



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECÁNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA CORTE  
Y RECOLECCIÓN DE SU PRODUCTO DEL COCO DE AGUA**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO ELECTROMECÁNICO**

**AUTOR:**

Luis Alcides Quinatoa Taco

**TUTOR:**

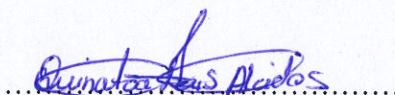
Ing. Cristian Fabian Gallardo Molina

**LATACUNGA, AGOSTO 2026**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Luis Alcides Quinatoa Taco declaro ser autor del proyecto de titulación **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA CORTE Y RECOLECCIÓN DE SU PRODUCTO DEL COCO DE AGUA”**, siendo el Ing. Cristian Fabian Gallardo Molina tutor del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.

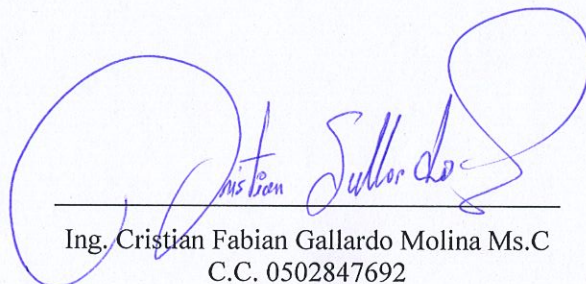


Luis Alcides Quinatoa Taco  
C.C: 0503778607

Latacunga, agosto 2026

### **AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA CORTE Y RECOLECCIÓN DE SU PRODUCTO DEL COCO DE AGUA”**, propuesto por el estudiante Luis Alcides Quinatoa Taco de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.



---

Ing. Cristian Fabian Gallardo Molina Ms.C  
C.C. 0502847692  
TUTOR

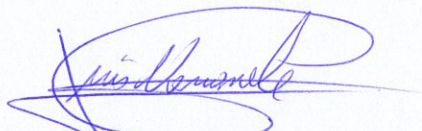
Latacunga, agosto 2026

### AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Propuesta Tecnológica con el Título **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA CORTE Y RECOLECCIÓN DE SU PRODUCTO DEL COCO DE AGUA”**, propuesto por el estudiante Luis Alcides Quinatoa Taco de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, nos permitimos indicar que el estudiante ha concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, por lo cual presentamos el Aval de Aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad de Propuesta Tecnológica en virtud de lo cual el postulante puede presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que ponemos en conocimiento para los fines legales pertinentes.

Atentamente,



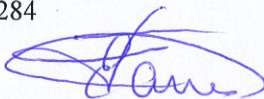
LECTOR 1 (PRESIDENTE)

ING. Navarrete López Luis Miguel Ms.C  
CC: 1803747284



LECTOR 2

ING. Cevallos Betún Segundo Ángel Ms.C  
CC:0501782437



LECTOR 3

ING. Tamayo Torres Enrique Ms.C  
C.C: 0502347768

## ***AGRADECIMIENTO***

*Agradezco profundamente a DIOS, por haber sido mi pilar fundamental durante todo este proceso. Su apoyo incondicional, esfuerzo y confianza han sido el motor que me ha impulsado a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.*

*Extiendo un especial agradecimiento al Ing.Cristian Fabian Gallardo Molina tutor de este trabajo de titulación, por su guía, compromiso y valiosas observaciones que permitieron el correcto desarrollo de este proyecto.*

*A la Universidad Técnica de Cotopaxi, mi alma máter, por brindarme una formación integral, tanto académica como humanística, que me ha permitido crecer como profesional y como ser humano.*

*Finalmente, a mis amigos y compañeros de camino, quienes me ofrecieron su apoyo constante, palabras de ánimo y colaboración durante las distintas etapas de mi carrera y en la ejecución de este trabajo de titulación.*

***Luis Quinatoa***

### ***DEDICATORIA***

*Dedico este trabajo a mi persona por no rendirme, sacrificio y constante apoyo. Su ejemplo de esfuerzo y perseverancia ha sido la inspiración que me ha guiado a lo largo de mi formación.*

*A mis amigos y seres queridos, por estar presentes en cada paso del camino, brindándome palabras de aliento y acompañándome con paciencia y comprensión.*

*Y a mí mismo, por no rendirme, por creer en este proyecto y por haber recorrido este camino con determinación y compromiso.*

***Luis Quinatoa***

## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

### FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**TÍTULO:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA CORTE Y RECOLECCIÓN DE SU PRODUCTO DEL COCO DE AGUA”

**Autor:**

Luis Alcides Quinatoa Taco

### RESUMEN

El presente trabajo de investigación aborda el diseño y construcción de una máquina para el corte y recolección del agua de coco, con el propósito de optimizar el proceso de extracción de la bebida, reducir los tiempos de operación y mitigar los riesgos ergonómicos derivados del procesamiento manual. La metodología aplicada se fundamentó en el modelo en cascada (*Waterfall*), estructurada secuencialmente en cinco fases: análisis, diseño, implementación, pruebas y ajustes. Durante la fase de análisis se caracterizaron las propiedades físicas y geométricas de los frutos, determinando una fuerza de corte requerida de 1500 N. En la etapa de diseño se dimensionó un mecanismo biela-balancín accionado por un motor eléctrico de 2 HP 1.26 kW, utilizando acero A36 para la estructura soporte y acero inoxidable AISI 304 para las superficies de contacto con el insumo alimentario, garantizando condiciones de inocuidad. Las pruebas funcionales realizadas sobre 50 muestras validaron la estabilidad cinemática del sistema, confirmando la obtención de cortes limpios, un consumo eléctrico eficiente y una recolección efectiva del líquido. Finalmente, la evaluación económica demostró la viabilidad financiera del prototipo, concluyendo que la automatización de este proceso incrementa significativamente la productividad y la seguridad en el sector agroindustrial.

**Palabras clave:** Coco de agua, mecanismo biela-balancín, corte y recolección, metodología en cascada, automatización agroindustrial, diseño electromecánico.

# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**THEME:** “DESIGN AND CONSTRUCTION OF A MACHINE FOR CUTTING AND HARVESTING WATER COCONUTS”

**Author:**

Luis Alcides Quinatoa Taco

### **ABSTRACT**

This research project addresses the design and construction of a machine for cutting open and collecting coconut water, with the aim of optimizing the beverage extraction process, reducing operating times, and mitigating the ergonomic risks associated with manual processing. The methodology applied was based on the Waterfall model, structured sequentially into five phases: analysis, design, implementation, testing, and adjustments. During the analysis phase, the physical and geometric properties of the coconuts were characterized, determining a required cutting force of 1,500 N. In the design stage, a connecting rod-rocker arm mechanism was dimensioned and powered by a 2 HP (1.26 kW) electric motor, using A36 steel for the support structure and AISI 304 stainless steel for the surfaces in contact with the food product, thereby ensuring food safety. Functional tests conducted on 50 samples validated the system's kinematic stability, confirming clean cuts, efficient power consumption, and effective liquid collection. Finally, the economic evaluation demonstrated the prototype's financial viability, concluding that automating this process significantly increases productivity and safety in the agro-industrial sector.

**KEYWORDS:** Water coconut, connecting rod-rocker arm mechanism, cutting and harvesting, cascade methodology, agroindustrial automation, electromechanical design.

# AVAL DE TRADUCCIÓN - PROFESIONAL

## EXTERNO

Yo Mena Barthelotty Alison Paulina, con cédula de identidad número: 0501801252, Licenciada en Ciencias de la Educación Especialización Inglés con número de registro de la SENESCYT No. **1020-06-657642**; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA CORTE Y RECOLECCIÓN DE SU PRODUCTO DEL COCO DE AGUA”** de: **Quinatoa Taco Luís Alcides**, de la carrera de **INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA** perteneciente a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

En virtud de lo expuesto y para constancia de lo mismo se registra la firma respectiva.

Latacunga, 19 de agosto del 2026



Alison Paulina Mena Barthelotty

C.I: 0501801252

Email: alisonmena914@gmail.com

Contacto: 0992662355

## CERTIFICACIÓN DE INFORME DE SIMILITUD

En mi calidad de Tutor del Proyecto de titulación con el tema “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA CORTE Y RECOLECCIÓN DE SU PRODUCTO DEL COCO DE AGUA**” de **Quinatoa Taco Luis Alcides**, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, remito la captura de pantalla del reporte del sistema de reconocimiento de texto **Turnitin**, con un porcentaje de coincidencias del 7%; y expreso, una vez más, mi conformidad en cuanto a la dirección del trabajo de titulación.

### Luis Quinatoa TESIS

Quick Submit  
Quick Submit  
Universidad Técnica De Cotopaxi

#### Detalles del documento

Identificador de la entrega  
trn:old::1:3629918320

Fecha de entrega  
19 ago 2026, 10:15 a.m. GMT-5

Fecha de descarga  
19 ago 2026, 10:23 a.m. GMT-5

Nombre del archivo  
TESIS\_QUINATOA\_LUIS.pdf

Tamaño del archivo  
2.7 MB

94 páginas  
22.055 palabras  
113.167 caracteres



Página 2 de 102 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:old::1:3629918320

### 7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

#### Fuentes principales

6% Fuentes de Internet  
1% Publicaciones  
2% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

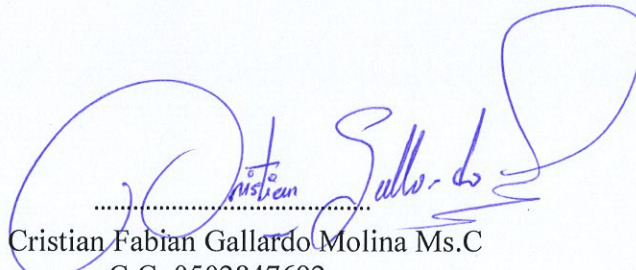
#### Marcas de integridad

##### N.º de alertas de Integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

  
Ing. Cristian Fabian Gallardo Molina Ms.C  
C.C: 0502847692  
TUTOR

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                                   |      |
|-------------------------------------------------------------------|------|
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....                                      | ii   |
| AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....                | iii  |
| AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES .....                              | iv   |
| <i>AGRADECIMIENTO</i> .....                                       | v    |
| <i>DEDICATORIA</i> .....                                          | vi   |
| RESUMEN .....                                                     | vii  |
| ABSTRACT .....                                                    | viii |
| 1. INFORMACIÓN GENERAL .....                                      | 1    |
| 2. INTRODUCCIÓN .....                                             | 2    |
| 2.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA .....                                 | 2    |
| 2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....                               | 3    |
| 2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN .....                               | 4    |
| 2.3.1. Objeto de investigación .....                              | 4    |
| 2.4. BENEFICIARIOS .....                                          | 4    |
| 2.4.1. Beneficiarios directos .....                               | 4    |
| 2.4.2. Beneficios indirectos .....                                | 4    |
| 2.5. JUSTIFICACIÓN .....                                          | 4    |
| 2.6. OBJETIVOS .....                                              | 5    |
| 2.6.1. Objetivo general .....                                     | 5    |
| 2.6.2. Objetivos específicos .....                                | 5    |
| 2.7. SISTEMA DE TAREAS .....                                      | 6    |
| 3. Fundamentación teórica .....                                   | 1    |
| 3.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....                       | 1    |
| 3.2. MARCO REFERENCIAL .....                                      | 2    |
| 3.2.1. Máquina de corte y recolección .....                       | 2    |
| 3.2.2. Mecanizado en la producción .....                          | 3    |
| 3.2.3. Impacto en la Productividad de las Pequeñas Empresas ..... | 4    |
| 3.2.5. Procesamiento del Coco de Agua .....                       | 5    |

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.5.2. Métodos Tradicionales de Extracción: Riesgos del Uso de Herramientas Manuales ... | 6  |
| 3.3. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL PROCESO DE CORTE DEL COCO DE AGUA.....                        | 6  |
| 3.4. COMPONENTES DE SISTEMA DE MÁQUINAS.....                                               | 10 |
| 3.4.1. Motores Eléctricos Monofásicos .....                                                | 11 |
| 3.4.2. Criterios de Selección: Torque, Potencia y Velocidad.....                           | 12 |
| 3.4.2.1. Sistemas de Transmisión de Fuerza .....                                           | 12 |
| 3.4.3. Caja reductora.....                                                                 | 12 |
| 3.5. MECANISMO DE CORTE .....                                                              | 13 |
| 3.6. ELEMENTOS MECÁNICOS ESTRUCTURALES Y DE CORTE.....                                     | 13 |
| 3.6.1. Tipos de Acero Empleados en Maquinaria Agroindustrial.....                          | 13 |
| 3.7. PROCESOS DE SOLDADURA APLICADOS A LA CONSTRUCCIÓN .....                               | 14 |
| 3.7.1. Soldadura MIG (GMAW) para Acero A36.....                                            | 14 |
| 3.8. SISTEMAS DE CONTROL .....                                                             | 17 |
| 3.8.1. Circuitos de Control de Mando Eléctrico .....                                       | 18 |
| 3.9. ELEMENTOS ELÉCTRICOS .....                                                            | 18 |
| 3.10. . SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL .....                                     | 20 |
| 3.10.1. Normativa de Seguridad en Máquinas .....                                           | 21 |
| 3.10.1. Decreto Ejecutivo 255 .....                                                        | 21 |
| 3.10.2. Análisis de Riesgos Mecánicos .....                                                | 22 |
| 3.10.3. Fatiga Laboral y Movimientos Repetitivos .....                                     | 22 |
| 3.11. HIGIENE Y MATERIALES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.....                                | 23 |
| 3.11.1. Mantenimiento y Limpieza: Diseño Sanitario.....                                    | 24 |
| 4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS .....                                                          | 24 |
| 4.1. METODOLOGÍA WATERFALL (CASCADA) .....                                                 | 24 |
| 4.2. ETAPA DE ANÁLISIS.....                                                                | 24 |
| 4.3. SELECCIÓN DE MATERIALES .....                                                         | 27 |
| 4.4. ETAPA DE DISEÑO .....                                                                 | 28 |
| 4.4.1. Diseño del Mecanismo Biela-Balancín .....                                           | 29 |
| 4.4.2. Dimensionamiento de Ejes y Pasadores .....                                          | 33 |
| 4.4.3 Dimensionamiento de poleas.....                                                      | 36 |
| 4.4.4. Cálculo de RPM DE ENTRADA A LA CAJA REDUCTORA.....                                  | 37 |
| 4.5. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL CON LÓGICA CABLEADA.....                                | 39 |

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.5.1. Entradas del Sistema.....                                           | 40 |
| 4.5.2. Arquitectura Lógica: Biestable con Lógica Cableada .....            | 41 |
| 4.6. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES SELECCIONADOS .....                        | 42 |
| 4.6.1. Motor Eléctrico WEG 2 HP.....                                       | 42 |
| 4.6.2. Caja Reductora de Tornillo Sin Fin 30:1 .....                       | 42 |
| 4.6.3. Interruptor Termomagnético Bipolar (Breaker) 40 A — Curva D .....   | 42 |
| 4.6.4. Contactor 40 A — Categoría AC-3.....                                | 43 |
| 4.6.5. Pulsador de Marcha (Contacto NA) .....                              | 43 |
| 4.6.6. Paro de Emergencia (Contacto NC) .....                              | 43 |
| 4.6.7. Final de Carrera (Limit Switch).....                                | 43 |
| 4.7. ETAPA DE IMPLEMENTACIÓN .....                                         | 44 |
| 4.7.1. Fabricación de estructura.....                                      | 44 |
| 4.8. ETAPA DE PRUEBAS .....                                                | 47 |
| 4.9. ETAPA DE AJUSTES.....                                                 | 48 |
| 5. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....                             | 48 |
| 5.1. PRUEBAS MECÁNICAS Y VALIDACIÓN CINEMÁTICA .....                       | 49 |
| 5.1.1. Caracterización del Objeto de Trabajo .....                         | 49 |
| 5.1.2. Validación del Rango de Movimiento Angular .....                    | 52 |
| 5.2. VERIFICACIÓN DE VELOCIDAD Y SINCRONISMO .....                         | 56 |
| 5.3. ESTABILIDAD ESTRUCTURAL Y PRUEBA DE FATIGA .....                      | 57 |
| 5.4. PRUEBAS ELÉCTRICAS Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL .....          | 63 |
| 5.5. EVALUACIÓN DE LA CAÍDA DE TENSIÓN.....                                | 66 |
| 5.6. VALIDACIÓN DE LA LÓGICA DE CONTROL CABLEADA .....                     | 66 |
| 5.7. PRUEBAS DE CORTE Y VALIDACIÓN FUNCIONAL EN CAMPO .....                | 67 |
| 5.8. DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE CORTE POR TIPOLOGÍA DE FRUTO .....           | 73 |
| 5.9. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL CORTE.....                               | 74 |
| 5.9.1. Análisis de Eficiencia y Desperdicio del Producto Recolectado:..... | 76 |
| 5.10. RESPUESTA A LA PROBLEMÁTICA PLANTEADA.....                           | 77 |
| 5.11. LIMITACIONES IDENTIFICADAS Y RECOMENDACIONES DE MEJORA .....         | 78 |
| 5.12. LISTADO DE MATERIALES .....                                          | 79 |
| 5.13. LISTADO DE COSTOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO .....                         | 80 |
| 5.13.1. Costo de mano de obra .....                                        | 81 |

|         |                                                                 |            |
|---------|-----------------------------------------------------------------|------------|
| 5.13.2. | Costo Total del Prototipo .....                                 | 82         |
| 5.14.   | ANÁLISIS ECONÓMICO AMPLIADO: CONSUMO ELÉCTRICO, VAN Y TIR ..... | 82         |
| 5.14.1. | Consumo Eléctrico de la Máquina.....                            | 83         |
| 5.15    | COMPARATIVA DE COSTO OPERATIVO POR HORA .....                   | 85         |
|         | Proceso Mecanizado .....                                        | 86         |
| 5.15.1. | Proceso Manual .....                                            | 86         |
| 5.16.   | VALOR ACTUAL NETO (VAN) Y TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).....    | 87         |
| 5.16.1. | Flujo de Caja Mensual del Proyecto.....                         | 87         |
| 5.16.1. | Cálculo del VAN.....                                            | 88         |
| 5.16.2. | Cálculo de la TIR.....                                          | 88         |
| 6.      | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....                            | 89         |
| 6.1.    | CONCLUSIONES.....                                               | 89         |
| 6.2.    | RECOMENDACIONES .....                                           | 89         |
|         | Referencias .....                                               | 90         |
| 7.      | ANEXOS .....                                                    | 93         |
|         | ANEXOS A .....                                                  | 93         |
|         | Explosión.....                                                  | 93         |
|         | 1/9 .....                                                       | 93         |
|         | <b>MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO DE .....</b>                   | <b>102</b> |
|         | <b>MÁQUINA DE CORTE Y RECOLECCIÓN DE AGUA DE COCO .....</b>     | <b>102</b> |
|         | <b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>                                    | <b>102</b> |
|         | <b>2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DETALLADAS .....</b>            | <b>102</b> |
|         | <b>2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA .....</b>                  | <b>102</b> |
|         | <b>2.2 Sistema Eléctrico y Mecánico .....</b>                   | <b>102</b> |
|         | <b>3. NORMAS GENERALES DE SEGURIDAD .....</b>                   | <b>103</b> |
|         | 3.1 Equipo de Protección Personal (EPP) .....                   | 103        |
|         | 3.2 Reglas de Operación.....                                    | 103        |
|         | <b>4. INSTRUCCIONES COMPLETAS DE USO Y OPERACIÓN .....</b>      | <b>103</b> |
|         | 4.1 Preparación Previa al Inicio.....                           | 103        |
|         | 4.2 Procedimiento Paso a Paso .....                             | 103        |

|                                                          |            |
|----------------------------------------------------------|------------|
| <b>5. MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....</b>                 | <b>104</b> |
| 5.1 Mantenimiento Diario (Después de cada uso).....      | 104        |
| 5.2 Mantenimiento Semanal .....                          | 104        |
| 5.3 Mantenimiento Mensual .....                          | 104        |
| 5.4 Mantenimiento Semestral .....                        | 104        |
| <b>6. MANTENIMIENTO CORRECTIVO .....</b>                 | <b>105</b> |
| <b>7. LISTA DE REPUESTOS RECOMENDADOS .....</b>          | <b>106</b> |
| <b>8. CONSIDERACIONES SANITARIAS Y AMBIENTALES .....</b> | <b>106</b> |

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Machete herramienta primitiva .....                      | 7  |
| Figura 2: Corte del coco de forma tradicional .....                | 8  |
| Figura 3: Guillotina manual para el pelado de cocos .....          | 8  |
| Figura 4: Prensadora de coco.....                                  | 9  |
| Figura 5: Diseño mecánico .....                                    | 29 |
| Figura 6: Mecanismo biela-balancín .....                           | 32 |
| Figura 7: Pieza 1 del mecanismo biela-balancín .....               | 32 |
| Figura 8: Biela y cuchilla.....                                    | 33 |
| Figura 9: Balancín .....                                           | 33 |
| Figura 10: Esqueleto.....                                          | 35 |
| Figura 11: Tapa superior .....                                     | 35 |
| Figura 12: Base de motor y caja reductora .....                    | 36 |
| Figura 13: Ensamblaje de mecanismo de corte .....                  | 36 |
| Figura 14: Poleas A y B .....                                      | 37 |
| Figura 15: Placa de motor 2HP.....                                 | 38 |
| Figura 16:Rango máximo de operación .....                          | 52 |
| Figura 17: Rango mínimo de operación .....                         | 53 |
| Figura 18: rango de Ángulo de choque mínimo .....                  | 53 |
| Figura 19: Rango de Ángulo de choque máximo .....                  | 54 |
| Figura 20: gráfica de oscilación entre los ángulos Max y Min ..... | 56 |
| Figura 21: Estructura de estudio .....                             | 58 |
| Figura 22:Configuración de estudio .....                           | 59 |

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 23: Materiales de estudio .....                        | 59  |
| Figura 24: Contactos.....                                     | 60  |
| Figura 25: Casos de carga.....                                | 61  |
| Figura 26: Resultados de casos de carga .....                 | 62  |
| Figura 27:Desplazamiento total.....                           | 63  |
| Figura 28: Corriente de operación de corte .....              | 65  |
| Figura 29: Medición de corriente de operación de choque ..... | 65  |
| Figura 30: Arranque del motor .....                           | 84  |
| Figura 31: Consumo durante el ciclo de corte.....             | 84  |
| Figura 0-1 Explosión .....                                    | 93  |
| Figura 0-2 Esqueleto.....                                     | 94  |
| Figura 0-3 Base motor y caja.....                             | 94  |
| Figura 0-4 unión eje y biela 1 .....                          | 95  |
| Figura 0-5 Biela dos y cuchilla.....                          | 95  |
| Figura 0-6 Biela 3 .....                                      | 96  |
| Figura 0-7 Tapa y bandeja .....                               | 96  |
| Figura 0-8 Base unida al motor y caja reductora.....          | 97  |
| Figura 0-9 Estructura soldada.....                            | 97  |
| Figura 0-10 Montaje de la estructura con el motor .....       | 97  |
| Figura 0-11 caja eléctrica.....                               | 98  |
| Figura 0-12 estructura de bandeja .....                       | 98  |
| Figura 0-13 recubrimiento de la maquina.....                  | 98  |
| Figura 0-14 Ángulo mínimo de corte .....                      | 99  |
| Figura 0-15 Ángulo máximo de corte.....                       | 99  |
| Figura 0-16 Ángulo de choque .....                            | 99  |
| Figura 0-17 colocación del coco.....                          | 100 |
| Figura 0-18 corte del coco .....                              | 100 |
| Figura 0-19 coco partido.....                                 | 100 |
| Figura 0-20 Maquina terminada .....                           | 101 |

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1: Modalidad de titulación .....                                                              | 1  |
| Tabla 2: Cuadro del sistema de tareas .....                                                         | 6  |
| Tabla 3: Evolución histórica de los métodos de corte del coco de agua .....                         | 9  |
| Tabla 4: Componentes mecánicos estructurales y de corte del prototipo. ....                         | 15 |
| Tabla 5: Resumen de componentes del sistema electromecánico .....                                   | 18 |
| Tabla 6: Requisitos Funcionales (RF) .....                                                          | 25 |
| Tabla 7: Requisitos No Funcionales (RNF).....                                                       | 25 |
| Tabla 8: Análisis de materiales .....                                                               | 28 |
| Tabla 9: Resumen de dimensiones del mecanismo biela-balancín.....                                   | 30 |
| Tabla 10: Componentes del sistema eléctrico de potencia seleccionados .....                         | 39 |
| Tabla 11: Diagrama eléctrico .....                                                                  | 39 |
| Tabla 12: Ángulos de operación de la cuchilla medidos .....                                         | 40 |
| Tabla 13: Tabla de verdad del sistema de control lógico cableado.....                               | 41 |
| Tabla 14: Resumen de componentes seleccionados para el prototipo .....                              | 44 |
| Tabla 15: Diseño de la estructura .....                                                             | 45 |
| Tabla 16: características de los cocos .....                                                        | 49 |
| Tabla 17: Parámetros promediados del coco de agua.....                                              | 50 |
| Tabla 18: Parámetros de Valor Más Bajo .....                                                        | 50 |
| Tabla 19: Parámetros de Valor Más Alto .....                                                        | 51 |
| Tabla 20: Ángulos registrados .....                                                                 | 54 |
| Tabla 21: Ángulos totales de Max y min. ....                                                        | 55 |
| Tabla 22: Análisis de velocidad operacional: valores teóricos vs. medidos. ....                     | 56 |
| Tabla 23: Resultados de inspección estructural tras 50 ciclos consecutivos. ....                    | 57 |
| Tabla 24: Registro de corriente en diferentes estados de operación del motor WEG 2 HP / 110 V ..... | 64 |
| Tabla 25: Análisis de estabilidad de tensión durante operación a plena carga. ....                  | 66 |
| Tabla 26: Resultados de la validación del sistema de control lógico cableado. ....                  | 66 |
| Tabla 27: Mediciones del método manual. ....                                                        | 67 |
| Tabla 29: Método Mecanizado P.U - Persona 1 .....                                                   | 69 |
| Tabla 31: Desempeño del sistema de corte por tipología de fruto (n = 50 unidades). ....             | 73 |
| Tabla 32: Secuencia de corte .....                                                                  | 74 |
| Tabla 33: Evaluación cualitativa de la calidad del proceso de corte .....                           | 75 |

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 34: Medición cuantitativa del producto recolectado y eficiencia de extracción..... | 75 |
| Tabla 36: Comparativa de productividad: proceso manual vs. Prototipo mecanizado.....     | 77 |
| Tabla 37: Listado de materiales .....                                                    | 79 |
| Tabla 38: Costos de materiales mecánicos .....                                           | 80 |
| Tabla 39: Costos de materiales eléctricos.....                                           | 80 |
| Tabla 40: Costos de materiales eléctricos del prototipo .....                            | 81 |
| Tabla 41: Resumen del costo total del prototipo. ....                                    | 82 |
| Tabla 42: Desglose del consumo energético por tramo del ciclo de corte.....              | 83 |
| Tabla 43: Consumo eléctrico y costo proyectado por período de operación.....             | 85 |
| Tabla 44: Comparativa de costo operativo e ingreso por hora: manual vs. mecanizado.....  | 86 |
| Tabla 45: Resumen del análisis financiero VAN y TIR a 12 meses. ....                     | 88 |

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

### Tema del proyecto:

Diseño y construcción de una máquina para corte y recolección de su producto del coco de agua.

Tabla 1: Modalidad de titulación

| Modalidad de titulación | Homologación para informe final de titulación | Selección |
|-------------------------|-----------------------------------------------|-----------|
| Propuesta tecnológica   | Informe de propuesta tecnológica              | X         |

*Responsable: El autor*

### Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto:

"Repotenciación e innovación tecnológica y/o equipos electromecánicos a través de la optimización integral del mantenimiento (OIM) en la provincia de Cotopaxi"

### Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

- |                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| • Luis Alcides Quinatoa Taco.     | Estudiante |
| • Cristian Fabian Gallardo Molina | Tutor      |

### Área de Conocimiento:

07: Ingeniería, Industria y Construcción /071: Ingeniería y Profesiones Afines; 0714: Electrónica y automatización.

### Línea de investigación:

Desarrollo de las ciencias de la ingeniería, energías alternativas, renovables, micro eléctrica y TICS/ Gestión de la calidad y seguridad laboral.

### Sublínea de investigación de la Carrera:

Diseño, construcción y mantenimiento de proyectos electromecánico.

## **2. INTRODUCCIÓN**

El crecimiento de diversas de actividades productivas orientadas al desarrollo económico ha generado la necesidad de implementar maquinaria que ayuden a la ejecución de todo tipo de trabajos dentro de los negocios o lugares sean estos industriales o comerciales. Esto ha dado origen a la necesidad de crear nuevas alternativas tecnológicas e innovadoras que contribuyan al mejoramiento de las condiciones de trabajo que requieren especialmente esfuerzo físico, tiempo, precisión y continuidad, facilitando así el cumplimiento organizado y seguro de las actividades realizadas por los trabajadores que requieren el uso de herramientas y equipos adecuados para cada tarea.

Tomando en cuenta estos aspectos se puede mencionar que la implementación de maquinarias juega un papel fundamental en la eficiencia y productividad de los negocios o empresas debido a que son consideradas como elementos de modernización que se adaptan a las necesidades de trabajo, lo cual ayuda a mejorar la forma tradicional de realizar determinadas actividades para de manera rápida y eficaz proporcionando mayor capacidad de atender las necesidades y requerimientos de los clientes. [1]

De tal manera que el presente proyecto se centra en el diseño y construcción de una máquina para el corte y recolección del agua de coco que aportará significativamente a los pequeños negocios dedicados a este tipo de actividad, por lo que para su creación se tomará en cuenta aspectos técnicos y mecánicos como el modelado, estructura y demás materiales que contribuyan al cumplimiento de las tareas a las que va estar orientada el funcionamiento de la máquina teniendo como finalidad garantizar un aporte eficiente, seguro y confiable que responda a las necesidades de los negocios o empresas que se dedican a la extracción del agua de coco.

Finalmente, con este proyecto se buscará aportar al crecimiento de los negocios de extracción de agua de coco teniendo como finalidad el desarrollo en el campo productivo en especial donde se requiere la intervención humana satisfaciendo así los objetivos de trabajo propuestos por la misma empresa.

### **2.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

El agua de coco es un producto de alta demanda en los mercados populares, playas y centros turísticos del Ecuador, su procesamiento en el punto de venta requiere el corte de la parte superior del fruto para acceder al agua interior, operación que en la gran mayoría de pequeños

negocios se realiza manualmente con machete o cuchillo [2]. A diferencia de la industria agroalimentaria a gran escala, que dispone de maquinaria especializada para el procesamiento del coco, los pequeños emprendedores no cuentan con equipos adaptados a su escala de operación ni a sus condiciones económicas, lo que los obliga a depender exclusivamente de la fuerza y destreza del personal para sostener la producción diaria.

Un ejemplo claro se da en la provincia de Cotopaxi, en la tienda “El Coco Loco” ubicada en el sector Las Bethlemitas, cuyo representante legal es la señora Rosa Basantes, quien se dedica desde hace aproximadamente cinco años a la recolección del agua de coco y en la actualidad ha enfrentado algunos problemas relacionados con la obtención de este producto debido a la carencia de una máquina que le ayude a la extracción del agua de coco de manera rápida y eficiente. Entre estos problemas están la dependencia manual de varios trabajadores lo que afecta la productividad del negocio ya que un operario puede procesar entre 30 y 60 cocos por hora en condiciones óptimas, pero este rendimiento cae significativamente tras varias horas de trabajo continuo por efecto de la fatiga muscular acumulada en muñeca, antebrazo y hombro.

