



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TEMA:

**“SISTEMA DE CORTE PARA EL DESVAINADO DE CACAO
ENFOCADO A PEQUEÑOS PRODUCTORES”**

Trabajo de grado previo a la obtención de título de Ingeniero en Mecatrónica

Línea de investigación: Mecatrónica aplicada a la agricultura

Autor:

Bryan Bolívar Noboa Jiménez

Director:

MSc. Diego Luis Ortiz Morales

Asesor:

MSc. Cosme Damián Mejía Echeverría

Ibarra - Ecuador 2026



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172119120-1		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Bryan Bolívar Noboa Jiménez		
DIRECCIÓN:	El Olivo, Dr. Cristobal Tobar Subía y Lic. Nelson Dávila		
EMAIL:	fica.tronica@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0958967038

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Sistema de corte para el desvainado de cacao enfocado a pequeños productores
AUTOR (ES):	Bryan Bolívar Noboa Jiménez
FECHA: DD/MM/AAAA	05/03/2026
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
DIRECTOR/ASESOR:	Ing. Diego Luis Ortiz Morales, MSc. Ing. Cosme Damian Mejía Echeverría, MSc.

CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 05 días del mes de marzo de 2026

EL AUTOR:

(Firma):

Nombre: Bryan Bolívar Noboa Jiménez



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 05 de marzo de 2026

MSc. Diego Luis Ortiz Morales

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f).....

MSc. Diego Luis Ortiz Morales

C.C.: 100158699-7



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “SISTEMA DE CORTE PARA EL DESVAINADO DE CACAO ENFOCADO A PEQUEÑOS PRODUCTORES” elaborado por BRYAN BOLÍVAR NOBOA JIMÉNEZ, previo a la obtención del título de INGENIERO EN MECATRÓNICA, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

f).....

MSc. Diego Luis Ortiz Morales

C.C.: 100158699-7

f).....

MSc. Cosme Damián Mejía Echeverría

C.C.: 100264128-8

DEDICATORIA

El trabajo de grado presente está dedicado principalmente a la memoria mi abuelo Bolívar Jiménez, que me forjó desde pequeño a ser independiente y solucionar mis problemas, a mi abuela Emilia Abad, mi tía Sonia Jiménez que me criaron como su hijo y me han apoyado en todo el trascurso estudiantil, a mis padres que con gran esfuerzo me ayudaron a no perecer en el camino del éxito, a mis tíos, Freddy Jiménez, Alberto Jiménez, Milton Jiménez, Martha Jiménez, que desde pequeño me enseñaron muchas cosas referentes a la curiosidad de cómo funcionan los equipos mecánicos, eléctricos y electrónicos, apoyándome con pequeñas pero valiosas cosas que de adulto se vuelve más fácil comprender. Gracias a todos ustedes.

Bryan Bolívar Noboa Jiménez

AGRADECIMIENTO

En agradecimiento al MSc. Diego Luis Ortiz Morales, quien desempeñó el rol de director, por brindar sus conocimientos en el desarrollo de trabajos de titulación y guiarme de la mejor manera, al MSc, Cosme Damián Mejía Echeverría, desempeñando el rol de asesor, por brindar sus conocimientos en diferentes asignaturas, y así poder realizar el diseño del sistema de automatización y simulación del sistema mecánico. Al Sr. Milton Efraín Jiménez Abad y a la Sra. Sonia Del Carmen Jiménez Abad, por brindarme la información necesaria sobre la producción, tiempo de recolección, cosecha y métodos de despulpado del cacao, con lo cual fue posible el desarrollo de la máquina propuesta, cumpliendo así los estándares necesarios para el uso en pequeñas fincas productoras. A la Universidad Técnica del Norte, por permitir usar los laboratorios de la carrera y realizar los trabajos necesarios en el desarrollo de la máquina. Al Sr. Wilson Javier Pillo Guanoluisa, propietario de “Metálicas Javier”, quien con su ayuda se logró construir la estructura de la máquina diseñada, al ing. Andrés Arcenio Chaglla Rivera, propietario de MAQUINEQ, quien con amabilidad me ha facilitado el uso de maquinaria, herramientas y capacitaciones para poder realizar las correcciones necesarias del modelo fabricado.

Bryan Bolívar Noboa Jiménez

RESUMEN

Los pequeños productores de cacao en el Ecuador extraen manualmente las semillas del fruto, lo que representa un proceso lento, riesgoso y poco eficiente. La investigación presente desarrollará un sistema de corte el cual facilita el desvainado del cacao, optimizando la productividad y reduciendo el esfuerzo humano. Para ello, se analizaron diversas variables que inciden en la etapa de partir el fruto, como las características geométricas del fruto y la fuerza necesaria para romper su cáscara. Se propuso un sistema de corte basado en cuchillas circulares, accionadas por un mecanismo biela-manivela, el cual reduce el daño al fruto durante el proceso. Además, se diseñó una máquina automática, se realizaron los cálculos mecánicos necesarios y se construyó un prototipo funcional. Las pruebas demostraron un funcionamiento adecuado, siendo 6 veces más eficiente que un operario realizando el corte de forma manual, validando el diseño propuesto como una solución viable para pequeñas fincas productoras. El tiempo de corte de la máquina desvainadora de cacao es aproximadamente de 3600 mazorcas por hora, disminuyendo el riesgo del operador a sufrir heridas cortopunzantes en las manos o dedos. El costo de producción de la máquina es de alrededor de 400 dólares americanos utilizando componentes y tecnología nacional.

Palabras clave: desvainadora de cacao, sistemas de corte, cacao, pequeños productores.

ABSTRACT

Small-scale cocoa producers in Ecuador extract the seeds manually, a process that is slow, risky, and inefficient. This research develops a cutting system that facilitates cocoa pod shelling, improving productivity and reducing human effort. To achieve this, various factors involved in splitting the fruit were analyzed, such as the geometric characteristics of the cocoa pod and the force required to break its husk.

A cutting system based on circular blades driven by a crank–connecting rod mechanism was proposed, which reduces damage to the fruit during the process. Additionally, an automatic machine was designed, the necessary mechanical calculations were performed, and a functional prototype was built.

Testing demonstrated proper operation, showing that the system is six times more efficient than a worker cutting the pods manually, validating the proposed design as a viable solution for small farms. The cocoa shelling machine achieves a cutting rate of approximately 3,600 pods per hour, reducing the operator’s risk of cuts or hand injuries. The production cost of the machine is approximately 400 US dollars using locally sourced components and technology.

Keywords: cocoa sheller, cutting systems, cocoa, small producers.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	ii
CONSTANCIAS	iii
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	iv
APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
ÍNDICE DE CONTENIDOS	1
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
1 ÍNDICE DE TABLAS	9
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	10
1.1 Planteamiento del problema	10
1.2 Objetivos.....	12
1.2.1 General	12
1.2.2 Específicos	12
1.3 Alcance y delimitación	12
1.4 Justificación	13
2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	14
2.1 Antecedentes.....	14
2.2 Bases teóricas del cacao	15
2.2.1 El cacao	15
2.2.2 Producción.....	15
2.3 Métodos de corte y despulpado del cacao	15
2.3.1 Método artesanal	15
2.3.2 Método industrial	16
2.4 Herramientas manuales.....	17
2.4.1 Machete corto	17
2.4.2 Quebrar la mazorca con mazo.....	17
2.4.3 Lomo de machete	18
2.5 Índice de penetración en el sistema de corte	19

2.6	El grosor de la hoja.....	19
2.7	Ángulo de vaciado.....	21
2.8	El ángulo de filo.....	22
2.9	A que ángulo afilar una cuchilla.....	24
2.9.1	Ángulo de filo pequeño.....	24
2.9.2	Ángulo de filo grande.....	25
2.10	Como medir los ángulos.....	25
2.11	Influencia del tipo de acero en el filo.....	26
2.11.1	Ángulos \leq a 10 grados.....	27
2.11.2	Ángulos de 11 a 14 grados.....	27
2.11.3	Ángulos de 15 a 20 grados.....	27
2.12	Sistema biela-manivela.....	27
3	CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO.....	29
3.1	Enfoque y tipos de investigación.....	29
3.1.1	Aspectos tecnológicos.....	29
3.1.2	Aspectos económicos.....	29
3.1.3	Aspectos sociales.....	29
3.1.4	Aspectos ambientales.....	30
3.2	Diseño de la Investigación.....	31
3.2.1	Fase 1: Análisis de requerimientos.....	31
3.2.2	Fase 2: Diseño mecánico.....	32
3.2.3	Fase 3: Diseño eléctrico.....	33
3.2.4	Fase 4: Diseño automatizado.....	34
3.2.5	Construcción y ensamble.....	34
3.2.6	Verificación.....	35
3.2.7	Validación.....	35
4	CAPÍTULO 4: DISEÑO, CONTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE LA MÁQUINA DESVAINADORA DE CACAO.....	37
4.1	Especificaciones de diseño:.....	37
4.1.1	Mecanismo de corte.....	37
4.1.2	Eficiencia.....	37
4.1.3	Materiales.....	37
4.1.4	Seguridad.....	37

4.1.5	Mantenimiento	38
4.1.6	Automatización	38
4.1.7	Costo.....	38
4.2	Restricciones.....	38
4.2.1	Limitación de presupuesto	38
4.2.2	Condiciones ambientales.....	38
4.2.3	Capacidad del operador.....	38
4.2.4	Capacidad de producción	38
4.3	Diseño conceptual de la máquina	39
4.3.1	Solución a la propuesta de una máquina desvainadora de cacao	39
4.3.2	Comparación con máquinas industriales.....	40
4.3.2.	Funcionamiento de la máquina desvainadora	43
4.4	Descripción de los componentes	48
4.4.1	Disco de diamante para baldosas	48
4.4.2	Cabezal moladora.....	48
4.4.3	Platina 24X2.....	49
4.4.4	Ángulos 20X20X2.....	49
4.4.5	Tubo cuadrado 25X25X1	49
4.4.6	Ángulo 25X25X3	50
4.4.7	Tubo para el mecanismo de biela-manivela.....	50
4.4.8	Tubo para la corredera biela-manivela.....	51
4.4.9	Tubo cuadrado 20X20X1	51
4.5	Cálculos	52
4.5.1	Medición de la mazorca del cacao	52
4.5.2	Cálculo de la longitud de la biela manivela	55
4.5.3	Sistema de corte de las mazorcas de cacao	57
4.6	Selección del motor	58
4.6.1	Cálculo del torque	58
4.6.2	Cálculo de la potencia mecánica	59
4.7	Sistema estructural y piezas estándar de la máquina desvainadora de cacao	60
4.7.1	Análisis estático.....	60
4.7.2	Análisis de soldadura utilizado en la estructura de la máquina desvainadora de cacao	

4.7.3	Selección de pernos, arandelas y tuercas	71
4.7.4	Selección de la cuchilla	76
4.7.5	Selección de cabezales para las cuchillas.....	77
4.7.6	Selección del eje del sistema de corte	77
4.7.7	Sistema de control de la máquina desvainadora.....	77
4.7.8	Selección de la caja de mando.....	79
4.8	Sistema eléctrico que incorpora la desvainadora de cacao	81
4.8.1	Diseño del sistema de automatización	81
4.7.1	Selección de cableado	83
4.8.2	Selección de luces indicadoras del sistema de control	84
4.8.3	Selección de la fuente de alimentación 12V para el motor del sistema biela-manivela 85	
4.8.4	Selección del conector de alimentación para la entrada de 110V para la fuente de alimentación.....	87
4.9	Construcción y ensamble de la máquina desvainadora de cacao	89
4.9.1	Sistema de corte	89
4.9.2	Estructura de la máquina desvainadora de cacao	90
4.9.3	Sistema eléctrico automatizado de la máquina desvainadora de cacao	93
4.10	Pruebas de funcionamiento.....	96
4.10.1	Pruebas del motor al vacío	97
4.10.2	Pruebas del sistema biela-manivela.....	98
4.10.3	Pruebas de corte	99
4.10.4	Correcciones del sistema de corte	99
4.11	Validación.....	100
4.11.1	Funcionamiento del sistema de corte	100
4.11.2	Resultados de corte.....	101
4.11.3	Rendimiento de la máquina a comparación del despulpado manual	102
4.12	Análisis de costos de los materiales y elementos utilizados para construir la máquina desvainadora de cacao	105
4.12.1	Costo de la estructura y patas en forma de A de la máquina desvainadora de cacao 105	
4.12.2	Costo de materiales estándar utilizados	106
4.12.3	Precio total de la máquina desvainadora de cacao	107

CONCLUSIONES 108
RECOMENDACIONES 110
BIBLIOGRAFÍA..... 111
ANEXO 1: Construcción..... 117
ANEXO 2: Planos mecánicos..... 124
ANEXO 3: Planos eléctricos 125
ANEXO 4: Hojas de proceso soldadura 126

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 Representación del corte de la mazorca del cacao [41].....	16
Fig. 2.2 Corte con cuchilla longitudinal en desvainadora de cacao [10]	16
Fig. 2.3 Corte de mazorca con machete [7]	17
Fig. 2.4 Extracción de la semilla con mazo de madera [7]	18
Fig. 2.5 Extracción de la semilla sobre lomo de machete [7]	18
Fig. 2.6 Desplazamiento de material, (A) más material, (B) menos material [8]	20
Fig. 2.7 Aumento de grosor de filo con ángulo constante [8].....	20
Fig. 2.8 Ángulo de vaciado 4 mm y grosor de la cuchilla (A) 20° y (B) 15° [8].....	21
Fig. 2.9 Diferencia entre el grosor del lomo (A) 2 mm, (B) 8 mm y el ángulo de vaciado (A) 30°, (B) 15° [8]	22
Fig. 2.10 Representación gráfica del ápex [8]	22
Fig. 2.11 Línea del ápex bajo el microscopio [8].....	23
Fig. 2.12 Relación entre la anchura y ángulos en un filo de doble bisel [8]	23
Fig. 2.13 Diferencia de ángulo de filo (A) 40°, (B) 20° aplicadas a la misma hoja [8].....	24
Fig. 2.14 (A) Bisel doble y (B) Un solo bisel [8].....	25
Fig. 2.15 Ventajas e inconvenientes del ángulo de afilado [8]	26
Fig. 2.16 Mecanismo biela-manivela: nomenclatura [9]	28
Fig. 4.1 Sistema de ingreso de mazorca de cacao al sistema de corte [10].....	40
Fig. 4.2 Solución propuesta para la máquina desvainadora de cacao enfocado a pequeños productores	41
Fig. 4.3 Vista en explosión de la desvainadora de cacao	42
Fig. 4.4 Sistema de corte de la máquina desvainadora de cacao	44
Fig. 4.5 Recorrido del sistema de empuje.....	45
Fig. 4.6 Salida del fruto después del ciclo de corte.....	46
Fig. 4.7 Sistema de corte seleccionado para el desvainado de cacao.....	47
Fig. 4.8 Toma de medidas del fruto del cacao	52
Fig. 4.9 Fuerza de corte vs. Números de ensayos [5]	53
Fig. 4.10 Preparación análisis de movimiento	55
Fig. 4.11 Análisis de recorrido del pistón	56
Fig. 4.12 Esfuerzo máximo	62

Fig. 4.14 Número de elementos vs. esfuerzo máximo	63
Fig. 4.13 Factor de seguridad.....	65
Fig. 4.15 Simulación general FDS	67
Fig. 4.16 Puntos de soldadura en la base	69
Fig. 4.17 Puntos de soldadura en las patas.....	70
Fig. 4.18 Ubicación de los pernos, sección de corte.....	72
Fig. 4.19 Ubicación de los pernos, patas.....	73
Fig. 4.20 Ubicación de los pernos, sección cuchillas.....	74
Fig. 4.21 Ubicación de los pernos, sección sujetadora del motor y eje de la biela.....	75
Fig. 4.22 Ubicación de los selectores en la máquina desvainadora de cacao	78
Fig. 4.23 Caja Dexson Derivación Gris 10105 [26]	79
Fig. 4.24 Ubicación y medidas de las perforaciones en la tapa de la caja plástica.....	80
Fig. 4.25 Ubicación de los selectores de mando en la caja de derivación	80
Fig. 4.26 Circuito eléctrico de la desvainadora de cacao.....	82
Fig. 4.27 Cable flexible número 12 [30].....	83
Fig. 4.28 Indicadores de 12V ACDC [28]	84
Fig. 4.29 Luces indicadoras: A) Distancia de perforaciones, B) ubicación en el panel de mando	85
Fig. 4.30 Fuente de Voltaje metálica tipo Switching 12 Voltios 20 Amperios [29].....	85
Fig. 4.31 Ubicación de la fuente de alimentación en la máquina desvainadora de cacao	86
Fig. 4.32 A) Conector hembra AC-04 [31], B) Cable de poder C13 [33]	87
Fig. 4.33 Ubicación del conector hembra AC-04	88
Fig. 4.34 Sistema de corte seleccionado para la desvainadora de cacao.....	89
Fig. 4.35 A) Estructura base, B) Patas en forma de A del sistema de desvainado.....	90
Fig. 4.36 Sistema biela-manivela de la desvainadora de cacao	91
Fig. 4.37 Sistema de empuje de la mazorca de cacao al sistema de corte	92
Fig. 4.38 Asiento del motor impulsor del sistema biela-manivela.....	93
Fig. 4.39 A) Identificación de los cables del motor, B) Extensión de cables	94
Fig. 4.40 A) Conexión en los contactos NA y NC, B) cables de alimentación del motor.....	95
Fig. 4.41 Conexiones internas de la máquina desvainadora de cacao	95
Fig. 4.42 A) Sección de mando en la máquina, B) Luces indicadoras	96
Fig. 4.43 Configuración de voltaje y amperaje en la fuente de laboratorio	97

Fig. 4.44 A) Consumo a bajas RPM, B) Consumo a altas RPM	98
Fig. 4.45 Recorrido del pistón.....	98
Fig. 4.46 Pruebas de corte	99
Fig. 4.47 Secciones ajustadas.....	100
Fig. 4.48 Sistema de corte (alimentación).....	101
Fig. 4.49 Sistema de alimentación (Corte).....	101
Fig. 4.50 Resultado de corte al fruto de cacao	102
Fig. 4.51 Corte manual del fruto de cacao realizado por una persona con experiencia.....	102
Fig. 4.52 Comparativa A) corte manual vs B) corte con máquina.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Partes de la máquina desvainadora de cacao.....	43
Tabla 4.2 Características del disco de corte [13].....	48
Tabla 4.3 Características generales de la moladora [13].....	48
Tabla 4.4 Características de la platina [14]	49
Tabla 4.5 Características del ángulo [14].....	49
Tabla 4.6 Características del tubo cuadrado [14].....	50
Tabla 4.7 Características del ángulo [14].....	50
Tabla 4.8 Características del acero 304 [14]	50
Tabla 4.9 Características del tubo [14].....	51
Tabla 4.10 Características del tubo cuadrado hueco [14]	51
Tabla 4.11 Medidas de las mazorcas de cacao	52
Tabla 4.12 Características de los parámetros del fruto de cacao.....	53
Tabla 4.13 Características del motor eléctrico [19]	59
Tabla 4.14 Estudio de independendencia.....	63
Tabla 4.15 Medidas de pernos y tuercas	71
Tabla 4.16 Medidas de arandelas	71
Tabla 4.17 Descripción de los pernos	76
Tabla 4.18 Características selector potencia [24].....	78
Tabla 4.19 Características selector ON/OFF [25].....	78
Tabla 4.20 Características de la caja de derivación [26].....	79
Tabla 4.21 Componentes del circuito de automatización.....	83
Tabla 4.22 Características de la fuente de alimentación [30].....	86
Tabla 4.23 Conector hembra AC-04 [31].....	88
Tabla 4.24 Características del cable de poder C13 [33].....	89
Tabla 4.25 Comparativa de tiempo de corte manual y automático	104
Tabla 4.26 Costo de elaboración de la estructura y patas	106
Tabla 4.27 Costos de materiales estándar	106
Tabla 4.28 Costo total de la máquina desvainadora de cacao.....	107

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

A través del tiempo, Ecuador se ha posicionado como uno de los productores principales de cacao fino y de aroma a nivel del mundo. En el presente, el país aporta alrededor del 60 % de la producción mundial de estas variedades, lo que le otorga un papel destacado en la economía nacional. El cacao representa uno de los principales productos de exportación, con una participación promedio del 0,5 % en el Producto Interno Bruto (PIB) total y del 6 % en el PIB agropecuario. Esta actividad genera alrededor de 500.000 empleos, lo que equivale al 4 % de la Población Económicamente Activa (PEA) nacional y al 12 % de la PEA agrícola [1].

En la región costera del Ecuador, el proceso de desvainado del cacao se realiza principalmente de forma manual, utilizando uno o dos operarios. La extracción de la semilla se lo realiza mediante el corte del fruto con machete; requiere gran destreza por parte del trabajador, así como rapidez para procesar el volumen total de mazorcas cosechadas. Este método, sin embargo, conlleva riesgos significativos, ya que el uso de herramientas filosas puede ocasionar accidentes, como cortes en las manos de los operarios.

En las fincas productoras de cacao, esta metodología de trabajo es común, lo que evidencia la necesidad de optimizar el proceso de desvainado, tanto para proteger la integridad del trabajador y reducir el tiempo requerido en esta etapa.

Por ello, la presente investigación propone el diseño y la construcción de un sistema de corte que forme parte del proceso de desvainado del cacao, mejorando la eficiencia en la extracción de la semilla. Los principales beneficiarios de esta máquina serán los pequeños productores dedicados al cultivo del cacao y a la comercialización de la semilla seca obtenida tras el desvainado.

1.2 Objetivos

1.2.1 General

- Desarrollar el sistema de corte para el desvainado de cacao enfocado a pequeños productores.

1.2.2 Específicos

- Identificar las variables que intervienen en el proceso de desvainado del cacao.
- Diseñar el sistema de corte en el proceso de desvainado del cacao.
- Construir el sistema de corte diseñado.
- Validar el modelo construido.

1.3 Alcance y delimitación

En el presente proyecto se identificarán, a partir de la revisión bibliográfica, el análisis de patentes y la consulta con expertos, las restricciones y los requerimientos de diseño del sistema de corte, como parte del proceso de desvainado de cacao orientado a pequeños productores. Una vez determinadas las variables relevantes, se propondrá el diseño de una máquina automática con alimentación manual, destinada al corte de la vaina del cacao y a la extracción de sus semillas.

Posteriormente, se procederá con la construcción del sistema de corte propuesto y la implementación del sistema automático de control. Asimismo, se seleccionarán aquellos subsistemas que no requieran desarrollo específico. Se realizarán pruebas tanto en vacío como con carga, así se verificará el correcto desempeño de los elementos que la conforman.

El diseño incluirá planos detallados de ensamblaje y construcción, facilitando su implementación práctica.

1.4 Justificación

En la región costera del Ecuador, el proceso de desvainado del cacao se realiza principalmente de forma manual, utilizando uno o dos operarios. La extracción de la semilla se lo realiza mediante el corte del fruto con machete; requiere gran destreza por parte del trabajador, así como rapidez para procesar el volumen total de mazorcas cosechadas. Este método, sin embargo, conlleva riesgos significativos, ya que el uso de herramientas filosas puede ocasionar accidentes, como cortes en las manos de los operarios [2].

La correcta realización del corte en la mazorca de cacao es primordial para conservar la integridad de la semilla, reducir el riesgo de accidentes laborales y disminuir el tiempo necesario para el procesamiento del fruto. En este contexto, el presente proyecto busca desarrollar un sistema de corte eficiente para el desvainado de mazorcas, el cual será implementado tras el ingreso del fruto a la máquina.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Se han desarrollado diferentes prototipos de máquinas desvainadoras de cacao en los que el sistema de corte incorpora una caja reductora, componente ampliamente utilizado en aplicaciones industriales que requieren transmisión de potencia con incremento de torque. Este dispositivo permite acoplar un motor eléctrico y reducir su velocidad de rotación, lo cual resulta ventajoso cuando se requiere priorizar la fuerza sobre la velocidad en los procesos mecánicos de corte [3].

En relación con las propiedades mecánicas del fruto, se han determinado valores de resistencia a la fuerza cortante en mazorcas de cacao en estado óptimo. En una prueba realizada con diez frutos, se obtuvo un valor promedio de carga de 48,75 kgf, con una desviación estándar de 27,18 kgf. Expresado en unidades del sistema internacional, esto equivale a un promedio de 477,7 N, con una desviación de 266,72 N [4].

El diseño de sistemas mecánicos para el corte de frutos agrícolas requiere considerar diversos parámetros de ingeniería, entre ellos la velocidad de corte, la geometría de las cuchillas y la resistencia mecánica del material a ser procesado. En el caso de las máquinas desvainadoras de cacao, también es necesario analizar el dimensionamiento de ejes, sistemas de anclaje y elementos de transmisión de potencia que permitan garantizar un funcionamiento mecánico estable del sistema.

En este contexto, el diseño mecánico del sistema de corte implica el cálculo de los elementos de transmisión, incluyendo chavetas, ejes y mecanismos de accionamiento. Asimismo, es necesario estimar la potencia requerida por el sistema de corte con el fin de garantizar un funcionamiento eficiente y seguro de la máquina desvainadora [5].

2.2 Bases teóricas del cacao

2.2.1 El cacao

El cacao constituye la materia prima principal para la elaboración del chocolate. Este producto se obtiene del árbol de cacao, el cual se desarrolla en regiones tropicales caracterizadas por altas temperaturas y elevada humedad relativa. El fruto del cacao contiene entre 20 y 60 semillas recubiertas de pulpa viscosa, las cuales son utilizadas posteriormente en el proceso de fermentación y secado para la obtención del grano de cacao [6].

2.2.2 Producción

La producción de cacao en Ecuador corresponde principalmente a la variedad Nacional y al Complejo Híbrido Nacional por Trinitario. Según datos del último Censo Nacional Agropecuario, el país cuenta con aproximadamente 243.059 hectáreas destinadas al cultivo exclusivo de cacao [1].

2.3 Métodos de corte y despulpado del cacao

2.3.1 Método artesanal

La Figura 2.1, muestra el procedimiento habitual para la extracción manual. Se realizan dos cortes transversales (color rojo) y uno o dos cortes longitudinales (color verde) para facilitar la apertura de la mazorca. Estos son métodos manuales que representan limitaciones en términos de seguridad, eficiencia y productividad, lo que ha motivado el desarrollo de sistemas mecanizados de desvainado.

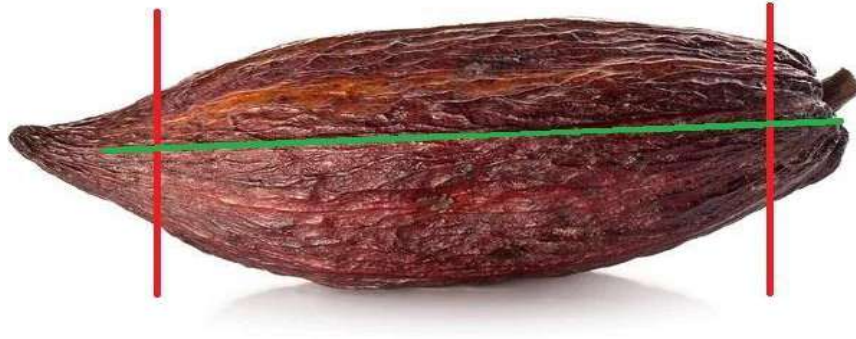


Fig. 2.1 Representación del corte de la mazorca del cacao [41]

2.3.2 Método industrial

En plantaciones donde la cosecha involucra un gran número de mazorcas, el proceso de desvainado puede volverse lento y demandante, especialmente ante la escasez de mano de obra. Esta situación ha motivado a varios técnicos y productores a estudiar alternativas para mecanizar esta tarea. No obstante, la implementación de maquinaria aún es limitada, principalmente debido a los altos costos, que resultan inaccesibles para pequeños y medianos productores [7].

La Figura 2.2 se observa como es el principio de funcionamiento de una desvainadora de cacao industrial.



Fig. 2.2 Corte con cuchilla longitudinal en desvainadora de cacao [10]

2.4 Herramientas manuales

2.4.1 Machete corto

Con este artefacto se obtiene un buen rendimiento cuando el trabajador ya tiene experiencia utilizándolo. Sin embargo, existe el peligro de un accidente en la mano y la probabilidad de cortar granos de cacao, en la Figura 2.3 se observa el método de corte con machete corto [7].



Fig. 2.3 Corte de mazorca con machete [7]

2.4.2 Quebrar la mazorca con mazo

Se puede quebrar la mazorca con un mazo de madera dura, dándole uno o dos golpes en los costados, este puede medir entre 30 cm de longitud y 5 cm de circunferencia, en la Figura 2.4 se observa el procedimiento [7].



Fig. 2.4 Extracción de la semilla con mazo de madera [7]

2.4.3 Lomo de machete

Este método es más utilizado en Colombia y Malasia, consiste en colocar un machete con el filo hacia arriba en una madera resistente, la mazorca se parte fácilmente al ser golpeada con el filo, se considera un método sin peligro para el operario y el grano, en la Figura 2.5 se observa dicho método [7].



Fig. 2.5 Extracción de la semilla sobre lomo de machete [7]

2.5 Índice de penetración en el sistema de corte

Se caracteriza por presentar un ángulo de afilado agudo. Un ángulo menor favorece una mayor capacidad de penetración, mientras que un ángulo mayor incrementa la durabilidad del filo. Esta relación geométrica permite que la hoja supere de manera eficiente la resistencia mecánica del material durante el proceso de corte.

Existen tres factores que intervienen en la penetración de la cuchilla: el grosor de la hoja, ángulo de vaciado y el ángulo de filo [8].

2.6 El grosor de la hoja

El espesor de la hoja constituye un parámetro importante en la capacidad de penetración durante el proceso de corte. A menor espesor de la cuchilla, menor es el volumen de material que debe desplazarse durante la penetración, lo que facilita el ingreso de la herramienta en el material a cortar.

En la Figura 2.6 se muestra que una hoja de mayor ancho ocupa un volumen superior, lo que provoca un mayor desplazamiento del material hacia los lados durante el movimiento de corte [8].

