



unitec[®]
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES[®]

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO FASE I

**DISEÑO DE MÁQUINA PORTÁTIL PARA LA COSECHA SEMI-MECANIZADA DE CEREZAS
DE CAFÉ: COCAFÉ**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTADO POR:

11441267 LAURA MICHELLE VARGAS FLORES

11441287 NANCY SUYAPA REYES BRIZUELA

ASESOR METODOLÓGICO: M. SC. RIGOBERTO CASTRO

ASESOR TEMÁTICO: ING. DANIEL RAMOS

CAMPUS TEGUCIGALPA M.D.C

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios por haberme guiado por el camino correcto aun cuando yo no lo sabía.

A mis padres por haber creído en mí y haberme dado su apoyo incondicional y los recursos necesarios para llegar a este punto. A mi padre, por creer que la educación es la mejor herencia que se le da a un hijo. A mi madre, por haber forjado buenos valores y hábitos en mí, por darme ánimos cuando más lo necesitaba y por siempre exhortarme a seguir mis sueños. Melania, eres mi modelo a seguir y el más claro ejemplo que mediante trabajo duro y perseverancia puedo lograr lo que sea. Me enseñaste la importancia de la honestidad, la integridad, la humildad y el trabajo y por esto, te estaré eternamente agradecida. A ambos, los amo.

Laura Vargas

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por acompañarme en cada instante de mi vida y permitirme alcanzar grandes logros.

A mi madre Tereza Brizuela por brindarme el amor más puro que conozco y por siempre pensar antes en sus hijos que en ella misma. Madre, tus esfuerzos son impresionantes y tu amor sobrepasa cualquier barrera. A mi padre Simón Reyes por sus enseñanzas que me permiten ser una mejor persona cada día. Ambos han sido un pilar fundamental en mi educación y en mi vida ya que me han motivado constantemente para alcanzar mis anhelos. A mi hermano Fernando Reyes que me ha brindado su cariño y me ha apoyado constantemente en mis éxitos personales. Los amo inmensamente y siempre les estaré agradecida.

Nancy Reyes

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Sr. César Salinas por abrir las puertas de Finca Recreo para ampliar nuestros conocimientos sobre el cultivo, la cosecha y el tratamiento del café.

Agradecemos al Ing. Daniel Ramos por su orientación en las distintas áreas del diseño de máquinas.

Agradecemos al Ing. Ronald Doblado por su orientación en las simulaciones ejecutadas en SolidWorks.

Agradecemos al Ing. Rigoberto Castro por su asesoramiento metodológico y en el diseño de máquinas.

RESUMEN EJECUTIVO

La recolección de cerezas de café es una de las actividades más importantes en la caficultura, representando un 40% de los costos totales del proceso. En Honduras, la cosecha se ha realizado de manera manual, ya que la topografía irregular del país imposibilita la implementación de máquinas. Adicionalmente, estas máquinas han comprometido la salud del cafeto y/o los estándares de calidad de la cosecha. Si bien es cierto, con la cosecha manual se ha obtenido un café de alta calidad, la eficacia del proceso no es la óptima y la mano de obra calificada es escasa.

Para esta investigación se ha diseñado COCAFÉ (Cosechador de Cerezas de Café), un prototipo portátil que mediante rotación mecánica permite la recolección selectiva de cerezas de café. COCAFÉ consiste en dos actuadores con dimensiones adaptadas para el desprendimiento individual de cerezas de café. Un motor de corriente directa transmite la potencia mediante un sistema mecánico que contiene dos engranes cónicos de inglete, dos ejes, dos poleas y una banda. COCAFÉ fue sometido a una serie de simulaciones para verificar su correcto funcionamiento. Se ha realizado un análisis de movimiento mediante el cual se obtuvo el esfuerzo, la deformación y el factor de seguridad de los elementos críticos del sistema mecánico. Adicionalmente, se obtuvieron la potencia consumida del motor y el torque necesario para desprender las cerezas de café. Asimismo, se ha realizado una simulación eléctrica que avala el funcionamiento adecuado del circuito.

En el caso óptimo, se ha estimado que al implementar COCAFÉ en la cosecha de cerezas de café, la eficacia aumente 8 veces en comparación a la cosecha manual. Esto disminuiría considerablemente la pérdida de cerezas de café causadas por la sobremaduración al tener una escasez de mano de obra calificada en el país. COCAFÉ es una máquina manual portátil que puede ser utilizada en terrenos de alta pendiente y facilita el almacenamiento del fruto cosechado.

