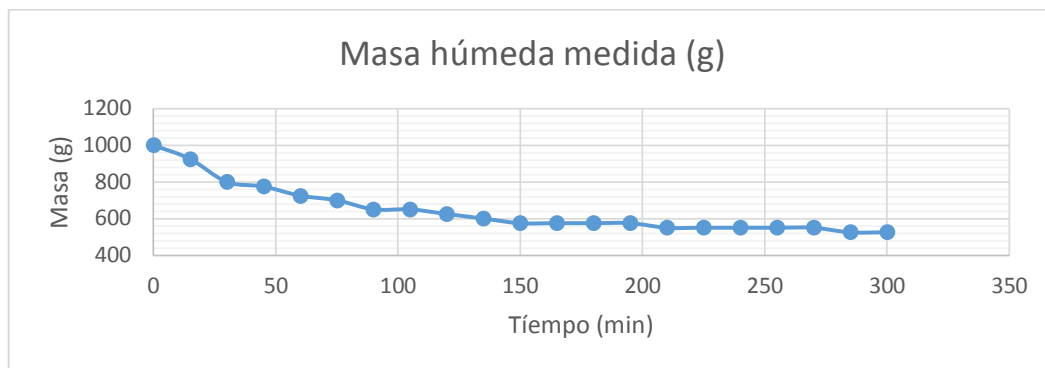


Figura 98. Curva de masa en función del tiempo de secado

Mediante el concepto de porcentaje de humedad en base húmeda del capítulo 4 se obtienen los valores de humedad en la Tabla 27.

Tabla 27

Valores de humedad obtenida en el tiempo de secado

Tiempo (min)	Porcentaje de humedad
0	50,00%
15	45,95%
30	37,50%
45	35,48%
60	31,03%
75	28,57%
90	23,08%
105	23,08%
120	20,00%
135	16,67%
150	13,04%
165	13,04%
180	13,04%
195	13,04%
210	9,09%
225	9,09%
255	9,09%
270	9,09%
285	4,76%
300	4,76%

Finalmente, a partir de los valores obtenidos se obtiene la curva de secado experimental del prototipo de secadora de cacao en la Figura 99.

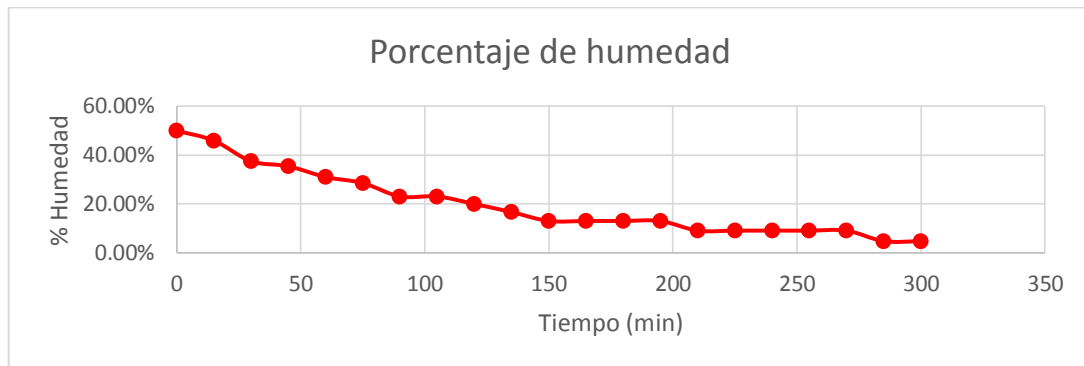


Figura 99. Curva de secado experimental del prototipo

En la curva obtenida se puede apreciar que mantiene las mismas características con la curva teórica de secado de cacao de la Figura 51 presentada en el capítulo 4.

Finalmente para corroborar los datos obtenidos en el experimento anterior, se obtuvo la medición de humedad inicial y final de los granos de cacao en el proceso de secado por medio de la utilización del higrómetro digital. (Ver Figura 100) Los resultados de la medición inicial y final se muestran en la Tabla 28.