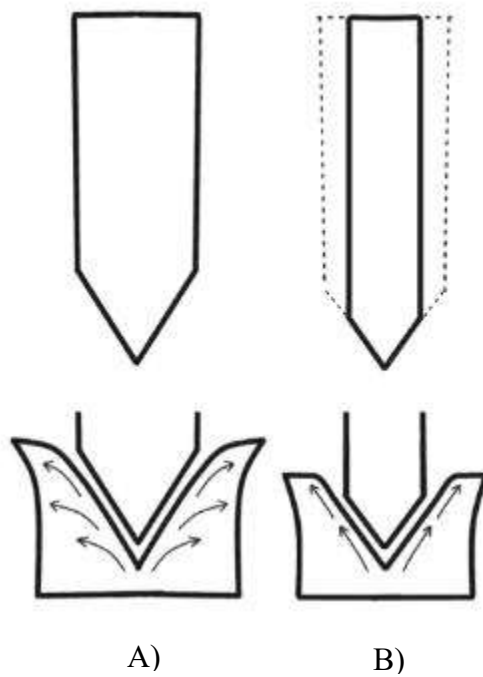


Fig. 2.6 Desplazamiento de material, (A) más material, (B) menos material [8]

Una hoja delgada tiene menor resistencia estructural a la rotura, porque tiene menos acero que la resista. A cambio de ello, atraviesa mejor aquello que se quiere cortar, la Figura 2.7 se representa que mientras se va reafilando esta cuchilla, se va aumentando el grosor del filo, el ángulo permanece constante, pero la calidad de corte empeora [8].

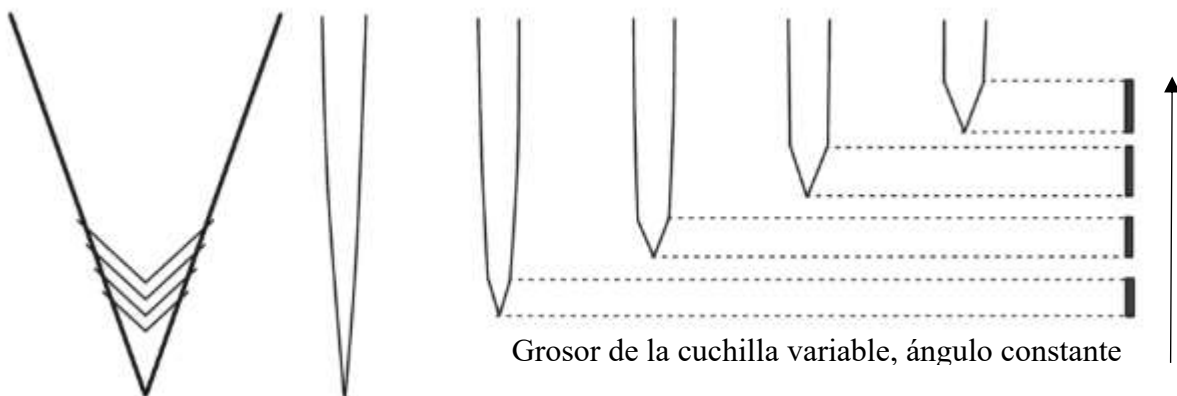


Fig. 2.7 Aumento de grosor de filo con ángulo constante [8]

2.7 Ángulo de vaciado

Mide la inclinación que tienen las caras de una cuchilla. En la Figura 2.11 se muestra que se tienen dos cuchillas de 4 mm de grosor, una de ellas vaciado a 15° y la otra a 20° [8].

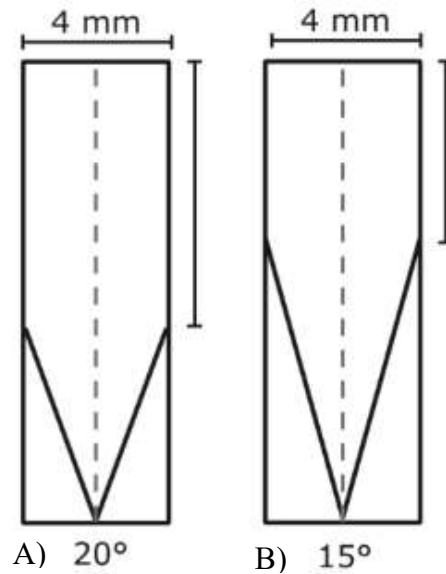


Fig. 2.8 Ángulo de vaciado 4 mm y grosor de la cuchilla (A) 20° y (B) 15° [8]

Un ángulo de vaciado grande cortará mejor que un vaciado de 15° y 8 mm de grosor en el lomo, el primero, penetrará mejor en el alimento porque ocupa menos volumen, en la Figura 2.9 se observa el vaciado mencionado [8].

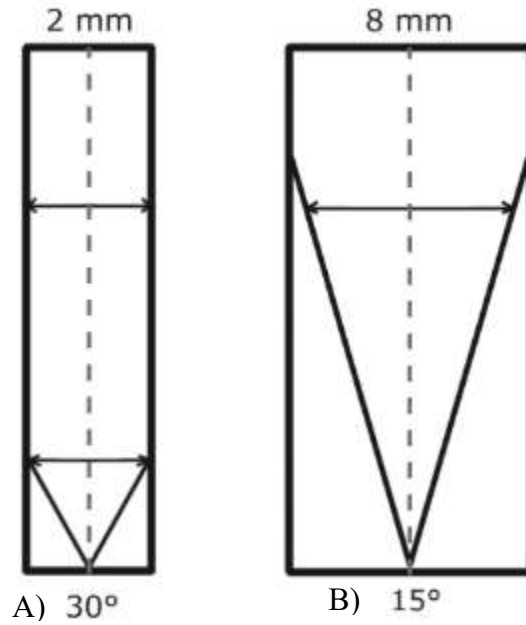


Fig. 2.9 Diferencia entre el grosor del lomo (A) 2 mm, (B) 8 mm y el ángulo de vaciado (A) 30°, (B) 15° [8]

2.8 El ángulo de filo

El punto más fino y afilado de la cuchilla (ápex) está formado por dos biseles (filo de la hoja) que se encuentran en la parte final del filo de la cuchilla. En la Figura 2.10 se muestra que cuando dos superficies planas acanaladas se juntan, forman el ápex [8].

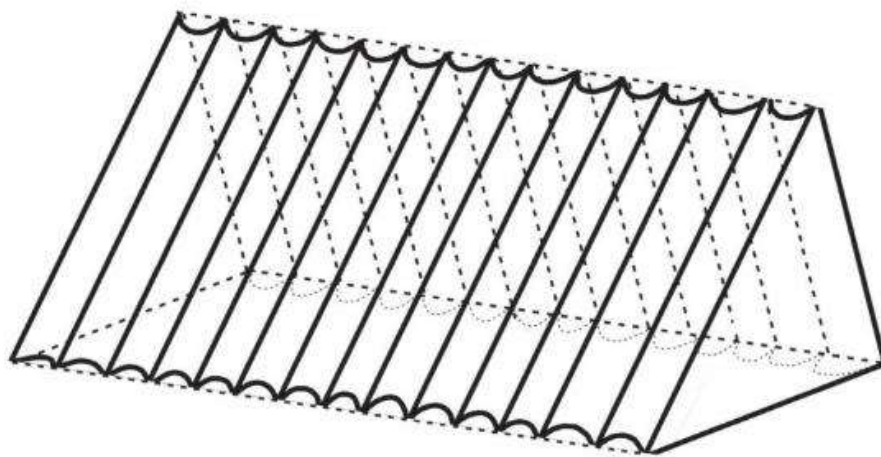


Fig. 2.10 Representación gráfica del ápex [8]

En la Figura 2.11 se observa la línea del ápex vista bajo un microscopio electrónico.

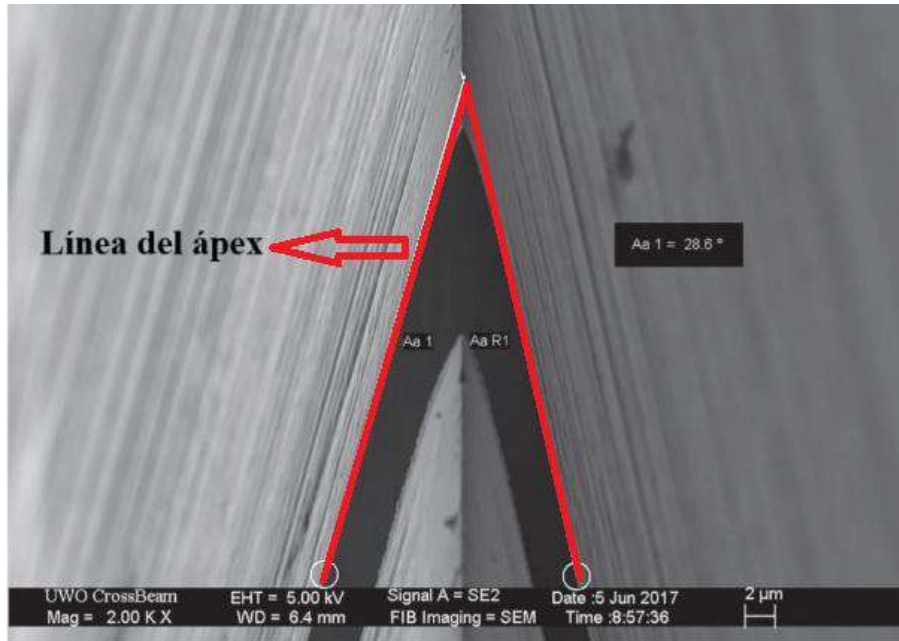


Fig. 2.11 Línea del ápex bajo el microscopio [8]

En la Figura 2.12 se muestra que, si la línea está redondeada, y no acaba en un triángulo lo más perfecto posible, la calidad de corte fino se verá afectado [8].

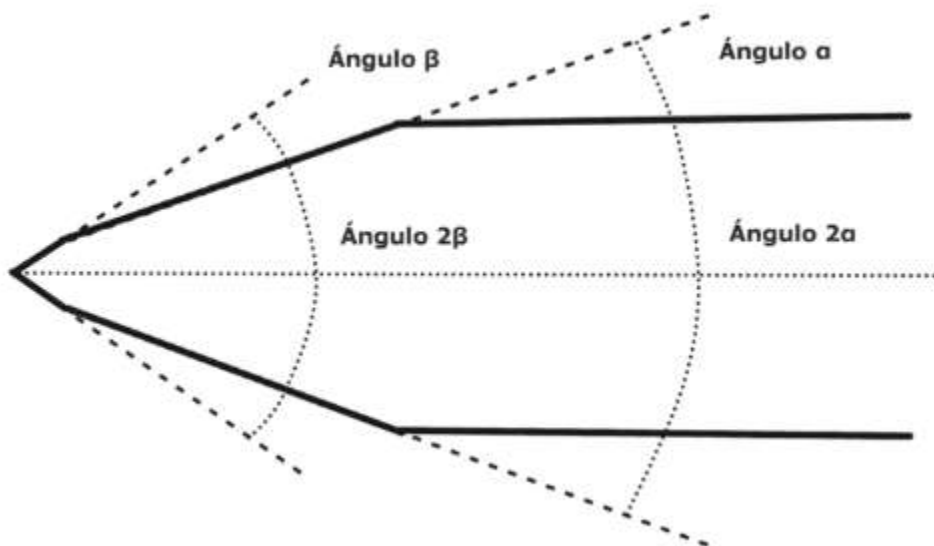


Fig. 2.12 Relación entre la anchura y ángulos en un filo de doble bisel [8]

La resistencia que ofrece el bisel tan obtuso es mínima en una hoja tan delgada, en la Figura 2.13 se muestra la diferencia de filo entre dos ángulos de afilado distinto aplicados a la misma hoja [8].

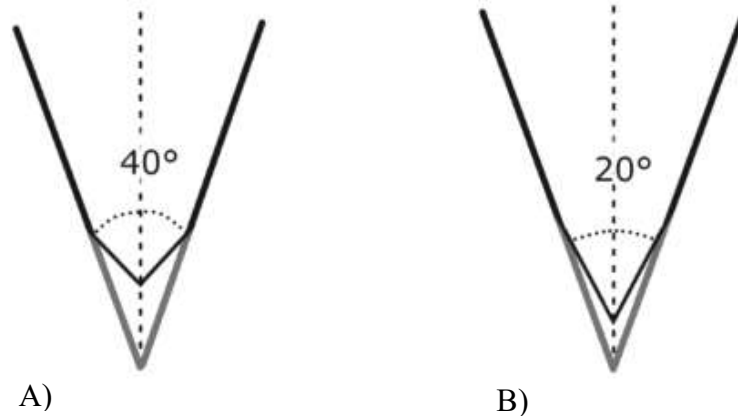


Fig. 2.13 Diferencia de ángulo de filo (A) 40°, (B) 20° aplicadas a la misma hoja [8]

2.9 A que ángulo afilar una cuchilla

No hay un ángulo de afilado correcto, ni anchura ideal de hoja de cada cuchilla [8]. Esta sección es importante debido a que la hoja a afilar pueda penetrar de manera suave la cascara de cacao cuando el fruto sea empujado al sistema de corte.

2.9.1 Ángulo de filo pequeño

Utilizados para realizar cortes finos en materiales blandos, por ejemplo, algunas verduras y carnes sin huesos.

Estos filos tienen poca resistencia al desgaste, y se dañan con facilidad al tener contacto con un material duro, un ejemplo sería una hoja de afeitarse, que da un corte excelente, pero se rompería si se la golpea contra una roca [8].

2.9.2 Ángulo de filo grande

Se utiliza cuando se realizan trabajos que requieren de resistencia en la hoja, o buena retención de filo, ya que, al contar con mayor volumen, tienen mayor resistencia al mallado y al desgaste. Son hojas que no necesitan ser afiladas constantemente. A cambio, el corte que ofrecen es menos preciso, con peor deslizamiento y penetración a través del material, un ejemplo es el hacha para cortar un árbol [8].

2.10 Como medir los ángulos

En la Figura 2.14 se muestra la diferencia entre una cuchilla de bisel simple y una de doble bisel, siendo los de doble bisel los más utilizados en las cuchillas, así mismo, el doble bisel, el ángulo total del filo es la suma del ángulo de cada cara, y en el de bisel simple, al ser de una cara, el ángulo de cara coincide con el ángulo total. Cuando se habla del ángulo de afilado, en este caso llamado β , se refiere al ángulo que se le da a cada una de las caras [8].

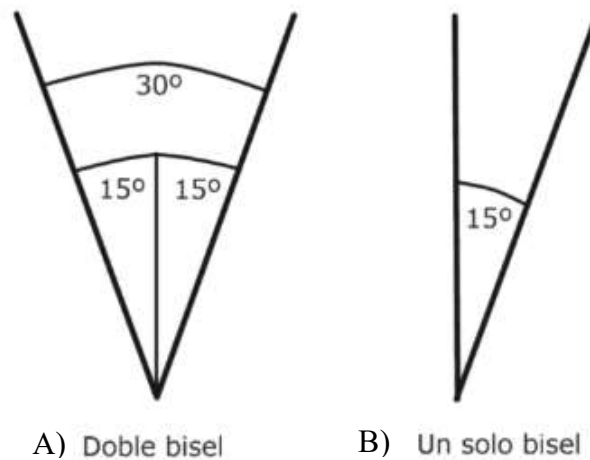


Fig. 2.14 (A) Bisel doble y (B) Un solo bisel [8]

2.11.1 Ángulos \leq a 10 grados

Utilizados para cortar materiales blandos y es necesario evitar el abuso y el estrés en estos filos, porque son delicados y fáciles de dañar, su uso más habitual es en navajas de afeitar [8].

2.11.2 Ángulos de 11 a 14 grados

El filo es más resistente que los de \leq a 10 grados, sin embargo, son igual de frágiles, útil para realizar cortes finos o cortes limpios en alimentos blandos y su uso más habitual es en peladores de verduras [8].

2.11.3 Ángulos de 15 a 20 grados

15 grados es el ángulo más versátil, el cual está en el medio entre la suavidad del corte y retención de filo, y en cuanto se acerca a 20 grados bajará la finura del corte [8].

2.12 Sistema biela-manivela

Es un mecanismo articulado conformado por cuatro elementos: soporte, manivela, biela, pistón o cruceta. Su objetivo es convertir el movimiento circular en rectilíneo y viceversa [9]. Este mecanismo es utilizado en el diseño de la máquina desvainadora, debido a su alta eficiencia, durabilidad y la capacidad de manejar cargas pesadas transformando el movimiento rotacional del motor en movimiento alternativo que necesita el sistema de corte para funcionar.

Determinación de trayectorias

***Soporte* (O):** elemento fijo o base del mecanismo.

***Manivela* (\overline{OA}):** elemento de longitud r , con movimiento rotacional continuo.

***Biela* (\overline{AB}):** elemento de longitud l , que transmite el movimiento entre la manivela y el pistón.

Pistón o cruceta (B): elemento de trayectoria rectilínea alternante, pudiendo ser céntrico o excéntrico [9].

La Figura 2.16 se detalla el sistema biela-manivela, partes y ángulos que lo conforman, mostrando los eslabones y sus componentes descritos en la determinación de trayectorias.

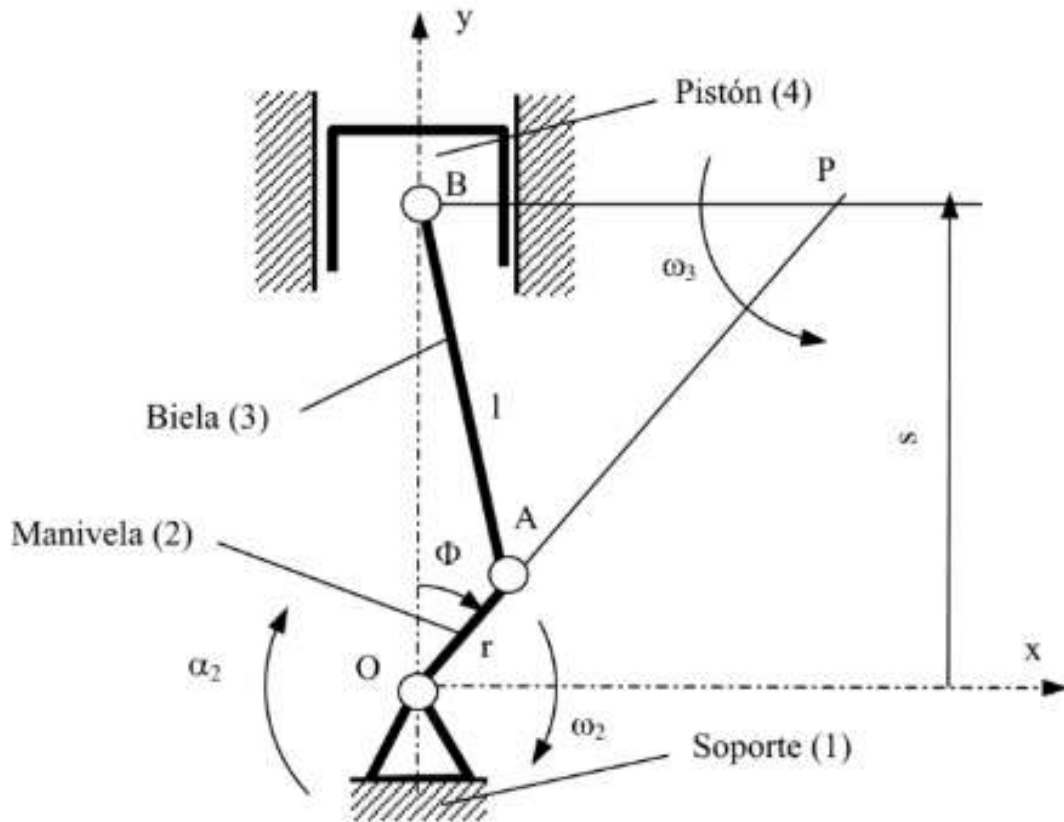


Fig. 2.16 Mecanismo biela-manivela: nomenclatura [9]

Así mismo, con la Ecuación 2.1 [9], se puede determinar la posición del pistón, s , evaluando según el ángulo de giro generado por la manivela, Φ , se obtiene la expresión.

$$s = r + l \cdot \left[1 + \frac{r}{4 \cdot l} \left(\cos \Phi + \frac{r}{4 \cdot l} \cdot \cos 2\Phi \right) \right] \quad \text{Ecuación 2.1 Posición del pistón}$$

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque y tipos de investigación

El presente trabajo de titulación se desarrolla bajo un enfoque aplicado, con una perspectiva técnica basada en ingeniería mecatrónica. La investigación integra aspectos tecnológicos, económicos, sociales y ambientales, orientados al diseño y construcción de un prototipo de máquina desvainadora de cacao.

El objetivo principal es desarrollar el sistema de corte y evaluar su desempeño mediante pruebas experimentales, comparándolo con métodos tradicionales utilizados en el proceso manual de desvainado. Asimismo, se analiza la viabilidad de adaptación de la máquina a las condiciones reales de trabajo de los pequeños productores.

3.1.1 Aspectos tecnológicos

Se investigan los materiales, el diseño mecánico y los sistemas de accionamiento necesarios para optimizar el proceso de desvainado, garantizando resistencia estructural, eficiencia de corte y seguridad operativa.

3.1.2 Aspectos económicos

Se evalúa la viabilidad económica del prototipo, considerando costos de fabricación, disponibilidad de materiales en el mercado nacional y accesibilidad para pequeños productores.

3.1.3 Aspectos sociales

Se analiza el impacto del sistema en las condiciones laborales, particularmente en la reducción del riesgo de accidentes y en la mejora de la productividad del trabajador.

3.1.4 Aspectos ambientales

Se estudia la influencia del diseño en el entorno de trabajo y se promueven prácticas sostenibles mediante la selección adecuada de materiales y la optimización energética del sistema.

3.2 Diseño de la Investigación

El diseño de la máquina desvainadora contempla criterios orientados a optimizar la eficiencia del proceso de corte, manteniendo a su vez dimensiones compactas que faciliten su operación y manipulación por parte de pequeños productores. El desarrollo del sistema se estructura en fases secuenciales, las cuales se encuentran alineadas con los objetivos específicos planteados en el proyecto, permitiendo organizar de manera sistemática las etapas de diseño, análisis, construcción y validación del prototipo.

3.2.1 Fase 1: Análisis de requerimientos

En esta fase se identifican requerimientos técnicos del sistema, considerando las dimensiones promedio de la mazorca de cacao y las condiciones iniciales del proceso de corte.

Actividad 1.1 Análisis de mazorcas de cacao

Se realiza el análisis dimensional de las mazorcas de cacao con el fin de determinar las condiciones de ingreso al sistema de corte y establecer la carrera necesaria del pistón para empujar el fruto hacia las cuchillas.

Actividad 1.2: Análisis de producción y cosecha

Dado que la producción de cacao varía entre pequeños productores, se analiza la producción máxima establecida en una finca, con el objetivo de garantizar que la máquina cubra la demanda operativa.

Actividad 1.3: Análisis de piso de área a utilizar

Se analiza el área disponible para la instalación del equipo, considerando que muchas fincas se ubican en terrenos irregulares montañosos. Se verifica la compatibilidad del diseño con estas condiciones.

3.2.2 Fase 2: Diseño mecánico

Se toma en cuenta aspectos técnicos para el desarrollo de la máquina desvainadora de cacao.

Actividad 2.1: Mecanismo de empuje

Se toma de referencia el apartado 2.12, el mecanismo biela-manivela se selecciona por su capacidad de transformar el movimiento rotacional continuo en movimiento lineal alternativo, permitiendo aplicar la fuerza de corte de manera controlada y repetitiva, garantizando alineación y estabilidad durante el proceso.

Actividad 2.2: Mecanismo de separación

El diseño geométrico de la cuchilla considera los factores de penetración y ángulo de filo analizados en el marco teórico, se selecciona un ángulo de afilado de 25° , con el fin de reducir la fuerza requerida y evitar el aplastamiento del fruto permitiendo que atraviesen el eje longitudinal de la mazorca, evitando afectar el centro del fruto donde se alojan las semillas y reteniendo el filo durante un tiempo prolongado.

Actividad 2.3: Materiales

Se seleccionan materiales resistentes a la corrosión, tales como acero inoxidable para las partes en contacto con el fruto, y acero negro para la estructura. Se evalúa también el uso de plásticos reforzados en componentes estructurales secundarios, con el fin de reducir costos sin comprometer la calidad.

Actividad 2.4: Cálculo de fuerza

El cálculo de la fuerza necesaria para el corte se fundamenta en los valores de resistencia cortante presentados en el Capítulo II, donde se establece un promedio de 477N para mazorcas en estado óptimo. Este valor constituye la base para el dimensionamiento del mecanismo de accionamiento y la selección del motor reductor.

3.2.3 Fase 3: Diseño eléctrico

Actividad 3.1: Selección del cableado

La selección del cableado se realiza en función del consumo nominal del motor y de la corriente máxima del sistema, considerando conductores multifilares de sección adecuada que garanticen seguridad y de fácil instalación.

Actividad 3.2: Elementos eléctricos

Se seleccionan pulsadores, luces indicadoras y dispositivos de protección adecuados al sistema de accionamiento manual, garantizando seguridad y control visual para el operador.

Actividad 3.3: Motor reductor

Se determina el motor reductor adecuado con base en los valores de resistencia cortante presentados en el Capítulo II, estableciendo las revoluciones por minuto necesarias y el torque requerido para romper la cáscara del cacao.

3.2.4 Fase 4: Diseño automatizado

Actividad 4.1: Lógica cableada

Con herramientas computacionales se diseña el circuito de funcionamiento eléctrico de todo el sistema, creando un sistema totalmente automatizado de ciclo continuo.

Actividad 4.2: Diseño de envoltente

Caja que contiene el circuito eléctrico.

3.2.5 Construcción y ensamble

En esta fase se describe el proceso de integración de los sistemas mecánico y eléctrico.

Actividad 5.1: Cotización de elementos determinados

Se investiga sobre la disponibilidad y existencia de los materiales en el mercado nacional.

Actividad 5.2: Adquisición de materiales

Compra de materiales eléctricos y elementos estándar a ser utilizados.

Actividad 5.3: Construcción de la estructura o chasis

Con el diseño propuesto de la máquina, se realiza la construcción de la estructura o chasis.

Actividad 5.4: Construcción del sistema eléctrico

Se conecta los elementos eléctricos en su envoltente y el motor al sistema de corte en sus respectivos lugares de funcionamiento.

3.2.6 Verificación

Se realizan pruebas individuales y generales para verificar el correcto funcionamiento del sistema en vacío y con carga, corrigiendo posibles fallas detectadas durante la etapa experimental.

Actividad 6.1: Pruebas del sistema eléctrico

Prueba individual del sistema de control y potencia para corroborar el funcionamiento de los elementos que lo conforman.

Actividad 6.2: Pruebas del sistema de corte

Pruebas para descartar rozamientos en los componentes dinámicos que modelan el sistema de desvainado del fruto de cacao.

Actividad 6.3: Pruebas generales

Se integran ambos sistemas y se realiza una prueba de vacío y con carga en conjunto, posteriormente se corrigen errores, en el caso de ser necesario.

3.2.7 Validación

Apartado donde se garantiza que la máquina funciona de acuerdo con las especificaciones establecida, cumpliendo así con los estándares de calidad y seguridad.

Actividad 7.1: Pruebas de corte

De acuerdo con el sector donde se va a utilizar, deberá ser trasladada y realizar las respectivas pruebas.

Actividad 7.2: Registro de resultados

Durante el periodo de pruebas, se evalúa el rendimiento usando la máquina desvainadora y las técnicas convencionales de corte de la mazorca de cacao.

Actividad 7.3: Discusión de resultados

Con la información obtenida, se discuten los resultados en rendimiento.

CAPÍTULO 4: DISEÑO, CONTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE LA MÁQUINA DESVAINADORA DE CACAO

La sección presente describe el proceso para el desarrollo del sistema de corte destinado al desvainado de cacao, incluyendo la selección de materiales, componentes electrónicos, sistema de automatización, análisis estático, análisis de soldadura, selección de pernos, selección de cableado, pruebas realizadas y la validación del mecanismo.

4.1 Especificaciones de diseño:

4.1.1 Mecanismo de corte

El sistema de corte debe permitir la fractura controlada de la cáscara de la mazorca de cacao, evitando daños mecánicos en la semilla durante el proceso de desvainado.

4.1.2 Eficiencia

Evaluar la capacidad de la máquina para realizar el corte de la mazorca de cacao.

4.1.3 Materiales

Los materiales que se encuentran en contacto con la fruta deben presentar propiedades de resistencia a la corrosión, debido a que la mazorca de cacao contiene una sustancia viscosa que, al secarse, puede favorecer procesos de oxidación en los elementos metálicos.

4.1.4 Seguridad

Mediante señalética visual se orienta al operador para adoptar medidas de seguridad durante la etapa de alimentación manual de las mazorcas de cacao, con el fin de evitar el contacto con los elementos de corte y los mecanismos en movimiento.

4.1.5 Mantenimiento

Diseñar componentes que faciliten las labores de limpieza, mantenimiento, reparación o reemplazo, priorizando además el uso de piezas y repuestos de disponibilidad comercial en el país.

4.1.6 Automatización

Se decide el nivel de automatización del sistema, completamente automático con un selector de encendido y uno para el accionamiento del sistema.

4.1.7 Costo

Evaluar el presupuesto disponible para el desarrollo de la máquina, con el fin de proponer un diseño económicamente accesible y rentable.

4.2 Restricciones

4.2.1 Limitación de presupuesto

El diseño de la máquina debe ajustarse al costo permitido y accesibilidad de los agricultores, ello podría restringir materiales, componentes y la capacidad.

4.2.2 Condiciones ambientales

Al ser utilizada en la zona costa del país, la máquina debe ser resistente a factores como la temperatura, humedad, polvo, que son comunes en el cultivo y procesamiento del cacao.

4.2.3 Capacidad del operador

Al ser destinada a funcionar con un operador, debe ser diseñada para ser maniobrada por trabajadores con un conocimiento técnico básico en el funcionamiento de la máquina.

4.2.4 Capacidad de producción

La máquina desvainadora puede estar restringida a procesar un volumen específico para así no sobrepasar las necesidades del negocio.