Por otra parte, otro de los problemas se da en la utilización de herramientas cortopunzantes de gran tamaño como el machete que es muy característico para este trabajo y en un entorno laboral con superficies húmedas y ritmo acelerado esto constituye un riesgo mecánico de primer orden, con alta probabilidad de cortes accidentales en las extremidades superiores del operario, especialmente cuando la fatiga reduce el control sobre la herramienta.

Estos problemas anteriormente mencionados se agravan por la ausencia de alternativas tecnológicas accesibles para este segmento productivo ya que las máquinas industriales de procesamiento de coco disponibles en el mercado están diseñadas para volúmenes de producción muy superiores a los de un pequeño negocio y tienen costos de adquisición y mantenimiento que resultan poco accesibles para un emprendimiento de escala familiar o artesanal. Esta brecha tecnológica evidencia una oportunidad concreta para el desarrollo de una solución electromecánica de bajo costo que sea técnicamente eficaz, segura para el operario y replicable en negocios similares de la región.

## **2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿ El diseño y construcción de una máquina para corte y recolección del agua de coco permitirá mejorar la productividad en la tienda el “El coco loco” disminuyendo el tiempo y la mano de obra?

## **2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN**

### **2.3.1. Objeto de investigación**

Máquina para corte y recolección del agua de coco

### **2.3.2. Campo de acción**

0714 diseño, construcción y mantenimiento de proyectos electromecánicos.

## **2.4. BENEFICIARIOS**

### **2.4.1. Beneficiarios directos**

Los principales beneficiarios del diseño y construcción de máquina para corte y recolección del agua de coco será la tienda “El coco loco” representada por la señora Rosa Basantes, quien podrá contar con una herramienta tecnológica adecuada que ayudará a optimizar el proceso de obtención del agua de coco a fin de reducir el tiempo, esfuerzo físico del personal y prevenir accidentes laborales.

### **2.4.2. Beneficios indirectos**

Los beneficiarios indirectos serán los clientes del negocio “El coco loco”, debido a que recibirán un producto de manera rápida y que cumpla con sus expectativas en los tiempos de entrega estipulados. Por otra parte, otros beneficiarios serán las demás tiendas y negocios dedicados a esta actividad, quienes serán incentivados a crear e implementar maquinaria que les aporte al crecimiento productivo y cumplimiento de sus actividades.

## **2.5. JUSTIFICACIÓN**

En la tienda “El coco loco” ubicada en el sector las Bethlemitas se desarrolla la actividad relacionada con la extracción y recolección del agua de coco, la misma que ha tenido algunos inconvenientes con su proceso productivo, generando un mercado poco competitivo lo que ha ocasionado tanto pérdidas económicas y pérdidas de clientes, esto debido a los métodos de extracción manuales que se han empleado a lo largo del tiempo. De tal forma el diseño y construcción de una máquina para corte y recolección agua de coco responde a una necesidad en los entornos laborales. El proyecto por una parte representa la oportunidad de aplicar conocimientos de ingeniería electromecánica para resolver problemas del entorno en el que vivimos resolviendo problemáticas de la escala de producción, también aporta a la disminución de los riesgos de accidentes y mejorar los procesos en el ámbito laboral.

Es así que el diseño y construcción de una máquina de corte y recolección del agua de coco permitirá obtener un producto de manera más rápida mediante un sistema eficiente, funcional para la tienda, el cual genere fuerza necesaria para aumentar la productividad disminuyendo el tiempo de trabajo de los empleados y el riesgo laboral al que se enfrentan diariamente contribuyendo al desarrollo de un trabajo más seguro y responsable. Por lo que la utilización de esta máquina será muy factible para emplearse en actividades que requieren esfuerzo físico, tiempo y cuidado que permitan a la tienda de forma efectiva cumplir correctamente sus tareas sin que se afecte la productividad de lo que se oferta.

En el aspecto económico el presente proyecto representa una alternativa viable ya que es de bajo costo siendo accesible a comparación con otras máquinas que son comercializadas a precios inaccesibles y solo para empresas grandes, esto constituye una estrategia de reducción de gastos de adquisición favoreciendo la implementación de soluciones tecnológicas para empresa o negocios pequeños dedicados a la comercialización de productos en menor escala, a fin de incrementar y fomentar la implementación de nuevas ideas que ayuden al crecimiento su actividad principal.

## **2.6. OBJETIVOS**

### **2.6.1. Objetivo general**

Implementar una máquina para recolectar agua de coco mediante el corte vertical del mismo empleando un mecanismo que ayude a la reducción de los tiempos de operación.

### **2.6.2. Objetivos específicos**

- Investigar el proceso actual del corte manual del coco para la recolección del agua.
- Diseñar y construir un prototipo de máquina cortadora de coco mediante la integración de componentes mecánicos, eléctricos y de control necesarios para un funcionamiento seguro y eficiente.
- Evaluar el prototipo construido, mediante pruebas operativas de validación que ayuden al corte y recolección del agua de coco

## 2.7. SISTEMA DE TAREAS

Tabla 2: Cuadro del sistema de tareas

| OBJETIVOS ESPECÍFICOS                                                                                                                                                                         | ACTIVIDADES (TAREAS)                                                                                                                                                                                                                                  | RESULTADOS ESPERADOS                                                                                                                                                                                                                                 | TÉCNICAS, MEDIOS E INSTRUMENTOS                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Investigar el proceso actual del corte manual del coco para la recolección del agua del mismo.                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recopilar información sobre el corte y recolección del agua de coco</li> <li>• Visita técnica a la tienda “El coco loco” para identificar la manera como realizan la obtención del agua de coco</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Información útil que ayude al conocimiento y recolección del agua de coco</li> <li>• Reconocimiento de la actividad que se desarrolla en la tienda “El coco loco”</li> </ul>                                | <p>Investigación bibliográfica y de campo</p> <p>Observación de actividades que son realizadas a nivel manual</p> |
| Diseñar y construir un prototipo de máquina cortadora de coco mediante la integración de componentes mecánicos, eléctricos y de control necesarios para un funcionamiento seguro y eficiente. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño de un prototipo de una máquina cortadora de coco mediante el uso de software de diseño</li> <li>• Selección y construcción de componentes para la creación de la máquina cortadora de coco</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prototipo de la máquina cortadora y recolectora del agua de coco correctamente diseñado</li> <li>• Selección de componentes y construcción de la máquina de acuerdo a las necesidades laborales.</li> </ul> | <p>Software de diseño y programación.</p> <p>Selección de componentes útiles para la creación de la máquina.</p>  |
| Evaluar el prototipo construido, mediante pruebas operativas de validación que ayuden al corte y recolección del agua de coco                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecimiento de parámetros y configuración del funcionamiento de la máquina.</li> <li>• Validación y verificación de pruebas de funcionamiento de la máquina construida.</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parámetros establecidos de acuerdo a las necesidades de la tienda “El coco loco”</li> <li>• Máquina de corte y recolección del agua de coco lista para su funcionamiento</li> </ul>                         | <p>Pruebas de funcionamiento de la maquinaria.</p> <p>Análisis de productividad la máquina y cumplimiento.</p>    |

Responsable: El autor

### **3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **3.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

En el tema “Diseño del proceso tecnológico de agua y pulpa de coco deshidratada para el aprovechamiento industrial del coco” presentado por Delgadillo Doris y Tejada Isaura” [3] de la Universidad Nacional de Ingeniería de la ciudad de Managua, Nicaragua, su principal propósito fue diseñar el proceso tecnológico del agua de coco tomando en cuenta las características físicas y químicas de la materia prima y de los productos terminados. por lo que actualmente de coco es aprovechado parcialmente y su comercialización es desarrollada en el mercado informal en condiciones inadecuadas que brindan poca seguridad e higiene para el consumidor final. Es así que este proyecto se desarrolló con el fin de diseñar un proceso tecnológico que permita obtener la pulpa y el agua de coco de forma correcta implementando normas de seguridad e higiene tanto para el distribuidor como para los consumidores quienes obtendrán un producto de calidad libre de cualquier contaminante creando este una ambiente calidad que satisface las necesidades de los consumidores.

En la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil se presentó el tema “Desarrollo de una máquina automática de extracción de agua de coco” realizada por los estudiantes Jordy Ramón y Bryan Cabrera [4]. En esta se menciona que en la actualidad el coco es una fruta muy apetecida por las personas por su gran sabor y por los alimentos que salen de la misma fruta, de tal manera que existen algunos vendedores del agua de coco que esta actividad la realizan de forma manual utilizando elementos como cuchillos o machetes que son riesgosos para el vendedor, por lo que el desarrollo de una máquina automática les permitió contribuir con la extracción del líquido de una manera más segura s para el operario al momento de realizar los cortes para que el consumidor tenga el agua de coco y satisfaga sus necesidades.

Por otra parte, en la revista mexicana de ciencia agrícolas su propósito se basó en el “Diseño de maquinaria para el envasado del agua de coco”, explicando que esta bebida es muy refrescante en distintas regiones y es distribuido en su propia envoltura para su consumo lo cual resulta no ser tan viable en especial si se distribuye a sitios donde se toma en consideración aspectos físicos. Por lo que el presente proyecto se basó en generar nuevas oportunidades de presentación del producto en el mercado, lo que impulsa el desarrollo de tecnologías que permitan la recolección del agua de coco poniéndola en un

ambiente de conservación correcto donde la venta mediante el embotellado sea una alternativa adecuada para su comercialización. En este aspecto el diseño de esta maquinaria especializada en la recolección y embotellado del agua de coco permitió facilitar las actividades relacionadas con el envasado, mejorando las condiciones de manipulación y presentación del producto, así como su conservación durante el almacenamiento y distribución [5].

Tomando en consideración los temas anteriormente mencionados se puede establecer que las máquinas de corte y recolección de agua de coco resultan ser beneficiosas para el desarrollo del sector agrícola y comercial debido que estas contribuyen significativamente en la venta y comercialización del producto estableciendo métodos de cuidado que ayudan a los operadores a estar libres de accidentes, además de obtener una productividad adecuada logrando que el líquido obtenido se mantenga en condiciones estables y frescas listas para la distribución hacia los clientes en cualquier momento, evitando que no exista pérdida tanto productivas como económica. En conclusión, con esto logra la manera asegurar los procesos productivos sin importar los factores que puedan perjudicar la sostenibilidad y mantenimiento del producto.

## **3.2. MARCO REFERENCIAL**

### **3.2.1. Máquina de corte y recolección**

Es una máquina o equipo dedicado al corte y recolección de un producto determinado, se caracteriza por contribuir con el desarrollo eficiente de alguna actividad, teniendo como finalidad optimizar el uso de recursos que generan pérdida de tiempo, proporcionando una mejor estabilidad que ayuda a la minimizar de pérdidas tanto productivas como la generación de eficiencia poco útil. [6]

#### ***3.2.1.1. Características de una máquina de recolección***

Las máquinas dedicadas a la recolección se caracterizan especialmente por su capacidad de adaptarse a diferentes tipos de actividades según las necesidades de la empresa. Entre estas están:

- **Versatilidad:** Las máquinas pueden ajustarse para trabajar con una variedad de productos.
- **Eficiencia:** Están diseñadas para optimizar tiempos de trabajo haciéndolos más rápidos y con el menos desperdicio posible.

- **Durabilidad:** suelen estar construidas para soportar todo tipo de trabajos tomando en consideración operaciones de campo.
- **Aumentan la precisión:** Las máquinas de recolección en la actualidad son capaces de seleccionar y procesar productos con alta precisión [6]

### 3.2.2. Mecanizado en la producción

El mecanizado en los productos agroindustriales comprende el conjunto de operaciones en las cuales una determinada máquina aplica fuerzas controladas sobre un material orgánico para seccionarlo, perforarlo o extraer su contenido, sustituyendo el esfuerzo manual por un sistema de actuación mecánica repetible y segura. En el caso del coco de agua (*Cocos nucifera*), el proceso de corte implica vencer la resistencia de una cáscara fibrosa de alta tenacidad, lo que exige un mecanismo con torque suficiente, velocidad de impacto controlada y un sistema de sujeción estable que garantice la integridad del producto y la seguridad del operario [7].

La creación de este proceso mediante un sistema electromecánico de bajo costo representa una solución viable para pequeños emprendimientos que buscan incrementar su capacidad productiva y reducir los riesgos laborales asociados al uso de herramientas manuales cortopunzantes

La evolución industrial ha pasado por cuatro grandes etapas. La primera revolución industrial (finales del siglo XVIII) introdujo la máquina de vapor y la mecanización de la producción textil. La segunda revolución (finales del siglo XIX) incorporó la electricidad y la producción en masa mediante líneas de ensamblaje. La tercera revolución (década de 1970) trajo consigo la automatización a través de la electrónica y los sistemas informáticos. Finalmente, la Industria 4.0 (inicios del siglo XXI) integra sistemas ciberfísicos, redes inteligentes y manufactura digital [7]. Esta progresión histórica demuestra que cada revolución industrial ha respondido a la necesidad de mejorar la eficiencia y reducir los esfuerzos humanos en los procesos productivos, principio que fundamenta el presente proyecto.

La transición entre cada revolución industrial no ha sido un proceso abrupto, sino gradual, impulsado por necesidades económicas, avances científicos y la búsqueda constante de mayor productividad. En el Ecuador, si bien la adopción plena de la Industria 4.0 aún está en desarrollo, se observan iniciativas crecientes en el sector manufacturero y

agroindustrial que incorporan componentes de automatización y control electrónico en sus procesos, especialmente en pequeñas y medianas empresas.

### **3.2.3. Impacto en la Productividad de las Pequeñas Empresas**

Las pequeñas y medianas empresas representan un segmento fundamental de la economía latinoamericana, siendo responsables de una parte significativa del empleo y la producción nacional. Sin embargo, la mayoría de estos negocios desarrollan sus actividades a través de procesos manuales o semiautomatizados, lo que limita su capacidad de avanzar en la producción y competir con empresas de mayor tamaño [8]. Por tal motivo la implementación de soluciones tecnológicas accesibles permite a las pequeñas y medianas empresas aumentar su producción horaria, reduciendo el desperdicio de materia prima, mejorar la uniformidad del producto final y disminuir los costos operativos a mediano plazo.

En el caso específico de negocios dedicados al procesamiento del coco de agua, la producción depende directamente del esfuerzo físico del operario, lo que genera variabilidad en el rendimiento según el estado físico del trabajador y la jornada laboral. Es así que una máquina dedicada al corte y recolección de esta bebida contribuirá a garantizar un ritmo de producción constante e independiente del factor humano. Sistemas Electromecánicos: Definición y Componentes Básicos

### **3.2.4. Sistema electromecánico para la construcción de máquinas**

Para la construcción de máquinas un sistema electromecánico es aquel que integra componentes eléctricos y mecánicos para transformar energía eléctrica en movimiento mecánico o viceversa, con el fin de realizar trabajo útil en un proceso determinado [9]. Estos sistemas se componen fundamentalmente de tres elementos: sensores, actuadores y controladores.

- **Sensores:** Son dispositivos que capturan variables del entorno como la posición, temperatura, presencia y velocidad convirtiéndolas así en señales eléctricas procesables por el sistema de control.
- **Actuadores:** Son los elementos que ejecutan el trabajo físico, siendo el motor eléctrico el actuador más común en los sistemas industriales.

- **Controladores:** Son los circuitos o dispositivos encargados de procesar las señales de los sensores y emitir órdenes a los actuadores siguiendo una lógica de control programada [9], [10].

En el presente proyecto, el sistema electromecánico diseñado integra un motor eléctrico como actuador principal, un final de carrera como sensor de posición límite, y un circuito de control con botonera como elemento de mando.

### **3.2.5. Procesamiento del Agua de Coco**

El aguade coco es una palmácea tropical ampliamente cultivada en regiones costeras de América Latina, África y Asia, su fruto es aprovechado tanto por el agua interior, la misma que es rica en electrolitos y contiene alto valor nutritivo, como la pulpa y la fibra del mesocarpio.

En Ecuador, el consumo de agua de coco ha experimentado un crecimiento sostenido en los últimos años, impulsado por tendencias de alimentación saludable y el incremento del turismo interno, generando una demanda que los pequeños negocios deben satisfacer de manera eficiente y tomando medidas de salud adecuadas, es decir la utilización correcta de elementos ambientales.

#### ***3.2.5.1. Propiedades Físicas del Coco: Dureza del Epicarpio y Volumen de Líquido***

El coco presenta una estructura anatómica compuesta por tres capas principales: el epicarpio, que es la capa externa fibrosa de color verde o marrón según el grado de madurez; el mesocarpio es la capa intermedia fibrosa y resistente; y el endocarpio, núcleo leñoso interno que contiene la pulpa y el agua. La dureza del epicarpio y el mesocarpio es el principal desafío mecánico en el proceso de corte, requiriendo fuerzas considerables para ser seccionado.

La fuerza requerida para seccionar el epicarpio y mesocarpio de un coco verde puede estimarse entre 150 y 300 Newtons, dependiendo del ángulo de corte, la geometría de la cuchilla y la velocidad de avance del elemento cortante. [11]

Por otra parte, desde el punto de vista dimensional, un coco verde de agua por lo general tiene un diámetro aproximado de entre 15 y 20 centímetros y un peso que oscila entre 0,8 y 1,5 kilogramos. El volumen de agua interior varía entre 200 y 400 mililitros según el tamaño y grado de madurez del fruto. Estos datos son fundamentales para el

dimensionamiento del sistema de sujeción y guiado de la máquina, así como para calcular la fuerza de corte necesaria que debe ejercer el actuador sobre la cuchilla [12].

#### ***3.2.5.2. Métodos Tradicionales de Extracción: Riesgos del Uso de Herramientas Manuales***

El método tradicional de apertura del coco de agua consiste en el uso de herramientas cortopunzantes como machetes, cuchillos de gran tamaño o hachas, operadas manualmente por el trabajador. Este proceso implica sujetar el coco con una mano y aplicar golpes o cortes con la herramienta en la otra mano, lo que genera una exposición directa a riesgos de corte accidental, especialmente cuando el operario presenta fatiga muscular o distracción.

Según estudios de ergonomía industrial, los movimientos repetitivos de alta frecuencia y los esfuerzos de impacto asociados al uso de herramientas manuales son causantes de lesiones osteomusculares como tendinitis, síndrome del túnel carpiano y lumbalgias en trabajadores que realizan esta actividad de forma sostenida durante la jornada laboral. [13]

Provocando de esta manera que el proceso manual presente una productividad limitada y variable, por lo cual un operario promedio puede procesar entre 30 y 60 cocos por hora, dependiendo de su destreza y estado físico, mientras que una máquina de corte y recolección puede mantener un ritmo constante sin degradación del rendimiento a lo largo del tiempo [14]

Tomando en consideración los aspectos anteriores se puede mencionar que los métodos tradicionales de extracción uso de herramientas perjudiciales ponen en riesgo la capacidad operativa de los trabajadores, por lo cual la creación de la máquina recolectora de agua de coco no solo evitará riesgos mecánicos directos, sino que también libera al operario para realizar tareas de mayor valor agregado que proporcionen un control de calidad o abastecimiento de materiales.

### **3.3. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL PROCESO DE CORTE DEL COCO DE AGUA**

El proceso de corte del agua de coco ha experimentado una evolución progresiva a lo largo del tiempo, pasando de herramientas artesanales de origen ancestral hasta sistemas mecanizados de accionamiento eléctrico. Esta evolución no ha sido uniforme en todos los

contextos productivos: mientras que la industria agroalimentaria a gran escala adoptó la mecanización desde mediados del siglo XX, los pequeños negocios y emprendimientos de venta directa al consumidor han mantenido métodos manuales hasta la actualidad, principalmente por razones de costo de adquisición y escala de producción [2].

En sus orígenes, el corte del coco se realizaba con herramientas de piedra y posteriormente con instrumentos metálicos de filo, como el machete y el hacha, que se consolidaron como las herramientas predominantes en las regiones tropicales de América Latina y el Caribe desde la época colonial.



Figura 3-1: Machete herramienta primitiva

En la Figura 3-1: Machete herramienta primitiva, el cual se convirtió en el instrumento estándar para la apertura del agua de coco en pequeños negocios, esto se debe a su bajo costo que es accesible, tiene disponibilidad y versatilidad, a pesar de los riesgos ergonómicos y de seguridad asociados a su uso repetitivo [13].

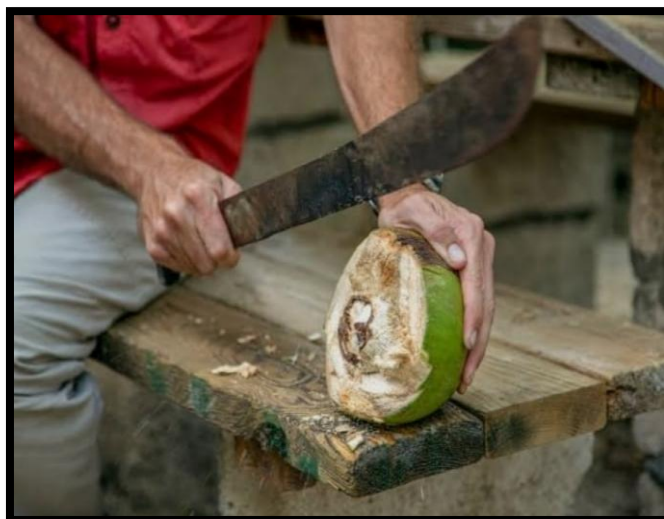


Figura 3-2: Corte del coco de forma tradicional

En la Figura 3-2: Corte del coco de forma tradicional se observa el proceso de corte del coco para la extracción del agua y demás productos como la pulpa, el cual en lugares y negocios pequeños es realizado de manera manual con la herramienta primitiva que se basa en el uso del machete.



Figura 3-3: Guillotina manual para el pelado de cocos

En la Figura 3-3: Guillotina manual para el pelado de cocos que con el paso de tiempo apareció como una nueva manera para el pelado del coco, sirviendo igual que las descascaradoras industriales, las perforadoras automáticas y los sistemas de corte por cizalla hidráulica. Sin embargo, estas soluciones estaban diseñadas para volúmenes de producción de centenares de unidades por hora y requerían inversiones significativas en infraestructura, lo que las hizo inaccesibles para pequeños emprendimientos [15].



Figura 3-4: Prensadora de coco

En la Figura 3-4: Prensadora de coco sirve como elemento para extraer el líquido o jugo del coco mediante la aplicación de presión mecánica, facilitando la separación del líquido de la pulpa o materia vegetal, esta máquina se identifica por aplicar presión controlada sobre el coco para obtener su contenido líquido y facilitar su posterior procesamiento y envasado [16].

Tabla 3: Evolución histórica de los métodos de corte del coco de agua

| <b>Período</b>          | <b>Herramienta / Método</b>                    | <b>Tiempo por unidad</b> | <b>Riesgo laboral</b> | <b>Limitaciones principales</b>                                                      |
|-------------------------|------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Antes del s. XIX</b> | Piedra y herramientas metálicas primitivas     | > 10 min                 | Muy alto              | Baja eficiencia, alta dependencia de fuerza física                                   |
| <b>S. XIX – XX</b>      | Machete y hacha                                | 3 – 5 min                | Alto                  | Riesgo de corte accidental, fatiga por movimiento repetitivo, productividad variable |
| <b>Mediados s. XX</b>   | Cuchillo especializado y guillotina de palanca | 1 – 3 min                | Moderado              | Requiere técnica del operario, limitado a pequeña escala, aún manual                 |

|                            |                                                               |           |          |                                                                                          |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Fines s.<br/>XX</b>     | Maquinaria industrial<br>hidráulica y<br>neumática            | < 10 s    | Bajo     | Alto costo, diseñada para<br>gran escala, inaccesible para<br>pequeños negocios          |
| <b>S. XXI<br/>(actual)</b> | Máquina<br>electromecánica de<br>corte con motor<br>eléctrico | 10 – 15 s | Muy bajo | Solución de bajo costo,<br>semiautomática, accesible<br>para pequeños<br>emprendimientos |

## **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

## **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

## **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

## **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

hacia la reducción del tiempo de procesamiento, la disminución del riesgo laboral y la estandarización del proceso. El salto más significativo en términos de tiempo se produjo con la incorporación de maquinaria industrial en la segunda mitad del siglo XX, aunque este avance no fue accesible para el segmento de pequeños negocios hasta el desarrollo de soluciones electromecánicas de menor escala y costo en el presente siglo [16].

El prototipo desarrollado en el presente proyecto se enmarca en esta última etapa de evolución, representando una solución electromecánica de bajo costo construida con componentes comerciales estándar, orientada específicamente al segmento de pequeños emprendimientos de procesamiento y venta directa del agua de coco que mantienen métodos manuales para el corte del coco debido a la ausencia de alternativas tecnológicas accesibles en el mercado local.

### **3.4. COMPONENTES DE SISTEMA DE MÁQUINAS**

Los sistemas de máquinas están constituidos por un conjunto de componentes que trabajan de forma coordinada para transformar una entrada de energía en un movimiento o fuerza útil. De manera general, estos componentes se clasifican en tres grupos funcionales: elementos de generación de fuerza o movimiento, elementos de transmisión y adaptación, y elementos de trabajo o actuación final.

- **Elementos de generación:** Comprenden los motores eléctricos, hidráulicos o de combustión interna, cuya función es convertir una forma de energía en movimiento rotacional o lineal.
- **Los elementos de transmisión:** Incluyen reductoras, poleas, engranajes, cadenas y mecanismos de barras, encargados de adaptar la velocidad y el torque del motor a las condiciones requeridas por el proceso.
- **Los elementos de actuación:** Son aquellos que ejecutan el trabajo útil sobre el material o producto, como herramientas de corte, prensas, rodillos o brazos articulados.

En una máquina electromecánica, la correcta selección e integración de estos tres grupos determina la eficiencia del sistema, su consumo energético y la vida útil de los componentes y el dimensionamiento de cada elemento debe realizarse considerando las cargas máximas del proceso, los factores de seguridad aplicables y la disponibilidad comercial de los componentes en el contexto de fabricación.

### **3.4.1. Motores Eléctricos Monofásicos**

Un motor monofásico es una máquina rotativa que convierte energía eléctrica en energía siendo una opción predominante en aplicaciones domésticas. Estos motores operan con una única onda de tensión alterna, a diferencia de los motores trifásicos que utilizan tres ondas de tensión desfasadas entre sí. Esta particularidad los hace más sencillos y menos costosos en términos de fabricación y mantenimiento, pero también limita su capacidad para manejar aplicaciones que requieran mayor potencia de salida continua [17].

#### ***3.4.1.1. Principios de Funcionamiento***

El motor eléctrico monofásico de inducción opera bajo el principio de la ley de inducción electromagnética de Faraday. Cuando una corriente alterna monofásica circula por el devanado del estátor, genera un campo magnético pulsante. Mediante el uso de un condensador de arranque o de marcha, se crea un desfase de corriente que produce un campo magnético giratorio capaz de inducir corrientes en el rotor de jaula de ardilla, generando el torque necesario para el movimiento [18].

A diferencia del motor trifásico, el motor monofásico presenta una mayor simplificación de instalación y no requiere red trifásica para su funcionamiento, lo que lo hace idóneo para

aplicaciones en pequeños comercios y talleres con instalación eléctrica residencial o comercial de baja tensión.

### **3.4.2. Criterios de Selección: Torque, Potencia y Velocidad**

La selección del motor eléctrico para una aplicación específica requiere el análisis de tres parámetros fundamentales como la potencia nominal (P), el torque o par motor (T) y la velocidad angular ( $\omega$ ). La relación entre estos parámetros se expresa mediante la ecuación  $P = T \times \omega$ , donde P se expresa en Watts, T en Newton-metro (N·m) y  $\omega$  en radianes por segundo (rad/s) [18].

Para el proyecto de la máquina cortadora de coco, se seleccionó un motor monofásico de 2 HP equivalente a 1,5 kW a 1800 RPM, considerando la fuerza de corte necesaria y un factor de servicio de 1,25 para garantizar la operación continua sin sobrecarga.

El torque requerido se calculó en función de la fuerza de corte estimada y el radio de acción del mecanismo de transmisión. La caja reductora permite adaptar la velocidad de salida del motor a los valores óptimos para el proceso de corte, incrementando simultáneamente el torque disponible en el eje de trabajo, lo que asegura que la cuchilla pueda seccionar el epicarpio del coco sin que el motor entre en condición de sobrecarga.

#### **3.4.2.1. Sistemas de Transmisión de Fuerza**

Los sistemas de transmisión de fuerza son mecanismos encargados de transferir el movimiento y la energía desde el motor hacia el elemento ejecutor de trabajo. En la ingeniería electromecánica, los sistemas de transmisión más utilizados incluyen engranajes, poleas con correas, cadenas con sprockets, y mecanismos de biela-manivela, cada uno con características específicas de relación de transmisión, eficiencia mecánica y capacidad de carga con alta resistencia mecánica. [19]

### **3.4.3. Caja reductora**

Una caja reductora funciona mediante la relación de transmisión, definida como el cociente entre el número de dientes (o diámetros) del engranaje conducido y el engranaje conductor. Una relación de reducción de 10:1, por ejemplo, significa que por cada 10 revoluciones del eje de entrada (motor), el eje de salida completa una revolución, multiplicando el torque por el mismo factor menos las pérdidas por fricción, cuya eficiencia típica es del 95-98% en engranajes helicoidales [20].

Este principio fue aplicado en el dimensionamiento del sistema de transmisión del presente proyecto para garantizar la fuerza de corte necesaria con la potencia del motor seleccionado.

### **3.5. MECANISMO DE CORTE**

Los elementos mecánicos de transmisión son componentes normalizados cuya función es transferir fuerzas y movimientos entre las diferentes partes de una máquina. Su correcta selección y dimensionamiento garantizan la integridad estructural del sistema y su vida útil bajo las condiciones de carga del proceso [20].

Los ejes son elementos cilíndricos que soportan y transmiten el movimiento de rotación a los demás componentes del mecanismo. Su dimensionamiento se realiza en base al torque máximo transmitido y al criterio de esfuerzo cortante admisible del material seleccionado, considerando un factor de seguridad que contemple las cargas dinámicas e impactos propios del proceso de corte [20]. El acero estructural A36 es el material más utilizado para ejes de maquinaria de bajo y mediano costo por su disponibilidad comercial, su límite de fluencia de 250 MPa y su buena soldabilidad.

Los pasadores son elementos cilíndricos de menor diámetro que los ejes, utilizados para conectar piezas del mecanismo en puntos de articulación, como las uniones biela-manivela y biela-balancín. Están sometidos principalmente a esfuerzo cortante puro y deben dimensionarse considerando la fuerza de corte máxima del proceso y un factor de seguridad que prevenga el cizallamiento por fatiga en ciclos repetitivos de impacto [20].

Los rodamientos son elementos de rodadura que reducen la fricción entre el eje giratorio y la estructura fija, permitiendo la rotación libre con mínima pérdida de energía. En mecanismos de corte cíclico, los rodamientos de bolas de ranura profunda son los más utilizados por su capacidad para soportar cargas radiales y axiales combinadas y su bajo requerimiento de mantenimiento [21].

### **3.6. ELEMENTOS MECÁNICOS ESTRUCTURALES Y DE CORTE**

#### **3.6.1. Tipos de Acero Empleados en Maquinaria Agroindustrial**

La selección del material constituye un criterio fundamental en el diseño de maquinaria de procesamiento de alimentos, ya que debe satisfacer simultáneamente requisitos de resistencia mecánica, costo y compatibilidad sanitaria. El acero estructural A36 es un acero al carbono de bajo contenido de aleación, con un límite de fluencia de 250 MPa,

ampliamente utilizado en la fabricación de estructuras, ejes y elementos de máquinas que no entran en contacto directo con el producto, debido a su disponibilidad comercial, buena soldabilidad y bajo costo en comparación con aceros aleados [21].

Para los elementos en contacto directo con el alimento se emplea el acero inoxidable AISI 304, una aleación austenítica de cromo-níquel (18% Cr, 8% Ni) que ofrece alta resistencia a la corrosión, facilidad de limpieza y cumplimiento de los estándares sanitarios para equipos de procesamiento de alimentos. A diferencia del acero A36, el AISI 304 no requiere recubrimientos protectores y mantiene sus propiedades mecánicas en ambientes húmedos, características que lo hacen apto para cuchillas, superficies de corte y elementos de recolección del producto en máquinas de procesamiento de coco.