Palabras claves: Agricultura de precisión, máquina portátil, cosecha selectiva, cosecha semi-mecanizada.

ABSTRACT

The harvest of coffee cherries is one of the most important activities in coffee crops, representing 40% of the total cost of the process. In Honduras, the harvest has been done manually due to the irregular topography of the country that makes it impossible to implement many machines. In addition, these machines have compromise coffee health and / or crop quality. Even though high-quality coffee has been obtained by manual harvesting, the efficacy of the process is not optimal and skilled labor is scarce.

For this research a portable prototype that, by mechanical rotation, allows the selective harvest of coffee cherries has been designed. The prototype is named COCAFÉ. COCAFÉ consists of two actuators with dimensions adapted for the individual detachment of coffee cherries. A direct current motor transmits power through a mechanical system that contains two conical miter gears, two shafts, two pulleys and a band. COCAFÉ has undergone a series of simulations to verify its correct operation. A motion analysis has been carried out through which the stress, deformation and safety factor of the critical elements of the mechanical system were obtained. Likewise, an electrical simulation has been carried out that guarantees the proper functioning of the circuit.

In the optimal case, it has been estimated that when COCAFÉ is implemented in the coffee cherry harvest, the efficiency increases 8 times compared to the manual harvest. This would significantly reduce the loss of coffee cherries caused by over ripening due to a shortage of skilled labor in the country. COCAFÉ is a portable manual machine that can be used on land with high slopes that facilitates the storage of harvested fruit.

Key words: Precision agriculture, portable machine, selective harvest, semi mechanized harvest.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Lista de Siglas	1
Glosario.....	2
I. Introducción.....	4
II. Planteamiento del Problema	6
2.1 Precedentes del Problema	6
2.2 Definición del Problema.....	6
2.3 Justificación.....	7
2.4 Preguntas de Investigación.....	7
2.5 Objetivos.....	7
2.5.1 Objetivo General.....	7
2.5.2 Objetivos Específicos.....	7
III. Marco Teórico	9
3.1 Cafeto.....	9
3.1.1 Morfología del Cafeto.....	9
3.1.2 Etapas de Desarrollo de los Frutos de Café.....	14
3.1.3 Variedades del Cafeto.....	15
3.2 Cosecha de Granos de Café.....	20
3.2.1 Estándares para una Buena Recolección	21
3.2.2 Fuerza de Desprendimiento del Grano	22
3.3 Cultivo del Café en Honduras	23
3.4 Diseño	25
3.5 Prototipos Existentes Para la Cosecha de Café	28
3.5.1 Prototipos de Desprendimiento Mediante Vibración.....	29

3.5.2	Prototipos de Desprendimiento Mediante Succión	31
3.5.3	Prototipos de Desprendimiento Mediante Elementos Mecánicos	35
3.6	Comparación entre Prototipos Mecanizados para Cosecha de Café.....	39
3.7	Riesgos de la Mecanización en la Cosecha de Café	41
IV.	Metodología	43
4.1	Enfoque	43
4.2	Variables de Investigación.....	43
4.3	Técnicas e Instrumentos Aplicados.....	43
4.4	Materiales	44
4.5	Metodología de Estudio.....	45
4.5.1	Investigación de Prototipos Existentes.....	45
4.5.2	Visita Técnica.....	46
4.5.3	Entrevista	48
4.5.4	Propuesta Inicial de Diseño	48
4.5.5	Propuesta Final del Diseño	52
4.5.6	Análisis Computacional	80
4.5.7	Presupuesto de Fabricación.....	84
4.6	Metodología de Validación.....	84
4.7	Cronograma de Actividades	85
V.	Resultados y Análisis.....	86
5.1	Resultados de la Investigación de Prototipos.....	86
5.2	Resultados de la Visita Técnica.....	86
5.3	Resultados de la Entrevista a Cosechadores	86
5.4	Resultados de la Propuesta Inicial.....	87

5.5	Resultados del Diseño Final.....	87
5.5.1	Resultados Estimados de Recolección de Cerezas	88
5.6	Resultados de Simulaciones	89
5.6.1	Simulación del Engrane Cónico de Inglete.....	90
5.6.2	Simulación del Piñón y Eje Primario	93
5.6.3	Simulación del Actuador.....	96
5.6.4	Simulación del Eje Secundario.....	99
5.6.5	Resultados de Torque y Potencia Recomendada del Motor	102
5.6.6	Resultados de Circuito Eléctrico.....	104
5.7	Resultados del Presupuesto	106
VI.	Conclusiones.....	107
VII.	Recomendaciones.....	109
VIII.	Aplicabilidad / Implementación	110
IX.	Evolución de Trabajo Actual / Trabajo Futuro	111
	Bibliografía.....	112
	Anexos.....	119