4.3 Diseño conceptual de la máquina

En la presente sección se muestra la representación gráfica del sistema de corte diseñado, orientado a su implementación en una máquina desvainadora de cacao destinada a pequeños productores.

4.3.1 Solución a la propuesta de una máquina desvainadora de cacao

En la región Costa del Ecuador, la producción de cacao constituye una actividad económica relevante para pequeños productores. Sin embargo, el proceso de desvainado se realiza principalmente de forma manual, siendo una de las etapas más lentas del proceso productivo. Aunque existen máquinas industriales para esta tarea, estas suelen requerir grandes espacios, están orientadas a producciones a gran escala y presentan costos elevados, lo que limita su accesibilidad en el país [10].

Como referencia se considera el sistema de corte de una desvainadora industrial, mostrado en la Figura 4.1, donde se observa el ingreso del fruto al mecanismo de corte. En el presente proyecto se plantea una adaptación de este principio, incorporando un sistema de alimentación basado en un mecanismo biela–manivela, el cual transforma el movimiento rotacional del motor en un movimiento lineal alternativo que impulsa la mazorca hacia el sistema de corte. A diferencia de los equipos industriales, el diseño propuesto no incluye tolva de alimentación, debido al menor volumen de producción esperado, permitiendo así un sistema más compacto, accesible y de fácil transporte.



Fig. 4.1 Sistema de ingreso de mazorca de cacao al sistema de corte [10]

4.3.2 Comparación con máquinas industriales

Las máquinas desvainadoras industriales de cacao están diseñadas para procesos de alta producción, donde la mano de obra resulta insuficiente para satisfacer la demanda. Por esta razón, suelen ser equipos de gran tamaño, difícil transporte y alto consumo energético, en muchos casos accionados por generadores de combustión interna que incrementan los costos operativos y el impacto ambiental. Además, su costo puede superar los 5000 USD [11], y generalmente deben ser adquiridas mediante importación.

En respuesta a esta problemática, se plantea el diseño de una máquina desvainadora de cacao de menor escala, orientada a pequeños productores. El equipo propuesto funciona con alimentación eléctrica convencional de 110 V [12], disponible en el Ecuador, y presenta un sistema de automatización sencillo. Asimismo, emplea componentes de fácil acceso en el mercado nacional, con el objetivo de reducir costos de fabricación, facilitar el mantenimiento y disminuir los tiempos de trabajo durante el proceso de desvainado.

La Figura 4.2 detalla el modelo 3D en vista isométrica de la máquina propuesta para el desvainado de cacao.

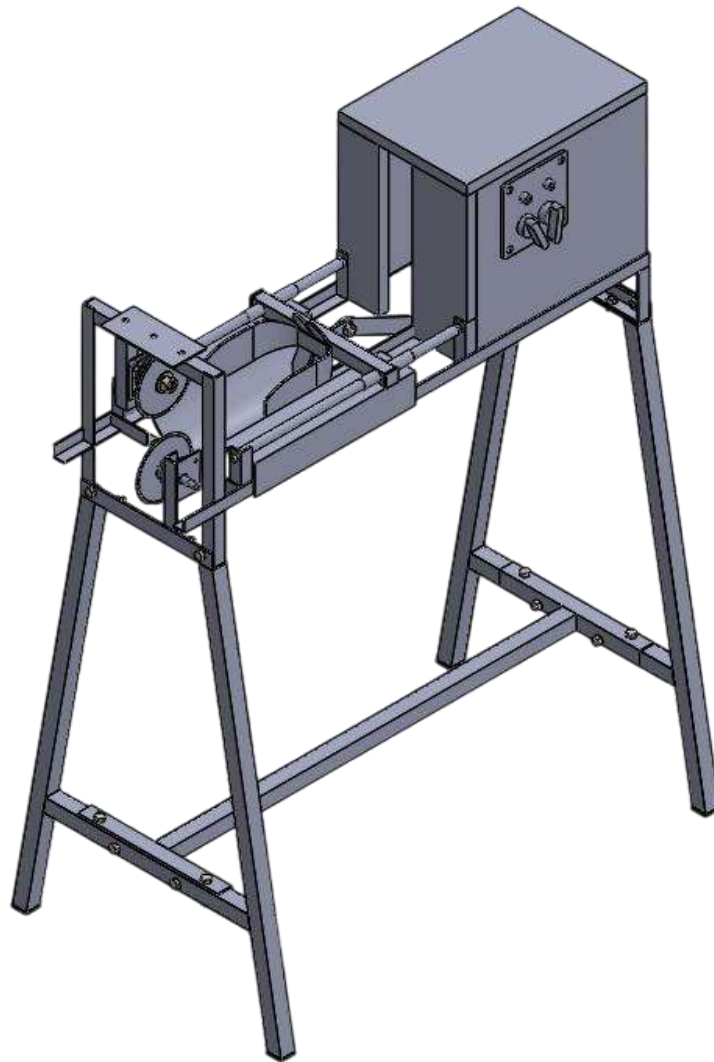


Fig. 4.2 Solución propuesta para la máquina desvainadora de cacao enfocado a pequeños productores

En la Figura 4.3 en vista isométrica se muestran la vista explosionada de la máquina desvainadora de cacao, y en la Tabla 4.1 las partes que la conforman.

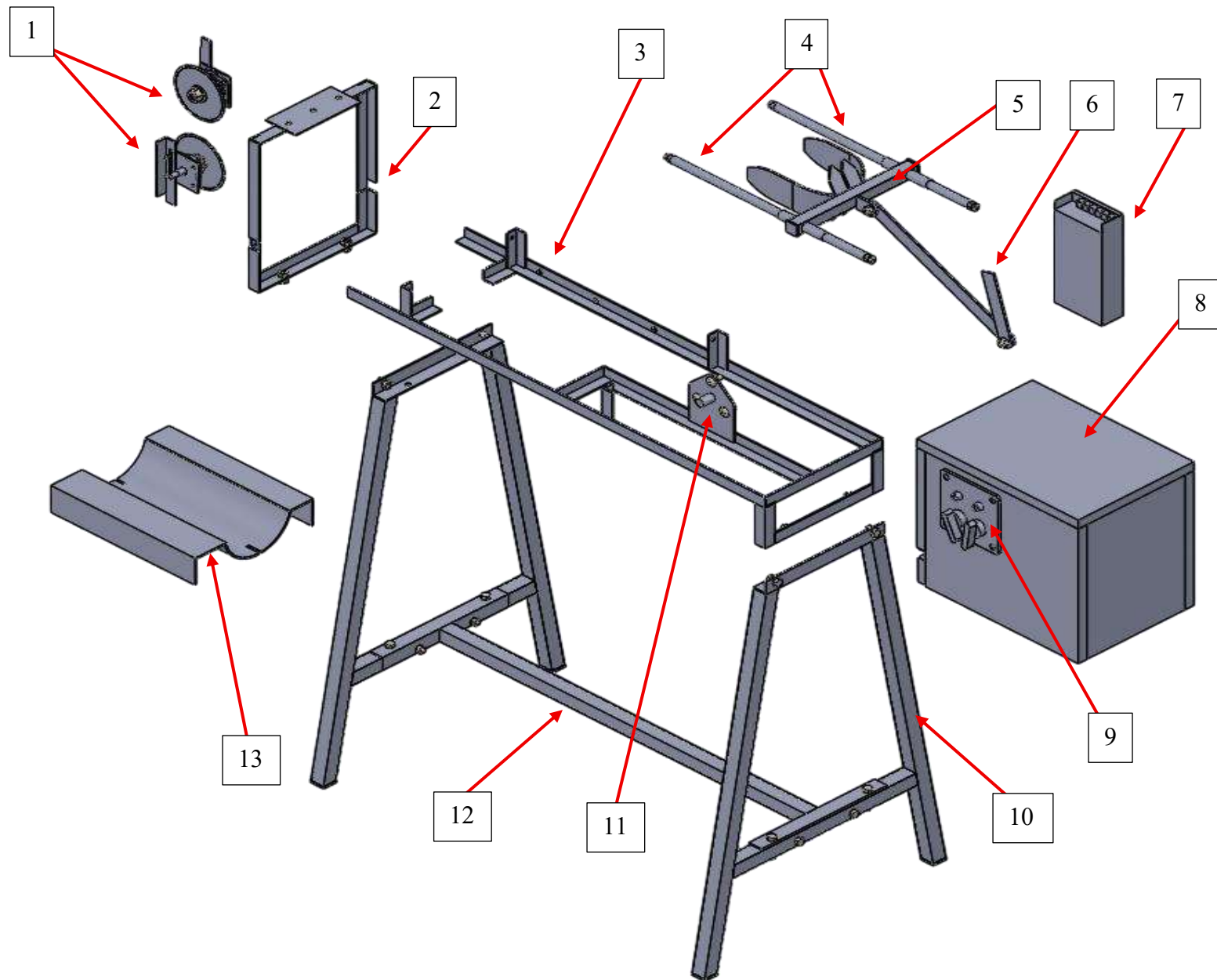


Fig. 4.3 Vista en explosión de la desvainadora de cacao

Tabla 4.1 Partes de la máquina desvainadora de cacao

Número	Descripción
1	Sistema de corte
2	Base sujetadora del sistema de corte
3	Base principal
4	Correderas
5	Garras de empuje
6	Sistema biela-manivela
7	Fuente de alimentación 12V 20A
8	Caja contenedora
9	Panel de mando
10	Patas en forma de A
11	Asiento del motor
12	Apoya patas
13	Alimentador

Las dimensiones de la máquina constan de 1,10 metros de altura, 0,94 metros de largo y 0,52 metros de ancho con un peso aproximado de 25kg.

4.3.2. Funcionamiento de la máquina desvainadora

Tomando como referencia la Figura 4.3 y 4.4, detalla el ingreso del fruto al sistema de desvainado.

En este proceso, la mazorca descansa en el componente (11) hasta que es empujada por el elemento (5), el cual es accionado por el mecanismo biela-manivela (6). Para iniciar la secuencia, basta con que el operador mueva el selector de encendido e inicio de inicio.

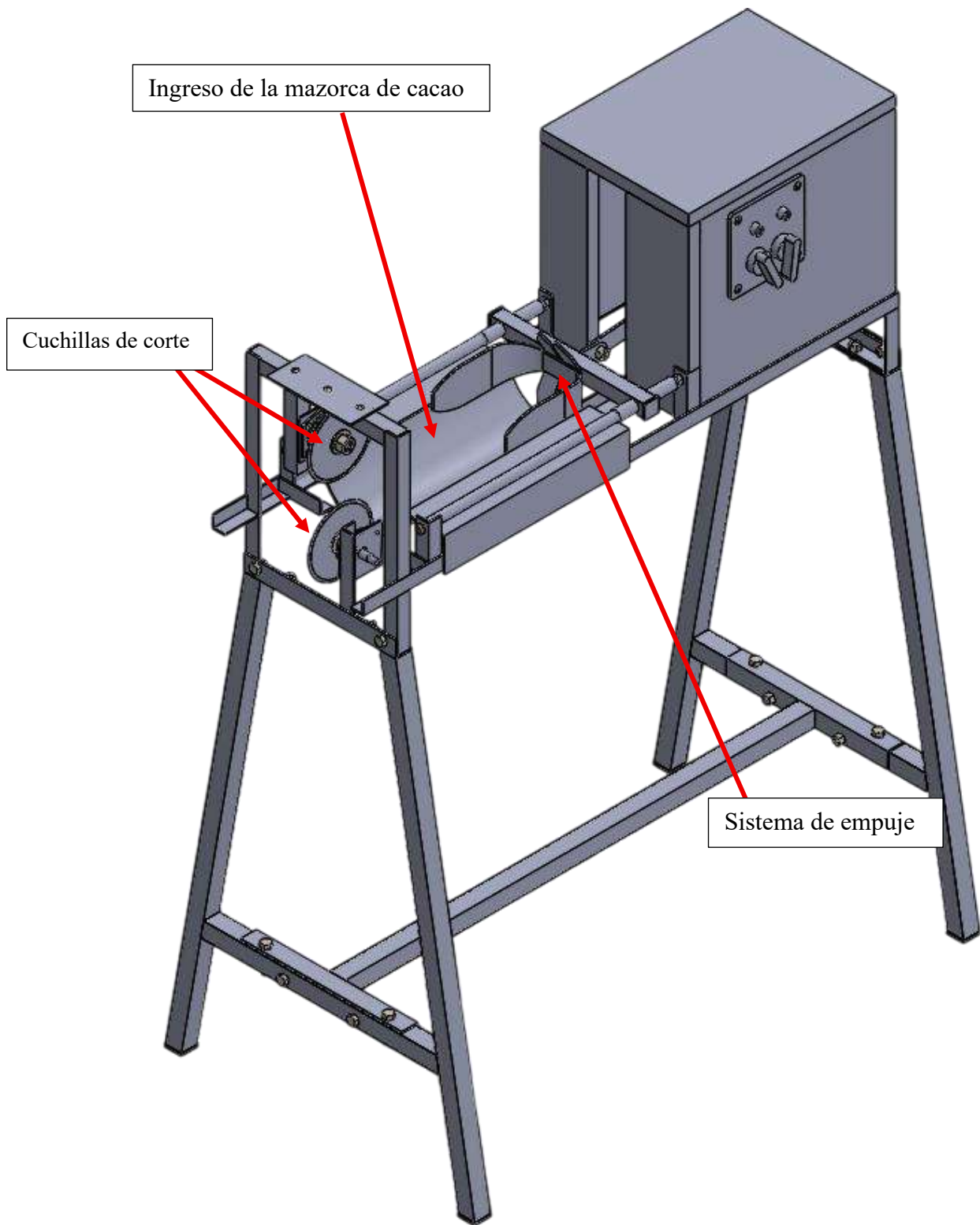


Fig. 4.4 Sistema de corte de la máquina desvainadora de cacao

La Figura 4.5 detalla el recorrido del sistema corredizo (5), donde se observa la presencia de dos cuchillas (1), una superior y otra inferior. Estas cuchillas están diseñadas para cortar únicamente la cáscara, procurando minimizar el daño a las semillas ubicadas en esa zona del recorrido de corte.

El operador simplemente debe poner en marcha la máquina, lo que iniciará un ciclo continuo de funcionamiento que se mantendrá hasta que sea apagada por el mismo operador.

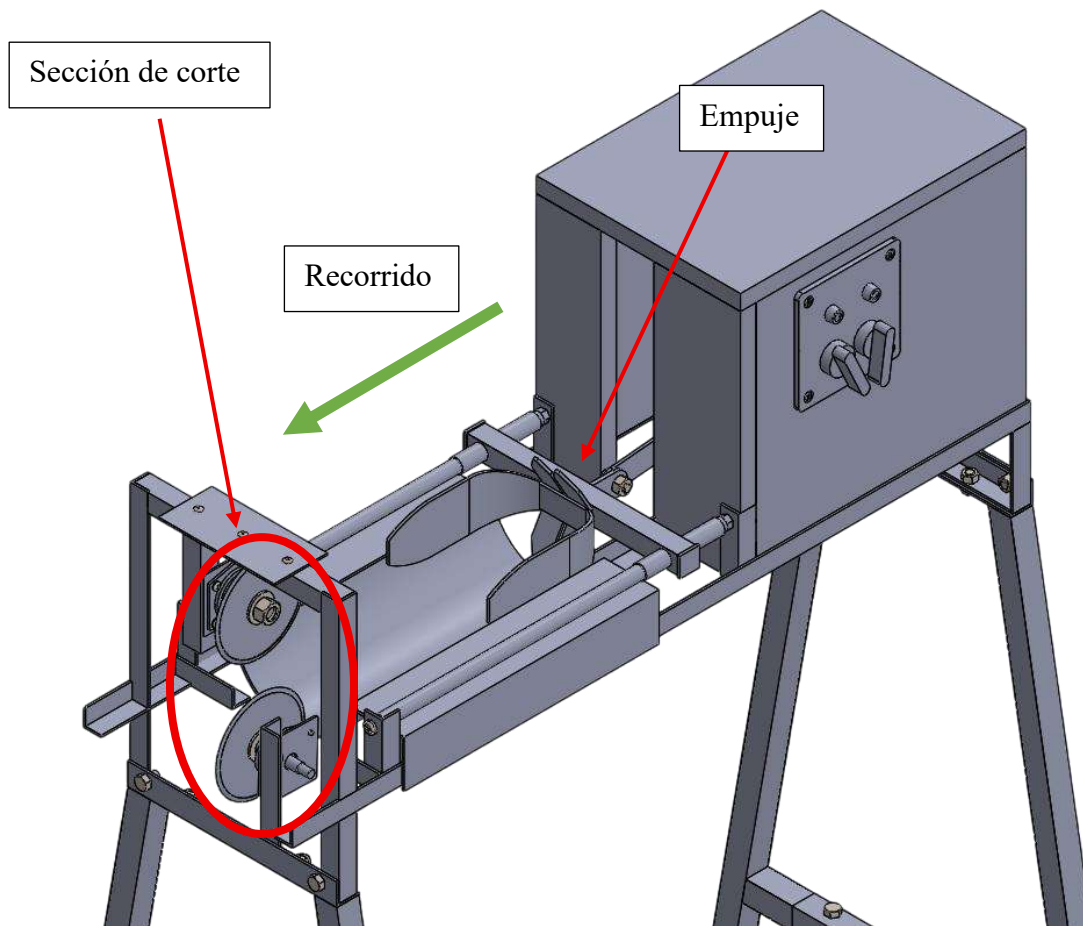


Fig. 4.5 Recorrido del sistema de empuje

La Figura 4.6 muestra la salida del fruto cortado. Cabe destacar que las máquinas industriales suelen contar con un trómel para la separación de la cáscara y la semilla. Sin embargo, dado que esta máquina está diseñada para pequeños productores y la producción de cacao no es muy elevada, no incorpora dicho sistema, reduciendo los costes de producción. Esta separación se realiza manualmente, ya que posteriormente la semilla se almacena en costales para su fermentación y secado.

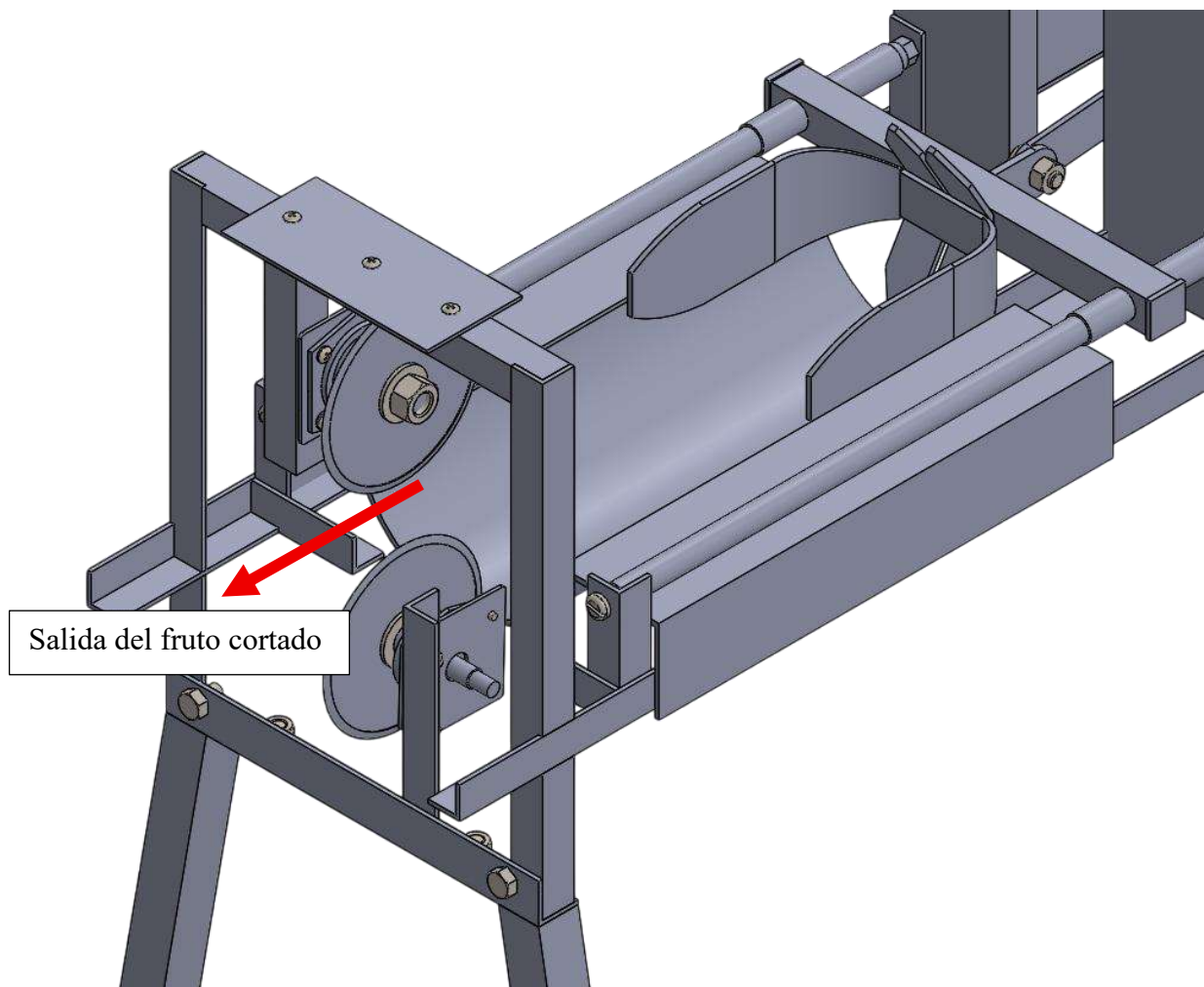


Fig. 4.6 Salida del fruto después del ciclo de corte

La Figura 4.7, detalla la selección de los elementos de corte, que se lo realiza con cuchillas redondas, tomando en referencia la máquina desvainadora industrial de la Figura 4.1, la cual es la que menos maltrata la semilla después de cortar la cascara del cacao, dando solución al problema presentado.

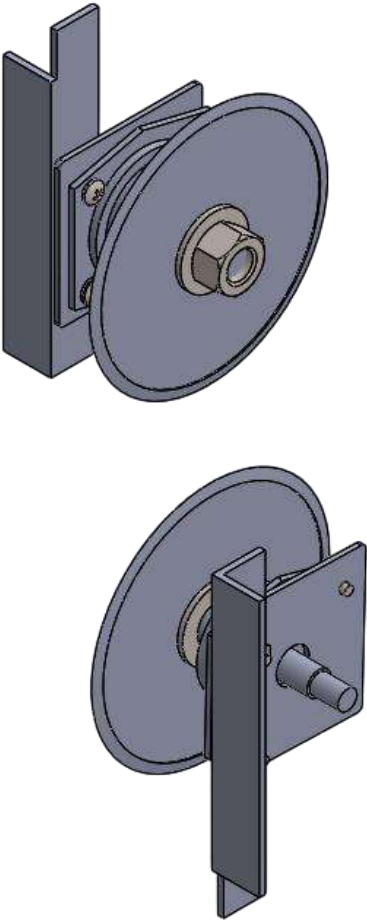


Fig. 4.7 Sistema de corte seleccionado para el desvainado de cacao.

4.4 Descripción de los componentes

Se detallan los elementos que integra la máquina desvainadora de cacao, así mismo sus especificaciones.

4.4.1 Disco de diamante para baldosas

Se utiliza en el sistema de corte, es el encargado de partir la cascara del fruto de cacao, consta de un disco de diamante de 4-1/2'' x 1.8 mm rin continuo, la Tabla 4.2 se da a conocer sus propiedades.

Tabla 4.2 Características del disco de corte [13]

Características	
Marca	PETRUL
Modelo	21001
Diámetro exterior (mm)	115
Diámetro del eje (mm)	22.2
Condiciones de uso	Corte seco o húmedo
Velocidad máxima (RPM)	14500
Materiales que corta	Loseta, Azulejo, Mármol

4.4.2 Cabezal moladora

Se utilizan dos cabezales de moladora para sujetar el disco de corte, en la Tabla 4.3 se muestran las características generales de la moladora.

Tabla 4.3 Características generales de la moladora [13]

Características	
Marca	BOSS
Modelo	GWS 850
Potencia (W)	850
Peso (kg)	1,7
Medidas (cm)	7,7 x 10 x 30

4.4.3 Platina 24X2

Utilizado para construir el sistema biela-manivela, las garras del sistema de corte y el pasador del sistema de empuje, sus características se muestran en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Características de la platina [14]

Características	
Distribuidor	FERROMAX
Material	Acero
Resistencia estructural (MPa)	250
Norma	A36
Ancho (mm)	24
Espesor (mm)	2

4.4.4 Ángulos 20X20X2

Se utiliza para construir la estructura base de la máquina, en la Tabla 4.5 se muestran sus características.

Tabla 4.5 Características del ángulo [14]

Características	
Distribuidor	FERROMAX
Material	Acero
Resistencia estructural (MPa)	250
Recubrimiento	Natural
Norma	A36
Dimensiones (AxL) (mm)	20 x 20
Espesor (mm)	2

4.4.5 Tubo cuadrado 25X25X1

Utilizado para construir las patas en forma de A donde se apoya la estructura base, en la Tabla 4.6 se muestran sus características.

Tabla 4.6 Características del tubo cuadrado [14]

Características	
Distribuidor	FERROMAX
Material	Acero
Resistencia estructural (MPa)	250
Acabado	Natural
Norma	A36
Dimensiones (AxL) (mm)	25 x 25
Espesor (mm)	1

4.4.6 Ángulo 25X25X3

Se utiliza para la elaboración de las sujeciones del sujetador de las patas en forma de “A”, en la tabla 4.7 se muestran sus características.

Tabla 4.7 Características del ángulo [14]

Características	
Distribuidor	FERROMAX
Material	Acero
Resistencia estructural (MPa)	250
Recubrimiento	Natural
Norma	A36
Dimensiones (AxL) (mm)	25 x 25
Espesor (mm)	3

4.4.7 Tubo para el mecanismo de biela-manivela

Utilizado para construir los pistones en el sistema de biela manivela del sistema de corte, con una longitud de 39 cm, en la Tabla 4.8 se muestran sus características.

Tabla 4.8 Características del acero 304 [14]

Características	
Distribuidor	FERROMAX
Material	Acero
Resistencia a la temperatura (°C)	600
Recubrimiento	Natural
Norma	ASTM 304
Diámetro externo (mm)	13
Diámetro interno (mm)	12
Grosor (mm)	1

4.4.8 Tubo para la corredera biela-manivela

Utilizado en la corredera del sistema de biela manivela del sistema de corte, con una longitud de 8,8 cm, en la Tabla 4.9 se muestran sus características.

Tabla 4.9 Características del tubo [14]

Características	
Distribuidor	FERROMAX
Material	Acero
Resistencia a la temperatura (°C)	600
Recubrimiento	Natural
Norma	ASTM 304
Diámetro externo (mm)	16
Diámetro interno (mm)	15
Grosor (mm)	1

4.4.9 Tubo cuadrado 20X20X1

Utilizado para construir el pasador del sistema de empuje, donde se coloca las garras y el sistema biela-manivela, en la Tabla 4.10 se muestran sus características.

Tabla 4.10 Características del tubo cuadrado hueco [14]

Características	
Distribuidor	FERROMAX
Material	Acero
Resistencia estructural (MPa)	250
Acabado	Natural
Norma	ASTM A36
Dimensiones (AxL) (mm)	20 x 20
Espesor (mm)	1

4.5 Cálculos

4.5.1 Medición de la mazorca del cacao

Se realizó la caracterización dimensional de la mazorca de cacao con el propósito de determinar los parámetros geométricos necesarios para el diseño del sistema de corte. En la Figura 4.8 se muestra gráficamente el proceso de toma de medidas. La Tabla 4.11 presenta las medidas obtenidas de cinco frutos de cacao para el análisis respectivo. En la Tabla 4.12 se exponen las dimensiones resultantes, que se utilizarán para efectuar los cálculos necesarios, mientras que en la Figura 4.9 se ilustran la fuerza de corte y el número de ensayos realizados.



