



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CORTADORA
Y DESPULPADORA DE CACAO CON UNA CAPACIDAD DE 2400
MAZORCAS POR HORA PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD
DEL AGRICULTOR”**

TORRES GUASGUA CARLOS DARIO
QUEVEDO SALGUERO GABRIELA ALEXANDRA

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR
2019

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2017-05-08

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

CARLOS DARIO TORRES GUASGUA

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CORTADORA Y
DESPULPADORA DE CACAO CON UNA CAPACIDAD DE 2400 MAZORCAS POR
HORA PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL AGRICULTOR”**


Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

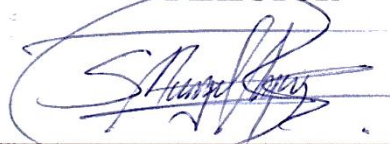


Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:



Ing. Javier Enrique Orna Chávez
DIRECTOR



Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2017-05-08

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

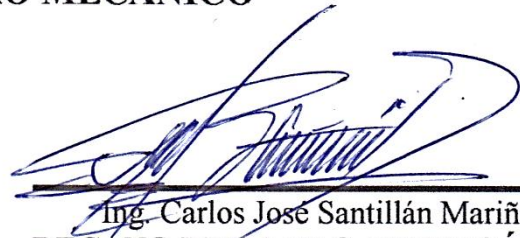
GABRIELA ALEXANDRA QUEVEDO SALGUERO

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CORTADORA Y
DESPULPADORA DE CACAO CON UNA CAPACIDAD DE 2400 MAZORCAS POR
HORA PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL AGRICULTOR”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

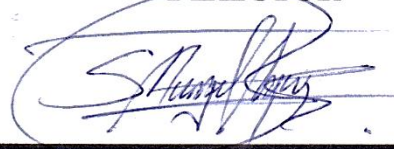


Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:



Ing. Javier Enrique Orna Chávez
DIRECTOR



Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

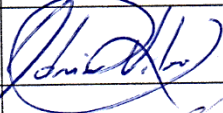
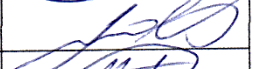

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CARLOS DARIO TORRES GUASGUA

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CORTADORA Y DESPULPADORA DE CACAO CON UNA CAPACIDAD DE 2400 MAZORCAS POR HORA PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL AGRICULTOR”

Fecha de Examinación: 2019-03-07


RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Edwin Fernando Viteri Nuñez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA	✓		
Ing. Javier Enrique Orma Chávez DIRECTOR	✓		
Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba MIEMBRO	✓		

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.



Ing. Edwin Fernando Viteri Nuñez
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

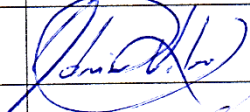

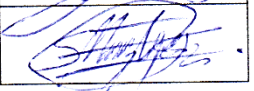
EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: GABRIELA ALEXANDRA QUEVEDO
SALGUERO

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CORTADORA Y DESPULPadora DE CACAO CON UNA CAPACIDAD DE 2400 MAZORCAS POR HORA PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL AGRICULTOR”

Fecha de Examinación: 2019-03-07


RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Edwin Fernando Viteri Nuñez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA	✓		
Ing. Javier Enrique Orna Chávez DIRECTOR	✓		
Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba MIEMBRO	✓		

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.



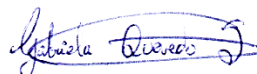
Ing. Edwin Fernando Viteri Nuñez
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



Carlos Darío Torres Guasgua



Gabriela Alexandra Quevedo Salguero

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Quevedo Salguero Gabriela Alexandra y Torres Guasgua Carlos Darío, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.



Carlos Darío Torres Guasgua
Cédula de identidad: 0803777507



Gabriela Alexandra Quevedo Salguero
Cédula de identidad: 060384759-1

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación en primer lugar a Dios, por nunca dejarme desfallecer. A mi padre Oswaldo por el apoyo y guía otorgado en todo momento, impulsándome a ser mejor cada día. A mi madre, quien me cuida siempre. A mis abuelitos y tíos queridos por inculcarme los valores y cualidades que todo buen ser humano debe tener y, a pesar de las dificultades, nunca dejaron que desfallezca y siempre me animaron a seguir adelante. A mis amigos por estar ahí con sus consejos y apoyo incondicional.

Gabriela Alexandra Quevedo Salguero

El presente trabajo de titulación lo dedico en primer lugar a Dios por llevarme siempre dentro sus caminos y nunca soltarme. A mis padres Carlos Manuel y María Magdalena por brindarme su guía en las decisiones trascendentales de mi vida. A mi hermana Bianca Emely por ser la motivación para no desmayar nunca. A mi gran amor Claudia Lizeth por estar a mi lado en cada momento.

Carlos Darío Torres Guasgua

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mi padre Oswaldo por ser un ejemplo y un gran ser humano a quien admiro, quiero y respeto mucho, por impulsarme a ser mejor día a día. A mi madre, siempre. A mis abuelitos y tíos, quien, con su cuidado y cariño, inculcaron en mí valores y cualidades que hicieron imposible rendirme en todo lo que me he propuesto conseguir en la vida. A mis amigos y demás personas, quienes siempre me brindaron su apoyo y consejos de manera incondicional. A todos aquellos que han sabido quererme y guiarme, aunque no sigan presentes, serán siempre mi motivación más grande para seguir adelante. A mi tutor de proyecto de titulación Ing. Javier Orna como también al asesor del mismo Ing. Miguel Aquino y al Dr. Julio Pérez, por su apoyo y guía para la culminación de este proyecto. A mi compañero de estudio, por el esfuerzo e impulso brindado. A la Escuela de Ingeniería Mecánica y a sus docentes por formarme académicamente y permitirme ser parte de esta gran familia. Infinitas gracias a todos.

Gabriela Alexandra Quevedo Salguero

Gracias a Dios y a todas las personas que él puso en camino para ayudarme a cumplir este sueño; en particular la señora Eliana del Rocío Bayas Vela, la cual fue como un ángel para mí. Agradezco a mis Padres y a mi hermana Bianca, en quien hallaba la fuerza necesaria para no desistir. A mis amigos más cercanos que siempre estuvieron presentes para brindarme sus palabras de aliento. A mis profesores quienes compartieron sus conocimientos y fomentaron siempre lazos de amistad, como el Ing. Jorge Lema, Ing. Galecio Salinas y la Msc. Leticia Chávez. También agradezco a mi tutor el Ing. Javier Orna y asesor Ing. Miguel Aquino por su guía y dedicación para culminar este trabajo. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitirme formar parte de las privilegiadas filas de su gran familia. Gracias a todos ustedes por permitirme soñar.

Carlos Darío Torres Guasgua

CONTENIDO

Pág.

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

1.	CAPÍTULO I MARCO REFERENCIAL	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Formulación del problema.....	2
1.3	Justificación	2
1.3.1	<i>Justificación teórica</i>	2
1.3.2	<i>Justificación metodológica</i>	3
1.3.3	<i>Justificación práctica</i>	3
1.4	Alcance	3
1.5	Objetivos.....	4
1.5.1	<i>Objetivo general</i>	4
1.5.2	<i>Objetivos específicos</i>	4
2.	CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	5
2.1	El Cacao y sus Características	5
2.2	Métodos de Corte y Despulpado de Cacao.....	8
2.2.1	<i>Forma artesanal</i>	9
2.2.2	<i>Forma no artesanal</i>	10
2.2.3	<i>Máquinas de corte y despulpado de cacao existentes en el mercado</i>	13
2.3	Metodología de Diseño Mecánico	15
2.3.1	<i>Etapas del diseño</i>	17
3.	CAPÍTULO III ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO PARA LA MÁQUINA CORTADORA Y DESPULPADORA DE CACAO	19
3.1	Matriz de la Calidad (QFD).....	19
3.2	Diseño Modular	23
3.3	Matriz Morfológica.....	24

3.3.1	<i>Alternativas de solución</i>	25
3.4	Evaluación de Alternativas de Solución	28
4.	CAPÍTULO IV DISEÑO DE LA MÁQUINA CORTADORA Y DESPULPADORA DE CACAO	33
4.1	Parámetros de Diseño	33
4.1.1	<i>Configuración de parámetros de cuchillas para el ensayo</i>	34
4.1.2	<i>Realización del ensayo, caracterización de mazorcas y semillas de cacao</i>	35
4.2	Sistema de Corte de Mazorcas de Cacao	40
4.2.1	<i>Velocidad del eje de corte</i>	40
4.2.2	<i>Diseño de cuchillas de corte</i>	41
4.2.2.1	<i>Cálculo de los pernos de anclaje de las cuchillas de corte</i>	46
4.2.3	<i>Diseño del eje del sistema de corte</i>	48
4.2.3.1	<i>Selección de rodamientos para el eje del sistema de corte</i>	52
4.2.3.2	<i>Cálculo de la chaveta para el eje de corte</i>	54
4.2.4	<i>Diseño de aspas</i>	55
4.2.5	<i>Cálculo de la potencia requerida en el sistema de corte</i>	60
4.3	Sistema de Despulpado de Mazorcas de Cacao	61
4.3.1	<i>Diseño del cilindro de despulpado</i>	61
4.3.1.1	<i>Selección de ruedas de fricción del eje del sistema de despulpado</i>	64
4.3.2	<i>Diseño del eje de transmisión del sistema de despulpado</i>	66
4.3.2.1	<i>Selección de rodamientos del eje de transmisión del sistema de despulpado</i> ..	72
4.3.2.2	<i>Cálculo de la chaveta para el eje del sistema de despulpado</i>	74
4.3.3	<i>Cálculo de potencia del sistema despulpado</i>	75
4.4	Selección del Sistema de Transmisión de Movimiento	79
4.4.1	<i>Selección de la trasmisión 1</i>	79
4.4.2	<i>Selección de la trasmisión 2</i>	81
4.4.3	<i>Selección de rodamientos del eje de distribución de movimiento</i>	83
4.5	Selección del Motor	84
4.6	Diseño de la Estructura Metálica	85
4.7	Sistema de Dosificación y Recolección de Producto	88
4.7.1	<i>Sistema de dosificación</i>	88
4.7.2	<i>Sistema de recolección de granos de cacao y eliminación de residuos</i>	89
4.8	Sistema Eléctrico y de Control	90

4.8.1	<i>Selección del variador de frecuencia</i>	90
4.8.2	<i>Circuito de control y potencia</i>	90
5.	CAPÍTULO V CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE LA MÁQUINA CORTADORA Y DESPULPADORA DE CACAO	93
5.1	Construcción de la máquina.....	93
5.1.1	<i>Componentes y tiempos de construcción de la máquina</i>	94
5.1.2	<i>Diagrama de flujo de construcción</i>	100
5.1.2.1	<i>Sistema estructural</i>	100
5.1.2.2	<i>Sistema de alimentación</i>	101
5.1.2.3	<i>Sistema de corte</i>	102
5.1.2.4	<i>Sistema de despulpado</i>	103
5.1.3	<i>Montaje de la máquina cortadora y despulpadora de cacao</i>	104
5.2	Protocolo de Pruebas	106
5.2.1	<i>Prueba de funcionamiento de la máquina en vacío</i>	106
5.2.2	<i>Prueba de verificación del proceso de corte y despulpado</i>	107
5.2.3	<i>Prueba de control de calidad de materia prima procesada</i>	109
5.2.4	<i>Datos obtenidos de las pruebas de funcionamiento</i>	110
5.2.5	<i>Discusión de resultados</i>	111
5.2.6	<i>Comprobación de la capacidad instalada</i>	112
5.3	Verificación de Requerimientos	112
5.3.1	<i>Verificación de los requerimientos del usuario</i>	113
5.3.2	<i>Verificación de los requerimientos del ingeniero</i>	113
5.4	Manual de Operación de la Máquina.....	114
5.4.1	<i>Vista y características generales del equipo</i>	114
5.4.2	<i>Requisitos de instalación del equipo</i>	115
5.4.3	<i>Directrices de funcionamiento</i>	115
5.5	Manual de Mantenimiento de la Máquina	116
5.5.1	<i>Procedimientos esenciales de mantenimiento</i>	116
5.5.2	<i>Limpieza del equipo</i>	117
5.6	Costos de la Máquina	118
5.6.1	<i>Costos directos</i>	118
5.6.2	<i>Costos indirectos</i>	120
5.6.3	<i>Costo total</i>	120

5.7	Conclusiones.....	121
5.8	Recomendaciones	122

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-3: Requerimientos del Usuario.....	20
Tabla 2-3: Características Técnicas de las Competencias.....	21
Tabla 3-3: Simbología y Valores Numéricos Utilizados en Correlaciones.....	22
Tabla 4-3: Simbología y Valores Numéricos Utilizados en Compromisos Técnicos.	22
Tabla 5-3: Casa de la Calidad de la Máquina Cortadora y Despulpadora de Cacao...	23
Tabla 6-3: Matriz Morfológica.....	25
Tabla 7-3: Evaluación de los Criterios más Importantes	28
Tabla 8-3: Evaluación de Soluciones sobre el Sistema de Corte y Despulpado	29
Tabla 9-3: Evaluación de Soluciones con respecto a Materiales	29
Tabla 10-3: Evaluación de Soluciones con respecto a Costo de Fabricación	29
Tabla 11-3: Evaluación de Soluciones con respecto a Nivel de Automatización	30
Tabla 12-3: Ponderaciones Finales de las Alternativas de Solución.....	30
Tabla 13-3: Especificaciones de los Sistemas y Elementos Principales	31
Tabla 1-4: Estimación de las Variables	33
Tabla 2-4: Dimensiones y Fuerza de Corte de las Mazorcas de Cacao	37
Tabla 3-4: Dimensiones de Semillas de Cacao	37
Tabla 4-4: Datos para Cálculo de Transmisión 1	80
Tabla 5-4: Datos para Cálculo de Transmisión 2	81
Tabla 6-4: Cargas que Intervienen en los Elementos de la Estructura.....	86
Tabla 7-4: Elementos del Circuito de Potencia y Control.....	91
Tabla 1-5: Máquinas y Herramientas Utilizadas	93
Tabla 2-5: Materiales y Tiempos de Construcción del Equipo	94
Tabla 3-5: Tiempos empleados en Montaje del Equipo.....	104
Tabla 4-5: Tiempo empleado en Construcción y Montaje	105
Tabla 5-5: Control de Calidad del Proceso de Corte y Despulpado.....	110
Tabla 6-5: Tiempo de Procesado de 350 Mazorcas de Cacao.....	110
Tabla 7-5: Evaluación de Diferentes Elementos del Equipo en Funcionamiento.....	111
Tabla 8-5: Verificación de la Voz del Usuario.....	113
Tabla 9-5: Verificación de la Voz del Ingeniero	113
Tabla 10-5: Características de la Máquina	114

Tabla 11-5: Procedimientos de Mantenimiento Recomendados.....	117
Tabla 12-5: Costo de Elementos Mecánicos Requeridos.....	118
Tabla 13-5: Costo de Material Eléctrico Requerido.....	119
Tabla 14-5: Costo Directos.....	120
Tabla 15-5: Costos Indirectos.....	120
Tabla 16-5: Costo Total del Proyecto.....	120

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-2: Especie Cacao Fino de Aroma	6
Figura 2-2: Especie Cacao CCN-51	7
Figura 3-2: Mazorcas y Semillas de Cacao	7
Figura 4-2: Corte de Mazorcas con Machete	9
Figura 5-2: Corte de Mazorca con Mazo de Madera	9
Figura 6-2: Corte de Mazorca de Cacao con un Tomo de Machete.....	10
Figura 7-2: Despulpado Manual de Cacao.....	10
Figura 8-2: Trituradora de Rodillos Dentados	11
Figura 9-2: Corte de Mazorcas de Cacao Mediante Sierras.....	11
Figura 10-2: Sistema de Corte con Cuchillas y Sujeción Giratoria	12
Figura 11-2: Zaranda Vibratoria Rectangular	12
Figura 12-2: Cilindros Giratorios.....	12
Figura 13-2: Despulpadora de Cacao con Corte Tipo Rodillos	13
Figura 14-2: Despulpadora de Cacao con Zaranda Vibratoria.....	14
Figura 15-2: Cortadora de Mazorcas de Cacao Tipo Cuchillas	14
Figura 16-2: Cortadora de Cacao Tipo Sierras Circulares	15
Figura 17-2: Representación Gráfica de un Ciclo Básico de Diseño.....	16
Figura 18-2: Enfoque de Ingeniería Concurrente.....	16
Figura 19-2: Esquema General de Desarrollo de la Función de Calidad.....	18
Figura 1-3: Análisis Funcional Global de la Máquina	24
Figura 2-3: Análisis de las Subfunciones de la Máquina	24
Figura 3-3: Representación Gráfica Solución 1	26
Figura 4-3: Representación Gráfica Solución 2	27
Figura 5-3: Representación Gráfica Solución 3	28
Figura 6-3: Solución Final	31
Figura 1-4: Perfiles de Cuchillas de ½ in.....	34
Figura 2-4: Ensayo de Corte de Mazorca de Cacao.....	35
Figura 3-4: Medición de Mazorcas de Cacao.....	36
Figura 4-4: Medición de Longitud y Ancho de Semilla de Cacao.....	37
Figura 5-4: Fuerza de Corte Aplicado a la Cuchilla.....	41

Figura 6-4: Modelo Idealizado de las Cuchillas de Corte.....	44
Figura 7-4: Mallado de las Cuchillas	44
Figura 8-4: Análisis de las Cuchillas con Carga Aplicada.....	45
Figura 9-4: Deformación Total en las Cuchillas	46
Figura 10-4: Factor de Seguridad en las Cuchillas	46
Figura 11-4: Localización de los Pernos de Anclaje.....	48
Figura 12-4: Representación Gráfica del Eje de Corte	49
Figura 13-4: Diagrama de Cortante y Momento Flector en Plano xy.....	49
Figura 14-4: Fuerza Aplicada Sobre la Chaveta	54
Figura 15-4: Fuerza de Corte que Actúa sobre el Aspa	55
Figura 16-4: Modelo Idealizado de las Aspas.....	58
Figura 17-4: Mallado de las Aspas.....	58
Figura 18-4: Análisis de las Aspas con Carga Aplicada.....	59
Figura 19-4: Deformación Total en las Aspas	60
Figura 20-4: Factor de Seguridad en las Aspas.....	60
Figura 21-4: Representación Gráfica de la Fuerza de corte	60
Figura 22-4: Modelo Idealizado del Mecanismo de Despulpado	62
Figura 23-4: Mallado del Mecanismo de Despulpado	62
Figura 24-4: Análisis del Mecanismo de Despulpado con Carga Aplicada.....	63
Figura 25-4: Deformación Total del Mecanismo de Despulpado.....	63
Figura 26-4: Dimensiones Finales del Cilindro Despulpador.....	64
Figura 27-4: Diagrama de Velocidades del Cilindro Despulpador.....	64
Figura 28-4: Rueda Maciza de Caucho	65
Figura 29-4: Eje de Transmisión del Sistema de Despulpado	66
Figura 30-4: Diagrama de Cortante y Momento Flector en el Plano xy.....	66
Figura 31-4: Diagrama de Cortante y Momento Flector en el Plano xz.....	67
Figura 32-4: Deflexión del Eje en el Plano xy e xz	68
Figura 33-4: Modelo Idealizado del Eje de Transmisión.....	70
Figura 34-4: Mallado del Eje de Transmisión.....	70
Figura 35-4: Análisis del Eje de Transmisión con Carga Aplicada	71
Figura 36-4: Deformación Total del Eje de Transmisión	72
Figura 37-4: Factor de Seguridad del Eje de Transmisión.....	72
Figura 38-4: Fuerza Aplicada sobre la Chaveta	74
Figura 39-4: Esquema de Configuración del Sistema de Despulpado.....	75

Figura 40-4: Fuerzas Aplicadas sobre las Ruedas de Fricción.....	77
Figura 41-4: Fuerzas Aplicadas sobre el Cilindro	78
Figura 42-4: Sistema de Piñón y Cadena	79
Figura 43-4: Ubicación de Potencias en el Sistema	85
Figura 44-4: Estructura de la Máquina Cortadora y Despulpadora de Cacao.....	87
Figura 45-4: Cargas Aplicadas en la Estructura.....	87
Figura 46-4: Resultados de Análisis Estructural en SAP 2000.....	88
Figura 47-4: Tolva de Dosificación	89
Figura 48-4: Bandeja de Traslado	89
Figura 49-4: Bandeja de Recolección	89
Figura 50-4: Variador de Frecuencia ACS150.....	90
Figura 51-4: Diagrama de Control del Circuito	92
Figura 1-5: Flujograma utilizado en Construcción de Sistema Estructural	100
Figura 2-5: Estructura de la Máquina Cortadora y Despulpadora de Cacao.....	100
Figura 3-5: Construcción de la Estructura	101
Figura 4-5: Flujograma utilizado en Construcción de Sistema Alimentación	101
Figura 5-5: Sistema de Alimentación de la Máquina.....	101
Figura 6-5: Construcción del Sistema Alimentación	102
Figura 7-5: Flujograma utilizado en Construcción de Sistema de Corte	102
Figura 8-5: Esquema de Sistema de Corte	102
Figura 9-5: Construcción del Sistema de Corte	103
Figura 10-5: Flujograma utilizado en Construcción de Sistema Despulpado.....	103
Figura 11-5: Esquema de Sistema de Despulpado	103
Figura 12-5: Construcción de Sistema de Despulpado	104
Figura 13-5: Flujograma del Proceso de Montaje.....	105
Figura 14-5: Granos de Cacao: Buen estado (izq.) Con Daño Parcial (dcha).....	110
Figura 15-5: Máquina Cortadora y Despulpadora de Cacao.....	114
Figura 16-5: Inicio del Procesado de Mazorcas.....	116

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1-3: Tabulación de Encuestas a los Agricultores	20
Gráfica 1-4: Fuerza de Corte vs Número de Ensayo.....	36
Gráfica 2-4: Convergencia en la Deformación de las Cuchillas	45
Gráfica 3-4: Convergencia en la Deformación de las Aspas	59
Gráfica 4-4: Convergencia en la Deformación del Mecanismo de Despulpado.....	63
Gráfica 5-4: Convergencia en la Deformación del Eje de Transmisión	71

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A.** Encuesta realizada a agricultores cacao
- ANEXO B.** Resultados del ensayo de cuchillas para corte de mazorcas de cacao
- ANEXO C.** Parámetros en factor de condición superficial Ka
- ANEXO D.** Parámetros en factor de modificación de tamaño Kb
- ANEXO E.** Parámetros en factor de modificación de carga Kc
- ANEXO F.** Parámetros en factor de temperatura Kd
- ANEXO G.** Parámetros en factor de confiabilidad Ke
- ANEXO H.** Gráficas de concentración de esfuerzo Kf y Kfs
- ANEXO I.** Selección de rodamientos rígidos de bolas
- ANEXO J.** Selección de chumaceras
- ANEXO K.** Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino
- ANEXO L.** Selección de malla perforada
- ANEXO M.** Selección de ruedas
- ANEXO N.** Macro Estándar ABB
- ANEXO O.** Especificación de procedimiento de soldadura

RESUMEN

El objetivo de esta propuesta tecnológica es el diseño y construcción de una cortadora y despulpadora de cacao con capacidad mínima de 2400 mazorcas/hora, orientado a la mejora de la productividad del agricultor en pequeñas y medianas plantaciones de cacao. Para la elaboración del proyecto se revisó el marco referencial existente sobre este equipamiento agrícola, además de las características y geometría de las mazorcas y semillas de cacao. Se realizó un análisis de alternativas, considerando la voz del usuario y del ingeniero, optando por una solución de cuchillas y aspas giratorias para el sistema de corte y un cilindro giratorio para el proceso de despulpado. Se llevaron a cabo ensayos experimentales para determinar la fuerza de corte requerida en la fragmentación de las mazorcas de cacao. Se diseñaron y calcularon teóricamente todos los elementos mecánicos que componen el equipo. Se realizó una modelación de los mismos en SolidWorks, verificando su resistencia mediante método de elementos finitos en ANSYS, y un análisis de la estructura soporte en SAP2000. El equipo está construido en acero inoxidable y al carbono. Las pruebas de funcionamiento comprobaron que el equipo cumple con los parámetros requeridos para un adecuado proceso de corte y despulpado de cacao, superando la capacidad propuesta en un inicio a 3648 mazorcas/hora, además de un bajo porcentaje de perjuicio en el total de granos procesados. Se recomienda revisar la posible acumulación de granos en la bandeja de recolección debido a su alta viscosidad, mantenerla libre de agentes extraños y no sobrepasar la capacidad de la tolva de alimentación.

PALABRAS CLAVES: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERIA>, <CORTE Y DESPULPADO>, <MAZORCAS HORA>, <EQUIPO AGRICOLA>, <DISEÑO Y CONSTRUCCION>, <INDUSTRIA CACAOTERA>, <METODO DE ELEMENTOS FINITOS>, <CACAO (THEOBROMA CACAO L.)>.



ABSTRACT

The objective of this proposal is the design and construction of a cocoa cutter and pulper with a minimum capacity of 2400 cobs/hour, aimed at improving the productivity of the farmer in small and medium-sized cocoa crops. For the project's development, the existing referential framework on this agricultural equipment was revised, as well as the characteristics and geometry of the ears and cocoa seeds. An analysis of alternatives was carried out, taking into account the voice of the user and the engineer, opting for one solution of blades and rotating blades for the cutting system and a rotating cylinder for the pulping process. Experimental tests were carried out to determine the cutting force required in the fragmentation of the cocoa cobs. All the mechanical elements that make up the team were designed and calculated theoretically. It was done a mechanical elements' modeling in SolidWorks, verifying their resistance by using the finite element method in ANSYS, and an analysis of the structure of the support in SAP2000. The equipment is made of stainless steel and carbon. The performance tests proved that the equipment complies with the required parameters for an adequate process of cocoa's cutting and pulping, exceeding the capacity proposed at the beginning to 3648 cobs/hour, in addition to a low percentage of damage in the total of the processed grains. It is recommended to check the possible accumulation of grains in the collection tray due to its high viscosity, to maintain the freedom of the foreign agents and not to exceed the capacity of the feeding hopper.

KEY WORDS: <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCE>, <CUTTING AND PULPING>, <COBS HOUR>, <AGRICULTURAL EQUIPMENT>, <DESIGN AND CONSTRUCTION>, <COCOA INDUSTRY>, <FINITE ELEMENTS METHOD>, <COCOA (THEOBROMA CACAO L.)>



INTRODUCCIÓN

El cacao se consume de diversas formas, ya sea en la industria alimentaria, agrícola o farmacéutica, debido a la gran cantidad de derivados extraídos utilizando casi la totalidad del fruto. Su alto consumo a nivel mundial ha impulsado el cultivo del producto, resaltando el cacao fino de aroma por sus características especiales. Ecuador destaca a nivel mundial por su cultivo y exportación. En su mayoría el corte y despulpado de mazorcas de cacao se lo realiza de forma manual, proceso que puede demorar varios días dependiendo de las hectáreas que se encuentren en producción. Con esta propuesta tecnológica se plantea un prototipo que permita mejorar los tiempos en la cadena productiva del cacao, disminuir riesgos y accidentes hacia la integridad física del trabajador, que representen pérdidas económicas, e incrementar así la productividad del agricultor. Este tipo de maquinaria debe poseer un sistema de corte que quiebre las mazorcas pero que no perjudique los granos en su interior, y un sistema de despulpado que separe las cáscaras fragmentadas de los granos sin contaminarlos. Para su diseño y posterior construcción, se utilizan criterios de diseño y ciertas herramientas informáticas para respaldar el cálculo teórico que demuestran el cumplimiento de los parámetros necesarios para un adecuado procedimiento de corte y despulpado de mazorcas de cacao.

CAPITULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

En los últimos años la importación del cacao en grano ha crecido debido a la industria que elabora sus derivados. Las oportunidades de mercado en países de la Unión Europea, así como en Estados Unidos son muy altas, con un consumo principalmente de chocolate (MAXIMIXE, 2006, pp. 30-35). Además, se ha implementado la tendencia por parte de las industrias de comprar a los países productores de cacao directamente, promoviendo el comercio justo y el cultivo alternativo como prioridad de los gobiernos locales.

Actualmente, Ecuador es el primer productor mundial de cacao fino de aroma, con una participación del 62% a nivel mundial, de los cuales en su mayoría los cultivos se realizan en terrenos productivos pequeños (20 ha o menos) y medianos (de 20 a 50 has). (VICEPRESIDENCIA ECUADOR, 2015, p. 2). Además, se estima que, de la producción nacional de cacao, aproximadamente el 70% se exporta en grano, el 25% en productos semis elaborados de cacao y un 5% es consumido por la industria artesanal chocolatera. (HEREDIA MONTIEL, 2008)

En el proceso de cosecha de cacao, se recolectan solo los frutos maduros cada dos o tres semanas para evitar la sobre maduración y riesgo de pérdidas. (MORENO & SANCHEZ, 1989, p. 7) Generalmente se apilan los frutos en un lote sin árboles de cacao, donde se facilita la labor de la partida y se puedan amontonar las cáscaras para su descomposición y su posterior utilización como abono orgánico. El método de corte de la mazorca se realiza de forma manual o mecánica, según las costumbres y la capacidad económica del agricultor.

El desgrane o despulpado de mazorcas realizado de forma manual, es la extracción de las semillas deslizando los dedos de la mano a lo largo de la vena central de la mazorca, evitando extraerla para no mezclarla con los granos. El tiempo transcurrido entre la toma de la mazorca del árbol y la extracción del grano debe ser en un máximo de dos días para

que el posterior proceso de fermentación, donde se define la calidad final del producto, no se vea afectado (ORTIZ VALBUENA & LEON ALVAREZ, 2015, p. 70).