Figura 100. Medición final con el higrómetro digital de granos

Tabla 28**Resultados de humedad final e inicial con el higrómetro digital**

Tiempo (min)	Humedad obtenida
0	53%
280	11%

Se puede determinar un factor de error entre la medición de humedad del higrómetro y el método de masa húmeda – masa seca de 0,17, sin embargo ambos valores caen dentro del intervalo de humedad deseada, de mínimo 7 y máximo 12% de humedad, por lo tanto el resultado se considera satisfactorio.

6.3 Prueba de corte de calidad

La prueba de corte para establecer la categoría del cacao se basa en partir al cacao transversalmente, se utiliza un bisturí afilado con el fin de partir el grano en dos partes iguales que permitan observarlo para evaluar la calidad (Moreno & Sanchez, 1989).

Resultados

En las siguientes figuras se puede observar diferentes cortes de granos de cacao, obtenidos después de cada hora de operación de la máquina. Así, se puede observar una diferencia colorimétrica entre el grano húmedo con los granos secos (**Figura 101**).



Figura 101: Prueba de corte de granos de cacao durante el proceso de secado

6.4 Protocolo de temperatura de la máquina

Una vez realizadas las pruebas se estableció el protocolo de temperatura del prototipo realizado. (Ver Tabla 29)

Tabla 29

Protocolo de temperatura

Temperatura	Tiempo	Remoción
35°C	1 hora	Variable
40°C	1 hora	
45°C	2,5 horas	
24°C	0,5 horas	

Adicionalmente, se puede visualizar el manual de uso del prototipo descrito en el anexo 1.

CAPÍTULO 7

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO.

El presente capítulo consiste en el análisis de factibilidad del proyecto desde el punto de vista económico y financiero, de tal manera que éste asegure un beneficio al inversionista. Se tomará como principal referencia al proyecto de titulación: Estudio de factibilidad para la creación de un centro de acopio de cacao fino de aroma ubicado en Cumandá provincia de Chimborazo, realizado por y para la misma empresa Cacao 3H en el año 2014.

7.1 Estudio de la demanda

La empresa cacao 3H previamente realizó un estudio a los 30 principales clientes potenciales de cacao de aroma seco, detallados en la Tabla 30.

Tabla 30**Listado de Clientes Potenciales Empresa Cacao 3H.****Fuente: (Avalos Yuque, 2014)**

Nº	Nombre	Contacto	Actividad	Dirección
1	ACMANSA S. A.	Luis Acosta	Compra de cacao	Durán
2	HORSA	Horacio Sánchez	Compra de cacao	Guayaquil
3	AGROXVEN S.A.	Jorge Cedeño	Compra de cacao	Guayaquil
4	Askley Delgado	Ing. Askley Delgado	Compra de cacao	Guayaquil
5	Agromaban	Jorge Cedeño	Compra de cacao	Guayaquil
6	Maquita Cushunchic	César Marcos	Compra de cacao	Guayaquil
7	Cia. Ltda. AROMEX	Johan Zeller	Compra de cacao	Guayaquil
8	Infelersa	Lorgia Morán	Compra de cacao	Guayaquil
9	Aprocafa	Ing. Fernando Crespo	Compra de cacao	Guayaquil
10	Inmobiliaria Guangala	Vicente Zeller	Compra de cacao	Guayaquil
11	Casa Luker del Ecuador	Juan Loiza	Compra de cacao	Durán
12	Lourdes Delgado	Ing. Lourdes Delgado	Compra de cacao	Durán
13	S. A. COFINA	Julio Zambrano	Compra de cacao	Durán
14	NATECUA	Franco Pastorelli	Compra de cacao	Guayaquil
15	Cocoa del Ecuador	S. A. Alberto Nácer	Compra de cacao	Guayaquil
16	Nestlé Ecuador S. A.	Henry Padilla	Compra de cacao	Guayaquil
17	CAFEICA	Víctor Orellana	Compra de cacao	Durán
18	Sacicocoa	Alejandro Taramelli	Compra de cacao	Guayaquil
19	Ecocafé S. A.	Iván Ontaneda	Compra de cacao	Guayaquil
20	Manidicorp	Miguel Cortez	Compra de cacao	Guayaquil
21	Osella	Jacinto Ortega	Compra de cacao	Durán
22	EDECA	Alvaro Martínez	Compra de cacao	Durán
23	Ing. Pedro Martinetti	Pedro Martinetti	Compra de cacao	Guayaquil
24	EXPIGO	Mercy González	Compra de cacao	Durán
25	Quevexport	Daniel Manobanda	Compra de cacao	Quevedo
26	EXIMORE	Alejandro Orellana	Compra de cacao	Durán
27	Santa Fe Java S. A.	Eduardo Heredia	Compra de cacao	Guayaquil
28	Triairi S. A.	José Carvajal	Compra de cacao	Durán
29	Ecuacocoa	Marisol Robalino	Compra de cacao	Guayaquil
30	La Universal	Ana María Jiménez	Compra de cacao	Guayaquil