Fig. 4.8 Toma de medidas del fruto del cacao

Tabla 4.11 Medidas de las mazorcas de cacao

Fruto	Largo (cm)	Ancho (cm)	Corteza (cm)
1	30	12	1,5
2	28	10	1,5
3	27	10	1,5
4	24	9,5	1,5
5	21	8	1,2

Tabla 4.12 Características de los parámetros del fruto de cacao

Parámetros	Máximo	Mínimo	Promedio	Desviación estándar
Longitud (cm)	30	21	25,50	2,59
Ancho (cm)	12	8	10	0,78
Masa (kg)	1,92	0,68	1,27	0,30
Fuerza de corte (Kgf)	60	18,75	46,38	13,09

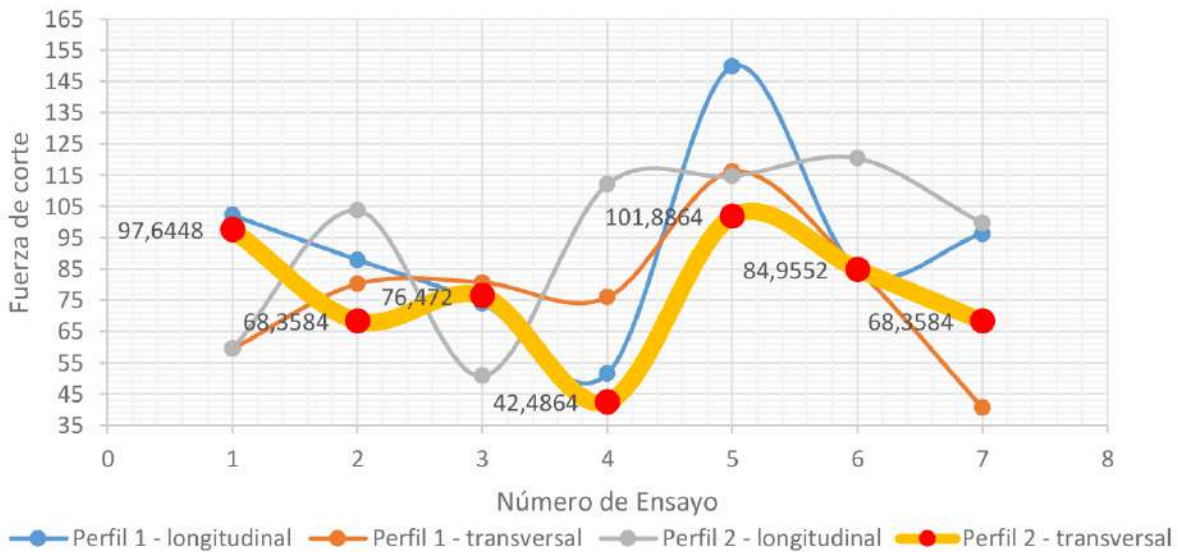


Fig. 4.9 Fuerza de corte vs. Números de ensayos [5]

Una vez obtenidos los datos se procede a calcular la fuerza de corte mostrado en la Ecuación 4.1

[5] requerida con la siguiente formula:

$$F_c = F_{prom} + S_c \quad \text{Ecuación 4.1 Fuerza de corte}$$

Donde:

F_c es la fuera de corte que se requiere

F_{prom} es la fuerza de corte promedio

S_c es la desviación estándar que se obtiene con los datos de fuerza de corte

$$F_c = (46,38 + 15,42)Kgf = 59,47 Kgf$$

$$F_c = 583 N$$

Para la longitud máxima de la mazorca de cacao Ecuación 4.2 [5]:

$$L_{maxMZ} = L_{max} + S_{LMZ} \quad \text{Ecuación 4.2 Longitud de la mazorca.}$$

Donde:

L_{maxMZ} es la longitud máxima resultante de la mazorca de cacao

L_{max} es la longitud máxima de la mazorca medida

S_{LMZ} es la desviación estándar de los datos obtenidos de la mazorca

$$L_{maxMZ} = (30 + 2,59)cm = 32,59cm$$

Para el ancho mínimo de la mazorca de cacao Ecuación 4.3 [5]:

$$A_{minMZ} = A_{min} - S_{aMZ} \quad \text{Ecuación 4.3 Ancho mínimo de la mazorca.}$$

Donde:

A_{minMZ} es el ancho resultante mínimo de la mazorca

A_{min} es la medida mínima del ancho de la mazorca

S_{aMZ} es la desviación estándar de los datos obtenidos

$$A_{minMZ} = (8 - 0,78)cm = 7,22cm$$

Para la masa de la mazorca de cacao Ecuación 4.4 [5]:

$$m_{mz} = m_{prom} + S_{mMZ} \quad \text{Ecuación 4.4 Masa de la mazorca.}$$

Donde:

m_{mz} es la masa resultante de la mazorca

m_{mprom} es la masa promedio de la mazorca

S_{mMZ} es la desviación estándar de los datos obtenidos

$$m_{mz} = (1,27 + 0,30)kg = 1,57kg$$

4.5.2 Cálculo de la longitud de la biela manivela

En un sistema de biela manivela la distancia que recorre el pistón es el doble de la longitud de la manivela, en la Figura 4.10 se muestra la preparación de la simulación para el sistema de biela manivela, y en la Figura 4.11 la gráfica de la simulación da un recorrido de 238 mm (23,8cm).

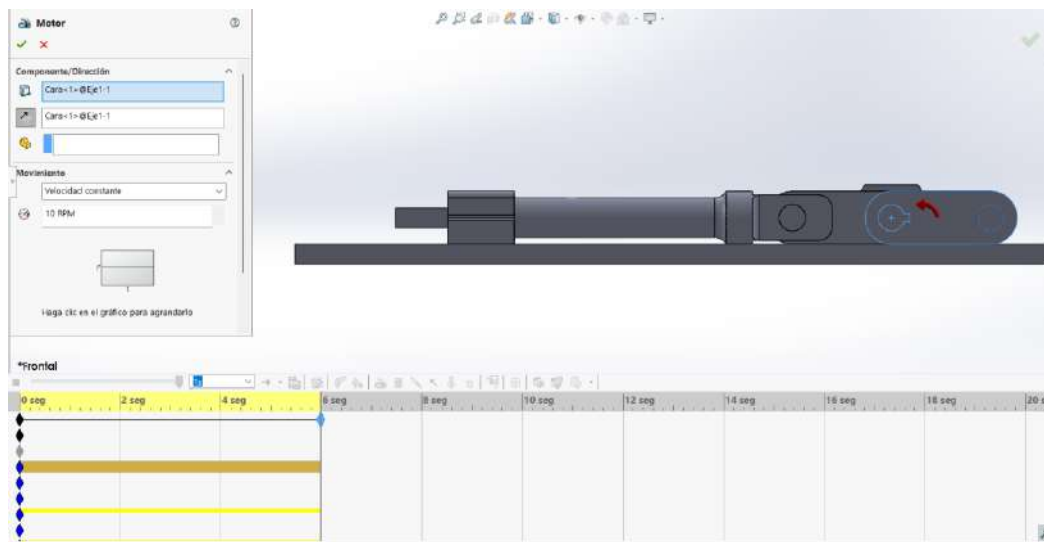


Fig. 4.10 Preparación análisis de movimiento

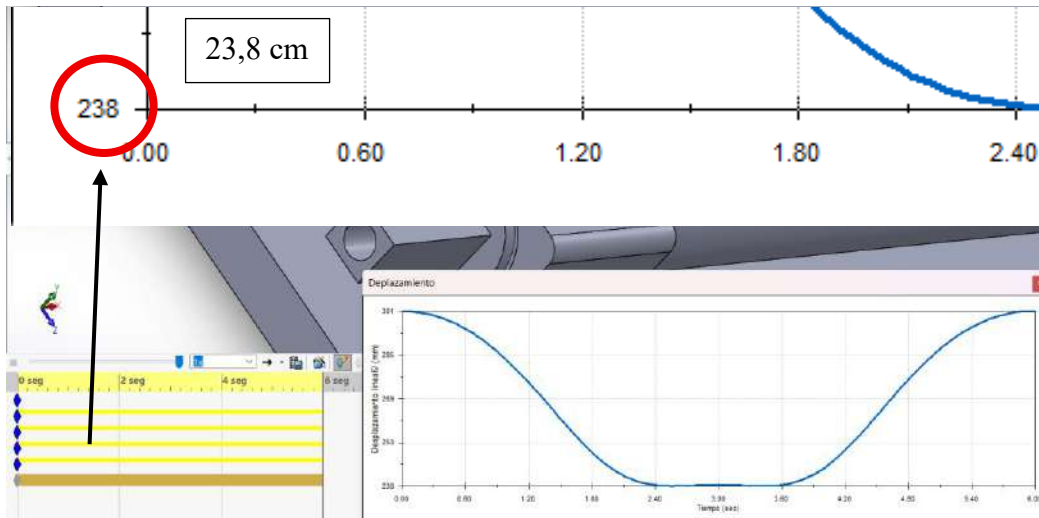


Fig. 4.11 Análisis de recorrido del pistón

Para la distancia de recorrido del pistón se ha tomado como referencia los datos de la Tabla 4.12 seleccionando el parámetro máximo de la medida de los frutos del cacao, que es de 30 cm.

La distancia entre el PMS (Punto Muerto Superior) y PMI (Punto Muerto Inferior) se llama carrera y coincide con el doble de la longitud de la manivela [15].

Utilizando la Ecuación 4.5 se tiene que:

$$C_{max} = 2(L_{man}) \quad \text{Ecuación 4.5 Carrera del pistón}$$

Donde:

C_{max} es la Carrera del pistón

L_{man} es la longitud de la manivela

$$L_{man} = \frac{C_{max}}{2} = \frac{30 \text{ cm}}{2} = 15 \text{ cm}$$

$$L_{man} = 15 \text{ cm}$$

La longitud del brazo de la manivela determina el movimiento del pie de la biela, que es a su vez la medida de la carrera, utilizando la Ecuación 4.6 [16].

$$L_{Biela} = 2(L_{man}) \quad \text{Ecuación 4.6 Relación Biela-Manivela}$$

Donde:

L_{Biela} es la longitud de la biela

L_{man} es la longitud de la manivela

$$L_{Biela} = 2(15 \text{ cm}) = 30 \text{ cm}$$

$$L_{Biela} = 30 \text{ cm}$$

4.5.3 Sistema de corte de las mazorcas de cacao

Se realizan los cálculos necesarios para un sistema de corte eficiente.

4.5.3.1 Velocidad del eje de corte y capacidad de corte de mazorcas por hora

En el presente diseño no se establece una capacidad horaria objetivo como parámetro inicial, debido a que la máquina está orientada a pequeños productores, cuya demanda de procesamiento es variable y de escala reducida. Se establece un máximo de 60RPM y se determinó la capacidad máxima teórica del sistema, asumiendo un corte por revolución.

$$V_{max} = \frac{C_{max}}{mz/rev} \quad \text{Ecuación 4.7 Capacidad máxima}$$

Donde:

V_{max} es la Velocidad máxima

C_{max} es la Capacidad máxima

mz/rev es la relación mazorca sobre minuto, 1 mazorca cortada por RPM

$$C_{max} = 60 \frac{rev}{min} * 1 \frac{mz}{rev} = 60 \frac{mz}{min}$$
$$C_{max} = 60 \frac{mz}{min}$$

Con la Ecuación 4.9 se calcula la capacidad máxima que la máquina puede generar en el proceso de corte.

$$C_{max} = \frac{C_{mz}}{t}$$

Ecuación 4.8 Capacidad máxima

Donde:

C_{max} es la Capacidad máxima

C_{mz} es la cantidad de mazorcas

t es el tiempo en minutos

$$C_{mz} = 60 \frac{mz}{min} * 60min = 3600 mz$$

$$C_{mz} = 3600 mazorcas$$

4.6 Selección del motor

4.6.1 Cálculo del torque

Se utiliza la Ecuación 4.7 [17] para calcular el torque requerido.

$$T = F_{corte} \cdot L_{man}$$

Ecuación 4.9 Cálculo del torque

Donde:

T es el torque

F_{corte} es la fuerza de corte promedio del fruto de cacao

$r_{brazo palanca}$ es la longitud de la manivela

Con los datos de la Ecuación 4.1 se obtiene que la $F_{corte} = 583 \text{ N}$, y la longitud de la manivela Ecuación 4.7, $L_{man} = 15\text{cm} = 0,15\text{m}$

$$T = 87,45 \text{ Nm}$$

4.6.2 Cálculo de la potencia mecánica

Utilizando la Ecuación 4.10 [18] se tiene que:

$$P = T \cdot \omega \qquad \omega = \frac{2\pi N}{60} \qquad \text{Ecuación 4.10 Potencia mecánica}$$

Donde:

P es la potencia mecánica

T es el torque = 87,45 Nm

ω la velocidad angular = 60rpm = $6,28 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

$$P = 549,2 \text{ W}$$

Con base en los parámetros cinemáticos y dinámicos previamente determinados para el mecanismo biela–manivela, se seleccionó un motor de corriente continua.

En la Tabla 4.13 se presentan las características técnicas del motor seleccionado.

Tabla 4.13 Características del motor eléctrico [19]

Características	
Marca	DAVITU
Modelo	BL80
Tensión (V DC)	12V
Potencia (W)	600
Material	Cobre
RPM baja	48
RPM alto	60

4.7 Sistema estructural y piezas estándar de la máquina desvainadora de cacao

Se realiza la simulación de análisis estático de las cargas en debe soportar la estructura, se lo realiza en dos partes, la sección de base y la sección de las patas en forma de A, se utiliza este tipo estructura ya que ofrece estabilidad y soporte para cualquier tipo de tablero, estas patas en forma de A ofrecen un soporte robusto que mantienen la mesa firme y segura, incluso con cargas pesadas [20], así mismo la selección de tipo de soldadura y los pernos que se utilizaran.

Así mismo se seleccionan piezas estándar utilizadas para construir el sistema de corte.

4.7.1 Análisis estático

4.7.1.1 *Calculo analítico*

Con la información que brinda el material se obtiene los siguientes datos:

Longitud de la viga = 83 cm = 0.83 m

Carga = 50 N

Cada viga soporta = 25 N

Carga distribuida

Perfil = 20x20 mm

Espesor = 3 mm

Material Acero A36

Resistencia estructural = 250 Mpa

$$w = \frac{F}{L}$$

Ecuación 4.11 Carga distribuida por viga

Donde:

w es la carga distribuida

F es la carga aplicada a cada viga 25 N

L la longitud de la viga 0.83 m

$$w = 30,12 \text{ Nm}$$

Area perfil angular

Donde:

$$A = 2(ae) - e^2$$

A área del perfil

a el ancho del perfil 20 mm

e el espesor del perfil 3 mm

$$A = 1,11 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$M_{max} = \frac{wL^2}{8}$$

Ecuación 4.12 Momento flector máximo

Donde:

M_{max} es el momento flector máximo

w es la carga distribuida por viga 30,12 Nm

L es la longitud de la viga 0,83 m

$$M_{max} = 2,59 \text{ Nm}$$

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

Ecuación 4.13 Esfuerzo máximo

Donde:

σ es el esfuerzo máximo

M es el momento flector máximo 2,59 Nm

c es la aproximación conservadora 0,015 m para perfiles A36 cuando el eje neutro no está en el centro

I es el momento de inercia para perfiles 20x20x3 mm, $3 \times 10^{-9} \text{ m}^4$

$$\sigma = 12,95 \text{ Mpa}$$

$$F_s = \frac{\sigma_{A36}}{\sigma}$$

Ecuación 4.14 Factor de seguridad

Donde:

F_s es el factor de seguridad

σ_{A36} es el límite a la fluencia del acero A36, 250Mpa

σ es el esfuerzo máximo 12,95 Mpa

$$\sigma = 19,3$$

4.7.1.2 Simulación sección de la viga esfuerzo máximo

Se establecen los parámetros para la simulación de la sección de la viga, geometría de sujeción fija en los extremos, una carga distribuida de 25N, el material acero A36. En la Figura 4.12 se observa el esfuerzo máximo, 11,828 Mpa y con un factor de seguridad de 21,136, Figura 4.13.

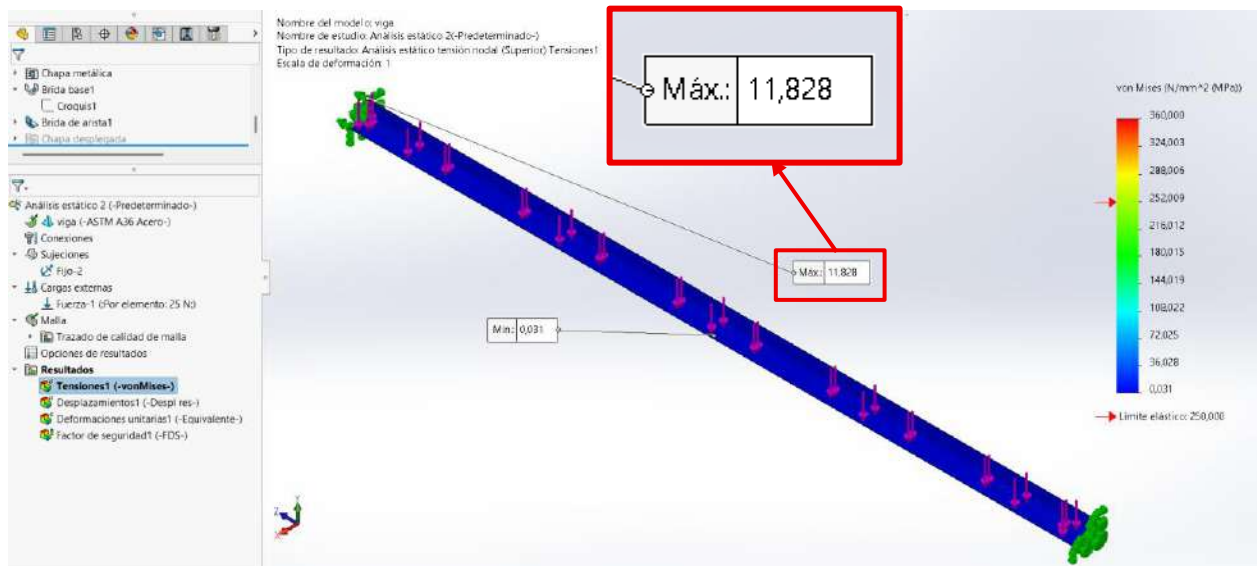


Fig. 4.12 Esfuerzo máximo

4.7.1.3 Curva de convergencia

Se realiza un estudio de independencia de mallado reduciendo progresivamente el tamaño global del elemento. En la Tabla 4.14 se muestra los datos obtenidos.

Tabla 4.14 Estudio de independencia

Tamaño de elementos (mm)	Nº de elementos	σ (MPa)	Factor de seguridad
5	1026	5,82	44
4	1444	5,86	43
3	2556	5,87	43
2	6084	5,88	44

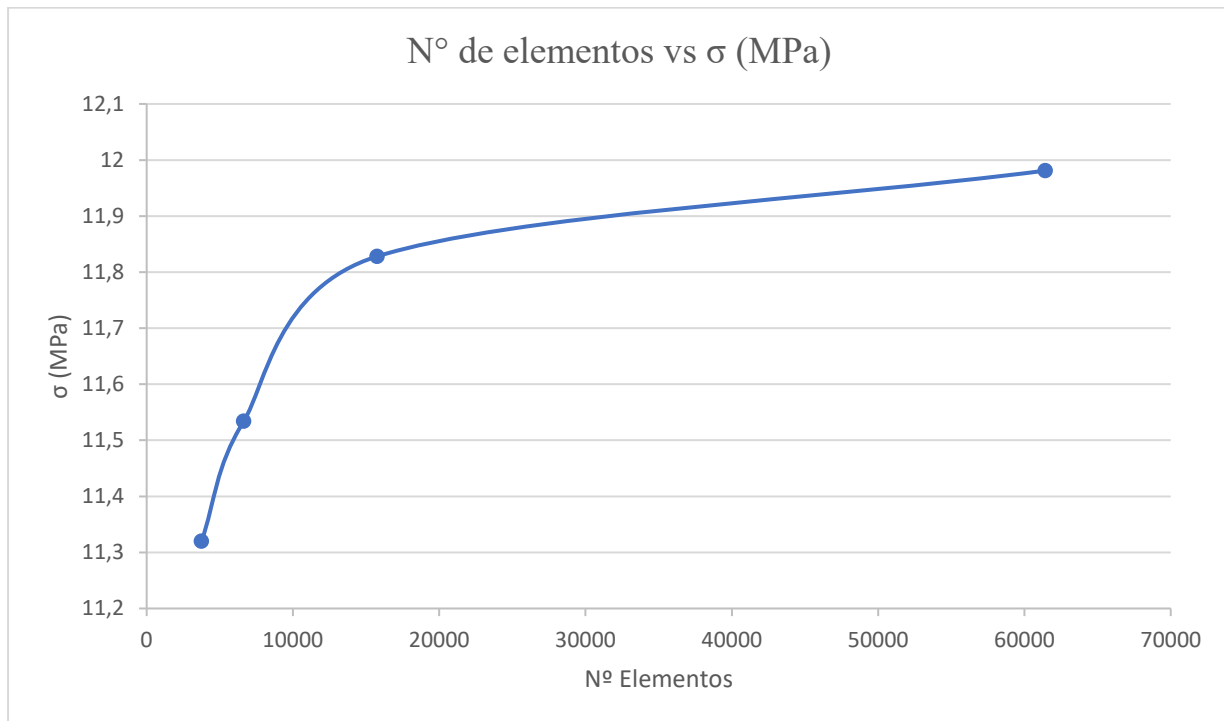


Fig. 4.13 Número de elementos vs. esfuerzo máximo

En la Figura 4.14 se observa que a partir de aproximadamente 15000 elementos el esfuerzo máximo tiende a estabilizarse alrededor de 11.828 MPa, calculando con la Ecuación 4.15 se calcula la variación porcentual:

$$Variación = \frac{11.981 - 11.828}{11.828} \times 100$$

$$Variación = 1,29 \%$$

Se observa que a partir de aproximadamente 15 000 elementos el esfuerzo máximo presenta variaciones menores al 2 % entre refinamientos sucesivos, indicando independencia de malla y convergencia del modelo numérico hacia un valor aproximado de 12 MPa.

4.7.1.4 Diferencia porcentual del esfuerzo máximo

Adicional se realiza la comparativa con los datos teóricos obtenidos.

$$Error = \frac{11,828 - 12,95}{12,95} \times 100$$

$$Error = 8,7\%$$

El esfuerzo máximo obtenido analíticamente fue de 12.95 MPa, mientras que el análisis por elementos finitos arrojó un valor de 11.828 MPa, obteniéndose una diferencia porcentual de 8.7 %. Esta variación se encuentra dentro de los márgenes aceptables en validación estructural, evidenciando una adecuada concordancia entre el modelo teórico simplificado y la simulación numérica.

4.7.1.5 Simulación sección de la viga factor de seguridad

A partir de la simulación estructural presentada en la sección 4.7.1.2, se procede a determinar el factor de seguridad del componente analizado. El cálculo se realizó considerando el criterio de esfuerzo equivalente de Von Mises en relación con el límite elástico del material empleado. Como resultado, en la Figura 4.13 se observa un factor de seguridad mínimo de 21.

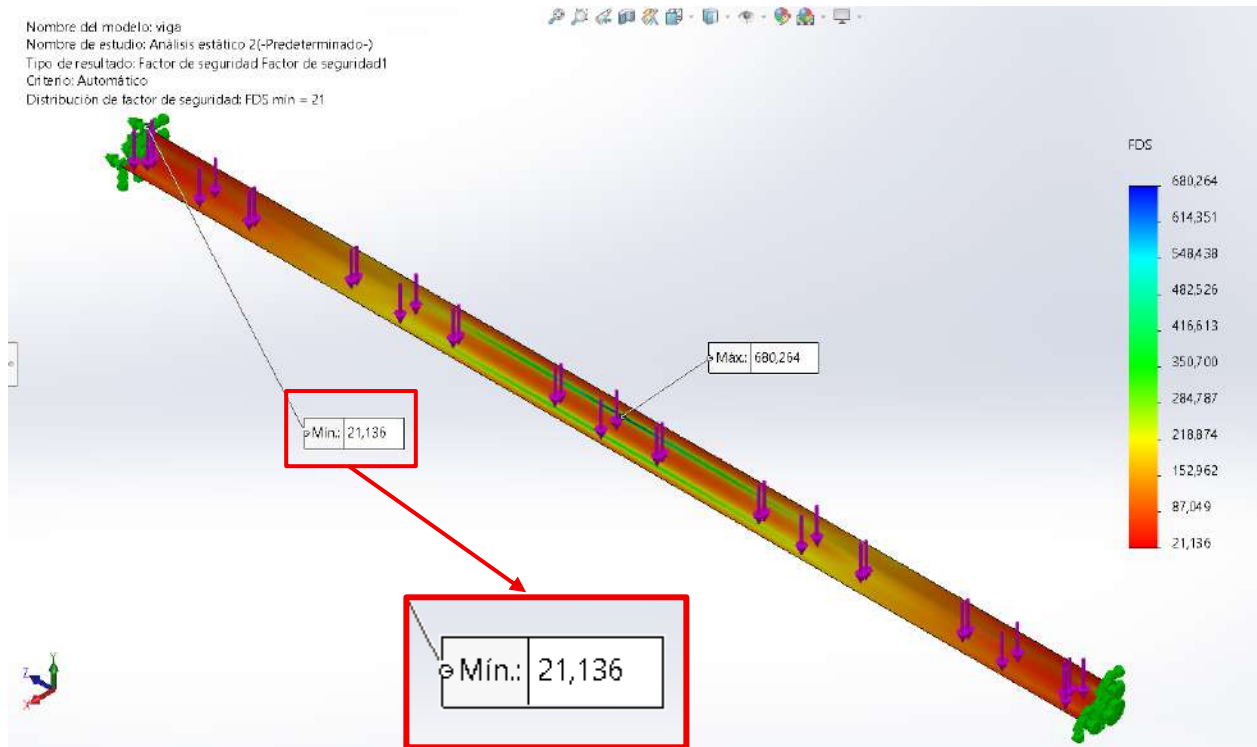


Fig. 4.14 Factor de seguridad

4.7.1.6 Diferencia porcentual del factor de seguridad

$$D \% = \frac{|\sigma_{analítico} - \sigma_{FEA}|}{\sigma_{FEA}} * 100$$

Ecuación 4.15 Diferencia porcentual

Donde:

$D \%$ es la diferencia porcentual

$D\sigma_{analítico}$ es el factor de seguridad calculado 19,30

σ_{FEA} es el factor de seguridad simulado 21,136

$$D\% = 9,5\%$$

El factor de seguridad obtenido analíticamente fue de 19.3, mientras que el modelo numérico arrojó un valor de 21.136, obteniéndose un error de 9.5 %. Esta diferencia se considera aceptable dentro de los criterios de validación estructural, evidenciando una adecuada concordancia entre ambos métodos.

4.7.1.7 Simulación general de la estructura de la máquina desvainadora de cacao

Ya realizados los cálculos analíticos de la viga que soporta el mayor peso, y simular solo la viga, se obtiene la curva de convergencia, y en base a la cantidad de elementos finitos que converge, se procede a simular toda la máquina, estableciendo un parámetro de mallado de 2 milímetros y malla estándar.

El factor de seguridad mínimo del conjunto estructural se presenta en la zona de unión soldada entre la viga y la estructura principal. Este comportamiento es coherente con la teoría estructural, dado que en un empotramiento se concentran los momentos flectores máximos.

Al analizar la viga dentro del conjunto completo de la máquina, Figura 4.15, el factor de seguridad obtenido fue de 9.9. Esta reducción se debe a que, en el ensamblaje real, la viga se encuentra unida mediante soldadura a la estructura principal, condición que fue modelada como un empotramiento. Este tipo de restricción genera una mayor concentración de esfuerzos en la zona de unión, ya que transmite no solo fuerzas cortantes, sino también momentos flectores.

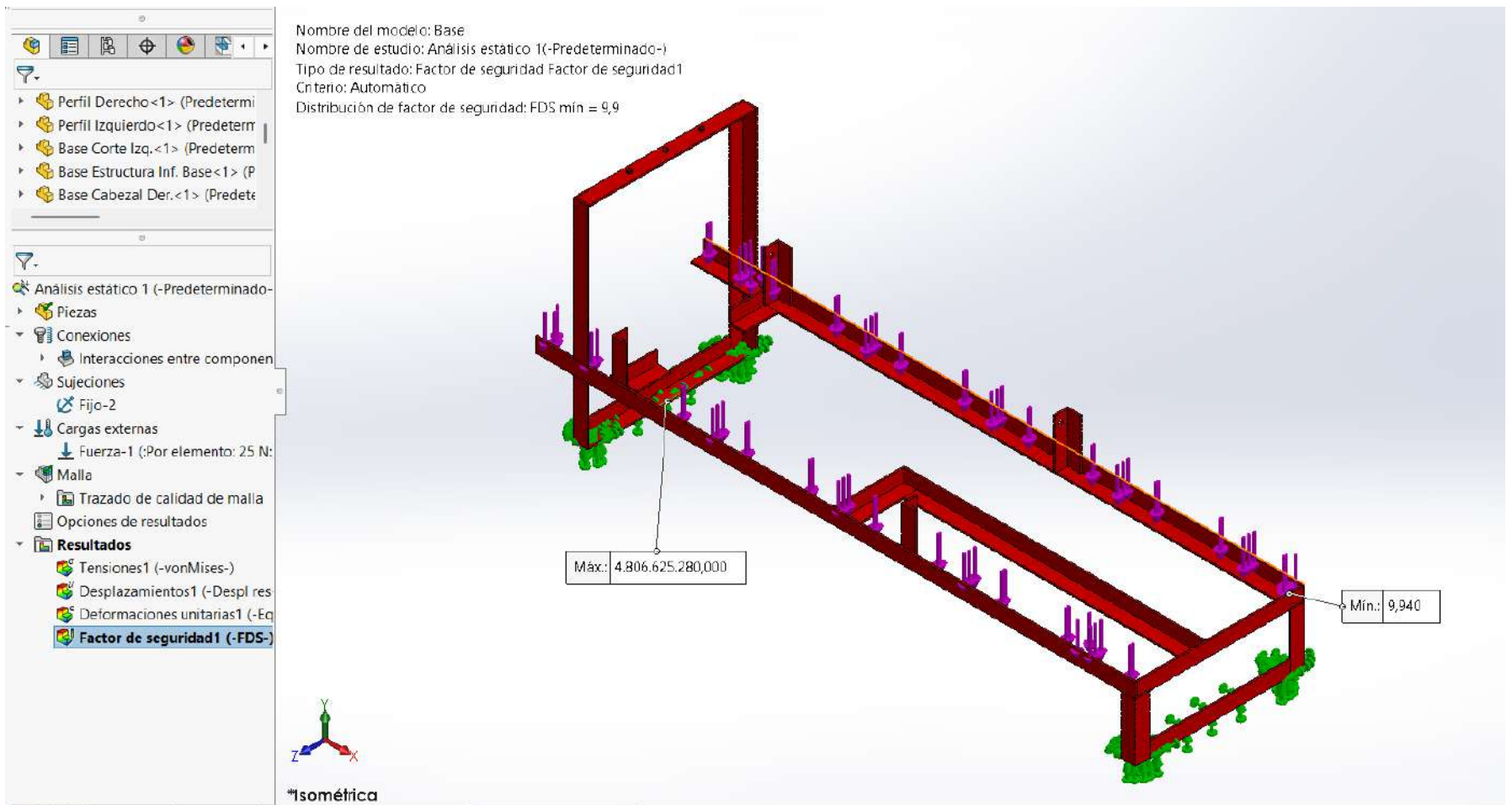


Fig. 4.15 Simulación general FDS

4.7.2 Análisis de soldadura utilizado en la estructura de la máquina desvainadora de cacao

Se identifican las secciones de la estructura donde se aplicaron uniones soldadas para la conformación del bastidor de la máquina desvainadora de cacao. Estas uniones tienen como finalidad garantizar la adecuada integridad estructural entre los elementos que conforman la máquina, asegurando una unión rígida y resistente que permita soportar las vibraciones generadas durante el proceso de operación sin que se produzcan fallas o fracturas en la estructura.

4.7.2.1.1 Soldadura arco eléctrico

También llamado arco voltaico, desarrolla una elevada energía en forma de luz y calor, alcanzando temperaturas de 4000°C (7232°F), lo que se produce cuando una corriente eléctrica pasa a través de una masa gaseosa [21].