Existen varios trabajos internacionales y nacionales sobre máquinas cortadoras y despulpadoras de cacao, donde cada equipo cuenta con fortalezas y debilidades. A pesar de que se han construido muchos modelos, éstos siguen siendo de uso muy limitado ya que generalmente a estas máquinas les falta perfección, y las que mejores resultados han obtenido se están ofreciendo a un precio que se considera costoso para la mayoría de los productores. (MORENO & SANCHEZ, 1989, p. 10)

1.2 Formulación del problema

Una vez realizada la cosecha de las mazorcas de cacao, los obreros proceden al corte y extracción de sus granos de forma manual, técnica que requiere una gran agilidad por parte del obrero y a su vez gran velocidad para cumplir con la totalidad de las mazorcas cosechadas, que dependiendo de las hectáreas en producción puede tomar incluso varios días, logrando afectar en cierta manera el proceso de fermentación y su posterior comercialización. Al utilizar una herramienta afilada para realizar los cortes en la mazorca, en ocasiones se generan accidentes que representan daños en la integridad del trabajador y pérdidas económicas para los productores locales.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación teórica

Ecuador es líder en la producción de cacao fino de aroma, dando sustento a alrededor de cien mil familias que practican este cultivo pero que mantienen niveles de productividad muy bajos. La producción de cacao en el Ecuador está localizada en 23 de sus 24 provincias y se produce como “cultivo solo” o cultivo asociado con otras especies, dominada por unidades productivas entre pequeñas y medianas. (VICEPRESIDENCIA ECUADOR, 2015, p. 1)

La producción anual de cacao en grano tiene una tendencia creciente, debido a que las siembras implementadas por varios proyectos en los últimos años están ya en fase de producción. “Por otro lado, la estabilidad de precios internacionales de los últimos años

y en general un mejor manejo del cultivo, tanto en la producción primaria como en el beneficio del grano, han incidido de forma positiva en la producción”. (VICEPRESIDENCIA ECUADOR, 2015, p. 3)

Al ser la correcta manipulación del producto un factor importante, la mecanización del proceso de corte y extracción de granos de cacao, facilitaría de manera definitiva y terminante un laboreo que se encontraba abandonado, incrementando niveles de rendimiento para los agricultores.

1.3.2 *Justificación metodológica*

Para la elaboración del proyecto se utilizará una metodología perceptual e integrativa, con la cual se conseguirá explorar, describir, modificar, confirmar y evaluar el desarrollo del mismo, todo esto en base a los conocimientos adquiridos a lo largo de los años de estudio.

1.3.3 *Justificación práctica*

Para la elaboración de este proyecto se tiene en cuenta que las máquinas existentes en el mercado nacional, no muy fáciles de encontrar y elaboradas artesanalmente, no cuentan con un estudio ingenieril adecuado o a su vez no son tecnológicamente competentes. La importación de un equipo de similares características conlleva una alta inversión comparada con la realización de este proyecto.

El presente trabajo de titulación tiene como finalidad mejorar los tiempos en la cadena productiva del cacao y aumentar las ganancias para el agricultor por medio de la reducción de personal al mínimo necesario para operar la máquina, aumentar la capacidad de extracción de granos de cacao y brindar seguridad a la integridad física del trabajador.

1.4 Alcance

El proyecto se centra en realizar el diseño de una máquina cortadora y despulpadora de cacao; luego de esto, se efectuará la construcción de la misma. Esta máquina tendrá un funcionamiento semiautomático con dosificación manual. Por último, se realizarán las pruebas en vacío y con carga del producto para verificar el correcto funcionamiento del equipo.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Diseñar y construir una máquina cortadora y despulpadora de cacao con una capacidad de 2400 mazorcas por hora para mejorar la productividad del agricultor

1.5.2 Objetivos específicos

- Desarrollar el estudio bibliográfico sobre el proceso de corte y despulpado del cacao buscando información relevante del proceso para conocer las variables a intervenir en el desarrollo del proyecto.
- Diseñar la máquina cortadora y despulpadora de cacao utilizando la metodología pertinente para cumplir con el requerimiento establecido
- Validar el diseño empleando un software especializado que nos permita identificar los esfuerzos y las deformaciones máximas a los que estará sometida la máquina.
- Construir la máquina cortadora y despulpadora de cacao mediante las técnicas tradicionales de fabricación para corroborar el diseño teórico.
- Realizar las pruebas de funcionamiento de la máquina poniendo en marcha todos los sistemas mecánico, eléctrico y electrónico, para comprobar su correcto funcionamiento.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo tiene como objetivo recopilar información sobre los procesos de corte y despulpado de cacao, para lo cual se realiza un estudio básico del fruto, métodos sobre el proceso utilizados actualmente, así como un análisis sobre la metodología de diseño a emplearse.

2.1 El Cacao y sus Características

Hoy en día son ocho los principales productores de cacao en el mundo, Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Nigeria, Camerún, Brasil, Ecuador y Malasia, que representan el 90% de la producción mundial de cacao, del cual se estima, el 95% de la producción anual en ellos procede de pequeños agricultores, con una superficie de sembrado de entre una y tres hectáreas. (ICCO citado en Ramírez 2012, p.1)

El consumo del cacao se da en su mayoría en países desarrollados ya que son ellos quienes lo transforman en productos terminados. Pero a pesar de su gran demanda, la producción puede ser afectada por factores como el clima, plagas, situaciones políticas y culturales. (MAXIMIXE, 2006, p. 22)

Algunos historiadores remontan el origen del cacao en Mesoamérica entre México, Guatemala y Honduras donde la evidencia atestigua su uso aproximadamente en los 2000 A.C. Estudios recientes han encontrado que la variedad Theobroma Cacao tiene su origen en la alta Amazonía y ha sido utilizada por más de 5000 años. (ANECACAO, 2015)

Actualmente el cacao es producido en lugares donde el clima es óptimo para su plantación, un hábitat húmedo bajo la sombra de árboles madre, siendo los mayores productores Costa de Marfil, Ghana e Indonesia. (MAXIMIXE, 2006, p. 23)

En Ecuador, al ser un producto con gran historia en su economía, así como el tercer rubro agrícola de exportación e importante generador de empleo, el origen del cacao en nuestro país se remonta a la llegada del imperio español a nuestras costas, donde ya se divisaban árboles de cacao que demostraban la existencia y perfección del cultivo en la zona. La

especie tradicional ecuatoriana a lo largo del tiempo, con la llegada de nuevas y severas enfermedades como la moniliasis o la escoba de bruja, trajo consigo la introducción de cacao extranjero. Con este panorama se dio la cruce entre la especie local y foránea, dando lugar a híbridos resistentes y productivos, con una aromática en sus frutos de menor calidad que la especie local original. (ANECACAO, 2015)

El cacao, conocido como *Theobroma cacao*, perteneciente a la familia de las Esterculiáceas, se clasifica generalmente en tres grupos: Criollo, Forastero Amazónico y Trinitario. El cacao criollo, aunque apetecido por su fino aroma, su bajo rendimiento y susceptibilidad a plagas causan un bajo volumen de producción a nivel mundial, de 5-10%. El forastero o cacao común, a pesar de su bajo aroma, amargura corta y concentrada, representa aproximadamente el 80% de la producción mundial. El trinitario, híbrido de criollo y forastero, alrededor del 15% de la producción mundial, varía su calidad y no posee características comunes a delimitar como en las especies anteriores. (DOSTERT, et al., 2011, p. 5)

En nuestro país, las especies de cacao conocidos como fino de aroma o criollo y CCN-51, “cuyas exportaciones ecuatorianas hasta el momento es de: 75% Cacao Nacional y 25% CCN-51” (ANECACAO, 2015), serán las consideradas para el dimensionamiento del sistema de corte de la máquina.

“El cacao fino y de aroma cuenta con características distintivas de aroma y sabor buscadas por los fabricantes de chocolate” (ANECACAO, 2015). Ecuador, por su privilegiada ubicación geográfica, se convierte en el principal productor mundial de esta emblemática especie.

Figura 1-2: Especie Cacao Fino de Aroma



Fuente: <https://www.flickr.com/photos/iniapecuador/8185797642/>

La variedad CCN-51, especie ecuatoriana de origen clonado por el ambateño Homero Castro Zurita en 1955, cuyo significado es Colección Castro Naranjal. Es resistente a enfermedades, tiene una alta producción y calidad. (ANECACAO, 2015)

Figura 2-2: Especie Cacao CCN-51



Fuente: (ANECACAO, 2015)

El fruto de cacao es una baya denominada maraca o mazorca, que tiene forma de calabacín alargado, se vuelve roja o amarillo púrpura cuando madura. “Contiene de 20 a 60 semillas y según su variedad genética varían en tamaño y forma.” (CATHOLIC RELIEF SERVICES, 2017) El documento Análisis del sector cacao y elaborados (PRO ECUADOR, 2013, p. 1) brinda un perfil general de todas las especies de cacao en el país, teniendo así que el fruto oscila de 10 a 32 cm de longitud, 7 a 10 cm de ancho y pesa desde 200 a 1000 gramos. “La semilla madura es ovoide de $2,4 \pm 0,12$ cm de longitud y $1,4 \pm 0,08$ cm de ancho y $0,85 \pm 0,07$ cm de espesor” (RANGEL FAJARDO, et al., 2012, p. 192)

Figura 3-2: Mazorcas y Semillas de Cacao



Fuente: Autores

El cacao tiene un proceso productivo que consta de sembrado y beneficiado, los cuales son realizados actualmente de forma artesanal por los agricultores. Paredes (2004, p. 57) manifiesta que el beneficiado del cacao, proceso para mejorar la calidad del grano en base a principios de conservación de alimentos, consiste en la cosecha, quiebra y despulpado, fermentación, secado, selección y almacenamiento de los granos de cacao, siendo la quiebra y despulpado, el enfoque de nuestro trabajo.

La cosecha o recolección se realiza cuando las mazorcas están maduras, con técnicas y herramientas pertinentes, lo que se aprecia en su pigmentación de acuerdo a la variedad, las cuales poseen el azúcar suficiente en la pulpa para una adecuada fermentación. Al pasar su madurez, el fruto puede germinar y volverse inservible para producción y reproducción. (PAREDES, 2004, p. 57)

La quiebra de la mazorca es la parte del proceso que consiste en partir las mazorcas y extraer las almendras las cuales una vez separadas de la placenta serán sometidas a fermentación (PAREDES, 2004, p. 58). La fermentación consiste en la acumulación de granos durante días con el fin de descomponer el mucílago, que es la pulpa blanca y dulce que envuelve a los granos, provocar la muerte del embrión para evitar la germinación y el inicio de los cambios bioquímicos en el interior de los granos. (CATHOLIC RELIEF SERVICES, 2017, p. 17)

El secado de forma natural o artificial, realizado inmediatamente después de la fermentación, es el proceso que disminuye la humedad en el grano hasta un determinado valor y “terminar el desarrollo de los precursores del sabor y aroma a chocolate que inició durante la fermentación” (CABALLERO, et al., 2014, p. 4).

Después del secado viene la selección de los granos, la cual consiste en una detallada limpieza a fin de evitar residuos extraños y una clasificación según el tamaño, para finalmente empaquetarlos y almacenarlos, según normas establecidas, para su posterior venta y distribución.

Entre los productos obtenidos a partir de las semillas de cacao se tiene la manteca, jugo, polvo, pasta o licor de cacao, así como cáscara y cenizas de cáscara de cacao, utilizadas en alimentación de animales. (MAXIMIXE, 2006, p. 4)

2.2 Métodos de Corte y Despulpado de Cacao

Actualmente el corte y despulpado de cacao se lo realiza de forma artesanal o con ayuda de máquinas, cortando las mazorcas en forma longitudinal o transversal para extraer los granos, que luego seguirán un proceso primario para su conservación, las cuales se explican a continuación.

2.2.1 *Forma artesanal*

El proceso artesanal de corte se realiza con machete, utilizando la parte sin filo, con un mazo de madera o con guillotina. En el corte con machete, el golpe debe ser con tal fuerza que rompa la cáscara, produciendo un corte longitudinal que no dañe los granos. La herramienta utilizada en el proceso presenta desventajas tales como riesgo para el operario, bajo rendimiento y posibilidad de daño a los granos. (MORENO & SANCHEZ, 1989, p. 8)

Figura 4-2: Corte de Mazorcas con Machete



Fuente: (MORENO & SANCHEZ, 1989)

En el corte con mazo de madera dura, éste “puede medir aproximadamente 30 centímetros (12 pulgadas) de largo y 5 centímetros (2 pulgadas) de diámetro por el extremo dispuesto para golpear” (MORENO & SANCHEZ, 1989, p. 8), las mazorcas reciben golpes por los costados para facilitar la extracción y luego son apoyadas en un tronco que resista la efectividad del golpe. La ventaja de este método es el mínimo daño que los operarios y los granos de cacao llegan a sufrir.

Figura 5-2: Corte de Mazorca con Mazo de Madera



Fuente: (MORENO & SANCHEZ, 1989)

El método de corte guillotina, también llamado tomo de machete, consiste en ensamblar un trozo de machete ancho con el lomo hacia arriba, en la parte superior de un pequeño aparato similar a una "T" invertida de madera resistente, sobresaliendo 4 centímetros. La mazorca se parte golpeándola contra este lomo. (MORENO & SANCHEZ, 1989, p. 9)

Figura 6-2: Corte de Mazorca de Cacao con un Tomo de Machete



Fuente: (CATHOLIC RELIEF SERVICES, 2017, p. 14)

En el despulpado manual, los granos se extraen con los dedos, dejando la placenta pegada a la mazorca y eliminando residuos mezclados con los granos, donde los operarios deben utilizar guantes para evitar el desgarre de las uñas. Las almendras recolectadas se colocan en baldes o sacos para transportarlos al lugar de fermentación. (LUTHERAN WORLD RELIEF, 2013, pp. 13,15)

Figura 7-2: Despulpado Manual de Cacao



Fuente: (LUTHERAN WORLD RELIEF, 2013)

2.2.2 *Forma no artesanal*

En casos de plantaciones donde se cosecha gran cantidad de mazorcas, el quiebre y desgrane manual es una labor muy larga y a veces complicada, más si se carece de mano de obra. Esto ha justificado que industriales, técnicos y algunos productores en varios países hayan venido estudiando la alternativa de mecanizar esta tarea. (MORENO & SANCHEZ, 1989, p. 10)

La extracción de los granos de forma no artesanal se realiza con ayuda de máquinas que trituran o cortan la mazorca para luego separar la cáscara de la pulpa, disminuyendo tiempos, riesgo para el operario e incrementando la productividad. Sin embargo, algunos modelos construidos son de uso limitado debido a su falta de perfeccionamiento, además del alto costo que representa su adquisición para la mayoría de productores. De los

equipos construidos a nivel mundial, se indican a continuación los procedimientos estándares utilizados en el corte y despulpado de mazorcas de cacao.

Uno de los métodos para corte de mazorcas de cacao es la trituración mediante rodillos dentados que atrapan las mazorcas y producen roturas en éstas para extraer los granos de cacao.

Figura 8-2: Trituradora de Rodillos Dentados



Fuente: <http://inoxidablesmt.blogspot.com/2013/01/proceso-del-cacao1ra-parte-inoxidablesmt.html>

Un segundo método de corte para mazorcas de cacao es mediante sierras. Se utilizan dos sierras circulares, las cuales realizan perfectos cortes longitudinales en ambos lados de la mazorca, ya que el sentido de giro del disco es contrario al movimiento lineal de corte. A pesar de ser herramientas de uso sencillo y seguridad alta, es necesario tomar las debidas precauciones para evitar accidentes. (BRICO-TODO, 2000)

Figura 9-2: Corte de Mazorcas de Cacao Mediante Sierras



Fuente: <http://mecalengenharia.com/maquina-de-cortar-e-separar-cacau>

Un tercer método de corte es mediante cuchillas y sujeción giratoria; las mazorcas de cacao en cada revolución son empujadas sobre la cuchilla para así conseguir el corte longitudinal del fruto.

Figura 10-2: Sistema de Corte con Cuchillas y Sujeción Giratoria



Fuente: Autores

Luego de la etapa de corte de la mazorca viene la fase de despulpado. Una forma de separación entre la cáscara y la pulpa de cacao es mediante zarandas vibratorias, en donde uno o dos motovibradores generan la vibración, lo cual permite que el producto resultante del proceso de corte pase sobre el tamiz. Al final se recogen los granos que salen por las bocas frontales de la zaranda y los restos de cáscara se expulsan por la parte inferior del equipo. (CARRASCO, 2017)

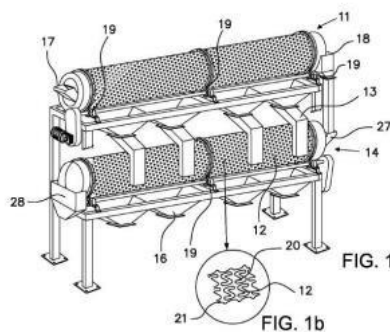
Figura 11-2: Zaranda Vibratoria Rectangular



Fuente: <http://www.timsacr.com/online/modules/info/index.php?id=6>

Otra manera de despulpar cacao es mediante cilindro o tambor giratorio, con paredes de malla de alambre o enrejado con orificios de tamaño adecuado para que pasen los granos de cacao.

Figura 12-2: Cilindros Giratorios



Fuente: <http://patentados.com/patente/separacion-cascara-semillas/>

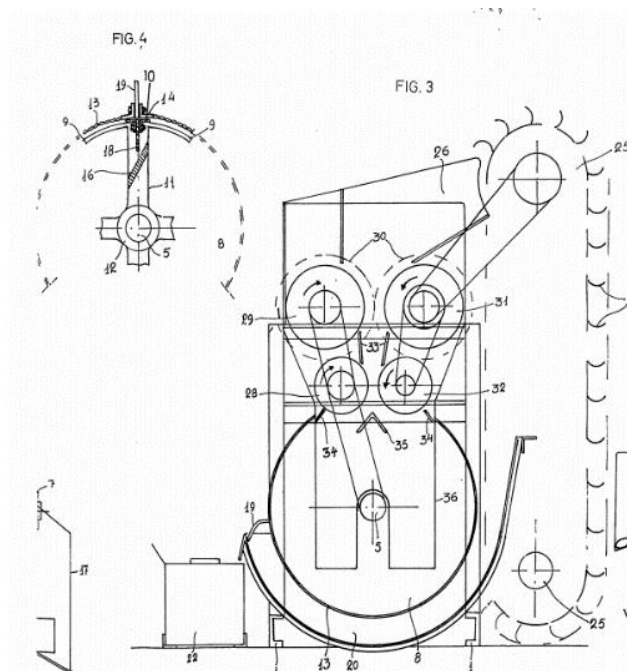
Al girar el cilindro alrededor de un eje a una velocidad determinada, las mazorcas golpean varias veces las paredes del mismo, desprendiendo los granos que caen por los orificios del tambor hacia recipientes recogedores y almacenadores. (PEREZ, 2008, pp. 89-90)

2.2.3 Máquinas de corte y despulpado de cacao existentes en el mercado

En este apartado se describe brevemente algunos de los equipos existentes utilizados en la industria para el corte y despulpado de cacao de forma mecánica.

La despulpadora de cacao con corte por rodillos, consta de rodillos que disponen de varias aspas en su contorno, las cuales trituran la mazorca para separar los granos de cacao. Para su recolección, debido a la gravedad, los granos de cacao caen a gavetas previamente colocadas en la parte inferior del cilindro despulpador. Los residuos no válidos del proceso caen por la parte inferior del cilindro luego de la completa extracción de las semillas de cacao.

Figura 13-2: Despulpadora de Cacao con Corte Tipo Rodillos



Fuente: (MIGUEL SEÑALADA, 1971)

Otra de las máquinas existentes en la industria utiliza molinos para triturar las mazorcas de cacao y una zaranda vibratoria como método de despulpado; existen escobillas ubicadas en la criba que frenan el avance rápido de los granos en el tamiz para que caigan a un recolector, mientras los demás residuos salen fuera de la máquina. La desventaja en

este proceso es que la recolección final no es muy limpia, ya que pequeños restos de cáscara triturados pasan por los orificios del tamiz destinados al paso de granos.

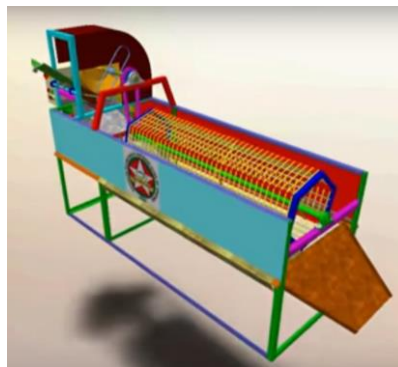
Figura 14-2: Despulpadora de Cacao con Zaranda Vibratoria



Fuente: <https://es.slideshare.net/diosorto/pinhalense-honduras-2015>

La despulpadora de cacao con método de corte tipo cuchillas, posee un sistema que en una revolución hace pasar la mazorca de cacao a través de una cuchilla, creando el corte en la fruta y separando parcialmente la mazorca de cacao. Dispone además de un despulpador horizontal con forma de prisma hexagonal, el mismo que al girar produce que las mazorcas choquen unas con otras y los granos se desprendan de su cáscara para su recolección.

Figura 15-2: Cortadora de Mazorcas de Cacao Tipo Cuchillas



Fuente: (CUENCA, 2015)

En la cortadora y despulpadora de cacao de la figura 16-2, se coloca el fruto al inicio de una banda transportadora, y con el principio de funcionamiento de las escaleras eléctricas, esta banda transporta el fruto hacia dos sierras, ubicadas en la parte superior e inferior al final de la banda, que permiten cortar el fruto sin dañar la pulpa. Luego del corte las mazorcas caen en un cilindro despulpador horizontal, el mismo que al girar produce el desprendimiento de los granos de su cáscara para su recolección. Dos recogedores direccionados, ubicados en la parte inferior del cilindro, permiten la recolección de los

granos. La cáscara del cacao termina expulsada al final del cilindro luego de la completa extracción de las semillas.

Figura 16-2: Cortadora de Cacao Tipo Sierras Circulares



Fuente: (MECAL, 2018)

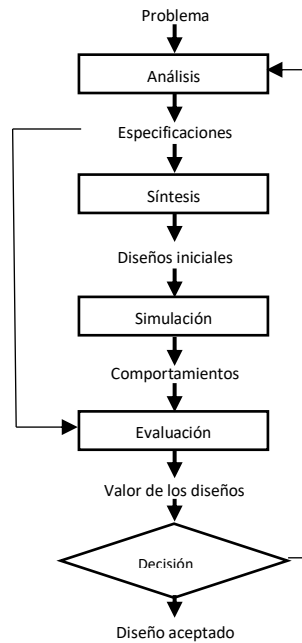
2.3 Metodología de Diseño Mecánico

Diseño tiene diferentes significados para distintas personas, según la actividad realizada. Algunos conceptos publicados nos dicen que el diseño (HAMROCK, et al., 2000, p. 3) es la transformación de conceptos e ideas en maquinaria útil, la cual es una combinación de mecanismos y de otros componentes que transforma, transmite o emplea energía, carga o movimiento para un propósito específico. Otros pensadores (SHIGLEY, et al., 2008) opinan que es la formulación de un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema, de forma innovadora y altamente iterativa.

Sin embargo, la correcta realización de un proyecto depende de una buena metodología que identifique los pasos a seguir. Nigel Cross (2001) define a la metodología de diseño como un estudio de prácticas y procedimientos cuyo objetivo central está relacionado con el cómo diseñar, de una forma más amplia. Como metodología, el ciclo básico de diseño “es una forma particular del método de resolución de problemas cuyas actividades se dirigen desde los objetivos (las funciones) hacia los medios (el diseño)” (RIBA ROMEVA, 2002, p. 72).

La figura 17-2 resume todas las etapas de la metodología de diseño a utilizar; muestra un enfoque del diseño, en donde las diferentes disciplinas se involucran simultáneamente, siendo algunas extremadamente técnicas y otras no tanto.

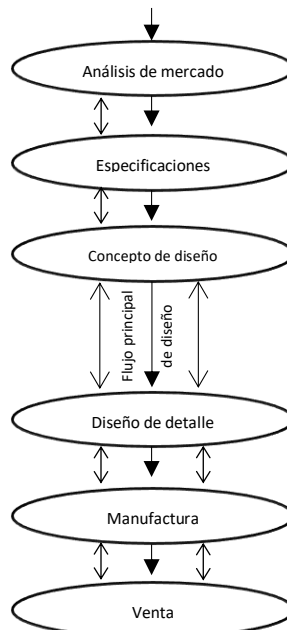
Figura 17-2: Representación Gráfica de un Ciclo Básico de Diseño



Fuente: (RIBA ROMEVA, 2002, p. 76)

La ingeniería concurrente es la filosofía del involucramiento de muchas disciplinas desde el inicio de un esfuerzo de diseño y su permanencia así durante todo el desarrollo del producto. De esta manera, los esfuerzos redundantes se minimizan y se desarrolla en menor tiempo productos de mayor calidad.

Figura 18-2: Enfoque de Ingeniería Concurrente



Fuente: (HAMROCK, et al., 2000, p. 5)

Luego de realizar el análisis de los métodos de diseño, ambos muestran características que afirman el reconocimiento de fases comunes, a pesar de las mínimas diferencias que existen entre ellos, lo que los hace recomendables a seguir como guía para un adecuado desarrollo del proyecto.

2.3.1 *Etapas del diseño*

El ciclo básico de diseño utiliza varios pasos. El primero, partiendo del enunciado de la necesidad, consta de las actividades que lleva al diseñador a formarse una idea del problema, orientado a determinar sus posibilidades, límites y a depurar las especificaciones, para en lo posible formar un sistema no repetitivo y suficiente. (RIBA ROMEVA, 2002, p. 73) Al ser una etapa primordial del proceso, la definición del producto mediante la función de calidad QFD, que considera las necesidades y requerimientos de los usuarios, es una traducción de los seis caracteres Kanji japoneses Hin Shitsu Ki No Ten Kai y se define como un sistema para la traducción de necesidades del consumidor a requerimientos apropiados de la compañía en cada etapa desde la investigación y desarrollo del producto, hasta ingeniería, manufactura, mercadotecnia, ventas y distribución. (EUREKA & RYAN, 1994)

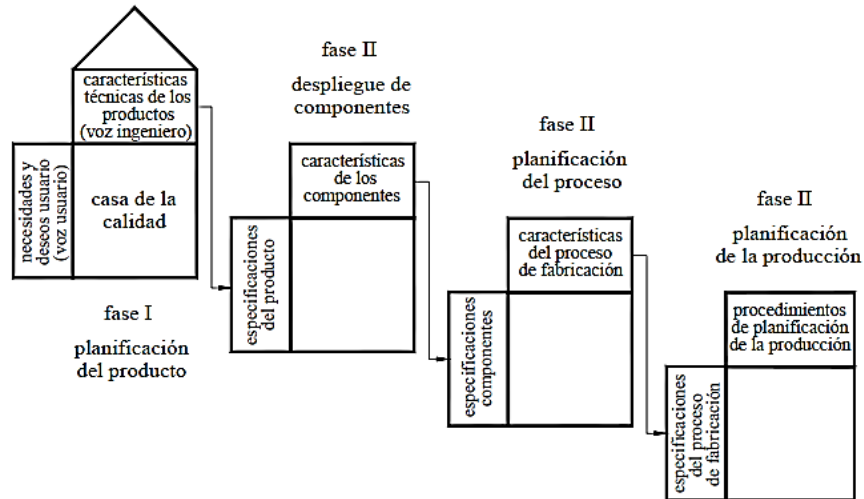
El segundo paso se refiere a la formulación de alternativas de solución, combinando diversos elementos, ideas y filosofías de diseño para formar grupos que respondan a las especificaciones dadas en un inicio.

El tercer paso trata de conseguir las pautas de diseño mediante una simulación, ya sea con prototipos virtuales o físicos, estableciendo utilidad, eficacia, calidad y aceptación de las soluciones propuestas previamente. La evaluación, como último paso, pondera el comportamiento en conjunto de los diseños propuestos en distintos aspectos a fin de compararlos y seleccionar el más óptimo. (RIBA ROMEVA, 2002, p. 73)

En otras palabras, el modelo lineal del proceso de diseño permite identificar las fases del diseño que son aceptadas generalmente, en donde la primera fase trata de los principios de solución al problema sintetizando soluciones probables y evaluando de acuerdo a parámetros establecidos, conocida como diseño conceptual.

En la segunda fase de diseño preliminar, se obtienen formas, materiales y planos de conjunto que representen al producto como un conjunto real. En la tercera fase que es el diseño de detalle corresponde a la realización de planos de detalle, etapas de fabricación, busca de proveedores, entre otros, para llegar a materializar el diseño del producto. (RIBA ROMEVA, 2002, p. 78)

Figura 19-2: Esquema General de Desarrollo de la Función de Calidad



Fuente: (RIBA ROMEVA, 2002, p. 178)

CAPITULO III

3. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO PARA LA MÁQUINA CORTADORA Y DESPULPADORA DE CACAO

El presente capítulo trata sobre el análisis de las alternativas de solución posibles para la máquina cortadora y despulpadora de cacao, haciendo uso de la casa de calidad o matriz QFD y de las herramientas de diseño concurrente.

3.1 Matriz de la Calidad (QFD)

El desarrollo de la función de calidad es un método globalizador cuyo objetivo principal es asegurar que se tiene en cuenta los deseos del usuario o cliente y se los transforma en requerimientos técnicos de ingeniería en cada fase del diseño y de la fabricación, a la vez que constituye una ayuda para la planificación de la calidad durante el ciclo de vida. (RIBA ROMEVA, 2002, p. 176)

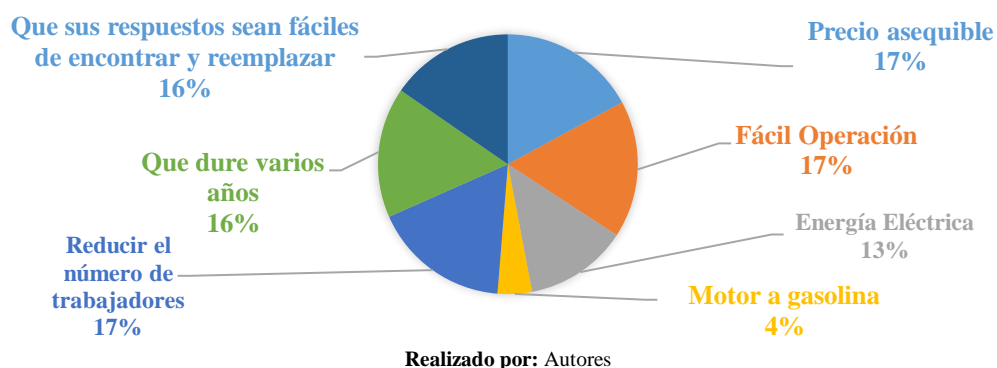
Este método de implementación de un producto se divide en cuatro partes y son, planificación del producto, despliegue de componentes, planificación de proceso y planificación de la producción (RIBA ROMEVA, 2002, p. 177). La facilidad, consistencia y particularidad con que se puede desarrollar un producto a partir de esta matriz, la hace una de las herramientas más utilizadas. A continuación, se describen los pasos a seguir para su desarrollo.