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Cafeto	9
Ilustración 2. Yemas Apicales y Laterales	10
Ilustración 3. Formación de Órganos a Partir de las Yemas Laterales de las Ramas.....	11
Ilustración 4. Estructura de la Planta del Café.....	11
Ilustración 5. Composición de un Fruto de Café.....	13
Ilustración 6. Diámetro Polar y Diámetro Ecuatorial de la Cereza de Café.....	14
Ilustración 7. Estados de Desarrollo de los Frutos de Café.....	15
Ilustración 8. Diferencia en Granos de Café Arábica y Robusta	16
Ilustración 9. Diferencias entre el Grano de Café Liberiano y Café Excelsa	17
Ilustración 10. Comparación entre Fruto de la Variedad de Café Típyca y Bourbon	19
Ilustración 11. Clasificación de Prototipos para la Cosecha de Café.....	21
Ilustración 12. Defectos en Granos de Café Verdes.....	22
Ilustración 13. Equipo de Trabajo Multidisciplinario de Ingeniería Concurrente.....	26
Ilustración 14. Diseño Concurrente de Sentido Amplio y de Sentido Estrecho	27
Ilustración 15. Pasos de la Ingeniería Concurrente.....	27
Ilustración 16. Vibrador Portátil Cifarelli SC700®.....	31
Ilustración 17. Sistema de Recolección.....	32
Ilustración 18. Sistema de Succión	33
Ilustración 19. Almacenamiento Sugerido.....	33
Ilustración 20. Succión del Fruto del Cafeto con Ventosa Multifuelle	34
Ilustración 21. Ángulo de Contacto entre la Ventosa y el Cafeto.....	35
Ilustración 22. Actuador Dentado de Alfa.....	35

Ilustración 23. Actuador de DESCAPÉ.....	36
Ilustración 24. Partes del Mecanismo de ORSEL.....	37
Ilustración 25. Uso de Equipo ORSEL.....	38
Ilustración 26. Árbol Descopado.....	41
Ilustración 27. Cafetos con Necrosis o Emisión de Brotes.....	41
Ilustración 28. Actuadores Evaluados para la Cosecha de Cerezas de Café con el Prototipo ALFA	46
Ilustración 29. Estado de Maduración del Fruto en Agosto en la Finca Recreo.....	47
Ilustración 30. Canastas de Recolección.....	47
Ilustración 31. Distancia entre Actuadores.....	49
Ilustración 32. Montaje de Mecanismos con Engranajes Rectos.....	51
Ilustración 33. Vista Inferior del Montaje Inicial.....	51
Ilustración 34. Vista Frontal del Actuador.....	52
Ilustración 35. Batería Recargable 12 V y 20 Ah.....	55
Ilustración 36. Engranajes Cónicos de Inglete.....	56
Ilustración 37. Geometría de una Banda Plana Cruzada.....	58
Ilustración 38. Alojamiento para Rodamientos.....	60
Ilustración 39. Partes de la Carcasa.....	63
Ilustración 40. Viga en Voladizo.....	64
Ilustración 41. Soporte para Motor.....	65
Ilustración 42. Divisiones en el Prototipo.....	65
Ilustración 43. Vista Seccionada del Embudo.....	66
Ilustración 44. Ergonomía del Agarradero de una Herramienta Eléctrica.....	67

Ilustración 45. Resultados del Centro de Masa en SolidWorks	68
Ilustración 46. Factores de Diseño de Agujeros Ciegos para Tornillos.....	69
Ilustración 47. Vista de los Agujeros Ciegos en la Carcasa	70
Ilustración 48. Cable TSJ-N de Dos Hilos.....	72
Ilustración 49. Esquema Eléctrico.....	72
Ilustración 50. Montaje del Motor	73
Ilustración 51. Colocación de Engranaje Cónico de Inglete en el Eje del Motor.....	73
Ilustración 52. Unión de Carcasas.....	74
Ilustración 53. Montaje de los Rodamientos.....	74
Ilustración 54. Montaje del Eje Izquierdo y sus Componentes.....	75
Ilustración 55. Montaje del Eje Derecho y sus Componentes.....	75
Ilustración 56. Montaje del Fusible.....	76
Ilustración 57. Montaje de la Tapa Superior	76
Ilustración 58. Montaje Tapa Superior	77
Ilustración 59. Montaje de Tapa Delantera	77
Ilustración 60. Terminales de Ojo para Cable 16 -14 AWG.....	78
Ilustración 61. Montaje de Tapa Trasera	79
Ilustración 62. Montaje Final.....	79
Ilustración 63. Gráfica de la Ecuación de Torque	82
Ilustración 64. Configuración Datos Nominales del Motor.....	83
Ilustración 65. Cronograma de Actividades de Semana 1 hasta Semana 6.....	85
Ilustración 66. Cronograma de Actividades de Semana 7 hasta Semana 12	85
Ilustración 67. Comparación entre Actuadores	86