Se utiliza el electrodo 3-16 E6011, suele utilizarse en generadores de corriente alterna, también funciona en corriente continua con polaridad inversa, las intensidades que soporta dependen del diámetro (mm) del electrodo, en su diámetro menor de 2,5 mm, soporta desde los 50-90 Amperios, y en su diámetro más grande 6 mm, soporta hasta los 225-325 Amperios [22].

Los materiales empleados en la fabricación de la estructura, tales como platinas, ángulos y tubos, presentan propiedades adecuadas para su unión mediante el proceso de soldadura por arco eléctrico.

En las Figuras 4.16 y 4.17 se identifican, mediante círculos y flechas, los puntos donde se realizaron las uniones soldadas, correspondientes a las intersecciones entre los elementos estructurales, incluyendo ángulos, platinas y tubos que conforman la estructura de la máquina.

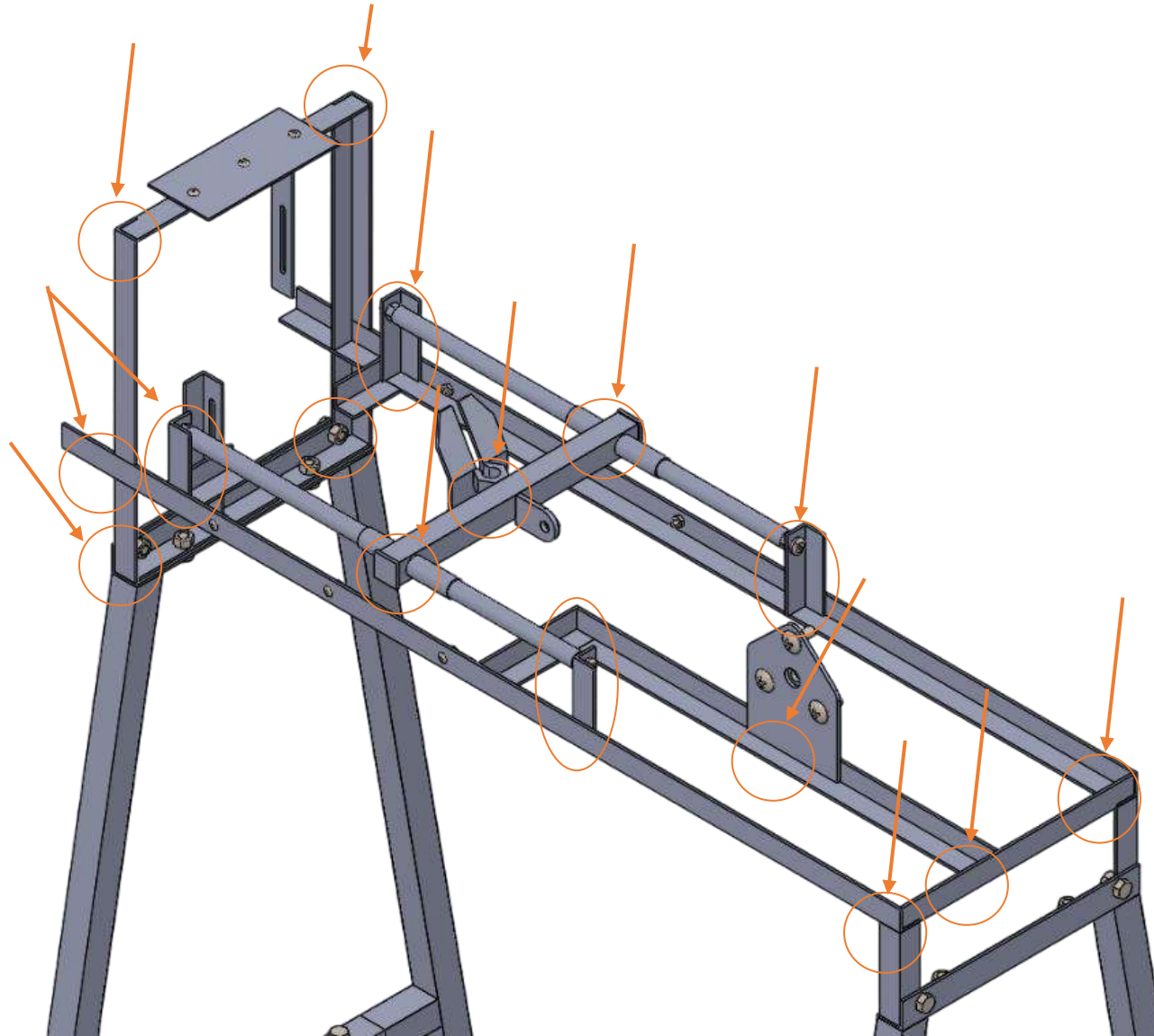


Fig. 4.16 Puntos de soldadura en la base

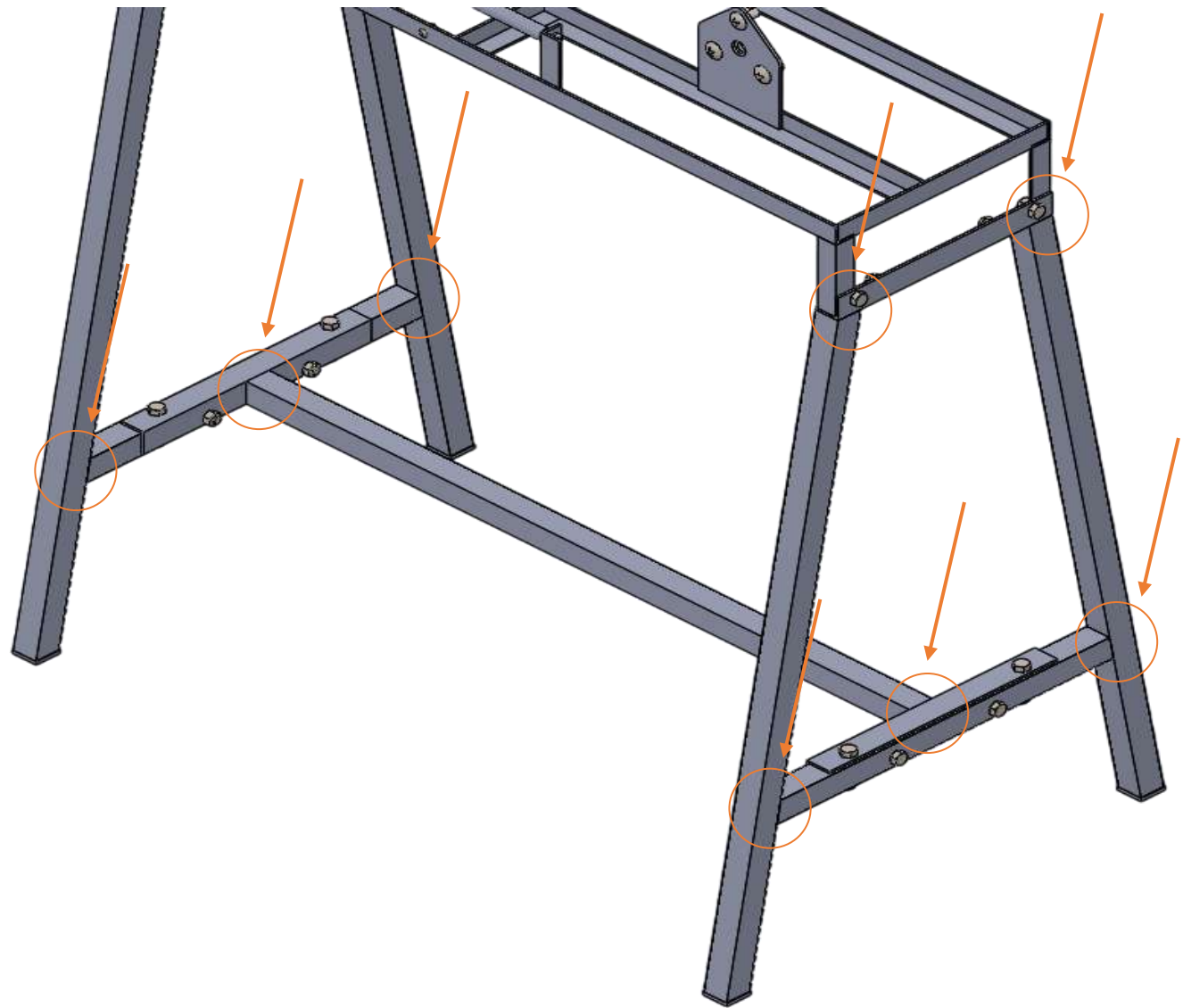


Fig. 4.17 Puntos de soldadura en las patas

4.7.3 Selección de pernos, arandelas y tuercas

Los pernos y tuercas empleados en el ensamblaje se detallan en la Tabla 4.15, mientras que las arandelas correspondientes se especifican en la Tabla 4.16.

Tabla 4.15 Medidas de pernos y tuercas

Cantidad	Tamaño (in)	Longitud (in)	Tipo cabeza	Tuerca (in)
2	5/16-24	0.75	Hexágono	5/16-24
8	5/16-24	0,5	Hexágono	5/16-24
2	5/16-24	0.75	Estrella	
8	5/16-24	1,5	Hexágono	5/16-24
4	#6-32	0,75	Estrella	
4	#6-32	0,375	Estrella	#6-40
9	#6-32	0,5	Estrella	#6-40
4	1/4-20	0.75	Plano	

Tabla 4.16 Medidas de arandelas

Cantidad	Tamaño (in)	Diámetro interno (in)	Diámetro externo (in)	Grosor (in)
4	0,5	0,5	1,125	0,083
2	0,375	0,375	0,734	0,065

En la Figura 4.18, 4.19, 4.20, 4.21 se muestra la ubicación de los pernos y en la Tabla 4.17 sus características.

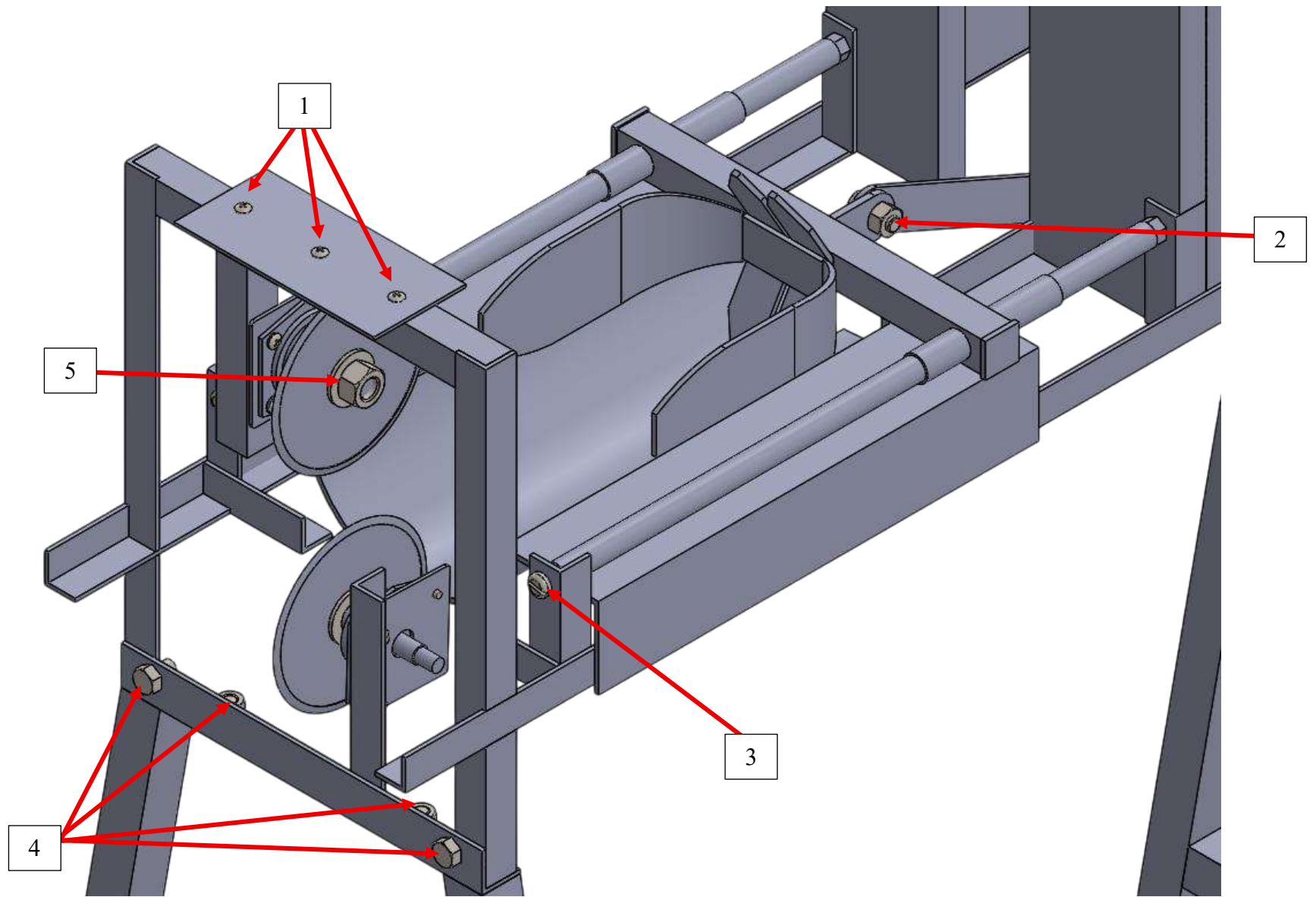


Fig. 4.18 Ubicación de los pernos, sección de corte

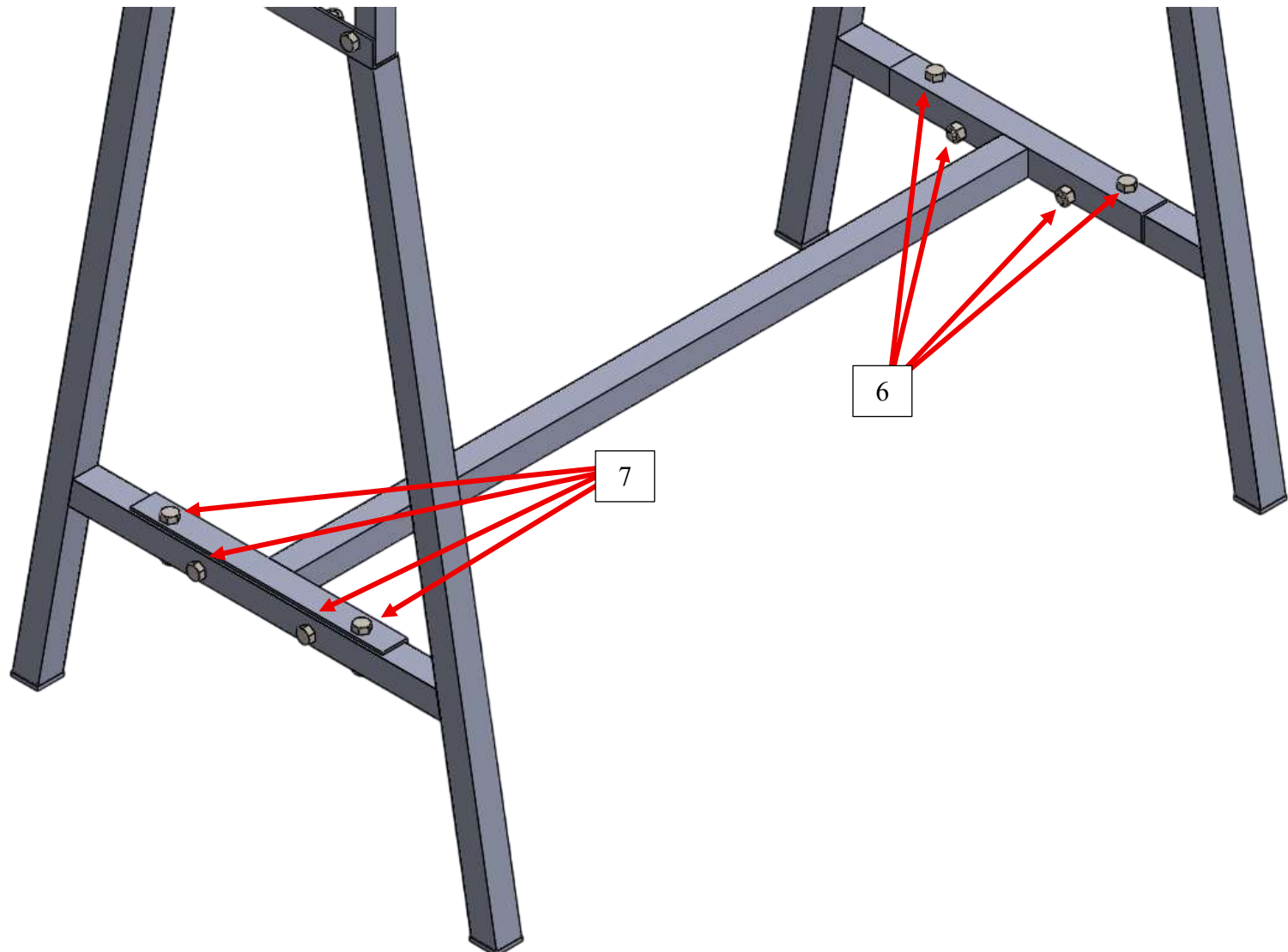


Fig. 4.19 Ubicación de los pernos, patas

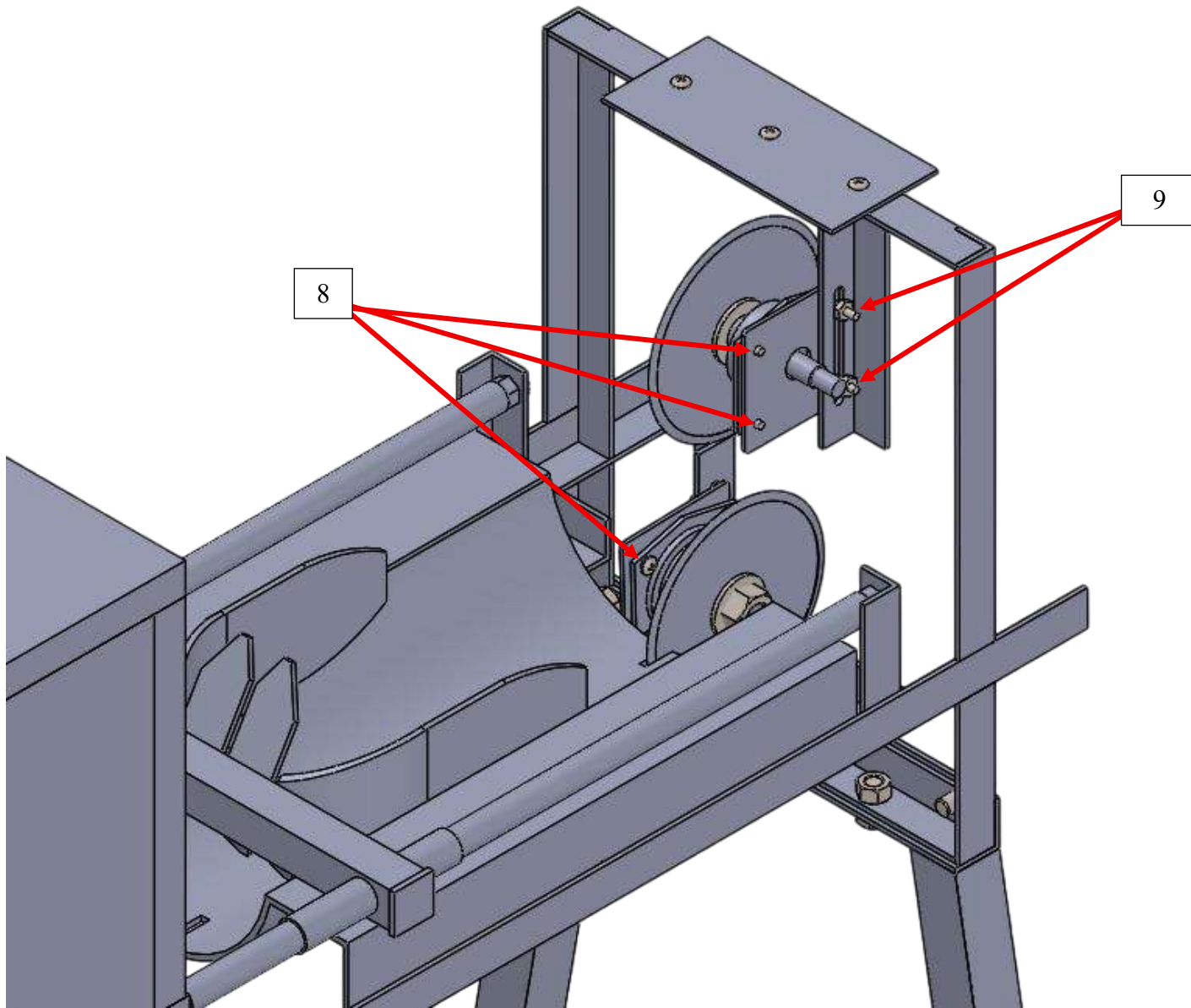


Fig. 4.20 Ubicación de los pernos, sección cuchillas

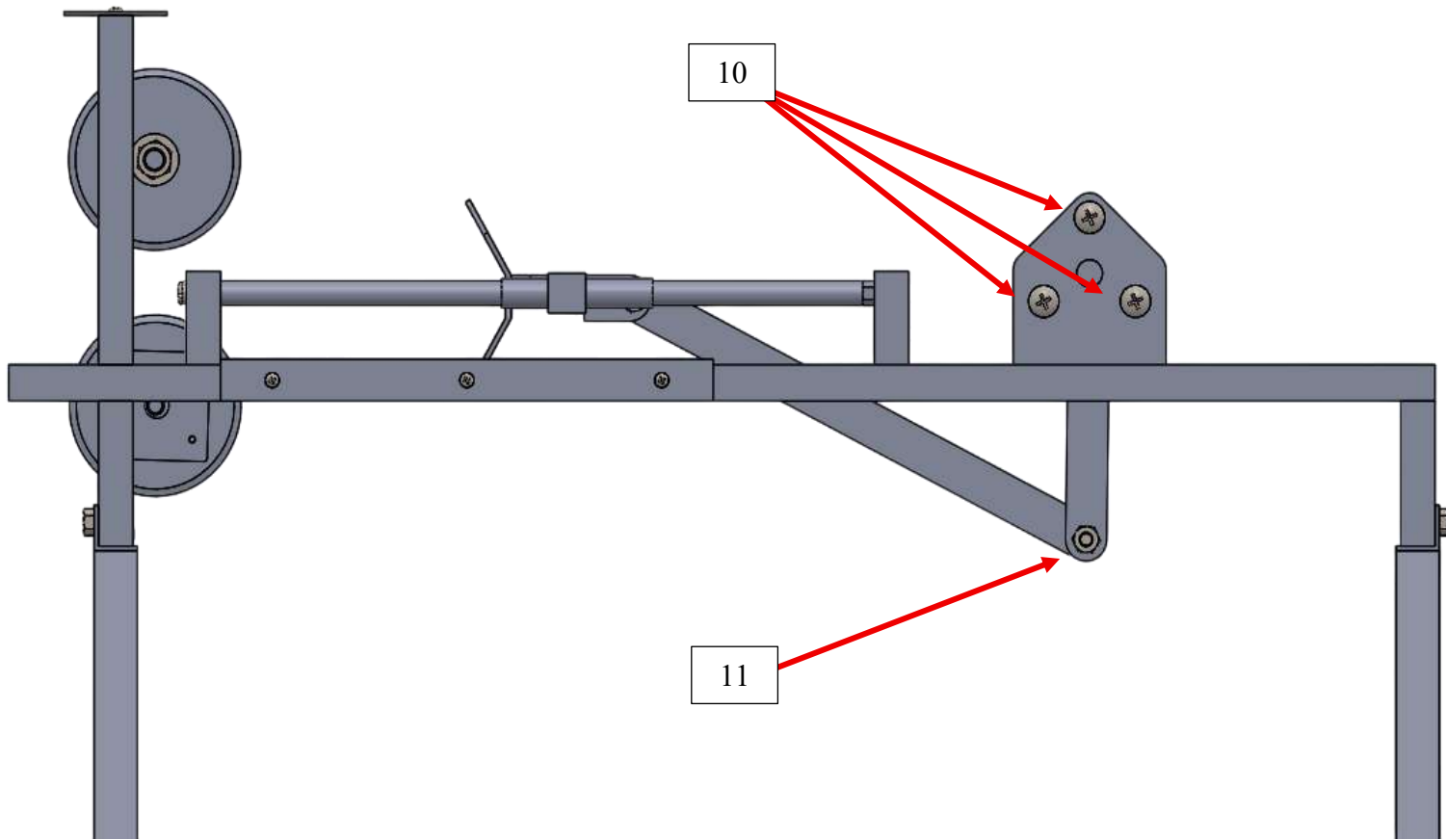


Fig. 4.21 Ubicación de los pernos, sección sujetadora del motor y eje de la biela

Tabla 4.17 Descripción de los pernos

Número	Cantidad	Perno (P)/Tornillo (T)	Tamaño (in)	Longitud (in)	Tuerca	Arandela
1	3	T	#6-40	0,5	Si	No
2	1	P	5/16-24	0,75	Si	Si
3	4	T	1/4-20	0,75	No	No
4	8	P	4/16-24	0,5	Si	No
5	2				Si	Si
6	4	P	5/16-24	1,5	Si	No
7	4	P	5/16-24	1,5	Si	No
8	4	T	#6-32	0,375	No	No
9	4	T	#6-32	0,75	Si	No
10	3	T	5/16-24	0,75	No	No
11	1	P	5/16-24	0,75	Si	Si

En la Tabla 4.17, el ítem número 6 corresponde a la tuerca utilizada para la sujeción de la cuchilla a los cabezales. En dicha tabla se especifica la cantidad requerida, así como sus dimensiones, siendo una tuerca de 1/2–13 de doble chaflán. Adicionalmente, se emplean cuatro arandelas de 0,5 in, las cuales permiten asegurar el disco de corte. Estas arandelas presentan un diámetro interno de 0,5 in y un diámetro externo de 1,125 in. No se elabora una tabla independiente para estos elementos, debido a que corresponde a un único tipo de componente dentro del conjunto de sujeción.

4.7.4 Selección de la cuchilla

Se selecciona un disco de corte para baldosas con un ángulo de afilado de 25°, el cual permite generar la penetración necesaria para fracturar la cáscara de la mazorca de cacao durante el proceso de corte. Al tratarse de un componente comercial estandarizado, no se realizan cálculos específicos para su selección. Esta elección se fundamenta en los criterios establecidos en el Capítulo II, específicamente en la sección 2.9 y en la Figura 2.15, donde se analizan los parámetros geométricos del filo y su influencia en la capacidad de penetración durante el corte.

4.7.5 Selección de cabezales para las cuchillas

Se toma en consideración lo establecido en el Capítulo IV, Sección 4.4.2, donde se describen las características del cabezal empleado. Con base en esta información, se selecciona un cabezal comercial estandarizado, con el fin de evitar el diseño y fabricación de la base de las cuchillas. Esta decisión permite reducir los procesos de manufactura, disminuir la mano de obra requerida y garantizar el uso de componentes normalizados disponibles en el mercado.

4.7.6 Selección del eje del sistema de corte

Con el fin de evitar que los materiales afecten la calidad del fruto obtenido, se selecciona acero inoxidable AISI 304 para la fabricación del eje de empuje. Este material corresponde a una aleación de hierro con otros elementos metálicos, caracterizada por su alta resistencia a la corrosión, lo cual lo hace adecuado para aplicaciones con contacto directo con el fruto de cacao [23].

4.7.7 Sistema de control de la máquina desvainadora

Se realiza la selección de mando, así mismo, la selección de componentes de control que integra la máquina desvainadora de cacao.

4.7.7.1 Componentes de mando (selectores)

Selector dos posiciones OFF/ON con salida NA (normalmente abierto) y NC (normalmente cerrado), selector 3 posiciones I 0 II, con salida NA y NA.

El selector de dos posiciones OFF/ON es utilizado para encender el dispositivo y dar paso a la corriente al selector I 0 II, este segundo selector es el que hace funcionar al motor y todo el mecanismo, en la posición I, el motor girará lentamente, en la posición 0, es el reposo, y en la posición II, el motor girará rápido. En la tabla 4.18 y la Tabla 4.19 se muestran las características de los selectores, y en la Figura 4.22 se muestra su ubicación en la máquina.

Tabla 4.18 Características selector potencia [24]

Características selector potencia	
Marca	SASSIN
Modelo	ZB-BE101
Voltaje Máximo (V)	600
Amperaje Máximo (A)	10
Número de posiciones	3
Número de terminales	4
Tipo de actuador	Giratorio
Material de contacto	Cobre
Tipo de contacto	Normalmente Abierto x2

Tabla 4.19 Características selector ON/OFF [25]

Características selector ON/OFF	
Marca	CHNT NP2
Modelo	BE102
Voltaje Máximo (V)	240
Amperaje Máximo (A)	15
Número de posiciones	2
Número de terminales	4
Tipo de actuador	Giratorio
Material de contacto	Cobre
Tipo de contacto	Normalmente Abierto
Tipo de contacto	Normalmente Cerrado

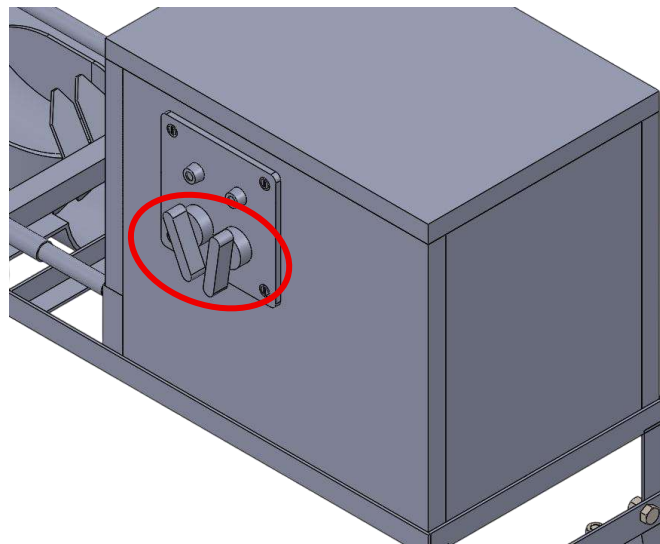


Fig. 4.22 Ubicación de los selectores en la máquina desvainadora de cacao

4.7.8 Selección de la caja de mando

Se utiliza una caja de plástico para derivación blanca 10105 de montaje superficial, en la Tabla 4.20 se muestran sus características y en la Figura 4.23 una ilustración grafica de la misma.