Todas las empresas encuestadas afirman en que el estado óptimo del cacao es seco, ya que es muy incómodo trabajar con cacao en baba; esta tarea es del centro de acopio y del resto de intermediarios. (Avalos Yuque, 2014)

Finalmente es necesario determinar cuánto en total demandan diariamente las empresas compradoras de cacao seco, esta información se detalla en la **Figura 102**.



Figura 102. Gráfica de la demanda diaria en toneladas métricas de los potenciales clientes.

Fuente: (Avalos Yuque, 2014)

7.2 Proyección de la demanda

La proyección de la demanda se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C_n = C_o(1 + i)^n$$

Ec. 82

Donde:

C_n : Demanda en el enésimo año, [Tm]

C_o : Demanda de los potenciales clientes en el año 2013, 239040 [Tm]. (Avalos Yuque, 2014)

i : Tasa de crecimiento promedio, 4.51 [%] (Instituto de Promoción de exportaciones e inversiones, 2013)

n : Enésimo año.

A partir de la ecuación 86 se determina la proyección de la demanda en la Tabla 31.

Tabla 31
Proyección de la demanda

Año	Demanda en Toneladas métricas
2013	239040
2014	249821
2015	261088
2016	272863
2017	285169
2018	298030

7.3 Proyección de la oferta

La proyección de la oferta se calcula mediante la siguiente expresión:

$$D_n = D_o(1 + j)^n$$

Ec. 83

Donde:

D_n : Demanda en el enésimo año, [Tm]

D_o : Oferta de cacao ecuatoriano en el año 2013, 192000 [Tm]. (Avalos Yuque, 2014)

j: Tasa de crecimiento promedio, 5.35 [%] (Instituto de Promoción de exportaciones e inversiones, 2013)

n: Enésimo año.

A partir de la ecuación 86 se determina la proyección de la demanda en la Tabla 32.

Tabla 32
Proyección de la oferta

Año	Oferta en Toneladas métricas
2013	192000
2014	202272
2015	213094
2016	224494
2017	236504
2018	249157

7.4 Cálculo de la Demanda Insatisfecha

Se define a la demanda insatisfecha como la diferencia entre la demanda y la oferta; entre mayor sea la demanda insatisfecha entonces el proyecto tiene mayor posibilidad de promocionar su producto, en este caso el cacao seco.

El valor de la demanda insatisfecha se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$E_n = C_n - D_n$$

Ec. 84

Donde:

E_n : Demanda insatisfecha en el enésimo año, [Tm].

C_n : Demanda de cacao seco, [Tm].

D_n : Oferta de cacao seco, [Tm].

Los resultados de la demanda insatisfecha se muestran en la Tabla 33.

Tabla 33
Demanda insatisfecha

Año	Demanda insatisfecha
2013	47040
2014	47549
2015	47994
2016	48369
2017	48664
2018	48872

Por lo tanto existe la demanda de cacao seco en las principales empresas compradoras, indicador que permite continuar con el estudio de factibilidad económica del proyecto.

Es necesario tomar en cuenta que además del cantón Cumandá existen varios cantones que tienen potencial para satisfacer esa demanda insatisfecha. El cantón Cumandá posee un porcentaje de participación en la producción de cacao en el país, por lo tanto se utilizará la tasa del 0,18 % que es el porcentaje de producción de cacao anual de la zona. (Avalos Yuque, 2014)

Por lo tanto los nuevos valores de oferta, demanda y demanda insatisfecha se muestran en la Tabla 34.