Ilustración 68. Resultados de Tensiones de la Simulación del Engrane Cónico de Inglete en 5 Segundos	90
Ilustración 69. Resultados de Deformación de la Simulación del Engrane Cónico de Inglete en 1 Segundo	91
Ilustración 70. Resultados de Factor de Seguridad de la Simulación del Engrane Cónico de Inglete en 5 Segundo	92
Ilustración 71. Resultados de Tensión de la Simulación del Piñón y Eje Primario en el Segundo 5	93
Ilustración 72. Resultados de Deformación de la Simulación del Piñón y Eje Primario en el Segundo 5.....	94
Ilustración 73. Resultados de Factor de Seguridad de la Simulación del Piñón y Eje Primario en el Segundo 5.....	95
Ilustración 74. Resultados de Tensión de la Simulación del Actuador en el Segundo 0	96
Ilustración 75. Resultados de Deformación de la Simulación del Actuador en el Segundo 5.....	97
Ilustración 76. Resultados de Factor de Seguridad de la Simulación del Actuador en el Segundo 0	98
Ilustración 77. Resultados de Tensiones de la Simulación del Eje Secundario en el Segundo 0... 99	
Ilustración 78. Resultados de Deformaciones de la Simulación del Eje Secundario en el Segundo 5	100
Ilustración 79. Resultados de Factor de Seguridad de la Simulación del Eje Secundario en el Segundo 0.....	101
Ilustración 80. Gráfica Torque Motor vs Tiempo.....	102
Ilustración 81. Gráfica Torque en Motor y Provocado por Actuadores vs Tiempo.....	102
Ilustración 82. Gráfica Potencia vs Tiempo.....	103
Ilustración 83. Estado Operacional del Circuito.....	104

Ilustración 84. Simulación de Corto Circuito 105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variedades de Café de Porte Alto.....	18
Tabla 2. Estándares para la Recolección de Café.....	21
Tabla 3. Fuerza de Desprendimiento para Cosechar el Fruto del Café.....	23
Tabla 4. Productores de Café en Honduras.....	24
Tabla 5. Comparación entre Prototipos de Vibración y Succión.....	39
Tabla 6. Comparación de Prototipos de Rotación.....	40
Tabla 7. Materiales de Software y Hardware.....	44
Tabla 8. Materiales de Componentes Mecánicos y Electrónicos.....	44
Tabla 9. Combinaciones de Dientes de Engranaje para Eliminar la Interferencia.....	50
Tabla 10. Resultados de Combinaciones de Engranajes con su Respectiva Distancia entre Ejes.....	50
Tabla 11. Comparación entre Motor de Combustión y Motor Eléctrico.....	54
Tabla 12. Duración Recomendada en Horas para Rodamientos.....	61
Tabla 13. Ecuaciones Necesarias para Definir Agujeros en Bases Plásticas.....	69
Tabla 14. Factores para el Diseño de Agujeros en Plástico ABS.....	69
Tabla 15. Resultados del Sistema Mecánico.....	87
Tabla 16. Transferencia de Potencia.....	87
Tabla 17. Carcasa.....	87
Tabla 18. Componentes Eléctricos.....	88
Tabla 19. Propiedades Físicas del Prototipo Final.....	88

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Distancia entre Centros de Engranajes Rectos	49
Ecuación 2. Módulo.....	49
Ecuación 3. Momento de Torsión.....	53
Ecuación 4. Capacidad de una Batería	55
Ecuación 5. Ancho Mínimo Recomendado en una Banda de Transmisión.....	57
Ecuación 6. Ángulo de Contacto entre la Banda y la Polea	58
Ecuación 7. Longitud de la Banda.....	58
Ecuación 8. Razón de Velocidad de Bandas	59
Ecuación 9. Duración de Diseño Dada	61
Ecuación 10. Capacidad de Carga Dinámica Básica Necesaria.....	62
Ecuación 11. Voltaje en el Cable Mediante Ley de Ohm	71
Ecuación 12. Función Coseno Generalizada.....	80
Ecuación 13. Frecuencia Angular.....	80
Ecuación 14. Resistencia en el Motor	83