Voz del usuario: Describe los requerimientos que el usuario tiene con respecto a la máquina. Por lo general se clasifican en básicas (B), unidimensionales (O) y estimulantes (E). (RIBA ROMEVA, 2002, p. 179)

Los requerimientos que se presentan a continuación para la máquina cortadora y despulpadora de cacao fueron desarrollados en función a diálogos y encuestas realizadas a varios agricultores de los cantones Santo Domingo de los Tsáchilas, Valle Hermoso y La Concordia, pertenecientes a la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas y de la parroquia La Unión, cantón Quinindé, perteneciente a la provincia de Esmeraldas. (Ver anexo A)

Todos los encuestados brindaron y compartieron conocimientos necesarios sobre el cultivo, cosecha, corte, despulpado y procesado del cacao; con más de 20 años de experiencia trabajando con cacao, su aporte fue de gran ayuda para el presente apartado.

Gráfica 1-3: Tabulación de Encuestas a los Agricultores



Luego de analizar las encuestas se pudieron disgregar los siguientes requerimientos, de los cuales se seleccionaron los más importantes:



Tabla 1-3: Requerimientos del Usuario

Concepto	Requerimiento
Función	Capacidad de corte y despulpado de cacao en la máquina mínimo de 2400 mazorcas por hora, mayor a las que se realiza manualmente, sin ocasionar daño a los granos de cacao
Dimensiones	De acuerdo a la capacidad de corte y despulpado de mazorcas.
Nivel de Automatización	Semiautomático - etapa de dosificación y recolección de forma manual Mínimo número de operarios
Ergonomía	Fácil dosificación de materia prima y recolección de granos de cacao
Materiales	Que no contamine los granos de cacao Resistente a las condiciones de trabajo
Consumo de energía	Apta para funcionar con electricidad
Operación y mantenimiento	De fácil y segura operación. De fácil mantenimiento y desmontaje (en caso de piezas que requieran reemplazo después de vida útil)
Costos	Precio accesible a los agricultores
Transporte	Que sea fácil de transportar

Realizado por: Autores

Análisis de la Competencia: se analiza la importancia que el usuario da al cumplimiento de los requerimientos en los productos propios y de la competencia, con una evaluación en un rango de 1 a 5. (RIBA ROMEVA, 2002, p. 179)

Tabla 2-3: Características Técnicas de las Competencias

Competencia 1	Competencia 2
	
<p>Modelo: Mecal A70 (Brasil) Potencia: moto reductor (2) – 1,5 cv (1,48 hp) Voltaje: 110/220 V Capacidad media: 4200 frutas/hora Material: Eстера transportadora y cilindro: acero inoxidable. Estructura general: acero al carbono Dimensiones: Longitud: 3,20 m Ancho: 1,20 m Altura: 1,80 m Costo: \$19750 (SIN IMPUESTOS)</p>	<p>Modelo: (Ecuador) Potencia: 2hp Voltaje: 220 V Capacidad media: 50 -100 qq diarios Material: acero al carbono Dimensiones: Longitud: 3,2 m Ancho:1,09 m Altura:1,6 m Costo: \$3000-\$4000</p>

Realizado por: Autores

Fuente: (MECAL, 2018) y (CUENCA, 2015)

Voz del ingeniero: es trasladar las demandas del usuario a requerimientos técnicos para el desarrollo de la máquina, los mismos que se listan a continuación.

- Sistema de corte y despulpado
- Dimensiones del equipo
- Nivel de automatización
- Sistema de alimentación y recolección
- Materiales
- Energía
- Mantenibilidad
- Costo máximo

Correlaciones: se estudia el alcance que llegaría a tener cada requerimiento técnico para cumplir cada demanda propuesta por el usuario. La simbología utilizada junto a su valor numérico se muestra a continuación.

Tabla 3-3: Simbología y Valores Numéricos Utilizados en Correlaciones

Grado de relación	Simbología	Valor numérico
Fuerte	⊙	9
Medio	○	4
Bajo	▽	1
Sin correlación		0

Realizado por: Autores

Fuente: (RIBA ROMEVA, 2002, p. 180)

Comparación técnica: en esta fase se evalúa la influencia que tiene cada requerimiento técnico en satisfacer las demandas de los usuarios y los valores referenciales para las características de calidad.

Compromisos técnicos: son las relaciones de características de calidad que componen el techo de la matriz QFD, establecidos en cuatro niveles junto con su simbología. En la relación positiva, cuando mejora una característica mejora la otra; en la negativa, al mejorar una empeora la otra. También se puede dar el caso que no exista relación entre las mismas.

Tabla 4-3: Simbología y Valores Numéricos Utilizados en Compromisos Técnicos

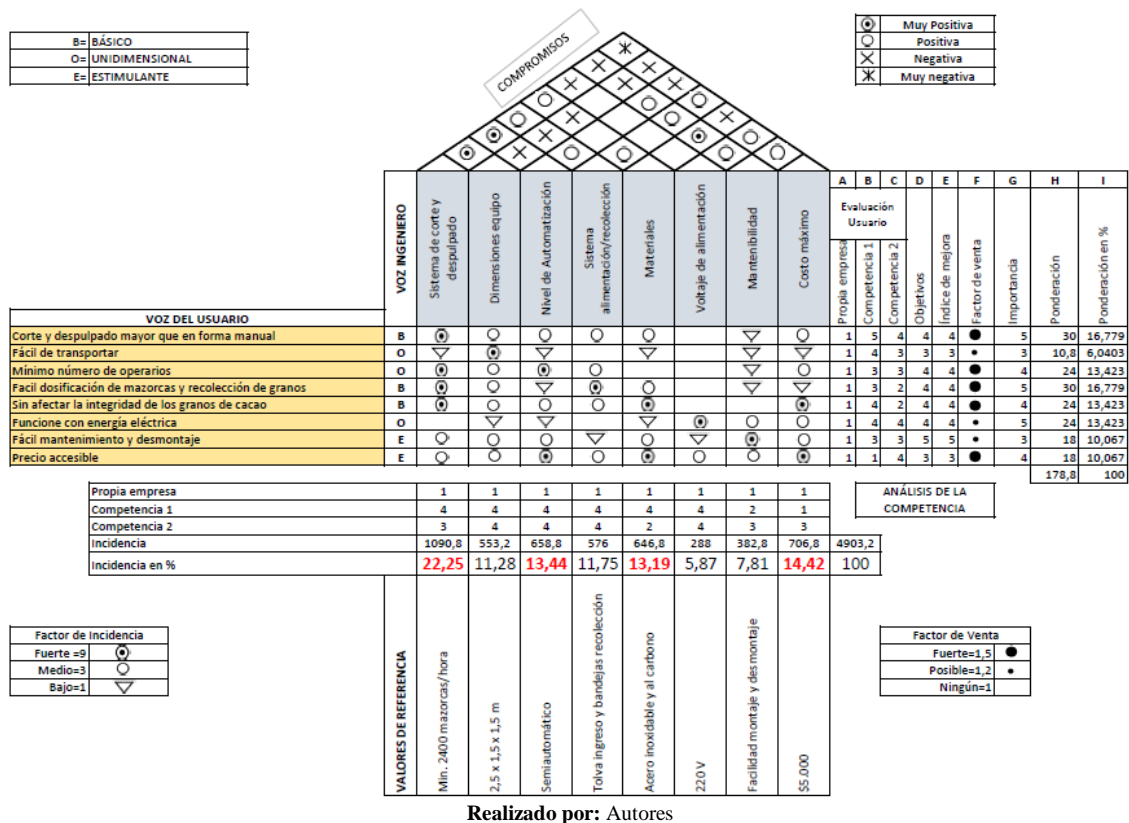
Compromiso	Simbología	Valor numérico
Muy positivo	⊙	4
Positivo	○	3
Negativo	×	2
Muy Negativo	✕	1

Realizado por: Autores

Fuente: (RIBA ROMEVA, 2002, p. 181)

Una vez analizado los pasos a seguir para realizar una matriz QFD se procede a su desarrollo. En la tabla 5-3 se puede observar la casa de calidad empleada para la máquina cortadora y despulpadora de cacao.

Tabla 5-3: Casa de la Calidad de la Máquina Cortadora y Despulpadora de Cacao



Realizado por: Autores

Luego de obtener los resultados, a partir de la matriz QFD, se puede observar las características de diseño más importantes para definir el producto. Los altos porcentajes obtenidos se refieren a las características técnicas relacionados con el sistema de corte y despulpado de cacao, nivel de automatización, materiales acordes a la función a desempeñar y costo máximo del equipo.

3.2 Diseño Modular

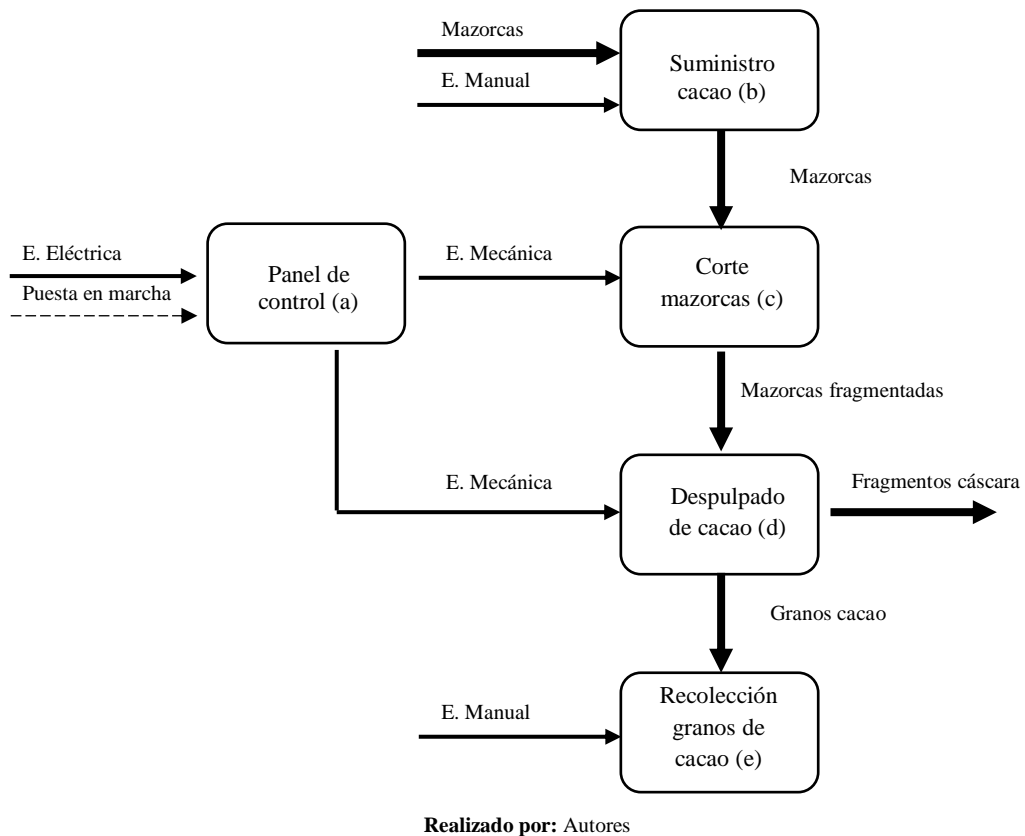
La organización y aplicación de las distintas funciones y operaciones por medio de módulos, para integrarse en conjuntos más complejos, para mejor comprensión del producto es lo que se conoce como modularidad de un producto. (RIBA ROMEVA, 2002). Separar las funciones principales que realiza una máquina en módulos, en base a una función global, explicando las señales que deben ingresar y salir para realizar el proceso, mejora el entendimiento de los mecanismos en cada sistema. En la figura 1-3 se muestra un análisis funcional global del equipo a diseñar, es decir, el trabajo principal que se quiere resolver con la máquina cortadora y despulpadora de cacao.

Figura 1-3: Análisis Funcional Global de la Máquina



Luego de identificar los flujos de entrada y salida en la función global de la máquina, se procede a separarla en funciones que, relacionadas entre sí, consiguen el cumplimiento de la función global. La siguiente figura muestra dichas subfunciones.

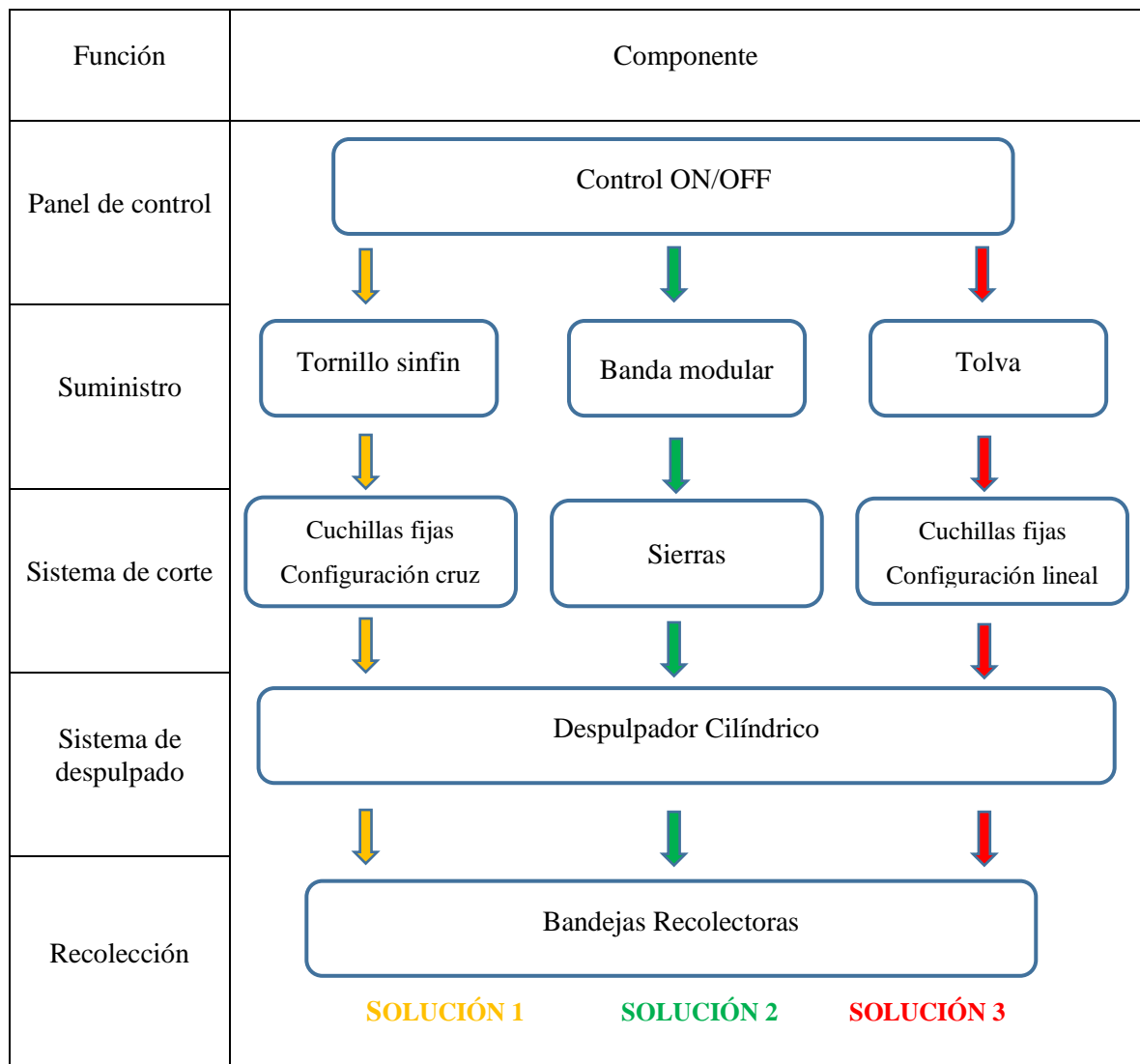
Figura 2-3: Análisis de las Subfunciones de la Máquina



3.3 Matriz Morfológica

En la tabla 6-3, la matriz morfológica realizada indica de forma detallada el componente necesario para cada función específica que requiere el equipo, generando alternativas de solución para la máquina cortadora y despulpadora de cacao.

Tabla 6-3: Matriz Morfológica



Realizado por: Autores

3.3.1 Alternativas de solución

A continuación, se presentan de forma detallada las soluciones encontradas en la matriz morfológica, analizando las ventajas y desventajas que las mismas presentan.

SOLUCIÓN 1: La máquina está construida en su totalidad en acero al carbono. Puesta en marcha la máquina, se suministra el cacao de forma manual, el tornillo sin fin traslada las mazorcas hasta las cuchillas, configuradas en forma de cruz, para cortarlas; los frutos fragmentados caen dentro del cilindro despulpador, el cual separa los granos de cacao hacia una bandeja recolectora y los restos de cáscara caen al final del recorrido del cilindro, fuera del equipo.

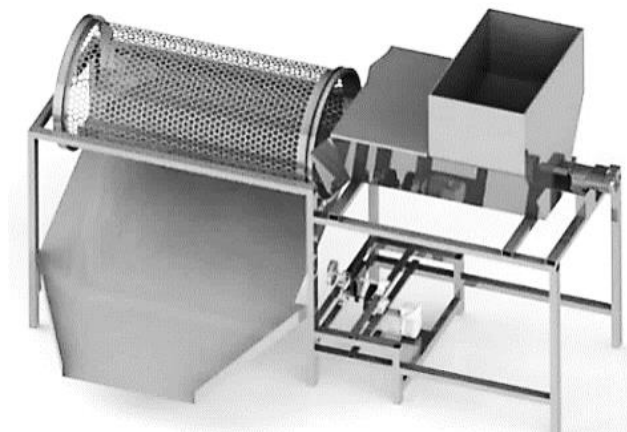
Ventajas:

- Costo por debajo del estimado por el cliente
- Sistema de corte robusto y resistente a grandes impactos

Desventajas:

- Sus dimensiones exceden las requeridas por el cliente
- Fragmentación excesiva de las mazorcas de cacao
- Contaminación de granos de cacao debido a los materiales de construcción

Figura 3-3: Representación Gráfica Solución 1



Realizado por: Autores

SOLUCIÓN 2: La máquina está construida en su totalidad en acero inoxidable. Puesta en marcha la máquina, se suministra el cacao de forma manual, la banda de alimentación traslada las mazorcas hasta las sierras, ubicadas en la parte final de la misma, para proceder a cortarlas; las cáscaras y granos caen dentro del cilindro despulpador, el cual separa los granos de cacao hacia una bandeja recolectora y los restos de cáscara caen al final del recorrido del cilindro, fuera del equipo.

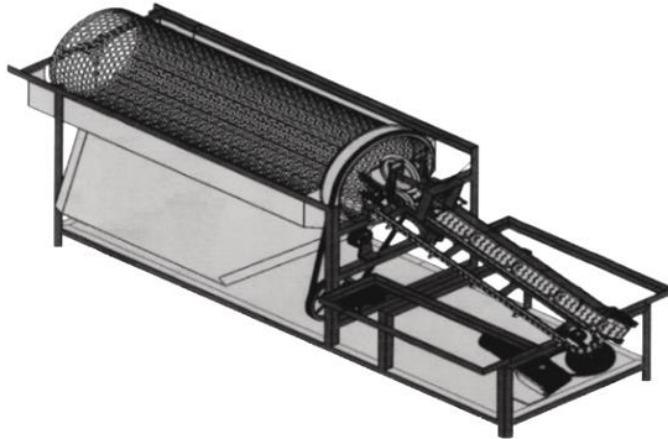
Ventajas:

- No existe contaminación de los granos debido a materiales de construcción
- Corte de mazorcas de forma longitudinal y limpia

Desventajas:

- Colocación limitada de mazorcas en la estera de alimentación
- Sobrepassa el costo estimado por el cliente
- Sus dimensiones exceden las requeridas inicialmente

Figura 4-3: Representación Gráfica Solución 2



Realizado por: Autores

SOLUCIÓN 3: La máquina está construida en una combinación de acero al carbono y acero inoxidable. Puesta en marcha la máquina, se suministra el cacao de forma manual, las aspas giratorias acomodan y presionan las mazorcas contra las cuchillas de tal forma que las cuchillas proceden a cortarlas; las cáscaras y granos caen dentro del cilindro despulpador, el cual separa los granos de cacao hacia una bandeja recolectora y los restos de cáscara caen al final del recorrido del cilindro fuera del equipo.

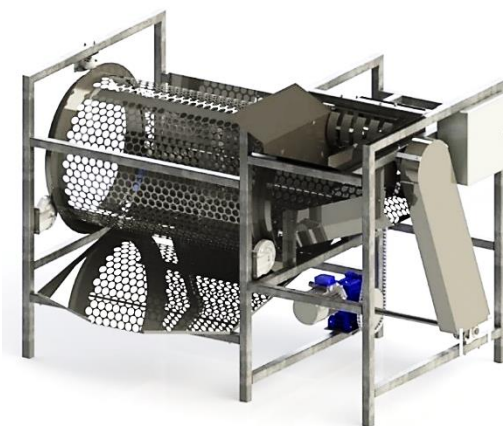
Ventajas:

- Capacidad alta de despulpado
- Velocidad de corte programable
- Sin contaminación de granos de cacao debido a materiales de construcción

Desventajas:

- De mayor peso que la competencia
- De mayor ruido en el sistema de alimentación a colocar las mazorcas

Figura 5-3: Representación Gráfica Solución 3



Realizado por: Autores

3.4 Evaluación de Alternativas de Solución

La decisión de la mejor alternativa en base a las propuestas descritas anteriormente se la realiza mediante el método ordinal corregido de criterios ponderados, el cual se basa en unas tablas donde cada criterio (o solución, para un determinado criterio) se confronta con los restantes criterios y se asignan los valores correspondientes mostrados a continuación. (RIBA ROMEVA, 2002)

- 1 = Si el criterio de las filas es superior que el de las columnas
- 0,5 = Si el criterio de las filas es igual al de las columnas
- 0 = Si el criterio de las filas es inferior que el de las columnas

Tabla 7-3: Evaluación de los Criterios más Importantes

	Sistema de corte y despulpado	Materiales	Nivel Automatización	Costo Fabricación	$\Sigma+1$	Ponderación
Sistema de corte y despulpado		0,5	1	1	3,5	0,35
Materiales	0,5		1	1	3,5	0,35
Nivel Automatización	0	0		0	1	0,1
Costo Fabricación	0	0	1		2	0,2
					10	1

Realizado por: Autores

Basándonos en el método descrito anteriormente se procedió a realizar la evaluación de las alternativas de solución en base a los criterios más preponderantes obtenidos en la casa de la calidad, los cuales se presentan en la tabla 7-3.

A continuación, se evaluaron las tres alternativas de solución presentadas en base a cada criterio de referencia.

Tabla 8-3: Evaluación de Soluciones sobre el Sistema de Corte y Despulpado

Sistema Corte y Despulpado	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	0	1	0,17
Solución 2	1		0	2	0,33
Solución 3	1	1		3	0,5
				6	1

Solución 3 > Solución 2 > Solución 1

Realizado por: Autores

Tabla 9-3: Evaluación de Soluciones con Respecto a Materiales

Materiales	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	0	1	0,17
Solución 2	1		1	3	0,5
Solución 3	1	0		2	0,33
				6	1

Solución 2 > Solución 3 > Solución 1

Realizado por: Autores

Tabla 10-3: Evaluación de Soluciones con respecto a Costo de Fabricación

Costo de Fabricación	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	0,50
Solución 2	0		0	1	0,17
Solución 3	0	1		2	0,33
				6	1

Solución 1 > Solución 3 > Solución 2

Realizado por: Autores

Tabla 11-3: Evaluación de Soluciones con respecto a Nivel de Automatización

Nivel de Automatización	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	0,5	2	0,33
Solución 2	0,5		0,5	2	0,33
Solución 3	0,5	0,5		2	0,33
				6	1

Solución 1 = Solución 2 = Solución 3

Realizado por: Autores

Después de evaluar cada característica junto a las alternativas de solución, se realiza la ponderación final para encontrar el orden de prioridad, con lo cual se escoge la única y mejor alternativa para el proyecto a desarrollar, lo que se puede observar en la tabla siguiente.

Tabla 12-3: Ponderaciones Finales de las Alternativas de Solución

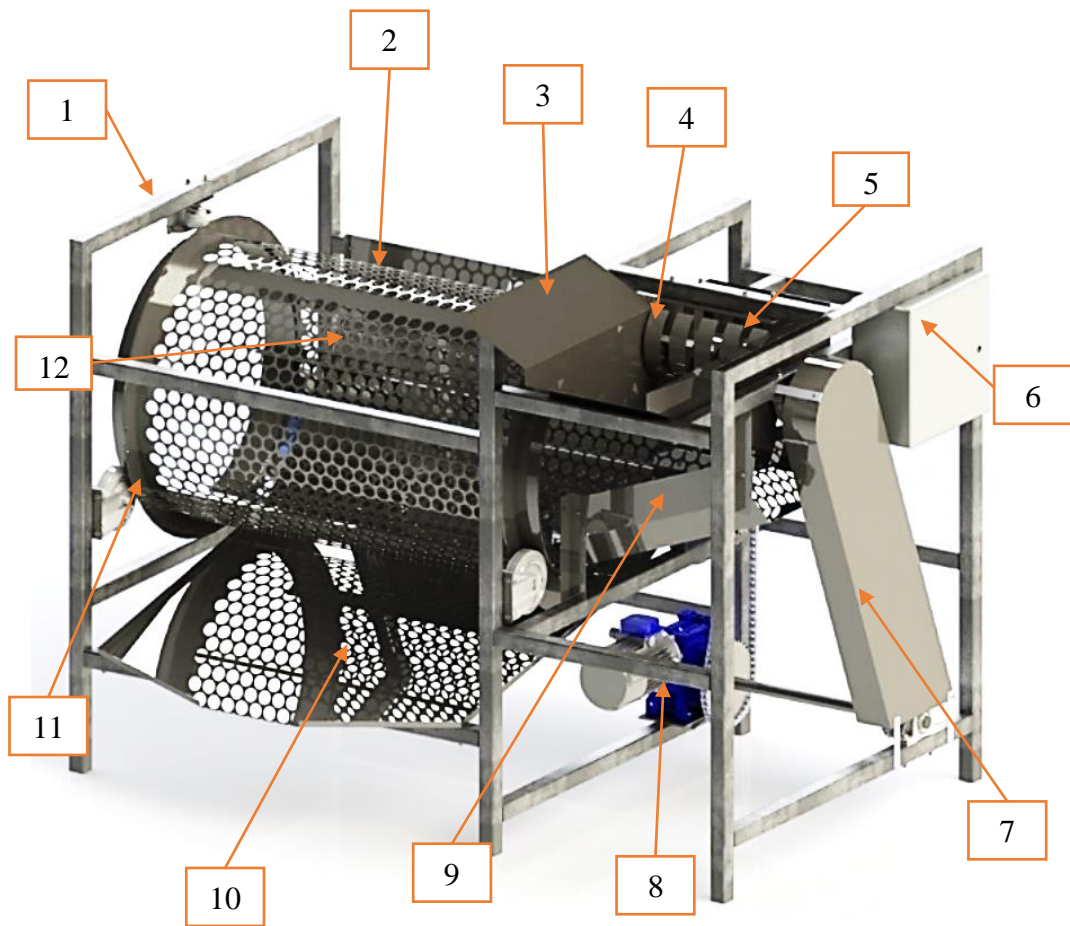
	Sistema corte y despulpado	Materiales	Costo Fabricación	Nivel Automatización	Σ	Prioridad
Solución 1	0,06	0,06	0,1	0,03	0,25	2
Solución 2	0,12	0,18	0,03	0,03	0,36	3
Solución 3	0,18	0,12	0,07	0,03	0,4	1

Realizado por: Autores

Como se puede observar en la tabla 12-3 de ponderaciones finales de las alternativas de solución, la número 3 posee un porcentaje de prioridad de 40% admitiéndola como la mejor opción a seleccionar, ya que cumple con los requerimientos propuestos en la casa de calidad, los mismos que se necesitan para un adecuado proceso de corte y despulpado de mazorcas de cacao.

En la figura 6-3 se muestra el modelo de diseño de la máquina cortadora y despulpadora de cacao, la cual posee un sistema de corte por cuchillas fijas y sujeción de aspas giratorias, un despulpador cilíndrico y bandejas recolectoras para los granos de cacao, además de otros elementos que forman parte del sistema eléctrico, mecánico y estructural del equipo.

Figura 6-3: Solución Final



Realizado por: Autores

La tabla 13-3 define de manera ordenada los diferentes sistemas y elementos principales que constituyen la máquina, indicando su respectivo material y especificación de cada pieza.

Tabla 13-3: Especificaciones de los Sistemas y Elementos Principales

Pieza N°	Denominación	Material	Especificación
1	Estructura	AISI A-500	Soldado
2	Cilindro despulpador	AISI 304	Rolado-Soldado
3	Tolva de alimentación	AISI 304	Doblado-Soldado
4	Aspas giratorias	AISI 304	Rolado-Soldado
5	Cuchillas de corte	AISI 304	Pulido-Soldado

Tabla 13-3 (Continúa): Especificaciones de los Sistemas y Elementos Principales

6	Sistema de control		Catálogo
7	Sistema de transmisión	AISI 1018	Mecanizado
8	Motor eléctrico		220 V
9	Bandeja de traslado	AISI 304	Doblado-Soldado
10	Bandejas de recolección	AISI 304	Doblado-Soldado
11	Ruedas de soporte	Caucho	Catálogo
12	Ruedas de fricción	Caucho	Catálogo

Realizado por: Autores

CAPITULO IV

4. DISEÑO DE LA MÁQUINA CORTADORA Y DESPULPadora DE CACAO

En el presente capítulo se describe el diseño de los elementos de máquina que forman parte de la máquina cortadora y despulpadora de cacao, asegurando que los mismos sean funcionales y confiables, aseverando el correcto funcionamiento de la máquina.