Para su conexión se le han realizado dos perforaciones con el fin de acoplar los selectores de mando, en la figura 4.24 se muestra la ubicación y el diámetro utilizado para las perforaciones y en la Figura 4.25 las perforaciones realizadas junto con los selectores de mando.

Tabla 4.20 Características de la caja de derivación [26]

Características de la caja de derivación	
Marca	Schneider
Gama	Dexon
Modelo	DNX500DG
Color	Blanco
Montaje	Superficie
Modo de fijación	Tornillo
Material	ABS + PC
Resistencia a las llamas	M1
Medidas (L x A x P) (cm)	10 x 10 x 5
Grado de protección IP	IP55
Peso (kg)	0,14



Fig. 4.23 Caja Dexon Derivación Gris 10105 [26]

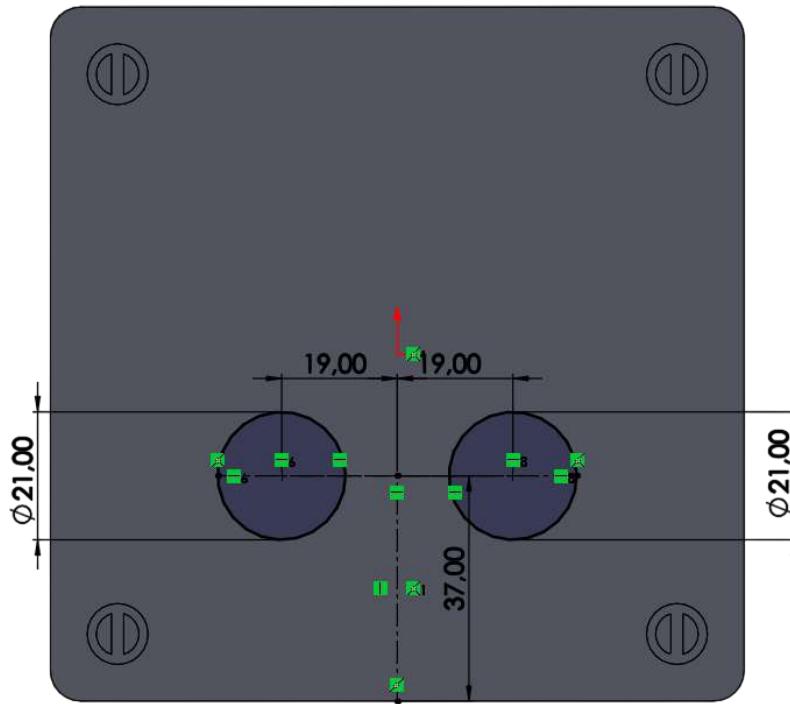


Fig. 4.24 Ubicación y medidas de las perforaciones en la tapa de la caja plástica

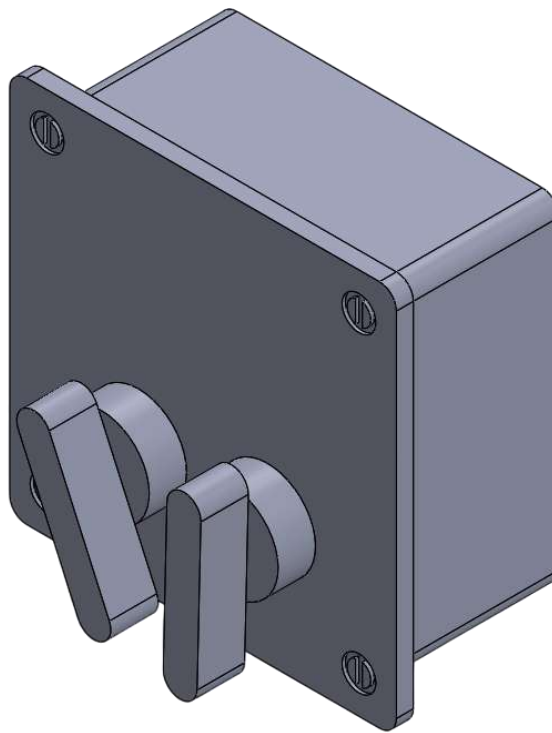


Fig. 4.25 Ubicación de los selectores de mando en la caja de derivación

4.8 Sistema eléctrico que incorpora la desvainadora de cacao

Se desarrolla el sistema de automatización sencilla y selección de cableado, indicadores LED, fuente de alimentación y entrada de 110V, así mismo, el motor cuenta con un paro automático interno, minimiza el uso de elementos en la lógica cableada empleada.

4.8.1 Diseño del sistema de automatización

En la siguiente sección se muestra el circuito de automatización de la máquina desvainadora de cacao, en la Figura 4.26, y en la Tabla 4.21 se describen los componentes de manera general, el circuito es sencillo y cumple con el propósito. Adicional se menciona: el motor trae incluido un cable blanco, en la simulación del circuito se coloca cable azul para que sea observado.

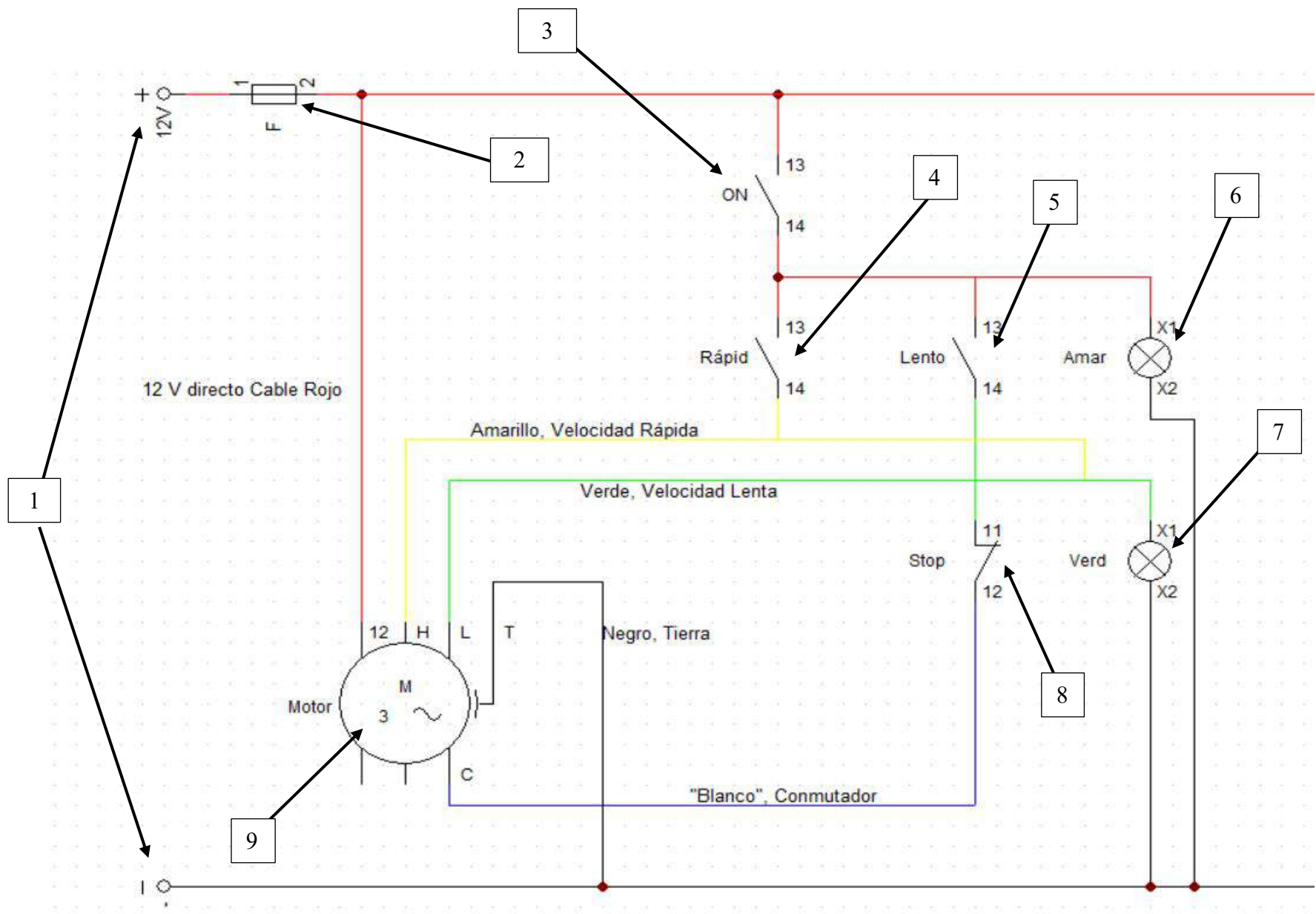


Fig. 4.26 Circuito eléctrico de la desvainadora de cacao

Tabla 4.21 Componentes del circuito de automatización

Características	
1	Fuente de alimentación de 12 V 20A
2	Fusible 15 Amperios
3	Contacto auxiliar NA, Velocidad Rápida
4	Contacto auxiliar NA, Encendido
5	Contacto auxiliar NA, Velocidad Lenta
6	Indicador encendido (Amarillo)
7	Indicador de funcionamiento (Verde)
8	Contacto auxiliar NC, Apagado
9	Motor 12V

NA normalmente abierto

NC normalmente cerrado

Adicionalmente, se toma en referencia la Figura 4.26, los números 4 y 6, pertenecen a los contactos auxiliares selector de ON/OFF, y los números 3 y 5, son los contactos auxiliares selector de 3 posiciones I 0 II.

4.7.1 Selección de cableado

El motor trabaja a 12 Voltios continuo con una corriente de 15 Amperios, a una distancia de 0,5 metros de la fuente de alimentación, se utiliza cable multifilar flexible número 12, el mencionado tipo de cable puede manejar hasta una corriente de 30 amperios. Este cable está construido por alambres finos y reunidos de forma que puedan utilizarse como cable flexible y está diseñado para garantizar una conexión deformable al momento de ser manipulado [27], en la figura 4.27 se observa una imagen referencial del cable flexible.



Fig. 4.27 Cable flexible número 12 [30]

4.8.2 Selección de luces indicadoras del sistema de control

Se utiliza un indicador amarillo para mostrar que la máquina desvainadora de cacao está lista para funcionar, y un indicador verde para mostrar que la máquina está trabajando. Estas son indicadores de luz piloto 12V ACDC (para corriente alterna y continua) modelos XD-10-3 de 10mm de perforación [28], en la Figura 4.28 se observan los indicadores, y en la Figura 4.29 la distancia de perforaciones y ubicación en el panel de control.



Fig. 4.28 Indicadores de 12V ACDC [28]

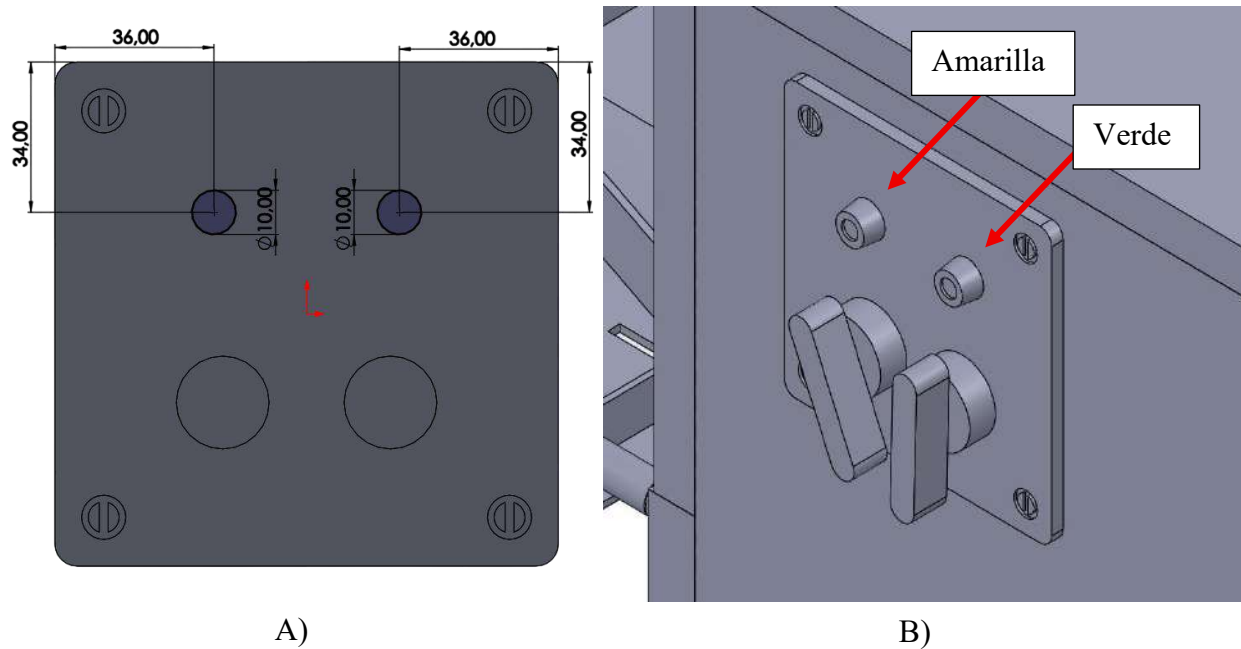


Fig. 4.29 Luces indicadoras: A) Distancia de perforaciones, B) ubicación en el panel de mando

4.8.3 Selección de la fuente de alimentación 12V para el motor del sistema biela-manivela

Se utiliza una fuente de voltaje metálica tipo switching 12 Voltios 20 Amperios [29], en la Figura 4.30 se observa la fuente utilizada, en la Figura 4.31 la ubicación en la máquina, y en la Tabla 4.22 sus características.



Fig. 4.30 Fuente de Voltaje metálica tipo Switching 12 Voltios 20 Amperios [29]

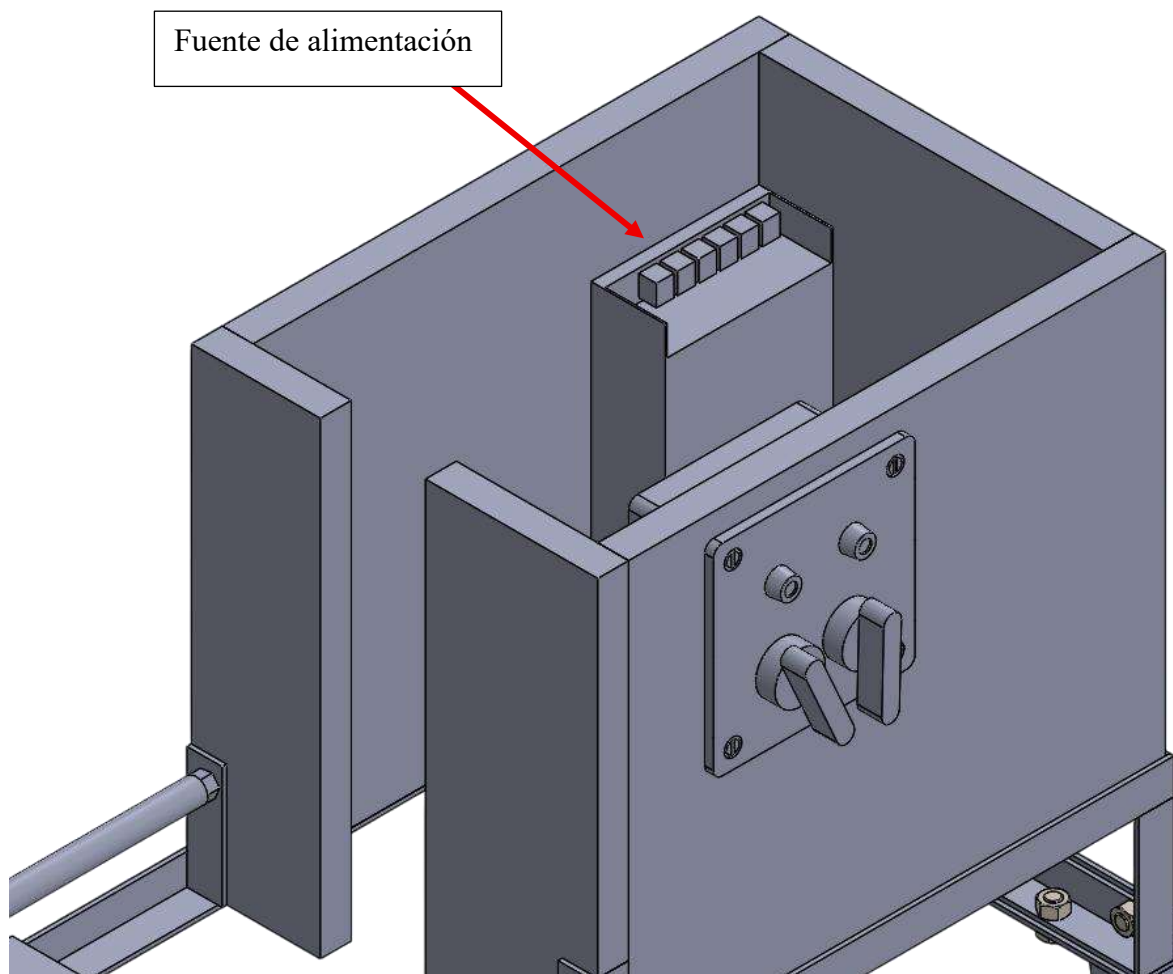


Fig. 4.31 Ubicación de la fuente de alimentación en la máquina desvainadora de cacao

Tabla 4.22 Características de la fuente de alimentación [30]

Características de la fuente de alimentación	
Marca	Anera
Modelo	IMP-12V20A
Carcaza	Metálica
Voltaje de entrada (Vac)	100-120 / 200-220
Frecuencia (Hz)	50 / 60
Voltaje de salida (Vdc)	12 fijos
Corriente máxima (A)	20
Conexiones	Borneras
Dimensiones (LxAxP)(cm)	20 x 10 x 4,5

4.8.4 Selección del conector de alimentación para la entrada de 110V para la fuente de alimentación

La fuente necesita una entrada de alimentación de 110V, Se utiliza un conector hembra AC-04 [31], en la tabla 4.23 sus características, y un cable de poder C13 de 3 patas [32], en la tabla 4.24 sus características, en la Figura 4.32 se muestra el tipo de conector y el cable utilizado, en la Figura 4.33, en vista isométrica posterior, la ubicación en la caja contenedora de la máquina desvainadora de cacao.



Fig. 4.32 A) Conector hembra AC-04 [31], B) Cable de poder C13 [33]

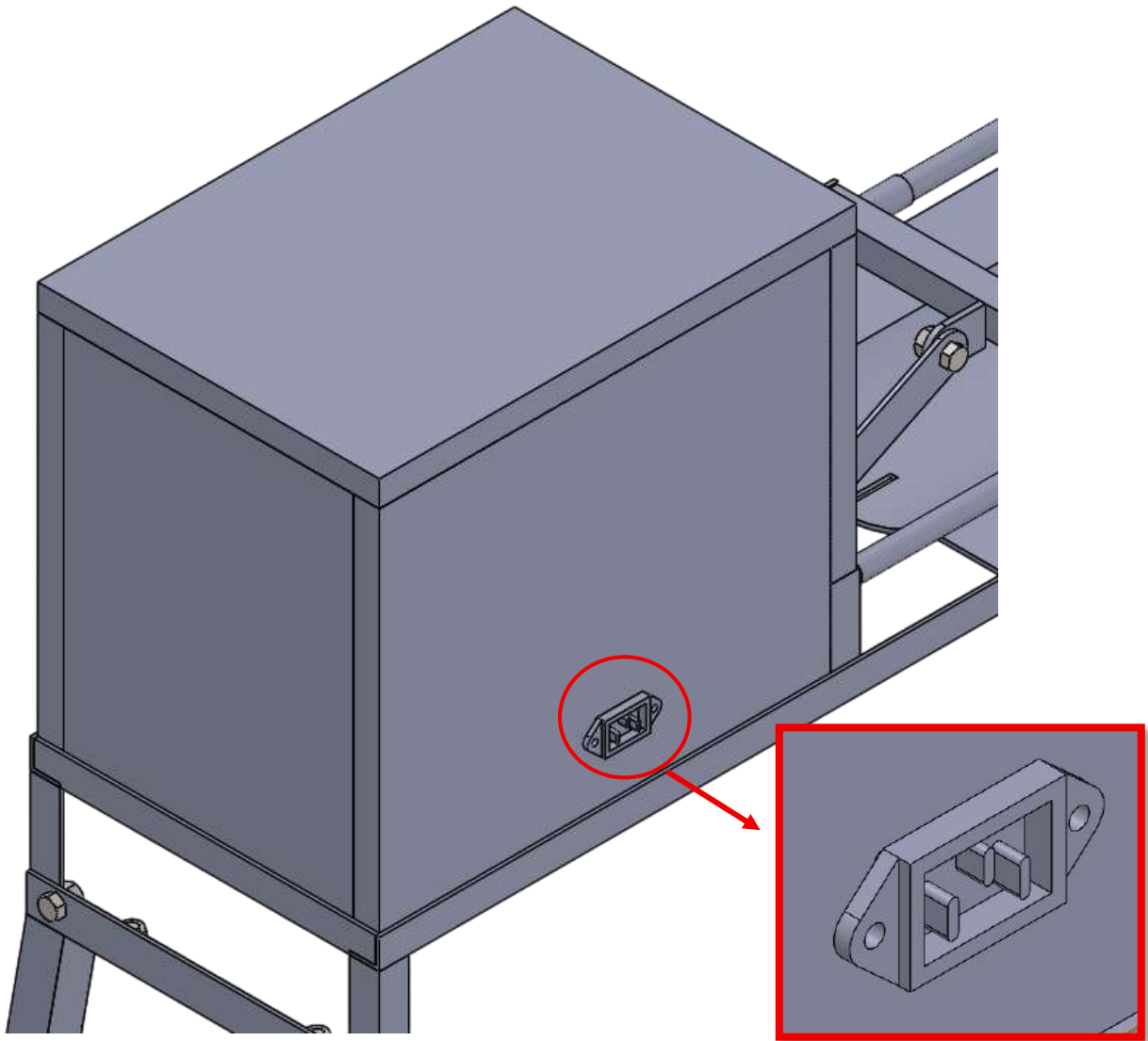


Fig. 4.33 Ubicación del conector hembra AC-04

Tabla 4.23 Conector hembra AC-04 [31]

Características del conector hembra AC-04	
Voltaje nominal (Vac)	250
Corriente nominal (A)	10
Máximo voltaje (Vac), frecuencia (Hz)	500, 50, 1
tiempo (min)	
Resistencia de contacto (Ω)	≤ 0.1
Resistencia de aislamiento ($M\Omega$)	≥ 100
Fuerza de actuación (N)	5-30
Temperatura de trabajo ($^{\circ}\text{C}$)	-30 a 70

Tabla 4.24 Características del cable de poder C13 [33]

Características del cable de poder C13	
Conector del conductor (patas)	3
Tipo	C13, C14
Voltaje máximo (Vac)	240
Corriente máxima (A)	15
Calibre (AWG)	14
Longitud (metros)	1,8
Conexión a tierra	Si
Material	PVC color negro

4.9 Construcción y ensamble de la máquina desvainadora de cacao

Se explica el proceso de construcción de las diferentes partes que conforman el sistema de corte, estructura y sistema eléctrico de la desvainadora de cacao.

4.9.1 Sistema de corte

Conformado por dos discos de diamante para baldosas Tabla 4.2, y dos cabezales de moladora Tabla 4.3., la Figura 4.34 se muestra el mecanismo.

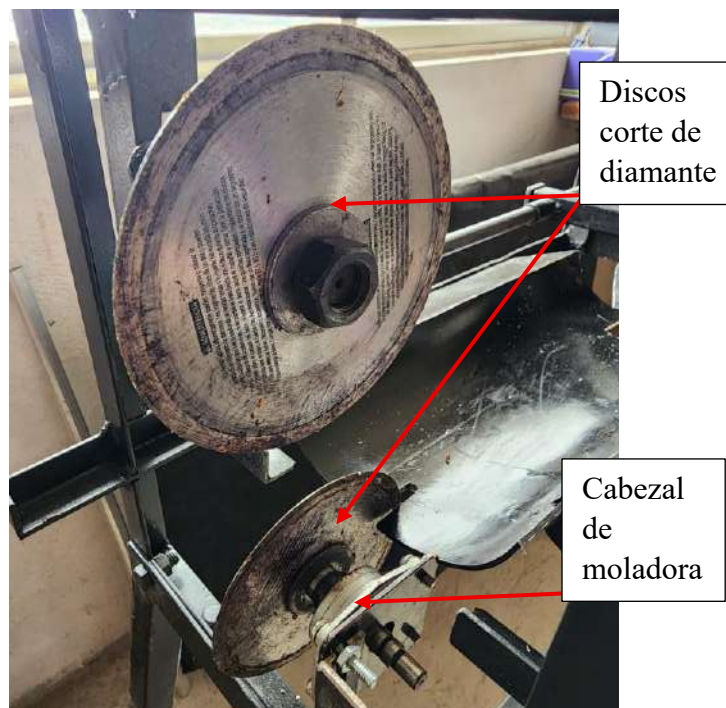


Fig. 4.34 Sistema de corte seleccionado para la desvainadora de cacao

4.9.2 Estructura de la máquina desvainadora de cacao

Se detalla la construcción de la estructura, sistema biela-manivela, mecanismo de empuje y el asiento del motor.

4.9.2.1 Estructura base de la máquina desvainadora de cacao

Realizado con ángulos Tabla 4.5, Tubo cuadrado 25x25x1, Tabla 4.6, ángulo 25x25x3, Tabla 4.7, es lo que soporta el peso de todo el sistema, en la Figura 4.35 se muestra la estructura base.



Fig. 4.35 A) Estructura base, B) Patas en forma de A del sistema de desvainado

4.9.2.2 Sistema biela-manivela de la desvainadora de cacao

Realizado con platina 24x2, Tabla 4.4, un tubo diámetro 13 mm y espesor 1 mm, Tabla 4.8, un tubo diámetro 16 mm y espesor 1 mm, Tabla 4.9, para construir el sistema, en la Figura 4.36, se muestra el sistema.

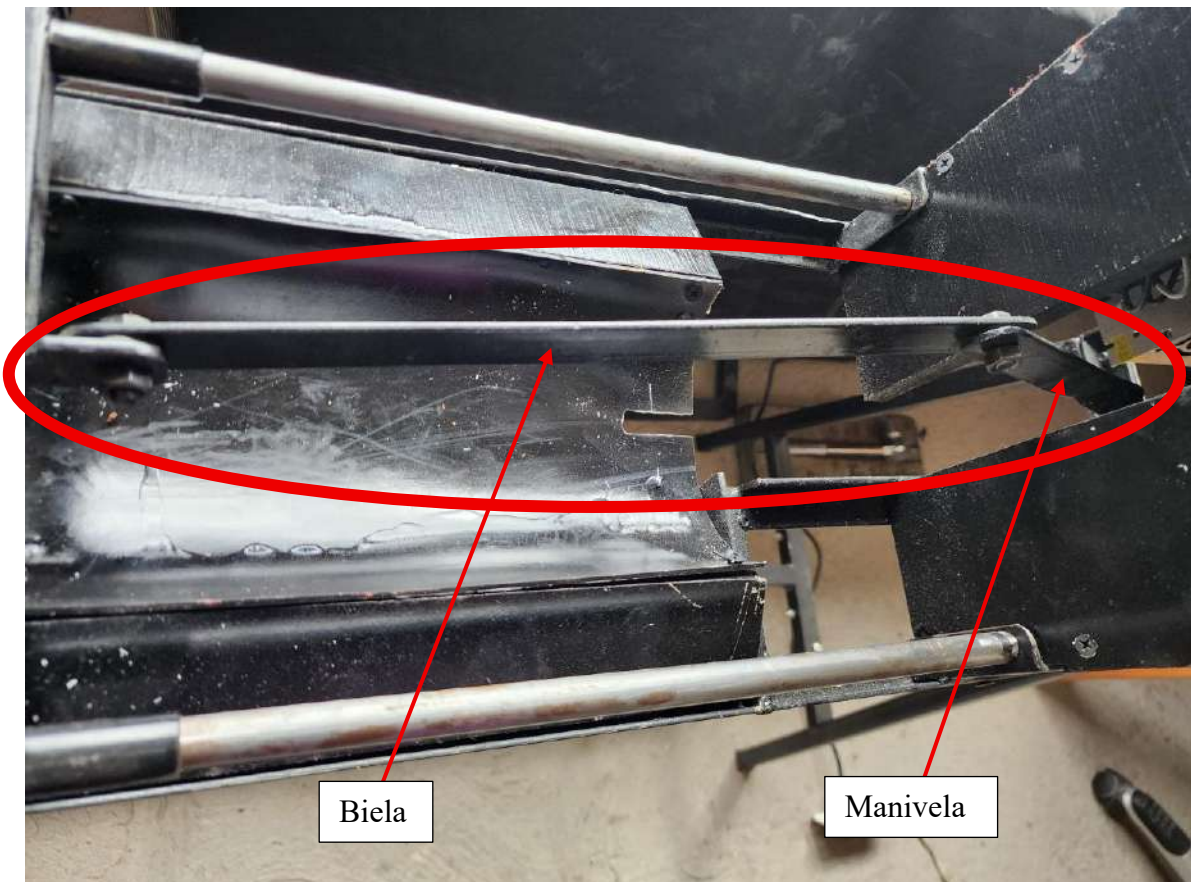


Fig. 4.36 Sistema biela-manivela de la desvainadora de cacao

4.9.2.3 Mecanismo de empuje de la mazorca de cacao al sistema de corte

Construido con platina 4x2, Tabla 4.4, para las garras de empuje del fruto de cacao y el pasador del sistema de empuje, un tubo cuadrado 20x20x1, Tabla 4.10, para la corredera, en la Figura 4.37 se muestra el sistema de empuje y los pistones laterales de la corredera.