### **3.7. PROCESOS DE SOLDADURA APLICADOS A LA CONSTRUCCIÓN**

La soldadura es el proceso de unión permanente de elementos metálicos mediante la fusión localizada del material base, con o sin aporte de material adicional. La selección del proceso de soldadura adecuado depende principalmente del tipo de material a unir, el espesor de las piezas y el acabado superficial requerido, ya que un proceso inadecuado puede comprometer las propiedades mecánicas del material en la zona afectada por el calor (ZAC) o, en el caso de aceros inoxidables, destruir la capa pasiva responsable de su resistencia a la corrosión [22]. Por esta razón, en la construcción de la máquina se emplearon dos procesos de soldadura diferenciados según el material de cada componente.

#### **3.7.1. Soldadura MIG (GMAW) para Acero A36**

La soldadura por arco metálico con gas, conocida como MIG (Metal Inert Gas) o técnicamente GMAW (Gas Metal Arc Welding), es un proceso en el que un electrodo de alambre continuo se alimenta automáticamente a través de una pistola, fundiéndose para formar el cordón mientras un gas de protección (generalmente CO<sub>2</sub> o una mezcla argón-CO<sub>2</sub>) evita la contaminación atmosférica del baño de fusión. Este proceso se aplicó en la fabricación de la estructura principal, el esqueleto en tubo cuadrado galvanizado y la base de motor en acero A36, debido a su alta velocidad de depósito, su facilidad de operación incluso para soldadores con experiencia media, y su capacidad de producir cordones de buena calidad en los espesores de 4 mm y 7 mm utilizados en estos componentes.

Las ventajas del proceso MIG para estos elementos incluyen la posibilidad de soldar en todas las posiciones, una menor generación de escoria que simplifica el acabado posterior, y un costo de operación competitivo para la cantidad de uniones requeridas en el esqueleto y la base de la máquina [23]

### **3.7.2. Soldadura TIG (GTAW) para Acero Inoxidable AISI 304**

La soldadura por arco de tungsteno con gas, conocida como TIG (Tungsten Inert Gas) o técnicamente GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), es un proceso en el que el arco se genera entre un electrodo de tungsteno no consumible y la pieza de trabajo, mientras un gas inerte (generalmente argón puro) protege tanto el electrodo como el baño de fusión de la contaminación atmosférica [24].

A diferencia del proceso MIG, el material de aporte se añade manualmente de forma independiente, lo que otorga al operador un control preciso sobre la cantidad de calor aportado y la geometría del cordón.

Este proceso se aplicó en la unión de las planchas de acero inoxidable AISI 304 que conforman las paredes, la tapa superior y los elementos de la cuchilla y el balancín en contacto con el producto. La principal razón de esta selección es que el proceso TIG genera un menor aporte térmico y una zona afectada por el calor más reducida que el proceso MIG, minimizando el riesgo de sensibilización del acero inoxidable (precipitación de carburos de cromo en los límites de grano), fenómeno que reduce localmente el contenido de cromo disponible para formar la capa pasiva y compromete la resistencia a la corrosión del material en la zona soldada [24].

Adicionalmente, el proceso TIG no genera proyecciones de material ni escoria, lo que permite obtener un acabado superficial limpio acorde con los requisitos de diseño sanitario para equipos de procesamiento de alimentos.

Tabla 4: Componentes mecánicos estructurales y de corte del prototipo.

| Componente | Imagen | Concepto y función en el sistema |
|------------|--------|----------------------------------|
|------------|--------|----------------------------------|

---

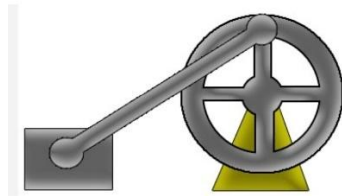
## Cuchilla



Elemento de trabajo final del mecanismo de corte. Fabricada en acero inoxidable AISI 304, aplica la fuerza de penetración sobre la cáscara del coco mediante corte por impacto. Su filo con ángulo de bisel concentra el esfuerzo en una línea de contacto reducida, favoreciendo el corte por cizalladura antes que la deformación plástica de las fibras. El espesor equilibra rigidez y facilidad de penetración.

---

## Soporte biela Balancín



Elemento que sostiene rígidamente la cuchilla y le transmite el movimiento angular oscilante generado por el mecanismo biela-manivela. Su longitud desde el eje de pivote hasta el punto de acople de la biela determina la amplificación del movimiento angular. Debe ser suficientemente rígido para no flexionar bajo la fuerza de reacción del corte y permitir el reemplazo de la cuchilla sin desmontar el mecanismo completo.

---

## Elementos de soporte



Componentes encargados de sostener y posicionar el coco durante el ciclo de corte, manteniéndolo inmóvil frente a la trayectoria de la cuchilla. Incorporan sujeción ajustable para adaptarse al rango dimensional del producto (13 a 22 cm de diámetro). La altura de posicionamiento se calibró para que el contacto inicial coincida con la zona de mayor velocidad tangencial del arco de corte.

---

|                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Estructura</p>                | <p>Forma, posiciona y fija todos los componentes mecánicos, eléctricos y de control de la máquina. Fabricada con tubo cuadrado galvanizado de 4 mm de espesor y placas de acero A36 de 7 mm, soporta las cargas estáticas y dinámicas generadas durante el ciclo. El diseño garantiza que las deformaciones bajo carga sean despreciables frente a las tolerancias del mecanismo biela-balancín.</p>                    |
| <p>Cojinetes y rodamientos</p>  | <p>Permiten el movimiento relativo entre los ejes y la estructura fija reduciendo la fricción en los puntos de pivote del mecanismo. Se emplearon rodamientos de bolas de ranura profunda (20x48 mm) en el eje de la manivela y el eje de pivote del balancín, por su capacidad para soportar cargas radiales y axiales combinadas, su bajo costo y su amplia disponibilidad comercial en los diámetros requeridos.</p> |

Los componentes descritos en la tabla anterior conforman el subsistema mecánico estructural y de corte del prototipo. Su selección y dimensionamiento responden a los cálculos de resistencia de materiales desarrollados en la etapa de diseño, considerando la fuerza de corte máxima de 1500 N y un factor de seguridad  $FS = 3,0$  para cargas dinámicas de impacto repetitivo.

### 3.8. SISTEMAS DE CONTROL

El sistema de control es el cerebro de cualquier máquina ya que su función es gestionar el encendido, la secuencia de operación, la detección de condiciones de trabajo y la protección ante eventos inesperados. En el presente proyecto, el sistema de control implementado es de lógica cableada, compuesto por botoneras, contactor, relé de protección térmica y un final de carrera como elemento de retroalimentación de posición.

### 3.8.1. Circuitos de Control de Mando Eléctrico

Los circuitos de mando eléctrico son la base de la automatización industrial clásica. Se componen de elementos de mando (pulsadores, selectores, finales de carrera) y elementos de potencia (contactores, relés) que permiten controlar el encendido y apagado de motores y actuadores de manera segura y confiable. La lógica de control cableada, aunque no posee la flexibilidad de un PLC, presenta alta robustez, bajo costo y facilidad de mantenimiento, siendo muy adecuada para máquinas con ciclos de operación fijos y repetitivos [25].

En el sistema diseñado, el circuito de control incorpora un botón de marcha (NO - normalmente abierto) que energiza el contactor principal del motor, un paro de emergencia (NC - normalmente cerrado) que, para el funcionamiento del circuito ante cualquier contingencia, y un contacto auxiliar de enclavamiento que mantiene energizado el contactor después de soltar el botón de marcha, garantizando la operación continua de la máquina.

### 3.9. ELEMENTOS ELÉCTRICOS

El sistema eléctrico de una máquina electromecánica está conformado por dos circuitos diferenciados: el circuito de potencia, que conduce la corriente de trabajo hacia el motor, y el circuito de mando o control, que gestiona las señales de inicio, parada y seguridad del proceso. Los elementos que componen estos circuitos deben seleccionarse en función de la corriente nominal del motor, las condiciones de operación y los requisitos de seguridad establecidos por la normativa eléctrica aplicable.

Tabla 5: Resumen de componentes del sistema electromecánico

| Componente                                | Imagen                                                                              | Concepto y función en el sistema                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Motor eléctrico</b><br><b>WEG 2 HP</b> |  | Actuador principal del sistema.<br>Convierte la energía eléctrica monofásica de 110 V en movimiento rotacional. Opera a 1720 RPM y 27,6 A de corriente nominal, proporcionando la potencia mecánica necesaria para vencer la resistencia de corte de la cáscara del coco. |

---

**Interruptor  
termomagnético  
bipolar 40 A**



Dispositivo de protección general del circuito eléctrico. Combina protección térmica ante sobrecargas sostenidas y protección magnética ante cortocircuitos. La curva D tolera los picos de arranque del motor sin disparo erróneo. El carácter bipolar interrumpe simultáneamente fase y neutro.

---

**Contactador 40 A  
AC-3**



Dispositivo electromecánico de maniobra que conecta y desconecta el motor bajo la orden del circuito de mando. Su bobina a 110 V cierra los contactos principales al energizarse. Los contactos auxiliares NA y NC permiten implementar el enclavamiento del ciclo de corte. Categoría AC-3 para arranque directo de motores de jaula.

---

**Pulsador de  
marcha (NA)**



Elemento de mando de acción momentánea con contacto normalmente abierto. Al ser presionado por el operario inicia el ciclo de corte energizando la bobina del contactor. El contacto auxiliar del contactor toma en paralelo al pulsador (enclavamiento), permitiendo soltar el botón sin interrumpir el ciclo. Se identifica con color verde.

---

---

**Paro de  
emergencia  
(NC)**



Pulsador tipo hongo con enclavamiento de giro y contacto normalmente cerrado. Conectado en serie con el circuito de mando, su accionamiento interrumpe inmediatamente la bobina del contactor deteniendo el motor en cualquier punto del ciclo. Requiere desbloqueo manual para el re arranque. Color rojo sobre fondo amarillo (norma IEC 60073). Obligatorio según Decreto Ejecutivo 255.

---

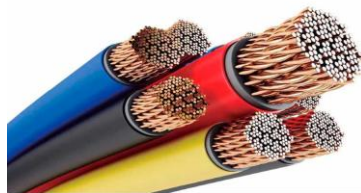
**Final de carrera**



Sensor electromecánico de posición que detecta el retorno de la cuchilla a la posición STOP al término de cada ciclo. Al ser accionado por el mecanismo móvil, envía la señal de RESET al circuito de mando desenergizando la bobina del contactor y deteniendo el motor exactamente en la posición de seguridad.

---

**Conductores  
AWG**



Transportan la corriente desde el tablero de distribución hasta el motor. El AWG se seleccionó para mantener la caída de tensión en los bornes del motor por debajo del 5% del valor nominal, garantizando el torque suficiente durante el proceso de corte a 110 V con 27,6 A de corriente nominal.

---

### **3.10. SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL**

La seguridad industrial es el conjunto de normas, procedimientos y dispositivos técnicos orientados a prevenir accidentes laborales y enfermedades profesionales en los entornos de trabajo. En el diseño de maquinaria, la seguridad debe ser considerada desde la fase

de concepción del sistema, no como un elemento adicional, sino como un requisito fundamental de diseño que determina la configuración mecánica, eléctrica y de control del equipo.

### **3.10.1. Normativa de Seguridad en Máquinas**

Las normas internacionales de seguridad en maquinaria industrial establecen los requisitos mínimos que deben cumplir los equipos para garantizar la integridad física de los operadores. La norma ISO 12100:2010 define los principios generales para la evaluación y reducción de riesgos en maquinaria, estableciendo una metodología de tres pasos: identificación del peligro, estimación del riesgo y reducción del riesgo mediante diseño seguro, dispositivos de protección o información para el usuario [26]. En Ecuador, el Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores (Decreto Ejecutivo 2393) establece las condiciones mínimas de seguridad para máquinas y equipos utilizados en los centros de trabajo.

Para máquinas con elementos cortantes o rotativos, la normativa exige la instalación de guardas de protección que impidan el acceso de las extremidades del operario a las zonas de peligro durante el ciclo de trabajo. Las guardas deben ser fijas o con enclavamiento, de modo que, si son retiradas para mantenimiento, el equipo no pueda ser puesto en marcha [26].

### **3.10.1. Decreto Ejecutivo 255**

El Decreto Ejecutivo 255, que establece el Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores del Ecuador, constituye el marco legal vigente en materia de prevención de riesgos laborales en el territorio nacional. Este reglamento define las obligaciones del empleador en cuanto a la identificación, evaluación y control de los riesgos presentes en los puestos de trabajo, así como los derechos de los trabajadores a laborar en condiciones que preserven su integridad física y mental [27].

En lo referente al diseño y operación de maquinaria industrial, el reglamento establece que todo equipo de trabajo debe contar con los dispositivos de protección necesarios para evitar el contacto accidental de los operarios con partes móviles, elementos cortantes o zonas de alta tensión. Específicamente, se exige la instalación de guardas de seguridad en mecanismos de transmisión como ejes, poleas y engranajes, así como la incorporación de

dispositivos de parada de emergencia de acción directa y fácil acceso para el operario [27].

El reglamento también establece disposiciones sobre las condiciones del entorno de trabajo, incluyendo niveles mínimos de iluminación, ventilación, señalización de zonas de peligro y uso de equipos de protección personal (EPP). Para trabajos con herramientas cortantes o maquinaria de procesamiento de alimentos, se requiere adicionalmente el cumplimiento de normas de higiene industrial que prevengan la contaminación del producto y protejan la salud del trabajador [27].

El cumplimiento de estas disposiciones legales fue considerado como requisito de diseño en el presente proyecto, orientando las decisiones sobre la incorporación del paro de emergencia, las guardas de protección del mecanismo de transmisión y la selección de materiales de grado alimenticio para los elementos en contacto con el producto.

### **3.10.2. Análisis de Riesgos Mecánicos**

El análisis de riesgos mecánicos consiste en identificar y evaluar todos los peligros presentes en una máquina que puedan causar lesiones físicas a los operarios. Los peligros mecánicos más frecuentes en maquinaria de corte incluyen: puntos de atrapamiento entre partes móviles, zonas de corte expuestas, proyección de fragmentos por la operación de corte, y contacto con superficies calientes generadas por fricción. En la máquina diseñada en el presente proyecto, se identificaron como principales riesgos el contacto accidental con la cuchilla durante el ciclo de corte y el atrapamiento en el mecanismo de transmisión (eje de la caja reductora y acoplamiento)

Para mitigar estos riesgos se implementaron las siguientes medidas: diseño de una guarda metálica sobre el mecanismo de transmisión, restricción del acceso a la zona de corte mediante una carcasa de contención, instalación del paro de emergencia en posición accesible al operario, y señalización de zonas de peligro según código de colores de la norma INEN 439.

### **3.10.3. Fatiga Laboral y Movimientos Repetitivos**

La fatiga laboral es un estado de disminución funcional del organismo generado por la acumulación de esfuerzo físico o mental durante la jornada de trabajo. En actividades que requieren la aplicación repetitiva de fuerza con las extremidades superiores, como el corte

manual de cocos, la fatiga se acumula progresivamente afectando la precisión del movimiento, el tiempo de reacción y la resistencia muscular del trabajador [28].

Estos efectos incrementan significativamente el riesgo de accidentes por pérdida de control de la herramienta.

Los trastornos musculoesqueléticos (TME) relacionados con movimientos repetitivos son una de las principales causas de baja laboral en trabajos de manufactura y procesamiento de alimentos. El síndrome del túnel carpiano, la epicondilitis lateral y las cervicalgias son patologías frecuentes en trabajadores que realizan cortes manuales de forma continua.

### **3.11. HIGIENE Y MATERIALES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA**

El procesamiento de alimentos impone requisitos adicionales sobre el diseño de maquinaria en lo referente a los materiales de construcción y las condiciones de higiene. Los equipos que entran en contacto directo o indirecto con alimentos o bebidas deben estar fabricados con materiales que no aporten sustancias tóxicas al producto, sean de fácil limpieza y no favorezcan la proliferación microbiana. Estos criterios son especialmente relevantes para la máquina cortadora de coco de agua, cuya cuchilla entra en contacto directo con el líquido interior del fruto.

- **El acero inoxidable AISI 304:** Es una aleación austenítica compuesta principalmente por hierro (Fe), cromo (Cr 18-20%) y níquel (Ni 8-10%), cuya combinación le confiere una excepcional resistencia a la corrosión en ambientes húmedos y ácidos. Esta resistencia se debe a la formación de una capa pasiva de óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) en la superficie del material, que actúa como barrera protectora contra agentes corrosivos <sup>[21]</sup>. Su grado alimenticio (food-grade) implica que la superficie no migra iones metálicos ni compuestos tóxicos al entrar en contacto con alimentos o bebidas, cumpliendo con las regulaciones sanitarias internacionales (FDA, CE) para equipos de procesamiento de alimentos.

Para aplicaciones en contacto con alimentos líquidos como el agua de coco, el acero inoxidable AISI 304 con acabado sanitario ( $R_a \leq 0,8 \mu\text{m}$ ) es la elección técnica más adecuada para los elementos cortantes y superficies de contacto del equipo. Este acabado superficial liso impide la adhesión de residuos orgánicos y facilita la limpieza con agua y agentes desinfectantes, reduciendo el riesgo de contaminación microbiológica del producto [29]

### **3.11.1. Mantenimiento y Limpieza: Diseño Sanitario**

El diseño sanitario de equipos para la industria alimentaria sigue principios establecidos por organismos como la 3-A Sanitary Standards Inc. y las normas EHEDG (European Hygienic Engineering & Design Group). Estos principios incluyen: eliminación de ángulos rectos y grietas internas donde puedan acumularse residuos; uso de uniones soldadas con acabado sanitario en lugar de remaches o tornillos expuestos; diseño de drenaje por gravedad para facilitar el vaciado completo de líquidos; y accesibilidad a todas las superficies de contacto para su limpieza manual o automática [29]. La aplicación de estos principios en la máquina cortadora de coco garantiza que el producto no sea contaminado durante el proceso y que el equipo pueda ser higienizado de forma efectiva al final de cada jornada de trabajo.

El mantenimiento preventivo de los componentes mecánicos (lubricación de la caja reductora, verificación del apriete de elementos de fijación, inspección de la cuchilla) y de los componentes eléctricos (verificación del estado de los contactores, limpieza de terminales, comprobación del paro de emergencia) es fundamental para garantizar la vida útil del equipo y la seguridad de los operarios.

## **4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS**

### **4.1. METODOLOGÍA WATERFALL (CASCADA)**

Para estructurar el desarrollo del proyecto se adoptó la metodología Waterfall o modelo en cascada, la cual organiza el trabajo en fases secuenciales. Esta metodología es adecuada para proyectos de ingeniería con requisitos definidos desde el inicio y un resultado físico tangible esperado. Las fases aplicadas fueron: Análisis, Diseño, Implementación, Pruebas y Ajustes.

### **4.2. ETAPA DE ANÁLISIS**

En la etapa de análisis se identifica los requerimientos del sistema a partir del proceso actual de corte manual del agua de coco. Por lo que tomó en consideración principalmente las características físicas y funcionales del objeto de trabajo para definir claramente las condiciones de operación del sistema mecanizado.

- **Requisitos Funcionales y No Funcionales**

A partir del análisis de las necesidades operativas en el proceso de corte del agua de coco, se establecieron las especificaciones técnicas indispensables que guían el diseño del sistema electromecánico. Estos requerimientos se han clasificado en Requisitos Funcionales (RF), que definen las acciones directas del mecanismo y sistema de control, y Requisitos No Funcionales (RNF), que determinan las restricciones operativas, materiales y de seguridad.

Tabla 6: Requisitos Funcionales (RF)

| <b>Código</b>                                                                                                      | <b>Requisito Funcional</b> | <b>Descripción / Criterio Técnico</b>                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RF-01                                                                                                              | Accionamiento de corte     | Realizar el corte del fruto mediante una cuchilla impulsada mecánicamente por el sistema motor-reductor.                      |
| RF-02                                                                                                              | Inicio de ciclo            | Activar la secuencia de trabajo únicamente tras accionar un pulsador manual de marcha.                                        |
| RF-03                                                                                                              | Control de trayectoria     | Desplazar la cuchilla desde la posición de reposo/STOP, descender hasta el límite de corte y retornar automáticamente.        |
| RF-04                                                                                                              | Detención por posición     | Detener el motor mediante un sensor final de carrera en el momento exacto en que la cuchilla retorne a la posición de reposo. |
| RF-05                                                                                                              | Sujeción del fruto         | Mantener inmóvil el coco de agua durante la penetración de la cuchilla para evitar desplazamientos o vibraciones.             |
| RF-06                                                                                                              | Parada de emergencia       | Interrumpir de forma directa e inmediata la energía del sistema ante cualquier anomalía mediante un pulsador.                 |
| RF-07                                                                                                              | Protección eléctrica       | Desconectar automáticamente la alimentación del motor en caso de sobrecarga o cortocircuito.                                  |
| Los RF consiste la mayor parte del funcionamiento del sistema donde cuyos puntos nos ayudara a realiza la máquina. |                            |                                                                                                                               |

Tabla 7: Requisitos No Funcionales (RNF)

| <b>Código</b> | <b>Requisito No Funcional</b> | <b>Descripción / Criterio Técnico</b>                                                                                         |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RNF-01        | Inocuidad alimentaria         | Emplear acero inoxidable AISI 304 en todos los componentes en contacto directo con el fruto o sus fluidos.                    |
| RNF-02        | Modo de operación             | Funcionar bajo un esquema semiautomático, requiriendo intervención humana solo para la carga y descarga manual.               |
| RNF-03        | Alimentación eléctrica        | Operar con la red de suministro de energía alterna disponible en el área de trabajo.                                          |
| RNF-04        | Ergonomía y seguridad         | Ofrecer una altura de trabajo confortable para el operador y contar con protecciones físicas en las zonas de riesgo mecánico. |
| RNF-05        | Factibilidad y mantenibilidad | Usar componentes eléctricos comerciales estándar para reducir costos de mantenimiento.                                        |

- **Análisis Cinemático de Ciclos**

Con el motor operando a su velocidad nominal de placa y la reducción mecánica de la caja reductora, se determinó la cadencia de operación de la máquina mediante la Ecuación (4.1):

$$n_{salida} = n_{motor} / i \quad (4.1)$$

Donde:

$n_{salida}$  = Velocidad de rotación en el eje de la manivela [RPM]

$n_{motor}$  = Velocidad nominal del motor WEG a plena carga = 1720 RPM

$i$  = Relación de transmisión de la caja reductora = 30

Este resultado indica un tiempo de ciclo aproximado de 1,04 segundos por corte, valor óptimo para una máquina semiautomática que permite al operario cargar y retirar el coco entre ciclos sin comprometer su seguridad.

- **Determinación de la Potencia y Esfuerzo de Corte**

El diseño del sistema parte de la necesidad de seccionar la cáscara del coco, material compuesto por fibras de alta tenacidad. Se aplicó el criterio de fuerza de penetración máxima para asegurar que el motor no entre en pérdida (stall) durante el impacto inicial. El diseño se dimensionó para el caso más desfavorable, correspondiente a un coco seco o maduro de máxima dureza.

La potencia útil requerida en la punta de la cuchilla se calculó mediante la Ecuación (4.2):

$$P_{util} = F_{corte} \times v \quad (4.2)$$

Donde:

$P_{util}$  = Potencia requerida en la punta de la herramienta [W]

$F_{corte}$  = Fuerza de corte estimada para la cáscara de coco maduro = 1500 N

$v$  = Velocidad lineal de avance de la cuchilla = 0,5 m/s

$$P_{util} = 1500 \text{ N} \times 0,5 \text{ m/s} = 750 \text{ W}$$

Considerando la eficiencia combinada del mecanismo biela-balancín y la caja reductora de tornillo sin fin, la potencia eléctrica requerida al motor se obtuvo mediante la Ecuación (4.3):

$$P_{motor} = P_{util} / \eta_{total} \quad (4.3)$$

Donde:

$P_{motor}$  = Potencia eléctrica requerida al motor [W]

$P_{util}$  = Potencia útil calculada = 750 W

$\eta_{total}$  = Eficiencia combinada del mecanismo y el reductor = 0,65

$$P_{motor} = 750 / 0,65 \approx 1153,8 \text{ W} \approx 1,26 \text{ kW}$$

Este resultado justifica la selección de un motor de 2 HP (1,50 kW), que supera el valor calculado dejando un margen operativo para absorber la inercia del sistema y los picos de carga durante el corte [18].

#### 4.3. SELECCIÓN DE MATERIALES

Para la construcción del sistema mecanizado, se realizó una selección de materiales basada en tres criterios fundamentales: resistencia mecánica (capacidad para soportar

cargas y esfuerzos de corte), durabilidad (resistencia a la corrosión y fatiga) y compatibilidad alimentaria (ya que el producto final es para consumo humano).

Se optó por materiales que garanticen la integridad estructural del prototipo y la higiene del proceso. A continuación, se detallan los materiales seleccionados y su justificación técnica:

Tabla 8: Análisis de materiales

| <b>Componente</b>                   | <b>Material Seleccionado</b>    | <b>Justificación Técnica</b>                                                                                                  |
|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Esqueleto o estructura</b>       | Acero Galvanizado (ASTM A36)    | Alta resistencia a esfuerzos mecánicos, resistencia a la corrosión y facilidad de ensamblaje.                                 |
| <b>Elemento de Corte (Cuchilla)</b> | Acero Inoxidable (AISI 304/316) | Alta resistencia a la corrosión por fluidos orgánicos, durabilidad del filo y cumplimiento de normativa de grado alimentario. |
| <b>Sistema biela balancín</b>       | Acero Estructural (ASTM A36)    | Buena maquinabilidad, rigidez estructural y facilidad de soldadura para transmitir esfuerzos cinemáticos.                     |
| <b>Recubrimientos / Pintura</b>     | Pintura Epóxica                 | Protección anticorrosiva complementaria y facilitación del lavado/higiene del equipo.                                         |

La elección del Acero Inoxidable para las partes en contacto directo con el coco (cuchilla y guías) es crítica para cumplir con las normas de inocuidad alimentaria, evitando la contaminación por oxidación. Por otro lado, el uso de acero estructural en el bastidor garantiza que el conjunto no presente deformaciones elásticas excesivas ante las fuerzas de reacción generadas durante la operación de corte

#### 4.4. ETAPA DE DISEÑO

La Figura 4-1: Diseño mecánico comprende la etapa de diseño, selección, dimensionamiento y descripción de los componentes del sistema. El sistema se divide en tres subsistemas: mecánico (mecanismo de corte y estructura), eléctrico (motor y protecciones) y de control (circuito de mando con lógica cableada).

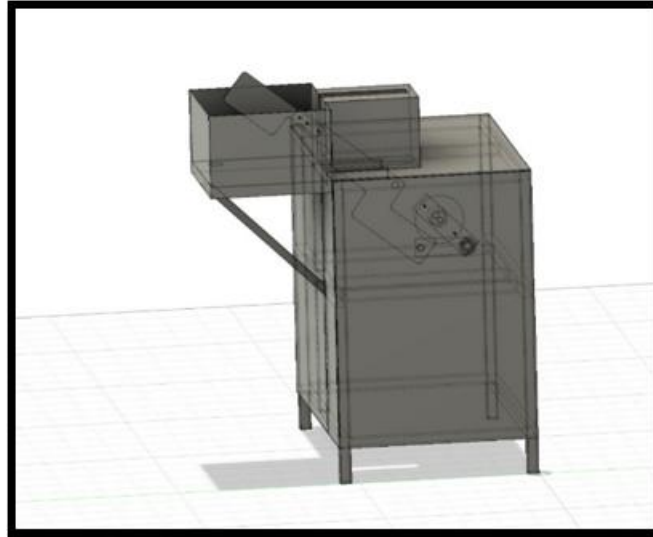


*Figura 4-1: Diseño mecánico*

#### **4.4.1. Diseño del Mecanismo Biela-Balancín**

El mecanismo de corte adoptado es un sistema biela-balancín que convierte la rotación continua del eje de salida de la caja reductora en un movimiento angular oscilante de la cuchilla, requiriendo un único actuador para el ciclo completo de corte y retorno. La carrera angular requerida se determinó a partir de las posiciones límite de operación mediante la Ecuación (4.4):

$$\Delta\theta = \theta_{Stop} - \theta_{Corte} \quad (4.4)$$

Donde:

$\Delta\theta$  = Carrera angular total de la cuchilla [°]

$\theta_{Stop}$  = Ángulo de posición de reposo (STOP) = 70°

$\theta_{Corte}$  = Ángulo de posición de corte = -10°

La componente vertical de desplazamiento de la punta de la cuchilla, que determina la profundidad efectiva de penetración sobre el coco, se calculó mediante la Ecuación (4.5):

$$h = r \cdot [\cos(\theta_{Corte}) - \cos(\theta_{Stop})] \quad (4.5)$$

Donde:

$h$  = Desplazamiento vertical de la punta de la cuchilla [mm]

$r$  = Longitud de la cuchilla desde el pivote hasta la punta = 300 mm

$\theta_{Corte}$  = Ángulo de posición de corte = -10°

$$\theta_{\text{Stop}} = \text{Ángulo de posición de reposo} = 70^\circ$$

Este desplazamiento vertical de 192,8 mm supera ampliamente la profundidad de corte requerida para penetrar la cáscara del coco (estimada en 30 mm), ofreciendo un margen de posicionamiento que compensa la variabilidad dimensional de los cocos procesados.

Las longitudes de los componentes del mecanismo se determinaron mediante la geometría del mecanismo de cuatro barras en sus posiciones extremas. Las distancias entre pivotes en cada posición límite se calcularon mediante las Ecuaciones (4.6) y (4.7):

$$C1^2 = R^2 + L1^2 + L3^2 - 2 \cdot L1 \cdot L3 \cdot \cos(\theta_{\text{Corte}}) \quad (4.6)$$

Donde:

C1 = Distancia entre pivotes en posición de corte [mm]

R = Radio de la manivela = 25 mm

L1 = Distancia fija entre ejes = 120 mm

L3 = Longitud del balancín = 100 mm

$\theta_{\text{Corte}} = \text{Ángulo de corte} = -10^\circ$

$$C2^2 = R^2 + L1^2 + L3^2 - 2 \cdot L1 \cdot L3 \cdot \cos(\theta_{\text{Stop}}) \quad (4.7)$$

Donde:

C2 = Distancia entre pivotes en posición STOP [mm]

$\theta_{\text{Stop}} = \text{Ángulo de reposo} = 70^\circ$

La longitud de la biela se determinó como el promedio de las distancias extremas mediante la Ecuación (4.8):

$$L2 = (C1 + C2) / 2 \quad (4.8)$$

Donde:

L2 = Longitud de la biela [mm]

C1 = Distancia entre pivotes en posición de corte = 37,3 mm

C2 = Distancia entre pivotes en posición STOP = 129,7 mm

Tabla 9: Resumen de dimensiones del mecanismo biela-balancín

| Componente | Símbolo | Valor Calculado | Valor Práctico |
|------------|---------|-----------------|----------------|
|------------|---------|-----------------|----------------|

|                           |    |         |        |
|---------------------------|----|---------|--------|
| Radio de manivela         | R  | 25 mm   | 25 mm  |
| Longitud del balancín     | L3 | 100 mm  | 100 mm |
| Longitud de la biela      | L2 | 83,5 mm | 85 mm  |
| Distancia fija entre ejes | L1 | 120 mm  | 120 mm |

Con los cálculos realizados se diseñó el mecanismo de biela-balancín que convertirá el movimiento rotacional del motor en un movimiento angular limitado que permitirá cortar el Coco de la manera deseada,

En la Figura 4-1: Diseño mecánico es el propuesto para cumplir con este fin; ya que presenta una propuesta cinemática del mecanismo, presentando un diagrama de cuerpo libre que representa el movimiento y los eslabones que se van a utilizar, en este se detalla también el rango de movimiento angular que tendrá cada unión de pivote y utilizando la Tabla 9: Resumen de dimensiones del mecanismo biela-balancín se calcula los grados de libertad del mecanismo dando como resultado que el mecanismo propuesto tiene un grado de libertad.

$$M = 3(n - 1) - 2(J_1) - J_2 \quad (4.1)$$

Donde:

M= Movilidad

n = Número de eslabones

J<sub>1</sub> = Número de pares inferiores de un grado de libertad.