4.1 Parámetros de Diseño

Al ser una máquina poco conocida en el mercado nacional e internacional, tiene un sinnúmero de variables sobre las cuales poco o nada se conoce, ya que la opción de diseño seleccionado, en base a las ponderaciones de las alternativas de solución, es un sistema innovador.

El sistema de corte por cuchillas fijas y sujeción por aspas giratorias tiene diferentes variables físicas como incógnitas, por ejemplo: el tipo de perfil necesario para el corte, el espesor, alto y largo para las cuchillas, la ubicación de éstas dentro del sistema en función de las dimensiones de las mazorcas de cacao, el torque y la velocidad necesaria para que las mazorcas de cacao atraviesen el sistema de corte. Por todas estas inquietudes, se tomó la decisión de estimar y evaluar experimentalmente las variables que afectan severamente el diseño en los elementos del sistema de corte.

Tabla 1-4: Estimación de las Variables

Variable	Impacto	Justificación
Caracterización de las mazorcas de cacao (Longitud, ancho, peso)	Alto	De gran importancia para determinar el número y disposición de las cuchillas
Fuerza de corte	Alto	Necesaria para determinar el torque requerido para cortar cada mazorca de cacao y así determinar la potencia y torque del sistema
Perfil de corte de las cuchillas	Alto	Este perfil será el encargado de interactuar entre la cuchilla y la mazorca conllevando a una mayor o menor fuerza de corte

Tabla 1-4 (Continúa): Estimación de las Variables

Largo de la cuchilla	Medio	El largo de la cuchilla se puede calcular analíticamente en función de su resistencia, una vez se haya obtenido la fuerza de corte.
Alto de la cuchilla	Medio	El alto de la cuchilla se puede calcular analíticamente en función de su resistencia, una vez se haya obtenido la fuerza de corte.
Espesor de la cuchilla	Alto	El espesor adecuado garantizará la resistencia de la cuchilla y a la vez reducirá o aumentará el esfuerzo de corte.
Forma de corte	Alto	De acuerdo a las propiedades físicas del cacao suponemos que requerirá una fuerza de corte diferente para un corte longitudinal y un corte transversal
Velocidad	Medio	La velocidad está directamente ligada a la capacidad requerida de la máquina y a la transmisión de potencia, las cuales se calcularán analíticamente

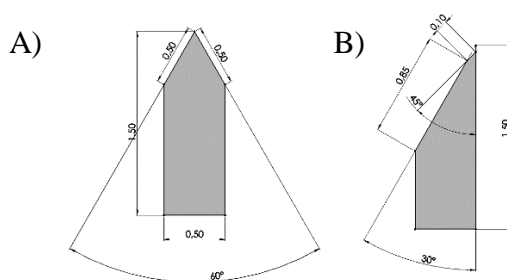
Realizado por: Autores

A partir del análisis efectuado sobre las variables presentadas en la tabla 1-4, se concluyó realizar un ensayo experimental, simulando el sistema de corte, para obtener la fuerza de corte en función del perfil y espesor de la cuchilla, manteniendo constantes el largo y alto de las mismas.

4.1.1 Configuración de parámetros de cuchillas para el ensayo

Al no haber información suficiente sobre perfiles de cuchillas para corte en mazorcas de cacao, se optó por tomar en cuenta investigaciones sobre elementos de similar o mayor dureza en el campo agrícola (GUTIERREZ VACA, et al., 2013). Así se definieron los dos perfiles que se detallan a continuación, la figura (A) perfil de corte 1 y (B) perfil de corte 2.

Figura 1-4: Perfiles de Cuchillas de 1/2 in



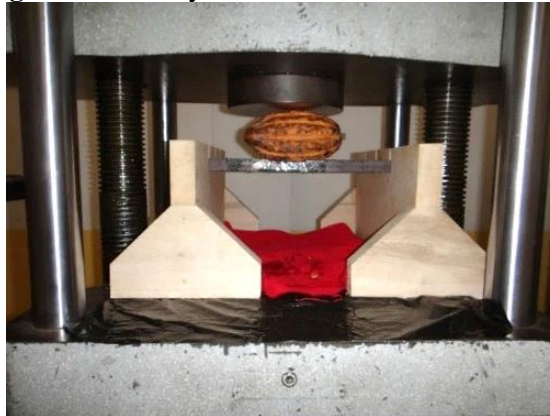
Fuente: Autores

Se tomó en cuenta los espesores de 1/4 in, 3/8 in y 1/2 in para construir 6 cuchillas de corte y un soporte de madera para realizar los ensayos.

4.1.2 Realización del ensayo, caracterización de mazorcas y semillas de cacao

El procedimiento para realizar un ensayo de corte en mazorcas de cacao no está estandarizado, por lo cual se estableció un algoritmo acoplado a las variables necesarias mencionadas en la tabla 1-4. Los ensayos se realizaron en la máquina universal localizada en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Los resultados en detalle del ensayo se indican en el anexo B. Los pasos establecidos para la realización del mismo fueron los siguientes:

Figura 2-4: Ensayo de Corte de Mazorca de Cacao

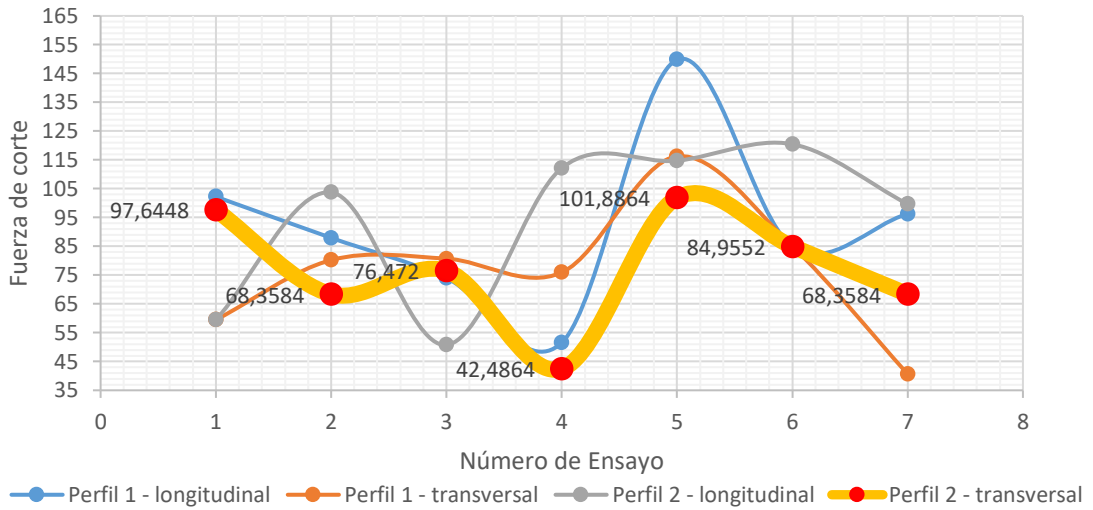


Fuente: Autores

1. Colocar el porta cuchillas en la máquina universal.
2. Seleccionar la cuchilla correspondiente a experimentar de acuerdo a su espesor y perfil.
3. Acoplar la cuchilla en el porta cuchillas.
4. Tomar medidas de peso, diámetro máximo y longitud de cada mazorca de cacao.
5. Colocar la mazorca sobre la cuchilla y realizar la precarga necesaria en la máquina universal para conseguir fijarla sobre la cuchilla.
6. Aplicar la carga a una velocidad de 4 mm/min, relativamente baja, para observar todos los efectos de corte posibles sobre la mazorca de cacao.
7. Retirar la mazorca cortada y proceder a la toma de medidas de peso, longitud y ancho de las semillas de cacao.

Con el total de datos obtenidos en los ensayos se realizó la siguiente gráfica:

Gráfica 1-4: Fuerza de Corte vs Número de Ensayo



Realizado por: Autores

La gráfica 1-4 pertenece a las cuchillas de 1/4 in con perfil 1 y perfil 2 escogidas de la comparación entre los 3 espesores de cuchillas: 1/4 in, 3/8 in y 1/2 in, donde concluimos que los valores de fuerza fluctúan, ya que cada mazorca de cacao tiene diferentes propiedades de dureza, a pesar de ello en los ensayos de corte transversal realizados con el perfil 2 se genera una curva de menor fuerza de corte. Esto se confirma al realizar un promedio de los valores existentes del ensayo para el perfil 2 de espesor 1/4 in.

En base a los datos arrojados durante los ensayos en una muestra de noventa mazorcas de cacao, se muestran en la siguiente tabla los resultados promedios totales de longitud, ancho y peso de mazorcas, así como la fuerza de corte requerida para su fragmentación.

Figura 3-4: Medición de Mazorcas de Cacao



Fuente: Autores

Tabla 2-4: Dimensiones y Fuerza de Corte de las Mazorcas de Cacao

MAZORCAS DE CACAO				
Parámetro \ Datos	Máximo	Mínimo	Promedio	Desviación estándar
Longitud (cm)	26,3	16,5	20,944	2,124
Ancho (cm)	12,509	8,817	10,945	0,856
Masa (Kg)	1,8	0,52	0,991	0,236
Fuerza De Corte (Kgf)	127	25,766	86,74	32,99

Realizado por: Autores

Las semillas de cacao tienen un rol dominante en el tema de diseño del sistema de despulpado. Por lo que se presenta en la tabla 3-4, en función de una muestra de 100 granos de cacao, los datos promedios finales de las dimensiones obtenidas de las semillas.

Figura 4-4: Medición de Longitud y Ancho de Semilla de Cacao



Fuente: Autores

Tabla 3-4: Dimensiones de Semillas de Cacao

SEMILLAS DE CACAO				
Dimensiones \ Datos	Promedio	Máximo	Mínimo	Desviación estándar
Longitud (mm)	28,419	33	23,7	2,057
Ancho (mm)	15,276	18,3	14	0,801
Espesor (mm)	10,556	13,8	9	0,951

Realizado por: Autores

Con los datos de las tablas 2-4 y 3-4 se realizó un ligero reajuste, utilizando el dato de desviación estándar calculado, en función a la configuración de cada uno de los elementos de la máquina, obteniendo así los resultados para las siguientes variables:

- Fuerza de corte requerida

$$F_c = F_{prom} + S_c \quad (1)$$

Donde:

F_c es la fuerza de corte requerida

F_{prom} es la fuerza de corte promedio

S_c es la desviación estándar obtenida de los datos de fuerza de corte

$$F_c = (86,740 + 32,990) \text{ kgf} = 119,730 \text{ kgf}$$

$$F_c = 1174,15 \text{ N}$$

- Longitud máxima de mazorcas de cacao

$$L_{max_{mz}} = L_{max} + S_{L_{mz}} \quad (2)$$

Donde:

$L_{max_{mz}}$ es la longitud máxima de mazorcas resultante

L_{max} es la longitud máxima de mazorcas

$S_{L_{mz}}$ es la desviación estándar obtenida de los datos de longitud de mazorcas

$$L_{max_{mz}} = (26,3 + 2,12) \text{ cm} = 28,42 \text{ cm}$$

$$L_{max_{mz}} = 0,2842 \text{ m}$$

- Ancho mínimo de mazorcas de cacao

$$A_{min_{mz}} = A_{min} - S_{a_{mz}} \quad (3)$$

Donde:

$A_{min_{mz}}$ es el ancho mínimo de mazorcas resultante

A_{min} el ancho mínimo de mazorcas

$S_{a_{mz}}$ es la desviación estándar obtenida de los datos de ancho de mazorcas

$$A_{min_{mz}} = (8,817 - 0,856) \text{ cm} = 7,96 \text{ cm}$$

$$A_{min_{mz}} = 0,0796 \text{ m}$$

- Masa de mazorcas de cacao

$$m_{mz} = m_{prom} + S_{m_{mz}} \quad (4)$$

Donde:

m_{mz} es la masa de mazorcas resultante

m_{prom} es la masa de mazorcas promedio

$S_{m_{mz}}$ es la desviación estándar obtenida de los datos de la masa de mazorcas

$$m_{mz} = (0,991 + 0,236) \text{ kg}$$

$$m_{mz} = 1,227 \text{ kg}$$

- Longitud máxima de semillas de cacao

$$L_{max_{sc}} = L_{max} + S_{L_{sc}} \quad (5)$$

Donde:

$L_{max_{sc}}$ es la longitud máxima de semillas de cacao resultante

L_{max} es la longitud máxima de semillas de cacao

$S_{L_{sc}}$ es la desviación estándar obtenida de los datos de longitud de semillas de cacao

$$L_{max_{sc}} = (33 + 2,057) \text{ mm}$$

$$L_{max_{sc}} = 35,057 \text{ mm}$$

- Ancho mínimo de semillas de cacao

$$A_{min_{sc}} = A_{min} + S_{a_{sc}} \quad (6)$$

Donde:

$A_{min_{sc}}$ es el ancho mínimo de semillas de cacao resultante

A_{min} es el ancho mínimo de semillas de cacao

$S_{a_{sc}}$ es la desviación estándar obtenida de los datos de ancho de semillas de cacao

$$A_{min_{sc}} = (18,3 + 0,8) \text{ mm}$$

$$A_{min_{sc}} = 19,1 \text{ mm}$$

4.2 Sistema de Corte de Mazorcas de Cacao

En este apartado realizamos el diseño mecánico de los elementos que conforman el sistema de corte de la máquina cortadora y despulpadora de cacao.

4.2.1 Velocidad del eje de corte

De acuerdo con la especificación requerida de 2400 mazorcas por hora y la solución escogida es de corte con cuchillas fijas y aspas giratorias, se calculará la velocidad requerida para el sistema para el corte de las mazorcas. Así se tiene lo siguiente:

$$\text{Capacidad máxima} = \frac{\text{Cantidad mazorcas}}{\text{minuto}} = \frac{2400}{60} = 40 \text{ mz/min}$$

De acuerdo al diseño del sistema de corte, el cual tiene una capacidad de corte de 4 mazorcas por cada revolución del eje, entonces se tiene una velocidad de 10 rpm:

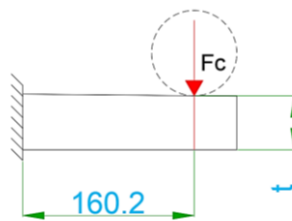
$$\text{Velocidad mínima} = \frac{\text{Capacidad}}{\text{mz/rev}} = \frac{40 \text{ mz/min}}{4 \text{ mz/rev}} = 10 \text{ rpm}$$

Por cuestiones de diseño, para el sistema de alimentación se asume una velocidad de 17 rpm (equivalente a 1,78 rad/s) la cual se verificará durante las pruebas de funcionamiento.

4.2.2 Diseño de cuchillas de corte

Con los datos del ensayo realizado en el apartado 4.1 tenemos el espesor y perfil de cuchilla adecuado. Además de los datos estadísticos sobre la geometría y fuerza corte requerida para partir mazorcas de cacao, ahora se debe verificar el alto de la cuchilla.

Figura 5-4: Fuerza de Corte Aplicado a la Cuchilla



Fuente: Autores

$$\sqrt{\partial^2 + 3\tau^2} = \frac{S_y}{n} \quad (7)$$

$$\partial = \frac{Mc}{I} \quad (8)$$

$$\partial = \frac{(282,148)\left(\frac{t}{2}\right)}{\frac{(0,006)(t^3)}{12}}$$

$$\partial = \frac{2,8214 \times 10^5}{t^2}$$

$$\tau = \frac{Fc}{b * t} \quad (9)$$

$$\tau = \frac{1761,23}{0,006}$$

$$\tau = \frac{587075}{2t}$$

$$\sqrt{\left(\frac{2,8214 \times 10^5}{t^2}\right)^2 + 3\left(\frac{587075}{2t}\right)^2} = \frac{220 \times 10^6}{2}$$

$$t = 0,05075 \text{ m}$$

Del valor calculado, se selecciona una cuchilla de alto de 50,8 mm, por ser un tamaño comercial. Ahora se verifica dichos valores sometidos a fatiga.

$$\partial m_{eq} = \sqrt{\partial m^2 + 3\tau_m^2} \quad (10)$$

$$\partial a_{eq} = \sqrt{\partial a^2 + 3\tau_a^2} \quad (11)$$

$$\partial = \frac{Mc}{I}$$

$$\partial = \frac{282,148 * 0,0254}{6,55 \times 10^{-8}}$$

$$\partial = 109,33 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{Fc}{b * t}$$

$$\tau = \frac{1,5 * 1174,15}{0,006 * 0,0508}$$

$$\tau = 5,78 \text{ MPa}$$

$$\partial_m = \partial_a = \frac{\partial}{2}$$

$$\partial_m = \partial_a = 54,67 \text{ MPa}$$

$$\tau_m = \tau_a = \frac{\tau}{2}$$

$$\tau_m = \tau_a = 2,89 \text{ MPa}$$

$$\partial m_{eq} = \sqrt{(54,67 \times 10^6)^2 + 3(2,89 \times 10^6)^2}$$

$$\partial m_{eq} = 54,86 \text{ MPa}$$

$$\partial a_{eq} = \sqrt{(54,67 \times 10^6)^2 + 3(2,89 \times 10^6)^2}$$

$$\partial a_{eq} = 54,86 \text{ MPa}$$

$$\frac{\partial a_{eq}}{S_e} + \frac{\partial m_{eq}}{S_y} = \frac{1}{n} \quad (12)$$

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (13)$$

$$S'_e = 0,5 S_u \quad (14)$$

Donde:

K_a = factor de modificación de la condición superficial (ver anexo C)

K_b = factor de modificación del tamaño (ver anexo D)

K_c = factor de modificación de la carga (ver anexo E)

K_d = factor de modificación de la temperatura (ver anexo F)

K_e = factor de confiabilidad (ver anexo G)

K_f = factor de modificación de efectos varios

S'_e = límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

S_e = límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.

$$k_a = a S_u^b = 57,7(520)^{-0,718} = 0,647$$

$$k_b = 1,24 d^{-0,107} = 1,24(14,10)^{-0,107} = 0,934$$

$$k_c = 0,8$$

$$k_d = k_f = 1$$

$$k_e = 0,814$$

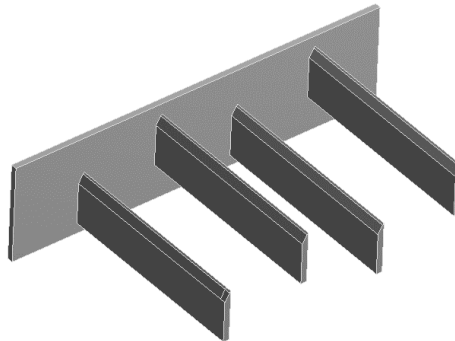
$$S_e = 102,31 \text{ MPa}$$

$$\frac{54,86}{102,31} + \frac{54,86}{220} = \frac{1}{n}$$

$$n = 1,273$$

Este valor calculado se verificará con el valor obtenido de una simulación realizada en el software ANSYS, la figura 6-4 muestra el modelo idealizado de las cuchillas de corte.

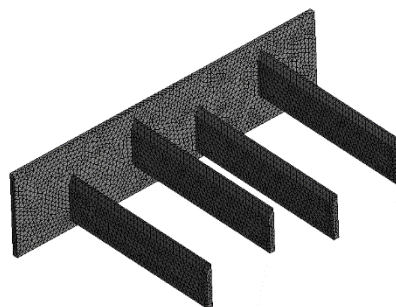
Figura 6-4: Modelo Idealizado de las Cuchillas de Corte



Fuente: Autores

Después de tener el modelo idealizado, se procedió a realizar el mallado con el debido proceso de refinamiento teniendo como resultado una calidad de malla promedio de 0,79. La siguiente imagen presenta el mallado del elemento.

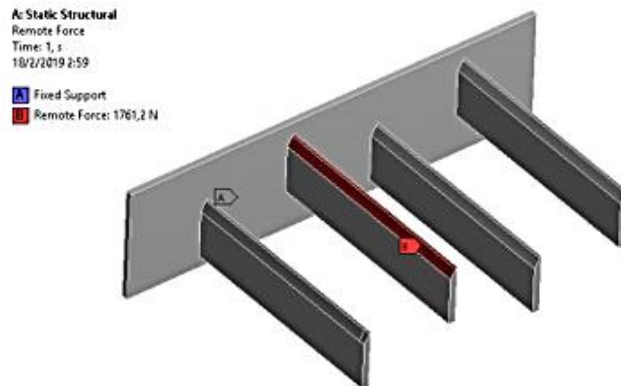
Figura 7-4: Mallado de las Cuchillas



Fuente: Autores

En este análisis, la base de las cuchillas está apoyada en un extremo fijo que simula el anclaje a la estructura mientras que en una sección del perfil de la cuchilla se aplica la carga, la cual simula la fuerza de corte de 1761,2 N.

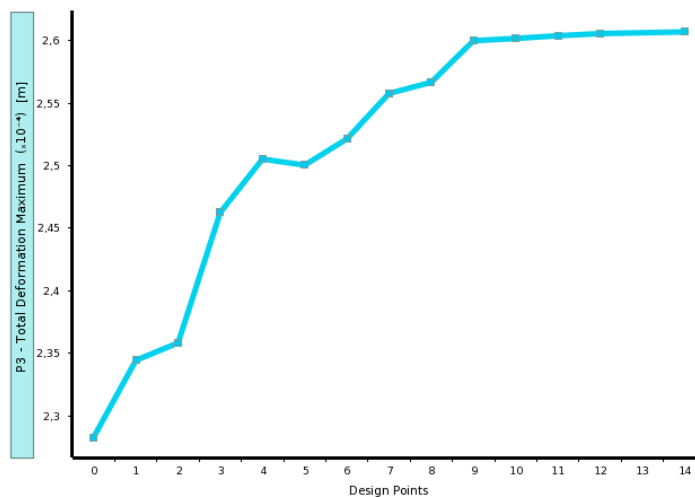
Figura 8-4: Análisis de las Cuchillas con Carga Aplicada



Fuente: Autores

Para terminar, se realizan los cálculos, seguido de un análisis de convergencia para obtener datos confiables. En la siguiente gráfica se puede apreciar como las deformaciones convergen para un elemento de tamaño 0,0048 m.

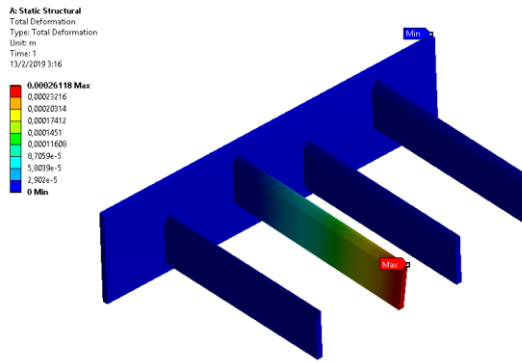
Gráfica 2-4: Convergencia en la Deformación de las Cuchillas



Fuente: Autores

Con el tamaño de elemento obtenido en la convergencia se analiza nuevamente el cálculo, obteniendo así los siguientes resultados:

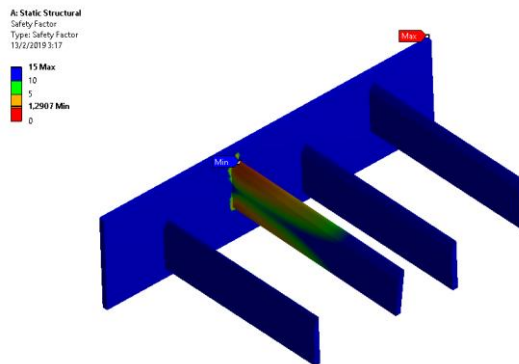
Figura 9-4: Deformación Total en las Cuchillas



Fuente: Autores

De este análisis final podemos obtener un valor máximo de deformación de 0,000226 m conjuntamente con un valor de coeficiente de seguridad de $n = 1,29$ es el cual está muy cercano al factor de seguridad teórico que fue de $n = 1,273$.

Figura 10-4: Factor de Seguridad en las Cuchillas



Fuente: Autores

4.2.2.1 Cálculo de los pernos de anclaje de las cuchillas de corte

Para el cálculo de los pernos de anclaje se seleccionó un grado de 4,8 y los valores de $S_y = 420$ MPa y $S_p = 310$ MPa, calculando así lo siguiente:

- Corte primario

$$V' = \frac{F_c}{4} \tag{15}$$

$$V' = \frac{1,5 * 1174,15}{4}$$

46

$$V' = 440,31 N$$

- Tracción secundaria

$$F_{F1}'' = \frac{Mr_1}{\sum r_i^2} \quad (16)$$

$$F_{F1}'' = \frac{352,24 * 0,0625}{0,0375^2 + 0,0625^2}$$

$$F_{F1}'' = 4144 N$$

$$F_1'' = F_2'' = 2072 N$$

$$F_{F2}'' = \frac{Mr_2}{\sum r_i^2}$$

$$F_{F2}'' = \frac{352,24 * 0,0375}{0,0375^2 + 0,0625^2}$$

$$F_{F2}'' = 2486,4 N$$

$$F_3'' = F_4'' = 1243,2 N$$

$$\sqrt{\partial^2 + 3\tau^2} = S_y \quad (17)$$

$$\tau = \frac{1,15nV'}{A_t} \quad (18)$$

$$\tau = \frac{1,15 * 3 * 440,31}{A_t}$$

$$\tau = \frac{1519,1}{A_t}$$

$$\partial = \frac{F_i}{A_t} + \frac{1,15nCP}{A_t}$$

$$\partial = 0,75 * 310 \times 10^6 + \frac{1,15 * 3 * 0,3 * 2072}{A_t}$$

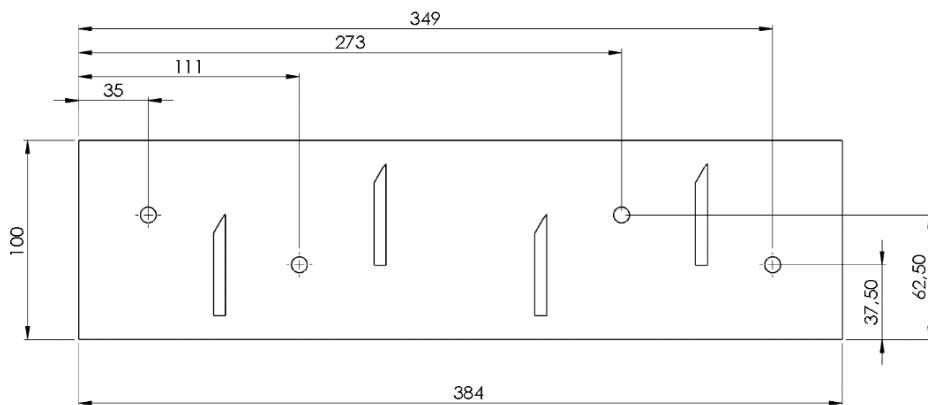
$$\partial = 232 \times 10^6 + \frac{2144,52}{A_t}$$

$$\sqrt{\left(232 \times 10^6 + \frac{2144,52}{A_t}\right)^2 + 3 \left(\frac{1519,1}{A_t}\right)^2} = 420 \times 10^6$$

$$A_t = 14,57 \times 10^{-6} m^2$$

Con el valor obtenido de $A_t = 14,57 mm^2$ se seleccionan los pernos de fijación M6, en base a la tabla del anexo K.

Figura 11-4: Localización de los Pernos de Anclaje

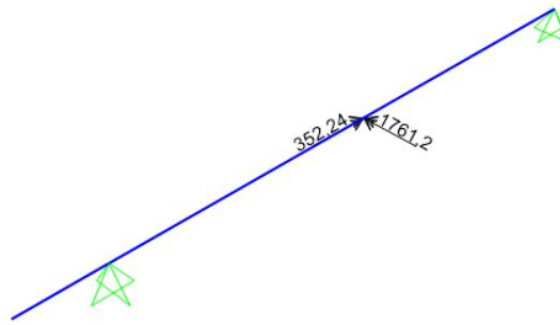


Fuente: Autores

4.2.3 Diseño del eje del sistema de corte

Para que la materia prima no sufra contaminación que llegue a perjudicar su altísima calidad en la elaboración de los derivados del cacao, se utiliza para el sistema de corte el acero AISI 304, que tiene como características una resistencia al punto de fluencia $S_y = 220$ MPa y una resistencia a tensión $S_u = 520$ MPa.

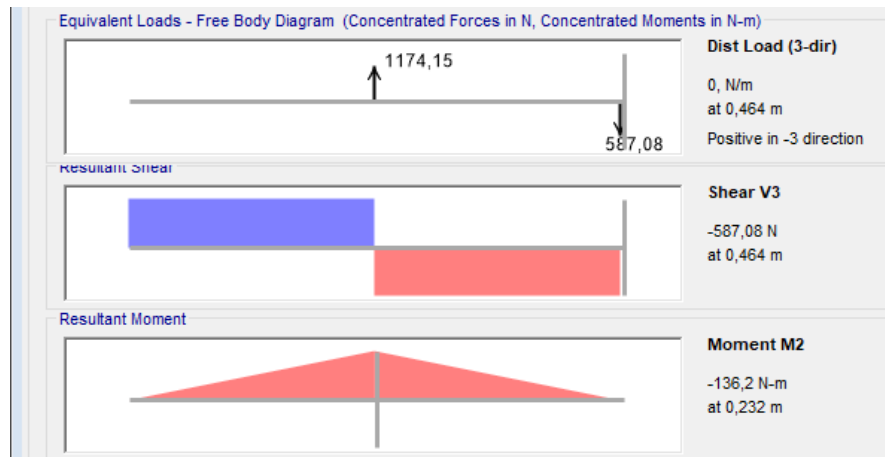
Figura 12-4: Representación Gráfica del Eje de Corte



Fuente: Autores

Se procede a realizar los cálculos respectivos para determinar un diámetro adecuado del eje para el sistema de corte. En la figura 12-4 se observa las cargas a las que se encuentra sometido el eje. Utilizando el software SAP 2000 se obtienen los diagramas de cortante y momento flector en el plano xy, mismos que se visualizan en la figura 13-4.