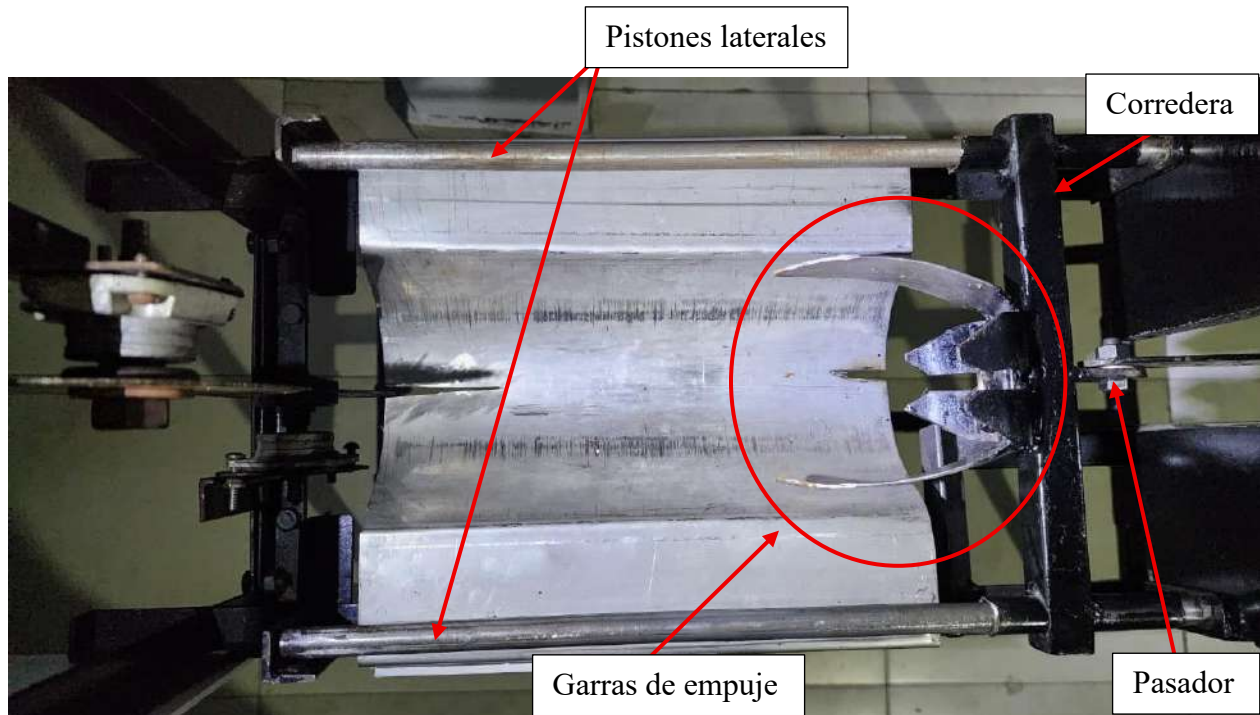


Fig. 4.37 Sistema de empuje de la mazorca de cacao al sistema de corte

4.9.2.4 Asiento del motor del sistema biela-manivela

Realizado con una plancha de acero A36 de 89 mm x 108 mm y espesor de 2 mm, en la figura 4.38 se observa su montaje.

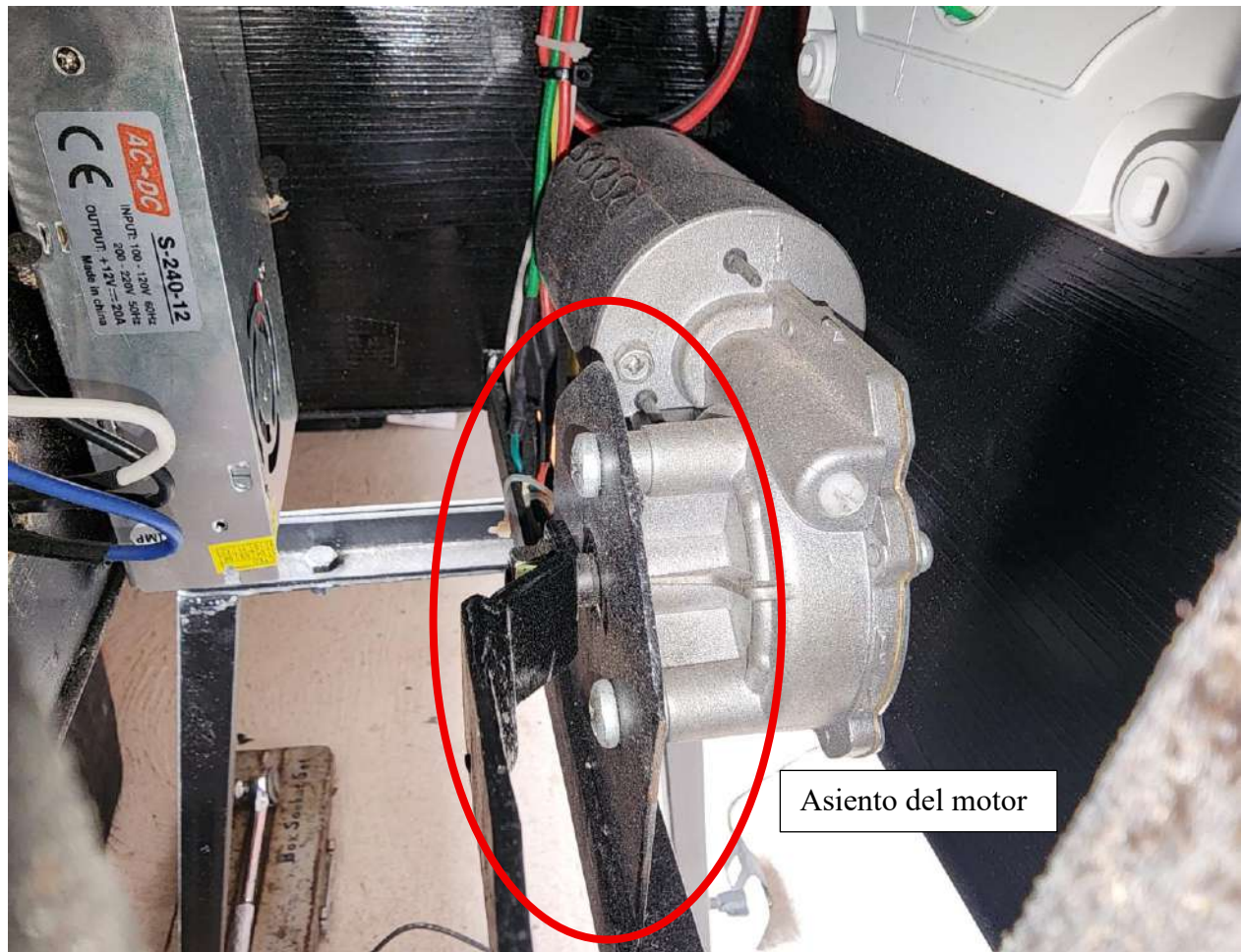


Fig. 4.38 Asiento del motor impulsor del sistema biela-manivela

4.9.3 Sistema eléctrico automatizado de la máquina desvainadora de cacao

Se detalla la construcción del sistema de mando y las conexiones que se realizadas para que el mecanismo biela-manivela funcione.

4.9.3.1 Conexión del motor

Los cables del motor, debido a que son cortos se añade una extensión de cable del mismo color para que sea de fácil conexión e identificación, en la Figura 4.39 se muestra A) la identificación del cableado del motor y B) las extensiones realizadas.

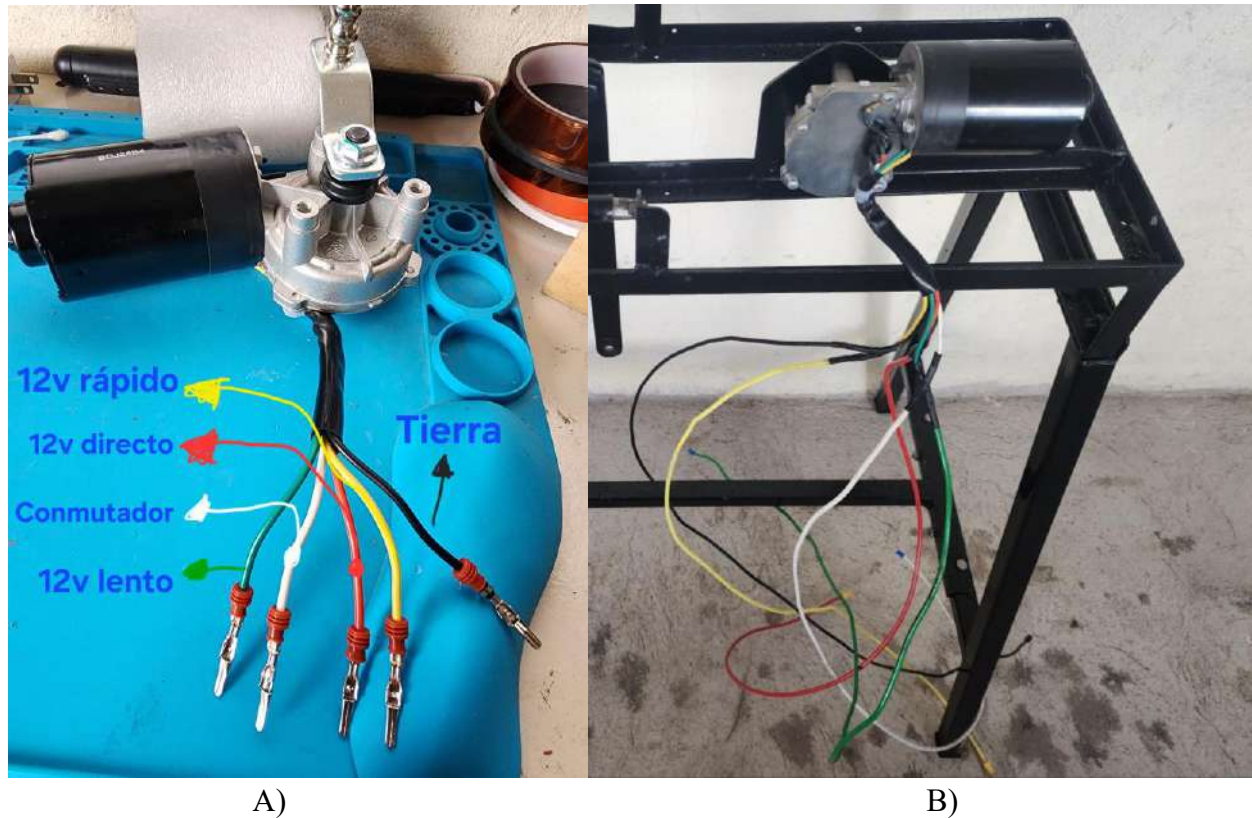


Fig. 4.39 A) Identificación de los cables del motor, B) Extensión de cables

4.9.3.2 Conexión del sistema de mando y selectores de marcha

Se toma en referencia la Figura 4.26 para realizar las conexiones eléctricas, se realiza perforaciones en la caja de derivación Figura 4.24 y Figura 4.29, para colocar los selectores y luces indicadoras, en la Figura 4.40 se muestra A) las conexiones realizadas en los contactos NA y NC de los selectores y B) la conexión de los cables de alimentación del motor, en la Figura 4.41 se muestra las conexiones internas y en la Figura 4.42 se muestra A) la colocación de la sección de mando en la máquina y B) la ubicación de las luces indicadoras.

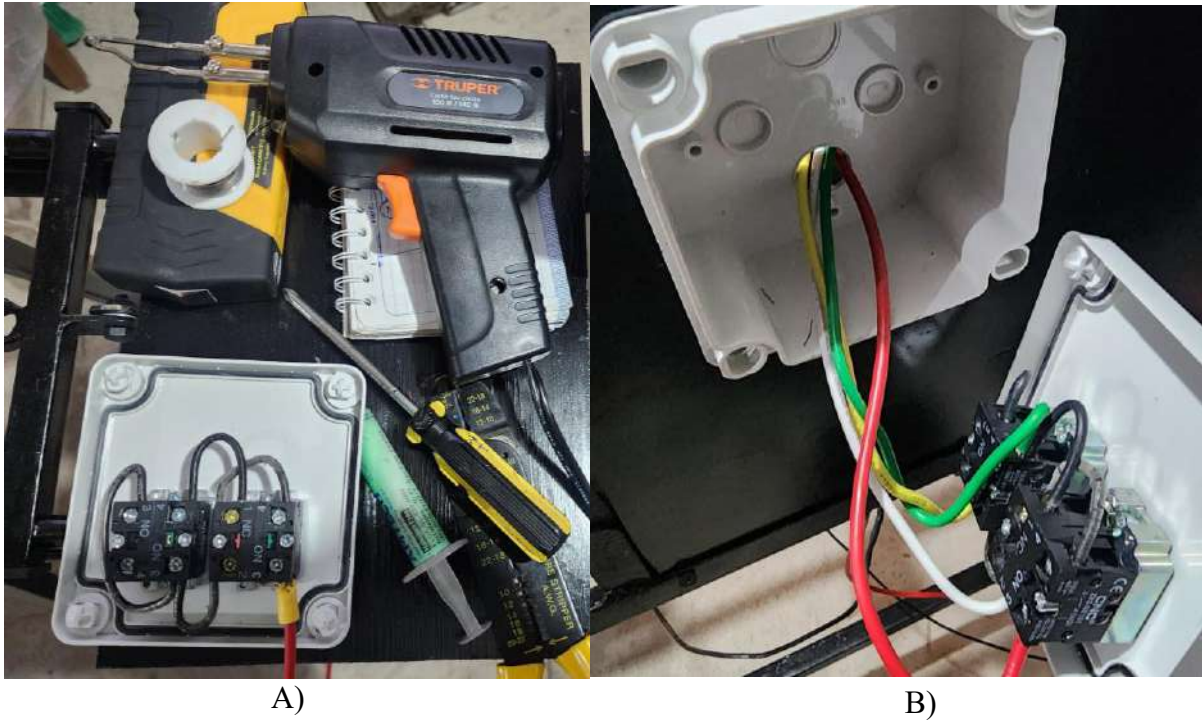


Fig. 4.40 A) Conexión en los contactos NA y NC, B) cables de alimentación del motor

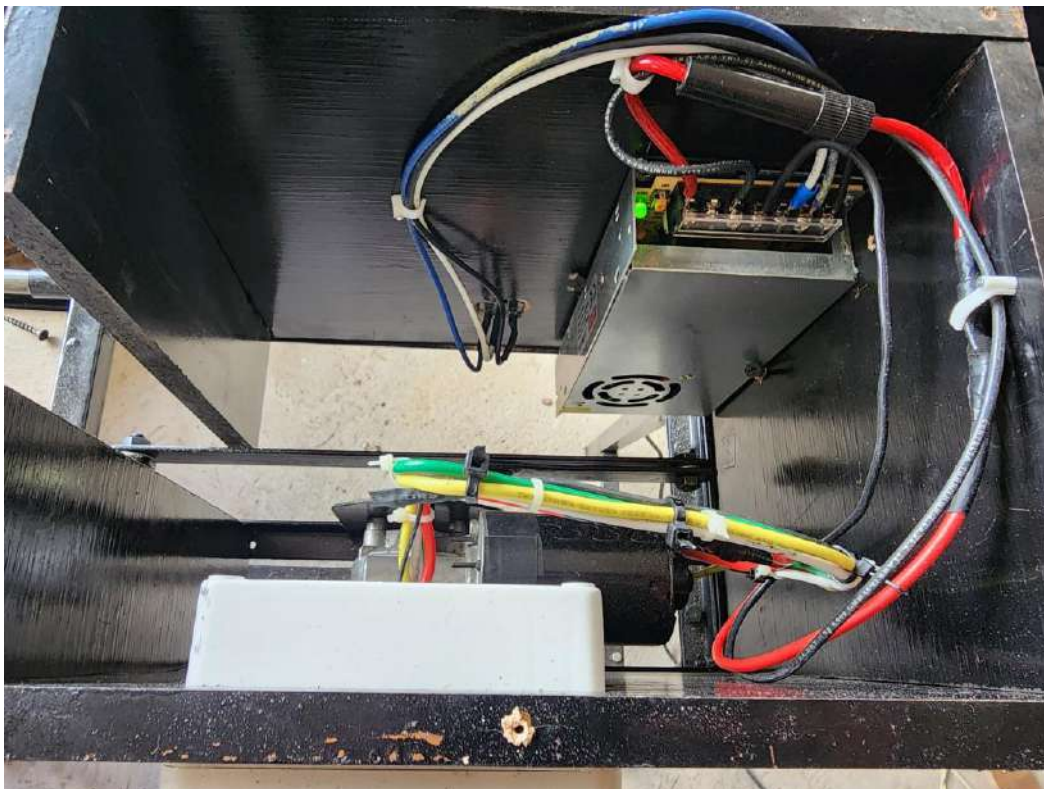


Fig. 4.41 Conexiones internas de la máquina desvainadora de cacao

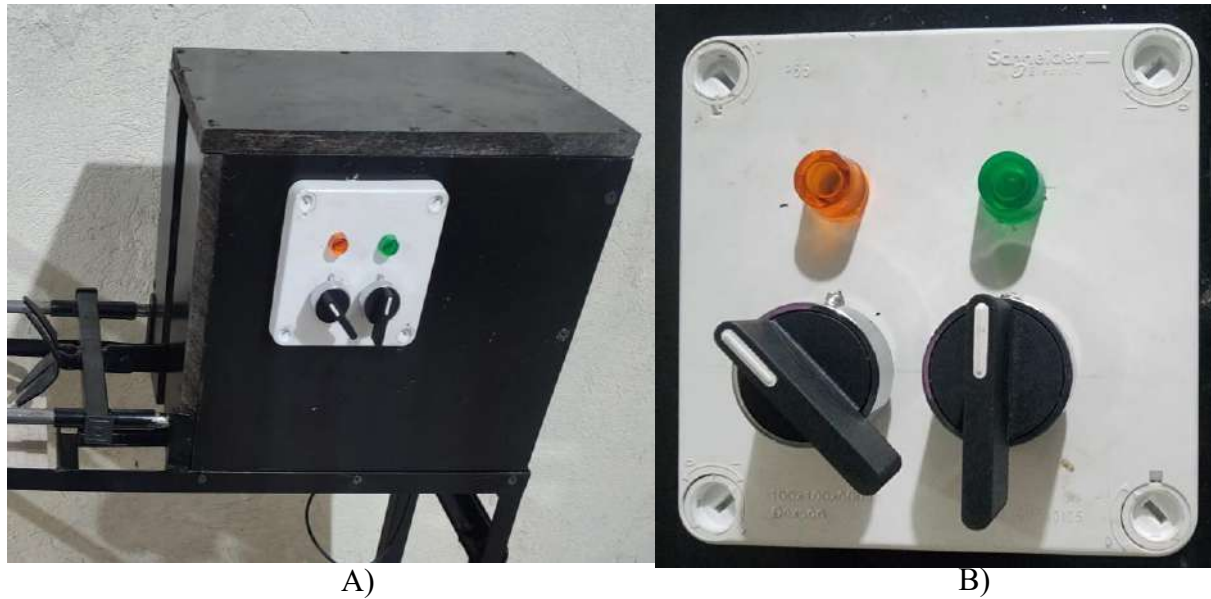


Fig. 4.42 A) Sección de mando en la máquina, B) Luces indicadoras

4.10 Pruebas de funcionamiento

Se realizan un conjunto de pruebas experimentales para la validación funcional del sistema diseñado. Inicialmente, se mide el consumo eléctrico del motor en condición de marcha en vacío sin carga mecánica acoplada.

Posteriormente, se evalúa el mecanismo biela–manivela operando sin carga, con el propósito de analizar su desempeño dinámico, continuidad de movimiento y comportamiento.

Adicional, se realizan ensayos de corte bajo condiciones operativas reales, permitiendo determinar el comportamiento del sistema bajo carga, el incremento en el consumo eléctrico, la estabilidad mecánica y la efectividad del proceso.

Finalmente, se procede a implementar las correcciones identificadas durante la ejecución de las pruebas de corte con carga. Posteriormente, se realizó el ajuste de los parámetros operativos del

sistema y se llevó a cabo la validación de su funcionamiento, con el propósito de verificar su desempeño bajo condiciones reales de operación.

4.10.1 Pruebas del motor al vacío

Realizadas las debidas conexiones, el motor se coloca en una fuente de alimentación de 12V a 6A para observar su consumo al vacío, en la Figura 4.43 se observa la configuración en la fuente de laboratorio y en la Figura 4.44 se observa A) en consumo a bajas RPM y B) a altas RPM



Fig. 4.43 Configuración de voltaje y amperaje en la fuente de laboratorio



A)

B)

Fig. 4.44 A) Consumo a bajas RPM, B) Consumo a altas RPM

4.10.2 Pruebas del sistema biela-manivela

Con el sistema biela-manivela previamente ensamblado y se realizan pruebas de funcionamiento, en la Figura 4.45 se observa un breve recorrido del sistema.



Fig. 4.45 Recorrido del pistón

4.10.3 Pruebas de corte

Se emplearon tres frutos de cacao proporcionados por una pequeña productora, los cuales fueron utilizados para la ejecución de las pruebas experimentales de corte. Como se muestra en la Figura 4.46, estos ensayos se realizaron con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento del sistema de corte y evaluar su desempeño operativo, permitiendo identificar posibles desviaciones en el proceso y efectuar los ajustes técnicos necesarios para optimizar su operación.



Fig. 4.46 Pruebas de corte

4.10.4 Correcciones del sistema de corte

Realizados los primeros ensayos de corte, se identifican la correcciones y optimizaciones necesarias de diversos parámetros de funcionamiento del sistema. Entre los ajustes efectuados se incluyen la modificación del ángulo de afilado de las cuchillas a 25 grados mostrado en la sección 4.7.4, la lubricación de los elementos móviles para reducir la fricción y el desgaste, el ajuste de la altura del alimentador y la regulación de las garras de empuje. Estas modificaciones tuvieron como finalidad garantizar que, al momento de ingresar el fruto, este mantenga una posición estable y se desplace de manera horizontal hacia la sección de corte, asegurando así mayor precisión y uniformidad en el proceso de desvainado. En la Figura 4.47 se muestran dichas secciones.

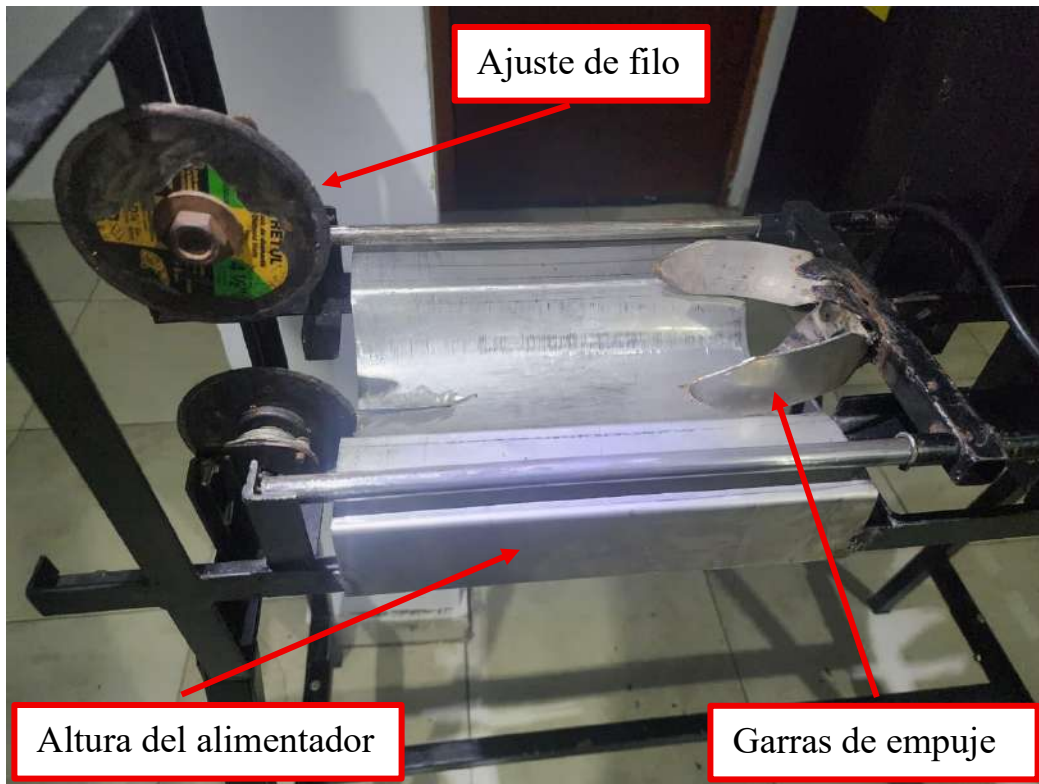


Fig. 4.47 Secciones ajustadas

4.11 Validación

Se muestra el proceso que realiza la máquina para cortar el fruto del cacao y posterior obtener la semilla, los resultados al ser cortado y el rendimiento de la máquina con el despulpado manual.

4.11.1 Funcionamiento del sistema de corte

Al colocar el fruto del cacao en el sistema de alimentación del mecanismo, Figura 4.48, al accionar el selector de marcha, el sistema empuja el fruto hacia las cuchillas, Figura 4.49, con la fuerza que genera el motor, parte el fruto en la parte inferior y superior.



Fig. 4.48 Sistema de corte (alimentación)



Fig. 4.49 Sistema de alimentación (Corte)

4.11.2 Resultados de corte

Realizado el corte se observa que el sistema penetra la cascara, el resultado obtenido es el deseado, debido a que es minimizar lo máximo posible el daño a la semilla una vez realizado el corte, evitando así la pérdida de sus propiedades natales como el aroma, en la Figura 4.50 se muestran los frutos cortados.



Fig. 4.50 Resultado de corte al fruto de cacao

4.11.3 Rendimiento de la máquina a comparación del despulpado manual

Se realiza una comparativa del corte manual y la máquina, el tiempo establecido es de 1 minuto, se le pide a una persona con experiencia en corte del fruto realizarlo dentro del tiempo propuesto, como resultado se obtiene alrededor de 10 mazorcas cortadas. La máquina al ser de ciclo continuo de funcionamiento, en 1 minuto y colocando las mazorcas en el sistema de alimentación, realiza aproximadamente 60 cortes de mazorcas en el tiempo establecido. En la Figura 4.51 se observa a una persona que tiene experiencia en el corte del fruto realizar dicha labor.



Fig. 4.51 Corte manual del fruto de cacao realizado por una persona con experiencia

Con los datos obtenidos a partir del minuto establecidos, se realizan los cálculos del rendimiento de una persona y la máquina cortando los frutos a lo largo de 1 hora en ciclo continuo. Para ello se utiliza la regla de tres, que es la que encela a resolver problemas que dependen de una o varias proporciones [34], utilizando la Formula 4.9 [35], se muestran los datos obtenidos.

$$\begin{array}{l}
 t \rightarrow C_c \\
 t_a \rightarrow x
 \end{array}
 \qquad
 x = \frac{C_c \cdot t_a}{t}
 \qquad
 \text{Ecuación 4.16 Regla de tres}$$

Donde:

t es el tiempo en minutos

C_c es el número de cacaos cortados

t_a es el tiempo asignado de corte en horas

x es la incógnita

Una persona con experiencia y en ciclo continuo de corte, procesa 600 mazorcas de cacao.

$$x = \frac{10 \text{ cacaos} \cdot 60 \text{ minutos}}{1 \text{ minuto}} = 600 \text{ cacaos}$$

La máquina desvainadora de cacao corta alrededor de 3600 mazorcas de cacao

$$x = \frac{60 \text{ cacaos} \cdot 60 \text{ minutos}}{1 \text{ minuto}} = 3600 \text{ cacaos}$$

La comparativa de los resultados se presenta en la Tabla 4.25 y en la Figura 4.52 una gráfica donde se muestra la efectividad de la máquina, A) representa la cantidad de mazorcas cortadas de manera manual (línea azul) y B) la cantidad de mazorcas cortadas con la máquina (línea naranja).

Tabla 4.25 Comparativa de tiempo de corte manual y automático

Tiempo (minutos)	Despulpado manual Cantidad de cacao	Despulpado con máquina Cantidad de cacao
1	10	60
10	100	600
20	200	1200
30	300	1800
40	400	2400
50	500	3000
60	600	3600

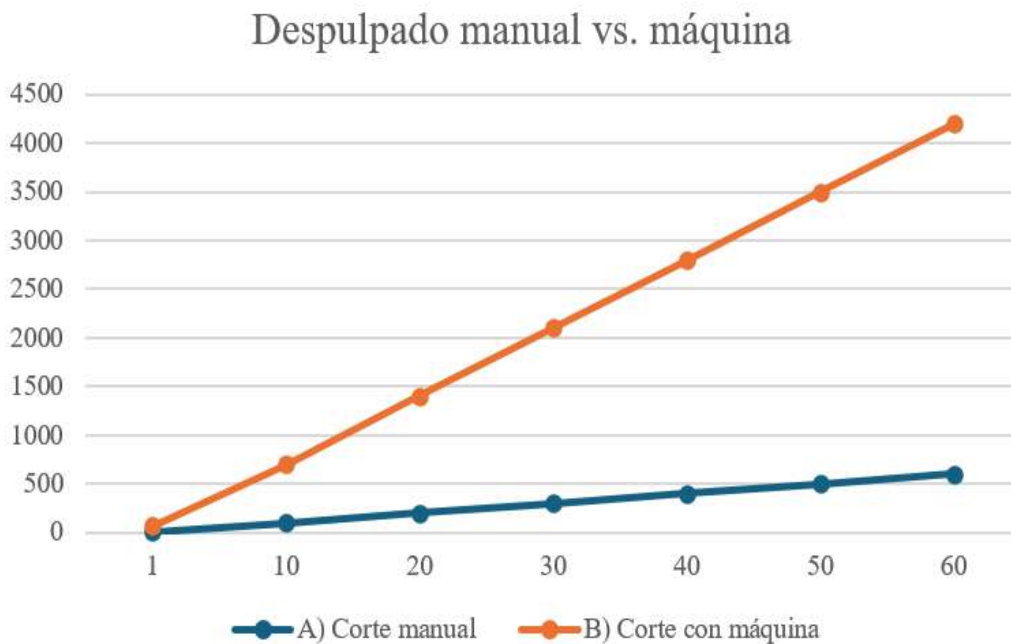


Fig. 4.52 Comparativa A) corte manual vs B) corte con máquina

Con los datos obtenidos de la Ecuación 4.16 se realiza el cálculo de la eficiencia, que se calcula dividiendo la capacidad teórica de campo por la capacidad efectiva medida bajo condiciones reales [36], la eficiencia se calcula con la Formula 4.17 [36] la cual muestra que:

$$Eficiencia\ de\ campo, \% = \frac{Capacidad\ efectiva\ de\ campo}{Capacidad\ teórica\ de\ campo} * 100$$

Ecuación 4.17 Eficiencia de campo

Donde:

Capacidad efectiva de campo es la cantidad de mazorcas cortadas por la máquina en 1 hora

Capacidad teórica de campo es la cantidad de mazorcas cortadas una persona en 1 hora

$$Eficiencia, \% = \frac{3600}{600} * 100 = 600\%$$

La eficiencia de la máquina es del 600% en comparación a una persona, lo que se traduce a que la máquina es 6 veces más eficiente en cortar el fruto a comparación de la forma manual.