J<sub>2</sub> = Número de pares superiores de dos grados de libertad.

$$M = 3(4 - 1) - 2(4) - 0$$

$$M = 9 - 8$$

$$M = 1$$



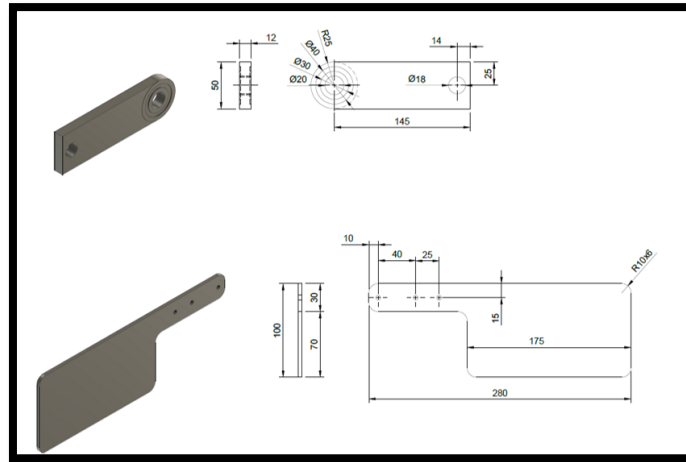


Figura 4-4: Biela y cuchilla

El ultimo componente del mecanismo corresponde al balancín, este componente es en el que se acopla la cuchilla y realiza el corte, la Figura 4-4: Biela y cuchilla presenta el plano correspondiente a esta pieza.

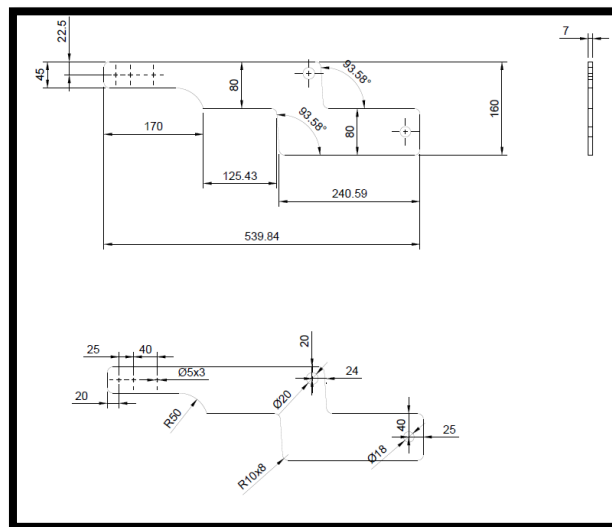


Figura 4-5: Balancín

#### 4.4.2. Dimensionamiento de Ejes y Pasadores

El dimensionamiento de los ejes y pasadores se realizó aplicando el criterio de esfuerzo cortante máximo, utilizando acero estructural A36 ( $\sigma_y = 250$  MPa) con un factor de seguridad  $FS = 3,0$  para cargas dinámicas de impacto. El esfuerzo cortante admisible se obtuvo mediante la Ecuación (4.9):

$$\tau_{adm} = \sigma_y / (2 \cdot FS) \quad (4.9)$$

Donde:

$\tau_{adm}$  = Esfuerzo cortante admisible [MPa]

$\sigma_y$  = Esfuerzo de fluencia del acero A36 = 250 MPa

FS = Factor de seguridad para cargas dinámicas = 3,0

El torque máximo transmitido por el eje de salida de la caja reductora se calculó mediante la Ecuación (4.10):

$$\tau_{max} = P_{motor} / \omega_{manivela} \quad (4.10)$$

Donde:

$\tau_{max}$  = Torque máximo en el eje de la manivela [N·m]

$P_{motor}$  = Potencia nominal del motor = 1500 W

$\omega_{manivela}$  = Velocidad angular de la manivela = 57,3 RPM  $\times (2\pi/60) \approx 6,0$  rad/s

El diámetro mínimo del eje de la manivela se determinó aplicando la fórmula de torsión, Ecuación (4.11):

$$d = \sqrt[3]{(16 \cdot \tau_{max} / (\pi \cdot \tau_{adm}))} \quad (4.11)$$

Donde:

$d$  = Diámetro mínimo del eje [mm]

$\tau_{max}$  = Torque máximo = 250 N·m = 250000 N·mm

$\tau_{adm}$  = Esfuerzo cortante admisible = 41,6 N/mm<sup>2</sup>

Para los pasadores de la biela, sometidos a corte puro y ciclos repetitivos de impacto, se seleccionó un diámetro de 12 mm, valor que ofrece un amplio margen de seguridad respecto al diámetro mínimo teórico calculado de 6,77 mm, previniendo el cizallamiento por fatiga.

Una vez dimensionado todo el mecanismo se estableció la propuesta de la Figura 4-6: Esqueleto sirve como esqueleto para sostener toda la estructura, manteniendo así un espacio adecuado para la instalación de los componentes mecánicos como el motor y la caja reductora, también para el asentamiento y fijación del mecanismo de biela-balancín y la caja para los componentes eléctricos necesarios para la operación de la máquina.

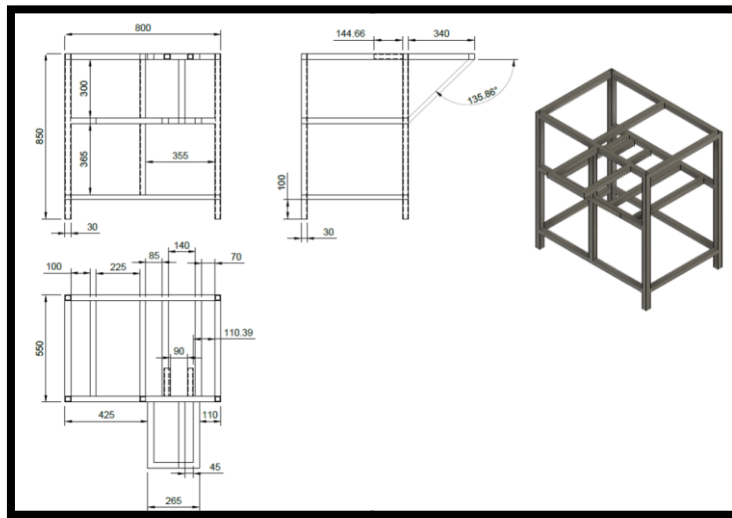


Figura 4-6: Esqueleto

En adición también se diseñó una tapa que cubra la estructura interna de posibles salpicaduras en el momento del corte, protegiendo así el mecanismo de corte, los componentes de potencia y las conexiones eléctricas, los planos correspondientes a esta pieza se detallan en la figura 12.

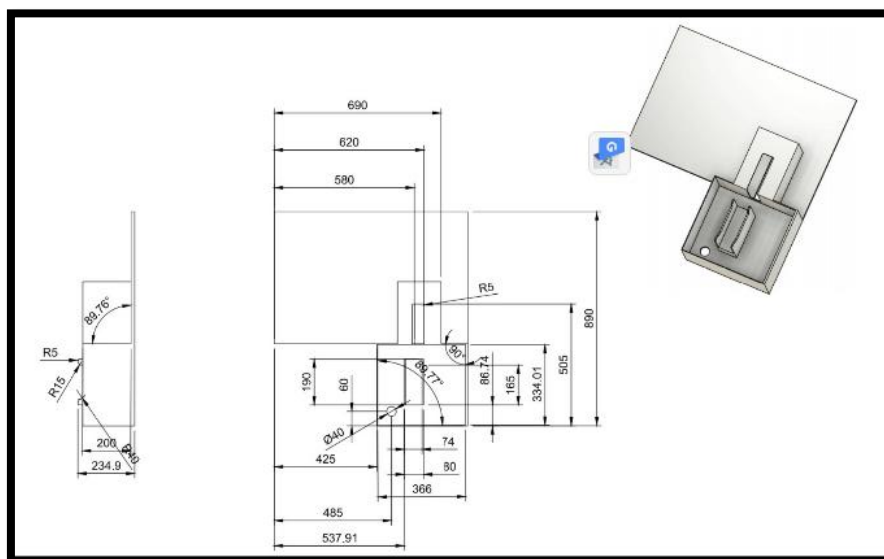


Figura 4-7: Tapa superior

Para finalizar con el diseño mecánico se establecieron las características presentadas en el plano de la Figura 4-7: Tapa superior una base en la que se instalaran el motor seleccionado, la caja reductora y donde se va a sostener el balancín del mecanismo de corte.

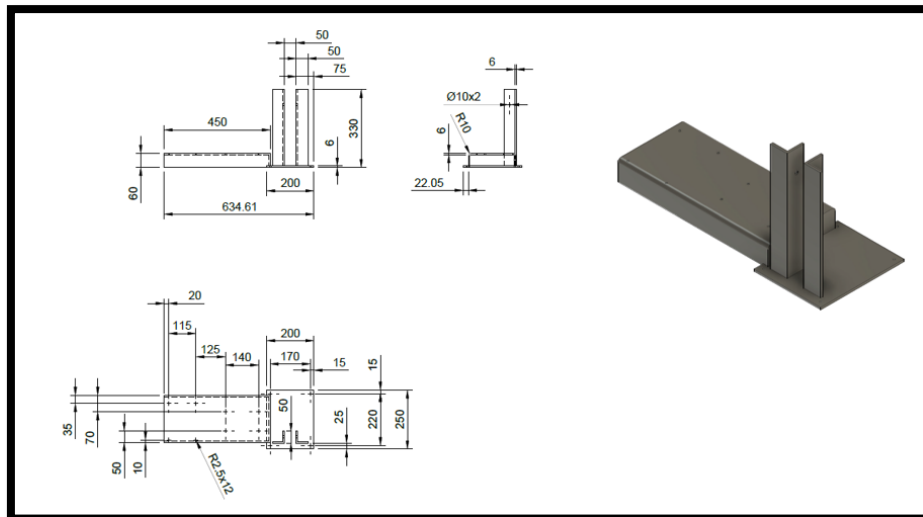


Figura 4-8: Base de motor y caja reductora

La Figura 4-8: Base de motor y caja reductora muestra las medidas con las cuales se trabajó la pieza, diseñando primero el plano y luego llevándolo a la realidad

La Figura 4-9: Ensamblaje de mecanismo de corte muestra ya el mecanismo ya diseñado en 3d, para que se tenga una vista previa de como estaría funcionando el movimiento del sistema ya ensamblado.

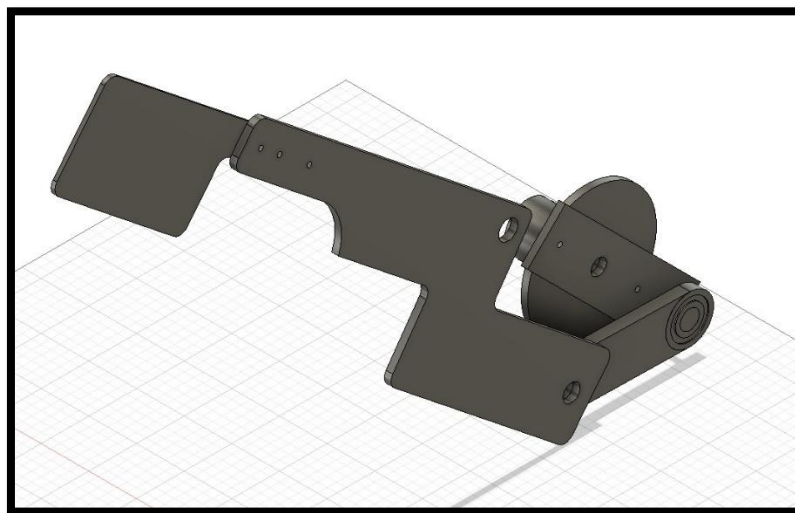


Figura 4-9: Ensamblaje de mecanismo de corte

#### 4.4.3 Dimensionamiento de poleas

Basado en las especificaciones de revoluciones del motor de 2Hp que se va a usar y del requerimiento de revoluciones de entrada en la caja reductora se realizará un cálculo para dimensionar las poleas necesarias para mantener esta relación de revoluciones entre los componentes.

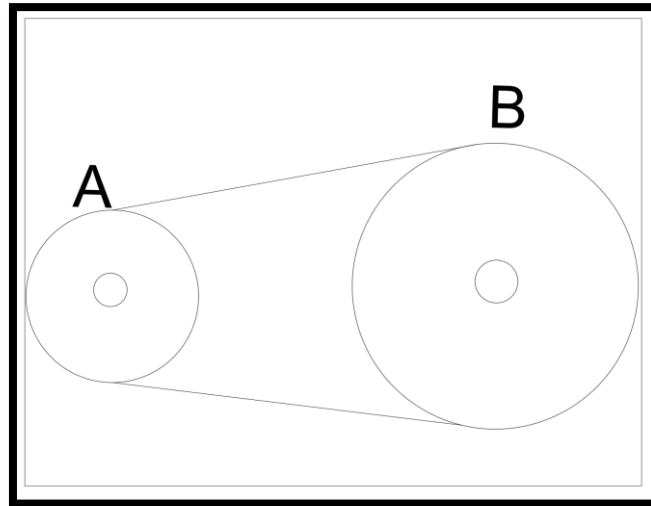


Figura 4-10: Poleas A y B

#### 4.4.3.1. Ecuación de polea conducido

$$Tp = \frac{\phi A * RPM}{RPM}$$

TA= tamaño de la polea motriz

RPMA= velocidad de salida del motor

RPMB= velocidad de entrada de la polea conducida

$Tp$  = tamaño de polea conducida

$$Tp = \frac{4in * 1720RPM}{860RPM} = 8in$$

$Tp$  = tamaño de polea conducida

$$Tp = 8in$$

#### 4.4.4. Cálculo de rpm de entrada a la caja reductora

Ecuación de Rpm de entrada a la caja reductora

A= diámetro de la polea motriz

B= diámetro de la polea conducida

RPMA = la velocidad de salida del motor

$$RPMB = \frac{\phi A * RPMA}{\phi B}$$

$$RPM_B = \frac{4in * 1720RPM_A}{8in} = 860$$

$$RPM_B = 860$$

Con el mecanismo diseñado y adaptado a los requerimientos presentados previamente, se realizó un estudio de cargas para validar la resistencia de la estructura frente a los esfuerzos que va a soportar al momento de realizar los cortes, donde se cumple con el criterio aplicando un factor de seguridad.

#### 4.4.4.1. Diseño del Sistema Eléctrico de Potencia

El dimensionamiento del sistema eléctrico se realizó con base en los datos de placa del motor WEG seleccionado (110 V / 27,6 A) presentada en la Figura 4-11: Placa de motor 2HP y aplicando un factor de seguridad del 25% sobre la corriente nominal, conforme a la práctica estándar de diseño eléctrico industrial. La corriente de diseño se calculó mediante la Ecuación (4.12):

$$I_d = I_n \cdot FS \quad (4.12)$$

Donde:

$I_d$  = Corriente de diseño [A]

$I_n$  = Corriente nominal de placa del motor WEG = 27,6 A

FS = Factor de seguridad = 1,25

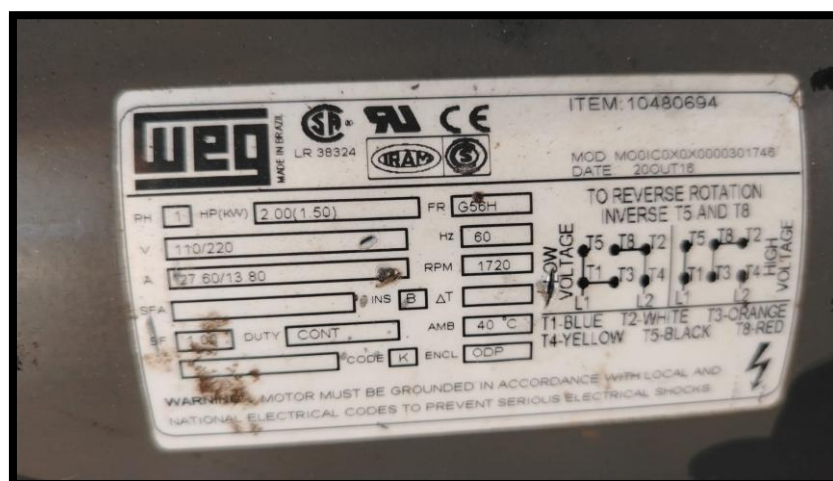


Figura 4-11: Placa de motor 2HP

Con base en la corriente de diseño de 34,5 A se seleccionaron los componentes del circuito eléctrico de potencia detallados en la Tabla 10.

Tabla 10: Componentes del sistema eléctrico de potencia seleccionados

| Componente            | Especificación | Criterio de Selección                                                                           |
|-----------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Breaker bipolar       | 40 A, Curva D  | Protege ante cortocircuitos; curva D tolera picos de arranque del motor sin disparo errático    |
| Contactor             | 40 A, AC-3     | Opera holgadamente con $I_d = 34,5$ A; categoría AC-3 para arranque directo de motores de jaula |
| Conductor de potencia | 8 AWG          | Previene caída de tensión $> 5\%$ a 110 V que reduciría el torque disponible durante el corte   |

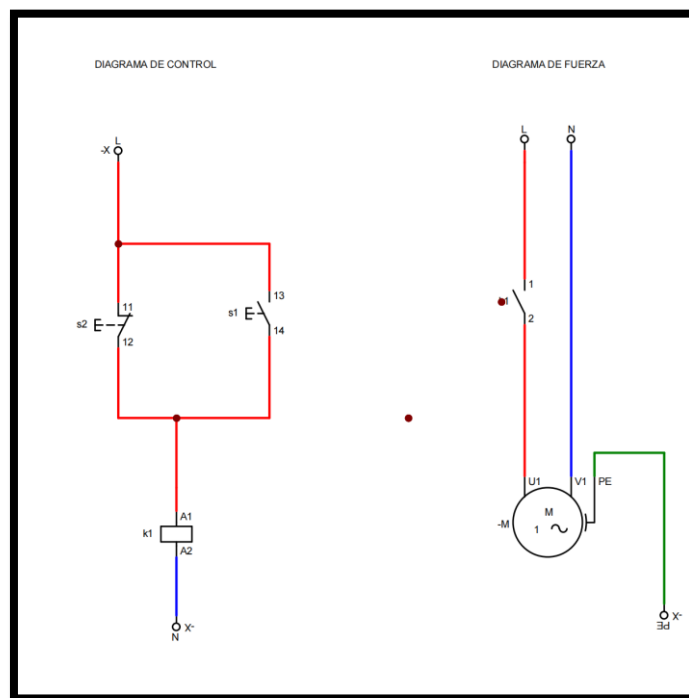


Tabla 11: Diagrama eléctrico

#### 4.5. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL CON LÓGICA CABLEADA

El sistema de control implementado se basa en lógica cableada mediante la combinación de contactos eléctricos que emulan el comportamiento de compuertas lógicas, prescindiendo de microcontroladores. Este enfoque ofrece alta inmunidad a ruidos electromagnéticos (EMI) generados por el motor de alto consumo, mayor robustez en entornos industriales y menor costo de implementación.

#### 4.5.1. Entradas del Sistema

Se especifican las medidas de los ángulos de la máquina:

Tabla 12: Ángulos de operación de la cuchilla medidos

| Parámetro                         | Descripción                                                     | Valor Medido |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>Ángulo máximo (STOP)</b>       | Posición más alta de la cuchilla, zona segura de carga/descarga | 81.5°        |
| <b>Ángulo mínimo (corte)</b>      | Posición más baja alcanzada durante el ciclo de corte           | 22.2°        |
| <b>Carrera angular total</b>      | Recorrido total de la cuchilla por ciclo                        | 60.3°        |
| <b>Avance inercial tras RESET</b> | Desplazamiento adicional por inercia al frenar                  | 52.2°-58.5°  |

El ángulo máximo de 81.5° corresponde a la posición de reposo o STOP de la cuchilla, es decir, el punto más elevado que alcanza el balancín al completar cada ciclo. En esta posición la cuchilla se encuentra completamente retirada de la zona de trabajo, dejando un espacio suficiente para que el operario retire el coco procesado y posicione uno nuevo sin riesgo de contacto con la herramienta.

El ángulo mínimo de 22.2° representa el punto más bajo que alcanza la cuchilla durante el ciclo de corte, correspondiente al punto muerto inferior del mecanismo biela-balancín. En esta posición la cuchilla ha penetrado completamente la cáscara del coco, garantizando el seccionamiento total del fruto en un único ciclo de operación.

La carrera angular total de 60.3° es el recorrido efectivo que realiza la cuchilla entre la posición STOP y la posición de corte en cada ciclo. Este valor confirma que el mecanismo fabricado cumple con el rango de movimiento requerido para el procesamiento del rango de tamaños de coco esperados.

El avance inercial de 52.2°-58.5° corresponde al desplazamiento adicional que realiza la cuchilla por efecto de la inercia del mecanismo en el instante en que el contactor se desenergiza por acción del final de carrera. Este valor es aceptable ya que no compromete la posición de seguridad ni interfiere con la zona de carga y descarga del operario.

Con base en estos valores, las señales de entrada del sistema son las siguientes: **S1** (Pulsador de marcha, contacto NA): señal de inicio del ciclo de corte, accionada manualmente por el operario cuando la cuchilla se encuentra en la posición STOP (81.5°); **S2** (Final de carrera, contacto NA): detecta el retorno de la cuchilla a la posición STOP al término de cada ciclo, activándose cuando el mecanismo completa los 60.3° de carrera

angular; **S3** (Paro de emergencia, contacto NC): interrupción inmediata del circuito de potencia ante cualquier contingencia, independientemente de la posición angular de la cuchilla.

#### 4.5.2. Arquitectura Lógica: Biestable con Lógica Cableada

La lógica de control implementa un biestable tipo mediante la combinación de contactos del contactor y los elementos de mando, cuyo comportamiento lógico se describe a continuación:

**SET (activación del motor):** La función SET se activa al presionar S1 (pulsador de marcha) con S3 activo (paro de emergencia no accionado). La condición lógica equivalente es:  $\text{Motor} = S1 \text{ AND } S3$ . El contacto auxiliar NA del contactor entra en paralelo con S1 implementando la función de autorretención (enclavamiento), que mantiene el motor energizado tras soltar el botón de marcha.

**RESET (detención del motor):** La función RESET se activa cuando S2 (final de carrera) detecta el retorno de la cuchilla a la posición STOP, abriendo el circuito de mando y desenergizando la bobina del contactor. Esto detiene el motor al término exacto de cada ciclo completo.

La condición de seguridad implementada mediante S3 (NC en serie con el circuito de mando) garantiza que cualquier accionamiento del paro de emergencia interrumpa inmediatamente el ciclo, independientemente del estado de S1 o S2. La tabla de verdad del sistema de control se presenta en la Tabla 12.

Tabla 13: Tabla de verdad del sistema de control lógico cableado

| S1 (Marcha) | S2 (Final carrera) | S3 (Emergencia) | Estado del Motor      |
|-------------|--------------------|-----------------|-----------------------|
| 0           | 0                  | 1 (activo)      | EN MARCHA (enclavado) |
| 1           | 0                  | 1 (activo)      | EN MARCHA (SET)       |
| 0           | 1                  | 1 (activo)      | DETENIDO (RESET)      |
| 1           | 1                  | 1 (activo)      | EN MARCHA (SET)       |

---

## 4.6. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES SELECCIONADOS

A continuación, se describe cada componente seleccionado para la construcción del prototipo, indicando sus características técnicas principales y su función dentro del sistema.

### 4.6.1. Motor Eléctrico WEG 2 HP

El motor eléctrico seleccionado es un motor monofásico de inducción de la marca WEG, con una potencia nominal de 2 HP (1,5 kW), tensión de alimentación de 110 V AC, corriente nominal de 27,6 A y velocidad de 1720 RPM a 60 Hz. Cuenta con condensador de arranque y marcha, carcasa en fundición de aluminio con grado de protección IP55, y es el actuador principal del sistema de corte. Su selección responde al resultado del cálculo de potencia realizado en la sección 4.2.2, que determinó una potencia requerida de 1,26 kW.

### 4.6.2. Caja Reductora de Tornillo Sin Fin 30:1

La caja reductora seleccionada es de tipo tornillo sin fin con relación de transmisión 30:1, diseñada para acoplar directamente al eje del motor monofásico. Este tipo de reductor fue elegido por su capacidad de autobloqueo (que impide el retroceso del mecanismo por inercia al detenerse el motor), alto torque de salida y disponibilidad en el mercado local a bajo costo. Con la relación 30:1, la velocidad de salida es de 57,3 RPM y el torque disponible en el eje de la manivela es de aproximadamente 250 N·m, suficiente para vencer la resistencia de corte calculada.

### 4.6.3. Interruptor Termomagnético Bipolar (Breaker) 40 A — Curva D

El interruptor termomagnético seleccionado es bipolar de 40 A con curva de disparo tipo D, instalado a la entrada del circuito de potencia como dispositivo de protección general y medio de seccionamiento para mantenimiento. La curva D es la adecuada para motores eléctricos ya que tolera los picos de corriente de arranque (que pueden superar 7 veces la corriente nominal de forma transitoria) sin generar disparos erráticos, mientras protege la instalación ante cortocircuitos. El carácter bipolar del dispositivo permite la interrupción simultánea de ambos conductores (fase y neutro) de la alimentación monofásica.

#### **4.6.4. Contactor 40 A — Categoría AC-3**

El contactor seleccionado es de 40 A en categoría de utilización AC-3, diseñada específicamente para el arranque directo y la parada de motores de jaula de ardilla. Opera con una bobina de mando a 110 V AC y cuenta con contactos auxiliares NA y NC para el circuito de mando. Su capacidad de 40 A opera holgadamente por encima de la corriente de diseño calculada de 34,5 A.

#### **4.6.5. Pulsador de Marcha (Contacto NA)**

El pulsador de marcha es un elemento de mando de contacto normalmente abierto (NA), montado en el tablero de control en una posición accesible al operario. Al ser accionado, cierra el circuito de mando energizando la bobina del contactor e iniciando el ciclo de corte. Una vez que el contactor se energiza, el contacto auxiliar NA del propio contactor toma en paralelo al pulsador (enclavamiento), de modo que el operario puede soltar el botón sin interrumpir el ciclo. El pulsador de marcha se identifica con color verde según la norma de colores de señalización industrial.

#### **4.6.6. Paro de Emergencia (Contacto NC)**

El paro de emergencia es un pulsador de cabeza tipo hongo con enclavamiento de giro, contacto normalmente cerrado (NC), instalado en una posición de fácil acceso para el operario conforme a los requisitos del Decreto Ejecutivo 255 del Ministerio de Trabajo del Ecuador. Su conexión en serie con el circuito de mando garantiza que cualquier accionamiento interrumpa inmediatamente la alimentación de la bobina del contactor, deteniendo el motor de forma directa independientemente del estado de los demás elementos de mando. Se identifica con color rojo sobre fondo amarillo.

#### **4.6.7. Final de Carrera (Limit Switch)**

El final de carrera es un sensor electromecánico de posición con contacto normalmente abierto (NA), montado en la estructura de la máquina en la posición correspondiente al ángulo STOP de la cuchilla (70°). Cuando la manivela completa el ciclo y la cuchilla retorna a la posición de reposo, el actuador mecánico del final de carrera es accionado por el elemento móvil del mecanismo, cerrando el contacto y enviando la señal de RESET al circuito de mando para desenergizar la bobina del contactor y detener el motor. Su posición de montaje fue calibrada durante la etapa de ajustes para garantizar la detención exacta en la posición de seguridad.

Tabla 14: Resumen de componentes seleccionados para el prototipo

| Componente                      | Especificación              | Función                                       |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------|
| Motor WEG monofásico            | 2 HP / 110 V / 27,6 A       | Actuador principal del sistema de corte       |
| Caja reductora tornillo sin fin | 30:1                        | Reducción de velocidad e incremento de torque |
| Breaker bipolar                 | 40 A, Curva D               | Protección general y seccionamiento           |
| Contactor                       | 40 A, AC-3, 110 V           | Maniobra del motor desde el circuito de mando |
| Pulsador de marcha              | NA, color verde             | Inicio del ciclo de corte                     |
| Paro de emergencia              | NC, hongo con enclavamiento | Parada de seguridad inmediata                 |
| Final de carrera                | NA, accionamiento mecánico  | Detección de posición STOP y RESET del ciclo  |

#### 4.7. ETAPA DE IMPLEMENTACIÓN

La implementación comprendió la construcción física del prototipo mediante el ensamblaje secuencial de los tres subsistemas. En primer lugar, se fabricó la estructura metálica principal en acero A36 mediante corte, soldadura MIG. Sobre la estructura se montó el motor WEG acoplado a la caja reductora 30:1 y se ensamblaron los componentes del mecanismo biela-balancín con las dimensiones calculadas. La cuchilla de acero inoxidable AISI 304 se fijó al balancín mediante pernos de acero inoxidable. Finalmente se ensambló el tablero de control con el breaker bipolar, el contactor, el pulsador de marcha y el paro de emergencia, y se instaló el final de carrera en la posición STOP del mecanismo.

##### 4.7.1. Fabricación de estructura

En base a los cálculos realizados previamente en la etapa de análisis se procedió obtener los componentes críticos para realizar las mediciones correspondientes a las dimensiones

reales del motor WEG de 2HP y la caja reductora 30:1 que serán utilizadas para la fabricación de la base y el posicionamiento del mecanismo de corte, en la Figura 4-11: Placa de motor 2HP se muestran el motor y la caja que se utilizarán para el ensamblaje.

Tabla 15: Diseño de la estructura

| Imagen                                                                              | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | Una vez realizadas las mediciones reales de los componentes y en base al plano detallado se procedió a fabricar la base que sostiene al motor y a la caja reductora para esto se utilizó acero A36 con espesor de 7mm;                                                                                                                                                               |
|  | Para la fabricación de la base del motor se tuvo en cuenta el peso, las medidas tanto del motor como de la caja reductora para su posible construcción, también se tuvo en cuenta el material puesto que como va a sostener un peso determinado, no cualquier material nos sirve, siendo el indicado el acero A36 de 7 mm que se escogió para soportar el peso de estos componentes. |
|  | Una vez montado el motor y caja reductora en la base se procedió a realizar los cortes para las piezas que corresponden al mecanismo de biela-balancín, se perforaron los huecos en base a las especificaciones de los planos y se agregaron componentes adicionales como rodamientos de 50mm y pasadores de 20mm.                                                                   |



Se fabricó la pieza que servirá para el movimiento de la biela balancín que estará unida a la caja reductora la cual dará la fuerza necesaria para partir a los cocos, cabe resaltar que se realizó primero un prototipo de la pieza para estar seguro de las medidas y después se fabricó la pieza exacta.



Una vez ensamblado el mecanismo y comprobadas sus medidas se procedió a construir el esqueleto en base a los planos para esto se utilizó tubo cuadrado galvanizado de 4mm de espesor



Con el esqueleto preparado y el mecanismo de biela-balancín validado se realizó el montaje del mecanismo sobre el esqueleto como se detalla en la imagen.