Figura 13-4: Diagrama de Cortante y Momento Flector en Plano xy



Fuente: Autores

Con estos datos se reemplaza en la fórmula según la teoría de Von Mises para encontrar el valor de diámetro requerido y luego se realiza una verificación a fatiga según el criterio de ASME elíptica.

$$\frac{S_y}{n} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2}$$

$$\frac{S_y}{n} = \sqrt{\left(\frac{32M_c}{\pi d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16T}{\pi d^3}\right)^2}$$

$$\frac{220 \times 10^6}{5} = \sqrt{\left(\frac{32 * 136,2}{\pi d^3}\right)^2 + 3 \left(\frac{16 * 132,1}{\pi d^3}\right)^2}$$

$$d = 0,0345 \text{ m}$$

Con la fórmula de ASME elíptica (SHIGLEY, et al., 2008) se procede con la verificación a fatiga especificada a continuación:

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[4 \left(\frac{k_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left(\frac{k_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (19)$$

Donde:

K_a = factor de modificación de la condición superficial (ver anexo C)

K_b = factor de modificación del tamaño (ver anexo D)

K_c = factor de modificación de la carga (ver anexo E)

K_d = factor de modificación de la temperatura (ver anexo F)

K_e = factor de confiabilidad (ver anexo G)

K_f = factor de modificación de efectos varios

S'_e = límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

S_e = límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.

$$S'_e = 0,5 S_u$$

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

$$S'_e = 0,5 * 520 \times 10^6 \text{ Pa} = 260 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$k_a = a S_u^b = 57,7 (520)^{-0,718} = 0,647$$

$$k_b = 1,24 d^{-0,107} = 1,24 (34,5)^{-0,107} = 0,848$$

$$k_c = k_d = k_f = 1$$

$$k_e = 0,814$$

$$S_e = (0,647)(0,848)(1)(1)(0,814)(260 \times 10^6) = 116,11 \times 10^6 Pa$$

Reemplazando datos en la fórmula y asumiendo los valores de $K_f = 1,7$ y $K_{fs} = 1,5$.

$$d = \left\{ \frac{16(5)}{\pi} \left[4 \left(\frac{1,7 * 136,2}{116,11 \times 10^6} \right)^2 + 3 \left(\frac{1,5 * 132,1}{220 \times 10^6} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} = 0,0477 m$$

Debido al área requerida para realizar el proceso de soldadura de las aspas alrededor eje, se toma un diámetro de 0,050 m. Según los diámetros comerciales la relación D/d será de 1,14; dato con el cual encontramos en las tablas los valores para $k_{fs} = 1,4$ y $k_f = 1,6$. (Ver anexo H)

$$\partial m_{eq} = \sqrt{\left(\frac{32k_f M_m}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16k_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2}$$

$$\partial m_{eq} = \sqrt{3(k_{fs} \tau_m)^2}$$

$$\partial m_{eq} = \sqrt{3 \left(\frac{1,4 * 16 * 132,1}{\pi (0,0508)^3} \right)^2}$$

$$\partial m_{eq} = 12,44 MPa$$

$$\partial a_{eq} = \sqrt{\left(\frac{32k_f M_a}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16k_{fs} T_a}{\pi d^3} \right)^2}$$

$$\partial a_{eq} = \sqrt{(k_f \partial f_a)^2}$$

$$\partial a_{eq} = \frac{1,6 * 32 * 136,2}{\pi (0,05)^3}$$

$$\partial a_{eq} = 17,75 \times 10^6 Pa$$

Una vez obtenidos los datos anteriores, se procede a verificar el coeficiente de seguridad del eje, teniendo lo siguiente:

$$\frac{\partial a_{eq}}{S_e} + \frac{\partial m_{eq}}{S_y} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{17,75 \times 10^6}{111,74 \times 10^6} + \frac{12,44 \times 10^6}{220 \times 10^6} = \frac{1}{n}$$

$$n = 4,64$$

4.2.3.1 Selección de rodamientos para el eje del sistema de corte

Para la selección de rodamientos se considerarán los siguientes parámetros:

- Diámetro de eje: 50,8 mm
- Mínima vida en horas requerida: 20000 h (NTN Corporation, pp. A-19)
- Velocidad máxima de trabajo: 17 rpm
- Carga radial: 1174,15 N
- Carga axial: 10% de la carga radial
- Confiabilidad: 0,999
- Factor de carga: 2

La carga requerida se calcula por las ecuaciones siguientes:

Donde:

F_a = carga axial que se aplica en el rodamiento

F_r = carga radial que se aplica en el rodamiento

$P_{equivalente}$ = la carga equivalente

L_{10} = vida nominal básica 10^6 revoluciones

L_i = mínima vida requerida en horas

α_1 = factor de confiabilidad

n = la velocidad máxima de trabajo

$C_{requerida}$ = la capacidad nominal requerida

$$P_{equivalente} = F_a + F_r \quad (20)$$

$$P_{equivalente} = 2(1174,15 + 100)$$

$$P_{equivalente} = 2548,3 \text{ N}$$

$$L_{10} = \frac{L_i}{\alpha_1} \quad (21)$$

$$L_{10} = \frac{20000}{0,21}$$

$$L_{10} = 95238,1$$

$$F_n = \left(\frac{33,3}{n}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (22)$$

$$F_n = \left(\frac{33,3}{17}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$F_n = 1,25$$

$$F_h = \left(\frac{L_{10}}{500}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (23)$$

$$F_h = \left(\frac{95238,1}{500}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$F_h = 5,75$$

$$C_{requerida} = \frac{F_h}{F_n} P_{equivalente} \quad (24)$$

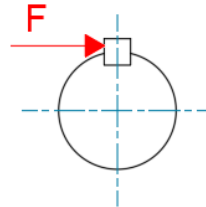
$$C_{requerida} = \frac{5,75}{1,25} * 2548,3$$

$$C_{requerida} = 11722,18 \text{ N}$$

Con este valor se selecciona el rodamiento 6009 (ver anexo I) acorde al catálogo NTN acompañado de un soporte UCP209D1 (ver anexo J).

4.2.3.2 Cálculo de la chaveta para el eje de corte

Figura 14-4: Fuerza Aplicada Sobre la Chaveta



Fuente: Autores

Para la selección de la chaveta se utilizó un acero AISI 1018; por la geometría que debe cumplir este elemento se utilizó una chaveta con dimensiones de 10 x 10 x 50 mm. Estos valores se comprueban mediante el esfuerzo de diseño de corte con la expresión, teniendo como datos un torque de 132,1 Nm y un factor de 1,5:

$$\tau_d = \frac{2 * F * T}{d * w * l} \quad (25)$$

Donde:

F = factor

T = torque

d = base de la chaveta

w = altura de la chaveta

l = largo de la chaveta

τ_d = esfuerzo de diseño

S_y = resistencia a la fluencia

n = factor de seguridad

$$\tau_d = \frac{2 * 1,5 * 132,1}{0,01 * 0,01 * 0,05}$$

$$\tau_d = 79,26 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{0,4 * s_y}{\tau_d} \quad (26)$$

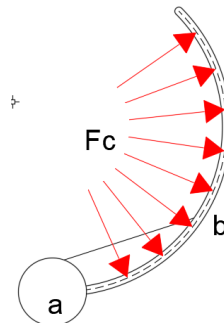
$$n = \frac{0,4 * 220}{79,26}$$

$$n = 1,11$$

4.2.4 Diseño de aspas

Como el aspa está directamente relacionada con las fuerzas que soporta la cuchilla, se utilizarán estos datos para verificar su resistencia; los datos estadísticos sobre la geometría y fuerza corte de las mazorcas de cacao servirán para dimensionar su longitud.

Figura 15-4: Fuerza de Corte que Actúa sobre el Aspa



Fuente: Autores

Analizaremos primero el punto “a”:

$$\sqrt{\partial^2 + 3\tau^2} = \frac{S_y}{n}$$

$$\partial_{Fc} = \frac{Mc}{I}$$

$$\partial = \frac{(27,52)(0,00811)}{3,28 \times 10^{-8}}$$

$$\partial = 6,8 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{Fc}{b * t}$$

$$\tau = \frac{880,62 N}{4,548x10^{-4}}$$

$$\tau = 1,94 MPa$$

$$\sqrt{(6,8x10^6)^2 + 3(1,94x10^6)^2} = \frac{220x10^6}{n}$$

$$n = 29$$

Analizaremos ahora el punto “b”:

$$\sqrt{\partial^2 + 3\tau^2} = \frac{S_y}{n}$$

$$\partial_{Fc} = \frac{Mc}{I}$$

$$\partial = \frac{(13,23)(0,003)}{9,144x10^{-10}}$$

$$\partial = 43,4 MPa$$

$$\tau = \frac{Fc}{b * t}$$

$$\tau = \frac{880,62}{4,548x10^{-4}}$$

$$\tau = 1,94 MPa$$

$$\sqrt{(43,4 x10^6)^2 + 3(1,94x10^6)^2} = \frac{220x10^6}{n}$$

$$n = 5,054$$

Ahora se verificará estos valores a fatiga del punto crítico.

$$\partial m_{eq} = \sqrt{\partial m^2 + 3\tau_m^2}$$

$$\partial a_{eq} = \sqrt{\partial a^2 + 3\tau_a^2}$$

$$\partial m = \partial a = \frac{\partial}{2}$$

$$\partial m = \partial a = 21,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_m = \tau_a = \frac{\tau}{2}$$

$$\tau_m = \tau_a = 0,97 \text{ MPa}$$

$$\partial m_{eq} = \sqrt{(21,7 \times 10^6)^2 + 3(0,97 \times 10^6)^2}$$

$$\partial m_{eq} = 21,76 \text{ MPa}$$

$$\partial a_{eq} = \sqrt{(21,7 \times 10^6)^2 + 3(0,97 \times 10^6)^2}$$

$$\partial a_{eq} = 21,76 \text{ MPa}$$

$$\frac{\partial a_{eq}}{S_e} + \frac{\partial m_{eq}}{S_y} = \frac{1}{n}$$

$$S'_e = 0,5S_u$$

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

$$k_a = a S_u^b = 57,7(520)^{-0,718} = 0,647$$

$$k_b = 1,24 d^{-0,107} = 1,24(14,10)^{-0,107} = 0,934$$

$$k_c = k_d = 1$$

$$k_e = 0,814$$

$$k_f = 0,45$$

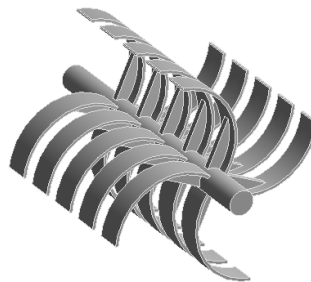
$$S_e = 57,55 \text{ MPa}$$

$$\frac{21,76}{57,55} + \frac{21,76}{220} = \frac{1}{n}$$

$$n = 2$$

Este valor calculado se verifica con el valor obtenido de una simulación realizada en el software ANSYS, la figura 16-4 muestra el modelo idealizado.

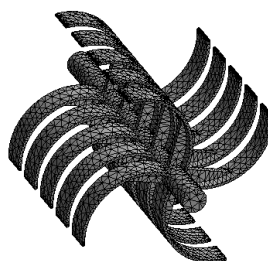
Figura 16-4: Modelo Idealizado de las Aspas



Fuente: Autores

Después de tener el modelo idealizado, se procedió a realizar el mallado con el debido proceso de refinamiento teniendo como resultado una calidad de malla promedio de 0,74. La siguiente imagen presenta el mallado del elemento.

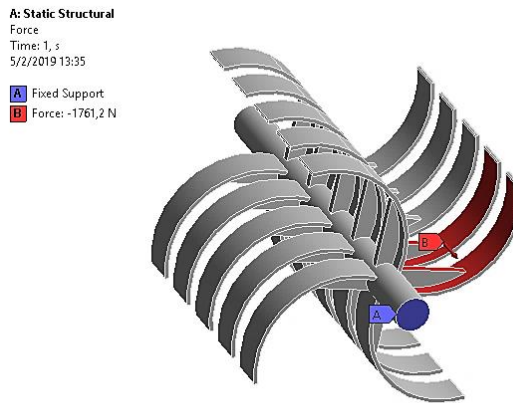
Figura 17-4: Mallado de las Aspas



Fuente: Autores

En este análisis, las aspas están apoyadas en dos extremos fijos que simulan la resistencia al corte de la mazorca de cacao mientras que en la parte interna del asa se aplica la carga, la cual simula la fuerza de corte de 1761,2 N en las aspas que tienen contacto con la mazorca.

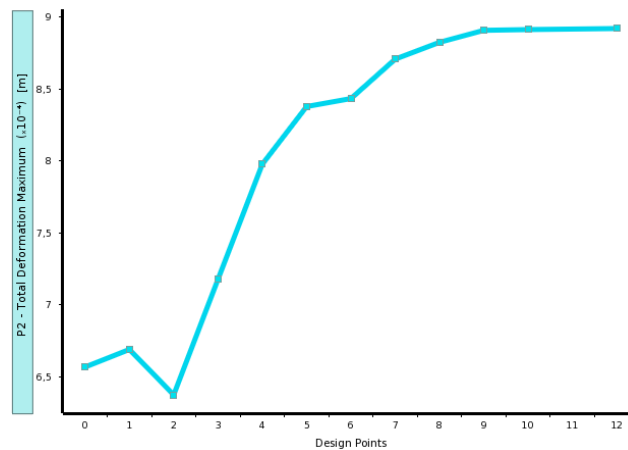
Figura 18-4: Análisis de las Aspas con Carga Aplicada



Fuente: Autores

Para terminar, se realizan los cálculos seguido de un análisis de convergencia para obtener datos confiables. En la siguiente gráfica se puede apreciar como las deformaciones convergen para un elemento de tamaño 0,01 m.

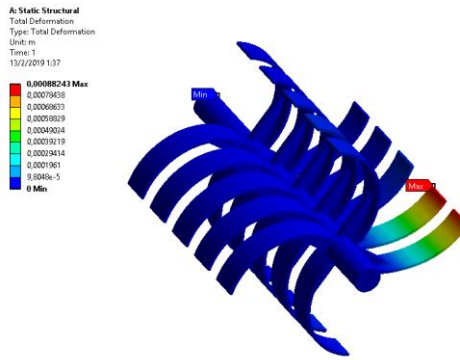
Gráfica 3-4: Convergencia en la Deformación de las Aspas



Fuente: Autores

Con el tamaño de elemento obtenido en la convergencia se analiza nuevamente el cálculo, obteniendo así los siguientes resultados:

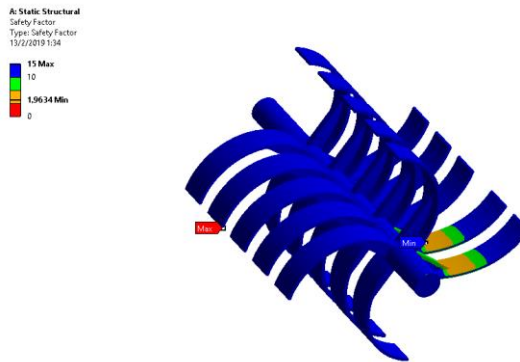
Figura 19-4: Deformación Total en las Aspas



Fuente: Autores

De este análisis final podemos obtener un valor máximo de deformación de 0,00088 m conjuntamente con un valor de coeficiente de seguridad de $n = 1,96$, el cual está muy cercano al factor de seguridad teórico que fue de $n = 2$.

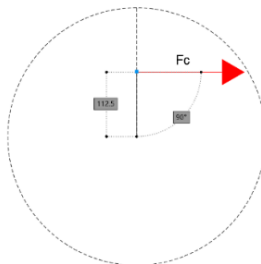
Figura 20-4: Factor de Seguridad en las Aspas



Fuente: Autores

4.2.5 Cálculo de la potencia requerida en el sistema de corte

Figura 21-4: Representación Gráfica de la Fuerza de Corte



Fuente: Autores

Tomando como referencia la fuerza de corte obtenida de 1174,15 N en el ensayo experimental además de un factor de carga de 1,5, la velocidad angular del eje de 1,78

rad/s y un radio de corte de 0,1125 m, se utiliza la siguiente fórmula para el cálculo de la potencia de corte.

$$P = KF_c r_c n_4 \quad (27)$$

Donde:

K = factor de carga

F_c = fuerza de corte

r_c = radio de corte

n_4 = velocidad angular del eje

$$P = 352,68 \text{ W}$$

4.3 Sistema de Despulpado de Mazorcas de Cacao

En este apartado se diseñaron y seleccionaron todos los elementos que forman parte del sistema de despulpado de la máquina.

4.3.1 Diseño del cilindro de despulpado

Realizando un análisis de la capacidad bruta del cilindro, tenemos un valor de 170 mazorcas aproximadamente; después de analizar el flujo de materia prima consideramos

un valor máximo a plena carga de 30% el cual llegará a permanecer dentro del cilindro. Así tenemos:

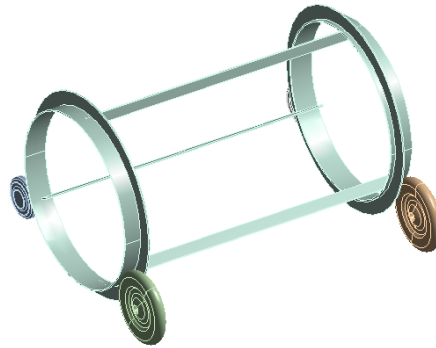
$$\text{masa total} = \#Mazorcas * \text{masa}_{mazorcas} = 170 * 1,227 \text{ kg}$$

$$\text{masa total} = 208,59 \text{ kg}$$

El valor correspondiente al 30% sería 62,57 kg, y el número de mazorcas correspondiente a esta masa sería aproximadamente de 51 mazorcas.

Para cumplir con la capacidad requerida, teniendo conocimiento del tamaño estándar del fruto, de los materiales a utilizar y del mecanismo de transmisión de movimiento, se propone una geometría ideal, la cual se verificará mediante método de elementos finitos. En la siguiente figura se muestra el elemento a analizar en el software ANSYS.

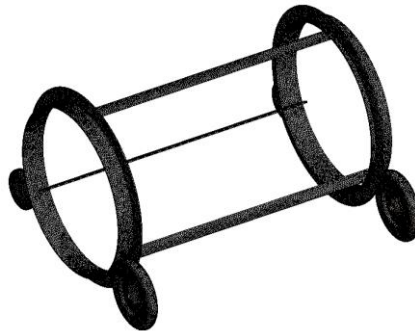
Figura 22-4: Modelo Idealizado del Mecanismo de Despulpado



Fuente: Autores

Después de tener el modelo idealizado, se procedió a realizar el mallado con el debido proceso de refinamiento teniendo como resultado una calidad de malla promedio de 0,76. La siguiente imagen presenta el mallado del elemento.

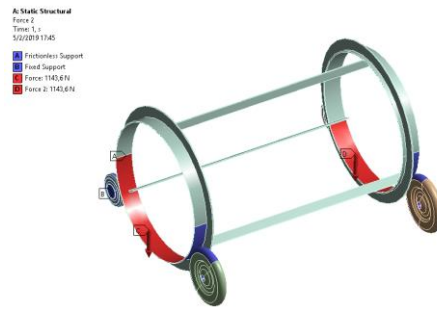
Figura 23-4: Mallado del Mecanismo de Despulpado



Fuente: Autores

En este análisis el cilindro está apoyado externamente sobre las ruedas de fricción mientras que en una sección de la parte interna se aplica la carga, la cual simula el peso a plena carga de 1143,6 N en cada extremo del cilindro.

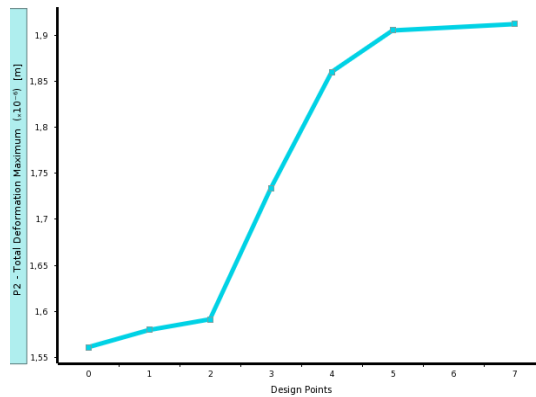
Figura 24-4: Análisis del Mecanismo de Despulpado con Carga Aplicada



Fuente: Autores

Para terminar, se realizan los cálculos, seguido de un análisis de convergencia para obtener datos confiables. En la siguiente figura se puede apreciar como las deformaciones convergen para un elemento de tamaño 0,006 m.

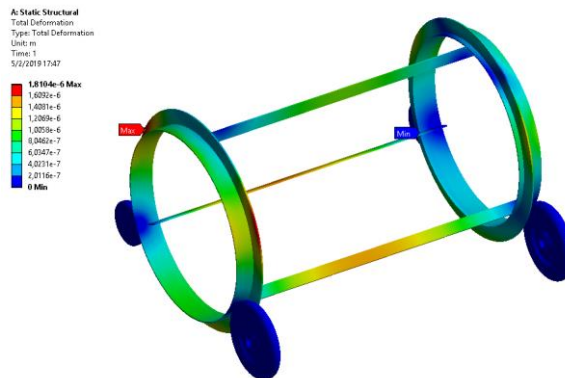
Gráfica 4-4: Convergencia en la Deformación del Mecanismo de Despulpado



Fuente: Autores

Con el tamaño de elemento obtenido en la convergencia se analiza nuevamente el cálculo, obteniendo así los siguientes resultados:

Figura 25-4: Deformación Total del Mecanismo de Despulpado

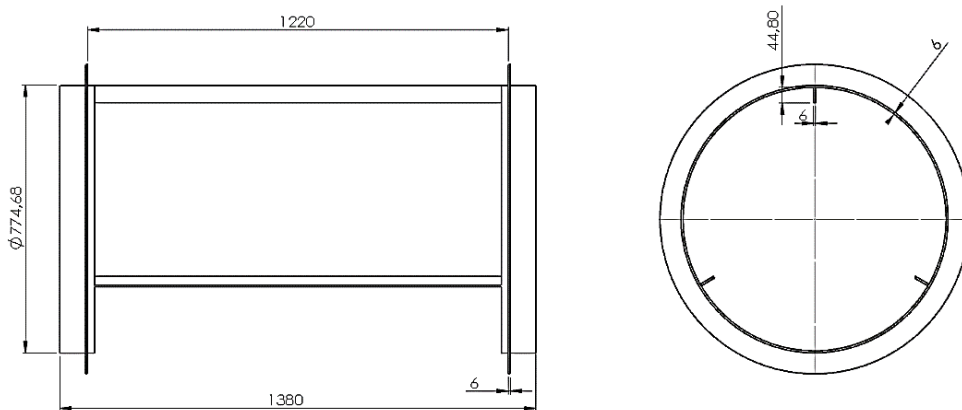


Fuente: Autores

De este análisis final podemos obtener un valor máximo de deformación de 0,00000186 m conjuntamente con un valor de coeficiente de seguridad de $n = 15$.

Una vez realizado el estudio anterior, se presentan las dimensiones finales del cilindro despulpador. En base a esto, se seleccionó la malla que servirá para separar los granos de cacao de los residuos y cáscara obtenidos del proceso de corte. El tipo de perforación y la disposición de la malla se selecciona en base al catálogo ACERIMALLAS referido en el anexo L.

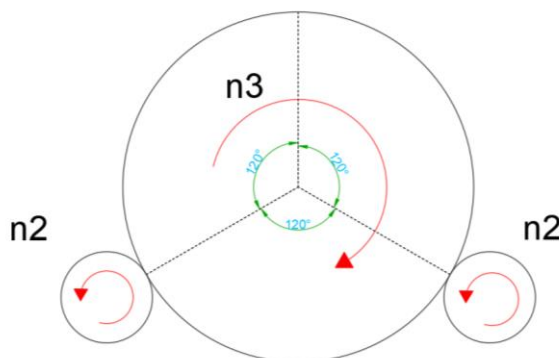
Figura 26-4: Dimensiones Finales del Cilindro Despulpador



Fuente: Autores

4.3.1.1 Selección de ruedas de fricción del eje del sistema de despulpado

Figura 27-4: Diagrama de Velocidades del Cilindro Despulpador



Fuente: Autores

Para la selección de las ruedas de fricción que transmiten el movimiento al cilindro despulpador, se requiere conocer la velocidad necesaria para ello, con ayuda de la siguiente fórmula.

$$n_c = \sqrt{\frac{g}{4\pi^2 r}} \quad (28)$$

Donde:

n_c = velocidad crítica del cilindro despulpador

G = gravedad

R = radio del cilindro

$$n_c = 0,80 \frac{rev}{s}$$

$$n_i = 0,5 * n_c \quad (29)$$

$$n_i = n_3 = \textit{velocidad ideal del cilindro}$$

$$n_3 = 0,5 * n_c$$

$$n_3 = 0,40 \frac{rev}{s}$$

Seleccionamos una velocidad de 34 rpm, basados en estudios previos de equipos similares. Posteriormente se corroborará este dato en las pruebas de funcionamiento de la máquina. Con este valor de velocidad del cilindro, la rueda conductora necesitará un diámetro de $D = 320$ mm para cumplir con la velocidad requerida en todos los sistemas. Con estos datos se seleccionó una rueda maciza de caucho y rin metálico, referido en el anexo M.

Figura 28-4: Rueda maciza de caucho



Fuente: <http://www.ruedasygarruchas.com/ruedasout.pdf>

Con la velocidad del cilindro y el diámetro encontrado de la rueda conductora, se halla la velocidad de ésta de la siguiente forma.

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2} \quad (30)$$

Donde:

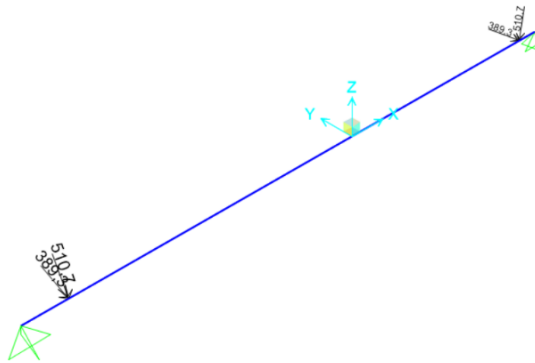
$$\frac{n_2}{34} = \frac{774,68}{320}$$

$$n_2 = 82,31 \text{ rpm}$$

4.3.2 Diseño del eje de transmisión del sistema de despulpado

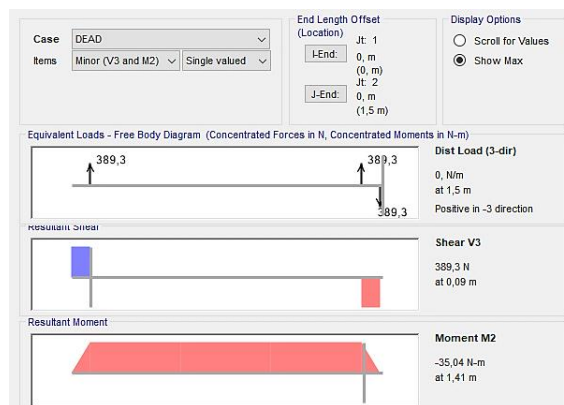
Se procede a realizar los cálculos respectivos para determinar un diámetro adecuado del eje para el sistema de despulpado. Se consideran las cargas a las que éste se encuentra sometido y utilizando el software SAP 2000 se obtienen los diagramas de cortante y momento flector en los planos xy y xz.

Figura 29-4: Eje de Transmisión del Sistema de Despulpado



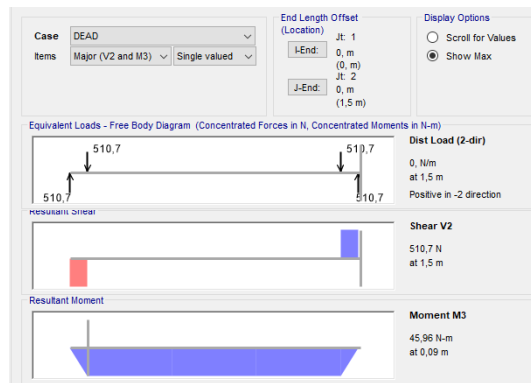
Fuente: Autores

Figura 30-4: Diagrama de Cortante y Momento Flector en el Plano xy



Fuente: Autores

Figura 31-4: Diagrama de Cortante y Momento Flector en el Plano xz



Fuente: Autores

$$\frac{S_y}{n} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2}$$

$$\frac{S_y}{n} = \sqrt{\left(\frac{32M_c}{\pi d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16T}{\pi d^3}\right)^2}$$

$$\frac{220 \times 10^6}{5} = \sqrt{\left(\frac{32 * 57,79}{\pi d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16 * 118,96}{\pi d^3}\right)^2}$$

$$d = 0,0301 \text{ m}$$

Con la fórmula de ASME elíptica se procede con la verificación a fatiga, especificada a continuación y se asumen los valores de $k_f = 1,7$ y $k_{fs} = 1,5$.

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[4 \left(\frac{k_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left(\frac{k_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

K_a = factor de modificación de la condición superficial (ver anexo C)

K_b = factor de modificación del tamaño (ver anexo D)

K_c = factor de modificación de la carga (ver anexo E)

K_d = factor de modificación de la temperatura (ver anexo F)

K_e = factor de confiabilidad (ver anexo G)

K_f = factor de modificación de efectos varios

S'_e = límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

S_e = límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

$$S'_e = 0,5 S_u$$

$$S'_e = 0,5 * 520 \times 10^6 \text{ Pa} = 260 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$k_a = a S_u^b = 57,7 (520)^{-0,718} = 0,647$$

$$k_b = 1,24 d^{-0,107} = 1,24 (30,12)^{-0,107} = 0,861$$

$$k_c = k_d = k_f = 1$$

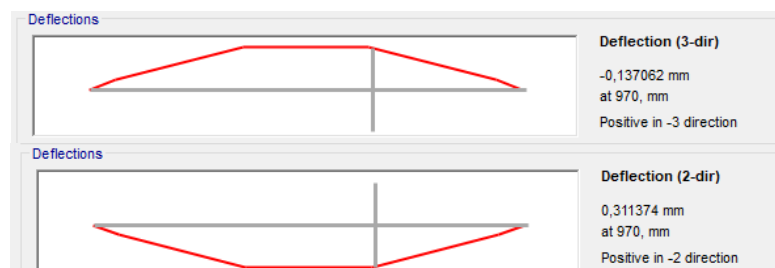
$$k_e = 0,814$$

$$S_e = (0,647)(0,861)(1)(1)(0,814)(1)(260 \times 10^6) = 117,8 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$d = \left\{ \frac{16(5)}{\pi} \left[4 \left(\frac{1,7 * 57,8}{117,8 \times 10^6} \right)^2 + 3 \left(\frac{1,5 * 118,96}{220 \times 10^6} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} = 0,03815 \text{ m}$$

Debido a que la separación entre apoyos tiene una gran distancia, se asume un diámetro comercial de 44,45 mm y se verifica su rigidez, para lo cual se tomará como referencia el valor máximo de deflexión de 0,0005 mm/mm (FAIRES) que refleja un valor 0,750 mm. A continuación, se comprueba la deflexión del eje utilizando la fórmula propuesta.