Tabla 34

**Proyección Oferta, demanda y demanda insatisfecha para el cantón
Cumandá en toneladas métricas.**

Año	Demanda en Tm	Oferta en Tm	Demanda insatisfecha
2013	430	346	85
2014	450	364	86
2015	470	384	86
2016	491	404	87
2017	513	426	88
2018	536	448	88

Tabla 35

**Proyección Oferta, demanda y demanda insatisfecha para el cantón
Cumandá en kilogramos.**

Año	Demanda	Oferta	Demanda insatisfecha
2013	430272	345600	84672
2014	449678	364090	85588
2015	469958	383569	86389
2016	491153	404089	87064
2017	513304	425707	87595
2018	536454	448483	87970

7.5 Presupuesto de Ingresos

La empresa Cacao 3H ha proporcionado el valor de 125 USD por 50 kg de cacao seco, la meta es inicialmente satisfacer la tercera parte de la demanda insatisfecha en el cantón Cumandá, a partir de estos antecedentes se proyectan los siguientes ingresos en los primeros 5 años.

Tabla 36**Presupuesto de ingresos de los 5 primeros años**

Año	Ingresos USD
2016	70560
2017	71990
2018	72553
2019	72995
2020	73308

7.6 Costos de operación

Para el presente análisis simplemente se analizarán los costos principales relacionados a la utilización de la secadora de cacao. En primer lugar se requerirá la contratación de un operario por un salario mensual acordado por la empresa de 400 dólares, mediante un contrato por servicios con facturación requerida sin relación de dependencia.

Tabla 37**Costos de operario para la secadora de cacao**

Año	Costo de operación
2016	4800
2017	4800
2018	4800
2019	4800
2020	4800

7.7 Costos de electricidad

El dato del consumo de electricidad en el cantón Cumandá es de 0.12 USD por kWh, y en vista que al día la máquina consume 90 kWh en 2 secados, entonces se obtienen los costos por electricidad en la

Tabla 38
Costos de energía eléctrica

Año	Costo de electricidad
2016	4034.9
2017	4034.9
2018	4034.9
2019	4034.9
2020	4034.9

7.8 Impuesto al valor agregado (IVA)

Para el costo del impuesto al valor agregado se tiene que considerar que el costo de la remuneración del operario se puede deducir en la declaración del impuesto.

Tabla 39
Valor a pagar IVA al año

<i>Año</i>	Base imponible	IVA	Valor a pagar al año
<i>2016</i>	65760	14%	9206.4
<i>2017</i>	67190	12%	8062.8
<i>2018</i>	66753	12%	8010.36
<i>2019</i>	68195	12%	8183.4
<i>2020</i>	68508	12%	8220.96

7.9 Impuesto a la renta

Para calcular el impuesto a la renta, el análisis se rige a la ley vigente que indica el valor a pagar al año, en vista que los ingresos anuales son de 45000 USD se tomará el impuesto del 20% de la fracción excedente que se muestra en la

Tabla 40

Valores de impuesto a la Renta. Servicio de Rentas Internas

Año 2015 - En dólares*			
Fracción básica	Exceso hasta	Impuesto fracción básica	Impuesto fracción excedente
-	10.800	0	0%
10.800	13.770	0	5%
13.770	17.210	149	10%
17.210	20.670	493	12%
20.670	41.330	908	15%
41.330	61.980	4.007	20%
61.980	82.660	8.137	25%
82.660	110.190	13.307	30%
110.190	En adelante	21.566	35%

Tabla 41

Impuesto a la renta anual

Año	Impuesto a la renta
2016	20665
2017	20665
2018	20665
2019	20665
2020	20665

7.10 Inversión en la secadora de cacao

La estructura de costos para la realización de la secadora de cacao se muestra en la Tabla 42.