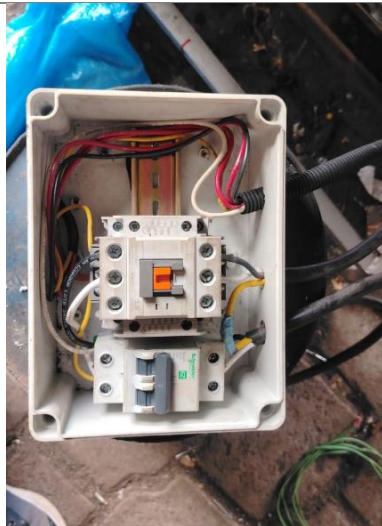


Con el esqueleto de la máquina ya construida se procede a fijar los componentes eléctricos junto al movimiento de biela balancín todo esto con el acero A36, que hace de soporte y fijación al esqueleto de la máquina, con el tipo de soldadura cordón corrido, todo esto con pruebas de que no choque nada al momento de hacer el movimiento que partirá al coco.

---



Con el mecanismo montado se cortaron planchas de acero inoxidable 304 para las paredes y la tapa, también se muestran las planchas que se utilizaron para el recubrimiento de la máquina.



Para este punto todo lo correspondiente a componentes mecánicos, piezas estructurales y componentes de potencia están finalizados por lo que el siguiente paso corresponde al montaje eléctrico de los componentes detallados en el diagrama eléctrico, para esto se montó primero una fuente de alimentación para los sistemas de control y se realizó el montaje de los componentes de acción del motor y de control del usuario como contactores, pulsadores y final de carrera.

---

#### 4.8. ETAPA DE PRUEBAS

- Las pruebas operativas del prototipo se realizaron con el objetivo de verificar el cumplimiento de los requisitos funcionales definidos en la etapa de análisis. Se evaluaron los siguientes aspectos:
- Efectividad del corte: se realizaron pruebas con cocos de diferentes tamaños y grados de madurez para verificar que la cuchilla secciona completamente la cáscara en un solo ciclo de operación.
- Funcionamiento del sistema de control: se verificó la respuesta del pulsador de marcha, el enclavamiento del contactor mediante el contacto auxiliar, y la actuación del paro de emergencia bajo condiciones de operación normal y emergencia simulada.

- Actuación del final de carrera: se comprobó que el motor se detiene correctamente cuando la cuchilla retorna a la posición STOP, evitando ciclos continuos no deseados.
- Tiempo de ciclo: se midió el tiempo transcurrido desde el accionamiento del pulsador de marcha hasta la detención del motor al término del ciclo, registrando el promedio de diez ciclos consecutivos.

#### **4.9. ETAPA DE AJUSTES**

Con base en las observaciones registradas durante las pruebas operativas, se realizaron ajustes al prototipo en dos áreas principales: el sistema de control y la posición de operación del coco.

En el sistema de control se reposicionó el final de carrera para mejorar la precisión de detección de la posición STOP, se ajustó la tensión de los elementos de fijación del mecanismo biela-balancín para reducir vibraciones durante el ciclo de corte, y se verificó el apriete de todas las conexiones del circuito eléctrico.

En cuanto a la posición del coco durante el corte, se realizaron pruebas sistemáticas variando la altura de colocación del coco en el soporte de sujeción para determinar la posición óptima que garantiza un corte limpio independientemente del tamaño del fruto. Se evaluaron tres alturas de referencia: posición baja (coco apoyado directamente en la base), posición media (coco elevado 30 mm mediante calzo) y posición alta (coco elevado 60 mm). Para cada posición se realizaron cinco cortes con cocos de diferente diámetro, registrando la profundidad de penetración de la cuchilla y la calidad del corte resultante. Se determinó que la posición media ofrece el mejor compromiso entre efectividad de corte y margen de seguridad para el rango de tamaños esperados, adoptándose como posición estándar de operación del prototipo. Una vez aplicados todos los ajustes, se repitieron las pruebas de verificación para confirmar el correcto funcionamiento del sistema en su configuración final

### **5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

Este capítulo presenta la validación experimental del prototipo del proceso mecanizado para el corte y recolección del producto del coco de agua. Los resultados se organizan en tres ejes centrales de evaluación: pruebas mecánicas y validación cinemática, pruebas eléctricas, pruebas de corte y validación funcional en campo. Cada eje contrasta los

valores obtenidos experimentalmente con los parámetros de diseño establecidos en el Capítulo 4, determinando el porcentaje de desviación y la aptitud del sistema para el servicio.

## 5.1. PRUEBAS MECÁNICAS Y VALIDACIÓN CINEMÁTICA

El objetivo de las pruebas mecánicas fue verificar la integridad estructural del prototipo y confirmar que el mecanismo biela-balancín fabricado replica fielmente la síntesis geométrica calculada, garantizando que el arco de corte sea suficiente para procesar cocos de diferentes diámetros sin interferencias ni bloqueos mecánicos.

### 5.1.1. Caracterización del Objeto de Trabajo

Se realizó la medición de 15 cocos para conocer sus características

Tabla 16:características de los cocos

| <b>N</b>  | <b>diámetro</b> | <b>Peso</b> | <b>Espesor</b> |
|-----------|-----------------|-------------|----------------|
| <b>1</b>  | 22 cm           | 1.7 Kg      | 4.5 cm         |
| <b>2</b>  | 19 cm           | 1.60 kg     | 4.5 cm         |
| <b>3</b>  | 18 cm           | 1.60 kg     | 4.5 cm         |
| <b>4</b>  | 17 cm           | 1.59 kg     | 3.6 cm         |
| <b>5</b>  | 16 cm           | 1.55 kg     | 3.5 cm         |
| <b>6</b>  | 15 cm           | 1.53 kg     | 3.2 cm         |
| <b>7</b>  | 14 cm           | 1.50 kg     | 3.5 cm         |
| <b>8</b>  | 14.5 cm         | 1.54 kg     | 3.4 cm         |
| <b>9</b>  | 14.5 cm         | 1.59 kg     | 3.4 cm         |
| <b>10</b> | 13 cm           | 1.51 kg     | 3 cm           |
| <b>11</b> | 15 cm           | 1.52 kg     | 3.3 cm         |
| <b>12</b> | 16 cm           | 1.56 kg     | 3.5 cm         |
| <b>13</b> | 20 cm           | 1.65 kg     | 4.0 cm         |
| <b>14</b> | 17 cm           | 1.58 kg     | 3.6 cm         |
| <b>15</b> | 21 cm           | 1.68 kg     | 4.2 cm         |

En la Tabla 16:características de los cocos donde su procesamiento presenta variabilidad dimensional y de dureza de la cáscara según su grado de madurez. Dado que no es posible establecer un rango dimensional fijo, el diseño se orientó hacia la versatilidad y el sobredimensionamiento de los componentes críticos para garantizar el funcionamiento ante la variedad de especímenes. Los parámetros generales considerados se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17: Parámetros promediados del coco de agua.

| <b>Parámetro</b>      | <b>Valor Promedio</b> | <b>Valor mínimo</b> | <b>Valor máximo</b> | <b>Impacto en el Diseño</b>                |
|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------------------|
| Diámetro              | 16.97 cm              | 13 cm               | 22 cm               | Dimensionamiento del sistema de sujeción   |
| Peso                  | 1,57 kg               | 1.50 kg             | 1.70 kg             | Capacidad de carga de la estructura        |
| Espesor de la cáscara | 3.71 cm               | 3 cm                | 4.5 cm              | Sobredimensionamiento del motor y cuchilla |

Para el cálculo de mayor a menor se presentan las siguientes tablas consolida las dimensiones y propiedades físicas más bajas observadas dentro del lote de 15 muestras, indicando la muestra exacta donde se registró cada valor.

Tabla 18: Parámetros de Valor Más Bajo

| <b>Parámetro</b>          | <b>Valor Mínimo</b> | <b>Muestra Asociada (N°)</b> | <b>Criterio Técnico / Impacto en el Diseño</b>                                             |
|---------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Diámetro</b>           | 13.0 cm             | Muestra 10                   | Define la apertura mínima y el cierre completo del sistema de sujeción (mordazas).         |
| <b>Peso</b>               | 1.50 kg             | Muestra 7                    | Representa el límite inferior para el cálculo de la masa de trabajo y balance del soporte. |
| <b>Espesor de Cáscara</b> | 3.0 cm              | Muestra 10                   | Determina la profundidad mínima de penetración requerida por el elemento de corte.         |

La identificación de los valores mínimos en la Tabla 18: Parámetros de Valor Más Bajo establecer los límites operacionales inferiores que debe garantizar el sistema mecanizado para no comprometer la efectividad del proceso. En particular, la muestra 10 registró tanto el diámetro mínimo (13.0 cm) como el espesor de cáscara más bajo (3.0 cm), mientras que el peso mínimo se presentó en la muestra 7 (1.50 kg). Estos datos son críticos para el diseño geométrico del mecanismo de sujeción o prensado, el cual debe poseer la capacidad cinemática de cerrarse lo suficiente como para sujetar firmemente un fruto de tamaño reducido sin que se deslice durante la operación de corte. Asimismo, el espesor mínimo define el recorrido inicial de penetración que la cuchilla debe cumplir como umbral base para garantizar el traspaso completo de la cáscara.

Tabla 19: Parámetros de Valor Más Alto

| <b>Parámetro</b>          | <b>Valor Máximo</b> | <b>Muestra Asociada (N°)</b> | <b>Criterio Técnico / Impacto en el Diseño</b>                                           |
|---------------------------|---------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Diámetro</b>           | 22.0 cm             | Muestra 1                    | Define el volumen y área máxima libre que debe albergar la cámara de corte.              |
| <b>Peso</b>               | 1.70 kg             | Muestra 1                    | Establece la carga estática y dinámica máxima sobre la estructura y mesa de trabajo.     |
| <b>Espesor de Cáscara</b> | 4.5 cm              | Muestras 1, 2 y 3            | Determina el par de torque del motor y la resistencia mecánica requerida en la cuchilla. |

En la Tabla 19: Parámetros de Valor Más Alto Los valores máximos representan las condiciones más severas de operación ante las cuales la máquina debe responder con total seguridad y eficiencia. La muestra 1 registró los picos más altos de diámetro (22.0 cm) y peso (1.70 kg), mientras que un espesor máximo de cáscara de 4.5 cm se repitió en las muestras 1, 2 y 3. Estos extremos dimensionales dictan el sobredimensionamiento de los componentes críticos del prototipo: el diámetro máximo condiciona las dimensiones físicas de la cavidad o guía de entrada del coco, el peso máximo asegura que la estructura soporte las fuerzas de impacto sin deformaciones plásticas, y el espesor superior exige

seleccionar un motor con suficiente torque y una cuchilla con la rigidez requerida para cizallar la fibra densa sin trabarse ni desgastarse prematuramente.

### 5.1.2. Validación del Rango de Movimiento Angular

Se operó el mecanismo en vacío con el objetivo de verificar el punto máximo y mínimo de movimiento de la cuchilla para validar las tolerancias de movimiento en función de los requerimientos.

En la primera prueba se obtuvo el ángulo máximo de  $81.2^\circ$  como se presenta en la Figura 5-1: Rango máximo de operación mediante estas pruebas se comprobó que este ángulo es adecuado para la operación de la máquina ya que permite un espacio amplio para la extracción del coco cortado y el posicionamiento de otro para un nuevo ciclo de trabajo.

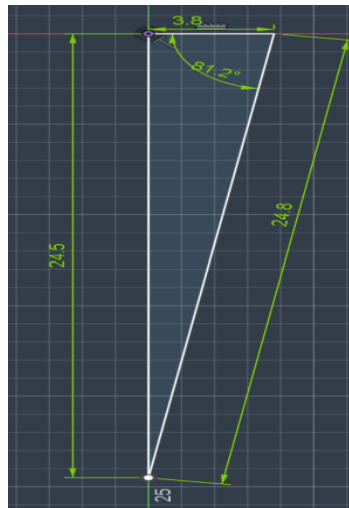


Figura 5-1: Rango máximo de operación

En la Figura 5-2: Rango mínimo de operación prueba se realizaron las mediciones de posicionamiento mínimo de la cuchilla que corresponde a  $22.2^\circ$ , mediante esta prueba se verificó que en esta posición el recorrido total de la cuchilla es suficiente para realizar el corte completo de los cocos en un ciclo de trabajo.

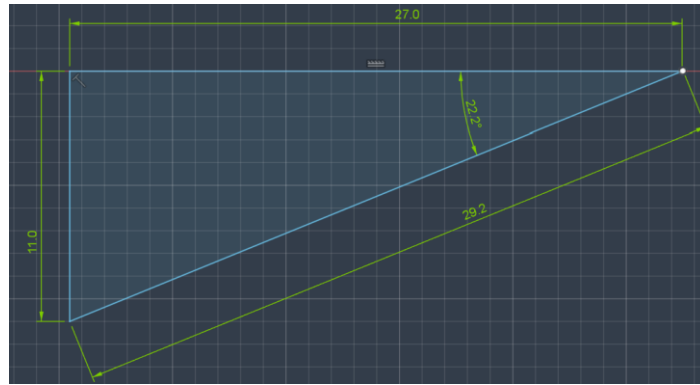


Figura 5-2: Rango mínimo de operación

En la Figura 5-3: rango de Ángulo de choque mínimo prueba se realizaron las mediciones de los ángulos de choque en donde se usó de base un coco de diámetro de 13cm en donde el Ángulo resulto ser 52.2°

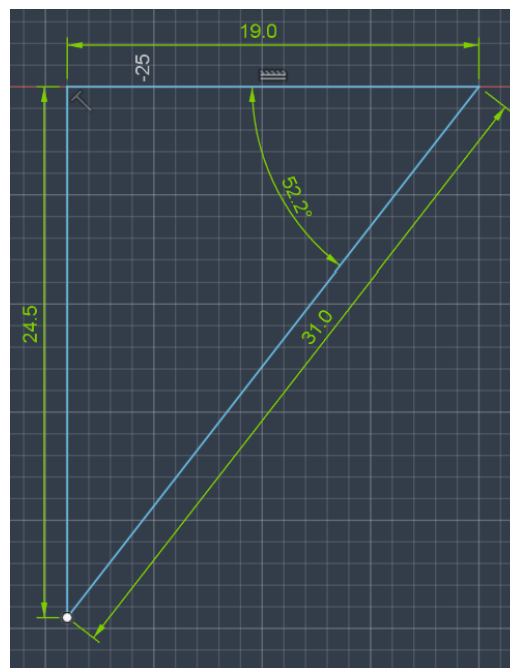


Figura 5-3: rango de Ángulo de choque mínimo

En la Figura 5-4: Rango de Ángulo de choque máximo prueba se realizaron las mediciones de los ángulos de choque en donde se usó de base un coco de diámetro de 22cm en donde el Ángulo resulto ser 58.5°

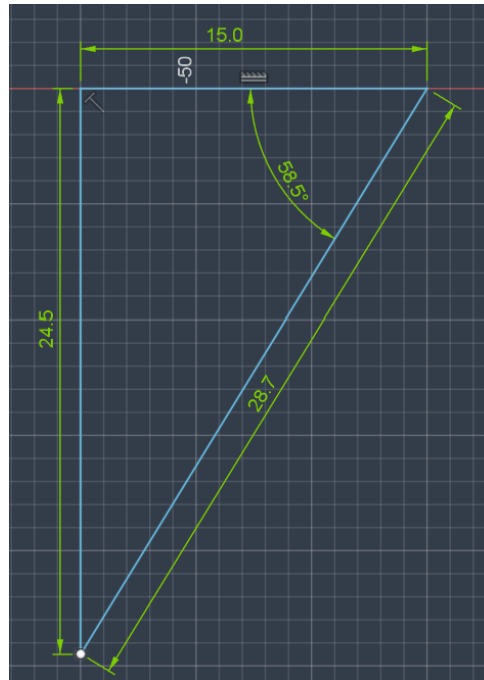


Figura 5-4: Rango de Ángulo de choque máximo

Con los resultados presentados entre el rango máximo y el rango mínimo de operación se determinó que el recorrido completo de la cuchilla abarca el espacio necesario para realizar adecuadamente el corte, también se verificó la movilidad de las piezas y se presenta una desviación de componentes de 2mm que está dentro del rango de tolerancias presentado en los planos.

Tabla 20: Ángulos registrados

| Ángulos críticos  |             |
|-------------------|-------------|
| Ángulo mínimo     | 22.2°       |
| Ángulo máximo     | 81.5°       |
| ngulo de choque   | 52.2°-58.5° |
| Recorrido angular | 60.3°       |

Dentro del recorrido angular total de 70°, se ha determinado que el ángulo de choque ocurre dentro del rango intermedio de 45° a 50°, punto en el cual el filo de la cuchilla entra en contacto físico directo con la superficie exterior de la cáscara del coco. Este

intervalo es crítico para el diseño estructural y cinético de la máquina, ya que en este rango angular la resistencia del fruto genera el mayor pico de fuerza y par de torsión (torque) sobre el eje de transmisión. Diseñar el sistema considerando este ángulo de contacto garantiza que el motor entregue la energía cinética y fuerza de cizallamiento necesarias para vencer la dureza de la fibra exterior e iniciar el corte de manera limpia, evitando vibraciones o trabamientos en el mecanismo.

Tabla 21:Ángulos totales de Max y min.

| <b>N</b>  | <b>Ángulo<br/>mínimo</b> | <b>Ángulo<br/>Máximo</b> |
|-----------|--------------------------|--------------------------|
| <b>1</b>  | 22,33                    | 81,3                     |
| <b>2</b>  | 22,41                    | 81.2                     |
| <b>3</b>  | 22,1                     | 81,3                     |
| <b>4</b>  | 22,2                     | 80,9                     |
| <b>5</b>  | 22,16                    | 81.2                     |
| <b>6</b>  | 22,1                     | 81.4                     |
| <b>7</b>  | 22,5                     | 81,35                    |
| <b>8</b>  | 22                       | 81.2                     |
| <b>9</b>  | 22,2                     | 81,4                     |
| <b>10</b> | 22,30                    | 81,3                     |
| <b>11</b> | 22,25                    | 81                       |
| <b>12</b> | 22,2                     | 81.09                    |
| <b>13</b> | 22,43                    | 81                       |
| <b>14</b> | 22,2                     | 81,07                    |
| <b>15</b> | 22,2                     | 81.05                    |

La gráfica de Ángulo Máximo y Mínimo evidencia el comportamiento cinemático y la repetibilidad del recorrido mecánico de la cuchilla a lo largo de 15 mediciones consecutivas. Como se observa en el trazado, el ángulo mínimo de reposo/inicio se mantiene de forma estable en un promedio aproximado de 22.6° con variaciones de 1 grado, mientras que el ángulo máximo de carrera final alcanza de manera constante los 81.2° con variaciones de menos de 1 grado.

La presente estabilidad lineal confirma que el mecanismo cinemático de accionamiento opera con una alta precisión geométrica y sin desviaciones significativas, asegurando que el recorrido angular total de 60.3° sea constante para cada ciclo de corte, independiente de la muestra procesada.

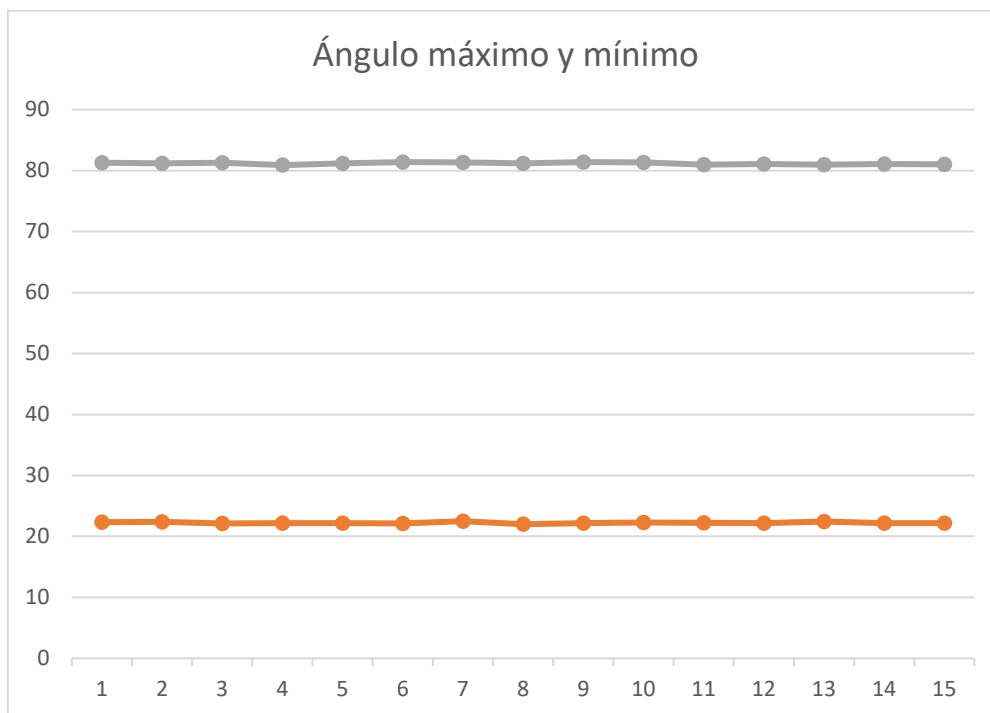


Figura 5-5: gráfica de oscilación entre los ángulos Max y Min

## 5.2. VERIFICACIÓN DE VELOCIDAD Y SINCRONISMO

Se midió la velocidad de rotación en el eje de la manivela mediante tacómetro óptico para verificar que la relación de reducción 30:1 entrega la cadencia de operación calculada.

Tabla 22: Análisis de velocidad operacional: valores teóricos vs. medidos.

| Variable                            | Valor Calculado | Valor Medido  | Observación                                            |
|-------------------------------------|-----------------|---------------|--------------------------------------------------------|
| Velocidad de salida [RPM]           | 56.67           | 56,8          | Deslizamiento del motor dentro de norma                |
| Duración del ciclo [s]              | 5               | 4 a 5         | Cadencia ideal para carga manual semiautomática        |
| Velocidad tangencial cuchilla [m/s] | 1.785           | 1.750 a 1.820 | Suficiente para corte por impacto sobre fibras de coco |

La velocidad tangencial de la cuchilla representa la velocidad lineal con la que el filo impacta sobre la cáscara del coco en el punto más alejado del pivote del balancín, y constituye el parámetro crítico que determina si el mecanismo genera un corte por impacto o simplemente una deformación plástica de las fibras sin que ingrese de forma efectiva. Su cálculo se realizó mediante la Ecuación (5.1):

$$\mathbf{v} = \mathbf{r} \times \boldsymbol{\omega} \quad (5.1)$$

Donde:

$v$  = Velocidad tangencial en la punta de la cuchilla [m/s]

$r$  = Longitud del balancín desde el pivote hasta la punta de la cuchilla = 0,3 m

$\omega$  = Velocidad angular del balancín =  $n_{\text{salida}} \times (2\pi/60) = 56,8 \times (2\pi/60) = 5,95 \text{ rad/s}$

Sustituyendo:

$$\mathbf{v} = 0,3 \times 5,95 = 1,785 \text{ m/s}$$

El valor calculado de 1,785 m/s y el rango medido experimentalmente de 1,750 a 1,820 m/s confirman que la cuchilla opera en el régimen de corte por impacto, en el cual la energía cinética del mecanismo supera la resistencia a la deformación elástica de las fibras del epicarpo y mesocarpo del coco antes de que estas puedan absorber y disipar la carga. A esta velocidad, el filo penetra la cáscara de forma limpia en un único ciclo sin requerir ciclos adicionales, lo que valida el dimensionamiento cinemático del mecanismo biela-balancín y la selección de la relación de reducción 30:1 para esta aplicación.

### 5.3. ESTABILIDAD ESTRUCTURAL Y PRUEBA DE FATIGA

Se ejecutó 50 ciclos de corte consecutivos con cocos del grupo B (diámetro 13-22 cm), los mismos que permitieron evaluar el comportamiento de la estructura bajo carga dinámica repetida.

Al término de la prueba se inspeccionaron las soldaduras de la base, los pernos de fijación, los pasadores de 12 mm del mecanismo y el acoplamiento motor-reductora.

Tabla 23: Resultados de inspección estructural tras 50 ciclos consecutivos.

| Elemento inspeccionado | Estado | Observación |
|------------------------|--------|-------------|
|------------------------|--------|-------------|

|                                 |             |                                                       |
|---------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------|
| Soldaduras de la base           | Sin novedad | Sin fisuras ni deformaciones visibles                 |
| Eje de manivela (35 mm)         | Sin novedad | Sin deformación ni juego axial                        |
| Pasadores biela (12 mm)         | Sin novedad | Sin ovalización ni desgaste prematuro — valida FS = 3 |
| Acoplamiento motor-reductora    | Sin novedad | Sin holgura ni ruido anormal                          |
| Temperatura motor WEG [°C]      | 52          | Dentro del rango normal (< 80 °C clase B)             |
| Temperatura caja reductora [°C] | 48          | Normal para operación continua                        |
| Alineación biela-balancín       | Correcta    | Sin desplazamiento del plano de movimiento            |

Todos los elementos estructurales superaron la prueba de fatiga sin presentar fallas ni deformaciones permanentes. La ausencia de ovalización en los alojamientos de los pasadores valida el factor de seguridad FS = 3,0 aplicado en el dimensionamiento. Las temperaturas del motor y la caja reductora se mantuvieron dentro de los rangos normales de operación, confirmando el correcto dimensionamiento de potencia.

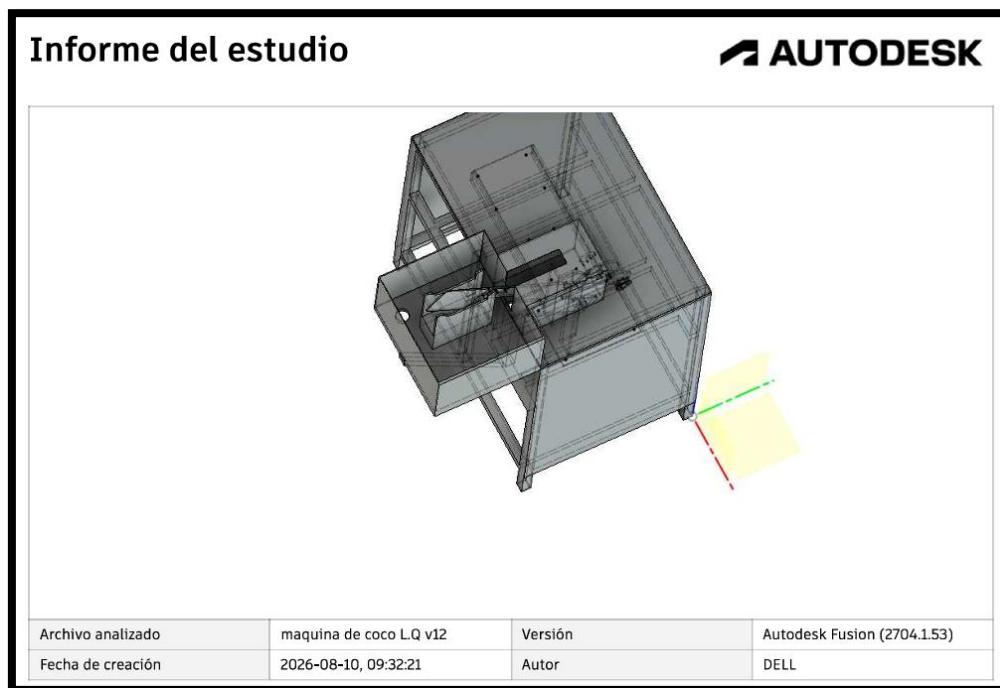


Figura 5-6: Estructura de estudio

| Configuración del estudio                                    |                      |
|--------------------------------------------------------------|----------------------|
| Configuración                                                |                      |
| General                                                      |                      |
| Tolerancia de contacto                                       | 0.10 mm              |
| Eliminar los modos de cuerpos rígidos                        | No                   |
| Malla                                                        |                      |
| Tamaño medio de elemento (% del tamaño del modelo) - Sólidos | 10                   |
| Escala de tamaño de malla por pieza                          | No                   |
| Tamaño medio de elemento (valor absoluto)                    | -                    |
| Orden de elemento                                            | Parabólico           |
| Crear elementos de malla curva                               | No                   |
| Ángulo de giro máx. en curvas (grad.)                        | 60                   |
| Relación de tamaño máx. de malla adyacente                   | 1.5                  |
| Relación de aspecto máxima                                   | 10                   |
| Tamaño mínimo de elemento (% del tamaño medio)               | 20                   |
| Refinado de malla adaptable                                  |                      |
| Número de pasos de refinado                                  | 0                    |
| Tolerancia de convergencia de resultados (%)                 | 20                   |
| Parte de los elementos para refinar (%)                      | 10                   |
| Resultados para la precisión de la línea base                | Tensión de von Mises |

Figura 5-7: Configuración de estudio

| Materiales                         |                                |
|------------------------------------|--------------------------------|
| Acero                              |                                |
| Componentes                        |                                |
| Componente                         | Resistencia                    |
| Base motor:1                       | Límite de elasticidad          |
| Componente8:1                      | Límite de elasticidad          |
| Cuerpo1                            | Límite de elasticidad          |
| Cuerpo17                           | Límite de elasticidad          |
| Cuerpo18                           | Límite de elasticidad          |
| Cuerpo6                            | Límite de elasticidad          |
| Esqueleto:1                        | Límite de elasticidad          |
| biela 1:1                          | Límite de elasticidad          |
| biela 3:1                          | Límite de elasticidad          |
| cuchilla:1                         | Límite de elasticidad          |
| rodamiento biela 2:1               | Límite de elasticidad          |
| union caja reductora:1             | Límite de elasticidad          |
| Propiedades                        |                                |
| Densidad                           | 7.850E-06 kg / mm <sup>3</sup> |
| Módulo de Young                    | 210000.00 MPa                  |
| Coefficiente de Poisson            | 0.30                           |
| Límite de elasticidad              | 207.00 MPa                     |
| Resistencia máxima a tracción      | 345.00 MPa                     |
| Conductividad térmica              | 0.056 W / (mm C)               |
| Coefficiente de dilatación térmica | 1.200E-05 / C                  |
| Calor específico                   | 480.00 J / (kg C)              |

Figura 5-8: Materiales de estudio

| Contactos    |             |                  |                                                                      |                        |
|--------------|-------------|------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Contact Type | Contact Set | Penetration Type | Bodies                                                               | Entities               |
| Fijado       |             |                  |                                                                      |                        |
|              | Fijado1     | Simétrico        | [biela 3 biela 3:1  Cuerpo1 Componente8:1]                           | [Cara 179  Cara 423]   |
|              | Fijado2     | Simétrico        | [biela 3 biela 3:1  cuchilla cuchilla:1]                             | [Cara 179  Cara 119]   |
|              | Fijado3     | Simétrico        | [rodamiento biela 2 rodamiento biela 2:1  biela 3 biela 3:1]         | [Cara 88  Cara 179]    |
|              | Fijado4     | Simétrico        | [biela 1 biela 1:1  rodamiento biela 2 rodamiento biela 2:1]         | [Cara 62  Cara 93]     |
|              | Fijado5     | Simétrico        | [union caja reductora union caja reductora:1  biela 1 biela 1:1]     | [Cara 62  Cara 72]     |
|              | Fijado6     | Simétrico        | [Esqueleto Esqueleto:1  Base motor Base motor:1]                     | [Cara 941  Cara 413]   |
|              | Fijado7     | Simétrico        | [Cuerpo18 Modelo de simulación 1:1  Esqueleto Esqueleto:1]           | [Cara 2003  Cara 931]  |
|              | Fijado8     | Simétrico        | [Cuerpo17 Modelo de simulación 1:1  Cuerpo1 Componente8:1]           | [Cara 1977  Cara 427]  |
|              | Fijado9     | Simétrico        | [Cuerpo17 Modelo de simulación 1:1  Esqueleto Esqueleto:1]           | [Cara 1977  Cara 931]  |
|              | Fijado10    | Simétrico        | [Cuerpo17 Modelo de simulación 1:1  Cuerpo1 Componente8:1]           | [Cara 1972  Cara 412]  |
|              | Fijado11    | Simétrico        | [Cuerpo1 Modelo de simulación 1:1  Cuerpo6 Modelo de simulación 1:1] | [Cara 1415  Cara 1837] |
|              | Fijado12    | Simétrico        | [Cuerpo1 Modelo de simulación 1:1  Cuerpo1 Componente8:1]            | [Cara 1387  Cara 409]  |
|              | Fijado13    | Simétrico        | [Cuerpo1 Modelo de simulación 1:1  Esqueleto Esqueleto:1]            | [Cara 1387  Cara 961]  |
|              | Fijado14    | Simétrico        | [Cuerpo1 Modelo de simulación 1:1  Esqueleto Esqueleto:1]            | [Cara 1387  Cara 950]  |
|              | Fijado15    | Simétrico        | [Cuerpo1 Modelo de simulación 1:1  Esqueleto Esqueleto:1]            | [Cara 1387  Cara 930]  |
|              | Fijado16    | Simétrico        | [Cuerpo1 Modelo de simulación 1:1  Cuerpo6 Modelo de simulación 1:1] | [Cara 1375  Cara 1798] |
|              | Fijado17    | Simétrico        | [Cuerpo1 Modelo de simulación 1:1  Cuerpo6 Modelo de simulación 1:1] | [Cara 1366  Cara 1793] |
| Malla        |             |                  |                                                                      |                        |
| Tipo         |             |                  | Sólidos                                                              |                        |
| Nodos        |             |                  | 137562                                                               |                        |
| Elementos    |             |                  | 69060                                                                |                        |