Figura 32-4: Deflexión del Eje en el Plano xy e xz



Fuente: Autores

$$y = \sqrt{y_{xy} + y_{xz}} \quad (31)$$

$$y = \sqrt{0,137^2 + 0,311^2}$$

$$y = 0,340 \text{ mm}$$

Se obtiene que el valor calculado de 0,340 mm es menor que el valor teórico de 0,750 mm por lo cual las deformaciones en el eje están en el rango permitido; según los diámetros comerciales la relación D/d será de 1,27; dato con el cual encontramos en las tablas los valores para $k_{fs} = 1,4$ y $k_f = 1,6$. (Ver anexo H)

Realizando una verificación a fatiga mediante la fórmula:

$$\partial a_{eq} = \sqrt{\left(\frac{32k_f M_a}{\pi d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16k_{fs} T_a}{\pi d^3}\right)^2}$$

$$\partial a_{eq} = \sqrt{(k_f \partial f_a)^2}$$

$$\partial a_{eq} = \frac{1,6 * 32 * 57,8}{\pi(0,04445)^3}$$

$$\partial a_{eq} = 10,72 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\partial m_{eq} = \sqrt{\left(\frac{32k_f M_m}{\pi d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16k_{fs} T_m}{\pi d^3}\right)^2}$$

$$\partial m_{eq} = \sqrt{3(k_{fs} \tau_m)^2}$$

$$\partial m_{eq} = \sqrt{3\left(\frac{1,4 * 16 * 118,96}{\pi(0,0508)^3}\right)^2}$$

$$\partial m_{eq} = 16,68 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\frac{\partial_a}{S_e} + \frac{\partial_m}{S_y} = \frac{1}{n}$$

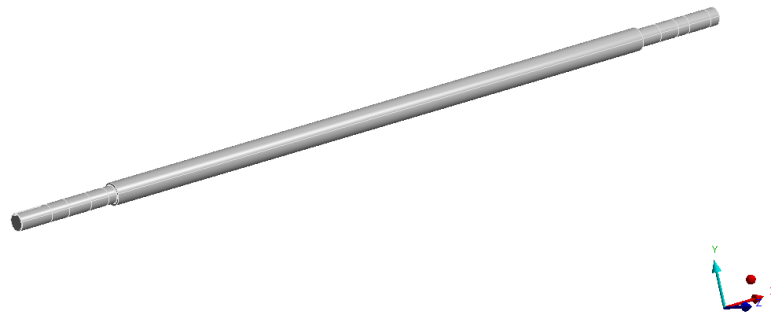
$$\frac{10,72 \times 10^6}{113,10 \times 10^6} + \frac{16,68 \times 10^6}{220 \times 10^6} = \frac{1}{n}$$

$$n = 5,86$$

Este valor calculado se verificará con el valor obtenido de una simulación realizada en el software ANSYS; la figura 32-4 muestra el modelo idealizado del eje de transmisión del sistema de despulpado.

Figura 33-4: Modelo Idealizado del Eje de Transmisión

Geometry
5/2/2019 18:28



Fuente: Autores

Después de tener el modelo idealizado, se procedió a realizar el mallado con el debido proceso de refinamiento teniendo como resultado una calidad de malla promedio de 0,84. La siguiente imagen presenta el mallado del elemento.

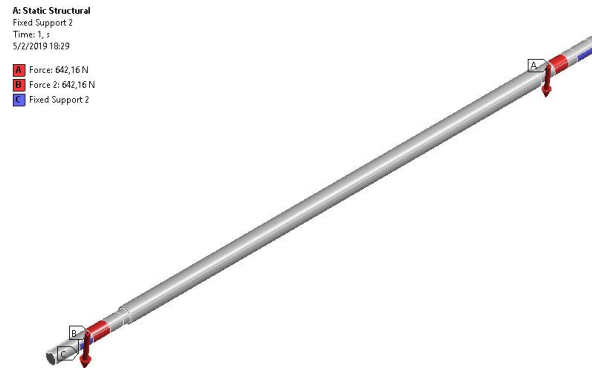
Figura 34-4: Mallado del Eje de Transmisión



Fuente: Autores

En el siguiente análisis, el eje está apoyado en sus extremos sobre apoyos fijos que simula anclaje a la estructura mientras que en dos secciones del eje se aplica la carga, la cual simula el peso del cilindro a plena carga con un valor de 642,16 N.

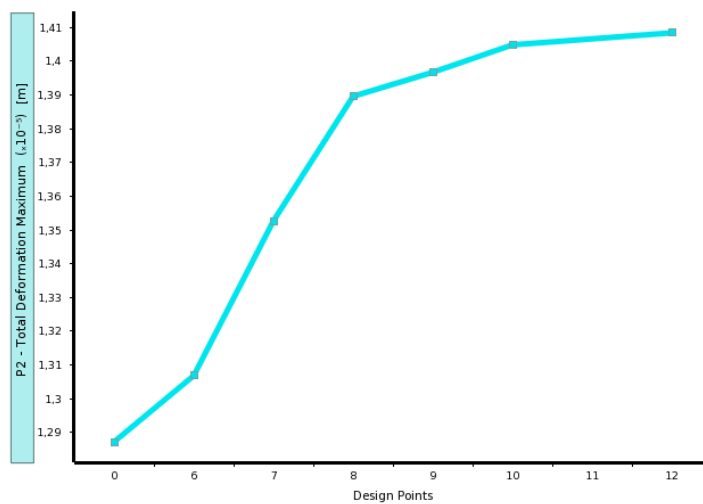
Figura 35-4: Análisis del Eje de Transmisión con Carga Aplicada



Fuente: Autores

Para terminar, se realizan los cálculos seguido de un análisis de convergencia para obtener datos confiables. En la siguiente gráfica se puede apreciar como las deformaciones convergen para un elemento de tamaño 0,0025 m.

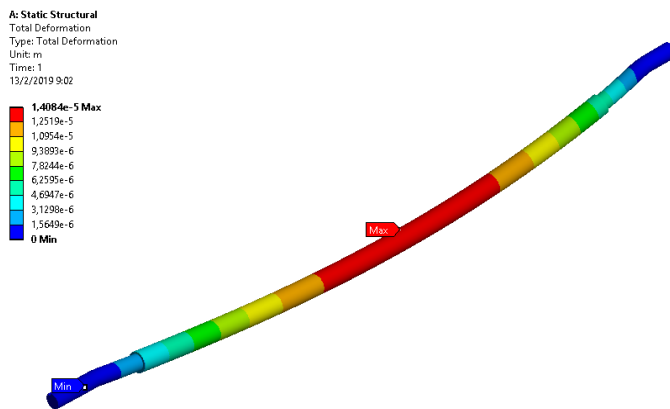
Gráfica 5-4: Convergencia en la Deformación del Eje de Transmisión



Fuente: Autores

Con el tamaño de elemento obtenido en la convergencia se analiza nuevamente el cálculo, obteniendo así los siguientes resultados:

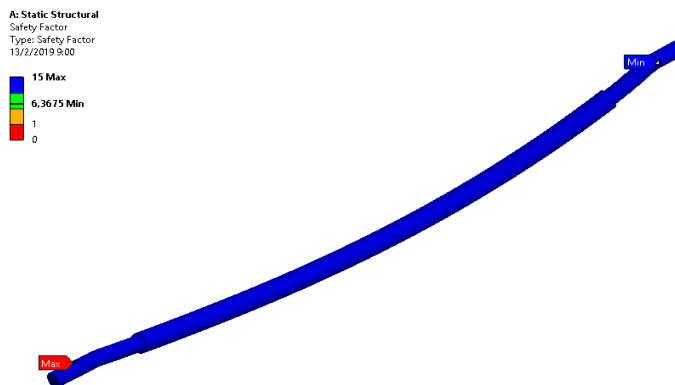
Figura 36-4: Deformación Total del Eje de Transmisión



Fuente: Autores

De este análisis final podemos obtener un valor máximo de deformación de 0,000014 m conjuntamente con un valor de coeficiente de seguridad de $n = 6,3$, mismo que se encuentra muy cercano al factor de seguridad teórico que resultó ser $n = 5,86$.

Figura 37-4: Factor de Seguridad del Eje de Transmisión



Fuente: Autores

4.3.2.1 Selección de rodamientos del eje de transmisión del sistema de despulpado

Se consideran los siguientes parámetros para la selección de rodamientos en el eje.

- Diámetro de eje: 44,45 mm
- Mínima vida en horas requerida: 20000 h (NTN Corporation, pp. A-19)
- Velocidad máxima de trabajo: 82,31 rpm
- Carga radial: 642,144 N
- Carga axial: 10% de la carga radial
- Confiabilidad: 0,999

- Factor de carga: 2

La carga requerida se calcula por las ecuaciones siguientes.

Donde:

F_a = carga axial que se aplica en el rodamiento

F_r = carga radial que se aplica en el rodamiento

$P_{equivalente}$ = la carga equivalente

L_{10} = vida nominal básica 10^6 revoluciones

L_i = mínima vida en horas requerida

α_1 = el factor de confiabilidad

n = la velocidad máxima de trabajo

$C_{requerida}$ = la capacidad nominal requerida

$$P_{equivalente} = F_a + F_r$$

$$P_{equivalente} = 2(642,144 + 64,21)$$

$$P_{equivalente} = 1412,71 \text{ N}$$

$$L_{10} = \frac{L_i}{\alpha_1}$$

$$L_{10} = \frac{20000}{0,21}$$

$$L_{10} = 95238,1$$

$$F_n = \left(\frac{33,3}{n} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$F_n = \left(\frac{33,3}{82,31} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$F_n = 0,74$$

$$F_h = \left(\frac{L_{10}}{500}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$F_h = \left(\frac{95238,1}{500}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$F_h = 5,75$$

$$C_{requerida} = \frac{F_h}{F_n} P_{equivalente}$$

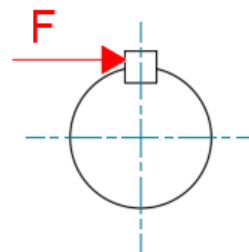
$$C_{requerida} = \frac{5,75}{0,74} * 1412,71$$

$$C_{requerida} = 10977,14 \text{ N}$$

Con este valor se seleccionó el rodamiento 6207 (Ver anexo I) acorde al catálogo NTN, acompañado de un soporte UCP207D1 (Ver anexo J).

4.3.2.2 Cálculo de la chaveta para el eje del sistema de despulpado

Figura 38-4: Fuerza Aplicada Sobre la Chaveta



Fuente: Autores

Para la selección de la chaveta se utilizó un acero AISI 1018; por la geometría que debe cumplir este elemento se utilizó una chaveta con dimensiones de 10 x 10 x 50 mm. Estos valores se comprueban mediante el esfuerzo de diseño de corte con la expresión, teniendo como datos un torque de 118,96 Nm y un factor de 1,5:

$$\tau_d = \frac{2 * F * T}{d * w * l} \quad (32)$$

Donde:

F = factor

T = torque

d = base de la chaveta

w = altura de la chaveta

l = largo de la chaveta

τ_d = esfuerzo de diseño

S_y = resistencia a la fluencia

n = factor de seguridad

$$\tau_d = \frac{2 * 1,5 * 118,96}{0,01 * 0,01 * 0,05}$$

$$\tau_d = 71,37 \text{ MPa}$$

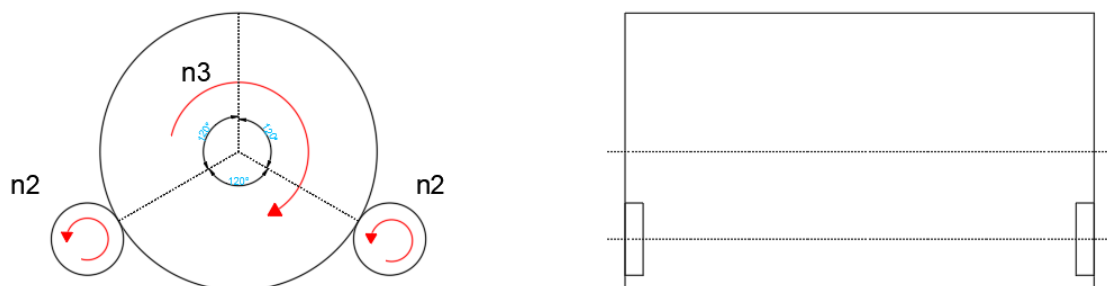
$$n = \frac{0,4 * s_y}{\tau_d} \quad (33)$$

$$n = \frac{0,4 * 220}{71,37}$$

$$n = 1,23$$

4.3.3 Cálculo de potencia del sistema despulpado

Figura 39-4: Esquema de Configuración del Sistema de Despulpado



Fuente: Autores

Para encontrar la potencia requerida para el sistema de despulpado, se calcula el torque de aceleración y de fricción mediante la fórmula siguiente.

$$P_{max} = (T_{acel} + T_{fr}) * \omega_{max} \quad (34)$$

Donde:

P_{max} = potencia máxima requerida

T_{acel} = torque de aceleración

T_{fr} = torque de fricción

ω_{max} = velocidad angular

α = aceleración angular

μ = coeficiente de fricción

I_R = momento de inercia

$$I_R = \frac{mr^2}{2} \quad (35)$$

$$T_{acel} = 2(I_R * \alpha) \quad (36)$$

$$T_{fr} = 2 * \mu * N * r_1 + 2 * \mu * N * r_2 \quad (37)$$

$$I_R = \frac{3,5 * (0,16)^2}{2} = 0,0448 \text{ kg} * \text{m}^2$$

$$\alpha = \frac{n_2}{t} = \frac{8,61}{5} = 4,305 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$T_{acel} = 2(0,0448 * 4,305)$$

$$T_{acel} = 0,385 \text{ Nm}$$

$$T_{fr} = 2 * 0,4 * 571,9 * 0,16 + 2 * 0,4 * 571,9 * 0,1$$

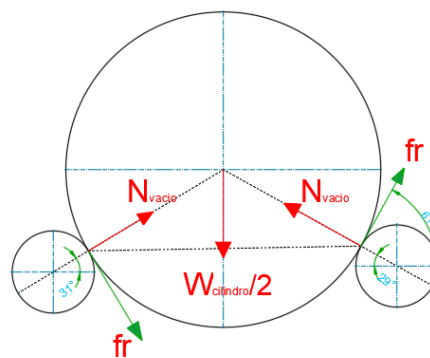
$$T_{fr} = 118,96 \text{ Nm}$$

$$P_{max} = (T_{acel} + T_{fr}) * n_2$$

$$P_{max} = 1027,57 W$$

Para garantizar el funcionamiento correcto de la transmisión por fricción, se debe cumplir que el arranque en vacío de la máquina no sufra deslizamiento alguno entre el cilindro y las ruedas de apoyo, por lo que se verifican los valores teóricos y en vacío. (ARTOBOLEVSKY, 1977, p. 333)

Figura 40-4: Fuerzas Aplicadas sobre las Ruedas de Fricción



Fuente: Autores

$$N_{teórica} < N_{vacío}$$

$$N_{vacío} = \frac{\beta T_t}{\mu r_t} \quad (38)$$

Donde:

$N_{vacío}$ = Fuerza normal

β = Coeficiente de deslizamiento

T_t = Torque de fricción teórico

μ = coeficiente de fricción

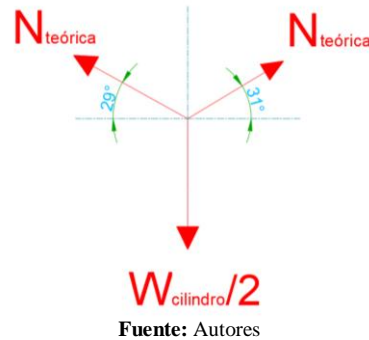
r_R = radio de la rueda

$$N_{vacío} = \frac{1,5 * 55,101}{0,5 * 0,16}$$

$$N_{vacío} = 1291,42 N$$

Como en la transmisión habrá 4 ruedas donde se sostiene el cilindro despulpador, el valor se divide entre cuatro. Finalmente se tiene el dato de 322,85 N.

Figura 41-4: Fuerzas Aplicadas sobre el Cilindro



Se realiza una sumatoria de fuerzas en el sistema para hallar la fuerza normal en las ruedas, cuando el sistema esté en vacío.

$$\sum F_Y = 0 \quad (39)$$

$$N_{teórica} \sin(29^\circ) + N_{teórica} \sin(31^\circ) - \frac{W_{cilindro}}{2} = 0$$

$$N_{teórica} [\sin(29^\circ) + \sin(31^\circ)] = \frac{W_{cilindro}}{2}$$

$$N_{teórica} = \frac{W_{cilindro}}{2[\sin(29^\circ) + \sin(31^\circ)]}$$

$$N_{teórica} = \frac{529,74}{2[\sin(29^\circ) + \sin(31^\circ)]}$$

$$N_{teórica} = 264,91 \text{ N}$$

Así tenemos la comparación de los valores teóricos y en vacío, donde apreciamos que la transmisión no sufrirá deslizamiento, ya que el valor teórico es menor al de vacío.

$$264,91 \text{ N} < 322,85 \text{ N}$$

4.4 Selección del Sistema de Transmisión de Movimiento

Por las relativamente bajas velocidades a los que trabajan los sistemas de la máquina cortadora y despulpado de cacao, entre 17 y 87 rpm, además del torque requerido en sus sistemas, con valor de 198,14 Nm y 118,95 Nm, se utilizarán dos transmisiones por cadenas seleccionadas por catálogo REXNORD.

Figura 42-4: Sistema de Piñón y Cadena



Fuente: <http://www.proveedorariobamba.com/index.php/portfolio/pinones-y-cadenas/>

4.4.1 Selección de la transmisión 1

$$P_d = f_s P \quad (40)$$

Donde:

P_d = potencia de diseño

f_s = factor de servicio dimensional

P = potencia requerida

$$P_d = 1,5 * 1027,57$$

$$P_d = 1541,36 \text{ W}$$

Con este valor escogemos una cadena paso 0,75 in, número 60, y en función del catálogo REXNORD calculamos los siguientes datos:

Donde:

L = longitud de cadena en número de pasos

d_c = distancia entre centros de piñones

Z_1 y Z_2 = números de dientes de piñones

P = el paso

n_1 y n_2 = velocidades de los piñones

V = velocidad nominal de la cadena

F = capacidad de carga de la cadena

D_1 y D_2 = diámetros de los piñones

Tabla 4-4: Datos para Cálculo de Transmisión 1

Datos	
n_1	34 RPM
n_2	82,31 RPM
i	2,42
Z_1	16
Z_2	38
d_c	18,16 in
P	0,75
D_1	3,204
D_2	7,57

Fuente: Autores

$$L = \frac{2d_c}{P} + \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \frac{(Z_1 - Z_2)^2 P}{4\pi^2 d_c} \quad (41)$$

$$L = 79,49$$

$$\text{Longitud de cadena} = P * L \quad (42)$$

$$\text{Longitud de cadena} = 0,75 * 79,49$$

$$\text{Longitud de cadena} = 59,62 \text{ in} = 1,51 \text{ m}$$

$$\alpha_1 = 180 - 57 \frac{D_2 - D_1}{d_c} \quad (43)$$

$$\alpha_1 = 180 - 57 * \frac{7,57 - 3,204}{18,16}$$

$$\alpha_1 = 166,3^\circ$$

$$V = \frac{Z_3 P n_3}{60000} \quad (44)$$

$$V = \frac{16 * 0,75 * 25,4 * 82,31}{60000}$$

$$V = 0,418 \frac{m}{s}$$

$$F = \frac{P_d}{V} \quad (45)$$

$$F = \frac{1541,36}{0,418}$$

$$F = 3687,46 N$$

4.4.2 Selección de la transmisión 2

$$P_d = f_s P$$

$$P_d = 1,5 * 352,68$$

$$P_d = 579,02 W$$

Con este valor escogemos una cadena paso 0,75 in, número 60, y en función del catálogo REXNORD calculamos los siguientes datos:

Tabla 5-4: Datos para Cálculo de Transmisión 2

Datos	
N ₃	34
N ₄	17
i	2
Z ₃	16
Z ₄	32
d _c	42,06 in
P	0,75
D ₃	3,204 in
D ₄	7,17 in

Fuente: Autores

$$L = \frac{2d_c}{P} + \frac{Z_3 + Z_4}{2} + \frac{(Z_3 - Z_4)^2 P}{4\pi^2 d_c}$$

$$L = 137,79$$

$$\text{Longitud de cadena} = P * L$$

$$\text{Longitud de cadena} = 0,75 * 137,79$$

$$\text{Longitud de cadena} = 103,34 \text{ in} = 2,62 \text{ m}$$

$$\alpha_1 = 180 - 57 \frac{D_4 - D_3}{d_c}$$

$$\alpha_1 = 180 - 57 * \frac{7,17 - 3,204}{42,06}$$

$$\alpha_1 = 174,625^\circ$$

$$V = \frac{Z_3 P n_3}{60000}$$

$$V = \frac{16 * 0,75 * 25,4 * 34}{60000}$$

$$V = 0,173 \frac{m}{s}$$

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

$$F = \frac{579,02}{0,173}$$

$$F = 3346,94 \text{ N}$$

4.4.3 Selección de rodamientos del eje de distribución de movimiento

Se considerarán los siguientes parámetros para la selección de rodamientos.

- Diámetro de eje: 35 mm
- Mínima vida en horas requerida: 20000 h (NTN Corporation, pp. A-19)
- Velocidad máxima de trabajo: 34 rpm
- Carga radial: 3370,07 N
- Carga axial: 10% de la carga radial
- Confiabilidad: 0,999
- Factor de carga: 1,2

La carga requerida se calcula por las siguientes expresiones:

Donde:

F_a = carga axial que se aplica en el rodamiento

F_r = carga radial que se aplica en el rodamiento

$P_{equivalente}$ = la carga equivalente

L_{10} = vida nominal básica 10^6 revoluciones

L_i = mínima vida en horas requerida

α_1 = factor de confiabilidad

n = velocidad máxima de trabajo

$C_{requerida}$ = capacidad nominal requerida

$$P_{equivalente} = F_a + F_r$$

$$P_{equivalente} = 1,2(337 + 3370,07)$$

$$P_{equivalente} = 4448,48 \text{ N}$$

$$L_{10} = \frac{L_i}{\alpha_1}$$

$$L_{10} = \frac{20000}{0,21}$$

$$L_{10} = 95238,1$$

$$F_n = \left(\frac{33,3}{n}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$F_n = \left(\frac{33,3}{34}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$F_n = 0,993$$

$$F_h = \left(\frac{L_{10}}{500}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$F_h = \left(\frac{95238,1}{500}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$F_h = 5,75$$

$$C_{requerida} = \frac{F_h}{F_n} P_{equivalente}$$

$$C_{requerida} = \frac{5,75}{0,993} * 4448,48$$

$$C_{requerida} = 25759,1 N$$

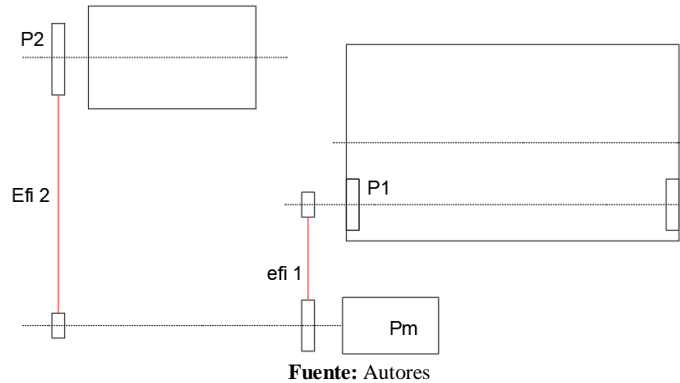
Con este valor se seleccionó el rodamiento 6207 acorde al catálogo NTN acompañado de un soporte UCP207D1. (ver anexo I y J)

4.5 Selección del Motor

Para calcular la potencia total de la máquina es necesario sumar las potencias obtenidas

en el sistema de despulpado y en el de corte, datos localizados en los apartados 4.3.3 y 4.2.5 respectivamente.

Figura 43-4: Ubicación de Potencias en el Sistema



$$P_T = \frac{\frac{P_1}{Efi\ 1} + \frac{P_2}{Efi\ 2}}{Efi_{caja}} \quad (46)$$

$$P_T = \frac{\frac{1027,57}{0,95} + \frac{352,68}{0,95}}{0,79}$$

$$P_T = 1839,11\ W = 2,46\ HP$$

La potencia total requerida es de 2,46 HP. Debido a que los valores de potencia de los motores comerciales son estandarizados, se selecciona uno de 3 HP, con una caja reductora con $i = 50$ de 34 rpm. Por cuestiones tecnológicas y de verificación de cálculos de velocidad en el sistema de corte y despulpado, se optó por un conjunto de motor trifásico y variador de frecuencia monofásico el cual se seleccionará en el apartado del sistema eléctrico.

4.6 Diseño de la Estructura Metálica

La estructura metálica es la encargada de acoger a todos elementos y soportar todas las cargas generadas por los mismos. Así tenemos dos tipos de cargas a soportar: carga viva y carga muerta (MIDUVI, 2014). A continuación, se presenta en la tabla 6-4 la descripción de los elementos y el tipo de carga que interviene en cada uno.

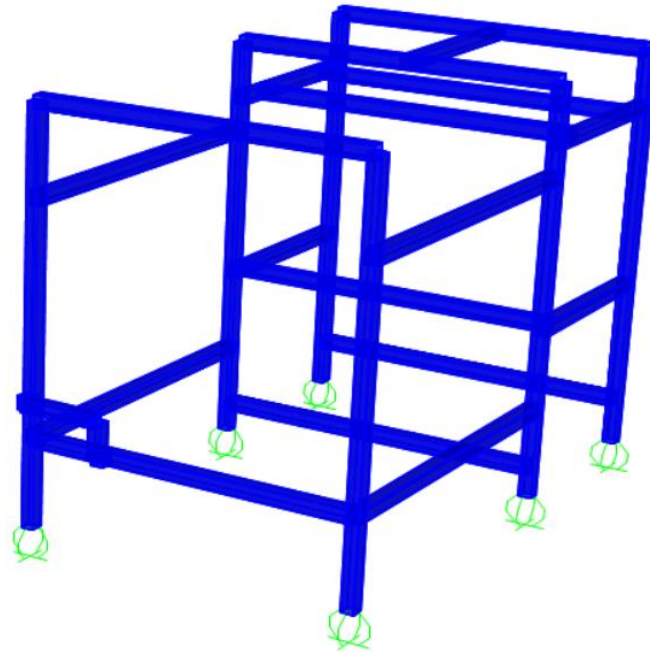
Tabla 6-4: Cargas que Intervienen en los Elementos de la Estructura

Cargas	Elementos	Fuerza (N)	Momento (Nm)
Muerta	Cilindro despulpador	1143,62	
	Aspas	251,86	
	Cuchillas	35,48	
	Eje del cilindro despulpador	172,68	
	Eje de transmisión	63,7	
	2 ruedas de fricción	66,64	
	2 ruedas de soporte	38,2	
	2 ruedas de alineamiento	27,44	
	Tolva de alimentación	83,3	
	Tolva de traslado de materia prima	43,12	
	Tolva de recolección	172,48	
	2 cadenas	49	
	4 catarinas	103,39	
	4 ángulos tirantes	27,32	
	motorreductor	294	
Viva	Ray	389,28	
	Raz	510,69	
	Rby	389,28	
	Rbz	510,69	
	Rcy	-389,28	
	Rcz	510,69	
	Rdy	-389,28	
	Rdz	510,69	
	Fc	1761,15	
	Mrfc		352,23
	Rey	167,32	
	Rez	3630,34	
	Rfy	1571,61	
	Rfz	2317,4	

Realizado por: Autores

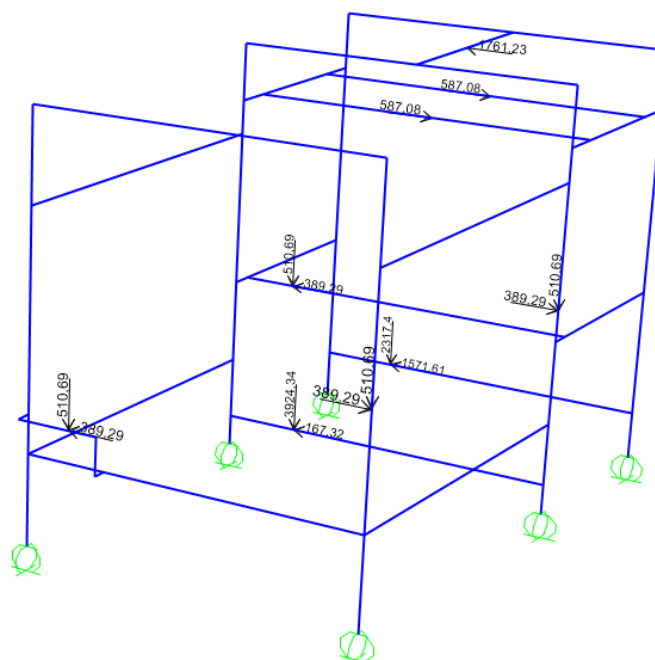
Para toda la estructura se utilizó un perfil cuadrado ASTM A-500 galvanizado de dimensiones 50 x 50 x 3 mm. En las siguientes gráficas se muestra la asignación de las cargas vivas y muertas sobre la estructura.