Tabla 42

Estructura de costos de la secadora de cacao

ITEM	ELEMENTO	MONTO
1	BROCAS PERNOS ACERO INOX	14,15
2	CHUMACERA A INOX	29,49
3	BORNERAS CABLES	9,06
4	FUENTE 24 V DC	40
5	BORNERAS CABLE 10	7
6	SWITCH	4,05
7	DISCOS DE CORTE	10,49
8	EJE A INOX	17
9	GASOLINA	10
10	CABLES LUCES PILOTO	20
11	PIEDRAS PARA PULIR, LIMAS CABLE ENCHUFE 220V	26,45
12	CONTACTOR SCHNEIDER 24VDC 9 A	68,24
13	IMPLEMENTOS PARA TABLERO DE CONTROL	179,92
14	PASTA PARA ACABADO SOLDADURA	13,31
15	VENTILADOR CENTRIFUGO	570
16	SERVICIOS MANUFACTURA	400
17	TRANSPORTE	8
18	CONTROLADOR PID,RELE SSR	100
19	VARIADOR DE FRECUENCIA	200
20	PLANCHA ACERO INOXIDABLE, PERFIL C ACERO ESTRUCTURAL	596
21	MOTORREDUCTOR	430
22	RESISTENCIA ELÉCTRICA CALEFACTORA	100
23	PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE PERFORADA	250
24	AISLANTE TÉRMICO LANA DE ROCA	100
TOTAL		3203,16

7.11 Balance de Resultados

El balance de resultados o estado de pérdidas y ganancias permite el análisis del flujo de ingresos y egresos del proyecto en cada periodo.

Tabla 43

Balance de Resultados

PERIODO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Ingresos		70560	71990	72553	72995	73308
Costo Operario		-4800	-4800	-4800	-4800	-4800
Costos de electricidad		-4034.9	-4034.9	-4034.9	-4034.9	-4034.9
IVA		-9206.4	-8062.8	-8010.36	-8183.4	-8220.96
Impuesto a la renta		-20665	-20665	-20665	-20665	-20665
Inversión secadora	-3200,16					
UTILIDAD NETA	-3200,16	31853.7	34427.3	35042.74	35311.7	35587.14

7.12 Periodo real de recuperación de la inversión

En la Tabla 43 se muestra claramente que la inversión se puede recuperar fácilmente en el primer año, de modo que el PRI se determina mediante la siguiente expresión:

$$PRI = \frac{\text{inversión}}{\text{Utilidad año 1}} \quad \text{Ec. 85}$$

$$PRI \approx 2 \text{ meses}$$

Donde:

PRI: Periodo real de recuperación de la inversión.

Inversión: 3200.16 [USD]

Utilidad año 1: 31853.7 [USD]

Se determina que la inversión en la secadora de cacao se recupera en un periodo relativamente corto.

7.13 Punto de equilibrio del proyecto

El punto de equilibrio determina el número de unidades necesarias para recuperar la inversión y por ende los ingresos sean iguales a los egresos, es el punto donde se logra la rentabilidad del proyecto. El PE se lo determina mediante:

$$PE = \frac{\text{inversion} \cdot 50 \text{ kg}}{125 \text{ USD}} \quad \text{Ec. 86}$$

$$PE = 1280 \text{ kg}$$

Se concluye que se llega al equilibrio en 2 meses y se requieren vender 1280 kg equivalentes de cacao seco, equivalentes a 25 costales.

7.14 Relación costo - beneficio

Para el análisis de rentabilidad financiero del proyecto es necesario calcular el factor de relación costo – beneficio con el fin de determinar si el proyecto está es rentable o no.

Tabla 44

Análisis de rentabilidad financiera

AÑO	INGRESOS	COSTOS	FLUJO DE EFECTIVO	TASA (1+t) ⁿ	INGRESOS ACTUALIZADOS	EGRESOS ACTUALIZADOS
0	0,00	3200,16	-3200,16	1,00	0,00	3200,16
1	70560,00	38706,30	31853,70	1,10	77616,00	42576,93
2	71990,00	37562,70	34427,30	1,21	87107,90	45450,87
3	72553,00	37510,26	35042,74	1,33	96568,04	49926,16
4	72995,00	37683,30	35311,70	1,46	106871,98	55172,12
5	73308,00	37720,86	35587,14	1,61	118063,27	60749,82
TOTAL	361406,00	192383,58	169022,42		486227,19	257076,05

A partir de la Tabla 44 se obtiene el valor de la relación costo beneficio, que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$R_{c/b} = \frac{\text{ingresos act}}{\text{egresos act}} \quad \text{Ec. 87}$$

$$R_{c/b} = 1.89$$

Donde:

R c/b: Relación costo-beneficio.

Ingresos act: Suma de ingresos actualizados, 486227.19 [USD]

Egresos act: Suma de egresos actualizados, 257076.05 [USD]

Del cálculo en la ecuación 89 se determina una relación de 1.89 que significa que por cada dólar se obtiene 1.89 dólares de retribución en el proyecto y por lo tanto se comprueba su factibilidad.