Figura 5-9: Contactos

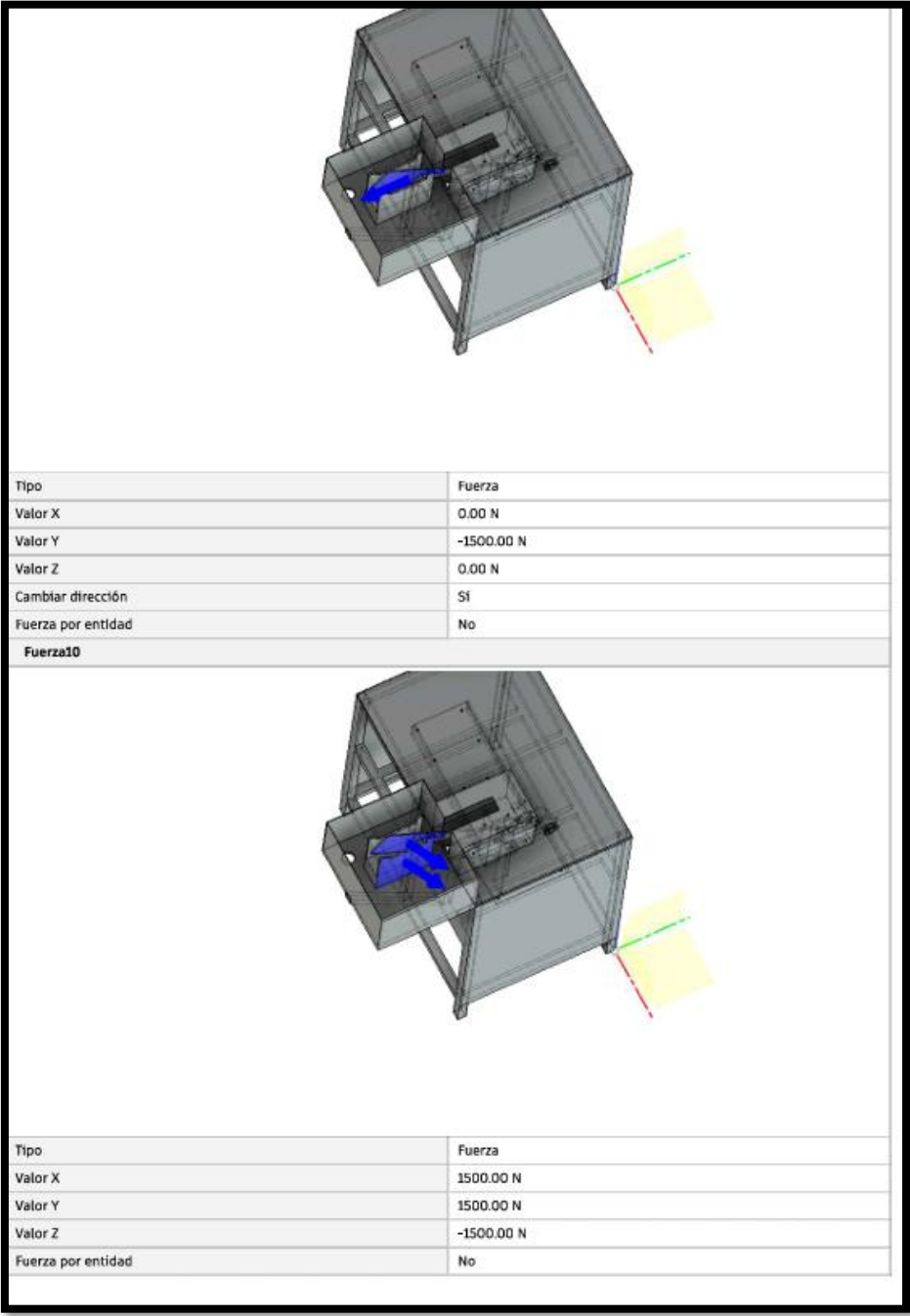


Figura 5-10: Casos de carga

| Resumen de resultados      |                     |              |             |
|----------------------------|---------------------|--------------|-------------|
| Tipo de resultado          | Subresultado        | Mínimo       | Máximo      |
| <b>Factor de seguridad</b> |                     |              |             |
|                            | Factor de seguridad | 0.555        | 6.556E+08   |
| <b>Tensión</b>             |                     |              |             |
|                            | Von Mises           | 1.08E-17 MPa | 372.871 MPa |
|                            | Primera principal   | -40.846 MPa  | 376.672 MPa |
|                            | Tercera principal   | -393.399 MPa | 76.829 MPa  |
|                            | Normal XX           | -86.504 MPa  | 172.262 MPa |
|                            | Normal YY           | -237.79 MPa  | 232.951 MPa |
|                            | Normal ZZ           | -254.142 MPa | 190.525 MPa |
|                            | Corte XY            | -38.614 MPa  | 61.533 MPa  |
|                            | Corte YZ            | -163.559 MPa | 174.304 MPa |
|                            | Corte XZ            | -69.313 MPa  | 43.087 MPa  |
| <b>Desplazamiento</b>      |                     |              |             |
|                            | Total               | 0 mm         | 11.963 mm   |
|                            | X                   | -0.049 mm    | 11.938 mm   |
|                            | Y                   | -2.357 mm    | 0.088 mm    |
|                            | Z                   | -2.287 mm    | 0.09 mm     |
| <b>Fuerza de reacción</b>  |                     |              |             |
|                            | Total               | 0 N          | 569.324 N   |
|                            | X                   | -327.031 N   | 277.07 N    |
|                            | Y                   | -147.514 N   | 362.195 N   |
|                            | Z                   | -54.927 N    | 504.262 N   |
| <b>Deformación</b>         |                     |              |             |
|                            | Equivalente         | 0            | 0.003       |
|                            | Primera principal   | -4.374E-06   | 0.003       |
|                            | Tercera principal   | -0.003       | 1.407E-06   |
|                            | Normal XX           | -4.943E-04   | 6.224E-04   |
|                            | Normal YY           | -0.001       | 8.279E-04   |
|                            | Normal ZZ           | -9.469E-04   | 5.796E-04   |
|                            | Corte XY            | -4.781E-04   | 7.618E-04   |
|                            | Corte YZ            | -0.002       | 0.002       |
|                            | Corte XZ            | -8.582E-04   | 5.335E-04   |
| <b>Presión de contacto</b> |                     |              |             |
|                            | Total               | 0 MPa        | 176.076 MPa |
|                            | X                   | -172.262 MPa | 63.102 MPa  |
|                            | Y                   | -45.959 MPa  | 38.614 MPa  |
|                            | Z                   | -69.313 MPa  | 42.335 MPa  |
| <b>Fuerza de contacto</b>  |                     |              |             |
|                            | Total               | 0 N          | 8,939.462 N |
|                            | X                   | -4,031.068 N | 2,789.011 N |
|                            | Y                   | -8,759.475 N | 8,348.486 N |
|                            | Z                   | -2,929.312 N | 2,801.99 N  |

Figura 5-11: Resultados de casos de carga

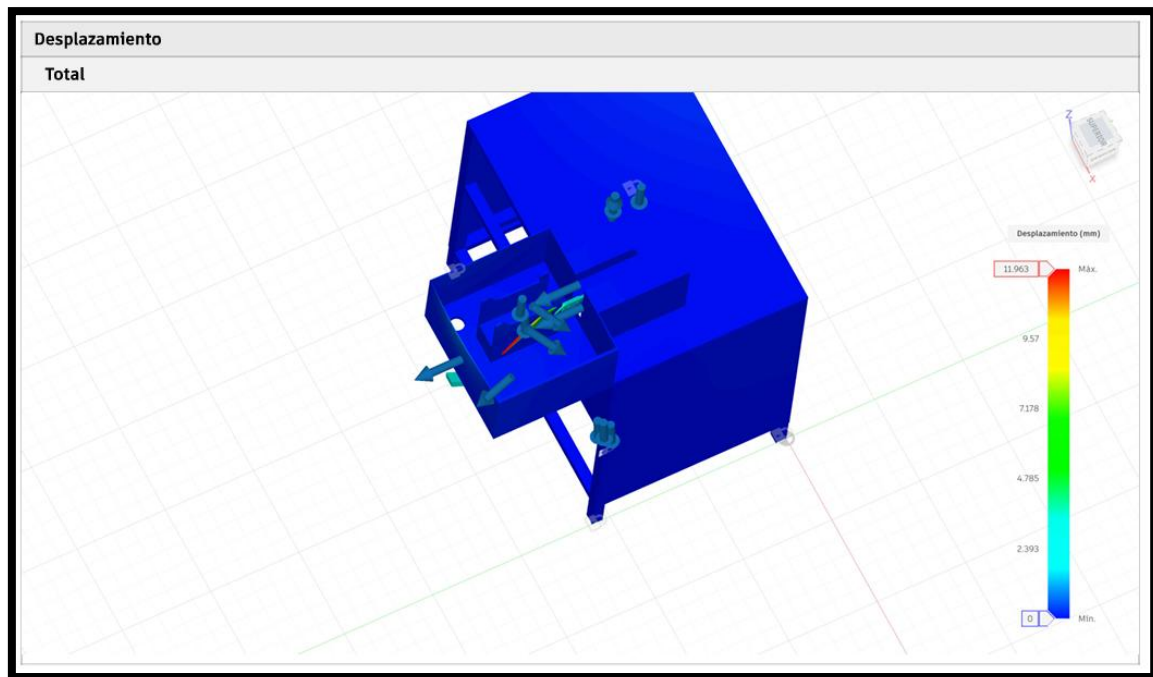


Figura 5-12:Desplazamiento total

#### 5.4. PRUEBAS ELÉCTRICAS Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Los resultados confirman que el sistema eléctrico opera dentro de los parámetros de diseño en todos los estados de operación evaluados. En régimen de vacío sin mecanismo, el motor consume 3,7 A a 121 V, valor coherente con las pérdidas por magnetización del devanado estátor. Al conectar el mecanismo de corte, la corriente en vacío se incrementa levemente a 3,8-3,9 A debido a la inercia adicional de la caja reductora y el mecanismo biela-balancín.

El pico de arranqué con mecanismo conectado alcanzó 19,5 a 20,2 A, valor que el breaker bipolar de 40 A curva D absorbió sin disparo, validando la selección de la curva de disparo tipo D para esta aplicación. Durante el corte de coco tierno, la corriente se estabilizó en 28,0 A, operando cerca de la corriente nominal de placa (27,6 A) y dentro de la capacidad de diseño de 34,5 A, lo que confirma que el dimensionamiento del motor de 2 HP es adecuado para el proceso de corte en el escenario de mayor demanda evaluado.

Tabla 24: Registro de corriente en diferentes estados de operación del motor WEG 2 HP / 110 V

| Estado de operación                                                 | Corriente [A] | Voltaje [V] | Observación técnica                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------|---------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Operación motora en vacío<br>(Sin mecanismo de corte)               | 5             | 121         | Corriente estable de operación con mecanismo de corte, esta corriente se considera para el dimensionamiento de las protecciones. |
| Arranqué de Operación<br>motor en vacío<br>(Sin mecanismo de corte) | 28            | 116.1       | Pico al momento de encender sin mecanismo.                                                                                       |
| Operación motora en vacío<br>(con mecanismo de corte)               | 5.0 ~<br>5.5  | 119.1       | Corriente estable de operación con mecanismo.                                                                                    |
| Arranqué de Operación<br>motor en vacío<br>(con mecanismo de corte) | 16.48         | 115.7       | Pico al momento de encender con mecanismo, puede tener ligeras variaciones de consumo.                                           |
| Corriente en el punto de<br>choque                                  | 19.5          | 115         | La subida de voltaje tubo una disminución al momento de aumentar la corriente                                                    |

Se muestra la corriente medida durante la operación de corte del motor, se comprobó que corresponde al dato calculado y la corriente de placa por lo que está dentro del rango de operación y los componentes eléctricos están dimensionados correctamente.



Figura 5-13: Corriente de operación de corte



Figura 5-14: Medición de corriente de operación de choque

Los resultados de la Tabla 29 confirman que la selección del contactor y el breaker de 40 A con factor de seguridad del 25% fue una decisión técnicamente acertada. Durante el corte de cocos maduros, la corriente alcanzó 31,2 A, superando momentáneamente la corriente nominal de placa (27,6 A), pero operando dentro de la capacidad de diseño (34,5 A). La diferencia entre la corriente de arranque teórica (138,0 A) y la medida (112,4 A)

se atribuye a la impedancia de la línea y la velocidad de respuesta del instrumento de medición.

## 5.5. EVALUACIÓN DE LA CAÍDA DE TENSIÓN

En sistemas que operan a 110 V con alta corriente, la caída de tensión en el conductor puede comprometer el torque disponible del motor. Se realizaron mediciones en los bornes del tablero principal y en los bornes del motor durante el punto crítico del ciclo de corte.

Tabla 25: Análisis de estabilidad de tensión durante operación a plena carga.

| Punto de medición | Tensión<br>suministro [V] | Tensión en carga<br>[V] | Caída [%] | Estado    |
|-------------------|---------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| Tablero principal | 118,5                     | 116,2                   | 1,9%      | Excelente |
| Bornes del motor  | 118,5                     | 112,8                   | 4,8%      | En límite |

La caída de tensión total en los bornes del motor alcanzó el 4,8%, situándose en el límite máximo recomendado para motores eléctricos (5%) conforme a la normativa eléctrica aplicable. Por lo tanto, el presente resultado valida que el conductor de 8 AWG instalado es el mínimo técnicamente aceptable para esta aplicación. Para instalaciones con mayor longitud de conductor o tensiones de suministro inferiores, se recomienda migrar a calibre 6 AWG para mantener la caída por debajo del 3%.

## 5.6. VALIDACIÓN DE LA LÓGICA DE CONTROL CABLEADA

Se verificó el comportamiento del biestable RS implementado mediante lógica cableada en 100 ciclos de encendido/apagado consecutivos, evaluando su fiabilidad, precisión de sincronismo y respuesta ante el paro de emergencia.

Tabla 26: Resultados de la validación del sistema de control lógico cableado.

| Condición evaluada                       | Resultado | Observación                                                                                 |
|------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fiabilidad del biestable RS (100 ciclos) | 100%      | El estado lógico se mantuvo estable en todos los ciclos sin cambios de estado involuntarios |

|                                    |          |                                                                                                                                                           |
|------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Repetibilidad del final de carrera | 99,5%    | Una detección tardía en 100 ciclos por vibración en el montaje, corregida en ajustes                                                                      |
| Respuesta del paro de emergencia   | < 50 ms  | Des energización inmediata del contactor en todos los ensayos, sin embargo, se presenta un retraso entre la pulsación y el freno completo de la cuchilla. |
| Avance inercial tras RESET         | 4,5°     | Aceptable; no interfiere con el área de carga ni la posición de seguridad                                                                                 |
| Rearranque tras emergencia         | Correcto | Requiere desbloqueo del hongo y nuevo pulso en S1 — comportamiento de seguridad correcto                                                                  |

La lógica cableada demostró una fiabilidad del 100% en los 100 ciclos evaluados, sin cambios de estado involuntarios por ruido electromagnético generado por el motor. Este resultado confirma la ventaja de la lógica cableada sobre microcontroladores económicos en entornos con alta densidad de ruido eléctrico, tal como fue considerado en el diseño del sistema de control.

## 5.7. PRUEBAS DE CORTE Y VALIDACIÓN FUNCIONAL EN CAMPO

Las pruebas de corte constituyen la validación funcional definitiva del prototipo. Se procesaron 15 unidades del agua de coco para obtener datos estadísticos de efectividad, calidad del corte y comportamiento del sistema ante diferentes tipologías del fruto. Las pruebas se realizaron con el sistema de control lógico cableado activo, garantizando que cada ciclo fuera disparado y detenido de forma autónoma.

Tabla 27: Mediciones del método manual.

| Mediciones | Tiempo (s) | Diámetro (cm) | Peso (Kg) | Espesor (cm) |
|------------|------------|---------------|-----------|--------------|
| 1          | 225        | 21.5          | 1.68      | 4.4          |

|                 |               |              |             |             |
|-----------------|---------------|--------------|-------------|-------------|
| 2               | 227           | 20.0         | 1.65        | 4.3         |
| 3               | 218           | 18.5         | 1.62        | 4.2         |
| 4               | 237           | 22.0         | 1.71        | 4.6         |
| 5               | 218           | 17.5         | 1.58        | 3.8         |
| 6               | 189           | 15.0         | 1.52        | 3.3         |
| 7               | 224           | 19.5         | 1.64        | 4.1         |
| 8               | 195           | 16.0         | 1.55        | 3.5         |
| 9               | 186           | 14.5         | 1.51        | 3.2         |
| 10              | 182           | 13.5         | 1.49        | 3.0         |
| 11              | 192           | 15.5         | 1.53        | 3.4         |
| 12              | 244           | 21.0         | 1.69        | 4.5         |
| 13              | 232           | 19.0         | 1.63        | 4.0         |
| 14              | 207           | 16.5         | 1.57        | 3.6         |
| 15              | 191           | 14.0         | 1.50        | 3.1         |
| <b>Promedio</b> | <b>211.13</b> | <b>17.60</b> | <b>1.59</b> | <b>3.73</b> |

El análisis de la tabla 27 del proceso de corte manual, revela un tiempo promedio de ejecución de 211.13 segundos (aproximadamente 3.5 minutos) por cada coco procesado por un operario. Como se aprecia en la gráfica de Método manual, los tiempos fluctúan significativamente entre un mínimo de 182 segundos (muestra 10) y un máximo de 244 segundos (muestra 12).

Esta variabilidad está directamente condicionada por la fatiga física del trabajador, el nivel de riesgo en la manipulación de herramientas punzocortantes y las características físicas del fruto, evidenciando que el procedimiento tradicional carece de estandarización y limita la capacidad productiva continua.

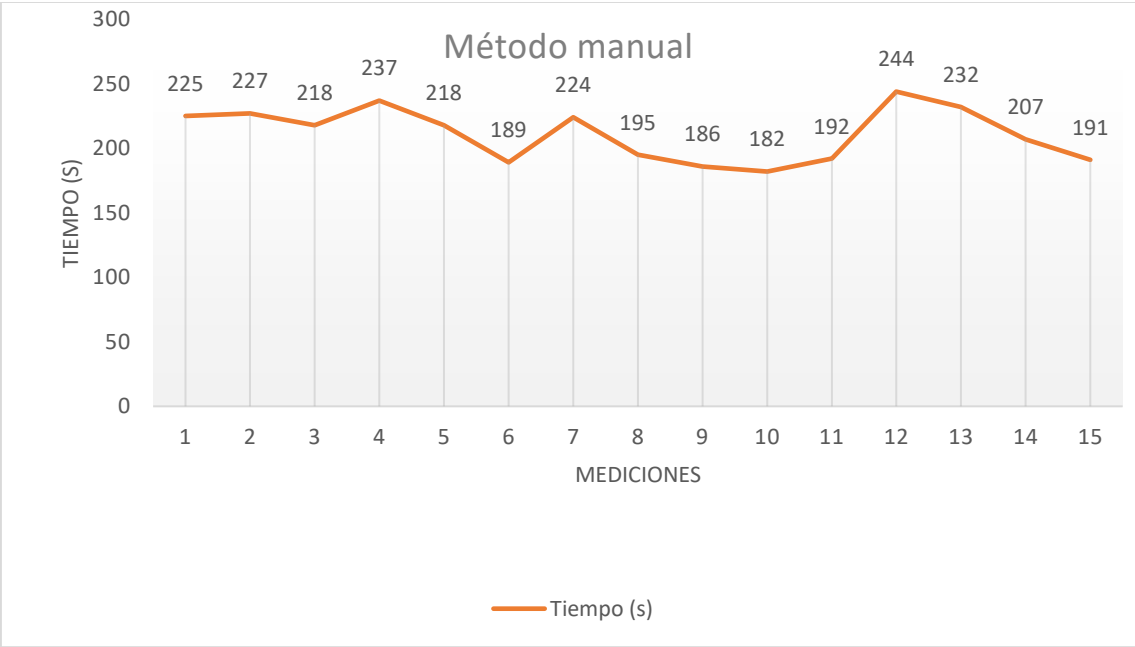


Figura 5-15 Gráfica del tiempo manual

Al comparar las mediciones físicas con la curva de tiempos, se observa en la tabla 28 la cual muestra una correlación directa entre el espesor de la cáscara y el tiempo requerido para efectuar el corte. Indicando así las muestras con mayor espesor y peso son la muestra 12, con 4.5 cm de espesor y 244 segundos que exigieron mayor esfuerzo físico y múltiples golpes repetitivos para penetrar la capa de fibra densa.

Por lo que las muestras con dimensiones más reducidas con la muestra 10, con 3.0 cm de espesor, estos demandaron menor tiempo de procesamiento. Esta dependencia demuestra la necesidad de implementar un sistema mecanizado que homologue la fuerza aplicada y reduzca drásticamente los tiempos muertos y el esfuerzo humano.

Tabla 28: Método Mecanizado P.U - Persona 1

| Mediciones | Tiempo (s) | Diámetro (cm) | Peso (Kg) | Espesor (cm) |
|------------|------------|---------------|-----------|--------------|
| 1          | 11         | 22.0          | 1.70      | 4.5          |

|                 |              |              |             |             |
|-----------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| <b>2</b>        | 13           | 19.0         | 1.60        | 4.5         |
| <b>3</b>        | 10           | 18.0         | 1.60        | 4.5         |
| <b>4</b>        | 12           | 17.0         | 1.59        | 3.6         |
| <b>5</b>        | 11           | 16.0         | 1.55        | 3.5         |
| <b>6</b>        | 13           | 15.0         | 1.53        | 3.2         |
| <b>7</b>        | 11           | 14.0         | 1.50        | 3.5         |
| <b>8</b>        | 12           | 14.5         | 1.54        | 3.4         |
| <b>9</b>        | 13           | 14.5         | 1.59        | 3.4         |
| <b>10</b>       | 10           | 13.0         | 1.51        | 3.0         |
| <b>11</b>       | 11           | 15.0         | 1.52        | 3.3         |
| <b>12</b>       | 10           | 16.0         | 1.56        | 3.5         |
| <b>13</b>       | 10           | 20.0         | 1.65        | 4.0         |
| <b>14</b>       | 11           | 17.0         | 1.58        | 3.6         |
| <b>15</b>       | 10           | 21.0         | 1.68        | 4.2         |
| <b>Promedio</b> | <b>11.20</b> | <b>16.80</b> | <b>1.58</b> | <b>3.71</b> |

En la tabla 29 Con la implementación del prototipo mecanizado, la Persona 1 alcanzó un tiempo promedio de corte de 11.20 segundos por unidad, registrando un mínimo de 10 segundos y un máximo de 13 segundos. Al contrastar estos resultados con el método manual tradicional (211.13 segundos), se evidencia una reducción drástica de más del 94% en el tiempo de procesamiento. Además, la estrecha dispersión de los tiempos

demuestra que el esfuerzo del motor homogeneiza la penetración de la cuchilla, independientemente de las variaciones físicas del fruto (diámetros de 13 a 22 cm y espesores de cáscara hasta 4.5 cm).

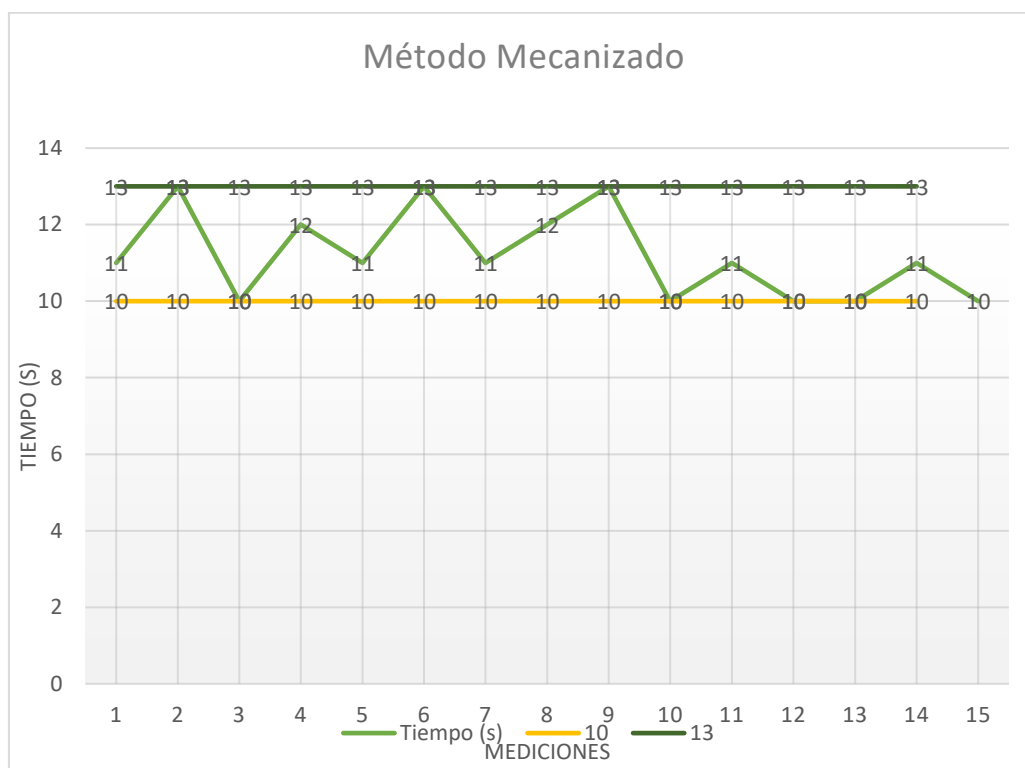


Figura 5-16 Gráfica comparativa de las dos personas operarias

La Figura 5-16 Gráfica comparativa de las dos personas operarias del Método mecanizado, el mismo que evidencia el desempeño del sistema se mantiene rigurosamente acotado dentro del rango operativo proyectado de 10 a 13 segundos, sin desviaciones significativas. Como se observa en la comparativa, la Persona 1 logra operar de forma óptima en el límite inferior alcanzando registros mínimos de 10 segundos (con un promedio de 11.20 s).

Este comportamiento delimita de forma clara la ventana de tiempo del proceso, demostrando que, independientemente de las variaciones físicas del coco o de la destreza del operario, la máquina garantiza que ninguno de los ensayos exceda la barrera de los 13 asegurando una cadencia de producción constante y altamente predecible.

## Manual vs Mecanizado: Proceso de Extracción del Coco

MANUAL
MECANIZADO

| Descripción de proceso              | Tiempo (s) | P1 | P2 | P3 |
|-------------------------------------|------------|----|----|----|
| Tomar el coco                       | 1          | X  |    |    |
| Colocar el coco en la mesa de corte | 3          | X  |    |    |
| Tomar la herramienta de corte       | 1          | X  |    |    |
| Agujerear el área superior del coco | 100        | X  |    |    |
| Traspaso del coco                   | 2          | X  | X  |    |
| Colocacion vertical del coco        | 2          |    | X  |    |
| Extraccion de liquido               | 100        |    | X  |    |
| Retiro del residuo                  | 2          |    |    | X  |
| <b>TOTAL:</b>                       | <b>211</b> |    |    |    |

| Descripción de proceso              | Tiempo (s) | P1       |
|-------------------------------------|------------|----------|
| Oprimir boton de seguridad          | 0.5        | X        |
| Tomar el coco                       | 1          | X        |
| Colocar el coco en la base de corte | 2          | X        |
| Pulsar boton de encendido           | 0.5        | X        |
| Corte del coco                      | 3          | X        |
| Retorno de cuchilla y caída         | 3          | X        |
| Retiro del residuo                  | 2          | X        |
| <b>TOTAL:</b>                       | <b>12</b>  | <b>1</b> |

Figura 5-17 Comparativa de corte

La gráfica detalla los tiempos del proceso para ambos métodos, evidenciando una reducción drástica en el tiempo de ciclo al pasar del corte manual al mecanizado. Mientras que el método tradicional exhibe una alta variabilidad y lentitud por unidad, el sistema mecanizado estandariza el proceso, logrando una operación continua y veloz.

| A            | B              | C                  |
|--------------|----------------|--------------------|
| Tiempo (min) | Proceso Manual | Mecanizado 1 (12s) |
| 0            | 0              | 0                  |
| 10           | 3              | 50                 |
| 20           | 6              | 100                |
| 30           | 9              | 150                |
| 40           | 11             | 200                |
| 50           | 14             | 250                |
| 60           | 17             | 300                |

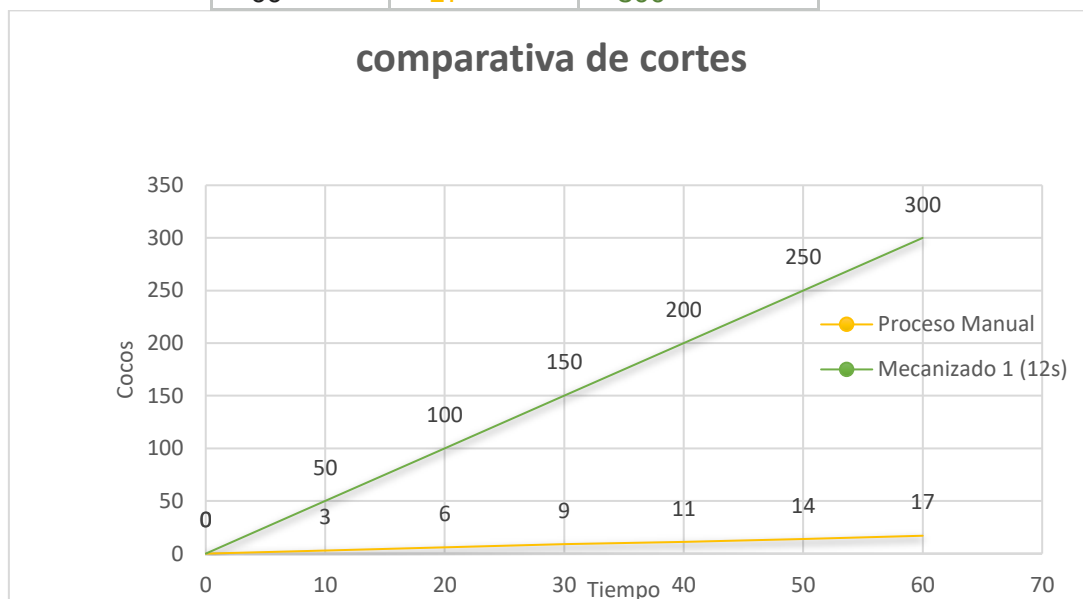


Figura 5-18 Comparativa de corte

El gráfico muestra que en 60 minutos el corte manual alcanza solamente 17 cocos, mientras que el proceso mecanizado llega a 300 en el mismo tiempo. El método mecanizado presenta un crecimiento constante y mucho más rápido, logrando una productividad más de 17 veces superior al corte manual, lo que demuestra su gran ventaja en rendimiento.