Figura 44-4: Estructura de la Máquina Cortadora y Despulpadora de Cacao



Fuente: Autores

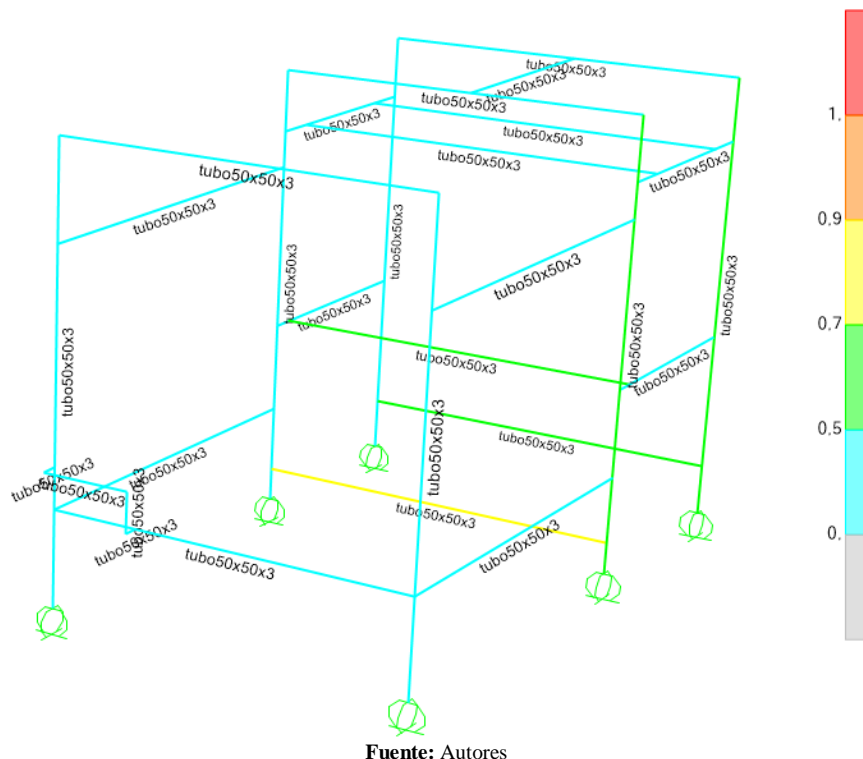
Figura 45-4: Cargas Aplicadas en la Estructura



Fuente: Autores

Después de realizar el debido análisis estructural, se pudo comprobar que ninguno de los elementos que forma parte de la estructura llega a fallar por el funcionamiento de la máquina cortadora y despulpadora de cacao, con una relación demanda-capacidad máxima de 0,8.

Figura 46-4: Resultados de Análisis Estructural en SAP 2000



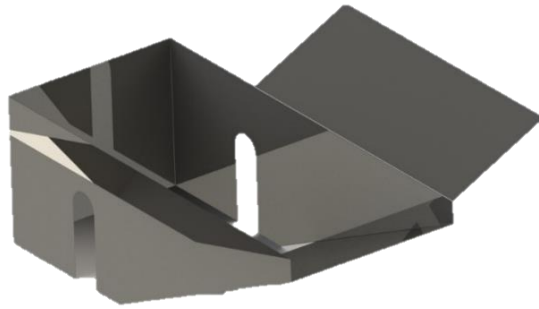
4.7 Sistema de Dosificación y Recolección de Producto

En este apartado se presentan la tolva de alimentación, bandeja de traslado y bandeja de recolección, elementos construidos mediante procesos de chapa metálica en acero inoxidable AISI 304 ya que están en contacto directo con la materia prima, la cual es altamente corrosiva. Su configuración y dimensiones se calcularon directamente desde su aplicación y requerimiento en la máquina.

4.7.1 Sistema de dosificación

La tolva de alimentación está diseñada con el objetivo de recolectar las mazorcas de cacao que se ingresan de forma manual. Consta de una rampa de 25° y 2 pliegues que cumplen la función de sujeción, además de evitar la salida ocasional de mazorcas de cacao.

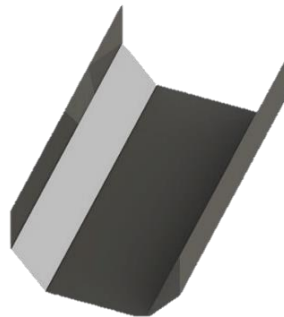
Figura 47-4: Tolva de Dosificación



Fuente: Autores

Después de que las mazorcas de cacao fueran cortadas por las cuchillas pasan a la bandeja de traslado hacia el cilindro despulpador. Esta se encuentra a la salida de la tolva de alimentación, instalada con una inclinación de 60°.

Figura 48-4: Bandeja de Traslado



Fuente: Autores

4.7.2 Sistema de recolección de granos de cacao y eliminación de residuos

La bandeja tiene la función de recolectar los granos de cacao que salen del cilindro despulpador. En el modelado de la figura 48-4 se aprecian las dos pendientes diferentes que posee esta bandeja, una de 12° y otra de 49°, vistas lateralmente.

Figura 49-4: Bandeja de Recolección



Fuente: Autores

4.8 Sistema Eléctrico y de Control

En esta sección se abordarán todos los elementos eléctricos que forman parte de la máquina cortadora y despulpadora de cacao.

4.8.1 Selección del variador de frecuencia

En el apartado 4.5 se seleccionó el motor necesario para la máquina cortadora y despulpadora de cacao y se hizo mención de la posterior selección de un variador de frecuencia, con el fin de verificar los valores de velocidad calculados teóricamente para el sistema de corte y despulpado.

Con el valor de potencia del motor de 2,89 Hp y la ayuda del catálogo general ABB, se seleccionó el modelo ACS150-01E-09A8-2 de las siguientes características:

- Potencia: 3 Hp
- Voltaje de entrada: 200 - 240 V monofásico
- Frecuencia de entrada: 48-63 Hz
- Voltaje de salida: 220 V trifásico
- Frecuencia de salida: 0 - 500 Hz

Figura 50-4: Variador de Frecuencia ACS150



Fuente: (ABB Oy, 2010)

4.8.2 Circuito de control y potencia

La máquina cortadora y despulpadora de cacao cuenta con varios elementos, mismos que se presentan en la siguiente tabla.

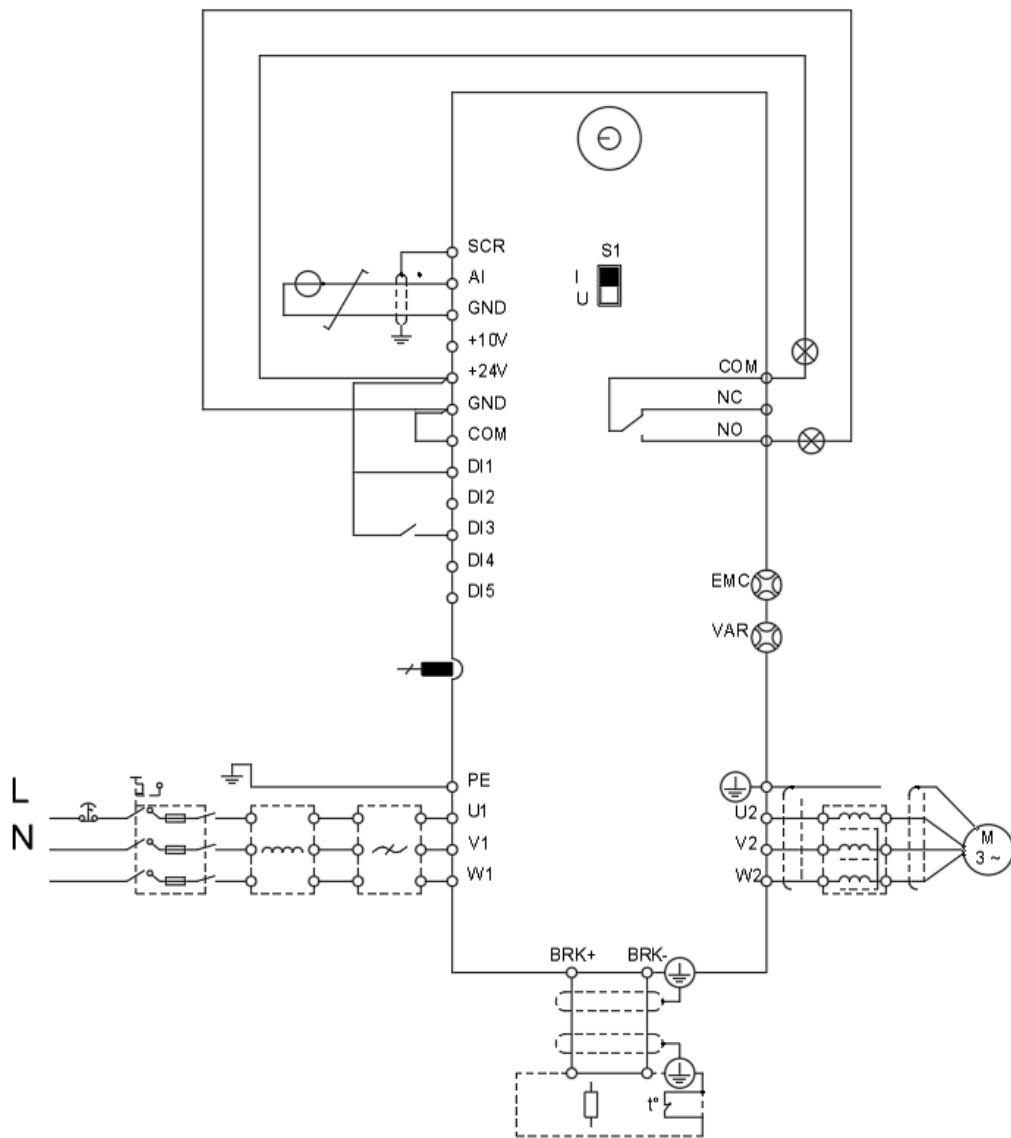
Tabla 7-4: Elementos del Circuito de Potencia y Control

Cantidad	Descripción	Detalles
1 u	Motorreductor VARELLY	Tipo: ms10011-4 Potencia: 3 hp Voltaje: 220 V trifásico Frecuencia: 60 Hz Corriente nominal: 8,6 A
1 u	Variador de frecuencia ABB	Tipo: ACS 150-01e-09a8-2 Potencia: 3 hp Voltaje: 220 V monofásico Corriente nominal: 21 A
3 m	Cable concéntrico CENTELSA	4x12 THHN 600v PVC 90°c
10 m	Cable concéntrico CENTELSA	3x12 THHN 600v PVC 90°c
1 u	Breaker riel EBAS 2p 32a	
1 u	Pulsador PLAST	22mm hongo 40mm CSC giro rojo 1nc
1u	Luz led	22mm CSC roja 220v
1 u	Luz led	22mm CSC verde 220v
1 u	Bornero riel	4 mm ²
3 m	Cable flexible CENTELSA	TFF 18 AWG blanco
3 m	Cable flexible CENTELSA	TFF 18 AWG negro
1	Tope de borne	
1	Gabinete metálico liviano BEAUC	400x400x200 mm
1	Selector	22mm 2 POS CSC negro 1na

Realizado por: Autores

Con todos estos elementos se forma el siguiente diagrama de control y potencia con la conexión macro estándar ABB, que se detallada en el Anexo N.

Figura 51-4: Diagrama de Control del Circuito



Realizado por: Autores

Fuente: (ABB Oy, 2010)

CAPITULO V

5. CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE LA MÁQUINA CORTADORA Y DESPULPADORA DE CACAO

En este apartado se describe el proceso de construcción, montaje y pruebas de funcionamiento de la máquina cortadora y despulpadora de cacao, utilizando materiales disponibles en el mercado, diversas herramientas y procesos necesarios para lograr la optimización de recursos y tiempo.

5.1 Construcción de la máquina

Para la construcción de la máquina cortadora y despulpadora de cacao se utilizaron las siguientes máquinas y herramientas.

Tabla 1-5: Máquinas y Herramientas Utilizadas

Máquinas	Herramientas
Torno	Flexómetro
Fresadora	Calibrador pie de rey
Soldadora de arco	Escuadras
Soldadora de alta frecuencia TIG.	Amoladora
Compresor	Discos de corte
Cortadora plasma	Discos de desbaste
Roladora	Esmeril
Dobladora	Fresadora manual
	Fresas
	Taladro de mano
	Taladro de pedestal
	Brocas
	Martillo
	Prensa manual
	Llaves
	Machuelos
	Limatón

Realizado por: Autores

5.1.1 Componentes y tiempos de construcción de la máquina

En la siguiente tabla se muestra la lista de los materiales que forman parte de la máquina cortadora y despulpadora de cacao.

Tabla 2-5: Materiales y Tiempos de Construcción del Equipo

Sistema	Elementos	Nº	Operaciones	Tiempo (min)	Cantidad de elementos	Tiempo total (min)
Estructural	Estructura metálica	1	Toma de medidas	50	1	370
		2	Corte	50		
		3	Armado	40		
		4	Pre soldado	40		
		5	Verificación de medidas	20		
		6	Soldado	60		
		7	Pulido	50		
		8	Pintado	60		
	Placa de las ruedas de fricción	9	Toma de medidas	5	2	102
		10	Corte	10		
		11	Armado	3		
		12	Pre soldado	3		
		13	Verificación de medidas	3		
		14	Soldado	5		
		15	Pulido	3		
		16	Pintado	3		
		17	Taladrado de agujeros	4	8	
	Placa de las ruedas de soporte	18	Toma de medidas	6	2	88
		19	Corte	6		
		20	Armado	3		
		21	Pre soldado	5		

Tabla 2-5 (Continúa): Materiales y Tiempos de Construcción del Equipo

Estructural		22	Verificación de medidas	3		
		23	Soldado	5		
		24	Pulido	4		
		25	Pintado	4		
		26	Taladrado de agujeros	4		
	Base del motor	27	Toma de medidas	10	1	68
		28	Corte	8		
		29	Armado	5		
		30	Pre soldado	5		
		31	Verificación de medidas	4		
		32	Soldado	10		
		33	Pulido	10		
		34	Taladrado de agujeros	4		
	Alimentación	Tolva de alimentación	35	Toma de medidas	30	1
36			Corte	15		
37			Doblado	20		
38			Verificación de medidas	5		
39			Soldado	5		
40			Pulido	5		
Bandeja de traslado		41	Toma de medidas	15	1	77
		42	Corte	10		
		43	Doblado	8		
		44	Verificación de medidas	4		
		45	Soldado	10		
		46	Pulido	10		
		47	Taladrado de agujeros	4		

Tabla 2-5 (Continúa): Materiales y Tiempos de Construcción del Equipo

	Soporte de bandeja de traslado	48	Toma de medidas	3	2	52
		49	Corte	3		
		50	Soldado	5		
		51	Pulido	5		
		52	Taladrado de agujeros	4	5	
Corte	Base de cuchillas	53	Toma de medidas	5	1	31
		54	Corte	6		
		55	Verificación de medidas	4		
		56	Taladrado de agujeros	4	4	
	Cuchillas	57	Toma de medidas	20	4	296
		58	Corte	4		
		59	Desbaste de perfil de corte	25		
		60	Pre soldado	5		
		61	Verificación de medidas	4		
		62	Soldado	8		
		63	Pulido	8		
	Eje	64	Toma de medidas	25	1	190
		65	Corte	15		
		66	Refrentado de caras	20		
		67	Torneado	90		
		68	Fresado de chavetero	40		
	Aspas	69	Toma de medidas	10	20	1660
		70	Corte	20		
		71	Rolado	10		
		72	Armado	10		

Tabla 2-5 (Continúa): Materiales y Tiempos de Construcción del Equipo

		73	Pre soldado	8		
		74	Verificación de medidas	5		
		75	Soldado	10		
		76	Pulido	10		
Despulpado	Estructura cilíndrica	77	Toma de medidas	10	2	146
		78	Corte	8		
		79	Rolado	25		
		80	Pre soldado	5		
		81	Verificación de medidas	5		
		82	Soldado	10		
		83	Pulido	10		
	Vigas de soporte longitudinal	84	Toma de medidas	5	3	117
		85	Corte	5		
		86	Armado	5		
		87	Pre soldado	4		
		88	Verificación de medidas	4		
		89	Soldado	8		
		90	Pulido	8		
	Anillos rigidizadores	91	Toma de medidas	15	2	120
		92	Corte	12		
		93	Armado	8		
		94	Pre soldado	5		
		95	Verificación de medidas	6		
96		Soldado	7			
97		Pulido	7			
		98	Toma de medidas	25		
		99	Corte	15		

Tabla 2-5 (Continúa): Materiales y Tiempos de Construcción del Equipo

Despulpado	Eje de soporte	100	Refrentado de caras	20	1	190
		101	Torneado	90		
		102	Fresado de chavetero	40		
	Bandeja de recolección	103	Toma de medidas	15	1	103
		104	Corte	20		
		105	Doblado	12		
		106	Pre soldado	7		
		107	Verificación de medidas	5		
		108	Soldado	8		
		109	Pulido	8		
110	Taladrado de agujeros	4	7			
Transmisión de movimiento	Bocín	111	Toma de medidas	25	2	210
		112	Corte	10		
		113	Refrentado de caras	20		
		114	Torneado	30		
		115	Taladrado de agujeros	10	2	
		116	Machuelos	10	2	
	Eje	117	Toma de medidas	25	1	190
		118	Corte	15		
		119	Refrentado de caras	20		
		120	Torneado	90		
		121	Fresado de chavetero	40		
	Ruedas de fricción	122	Armado	20	2	40
	Piñones	123	Fresado de chavetero	40	4	220

Tabla 2-5 (Continúa): Materiales y Tiempos de Construcción del Equipo

		124	Alineación con el eje	15		
	Cadenas	125	Ajuste de medidas	15	2	30
	Chumacera de pie	126	Taladrado de agujeros	15	4	60
	Motorreductor	127	Armado	20	1	20
Eléctrico	Circuito de potencia y control	128	Diseño de diagrama de potencia y control	30	1	95
		129	Conexión del breaker	10	1	
		130	Conexión al Variador de frecuencia	15	1	
		131	Conexión del pulsador de paro de emergencia	10	1	
		132	Conexión al selector	10	1	
		133	Conexión de las luces piloto	10	2	
	Gabinete de control	134	Montaje de bornera de riel	5	2	47
		135	Montaje de tope de borne	3	1	
		136	Montaje de los circuitos de potencia y control	10	1	
		137	Taladrado de agujeros	4	6	
	Motor	138	Conexión al gabinete de control	10	1	10
	Total					

Realizado por: Autores

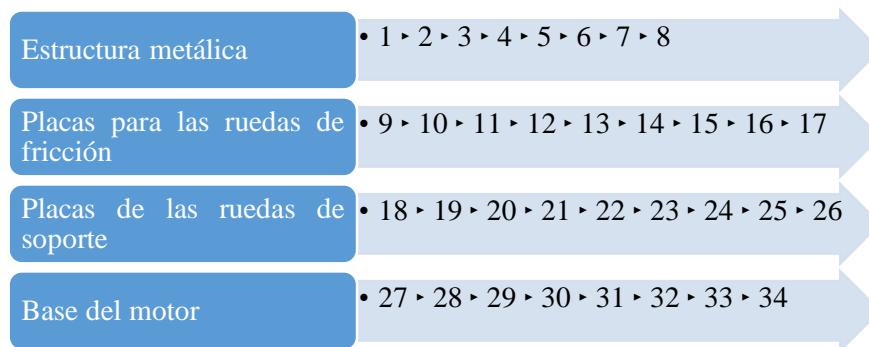
5.1.2 Diagrama de flujo de construcción

En este apartado se muestra la secuencia de construcción que tuvieron los sistemas: estructural, de alimentación, corte y despulpado que conforman la máquina cortadora y despulpadora de cacao. Cada flujograma se encuentra acompañado de su respectivo modelado en SolidWorks y su aspecto final antes del proceso del montaje del equipo.

5.1.2.1 Sistema estructural

Las siguientes ilustraciones muestran el proceso de construcción del sistema estructural del equipo y su forma terminada.

Figura 1-5: Flujograma utilizado en Construcción de Sistema Estructural



Realizado por: Autores

Figura 2-5: Estructura de la Máquina Cortadora y Despulpadora de Cacao



Fuente: Autores

Figura 3-5: Construcción de la Estructura

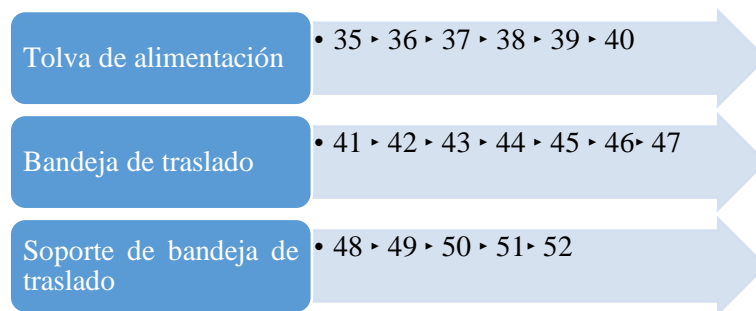


Fuente: Autores

5.1.2.2 Sistema de alimentación

Las siguientes ilustraciones muestran el proceso de construcción del sistema de alimentación del equipo, el modelado del diseño y su representación de forma real, una vez terminado el proceso de manufactura.

Figura 4-5: Flujograma utilizado en Construcción de Sistema Alimentación



Realizado por: Autores

Figura 5-5: Sistema de Alimentación de la Máquina



Fuente: Autores

Figura 6-5: Construcción del Sistema Alimentación

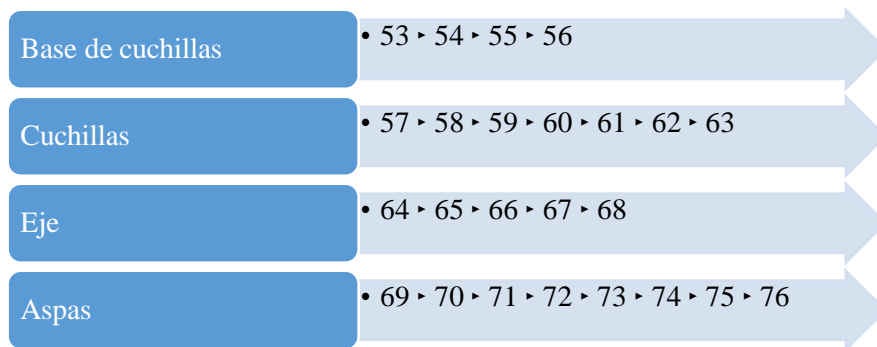


Fuente: Autores

5.1.2.3 Sistema de corte

Las siguientes figuras muestran el proceso de construcción del sistema de corte de la máquina, el modelado del diseño y su representación de forma real, una vez terminado el proceso de manufactura.

Figura 7-5: Flujograma utilizado en Construcción de Sistema de Corte



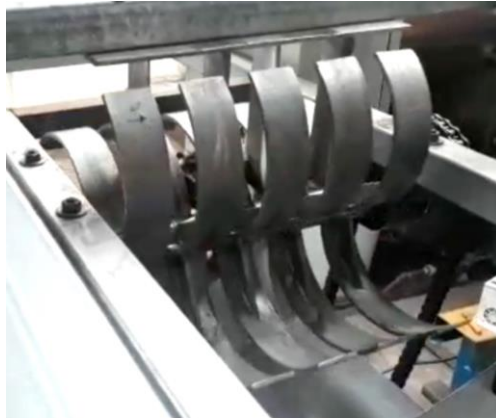
Realizado por: Autores

Figura 8-5: Esquema de Sistema de Corte



Fuente: Autores

Figura 9-5: Construcción del Sistema de Corte

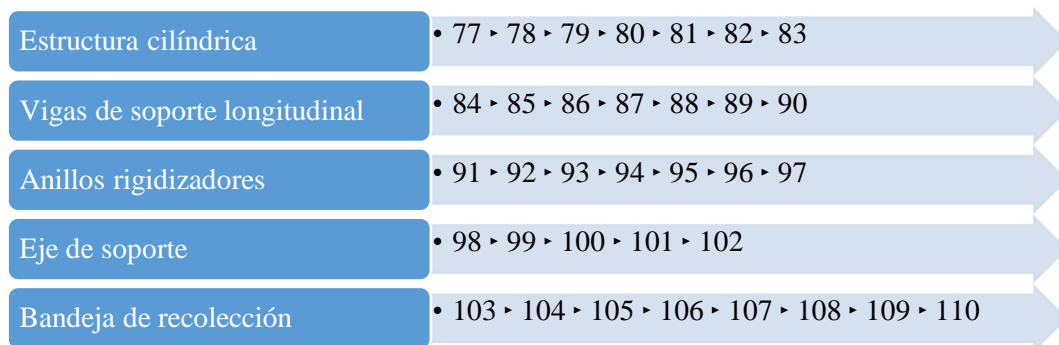


Fuente: Autores

5.1.2.4 Sistema de despulpado

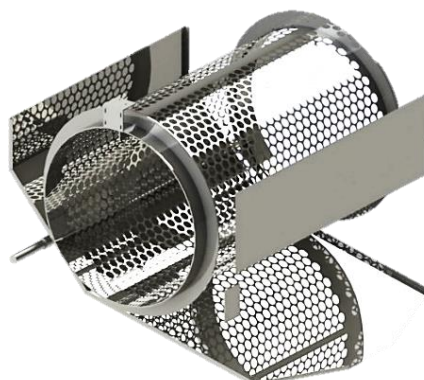
Las siguientes ilustraciones indican el proceso de construcción del sistema de despulpado de la máquina, el modelado de su diseño y la representación de forma real, una vez terminado el proceso de manufactura.

Figura 10-5: Flujograma utilizado en Construcción de Sistema Despulpado



Realizado por: Autores

Figura 11-5: Esquema de Sistema de Despulpado



Fuente: Autores

Figura 12-5: Construcción de Sistema de Despulpado



Fuente: Autores

5.1.3 Montaje de la máquina cortadora y despulpadora de cacao

Para el proceso de montaje de cada uno de los sistemas, en la tabla 3-5 se detalla el tiempo empleado y las operaciones llevadas a cabo para cumplir a cabalidad con el acoplamiento de todos los elementos.

Tabla 3-5: Tiempos empleados en Montaje del Equipo

Sistema	Operaciones	Símbolo	Tiempo (min)
Estructural	Montaje estructura metálica	M1	55
	Montaje placa de las ruedas de fricción	M2	30
	Montaje placa de las ruedas de soporte	M3	20
	Montaje base del motor	M4	20
	Atornillado de los elementos	M5	40
Alimentación, corte y despulpado	Montaje tolva de alimentación	M6	10
	Montaje soporte de bandeja de traslado	M7	10
	Montaje bandeja de traslado	M8	5
	Montaje cuchillas	M9	10
	Aspas	M10	15
	Cilindro despulpador	M11	25
	Atornillado de los elementos	M12	20
Transmisión de potencia	Bocín	M13	30
	Ejes	M14	45
	Ruedas de fricción	M15	60
	Ruedas de soporte axial	M16	20

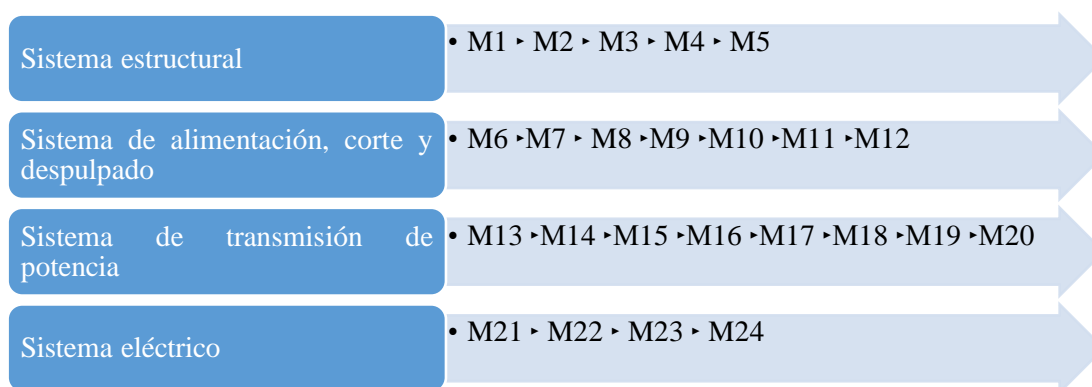
Tabla 3-5 (Continúa): Tiempos empleados en Montaje del Equipo

	Piñones	M17	40
	Cadenas	M18	25
	Chumacera de pie	M19	25
	Motorreductor	M20	15
Eléctrico	Circuito de potencia y control	M21	20
	Gabinete de control	M22	10
	Motor	M23	25
	Atornillado de los elementos	M24	20
		Total	595

Realizado por: Autores

El flujograma detalla de una manera más visual los procesos utilizados para la fase de montaje de la máquina.

Figura 13-5: Flujograma del Proceso de Montaje



Realizado por: Autores

En la tabla 4-5 se indican los tiempos totales empleados en la construcción y montaje de la máquina cortadora y despulpadora de cacao, indicando los valores de tiempo en minutos.

Tabla 4-5: Tiempo empleado en Construcción y Montaje

Descripción del proceso	Tiempo (min)
Etapas de construcción	4612
Etapas de Montaje	602
Total	5214

Realizado por: Autores

El tiempo requerido para que la máquina se encuentre presta a laborar es de 5214 minutos, lo cual transformado a una jornada laboral de ocho horas diarias queda como resultado 11 días 2 horas y 24 minutos, aproximadamente en 12 días laborables.

5.2 Protocolo de Pruebas

Una vez construido el prototipo se procede a evaluar el funcionamiento de los sistemas en el mismo, para comprobar el cumplimiento de los requerimientos establecidos previamente.

5.2.1 Prueba de funcionamiento de la máquina en vacío

OBJETIVO

- Comprobar el correcto funcionamiento de los diferentes sistemas en el equipo

PERSONAS A CARGO DE LA PRUEBA

- Carlos Torres
- Gabriela Quevedo

ACTIVIDADES

Para verificar la adecuada operatividad de la máquina en vacío, se realizan las siguientes labores:

1. Comprobar que la máquina se encuentre conectada a la fuente de energía eléctrica
2. Arrancar el convertidor de frecuencia en control local
3. Incrementar lentamente el valor de frecuencia hasta alcanzar el valor establecido
4. Verificar el funcionamiento de los sistemas de corte y despulpado en el equipo durante un minuto
5. Comprobar que el sistema de transmisión trabaje adecuadamente
6. Disminuir de a poco el valor de frecuencia hasta llegar a cero

7. Apagar el convertidor de frecuencia
8. Desconectar el equipo de la fuente eléctrica
9. Terminar prueba en vacío

ENTRADAS

- Energía eléctrica suministrada
- Señal emitida por el convertidor de frecuencia

SALIDAS

- Funcionamiento de los sistemas que conforman el equipo

OBSERVACIONES

- En esta prueba se verifica que todos los sistemas que conforman la máquina trabajan bien y que no existe riesgo alguno de falla en los elementos que forman parte del proceso de corte y despulpado.