CAPÍTULO 8

8.1 Conclusiones

- Una vez diseñados los componentes tanto mecánicos, eléctricos, electrónicos como del sistema de control, el presente prototipo logró secar en 5 horas un quintal de cacao previamente fermentado, por ende se calcula que diariamente se podrían obtener 3 lotes de cacao seco.
- La potencia del motor AC calculada para el sistema de remoción acorde con el prototipo diseñado fue de $\frac{1}{2}$ HP.
- Se diseñó e implementó un controlador digital con salida a relé de estado sólido, el cual permitió estabilizar la temperatura entre 35 a 60°C, además de un correcto balance de calor y velocidad de secado.
- Se diseñó por software CAD el sistema mecánico del removedor de paletas, y se analizó la geometría con su factor de seguridad adecuado (>2) para el material seleccionado.
- Se diseñó e implementó un panel de control con HMI que permite al operario controlar y monitorear fácilmente las variables del proceso a través de un conjunto de pulsadores, interruptores e indicadores luminosos.
- Mediante pruebas de calidad se logró validar el funcionamiento del prototipo, así, se obtuvo una humedad final en los granos de cacao de 9% y el pH promedio fue de 5.43, parámetros que concuerdan con el estándar de calidad solicitado por la empresa Cacao 3H.

8.2 Recomendaciones

- Analizar detenidamente todos los requerimientos del cliente y evaluar las limitaciones tanto económicas como de ingeniería que se puedan presentar.
- Investigar el mercado local y la mayor cantidad de proveedores de materiales, de tal manera que se pueda tener en cuenta qué elementos son los más convenientes para un correcto diseño y a nivel económico.
- Es necesario realizar un correcto diseño de tal manera que exista un balance de energía conveniente en la calefacción y la ventilación, además de realizar una serie de pruebas de calibración al ventilador y a las resistencias eléctricas.
- Se recomienda programar al removedor de tal manera que comience su trabajo cuando la humedad de los granos le permita girar con mayor facilidad.
- Es necesario calcular el diámetro adecuado para los agujeros en la bandeja de acero inoxidable de tal manera que no ocasionen una pérdida de carga en el flujo de aire caliente, permitan que las cáscaras puedan desalojarse fácilmente.
- Se recomienda dimensionar un variador de frecuencia vectorial para controlar el torque que ejerce el motorreductor del sistema removedor de paletas.
- Realizar el análisis apropiado a cargo de un especialista en granos de cacao para reducir los errores cometidos durante el transcurso de este proyecto para lograr un producto de mejor calidad.

CAPÍTULO 9

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, C., Tovar, L., García, H., Morillo, F., Sánchez, P., Girón, C., & De Farias, A. (2012). Evaluación de la calidad comercial del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) usando dos tipos de fermentadores. *Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA-Miranda)*.
- ANDES. (2012). *Cacao fino de aroma ecuatoriano*. Obtenido de Agencia Pública de Noticias del Ecuador y Suramérica: <http://www.andes.info.ec/es/actualidad/615.html>
- ANECACAO. (2015). *Cacao fino de aroma*. Obtenido de Asociación Nacional de Exportadores de Cacao-Ecuador: <http://www.anecacao.com/es/quienes-somos/cacaoccn51.htm>
- ANECACAO. (2015). *Estadísticas de exportación*. Obtenido de Asociación Nacional de Exportadores de Cacao-Ecuador: <http://www.anecacao.com/es/estadisticas/estadisticas-actuales.html>
- Avalos Yuque, E. (2014). *Estudio de factibilidad para la creación de un centro de acopio de cacao fino de aroma ubicado en Cumandá Provincia de Chimborazo*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Bravo, N., & Mingo, F. (2011). *Valoración de tres métodos de fermentación y secado para mejorar la calidad y rentabilidad del cacao fino de aroma (Theobroma cacao L.) en la parroquia Paquintza del cantón Centinela del Cóndor, provincia de Zamora Chinchipe*. Loja: Universidad de Loja.
- Bys, A. (11 de 04 de 2016). *Alimentos Bienes y Servicios*. Obtenido de Alimentos Bienes y Servicios: <http://www.alimentosbys.com/>