## 5.8. DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE CORTE POR TIPOLOGÍA DE FRUTO

Se categorizaron los cocos en dos grupos según su grado de madurez: tiernos (agua) y maduros (secos), ya que este factor determina la dureza de la cáscara y la resistencia al corte. Se registraron la tasa de éxito de corte, la profundidad de penetración promedio, el tiempo de impacto y la corriente consumida por el motor durante el corte.

Tabla 29: Desempeño del sistema de corte por tipología de fruto (n = 50 unidades).

| Variable                          | Coco Tierno (n=25) | Coco Maduro (n=25) | Observación Técnica                                                             |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Tasa de éxito de corte [%]        | 100%               | 96%                | 1 unidad requirió un segundo ciclo por dureza inusual.                          |
| Tiempo de impacto [s]             | 4.0                | 4.5                | La mayor resistencia del mesocarpio maduro incrementa el tiempo de penetración. |
| Corriente durante corte I RMS [A] | 26.5               | 31.8               | El coco maduro exige el máximo par motor disponible.                            |

Las pruebas de corte se realizaron en el taller de fabricación del prototipo, procesando un total de 50 unidades de coco de agua distribuidas en dos grupos de 25 unidades cada uno. La clasificación de los frutos se realizó de forma visual y táctil: los cocos tiernos se identificaron por su cáscara de color verde, superficie lisa y mayor contenido de agua al agitar, mientras que los cocos maduros presentaron cáscara de tonalidad marrón, mayor dureza superficial y menor volumen de líquido interior. Para cada unidad se ejecutó un ciclo de corte completo accionando el pulsador de marcha con el coco posicionado en el soporte de sujeción en la posición media calibrada durante la etapa de ajustes. La corriente consumida por el motor durante el corte se registró con una pinza amperimétrica de valor

RMS verdadero colocada en el conductor de fase del circuito de potencia, tomando el valor estabilizado durante el tramo de impacto de la cuchilla sobre la cáscara. Se registró el resultado de cada ciclo (corte completo en un ciclo o requerimiento de ciclo adicional) y el tiempo de impacto medido desde el inicio del descenso de la cuchilla hasta su retorno a la posición STOP.

Los resultados demuestran que el sistema es altamente efectivo para el coco tierno obteniendo un éxito del 99%, logrando así cortes limpios y una profundidad de penetración óptima, sin embargo, este resultado considera únicamente una cantidad limitada de pruebas y ya que nos referimos a un sistema electromecánico eventualmente pueden presentarse fallas operativas que disminuyan esta tasa de éxito debido a fallos mecánicos ligados a la naturaleza de un sistema móvil o el desgaste de los componentes por el tiempo. En el caso del coco maduro, la tasa de éxito alcanzó el 96%, donde únicamente una unidad requirió de un segundo ciclo debido a una estructura leñosa inusualmente densa.

La corriente pico de 31.8 A registrada durante el corte del coco maduro confirma que el motor opera cerca del límite de su capacidad en el escenario más desfavorable. Esto valida técnicamente la selección del motor de 2 HP y la inclusión de un contactor dimensionado con un factor de seguridad del 25% para proteger el sistema eléctrico ante picos de carga.



Tabla 30: Secuencia de corte

## 5.9. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL CORTE

En este paso se evaluó la calidad del resultado del corte mediante criterios cualitativos relevantes para la aplicación de procesamiento de alimentos.

Tabla 31: Evaluación cualitativa de la calidad del proceso de corte

| <b>Criterio evaluado</b>              | <b>Puntuación<br/>(1-5)</b> | <b>Observación técnica</b>                                                                                                                                 |
|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Limpieza del corte                    | 5 / 5                       | Sin astillas ni desgarros de fibra significativos.<br>Velocidad tangencial de 0,58 m/s genera cizalladura superior a la deformación elástica de las fibras |
| Estabilidad del coco en el soporte    | 4 / 5                       | Requiere ajuste para cocos de diámetro menor a 22 cm. Para el rango estándar (16.5 cm) la sujeción es firme y segura                                       |
| Recolección del agua de coco          | 5 / 5                       | El ángulo de incidencia permite drenado directo hacia el recipiente sin desperdicio                                                                        |
| Retorno y posicionamiento de cuchilla | 5 / 5                       | La lógica cableada detiene la cuchilla en la posición STOP sin rebotes en el 99,5% de los ciclos                                                           |

Tabla 32: Medición cuantitativa del producto recolectado y eficiencia de extracción

| <b>Nº</b> | <b>Diámetro<br/>(cm)</b> | <b>Volumen<br/>Total<br/>Estimado<br/>(ml)</b> | <b>Volumen<br/>Recolectado<br/>(ml)</b> | <b>Desperdicio<br/>(ml)</b> | <b>Porcentaje de<br/>Desperdicio<br/>(%)</b> |
|-----------|--------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------|
| <b>1</b>  | 22.0                     | 480                                            | 470                                     | 10                          | 2.08%                                        |
| <b>2</b>  | 19.0                     | 410                                            | 400                                     | 10                          | 2.44%                                        |
| <b>3</b>  | 18.0                     | 380                                            | 372                                     | 8                           | 2.11%                                        |
| <b>4</b>  | 17.0                     | 350                                            | 342                                     | 8                           | 2.29%                                        |
| <b>5</b>  | 16.0                     | 320                                            | 313                                     | 7                           | 2.19%                                        |

|                 |              |               |               |             |              |
|-----------------|--------------|---------------|---------------|-------------|--------------|
| <b>6</b>        | 15.0         | 290           | 284           | 6           | 2.07%        |
| <b>7</b>        | 14.0         | 260           | 254           | 6           | 2.31%        |
| <b>8</b>        | 14.5         | 275           | 269           | 6           | 2.18%        |
| <b>9</b>        | 14.5         | 275           | 268           | 7           | 2.55%        |
| <b>10</b>       | 13.0         | 230           | 224           | 6           | 2.61%        |
| <b>11</b>       | 15.0         | 290           | 283           | 7           | 2.41%        |
| <b>12</b>       | 16.0         | 320           | 312           | 8           | 2.50%        |
| <b>13</b>       | 20.0         | 430           | 421           | 9           | 2.09%        |
| <b>14</b>       | 17.0         | 350           | 342           | 8           | 2.29%        |
| <b>15</b>       | 21.0         | 450           | 440           | 10          | 2.22%        |
| <b>Promedio</b> | <b>16.80</b> | <b>353.67</b> | <b>346.27</b> | <b>7.73</b> | <b>2.29%</b> |

#### 5.9.1. Análisis de Eficiencia y Desperdicio del Producto Recolectado:

Como se evidencia se realizó el seguimiento cuantitativo del volumen de agua de coco extraído en 15 muestras con diámetros variables entre 13.0 cm y 22.0 cm. Los resultados muestran un volumen promedio total contenido de 353.67 ml, de los cuales se lograron recolectar de manera efectiva 346.27 ml por fruto. El volumen de pérdida o desperdicio (mermas por salpicadura o retención en la fibra de la cáscara durante la cizalladura) se mantuvo en un promedio reducido de apenas 7.73 ml, lo que equivale a un porcentaje de desperdicio promedio del 2.29 (97.71 de eficiencia de recolección). Esta alta eficiencia confirma que la geometría de la cuchilla y el ángulo de inclinación del sistema de descarga garantizan un vertido directo y limpio hacia el depósito, minimizando la pérdida de materia prima frente a los métodos tradicionales de corte manual donde la tasa de derrame suele superar el 10 %.



Figura 5-17 Cocos procesados

### 5.10. RESPUESTA A LA PROBLEMÁTICA PLANTEADA

La problemática identificada en la sección 2 establecía que la ausencia de un sistema mecanizado para la extracción del producto del coco dificulta la escala de producción y aumenta los riesgos en los trabajadores, reduciendo la productividad en el entorno laboral. Los resultados experimentales permiten evaluar el aporte concreto del prototipo frente a cada dimensión de esta problemática.

Tabla 33: Comparativa de productividad: proceso manual vs. Prototipo mecanizado

| Indicador                              | Proceso Manual            | Prototipo Mecanizado              | Mejora / Impacto              |
|----------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| <b>Tiempo por ciclo de corte [s]</b>   | 182 – 244 s (Prom. 211s)  | 10 – 15 s (Corte puro 6s)         | > 93 % de reducción de tiempo |
| <b>Capacidad efectiva [cocos/hora]</b> | 15 - 20                   | 240 - 300 cocos h                 | 12 a 16 veces más rápido      |
| <b>Exposición al riesgo de corte</b>   | Alta (Herramienta manual) | Eliminada (Zona protegida / Paro) | Crítica                       |

|                                         |                              |                                        |                          |
|-----------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------|--------------------------|
| <b>Movimientos repetitivos forzados</b> | Continuos (Fatiga alta)      | Eliminados                             | Significativa            |
| <b>Consistencia del proceso</b>         | Variable según fatiga humana | Constante e independiente del operario | Alta                     |
| <b>Consumo energético por ciclo</b>     | 0 kWh (Manual)               | 0.00085 kWh                            | Costo operacional mínimo |

En términos de productividad, el proceso manual tradicional registró un tiempo medio de 211.13 segundos por unidad 3.5 minutos aprox., alcanzando una producción de apenas 15 a 20 cocos por hora debido a la fatiga del trabajador. En contraste, el prototipo mecanizado redujo el tiempo total de ciclo a un rango estricto de 10 a 13 segundos (considerando el tiempo efectivo de corte de 6 s más la carga/descarga del fruto, lo que permite alcanzar una capacidad efectiva de 240 a 300 cocos por hora. Esto representa un incremento directo en la productividad de 12 a 16 veces respecto al método convencional.

En términos de seguridad laboral, la implementación del sistema automatizado con guarda de protección, paro de emergencia y zona de corte restringida elimina la exposición directa del operario a herramientas cortopunzantes, reduciendo significativamente el riesgo de accidentes por corte y los trastornos musculoesqueléticos asociados a los movimientos repetitivos de alta frecuencia exigidos por el método tradicional.

## 5.11. LIMITACIONES IDENTIFICADAS Y RECOMENDACIONES DE MEJORA

A partir de los resultados obtenidos, se identificaron las siguientes limitaciones del prototipo en su versión actual, junto con las recomendaciones para abordarlas en versiones futuras:

Rango de sujeción limitado: la efectividad de la sujeción disminuye para cocos con diámetro inferior a 12 cm. Se recomienda ampliar el rango de las mordazas ajustables o incorporar un sistema de centrado automático por resorte.

Avance inercial de la cuchilla: se registró un avance inercial de 4,5° tras la desconexión del contactor. Aunque no compromete la seguridad, podría reducirse mediante la

incorporación de un sistema de frenado por inyección de corriente continua al bobinado del motor.

Ausencia de sistema de recolección integrado: el prototipo actual requiere un recipiente externo para la recolección del agua de coco. Se recomienda incorporar una bandeja de recolección integrada con inclinación regulable en versiones futuras.

## 5.12. LISTADO DE MATERIALES

El listado abarca todos los materiales que se usaron para la construcción de la máquina mecanizada.

Tabla 34: Listado de materiales

| <b>Materiales mecánicos</b>           | <b>Materiales eléctricos</b>    |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Motor 2HP 110v</b>                 | Contactor de 40 <sup>a</sup>    |
| <b>Caja reductora 30:1</b>            | Termo magnético 40 <sup>a</sup> |
| <b>Tubo cuadrado ¼ de pulgada</b>     | Cable concéntrico               |
| <b>Lamina de acero inoxidable 304</b> | Cable flexible                  |
| <b>2 poleas 8 y 4 in</b>              | Pulsador on                     |
| <b>Ángulo</b>                         | Emergencia STOP                 |
| <b>Rodamientos</b>                    | Final de carrera                |
| <b>Placas de acero</b>                | Caja gabinete                   |
| <b>Banda (correas)</b>                |                                 |
| <b>Pasadores</b>                      |                                 |
| <b>Pines</b>                          |                                 |
| <b>Pernos</b>                         |                                 |
| <b>Discos</b>                         |                                 |
| <b>Brocas</b>                         |                                 |
| <b>Cuchillo</b>                       |                                 |
| <b>Electrodos</b>                     |                                 |
| <b>Remaches</b>                       |                                 |

### 5.13. LISTADO DE COSTOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico del prototipo comprende tres componentes: los costos directos de materiales mecánicos y eléctricos, el costo de mano de obra de fabricación, y el análisis del tiempo de retorno de la inversión (TRI) para el negocio objetivo. Este análisis permite evaluar la viabilidad económica del proyecto más allá de su desempeño técnico.

Tabla 35: Costos de materiales mecánicos

| N            | Materiales Mecánicos | Características                 | Valor  |
|--------------|----------------------|---------------------------------|--------|
| 1            | Motor                | 2hp                             | 200,00 |
| 1            | Caja reductora       | 30;1                            | 150,00 |
| 3            | Tubo cuadrado        | 1 1/4 in                        | 45,00  |
| 1 1/2        | Lamina de acero      | inoxidable 304<br>-1mm          | 50,00  |
| 1            | Polea                | 8in                             | 13,00  |
| 1            | Polea                | 4in                             | 7,00   |
| 1            | Ángulo               |                                 | 10,00  |
| 2            | Rodamientos          | 20x48                           | 20,00  |
| 1            | Placas de acero      | 3x50cm                          | 50,00  |
| 1            | Banda (correas)      | B38                             | 11,00  |
| 4            | Pasadores            | Acero de<br>sujeción            | 10,00  |
| 2            | Pines                | Guiado<br>cinemático            | 15,00  |
| 20           | Pernos               | Grado estándar<br>con tuercas   | 20,00  |
| 10           | Discos               | 4 ½ IN                          | 20,00  |
| 6            | Brocas               | Brocas HSS<br>para metal        | 9,00   |
| 1            | Cuchillo             | Acero para<br>cizallado         | 8,00   |
| 1(paquete)   | Electrodos           | E6011 / E6013<br>para soldadura | 25,00  |
| 100          | Remaches             | Pop de<br>aluminio/acero        | 3,00   |
| <b>TOTAL</b> |                      |                                 | 666,00 |

Tabla 36: Costos de materiales eléctricos

| Material                 | Características      | Valor [USD] |
|--------------------------|----------------------|-------------|
| <b>Contactor</b>         | 120V 40 <sup>a</sup> | 49,90       |
| <b>Termomagnético</b>    | 40 <sup>a</sup>      | 8,00        |
| <b>Cable concéntrico</b> | Calibre 10           | 8,00        |

|                         |                         |              |
|-------------------------|-------------------------|--------------|
| <b>Cable flexible</b>   | Calibre 16              | 3,80         |
| <b>Pulsador ON</b>      | Normalmente abierto     | 1,80         |
| <b>Emergencia STOP</b>  | Tipo hongo              | 2,46         |
| <b>Final de carrera</b> | Microswitch de posición | 1,75         |
| <b>Enchufe</b>          | 120V                    | 1,50         |
| <b>Caja gabinete</b>    | Protección eléctrica    | 9,00         |
| <b>TOTAL</b>            |                         | <b>86,21</b> |

#### 5.13.1. Costo de mano de obra

El costo de mano de obra comprende las horas de trabajo empleadas en la fabricación, ensamblaje y ajuste del prototipo. Las actividades consideradas incluyen el corte y soldadura de la estructura metálica, el maquinado y perforación de los componentes del mecanismo biela-balancín, el montaje de los subsistemas mecánico y eléctrico, y las pruebas de ajuste y calibración.

Tabla 37: Costos de materiales eléctricos del prototipo

| <b>Actividad</b>                                        | <b>Horas</b> | <b>Costo/hora [USD]</b> | <b>Total [USD]</b> |
|---------------------------------------------------------|--------------|-------------------------|--------------------|
| <b>Corte y soldadura de estructura (MIG)</b>            | 12           | 4,00                    | 48,00              |
| <b>Maquinado y perforación de piezas biela-balancín</b> | 8            | 4,00                    | 32,00              |
| <b>Soldadura AISI 304 (TIG) — recubrimiento</b>         | 6            | 5,00                    | 30,00              |
| <b>Montaje mecánico (motor, reductora, mecanismo)</b>   | 6            | 4,00                    | 24,00              |

|                                                     |      |      |               |
|-----------------------------------------------------|------|------|---------------|
| <b>Montaje eléctrico y cableado del<br/>tablero</b> | 4    | 4,00 | 16,00         |
| <b>Pruebas, ajustes y calibración</b>               | 4    | 4,00 | 16,00         |
| <b>TOTAL, MANO DE OBRA</b>                          | 40 h |      | <b>166,00</b> |

### 5.13.2. Costo Total del Prototipo

Tabla 38: Resumen del costo total del prototipo.

| <b>Concepto</b>                                    | <b>Valor [USD]</b> |
|----------------------------------------------------|--------------------|
| <b>Materiales mecánicos</b>                        | 666,00             |
| <b>Materiales eléctricos</b>                       | 86,21              |
| <b>Mano de obra de fabricación</b>                 | 166,00             |
| <b>Personal Capacitado para el diseño</b>          | 300,00             |
| <b>Imprevistos (5% del subtotal de materiales)</b> | 37,61              |
| <b>COSTO TOTAL DEL PROTOTIPO</b>                   | <b>1255,82</b>     |

El costo total del prototipo asciende a USD **1255,82**, valor que incluye materiales mecánicos, materiales eléctricos, mano de obra de fabricación y un 5% de imprevistos sobre el subtotal de materiales. Este costo es significativamente inferior al de maquinaria industrial equivalente disponible en el mercado, lo que confirma la viabilidad económica de la solución propuesta para pequeños emprendimientos de procesamiento de coco de agua

### 5.14. ANÁLISIS ECONÓMICO AMPLIADO: CONSUMO ELÉCTRICO, VAN Y TIR

El análisis económico ampliado incorpora tres elementos adicionales al cálculo del TRI previamente presentado: el consumo eléctrico real del prototipo por ciclo y por período de operación, la comparativa de costo operativo por hora entre el método manual y el mecanizado, y los indicadores financieros VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno) proyectados a 12 meses, que permiten evaluar la rentabilidad de la inversión desde una perspectiva financiera formal.

### 5.14.1. Consumo Eléctrico de la Máquina

El consumo energético por ciclo se determinó integrando la potencia instantánea del motor a lo largo de los 4 segundos de duración del ciclo de corte, dividiendo el ciclo en siete tramos según el perfil de corriente registrado con la pinza amperimétrica. La potencia en cada tramo se calculó como el producto de la tensión de alimentación (120 V) por la corriente promedio del tramo, y la energía parcial como el producto de la potencia por la duración del tramo expresada en horas.

Tabla 39: Desglose del consumo energético por tramo del ciclo de corte.

| Tramo        | Intervalo [s] | I prom. [A] | P prom. [W] | $\Delta t$ [h]         | Energía [kWh]           |
|--------------|---------------|-------------|-------------|------------------------|-------------------------|
| 1            | 0,0 – 0,2     | 18,0        | 2.160       | $5,556 \times 10^{-5}$ | 0,000120                |
| 2            | 0,2 – 1,0     | 15,0        | 1.800       | $2,222 \times 10^{-4}$ | 0,000400                |
| 3            | 1,0 – 1,5     | 9,5         | 1.140       | $1,389 \times 10^{-4}$ | 0,000158                |
| 4            | 1,5 – 2,3     | 5,25        | 630         | $2,222 \times 10^{-4}$ | 0,000140                |
| 5            | 2,3 – 2,5     | 10,15       | 1.218       | $5,556 \times 10^{-5}$ | 0,0000677               |
| 6            | 2,5 – 3,5     | 13,65       | 1.638       | $2,778 \times 10^{-4}$ | 0,000455                |
| 7            | 3,5 – 4,0     | 8,5         | 1.020       | $1,389 \times 10^{-4}$ | 0,000142                |
| <b>TOTAL</b> | 0 – 4,0 s     | —           | —           | —                      | <b>0,001483<br/>kWh</b> |

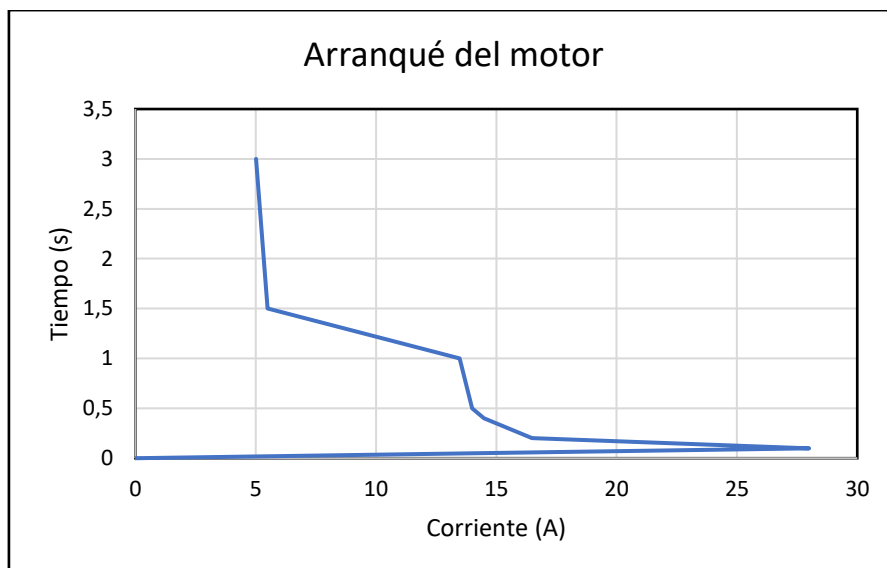


Figura 5-18: Arranque del motor

Muestra el pico de 28 A que corresponde a la corriente de arranqué y luego cayendo hasta 13 A en la corriente de transición y por último bajando hasta una corriente nominal de 5 A en los primeros 3 segundos, que justifica los tramos 1 al 4 de la tabla.

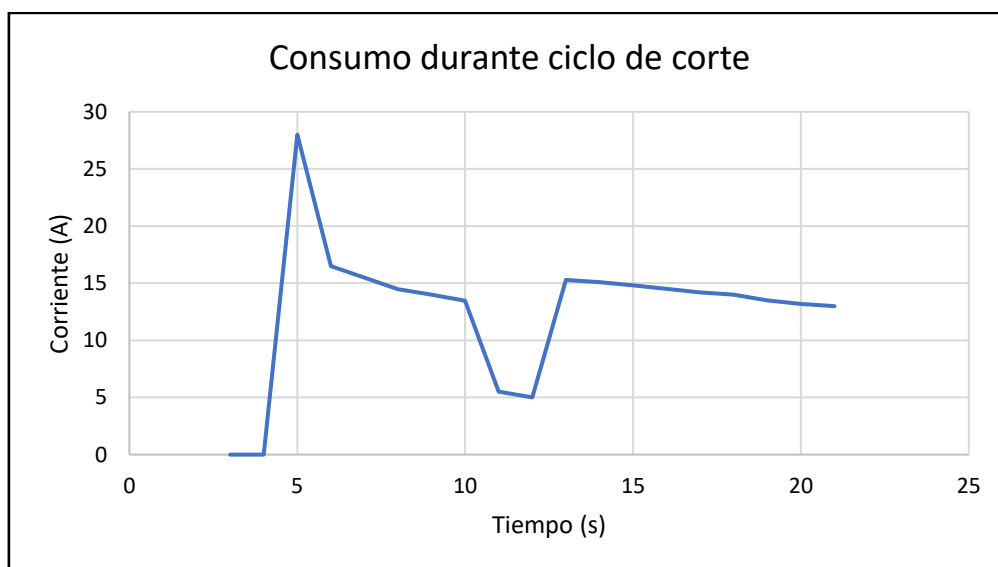


Figura 5-19: Consumo durante el ciclo de corte

La presente figura representa el perfil de corriente registrado durante el arranqué del motor, evidenciando el pico transitorio de 28 A que desciende progresivamente hasta la corriente de vacío de 5 A en aproximadamente 3 segundos.

La Figura 5-19: Consumo durante el ciclo de corte muestra el ciclo completo de corte de 4 segundos, donde se identifica claramente el incremento de corriente en el instante del impacto de la cuchilla sobre la cáscara del coco (tramo 2,3 a 2,5 s), validando el desglose por tramos utilizado para el cálculo del consumo energético

Muestra los 4 segundos completos del ciclo con el pico de arranqué, la estabilización en vacío, el salto al momento del impacto con el coco (tramo 5-6) y el descenso final, que justifica los tramos 5 al 7.

El consumo total por ciclo de corte es de 0,001483 kWh. Con una tarifa eléctrica de USD 0,10 por kWh vigente en Ecuador para uso comercial, el costo energético por ciclo es:

$$\text{Costo/ciclo} = 0,001483 \text{ kWh} \times 0,10 \text{ USD/kWh} = 0,000148 \text{ USD/ciclo}$$

Tabla 40: Consumo eléctrico y costo proyectado por período de operación

| Período                        | Ciclos | Consumo [kWh] | Costo eléctrico [USD] |
|--------------------------------|--------|---------------|-----------------------|
| <b>Por ciclo</b>               | 1      | 0,001483      | 0,000148              |
| <b>Por hora (189 ciclos)</b>   | 189    | 0,2803        | 0,0280                |
| <b>Por día (200 ciclos)</b>    | 200    | 0,2966        | 0,0297                |
| <b>Por mes (4.800 ciclos)</b>  | 4,800  | 7,1174        | 0,71                  |
| <b>Por año (57.600 ciclos)</b> | 57,600 | 85,42         | 8,54                  |

El costo eléctrico mensual de operación del prototipo es de USD 0,71, valor prácticamente despreciable frente a los demás costos operativos del negocio, lo que confirma que el impacto del consumo eléctrico en la rentabilidad del sistema es mínimo.

### 5.15. COMPARATIVA DE COSTO OPERATIVO POR HORA

Para evaluar la eficiencia económica real del sistema mecanizado frente al proceso manual, se calculó el costo operativo total por hora de cada método. Se consideró un salario para el operario de USD 15,00 por jornada laboral legal de 8 horas, lo que determina un costo explícito de mano de obra por hora de:

$$\text{Costo mano de obra/hora} = \text{USD } 15,00 / 8 \text{ horas} = \text{USD } 1,875/\text{hora}$$

Adicionalmente, se integraron los costos de la materia prima (USD 0,70 por coco) y el consumo eléctrico donde corresponde. Se establece que de cada coco se extraen 2,5 vasos de agua, los cuales se comercializan a USD 0,50 cada uno (generando un ingreso bruto de USD 1,25 por coco procesado).

## Proceso Mecanizado

Con el sistema mecanizado, la capacidad máxima teórica es de 189 ciclos (cocos) por hora de operación continua, con un costo eléctrico por hora de USD 0,028.

- **Ingreso bruto/hora:**  $189 \text{ cocos} \times 2,5 \text{ vasos} \times \text{USD } 0,50 = \text{USD } 236,25$
- **Costo de materia prima/hora:**  $189 \text{ cocos} \times \text{USD } 0,70 = \text{USD } 132,30$
- **Costo mano de obra/hora:**  $\text{USD } 15,00 / 8 \text{ h} = \text{USD } 1,875$
- **Costo operativo total/hora:** Materia prima (132,30) + Eléctrico (0,028) + Mano de obra (1,875) = USD 134,203/hora
- **Ingreso neto/hora:**  $\text{USD } 236,25 - \text{USD } 134,203 = \text{USD } 102,047/\text{hora}$  (aprox. USD 102,05)

### 5.15.1. Proceso Manual

Con el proceso manual, el operario procesa un promedio de 14 cocos por hora según su estado físico, sin consumo eléctrico.

- **Ingreso bruto/hora:**  $14 \text{ cocos} \times 2,5 \text{ vasos} \times \text{USD } 0,50 = \text{USD } 17,50$
- **Costo de materia prima/hora:**  $14 \text{ cocos} \times \text{USD } 0,70 = \text{USD } 9,80$
- **Costo mano de obra/hora:**  $\text{USD } 15,00 / 8 \text{ h} = \text{USD } 1,875$
- **Costo operativo total/hora:** Materia prima (9,80) + Mano de obra (1,875) = USD 11,675/hora (aprox. USD 11,68)
- **Ingreso neto/hora:**  $\text{USD } 17,50 - \text{USD } 11,675 = \text{USD } 5,825/\text{hora}$  (aprox. USD 5,83)

Tabla 41: Comparativa de costo operativo e ingreso por hora: manual vs. mecanizado.

| Parámetro                      | Proceso Manual (14 cocos/h) | Proceso Mecanizado (189 cocos/h) |
|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Capacidad de procesamiento     | 14 cocos/hora               | 189 cocos/hora                   |
| Ingreso bruto/hora [USD]       | 17,50                       | 236,25                           |
| Costo materia prima/hora [USD] | 9,80                        | 132,30                           |
| Costo eléctrico/hora [USD]     | 0,00                        | 0,028                            |

|                                         |                  |                  |
|-----------------------------------------|------------------|------------------|
| <b>Costo mano de obra/hora [USD]</b>    | 1,875 (15,00/8h) | 1,875 (15,00/8h) |
| <b>Costo operativo total/hora [USD]</b> | 11,675           | 134,203          |
| <b>Ingreso neto/hora [USD]</b>          | 5,825            | 102,047          |
| <b>Rentabilidad horaria [veces]</b>     | 1,0 (base)       | 17,5 veces mayor |

La comparativa evidencia que, al desglosar la mano de obra en una jornada reglamentaria de 8 horas (USD 1,875/hora), el ingreso neto horaria del sistema mecanizado multiplica por 17,5 veces el rendimiento del proceso manual, respaldando la eficiencia económica del prototipo.

### 5.16. VALOR ACTUAL NETO (VAN) Y TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

El VAN y la TIR permiten evaluar la rentabilidad considerando los flujos de caja del negocio. Para este análisis se estableció un escenario operativo real de 100 cocos procesados diariamente durante 24 días laborables al mes (2.400 cocos mensuales), lo que determina la viabilidad de la inversión del prototipo (USD 1255,82) en un horizonte de 12 meses.

#### 5.16.1. Flujo de Caja Mensual del Proyecto

El flujo de caja se determinó considerando los costos de materia prima, mano de obra (24 días a USD 15,00/día = USD 360,00/mes) y el consumo eléctrico de la máquina:

- Ingreso bruto mensual: 2.400 cocos/mes x 2,5 vasos x USD 0,50/vaso = USD 3.000,00
- Costo de materia prima mensual: 2.400 cocos x USD 0,70 = USD 1.680,00
- Costo mano de obra mensual: USD 15,00/día x 24 días = USD 360,00
- Costo eléctrico mensual: USD 0,71
- Flujo Neto Mensual (FC): 3.000,00 - 1.680,00 - 360,00 - 0,71 = USD 959,29/mes

### 5.16.1. Cálculo del VAN

El VAN se calculó sin tasa de descuento ( $r = 0\%$ ) dado que la inversión se realiza con capital propio, por lo que equivale a la sumatoria de los flujos netos durante el primer año menos la inversión inicial del prototipo:

$$VAN = -Inversión + (FC \times n)$$
$$VAN = -1255,82 + (959,29 \times 12) = -1255,82 + 11.511,48 = USD 10.255,66$$

El VAN positivo de USD 10.255,66 al término del primer año confirma que el proyecto genera gran valor económico para el negocio, superando holgadamente el costo inicial del equipo.

### 5.16.2. Cálculo de la TIR

Para el cálculo de la TIR mensual se utiliza la aproximación del primer periodo:

$$TIR\ mensual = FC / Inversión = 959,29 / 1255,82 = 0,7638 \rightarrow 76,38\% \text{ mensual}$$

Una TIR del 76,38% mensual indica que el proyecto recupera más de tres cuartas partes de la inversión inicial cada mes de operación.