5.2.2 *Prueba de verificación del proceso de corte y despulpado*

OBJETIVO

- Comprobar la forma de corte de las mazorcas de cacao
- Comprobar el porcentaje de despulpado de mazorcas
- Verificar el tiempo de procesado del fruto

PERSONAS A CARGO DE LA PRUEBA

- Carlos Torres
- Gabriela Quevedo

ACTIVIDADES

Para verificar el adecuado corte y despulpado de mazorcas de cacao utilizando la

máquina, se realizan las siguientes labores:

1. Comprobar que la máquina se encuentre conectada a la fuente de energía eléctrica
2. Arrancar el equipo utilizando el control ON localizado en el panel de control
3. Ingresar las mazorcas de cacao por la tolva de alimentación, sin exceder su capacidad
4. Observar que los procesos de corte y despulpado se realicen con normalidad en el equipo
5. Tomar nota sobre el tiempo que demora el proceso
6. Culminar la muestra de mazorcas predisuestas a procesar
7. Comprobar que no existan frutos a tratar dentro del equipo
8. Apagar el equipo utilizando el control OFF localizado en el panel de control
9. Desconectar el equipo de la fuente eléctrica
10. Comprobar el corte y despulpado de mazorcas en los residuos de las mismas localizados al final del recorrido del cilindro
11. Terminar la prueba de verificación del proceso de corte y despulpado de mazorcas de cacao

ENTRADAS

- Energía eléctrica suministrada
- Señal emitida por el convertidor de frecuencia
- Ingreso de mazorcas de cacao

SALIDAS

- Funcionamiento de los sistemas que conforman el equipo
- Granos de cacao y restos de mazorcas procesadas

OBSERVACIONES

- En esta prueba se verifica que las aspas localizadas dentro de la tolva de alimentación alinean las mazorcas en la posición correcta para el corte.

- No se garantiza el despulpado en el equipo de mazorcas con daño por alguna enfermedad, debido a la dureza de los granos de cacao pasarán fragmentadas en un 70%.
- Los restos muy pequeños de mazorcas cortadas pasan a través de la malla del cilindro despulpador hacia la bandeja recolectora, pero en mínima cantidad.

5.2.3 *Prueba de control de calidad de materia prima procesada*

OBJETIVO

- Comprobar el porcentaje de daño en granos de cacao finalizado el proceso

PERSONAS A CARGO DE LA PRUEBA

- Carlos Torres
- Gabriela Quevedo

ACTIVIDADES

Para realizar un control de calidad de la materia prima procesada en el equipo se realizan las siguientes labores:

1. Comprobar que la máquina se encuentre apagada
2. Recoger los granos de cacao extraídos y ubicados en la bandeja recolectora debajo del cilindro
3. Contabilizar y separar los granos que se encuentran en buen estado de los que presentan danos en recipientes separados
4. Pesar cada recipiente y anotar los resultados
5. Calcular el porcentaje en base al peso obtenido
6. Terminar prueba de control de calidad de la materia prima procesada

OBSERVACIONES

- Se presenta una leve acumulación de granos en la parte superior de la bandeja recolectora para lo cual se recomienda utilizar un recogedor largo para agrupar las

semillas de cacao.

5.2.4 Datos obtenidos de las pruebas de funcionamiento

Las pruebas realizadas en la máquina cortadora y despulpadora de cacao presentaron los siguientes resultados con respecto al control de calidad en la materia prima procesada y al tiempo de procesado en la muestra de 350 mazorcas de cacao.

Tabla 5-5: Control de Calidad del Proceso de Corte y Despulpado

Semillas cacao	Peso (Kg)	Porcentaje (%)
En buen estado	59,41	98,51
Sufrieron daño	0,9	1,49
Total	60,31	100

Realizado por: Autores

Tabla 6-5: Tiempo de Procesado de 350 Mazorcas de Cacao

Prueba	Numero de mazorcas	Tiempo de procesamiento (min)
1	70	1,25
2	170	3
3	110	1,5
Total	350	5,25

Realizado por: Autores

En la siguiente imagen se puede apreciar las semillas o granos de cacao en buen estado y otras con daño parcial.

Figura 14-5: Granos de Cacao: Buen estado (izq.) Con Daño Parcial (dcha)



Fuente: Autores

Además, se ha procedido evaluar el desempeño de los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos del equipo operando en vacío y con carga, datos que se presentan en la tabla 7-5.

Tabla 7-5: Evaluación de Diferentes Elementos del Equipo en Funcionamiento

Elementos	Operando		Observaciones
	Correcto	Incorrecto	
Ejes	x		
Piñones	x		
Cadenas	x		Leve nivel de ruido
Chumaceras	x		
Ruedas de fricción	x		
Ruedas de soporte axial	x		
Motorreductor	x		Leve calentamiento mientras opera
Variador de frecuencia	x		Leve calentamiento mientras opera

Realizado por: Autores

5.2.5 *Discusión de resultados*

- Una vez ejecutadas las pruebas de funcionamiento en la máquina cortadora y despulpadora de cacao, se tiene que la potencia consumida por el equipo en vacío fue del 19% y a plena carga, el valor máximo que alcanzó fue de 68%.
- En la prueba de verificación del proceso de corte y despulpado de las mazorcas de cacao, el corte del fruto se realiza de forma transversal, debido a que las aspas alinean las mazorcas en esta posición en el sistema de corte.
- Para el proceso de despulpado de cacao se tiene un porcentaje de extracción de granos de un 95% en base a la muestra de mazorcas procesada.
- En la prueba de control de calidad de la materia prima procesada, se verifica que en base a la muestra de 350 mazorcas de cacao se obtiene un perjuicio aproximado de 1,5 % del total de granos de cacao obtenidos.
- Se establece, en base al número de pruebas realizadas, un tiempo de procesado de 350 mazorcas cada 5 minutos y 15 segundos.

- Se avala que los residuos grandes de mazorcas de cacao partidas por las cuchillas caen al final del recorrido del cilindro y no existe acumulación alguna dentro del mismo.

5.2.6 Comprobación de la capacidad instalada

Planteado como objetivo inicial la máquina debía procesar una cantidad de 2400 mazorcas por hora. En este apartado se comprobará este valor mediante la muestra de 350 mazorcas de cacao utilizadas en las pruebas de funcionamiento del equipo.

Con los datos obtenidos en la tabla 6-5 procedemos a calcular la capacidad instalada de la máquina mediante la fórmula:

$$C = \frac{C_R}{C_T} * 100\% \quad (47)$$

Donde:

C es capacidad instalada de la máquina

C_R es la capacidad real

C_T es la capacidad teórica

$$C = \frac{350}{230} * 100\%$$

$$C = 1,52 \%$$

Con este resultado se concluye que la máquina cortadora y despulpadora de cacao tiene una capacidad de 3648 mazorcas por hora, recalando que esta capacidad podría aumentar o disminuir mediante la modificación de los parámetros del variador de frecuencia.

5.3 Verificación de Requerimientos

Una vez concluidas las pruebas de funcionamiento de la máquina, es necesario conocer el nivel de cumplimiento de cada uno de los requerimientos propuestos en la matriz QFD

del capítulo tres, lo cual se logra verificar analizando los resultados obtenidos y presentados en las tablas siguientes.

5.3.1 Verificación de los requerimientos del usuario

En la tabla 8-5 se detalla el cumplimiento o no de los requerimientos establecidos por el usuario.

Tabla 8-5: Verificación de la Voz del Usuario

Requerimientos del usuario	Cumple	No Cumple
Corte y despulpado mayor que en forma manual	x	
Fácil de transportar	x	
Mínimo número de operarios	x	
Fácil dosificación de mazorcas y recolección de granos	x	
Funcione con energía eléctrica	x	
Fácil mantenimiento y montaje	x	
Precio accesible	x	

Realizado por: Autores

5.3.2 Verificación de los requerimientos del ingeniero

En la tabla 9-5 se detalla el cumplimiento o no de los requerimientos establecidos por el ingeniero.

Tabla 9-5: Verificación de la Voz del Ingeniero

Requerimientos del ingeniero	Cumple	No Cumple
Sistema de corte y despulpado	x	
Dimensiones equipo	x	
Nivel de Automatización	x	
Sistema de alimentación y recolección	x	
Materiales	x	
Consumo energía	x	
Mantenibilidad	x	
Costo máximo	x	

Realizado por: Autores

Con los datos obtenidos se puede verificar que los requerimientos planteados inicialmente se cumplen en su totalidad, una vez finalizado el proyecto.

5.4 Manual de Operación de la Máquina

5.4.1 Vista y características generales del equipo

El manual de operación indica las especificaciones, puesta en marcha, operación y medidas de seguridad a tomar en cuenta para un adecuado uso de la maquinaria a utilizar (GARCÍA, 2003). En la tabla 10-5 se indican las características principales de la máquina cortadora y despulpadora de cacao.

Figura 15-5: Máquina Cortadora y Despulpadora de Cacao



Fuente: Autores

Tabla 10-5: Características de la Máquina

MÁQUINA CORTADORA Y DESPULPadora DE CACAO			
Características Generales	Alto		1,525 m
	Ancho		1,3 m
	Largo		1,98 m
	Peso		354,4 kg
	Material	Sistema de corte, despulpado, alimentación y recolección	
Estructura		Acero Galvanizado	

Tabla 10-5 (Continúa): Características de la Máquina

Características Técnicas	Capacidad de producción	3648 mazorcas/hora
	Motor	3 hp
	Voltaje	220 V

Realizado por: Autores

5.4.2 *Requisitos de instalación del equipo*

La máquina requiere del cumplimiento de ciertos parámetros para una correcta puesta en marcha. Los mismos se encuentran detallados a continuación.

- Suministro de voltaje monofásico 220 V
- Intensidad máxima de 21 A
- Ubicación del equipo sobre una superficie lisa, eludiendo un posible desequilibrio en su estructura
- Comprobar que el espacio donde se localice la máquina cuenta con unas dimensiones mínimas conminadas de 3,5 m de largo, 2,5 m de alto y 2,5 de ancho.
- Se recomienda el uso del equipo en ambientes protegidos de las inclemencias del tiempo, con el fin de salvaguardar los equipos eléctricos

5.4.3 *Directrices de funcionamiento*

Previo al encendido del equipo, se debe cumplir con lo siguiente:

- Comprobar que no exista desequilibrio alguno entre la máquina y la superficie sobre la que se encuentra situada
- Verificar que todos los elementos que conforman el sistema de corte y despulpado de cacao se encuentren limpios y sin ningún residuo que pueda afectar la operatividad de los mismos
- Revisar que los sistemas de transmisión se encuentren lubricados correctamente
- Corroborar que el interruptor ubicado en el panel de control del equipo se encuentre apagado, es decir en OFF.

Una vez revisado y verificado las instrucciones anteriores, se procede a iniciar el proceso de corte y despulpado de mazorcas de cacao de la siguiente manera:

1. Conectar el equipo a la fuente de energía eléctrica
2. Ubicar un recipiente en la parte final de la bandeja recolectora
3. Encender el equipo utilizando el control ON ubicado en el panel de control
4. Espere un tiempo de 5 segundos antes de iniciar el proceso
5. Proceder a colocar el producto en la tolva de alimentación de manera continua, sin sobrepasar su capacidad
6. Cambiar el recipiente de recolección antes de que rebosen los granos de cacao acopiados

Figura 16-5: Inicio del Procesado de Mazorcas



Fuente: Autores

5.5 Manual de Mantenimiento de la Máquina

El manual de mantenimiento se relaciona con el buen funcionamiento de la máquina, ya que ésta debe operar a la capacidad requerida sin fallo alguno (GARCÍA, 2003). Las siguientes indicaciones permitirán preservar y mantener el equipo en óptimas condiciones.

5.5.1 Procedimientos esenciales de mantenimiento

Programar las actividades que deben llevarse a cabo de forma periódica para que el equipo funcione en condiciones óptimas, es uno de los objetivos de realizar un plan de mantenimiento. La tabla propuesta indica los procedimientos principales a tener en cuenta en el mantenimiento de los elementos de la máquina cortadora y despulpadora.

Tabla 11-5: Procedimientos de mantenimiento recomendados

Plan de mantenimiento periódico propuesto					
ACTIVIDAD	Diario	Semanal	Mensual	Semestral	Anual
Inspección visual del equipo en general	x				
Inspección y ajuste de elementos de sujeción			x		
Lubricación de cadenas y rodamientos		x			
Tensionado de cadenas				x	
Corroboración de calentamiento en el sistema eléctrico	x				
Limpieza del sistema de corte y despulpado	x				
Pintado de la estructura					x
Revisión de alarma de fallos en el variador					x
Comprobación de polvo, corrosión y temperatura en el variador					x
Revisión de nivel de aceite en el reductor		x			
Cambio de aceite en el reductor				x	

Realizado por: Autores

5.5.2 Limpieza del equipo

Una vez finalizado el proceso de corte y despulpado de mazorcas de cacao se recomienda limpiar la máquina debido a que los residuos del mucílago de cacao, un componente viscoso que envuelve los granos dentro del fruto, quedan adheridos a los elementos que conforman los sistemas de alimentación, corte, despulpado y recolección del equipo. Para efectuar la limpieza, se siguen los procedimientos aquí enlistados.

1. Desconectar el equipo de la fuente de energía
2. Cubrir los equipos eléctricos a manera de evitar daños en los circuitos
3. Lavar la máquina utilizando agua y con un cepillo de cerdas suaves, ir retirando los residuos localizados dentro del cilindro despulpador, bandeja de traslado y de recolección, cuchillas, aspas y tolva de alimentación.
4. Para el aseo del panel de control utilizar un paño suave y húmedo. Evitar los limpiadores abrasivos en la limpieza de este tipo de sistemas. (ABB Oy, 2010)

5.6 Costos de la Máquina

5.6.1 Costos directos

El costo directo se refiere a la sumatoria de gastos en la compra de materiales requeridos para la construcción del prototipo y la mano de obra utilizada en el proceso. Las tablas 12-5 y 13-5 muestran los gastos realizados en la adquisición de elementos mecánicos y eléctricos empleados en la construcción del equipo, indicando su descripción, cantidad y precio respectivo.

Tabla 12-5: Costo de Elementos Mecánicos Requeridos

	Cantidad	Descripción	Precio Total (\$)
Elementos mecánicos	2 u	8 AF 36 A ITAL C/C. 220 KG	39,92
	2 u	3 NYLON 34 A ITAL INOX C/C	22,60
	2 u	Rueda D/CAUCHO 13" x 3/4 C/BOCIN	25,09
	2 u	Plancha AC. INOX 304 -1 mm	198,20
	2 u	Platina AC. INOX 2" x 1/4"	158,05
	1 u	Platina AC. INOX 4" x 1/4"	193,18
	1 u	Pl. Acero INOX PERF. RED. 1,22 x 2,44 espesor: 1mm; PERF1: 38 mm	184,8
	0,5 u	Plancha AC. INOX 304 -3 mm	100,00
	1 u	Motorreductor Ortogonal 3Hp. 34RPM. V.220/440, Trifásico. Marca Varelly	689,92
	2 u	Piñón sencillo 60B x 16T	26,34
	1 u	Piñón sencillo 80B x 38T	46,40
	1 u	Piñón sencillo 60B x 32T	33,94
	2 u	Caja de cadena paso 60	94,83
	4 u	Candados para cadena paso 60	3,71
	3 u	Chumaceras NTN UCP207D1	107,52
	2 u	Chumaceras NTN UCP209D1	80,28
	2 u	Llanta SANSON 3"x8"x	46,36
	5 u	Tubo galvanizado 50x50x3 mm (TC HG 2x3mm UND)	260,70
	1,62 m	SAE 1018 Transmisión 1 3/4"	46,58

Tabla 12-5 (Continúa): Costo de Elementos Mecánicos Requeridos

	0,7 m	SAE 1018 Transmisión 1 3/8"	15,29
	0,6 m	SAE 304 2" INOX	59,76
	0,4 m	147M 50X30 Barra perforada	11,05
	1,3 m	SAE 1018 Transmisión 1 3/4"	24,46
	4	Costo de envíos por transporte	43,50
	Total		2327,69

Realizado por: Autores

Tabla 13-5: Costo de Material Eléctrico Requerido

Material eléctrico	Cantidad (unidad)	Descripción elemento	Precio Total (\$)
	1	Enchufe PLCB 50 AMP 125/250V 3P 3H NGR 300 COOPER NOM4-20	7,75
	3	Cable concéntrico CENTELSA 4x12 THHN 600V PVC 90°C	6,18
	10	Cable concéntrico CENTELSA 3x12 THHN 600V PVC 90°C	16,02
	1	Breaker riel EBAS 2P 32A 6KA	5,16
	1	Luz 22mm Led CSC Roja 220V	1,39
	1	Luz 22mm Led CSC Verde 220V	1,53
	1	Bornera Riel 4mm ²	0,39
	3	Cable Flexible CENTELSA TFF 18 AWG Blanco	0,47
	3	Cable Flexible CENTELSA TFF 18 AWG Negro	0,47
	1	Tope De Borne	0,19
	1	Gabinete Metálico Liviano BEAUC 400x400x200 mm	35,24
	1	Pulsador 22MM PLAST HONGO 40MM CSC Giro Rojo 1NC	2,37
	1	Selector 22MM 2 POS CSC Negro 1NA	1,68
	1	Variador de frecuencia bifásico. 3Hp. 220V. Digital. Marca: ABB	436,0
Total		514,84	

Realizado por: Autores

El costo de mano de obra considera la construcción de los elementos de la máquina, desplazamientos de materiales hacia el lugar de trabajo, costos de máquinas herramientas y sus operarios.

Tabla 14-5: Costos Directos

Descripción	Monto \$
Materiales	2842,53
Mano de obra	1100
Total	3942,53

Realizado por: Autores

5.6.2 Costos indirectos

Los costos indirectos se refieren a los costos ingenieriles relacionados con el diseño de la máquina, así como a imprevistos que puedan generarse durante el desarrollo del proyecto.

Tabla 15-5: Costos Indirectos

Descripción	Monto \$
Ingenieriles	600
Imprevistos	150
Total	750

Realizado por: Autores

5.6.3 Costo total

Los costos totales del proyecto ubicados en la tabla 16-5 se refieren a la sumatoria de los costos directos e indirectos generados en la construcción y montaje de la máquina cortadora y despulpadora de cacao.

Tabla 16-5: Costo Total del Proyecto

Costo	Monto \$
Directo	3942,53
Indirecto	750
Total	4692,53

Realizado por: Autores

5.7 Conclusiones

- Al finalizar el diseño y construcción de la máquina cortadora y despulpadora de cacao se comprueba que el equipo posee una capacidad instalada final de 3648 mazorcas por hora, superando el objetivo general planteado al inicio del proyecto, lo que permite que el agricultor mejore los tiempos de procesado del producto mientras reduce sus costos, mejorando así su productividad.
- El desarrollo del estudio bibliográfico dio a conocer los rangos de longitud, ancho, peso de las mazorcas y semillas de cacao, variables que sirvieron como base para el ensayo realizado en una muestra de 90 mazorcas de cacao que determinó una fuerza de corte $86,74 \pm 32,99$ kgf, masa de $1,8 \pm 0,991$ Kg, longitud de $26,3 \pm 2,12$ cm, y ancho de $8,817 \pm 0,856$ cm en las mazorcas de cacao, así como longitud de $33 \pm 2,057$ mm, ancho de $18,3 \pm 0,8$ mm y espesor de $10,556 \pm 0,951$ mm en las semillas de cacao.
- Con el método de despliegue de la función de calidad nos aseguramos de tomar en cuenta las necesidades del usuario que, al transformarlas en requerimientos técnicos, y luego de analizar las opciones de solución resultantes, se diseñó una máquina con sistema de corte con cuchillas y aspas giratorias, junto con un despulpador cilíndrico.
- En el capítulo 4 se presentan los resultados de los análisis de esfuerzos y deformación a las que se encuentra sometidos elementos del equipo, realizados teóricamente y verificados mediante métodos de elementos finitos por el software ANSYS, teniendo los siguientes resultados: para las aspas, deformación máxima de 0,00088 m y esfuerzo máximo de 43,02 MPa; cuchillas, deformación máxima de 0,000226 y esfuerzo máximo de 109,33 MPa; eje de despulpado, deformación máxima de 0,000014 m; finalmente, para el cilindro despulpador, deformación máxima de 0,0000018 m y esfuerzo máxima de 1,25 MPa.
- La construcción de la máquina se realizó utilizando procesos de corte, doblado, rolado, torneado, fresado y soldado entre los elementos mecánicos, cuya cohesión conforma un prototipo real con dimensiones: longitud 1,98 m, ancho de 1,3 m, alto de 1,525 m y una potencia instalada de 3 hp, basados en el diseño final del equipo.
- Al realizar las pruebas de funcionamiento del equipo se verifica el correcto funcionamiento de los sistemas que lo conforman, además de revelar un porcentaje de daño parcial de 1,5% en los granos de cacao del total obtenido.

- El costo total de la máquina es \$ 4692,53, con lo que se aprecia una gran relación costo beneficio al compararlo con equipos de similares características existentes en el mercado nacional e internacional.

5.8 Recomendaciones

- Se recomienda no sobrepasar la capacidad de la tolva de alimentación de la máquina para evitar el posible desbordamiento de frutos cuando el equipo realice la acción del corte.
- Se recomienda mantener libre de agentes extraños la bandeja de recolección, para evitar la contaminación de los granos y así conservar siempre la calidad de la materia prima procesada.
- Se recomienda al operario revisar con cierta frecuencia la acumulación de granos de cacao en la bandeja de recolección durante el funcionamiento de la máquina; debido a su alta viscosidad éstos pueden estancarse en la parte superior de la bandeja.
- Se recomienda, para la futura construcción de una máquina de mayor capacidad a la actual, la instalación de un sistema de evacuación de desechos al final del recorrido del cilindro despulpador para evitar acumulación de cáscaras en las cercanías del entorno de trabajo.

BIBLIOGRAFIA

ABB Oy. *Manual de usuario Convertidores de Frecuencia ACS150 (0,37 A 4 kW, 0,5 a 5cv)*. 2010. pp. 170.

ANECACAO. Cacao CCN-51. [en línea] 2015. [Consulta: 24 Junio 2017]. Disponible en: <http://www.anecacao.com/es/quienes-somos/cacaoccn51.html>.

ANECACAO. Cacao Nacional. [en línea] 2015. [Consulta: 24 Junio 2017] Disponible en: <http://www.anecacao.com/index.php/es/quienes-somos/cacao-nacional.html>.

ANECACAO. Estadísticas de exportación. [en línea] 2015. [Consulta: 1 Junio 2017] Disponible en: <http://www.anecacao.com/index.php/es/estadisticas/estadisticas-actuales.html>.

ANECACAO. Historia del cacao. [en línea] 2015. [Consulta: 24 Junio 2017] Disponible en: <http://www.anecacao.com/index.php/es/quienes-somos/historia-del-cacao.html>.

ARTOBOLEVSKY, I. *Mechanisms in Modern Engineering Design*. Moscow: MIR PUBLISHERS MOSCOW, 1977. pp 333

BRICO-TODO. El Bricolaje de la madera. [en línea] 2000. [Consulta: 22 de Junio de 2017.] Disponible en: <http://www.bricotodo.com/serrar.htm>.

CABALLERO, Juan; et al. “La fermentación y el secado al sol de los granos de cacao”. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*, n° 31 (2014), (México) pp. 1-10.

CARRASCO, Eduardo. Zarandas Vibratorias para la elaboración de cemento. Prezi. [en línea] [Consulta: 22 Enero 2019] Disponible en: <https://prezi.com/8iyvhddcmq48/zarandas-vibraorias-para-la-elaboracion-de-cemento/>.

CATHOLIC RELIEF SERVICES. “ Manual Post Cosecha Cacao” [en línea], 2017, (El Salvador), pp 1-34. [Consulta: 23 Junio 2017.] Disponible en: https://issuu.com/fcambray/docs/manual_post_cosecha_cacao.

CROSS, Nigel. *Métodos de diseño: Estrategias para el diseño de productos* [en línea] Primera. Limusa Wiley, 2001. pp. 192. Disponible en: https://books.google.com.ec/books/about/M%C3%A9todos_de_dise%C3%B1o.html?id=J8etAAAACAAJ&redir_esc=y. 9789681853020.

CUENCA, Juan. *Máquina Despulpadora de cacao.* [video] Ecuador: Instituto Tecnológico Superior Ocho de Noviembre, 2015.

DOSTERT, Nicolas; et al. Hoja Botánica: Cacao – Theobroma cacao L. [en línea] 2012. [Consulta: 20 Junio 2017.] D38/08-19. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/321796507_Hoja_botanica_Cacao_-_Theobroma_cacao_L

EUREKA, William & RYAN, Nancy. *Despliegue de la función de la calidad: como orientar su empresa al cliente.* México : Panorama, 1994. pp. 1-50.

FAIRES, V.M. *Diseño de Elementos de Máquinas.* Cuarta. Barcelona : Montaner y Simon S.A. pp. 337-364.

GARCÍA, Santiago. *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento.* Madrid : Díaz de Santos, 2003. ISBN: 84-7978-548-9. pp. 272.

GUTIERREZ VACA, César; et al. Determinación de las características de las cuchillas de corte para mecanizar la cosecha de agave. 2013. 4(1), pp. 159-166. ISSN 2007-0934. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/2631/263125750014.pdf>.

HAMROCK, Bernard; et al. *Elementos de Máquinas.* Mexico : McGraw - Hill, 2000 pp. 3-7.

HEREDIA MONTIEL, Nelson Antonio. 2008. Desarrollo de un Programa de Mantenimiento Preventivo Total (TPM) en el Refinador de Licor de Cacao en la Empresa Infelersa S.A. [en línea] (Trabajo de Titulación) (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. 2008. pp 2-5. [Consulta 2017-11-10] Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/8684/5/D-39862.pdf>

INEN 009. *Código de Dibujo Técnico-Mecánico.*

LUTHERAN WORLD RELIEF. SustainabilityXchange. [en línea]. Disponible en: <https://www.sustainabilityxchange.info/es/documents/cosecha-fermentacion-y-secado-de-cacao>.

MAXIMIXE. Perfil de Mercado y Competitividad Exportadora de Cacao. [en línea] 2006. [Consulta: 12 Junio 2017.] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/54552586/Cacao>.

MECAL. *Máquina de cortar y separar almendras de cacao.* Brasil : Evermark Group Business Consulting, 2018.

MIGUEL SEÑALADA, José María. *Máquina para desgranar y separar granos de mazorcas de cacao.* España, Invención. N° de patente 396046.

MORENO, Luis y SANCHEZ, Jesús. “Beneficio del Cacao”. *Fundación Hondureña de Investigación Agrícola.* [en línea] 1989, (Costa Rica) (6), pp.1-26. [Consulta: 23 Junio 2017.] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/310130238/Beneficio-Del-Cacao>.

MOTT, Robert L. *Diseño de Elementos de Máquinas.* Cuarta. Mexico : Pearson, 2006.

NEC-SE-CG. *Cargas (No Sísmicas)*

ORTIZ VALBUENA, Kely Lorena & LEON ALVAREZ, Ricardo. “Efecto del vertimiento de subproductos del beneficio de cacao (*Theobroma cacao* L.) sobre algunas propiedades químicas y biológicas en los suelos de una finca cacaotera, municipio de Yaguará. (Huila, Colombia)”. *Boletín científico Centro de Museos de Historia Natural* [en línea], 2015. 9(1). pp. 67-73. ISSN 2462-8190. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v19n1/v19n1a05.pdf>

PAREDES, Mendis. “Manual del cultivo de cacao” [en línea] 2004, (Perú). [Consulta: 24 Junio 2017.] Disponible en: <http://canacacao.org/wp-content/uploads/Cultivo-del-Cacao-Amazonas-Peru-2004.pdf>

PEREZ, Juan. *Producción de Plantas* [en línea]. 2008. Disponible en: <https://www.libro-e.org/2016/09/descarga-libro-produccion-de-plantas-pdf-de-perez-lopez-juan-carlos/>.

PRO ECUADOR. *Análisis del sector cacao y elaborados.* Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones. Quito, 2013. pp. 42.

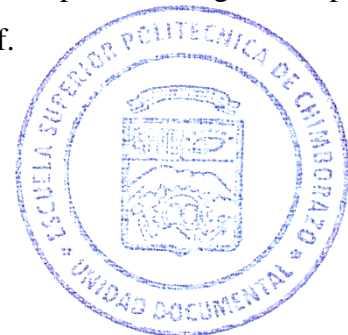
QUINTERO, María & DIAZ, Katty. “El mercado mundial del cacao”. *Agroalimentaria* [en línea], 2004, 9(18). ISSN 1316-0354. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-03542004000100004..

RANGEL FAJARDO, Alma Ma., et al. “Anatomía e Histoquímica de la Semilla del Cacao (*Theobroma cacao* L.) Criollo Mexicano”. *Sociedad Mexicana de Fitogenética A.C.*, Vol. 35, n° 3 (2012), (Mexico) pp. 189-197.

RIBA ROMEVA, Carles. *Diseño Concurrente.* Barcelona : Edicions UPC, 2002. ISBN 84-8301-598-6, pp. 70-184.

SHIGLEY, Joseph, BUDYNAS, Richard & NISBETT, J. Keith. *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley.* México : McGraw - Hill, 2008. pp. 347-953.

VICEPRESIDENCIA ECUADOR, Secretaría Técnica del Comité Interinstitucional para el Cambio de la Matriz Productiva. “Diagnóstico de la Cadena Productiva del Cacao en el Ecuador” [en línea] 2015. Disponible en: <http://vicepresidencia.gob.ec/wp-content/uploads/2015/07/Resumen-Cadena-de-Cacao-rev.pdf>.



ANEXOS

PLANOS