- Calle, R., & Aparicio, J. (2011). *Diseño de una planta de deshidratación de hierbas aromáticas*. Obtenido de ESPOL: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/16919/3/TESIS%20FINAL.pdf>
- Campos Olgún, V. (2006). *Física: Principios con aplicaciones*. México DF: Pearson Educación.
- CANACACAO. (2015). *Fermentación del cacao*. Obtenido de Asociación Cámara Nacional de Cacao Fino de Costa Rica: <http://www.canacacao.org/>
- Cañizares, F. R. (2013). *Estimación de la Vulnerabilidad a nivel cantonal*. Obtenido de Perfil del territorio del cantón Cumandá: <http://repositorio.cedia.org.ec/bitstream/123456789/843/1/Perfil%20Territorial%20CUMANDA.pdf>
- CMC. (2015). *Proyección de cacao ecuatoriano se reduce a 230.000 toneladas*. Obtenido de IV Cumbre Mundial del Cacao: <http://eventsclass.com.ec/cmc/proyeccion-de-cacao-ecuadoriano-se-reduce-a-230-000-toneladas/>
- CONSIPLAN. (2016). *Construcciones planificadas*. Obtenido de CONSIPLAN.
- Corvalan, R., Horn, M., Roman, R., & Saravia. (2000). *Ingeniería del Secador Solar*. Chile.
- Electrocables. (s.f.). Obtenido de <http://electrocable.com/productos/cobre/TW.html>
- Espinoza, C., & Ruiz, V. (2015). *Diseño y construcción de una secadora de cacao para aplicación agroindustrial*.
- FAO. (11 de 04 de 2016). *Buenas Prácticas Agrícolas*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: http://www.fao.org/prods/gap/index_es.htm

- García, D. (2015). *Secadora de cacao con removedor*. Obtenido de Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=_oLmKmhvVWw
- Geankoplis. (1998). *Procesos de Transporte y operaciones unitarias*.
- Gonzales, M. (2002). *Propiedades de los Fluidos*. Universidad Francisco de Miranda.
- Guachamin, & Velásquez. (2010). *Diseño de un secador de granos de cacao fino*.
- GUINUM. (2016). *Guía Mundial de Negocios*. Obtenido de GUINUM: <http://www.guimun.com/>
- Instituto de Promoción de exportaciones e inversiones. (2013). *Análisis del sector cacao y elaborados*. Obtenido de http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2013/08/PROEC_AS2013_CACAO.pdf
- Instituto para la diversificación y ahorro de energía. (s.f.). *Ministerio de energía, turismo e industria. España*. Obtenido de <http://www.idae.es/>
- IPAC. (2015). *Tubería estructural cuadrada*. Obtenido de Duferco Group: <http://www.ipac-acero.com/producto-detalle.php?id=9>
- Jackson, J., & Wirtz, H. (1985). *Estática y Resistencia de Materiales*. McGraw Hill.
- Kubiec Conduit. (12 de 03 de 2016). *Catálogo de aceros de construcción*. Obtenido de http://www.kubiec.com/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=39&Itemid=291#correas-c
- Kurt C. Rolle. (s.f.). *Termodinámica*. Prentice Hall.
- León, J. (2000). *Botánica de los Cultivos Tropicales*. San José, Costa Rica: Agroamérica.

- Loor, G. (2002). *Caracterización morfológica y molecular de 37 clones de cacao (Theobroma cacao L.) nacional del Ecuador*. México D.F.
- Máquina Perú S.A. (2016). *Equipos para producción y selección de granos*.
Obtenido de <http://www.maquinas-peru.com/>
- Milán, J. (s.f.). *Cálculos Psicométricos*. Obtenido de <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/CartaPsy.htm>
- Molina, P. (22 de 05 de 2016). *Electro Tecnic Motor*. Obtenido de Electro Tecnic Motor: <http://www.etm-ec.com/images/CFW10.pdf>
- Moreno, L., & Sanchez, J. (1989). *Beneficio del Cacao*. San Pedro Sula, Honduras: Fundación Hondureña de Investigación Agrícola.
- Mott, R. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. México: Pearson Educación.
- Nonhebel, M. (2008). *El secado de sólidos de la industria química*. Mexico.
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 173:1987 Cacao en grano Determinación de la humedad
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 177:1987 Cacao en grano Muestreo
- Ocon, V. (Quinta Edición). *Elementos de Ingeniería Química*.
- ONEAL. (20 de 04 de 2016). *ONEAL THE METALS COMPANY*. Obtenido de ONEAL THE METALS COMPANY: <http://www.onealsteel.com/carbon-steel-hollow-tube-a500.html>
- Ospina. (2001). *Características Fisicomecánicas y análisis de calidad de granos*. Bogotá.
- Perfomallas. (2016). *Planchas perforadas*. Obtenido de Perfomallas S.A.: <http://www.perfomallas.com/planchas.html>