4.12 Análisis de costos de los materiales y elementos utilizados para construir la máquina desvainadora de cacao

Se realiza un análisis del costo de materiales, elaboración de la estructura, piezas estándar como: el motor y componentes eléctricos se especificarán en la sección final donde se detalla el valor de todos los componentes.

Conexiones eléctricas no se realizará análisis de costos, esto se debe a que se lo realiza con la experiencia que se ha obtenido en el transcurso de la carrera universitaria en realizar simulaciones en sistemas de automatización y conexiones en serie y paralelo, teniendo en cuenta las normas de seguridad al momento de realizar las manipulaciones.

4.12.1 Costo de la estructura y patas en forma de A de la máquina desvainadora de cacao

Para la elaboración de la estructura se hace la visita a “METALICAS JAVIER”, el costo se hace incluido la mano de obra y un general de materiales, esto se debe a que los elementos utilizados se los adquirió por medida y no por cantidad, en la Tabla 4.26 se muestra a detalle los procesos y los valores.

Tabla 4.26 Costo de elaboración de la estructura y patas

Costo de la estructura y las patas en forma de A expresado en dólares (\$)	
Estructura base de la máquina desvainadora de cacao	10
Patas	10
Sistema de corte	10
Sujeta motor	10
Materiales	50
Total	90

4.12.2 Costo de materiales estándar utilizados

Adquiridos en diversos almacenes de componentes electrónicos y eléctricos, en la Tabla 4.27 se detalla el producto y el precio. Para el cable flexible utilizado en la máquina se coloca el precio total, ya que se adquiere 1 metro de cada color para realizar la conexión interna.

Tabla 4.27 Costos de materiales estándar

Materiales y piezas estándar utilizados, expresado en dólares (\$)	
Motor eléctrico	40
Fuente de alimentación	22
Fusibles	0.15 (c/u)
Porta fusibles	0,6
Caja de derivación	2,95
Cable flexible AWG 12 (5 metros)	3,89
Selector 2 posiciones ON/OFF	4,75
Selector 3 posiciones I 0 II	4,75
Disco de corte para baldosas (x2)	3.5
Cabezal de moladora (x2)	5
Perno 5/16-24 x 0,75 hexagonal (x2)	0,15
Perno 5/16-24 x 0,5 hexagonal (x8)	0,20
Perno 5/16-24 x 0,75 estrella (x2)	0,10
Perno 5/16-24 x 1,5 hexagonal (x8)	0,20
Perno #6-32 x 0,75 estrella (x4)	0,05
Perno #6-32 x 0,375 estrella (x4)	0,02
Perno #6-32 x 0,5 estrella (x9)	0,05
Perno 1/4-20 x 0,75 (x4)	0,10
Arandela 0,5x0,5x1,125 (x2)	0,02
Arandela 0,375x0,375x0,734 (x4)	0,05
Tuerca 1/2-13 chafan doble (x2)	0,20
Tornillo negro para madera HD 8x1” (caja 100 unidades)	1,50

Tornillo negro para madera HD 8x0,5” (caja 100 unidades)	1,20
Total	104,26

4.12.3 Precio total de la máquina desvainadora de cacao

Se toma en referencia los totales de la Tabla 4.26 y la Tabla 4.27 para obtener el precio de construcción de la máquina desvainadora de cacao, en la Tabla 4.28 se da a conocer el total de su valor.

Tabla 4.28 Costo total de la máquina desvainadora de cacao

Costo total de la máquina desvainadora de cacao expresado en dólares (\$)	
Mano de obra y materiales de la estructura y patas en forma de A	90
Materiales y piezas estándar	104,26
Total	194,26

CONCLUSIONES

La investigación permitió identificar las variables mecánicas y geométricas que intervienen en el proceso de desvainado de la mazorca de cacao, entre las que destacan la resistencia de la cáscara, las dimensiones del fruto y la fuerza necesaria para realizar el corte. Estos parámetros constituyeron la base para el dimensionamiento del sistema de corte y el diseño del mecanismo de alimentación de la máquina.

El sistema de corte de la máquina desvainadora fue diseñado mediante herramientas de modelado CAD y análisis estructural por elementos finitos, lo que permitió verificar la resistencia mecánica de los componentes. Los resultados muestran una diferencia del 9,5 % en el factor de seguridad y del 1,29 % en el esfuerzo máximo entre el modelo analítico y la simulación, lo que confirma la validez del diseño estructural propuesto.

La construcción del prototipo permitió validar la viabilidad técnica del diseño, obteniéndose una máquina compacta, portátil y estructuralmente resistente. La estructura fue fabricada con acero A36, mientras que las partes en contacto con el fruto se realizaron en acero inoxidable AISI 304. El sistema de operación automática mediante selector y las luces indicadoras facilitan el uso y mejoran la seguridad durante su funcionamiento. Además, la base estructural proporciona estabilidad al equipo y la caja de derivación protege los componentes eléctricos durante la operación.

La validación experimental del prototipo evidenció una mejora significativa en la productividad del proceso de desvainado. Mientras que el método manual permite procesar aproximadamente 600 mazorcas por hora, la máquina desarrollada alcanza una capacidad de aproximadamente 3600 mazorcas por hora, lo que representa una eficiencia seis veces mayor respecto al método tradicional.

Este resultado demuestra el impacto positivo de la mecanización en la productividad de los pequeños productores de cacao.

El desarrollo del prototipo de máquina desvainadora de cacao demuestra la viabilidad técnica de implementar soluciones mecanizadas de bajo costo orientadas a pequeños productores. La máquina diseñada permite mejorar significativamente la eficiencia del proceso de desvainado, manteniendo la integridad de la semilla y reduciendo el esfuerzo físico requerido en el método manual.

RECOMENDACIONES

Se recomienda incorporar un sistema de alimentación que permita introducir mazorcas de manera continua hacia el sistema de corte. Esta mejora permitiría reducir la intervención del operador y aumentar la capacidad de procesamiento de la máquina.

Se recomienda implementar un sistema de separación entre cáscara y semilla mediante un tambor rotatorio (trómel), lo cual permitiría automatizar el proceso posterior al corte y mejorar la eficiencia del proceso de postcosecha.

Como línea futura de desarrollo, se sugiere reemplazar el sistema actual de empuje por un mecanismo de transporte continuo, como una banda transportadora o sistema de rodillos, que permita alimentar múltiples frutos de manera simultánea hacia el sistema de corte.

Para aplicaciones en unidades productivas de mayor escala, se recomienda sustituir el motor utilizado en el prototipo por un motorreductor diseñado para operación continua industrial, lo que permitiría incrementar la capacidad de procesamiento y mejorar la confiabilidad del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- [A. Lastra, Caracterización del circuito orgánico de la cadena de cacao en el Ecuador, Quito: PASQUEL
1 PRODUCCIONES, 2004.
]
- [W. J. Miguel Estrada, X. G. Romero Castellano y J. A. Moreno Peraza, «Guía Técnica del cultivo de
2 cacao manejado con técnicas agroecológicas,» 2011. [En línea]. Available:
] <https://es.scribd.com/doc/284191914/Estrada-Et-Al-Guia-Tecnica-Cacao>. [Último acceso: 13 05
2025].
- [N. F. Bautista Álvarez, Implementacion de una linea de producción para el despulpado de cacao en la
3 empresa electro clima, Quito: ISTVN, 2021.
]
- [J. A. Parra Tirado y J. A. Calderón Guzmán, Diseño y contrucción de un prototipo de máquina para la
4 obtención de semillas de cacao a partir del despulpado del fruto y la separación de sus componentes,
] Bogotá, 2018.
- [C. D. Torres Guasgua y G. A. Quevedo Salguero, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA
5 CORTADORA Y DESPULPADORA DE CACAO CON UNA CAPACIDAD DE 2400 MAZORCAS POR HORA
] PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL AGRICULTOR,» 2019. [En línea]. Available:
<https://core.ac.uk/download/pdf/234575759.pdf>.
- [C. Caballero Martínez, J. M. Echazarreta Arzac y Á. L. García Aceña, «Lengua castellana y literatura I,»
6 de *Lengua castellana y literatura I*, EDITEX, p. 30.
]
- [L. J. Moreno y J. A. Sánchez, de *Beneficios del cacao*, Honduras, Fundación Hondureña de
7 investigación agrícola, 1989, pp. 7-14.
]
- [P. Romero, Cuchillos de cocina, afilado y mantenimiento, ibukku, LLC, 2021.
8
]
- [J. Rodríguez Montes, J. C. Sánchez Rodríguez, M. J. Renata Maqueda y M. D. M. Cledera Castro,
9 «Teoría de máquinas,» de *Fundamentos y aplicaciones*, Madrid, VISION LIBROS, 2005, p. 6.
]
- [M. E. Martínez Gómez, Dirección, *Cortadora de mazorcas de cacao y desgranadora de semillas de*
1 *cacao*. [Película]. Nicaragua: Agricond, 2018.
0
]

- [Amazon, «Amazon.com,» Motores de escobillas, 1996-2025. [En línea]. Available:
1 <https://www.amazon.com/-/es/KK17-8021A-91498288-limpiaparabrisas-delantero-1-Freightliner/dp/B0F4XL8H4T>. [Último acceso: 20 07 2025].
]
- [Wendy wu tours, «help.wendywutours.com.au,» Electricidad (América del Sur), 2026. [En línea].
1 Available: [https://help.wendywutours.com.au/knowledge/electricity-south-2-america#:~:text=tipos%20de%20enchufe.-,Ecuador,B\)%20con%20dos%20clavijas%20planas..](https://help.wendywutours.com.au/knowledge/electricity-south-2-america#:~:text=tipos%20de%20enchufe.-,Ecuador,B)%20con%20dos%20clavijas%20planas..) [Último
] acceso: 05 03 2026].
- [Kywi, «kywi.com.ec,» Disco de diamante rin continuo, 2023. [En línea]. Available:
1 https://www.kywi.com.ec/disco-diamante-continuo-4-1-2-3-pretul/p?srsId=AfmBOooC91ad5q6vk5EvaYlpeWHblr_6WvlloneC_Um0B1eagwbk4113. [Último
] acceso: 20 07 2025].
- [FERROMAX, «grupoferromax.com,» Acero a su medida. [En línea]. Available:
1 <https://grupoferromax.com/wp-content/uploads/docs/Catalogo-ec-FEB2024.pdf>. [Último acceso: 20
4 07 2025].
]
- [N. Almendros, «iesnestoralmendros.es,» Departamento de tecnología, [En línea]. Available:
1 https://www.iesnestoralmendros.es/departam/tecnologia/1bach_ti1/librodigital/U4%20Elementos%20de%20M%C3%A1quinas/Tema%202/22_bielamanivela.html. [Último acceso: 14 07 2025].
]
- [MecanESO, «iesmarenostrum,» CEJAROSU, 2005. [En línea]. Available:
1 https://www.iesmarenostrum.com/departamentos/tecnologia/mecaneso/mecanica_basica/mecanismos/mec_biela-manivela.htm. [Último acceso: 14 07 2025].
]
- [I. Patsiaouras, «Cómo calcular el par: tu guía completa,» BOTA systems, 10 07 2024. [En línea].
1 Available: <https://www.botasys.com/post/how-to-calculate-torque>. [Último acceso: 27 02 2026].
7
]
- [«StudySmarter,» Ecuaciones complejas para la potencia avanzada en mecánica, 10 06 2024. [En
1 línea]. Available: [https://www.studysmarter.es/resumenes/ingenieria/mecanica-de-solidos/potencia-8-en-
\] mecanica/#:~:text=diversos%20sistemas%20mec%C3%A1nicos.-,La%20f%C3%B3rmula%20fundamental%20de%20la%20potencia%20en%20mec%C3%A1nica,de%20trabajo%20realizado%20por%20segundo..](https://www.studysmarter.es/resumenes/ingenieria/mecanica-de-solidos/potencia-en-8-mecanica/#:~:text=diversos%20sistemas%20mec%C3%A1nicos.-,La%20f%C3%B3rmula%20fundamental%20de%20la%20potencia%20en%20mec%C3%A1nica,de%20trabajo%20realizado%20por%20segundo..) [Último acceso: 28 02 2026].
- [Amazon, «Amazon.com,» Davitu Motor de corriente continua, 19 10 2022. [En línea]. Available:
1 <https://www.amazon.com/-/es/Davitu-Motor-corriente-continua-impermeable/dp/B09FY4B9S5>.
] [Último acceso: 28 02 2026].

9

]

[TOPFERO, «topfero.es,» Patas de mesa en forma de A, 2023. [En línea]. Available:
2 <https://topfero.es/patas-para-mesas-metalicas/patas-de-mesa-en-forma-de->
0 [a.html#:~:text=Estabilidad%20y%20resistencia:%20Las%20patas%20en%20forma,firme%20y%20segura%2C%20incluso%20con%20cargas%20pesadas..](https://topfero.es/patas-para-mesas-metalicas/patas-de-mesa-en-forma-de-a.html#:~:text=Estabilidad%20y%20resistencia:%20Las%20patas%20en%20forma,firme%20y%20segura%2C%20incluso%20con%20cargas%20pesadas..) [Último acceso: 20 07 2025].

[J. M. Gaxiola Angulo, «Curso de capacitación en soldadura,» de *Soldadura al aeoco eléctrico*, México,
2 EDITORIAL LIMUSA, S.A. de C.V., 2004, p. 22.

1

]

[J. W. Giachino y W. Weeks, «Técnica y práctica de la soldadura,» de *Tipos de electrodos para el soldeo*
2 *de aceros ordinarios*, Barcelona, España, Editorial Reverté, S.A., 2023, p. 79.

2

]

[J. Hidalgo Togores, «Enología I,» de *Tratado de enología*, Madrid, Ediciones Mundi-Prensa, 2018, p.
2 673.

3

]

[Amazon, «amazon.com,» Terminal 3 Posiciones Rotary Selector Switch, 2025. [En línea]. Available:
2 [https://www.amazon.com/-/es/ZB2-BE101-Terminal-Posiciones-Selector-XB2-BJ33/dp/B083VSL82.](https://www.amazon.com/-/es/ZB2-BE101-Terminal-Posiciones-Selector-XB2-BJ33/dp/B083VSL82)
4 [Último acceso: 2025 07 30].

]

[I. Eléctricos, «ingecomsas.com,» Selector de Muletilla 22mm | 2 Posiciones – CHINT, 2025. [En línea].
2 Available: [https://ingecomsas.com/producto/selector-de-muletilla-22mm-2-posiciones-chint/.](https://ingecomsas.com/producto/selector-de-muletilla-22mm-2-posiciones-chint/)
5 [Último acceso: 30 07 2025].

]

[S. Electric, «www.se.com,» Caja Dexson Derivación Gris 10105, 2025. [En línea]. Available:
2 [https://www.se.com/co/es/product/DXN500DG/caja-dexson-derivaci%C3%B3n-gris-10105/.](https://www.se.com/co/es/product/DXN500DG/caja-dexson-derivaci%C3%B3n-gris-10105/) [Último
6 acceso: 20 07 2025].

]

[J. Roldán Viloria, «Instalaciones solares fotovoltaicas,» de *Aparamenta y dispositivos de protección*
2 *para instalaciones fotovoltaicas*, Madrid, España, Ediciones Paraninfo, SA., 2010, p. 63.

7

]

[Megatrónica, «megatronica.cc,» Robótica Electrónica Computación Ingeniería, 2025. [En línea].
2 Available: [https://megatronica.cc/producto/indicador-de-luz-piloto-120v-12mm-verde-rojo-naranja/.](https://megatronica.cc/producto/indicador-de-luz-piloto-120v-12mm-verde-rojo-naranja/)
[Último acceso: 22 07 2025].

8

]

[E. CECOMIN, «electrocecomin.com,» Fuente de alimentacion metalica de 12v, 2025. [En línea].

2 Available: [https://www.electrocecomin.com/products/fuente-de-voltaje-metalica-tipo-switching-12-](https://www.electrocecomin.com/products/fuente-de-voltaje-metalica-tipo-switching-12-9-voltios-20-amperios)

9
]

[I. Eléctricos, «ingecom.com/,» INGECOM ELÉCTRICOS INGENIERÍA DE CONTROL MODERNO, 2025.

3 [En línea]. Available: <https://ingecom.com/wp-content/uploads/2022/03/Cable-multi-12-final.jpg>.

0 [Último acceso: 20 07 2025].
]

[Novatronic, «novatronic.com,» Conector Alimentación Hembra AC-04 Para Cable De Poder C13,

3 2020. [En línea]. Available: [https://novatronic.com/index.php/product/conector-alimentacion-](https://novatronic.com/index.php/product/conector-alimentacion-1-hembra-ac-04-para-cable-de-poder-c13/)

1
]

[G. Cusneros Martín, «UF1964: Conexionado de componentes en equipos eléctricos y electrónicos,»

3 de *Conexionado de componentes en equipos eléctricos y electrónicos*, España, EDITORIAL ELEARNING

2 S.L., 2015, p. 374.
]

[Ecuacomp, «ecuacomp.com,» CABLE DE PODER PARA PDU C13 A C14 15A 250V 1.8mts., 2021. [En

3 línea]. Available: [https://ecuacomp.com/producto/cable-de-poder-para-pdu-c13-a-c14-15a-250v-1-](https://ecuacomp.com/producto/cable-de-poder-para-pdu-c13-a-c14-15a-250v-1-3-8mts/)

3
]

[A. Álvarez Perez, «Enciclopedia Intuitiva, Sintetica, Práctica,» de *Un problema de regla de tres*,

3 Madrid, España, Editorial EDAF, S.L., 2009, p. 242.

4

]

[Smartick, «www.smartick.es,» Regla de 3 simple, directa e inversa, 2025. [En línea]. Available:

3 <https://www.smartick.es/blog/maticas/algebra/regla-de-3-simple/>. [Último acceso: 31 07

5
]

[D. W. Smith, B. G. Sims y D. H. O'Neil, «Principios y prácticas de prueba y evaluación de máquinas y

3 equipos agrícolas,» de *Rendimiento económico de la máquina*, Roma, FAO FIAT PANIS, 1994, p. 82.

6

]

[V. H. Sánchez, J. L. Zambrano y C. Iglesias, «La cadena de valor del cacao en america latina y el

3 caribe,» 2019. [En línea]. Available:

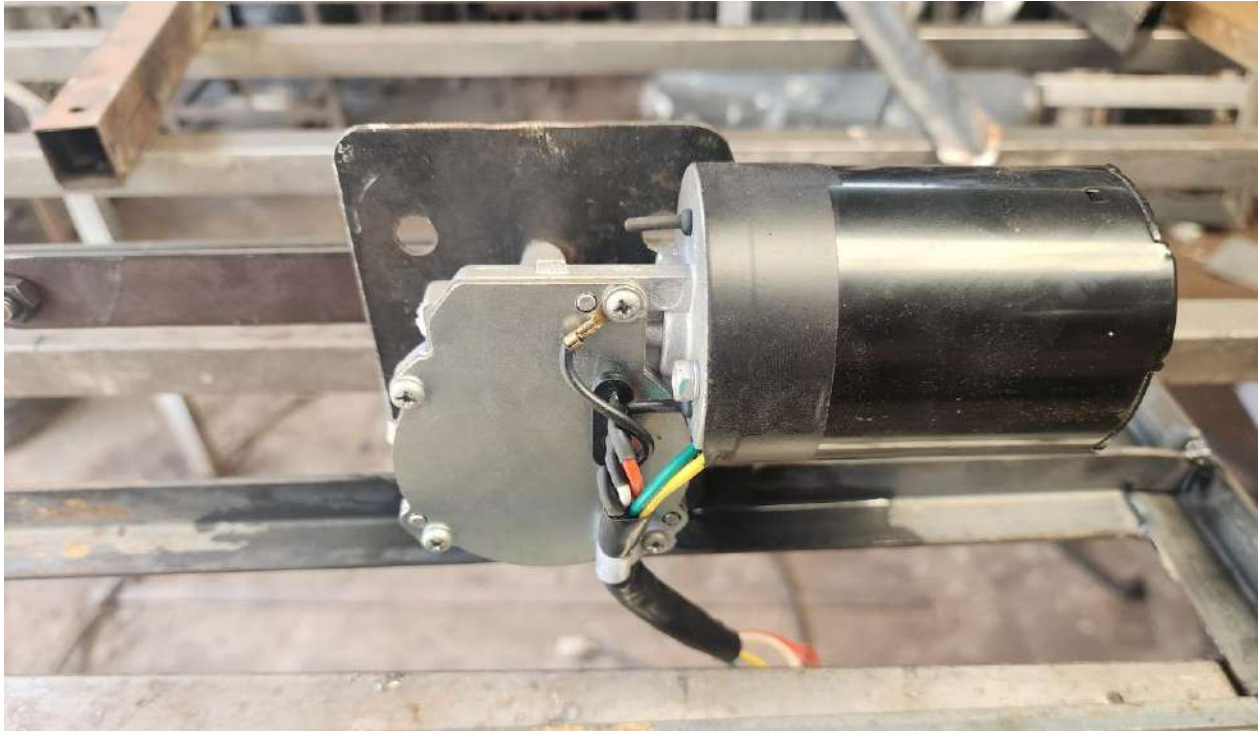
- 7 <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5382/1/Informe%20CACAO.pdf>. [Último acceso:
] 13/05/2025 13/05/2025 13/05/2025].
- [M. d. a. y. G. «sipa.agricultura.gob.ec,» Ministerio de Agricultura y Ganadería-MAG, 2024. [En línea].
3 Available: <https://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/rendimientos-de-cacao-2024-cp>. [Último acceso:
8 13 05 2025].
]
- [G. A. Enríquez, «Instituto interamericano de cooperación para la agricultura,» de *Cómo mantener la
3 calidad y el aroma en el mercado del cacao fino*, Costa Rica, IICA, 1998, pp. 14-15.
9
]
- [Anónimo, «Calidad de los alimentos vinculada al origen y las tradiciones en america latina,» de
4 *Estudios del cacao*, Descanocido, IICA, Desconocido, p. 105.
0
]
- [Depositphotos, «depositphotos.com,» [En línea]. Available:
4 <https://depositphotos.com/es/photos/mazorca-de-cacao.html?offset=100>. [Último acceso: 12 07
1 2025].
]
- [B. M. Weedy, «Sistemas eléctricos de gran potencia,» de *Sistemas de energía eléctrica*, España,
4 EDITORIAL REVERTÉ, S. A., 1982, p. 104.
2
]
- [ScienceDirect, «www.sciencedirect.com,» Radio de corte en el área temática: Ingeniería, 2025. [En
4 línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/cutter-radius#:~:text=La%20precisi%C3%B3n%20de%20este%20m%C3%A9todo,CAM%20inteligentes%20existentes%20%5B%2072%20%5D.&text=Figura%2014%20.,geometr%C3%ADa%20del%20chip%20%5B%2042%20%5D..> [Último acceso: 02 08 2025].
- [Amazon EEUU, «www.amazon.com,» Herramientas y mejoras del hogar, motores eléctricos, 1996-
4 2025. [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/Davitu-Motor-corriente-continua-impermeable/dp/B09FY4B9S5>. [Último acceso: 21 07 2025].
]
- [V. Krishna, P. Jain y A. Pracash, «Fórmula de par y velocidad,» Vedantu, 2011. [En línea]. Available:
4 <https://www.vedantu.com/physics/relation-between-torque-and-speed>. [Último acceso: 27 02
5 2026].
]
- [Alibaba, «alibaba.com,» Máquina Peladora de Vainas de Cacao Industrial, Máquina de Clasificación
4 de Cáscara de Granos de Cacao Frescos a Precio Bajo, 1999-2026. [En línea]. Available:

6 <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Industrial-Cacao-Pods-Peeling-Machine-fresh-1601206324001.html>. [Último acceso: 28 02 2026].

ANEXOS

ANEXO 1: Construcción

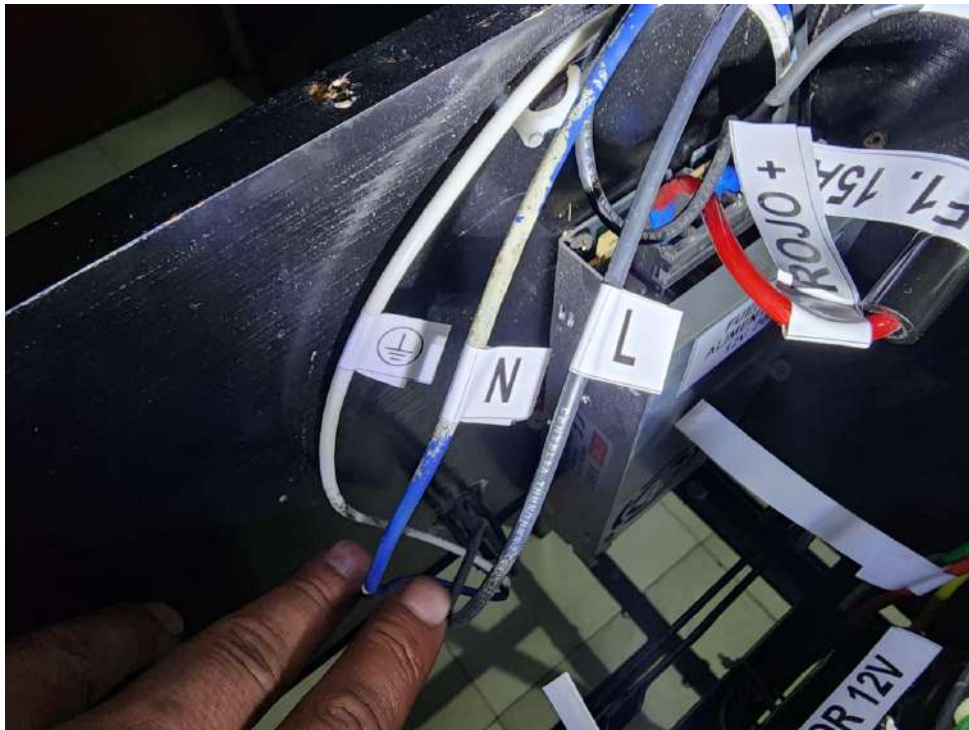


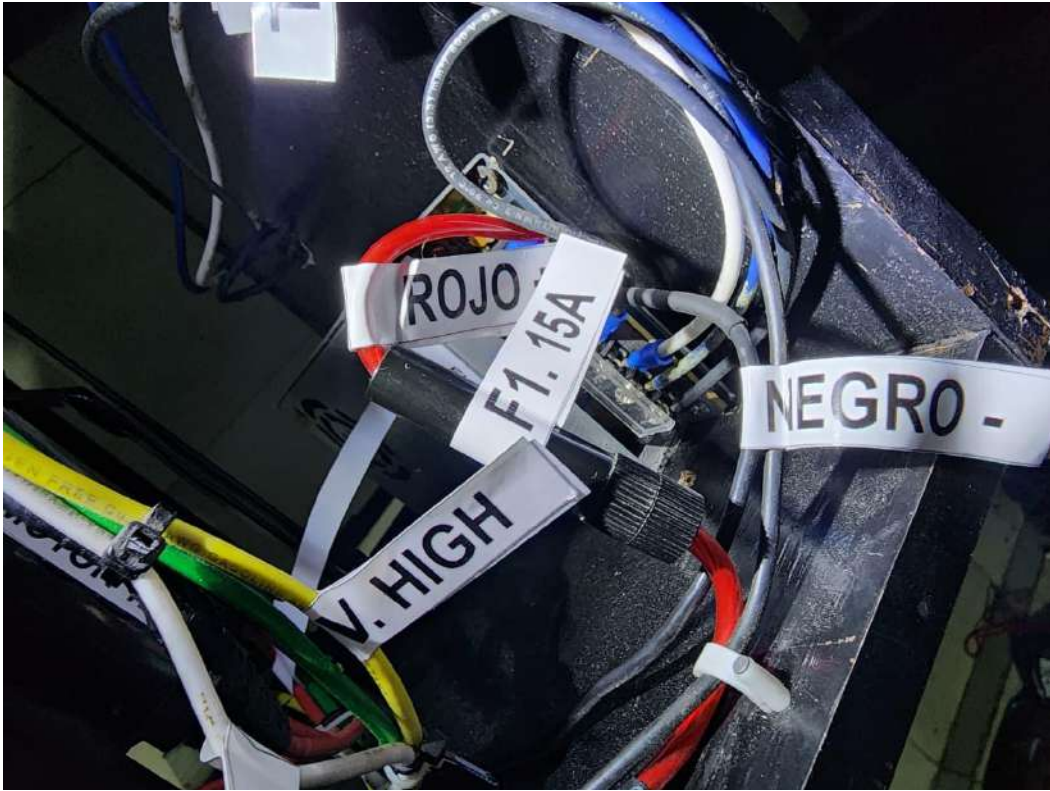












ANEXO 2: Planos mecánicos

ANEXO 3: Planos eléctricos

ANEXO 4: Hojas de proceso soldadura