Tabla 42: Resumen del análisis financiero VAN y TIR a 12 meses.

| Parámetro                                | Valor                               |
|------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Inversión inicial prototipo [USD]</b> | 1255,82                             |
| <b>Flujo de caja neto mensual [USD]</b>  | 959,29                              |
| <b>Horizonte de evaluación</b>           | 12 meses                            |
| <b>Tasa de descuento aplicada</b>        | 0% (capital propio)                 |
| <b>VAN a 12 meses [USD]</b>              | 10.255,66                           |
| <b>TIR mensual</b>                       | 76,38%                              |
| <b>Tiempo de recuperación (TRI)</b>      | 1,31 meses (Aprox. 31 días hábiles) |

Los resultados financieros demuestran que la inversión en el prototipo de máquina electromecánica (USD 1255,82) es altamente rentable bajo las condiciones reales de mercado. El VAN positivo de USD 10.255,66 en 12 meses y un TIR mensual del 76,38% confirman que el proyecto recupera su inversión inicial en 1,31 meses (31 días hábiles de trabajo), convirtiéndolo en una solución de alto impacto técnico y económico.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. CONCLUSIONES**

- El análisis del proceso manual tradicional determinó un tiempo de ciclo promedio elevado de 2 a 3 minutos por unidad, caracterizado por una baja productividad de 15 a 20 cocos por hora confirmaron la necesidad de mejorar este sistema.
- Se construyó e integró con éxito el prototipo electromecánico mediante la implementación de un mecanismo cinemático biela-balancín, impulsado por un motor de 2 HP con caja reductora 30:1 y una estructura construida en acero AISI 304 y A36. La máquina procesó eficazmente cocos dentro de un rango de diámetro de 13 cm a 22 cm, logrando un tiempo neto de corte de 6,0 segundos por ciclo.
- Las pruebas operativas demostraron la alta factibilidad del prototipo al reducir el tiempo de procesamiento por coco de 211,13 segundos (método manual) a solo 10-12 segundos. Este cambio incrementa la productividad de 12 a 15 veces. Así, el sistema reduce los tiempos de trabajo y satisface eficientemente las necesidades del negocio y sus clientes.

### **6.2. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda un mantenimiento de la maquinaria de manera continua con la finalidad de darle una vida útil estable y funcional a la maquinaria que se usa de manera continua.
- Rediseñar el sistema de sujeción mediante mordazas de centrado automático. Esta mejora permitirá ampliar el rango operativo a cocos de entre 10 cm y 26 cm de diámetro, optimizando la precisión del proceso y reduciendo el desgaste de los componentes mecánicos de la máquina.
-

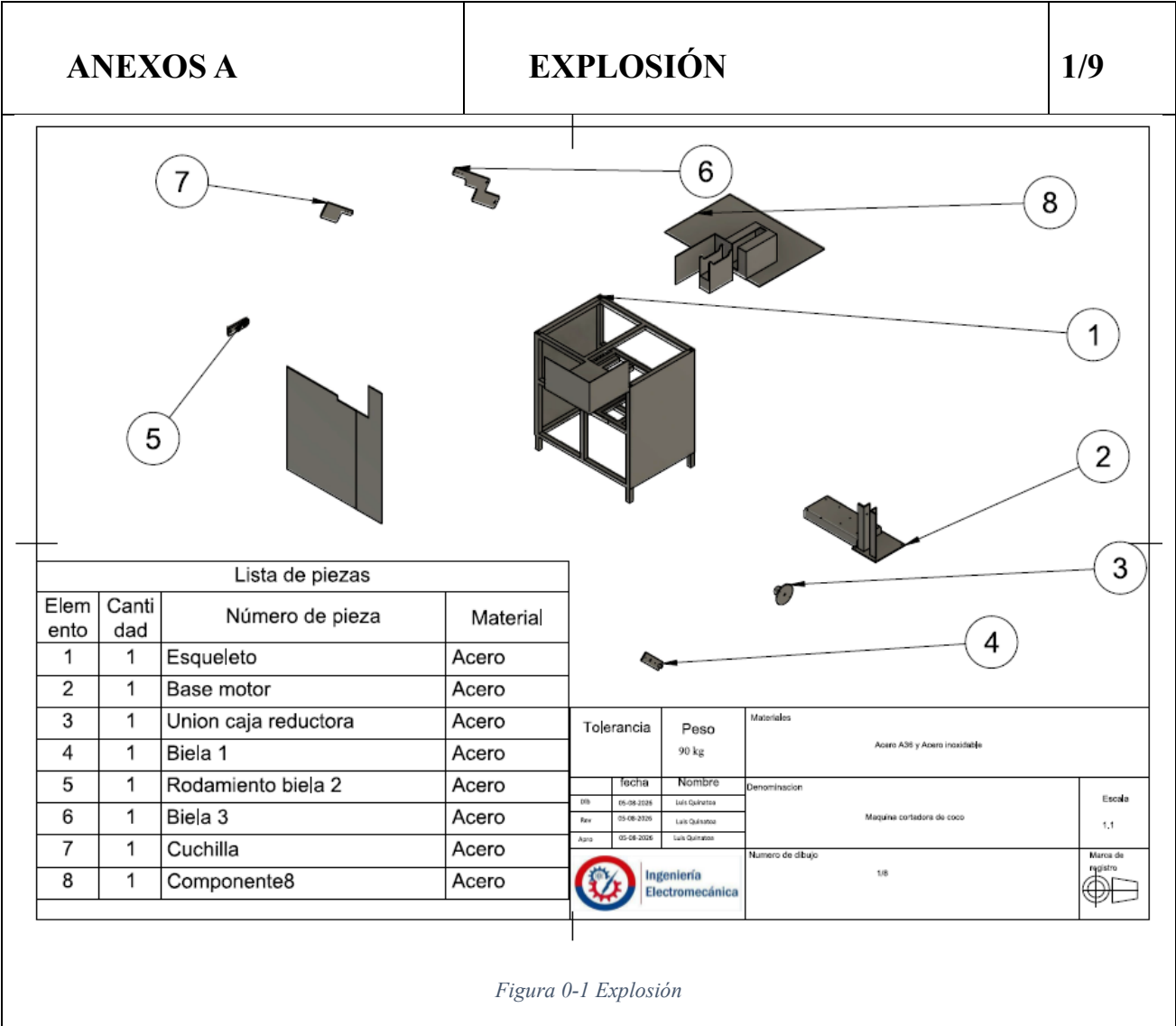
## REFERENCIAS

- [1] F. A. O, «El coco: perspectivas para su aprovechamiento integral en America Latina y el Caribe», Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura, Roma, 2021.
- [2] I. N. de S. e H. en el Trabajo, «Riesgos ergonomicos en trabajos con herramientas manuales», Ministerio de Trabajo, Espana, Madrid, Espana, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.insst.es>
- [3] CEPAL, «Mipymes en America Latina: un fragil desempeno y nuevos desafios para las politicas de fomento», Comision Economica para America Latina y el Caribe, Santiago, Chile, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/44148>
- [4] K. Schwab, *The Fourth Industrial Revolution*. Geneva, Switzerland: World Economic Forum, 2016.
- [5] L. Barreto, A. Amaral, y T. Pereira, «Industry 4.0 implications in logistics: An overview», *Procedia Manuf.*, vol. 13, pp. 1245-1252, 2017, doi: 10.1016/j.promfg.2017.09.045.
- [6] C. Mulas-Granados, M. Arizti, J. Fabra-Mata, y S. Gupta, «How Fast Do Countries Catch Up in the Fourth Industrial Revolution?», International Monetary Fund, Washington, DC, 2019.
- [7] W. Bolton, *Mechatronics: Electronic Control Systems in Mechanical and Electrical Engineering*, 6.<sup>a</sup> ed. Harlow, UK: Pearson, 2015.
- [8] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, 5.<sup>a</sup> ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2010.
- [9] A. M. Mohd Noor, M. Z. Abdullah, R. Shamsudin, y M. F. Mohd Zain, «Physical and mechanical properties of coconut (Cocos nucifera) shell and husk», *Bioresources*, vol. 12, n.º 2, pp. 4205-4217, 2017, doi: 10.15376/biores.12.2.4205-4217.
- [10] P. Nithya y K. Umadevi, «Physicochemical properties of tender coconut water», *Int. J. Chem. Stud.*, vol. 5, n.º 4, pp. 1138-1141, 2017.
- [11] E. Apud y F. Meyer, «La importancia de la ergonomia para los profesionales de la salud», *Ciencia y Enfermeria*, vol. 9, n.º 1, pp. 15-20, 2003, doi: 10.4067/S0717-95532003000100002.

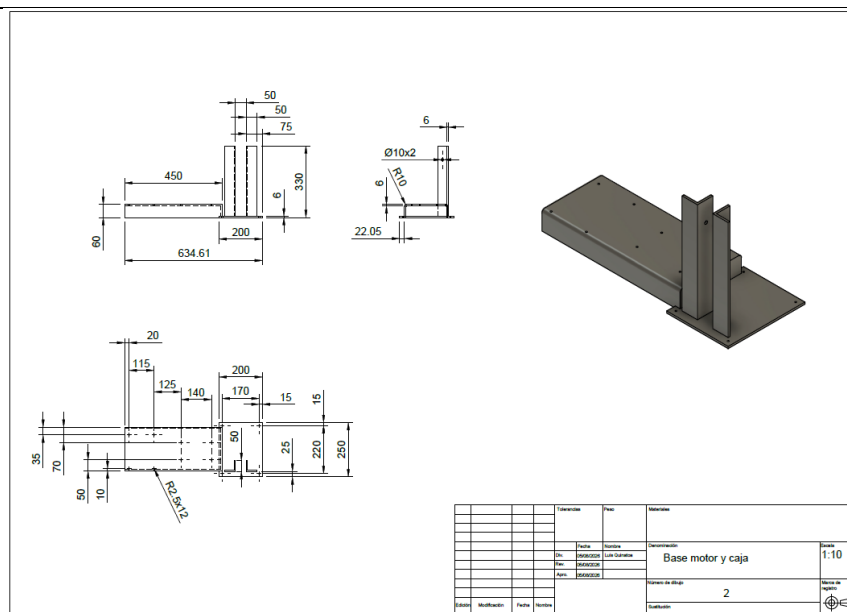
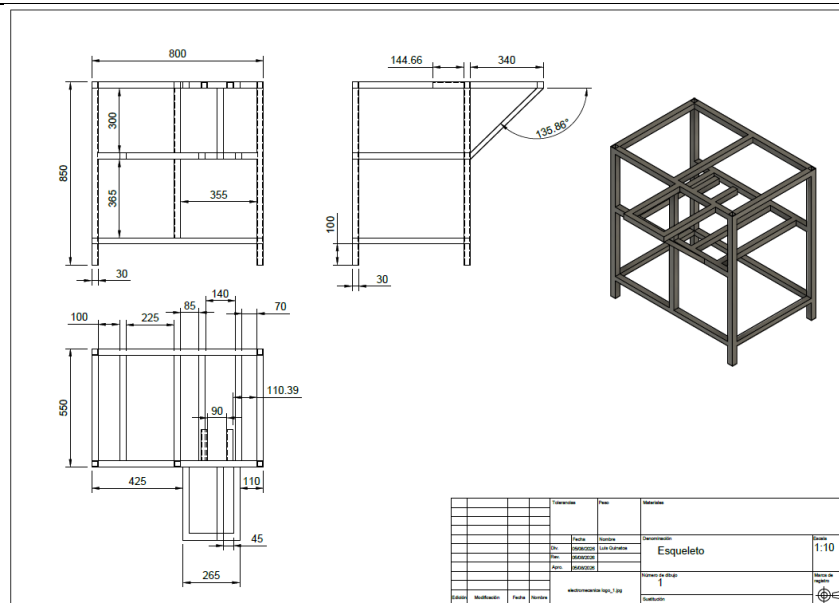
- [12] H. C. Grimwood, *Coconut Palm Products: Their Processing in Developing Countries*. Roma: FAO, 1975.
- [13] M. A. Coronel y R. Guevara, «Caracterización mecánica de la cascara del coco de agua (Cocos nucifera) para el diseño de herramientas de corte», *Revista Ingeniería Agroindustrial*, vol. 8, n.º 2, pp. 45-53, 2019.
- [14] S. J. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals*, 5.ª ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2012.
- [15] R. L. Norton, *Machine Design: An Integrated Approach*, 5.ª ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson, 2014.
- [16] J. E. Shigley, C. R. Mischke, y R. G. Budynas, *Diseño en Ingeniería Mecánica*, 8.ª ed. Mexico: McGraw-Hill, 2008.
- [17] S. K. F. Group, *Manual de Rodamientos SKF*, 6.ª ed. Gotemburgo, Suecia: SKF, 2018.
- [18] A. S. M. International, *Stainless Steels for Design Engineers*. Materials Park, OH: ASM International, 2008.
- [19] A. W. Society, *Welding Handbook: Welding Processes*, 9.ª ed. Miami, FL: AWS, 2007.
- [20] E. A. Perez, *Automatización industrial y control de procesos*. Barcelona, España: Marcombo, 2014.
- [21] G. Harper Enriquez, *El ABC del Control Eléctrico*. Mexico: Limusa, 2006.
- [22] I. O. for Standardization, «ISO 12100:2010 Safety of Machinery General Principles for Design Risk Assessment and Risk Reduction», ISO, Geneva, Switzerland, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/51528.html>
- [23] M. de T. del Ecuador, «Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo Decreto Ejecutivo 2393», Ministerio de Trabajo del Ecuador, Quito, Ecuador, 1986. [En línea]. Disponible en: <https://www.trabajo.gob.ec>
- [24] M. de T. del Ecuador, «Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores. Decreto Ejecutivo 255», Ministerio de Trabajo del Ecuador, Quito, Ecuador, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2024/01/DECRETO-EJECUTIVO-255-REGLAMENTO-DE-SEGURIDAD-Y-SALUD-DE-LOS-TRABAJADORES.pdf>

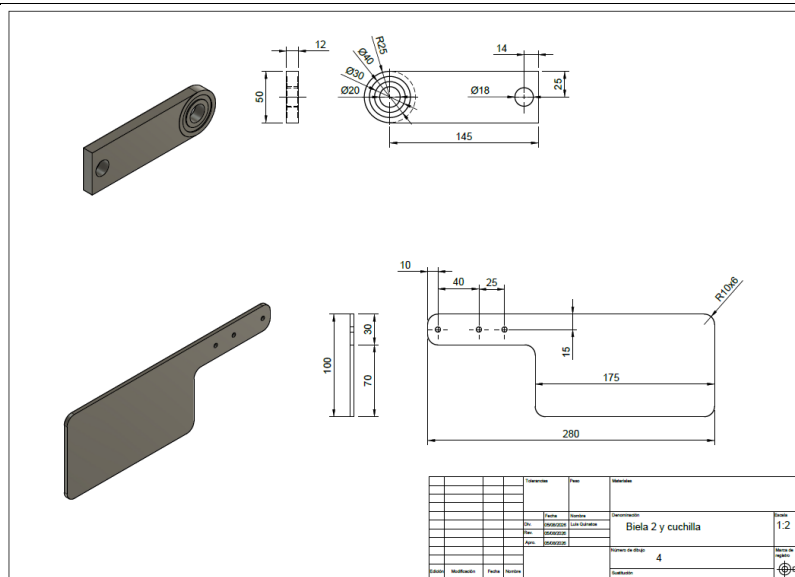
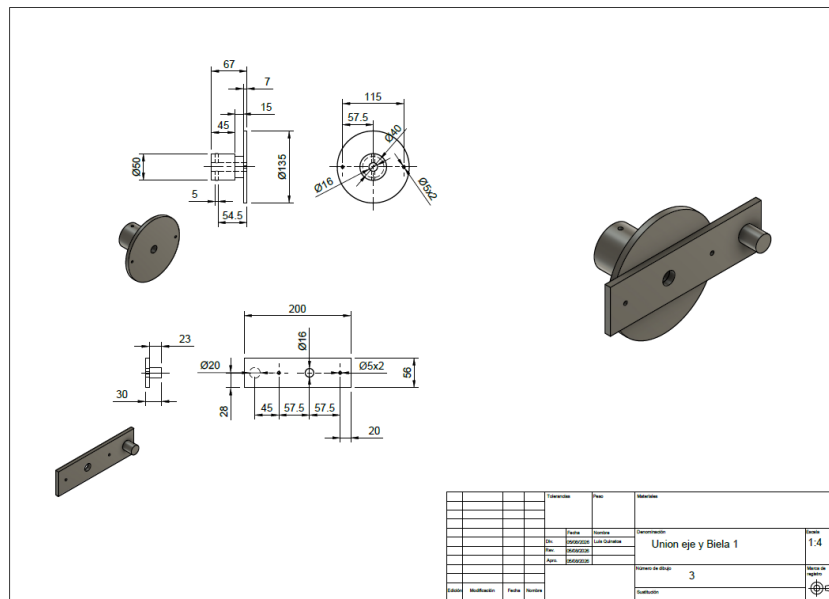
- [25] R. H. Westgaard y J. Winkel, «Occupational musculoskeletal and mental health: Significance of rationalization and opportunities to create sustainable production systems», *Appl. Ergon.*, vol. 42, n.º 2, pp. 261-296, 2011, doi: 10.1016/j.apergo.2010.07.002.
- [26] EHEDG, «Hygienic Design Principles for Food Processing Equipment», European Hygienic Engineering and Design Group, Frankfurt, Germany, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.ehedg.org>
- [27] S. J. Chapman, *Maquinas Electricas*, 5.<sup>a</sup> ed. Mexico: McGraw-Hill, 2012.

7. ANEXOS



|          |            |     |
|----------|------------|-----|
| ANEXOS B | Estructura | 2/9 |
|----------|------------|-----|







| ANEXOS E | TEMA: Montaje                                                                                                                                                                       | 5/9 |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|          |  <p data-bbox="560 728 1050 761"><i>Figura 0-8 Base unida al motor y caja reductora</i></p>       |     |
|          |  <p data-bbox="655 1249 957 1283"><i>Figura 0-9 Estructura soldada</i></p>                       |     |
|          |  <p data-bbox="560 1727 1051 1760"><i>Figura 0-10 Montaje de la estructura con el motor</i></p> |     |

| ANEXOS F | Montaje del funcionamiento | 6/9 |
|----------|----------------------------|-----|
|----------|----------------------------|-----|

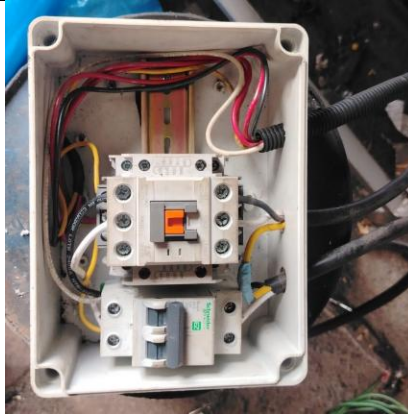


*Figura 0-11 caja eléctrica*



*Figura 0-12 estructura de bandeja*



*Figura 0-13 recubrimiento de la maquina*

|                                                                                      |                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----|
| ANEXOS G                                                                             | Medidas de ángulos | 7/9 |
|    |                    |     |
| <p data-bbox="619 835 976 869"><i>Figura 0-14 Ángulo mínimo de corte</i></p>         |                    |     |
|    |                    |     |
| <p data-bbox="619 1373 976 1406"><i>Figura 0-15 Ángulo máximo de corte</i></p>       |                    |     |
|  |                    |     |
| <p data-bbox="651 1776 944 1809"><i>Figura 0-16 Ángulo de choque</i></p>             |                    |     |
| ANEXOS H                                                                             | Pruebas            | 8/9 |



*Figura 0-17 colocación del coco*



*Figura 0-18 corte del coco*



*Figura 0-19 coco partido*

|                 |                |            |
|-----------------|----------------|------------|
| <b>ANEXOS I</b> | <b>Maquina</b> | <b>9/9</b> |
|-----------------|----------------|------------|



*Figura 0-20 Maquina terminada*

## **MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO DE MÁQUINA DE CORTE Y RECOLECCIÓN DE AGUA DE COCO**

### **1. INTRODUCCIÓN**

Este manual tiene como finalidad garantizar el funcionamiento seguro, eficiente y duradero de la máquina diseñada para cortar cocos verdes y recolectar su agua en condiciones higiénicas.

Está dirigido a operarios, encargados de producción y personal de mantenimiento.

El equipo funciona bajo el principio de corte rotativo y recolección por gravedad, reduciendo el esfuerzo físico, minimizando derrames y evitando la contaminación del producto.

### **2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DETALLADAS**

#### **2.1 características de la maquina**

| <b>Parámetro</b>                  | <b>Valor / Descripción</b>          |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Modelo                            | MCC-01 (Máquina Corte Coco)         |
| Capacidad de procesamiento        | 10 cocos por minuto                 |
| Diámetro de coco admitido         | 13 cm a 22 cm                       |
| Peso aproximado del equipo        | 90a 100 kg                          |
| Dimensiones totales (L × An × Al) | 80 cm × 65 cm × 85 cm               |
| Altura de trabajo                 | 85 cm (adaptada a ergonomía humana) |

#### **2.2 Sistema Eléctrico y Mecánico**

| <b>Componente</b>     | <b>Características</b>                                                    |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Motor eléctrico       | 2 HP / 1,50 kW, 110 V, monofásico, 60 Hz, 1.720 rpm                       |
| Reductor de velocidad | Relación 1:30, salida de 56 rpm                                           |
| Hoja de corte         | Acero inoxidable AISI 304 templado, Ø 28mm, espesor 4 mm, ángulo de filo. |
| Eje de transmisión    | Acero de carbono                                                          |
| Cojinetes             | Rodamientos de bolas sellados, resistentes a humedad                      |
| Sistema de sujeción   | Base en media una                                                         |
| Zona de recolección   | Acero inoxidable 304, grado alimenticio                                   |
| Protección eléctrica  | Interruptor termomagnético, parada de emergencia, aislamiento (IP44)      |

### **3. NORMAS GENERALES DE SEGURIDAD**

Es obligatorio cumplir estas reglas para evitar accidentes y daños al equipo:

#### **3.1 Equipo de Protección Personal (EPP)**

- Delantal impermeable.

#### **3.2 Reglas de Operación**

- Nunca introducir manos, herramientas o objetos extraños en la zona de corte mientras el equipo esté encendido.
- Verificar que todos los protectores metálicos estén colocados y firmes antes de arrancar.
- No operar la máquina si hay cables pelados, conexiones flojas o piezas dañadas.
- Ante cualquier anomalía, activar la parada de emergencia y desconectar la energía antes de revisar.
- Mantener el área libre de agua acumulada, cáscaras o residuos que puedan causar caídas.
- Solo personal capacitado debe manipular el equipo.

### **4. INSTRUCCIONES COMPLETAS DE USO Y OPERACIÓN**

#### **4.1 Preparación Previa al Inicio**

1. Inspección visual general: Revisar que no haya piezas flojas, golpes o fisuras en la estructura.
2. Revisión de corte: Comprobar que la hoja esté bien ajustada y afilada. Si presenta roturas o desgaste, afilar o cambiar antes de usar.
3. Sistema de sujeción: Verificar que la base este en perfecto estado.
4. Sistema de recolección: Asegurarse de que la tolva, rejilla y recipiente estén limpios, desinfectados y correctamente colocados.
5. Conexión eléctrica: Conectar a toma con puesta a tierra. Encender brevemente para comprobar que gira en la dirección correcta.

#### **4.2 Procedimiento Paso a Paso**

1. Preparación de la materia prima: Lavar y desinfectar los cocos por fuera para evitar que tierra o impurezas caigan al agua.
2. Encendido: Activar el interruptor principal y esperar 10 a 15 segundos hasta que verifiquen su comportamiento.
3. Posicionamiento: Colocar el coco en la base de apoyo hasta que quede firme, sin apretar excesivamente para no romper la cáscara.
4. Realización del corte: Accionar el botón de encendido de mecanismo de presión de forma suave y constante hasta que la hoja parta al coco entre en la cáscara. No forzar.
5. Recolección: Mantener la posición hasta que toda el agua fluya por gravedad hacia el recipiente colector.
6. Retiro: al regresar la hoja a su posición original, y retirar la cáscara vacía.

7. Repetición: Continuar con el siguiente coco manteniendo el ritmo constante.
8. Finalización: Al terminar, apagar el interruptor principal y desconectar el cable de corriente.

## **5. MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Es el conjunto de acciones programadas para conservar la máquina en óptimas condiciones y evitar fallas imprevistas.

### **5.1 Mantenimiento Diario (Después de cada uso)**

Limpieza sanitaria:

- Desmontar la rejilla.
- Lavar con agua potable, cepillo y jabón neutro. Enjuagar muy bien.
- Desinfectar con solución de hipoclorito de sodio (50 ppm) o producto autorizado para alimentos.
- Secar completamente con paño limpio o dejar escurrir en lugar ventilado.

Revisión rápida:

- Quitar residuos de fibra o cáscara alrededor de la hoja y eje.
- Verificar que el interruptor y parada de emergencia funcionen.
- Comprobar que no haya fugas de agua en uniones.

### **5.2 Mantenimiento Semanal**

Afilado de la hoja:

- Desconectar energía. Desmontar la hoja.
- Afilar la hoja.
- Verificar que no tenga deformaciones. Montar nuevamente y ajustar con el par de apriete recomendado.

Revisión de ajustes:

- Apretar toda la tornillería de la estructura y soportes.
- Revisar la tensión de la correa de transmisión: debe ceder entre 10 y 15 mm al presionar con el dedo.
- Lubricar guías de deslizamiento y ejes con grasa de grado alimenticio.

### **5.3 Mantenimiento Mensual**

Inspección de desgaste:

- Revisar estado de los cojinetes: si presentan ruido o juego, engrasar o cambiar.
- Verificar el aislamiento de cables y conexiones eléctricas.
- Revisar recubrimiento de pintura o acero: si hay óxido, lijar, limpiar y aplicar pintura anticorrosiva.
- Comprobar hermeticidad de recipientes y válvulas de salida.

### **5.4 Mantenimiento Semestral**

Revisión general:

- Desmontar el sistema de transmisión, limpiar y cambiar grasa de cojinetes.

- Verificar alineación de poleas.
- Revisar estado del motor: medir consumo de corriente y temperatura de funcionamiento.
- Cambiar piezas que muestren desgaste de su espesor original.

## 6. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Conjunto de acciones para reparar fallas ya presentadas y devolver el equipo a su estado normal.

| FALLA O ANOMALÍA               | CAUSA PROBABLE                                                           | SOLUCIÓN CORRECTIVA                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Corte difícil o muy lento      | Hoja desafilada, filo en mal estado o velocidad insuficiente             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Afilar o reemplazar la hoja</li> <li>• Revisar tensión de correa</li> <li>• Verificar voltaje de entrada</li> </ul>                                           |
| Corte irregular o desviado     | Hoja mal fijada, eje doblado o sujeción floja                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajustar tornillos de sujeción de la hoja</li> <li>• Verificar rectitud del eje</li> <li>• base desgastadas</li> </ul>                                         |
| Excesiva vibración y ruido     | Poleas desalineadas, cojinetes dañados o tornillería floja               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alinear poleas</li> <li>• Cambiar cojinetes y lubricar</li> <li>• Apretar todas las uniones</li> </ul>                                                        |
| Derramamiento excesivo de agua | Corte muy profundo o posicionamiento incorrecto                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Regular el tope de recorrido de la palanca</li> <li>• Centrar bien el coco en la base</li> </ul>                                                              |
| Motor no arranca               | Falta de corriente, fusible quemado, interruptor dañado o bobina quemada | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar suministro eléctrico</li> <li>• Cambiar fusible o interruptor</li> <li>• Llamar a técnico eléctrico si hay daño en motor</li> </ul>                   |
| Óxido en piezas                | Secado insuficiente o uso de materiales inadecuados                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lijar y limpiar zonas afectadas</li> <li>• Secar inmediatamente después de cada uso</li> <li>• Cambiar piezas por acero inoxidable si es necesario</li> </ul> |
| Fugas en la recolección        | Juntas desgastadas o agujeros en la tolva                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambiar empaques de goma</li> <li>• Soldar o reemplazar piezas dañadas</li> </ul>                                                                             |

## **7. LISTA DE REPUESTOS RECOMENDADOS**

Para evitar paradas prolongadas, se recomienda tener en stock:

- 1 hojas de corte de repuesto.
- 1 correa de transmisión del mismo tipo y longitud.
- 2 pares de cojinetes.
- Juego de tornillería y tuercas de repuesto.
- Empaques de goma alimenticia.
- Toma corriente y accesorios eléctricos.

## **8. CONSIDERACIONES SANITARIAS Y AMBIENTALES**

- Materiales: Todas las piezas en contacto directo con el agua deben ser de acero inoxidable 304 o materiales aprobados para alimentos.
- Residuos: Las cáscaras y fibras retiradas deben disponerse en contenedores cerrados para su posterior aprovechamiento o eliminación, evitando la acumulación de basura.
- Higiene: La máquina debe mantenerse siempre limpia para evitar la proliferación de bacterias y hongos.

El presente manual tiene como objetivo explicar de forma detallada y sencilla el manejo correcto de la máquina cortadora mecanizada de cocos. En él encontrarás todo el procedimiento completo: desde las revisiones obligatorias que se deben hacer antes de encender el equipo, la manera adecuada de conectar la energía eléctrica y activar el motor, hasta la forma correcta de colocar el coco en la base, accionar el mecanismo de corte y apagar la máquina de forma segura una vez terminado el trabajo.

Es indispensable que toda persona que vaya a operar la máquina lea y comprenda este contenido antes de empezar a trabajar.

## PROCEDIMIENTO DE USO PASO A PASO

Estos pasos evitan fallas y accidentes antes de arrancar el equipo:

| Revisión previa obligatoria (antes de conectar la energía)                          |                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | 1. Verifica que la máquina se encuentre sobre una superficie plana, firme y estable, sin inclinaciones.          |
|  | 2. Inspecciona visualmente todo el conjunto mecánico y su área de operación.                                     |
|  | 3. Verifica que no haya objetos extraños, residuos o impureza dentro de la bandeja recolectora del agua de coco. |
|  | 4. Revisa que la cuchilla de corte esté bien ajustada.                                                           |

### Conexión y encendido seguro



5. Verifica que el pulsador de apagado o de emergencia este en posición de apagado antes de conectar.



6. Conecta el enchufe a una toma de corriente con conexión a tierra adecuada, sin usar cables prolongadores en mal estado.



7. Para encender la maquina acciona el pulsador de color verde



8. Una vez encendido la maquina observa el comportamiento de la cuchilla que sea el indicado para así realizar el trabajo de corte.

| <b>Colocación del coco y proceso de corte</b>                                       |  |                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |  | 9. Toma el coco con ambas manos y colócalo firmemente en la base o soporte diseñado para ello, asegurándote de que quede bien asentado y sin moverse. |
|   |  | 10. Para realizar el corte pulsa el botón verde de encendido y así la cuchilla ara su trabajo.                                                        |
|  |  | 11. Una vez terminado el corte retira el coco cortado con cuidado.                                                                                    |
| <b>Finalización del trabajo y apagado seguro</b>                                    |  |                                                                                                                                                       |
|  |  | 12. Una vez terminados los cortes coloca el pulsador en la posición de apagado.                                                                       |

|                                                                                   |  |                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  | <p>13. Desconecta el enchufe de la toma de corriente. hazlo siempre antes de realizar la limpieza.</p>              |
|  |  | <p>14. Realiza la limpieza retira los residuos de forma segura y guarda el equipo en un lugar seco y protegido.</p> |

Al seguir todas estas instrucciones paso a paso, lograrás aprovechar al máximo la potencia y el rendimiento del equipo, reducirás el tiempo de trabajo, evitarás cualquier tipo de accidente o daño físico, y alargarás considerablemente la vida útil de cada una de sus piezas y componentes