- Quality Progress. (2012). *Casa de Calidad*. Obtenido de Quality Progress: <https://secure.asq.org/perl/msg.pl?prvurl=http://asq.org/data/subscriptions/qp/2002/0702/43qp0702.html>
- Reglamento de buenas practicas para alimentos procesados, Republica del Ecuador Decreto Ejecutivo 3253 (Registro Oficial 696 4 de 11 de 2002).
- Rexford, K., & Giuliani, P. (2006). *Electrical Control for Machines*. Mexico: Thompson Delmar Learning.
- RMIG. (2016). *Cálculo del área perforada*. Obtenido de RM: <http://rmig.com/es/info+t%C3%A9cnica/f%C3%B3rmulas/c%C3%A1lculo+%C3%A1rea+perforada>
- Romero, F., Alarcón, P., Segovia, J., & Cuadrado, F. (s.f.). *Estimación de la Vulnerabilidad a nivel cantonal SNGR-PNUD-ESPOCH*.
- Savemoney. (22 de 05 de 2016). *save money*. Obtenido de save money: <http://savemoney.es/uk/asin/Pid>
- Scheider Electric. (s.f.).
- Sevilla, U. d. (2014). Obtenido de http://www.esi2.us.es/~jfc/Descargas/TC/Coleccion_tablas_graficas_TC.pdf
- Siguencia. (2013). *Evaluación de un Secador Solar Inclinado absorbedor de Zeolita para Granos de cacao*. Cuenca.
- SIRCA. (2015). *Maquinarias Agroindustriales*. Obtenido de SIRCA: <http://www.sircaecuador.com/>
- SkyCiv. (2014). *Beam Calculator*. Obtenido de <http://bendingmomentdiagram.com/free-calculator/>

- Sodeca. (s.f.). Obtenido de http://www.sodeca.com/upload/imgCatalogos/ES/CT01_centrifugo_online_a_2014ES.pdf
- Sumitec. (13 de 04 de 2016). *Suministros Técnicos S.A.* Obtenido de Suministros Técnicos S.A: <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%20304.pdf>
- Tinoco, H., & Yomali, D. (2010). Análisis del proceso de deshidratación de cacao para la disminución del tiempo de secado. *EIA Scielo*.
- Torre, G. (22 de 05 de 2016). *Fempa*. Obtenido de Fempa: http://fempa.es/rebt/gruas_torre/pto2.htm
- Ulrich, K., & Eppinger, S. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. México: Mc Graw Hill Education.
- Universidad de Oviedo. (2014). *Pérdidas de calor en hornos de resistencia*. Obtenido de <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.HornosResistencia.PERDIDAS.CALOR.pdf>
- Universidad Politécnica de Valencia. (2016). *Cálculo de uniones soldadas*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7816/calculo-uniones-soldadas.pdf>
- Universidad Técnica del Norte. (2016). *Hidráulica general y aplicada*. Obtenido de http://www.civil.frba.utn.edu.ar/Materias/hidraulica/archivos/tablas_graficos.pdf
- Vaxa Software. (2007). *Vaxa Software*. Obtenido de www.vaxasoftware.com
- WILPAC. (2015). *Maquinarias y Soluciones Industriales*. Obtenido de WILPAC: <http://www.induwilpac.com/>

Yacuzzi. (2008). QFD: Conceptos, Aplicaciones y Nuevos Desarrollos.
Universidad del CEMA.

CAPÍTULO 10

ANEXOS

10.1 ANEXO 1

10.1.1 Manual de usuario.

10.2 ANEXO 2

10.2.1 Planos mecánicos.

10.3 ANEXO 3

10.3.1 Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 176