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Propiedades de Distintos Tipos de Prolon.....	119
Anexo 2. Especificaciones de Motor Eléctrico.....	120
Anexo 3. Datos de los Engranés Cónicos de Inglete	121
Anexo 4. Especificaciones de Batería.....	122
Anexo 5. Ficha Técnica Neopreno	123
Anexo 6. Ficha Técnica Rodamiento 626-Z de SKF.....	124
Anexo 7. Información Técnica Multiconductor TSJ-N.....	125
Anexo 8. Planos de Piezas Diseñadas.....	126

LISTA DE SIGLAS

ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
CAD	Diseño Asistido por Computadoras
CENICAFÉ	Centro Nacional de Investigaciones de Café
COCAFÉ	Cosechador de Cerezas de Café
DESCAFÉ	Desgranadora de Frutos de Café
IHCAFÉ	Instituto Hondureño del Café
ORSEL	Ordeñador Selectivo
PIB	Producto Interno Bruto
THHN	Thermoplastic High Heat-resistant Nylon

GLOSARIO

Cafeto: Planta del café (Jimenez, 2018).

Cosechar: Recoger los productos del campo o de un cultivo cuando están en sazón (Campillo, Álvarez, Oliveros, & Álvarez, 2001).

Descopado: Árbol o arbusto que no tiene o carece de copa, un grupo de ramas y árboles que conforma la parte superior (Aristizábal, Oliveros, Sanz, Montoya, & Álvarez, 2000).

Ergonomía: El conjunto de conocimientos científicos aplicados para que el trabajo, los sistemas, productos y ambientes se adapten a las capacidades y limitaciones físicas y mentales de las personas (Delphi Ergonomics Council (DEC), 2010).

Germinación: Proceso mediante el cual un embrión se desarrolla hasta convertirse en una planta (Camayo, Chavez, Arcila, & Jaramillo, 2003).

Necrosis: Muerte de las células y los tejidos de una zona determinada de un organismo vivo (Aristizábal, Oliveros, Sanz, Montoya, & Álvarez, 2000).

Nudos: Estructura encargada de iniciar el proceso de crecimiento de una nueva rama en la planta (Arcila, Frafán, Moreno, Salazar, & Hincapié, 2007).

Paso diametral: Relación que representa el número de dientes por pulgada de diámetro primitivo (Myszka, 2012).

Piñón: La rueda más pequeña de un par de ruedas dentadas (Myszka, 2012).

Polimórfico: Que tiene o puede tener varias formas sin cambiar su naturaleza (Jimenez, 2018).

Roya: Hongo parásito con aspecto de polvo amarillento que se cría en los cereales y en otras plantas (Aristizábal, Oliveros, Sanz, Montoya, & Álvarez, 2000).

Sinergia: Momento en el cual el resultado final es mayor a la suma de los resultados de cada elemento actuando aisladamente (Künzel, 2005).

I. INTRODUCCIÓN

La calidad del café hondureño se ha posicionado en los primeros lugares a nivel mundial. Esta calidad se obtiene mediante buenas prácticas de mantenimiento del cafeto, la cosecha selectiva de las cerezas del café y el tratamiento del grano. Si bien es cierto, los resultados de la caficultura hondureña son muy buenos, las prácticas antes mencionadas pueden ser mejoradas para alcanzar altos niveles de eficacia.

La cosecha de café se hace manualmente y requiere de mucha mano de obra y tiempo considerable para desprender la cereza del cafeto. Adicionalmente, la topografía montañosa e irregular de Honduras dificulta la aplicación de máquinas robustas que asisten la cosecha de este fruto. La alternativa de maquinaria portátil disponible en el mercado para la cosecha de cereza de café puede comprometer la calidad reconocida a nivel mundial del producto final y ocasionar daños en el cafeto. Por esas razones es que este proyecto está enfocado en el área de agricultura de precisión mediante el diseño de una máquina portátil para la cosecha selectiva de la cereza del café.

Para lograr la selectividad del prototipo COCAFÉ, se seleccionó una técnica de desprendimiento individual de las cerezas de café mediante dos actuadores dentados. Un motor transmite la potencia mediante engranajes cónicos de inglete hacia un eje al cual se monta una polea, una banda y un actuador. Este eje transmite la potencia hacia el segundo eje mediante una banda cruzada, la cual causa que su giro sea en dirección contraria (horario) con respecto al giro del primer eje (antihorario). Todo este mecanismo fue diseñado para ser ubicado dentro de una carcasa de plástico, la cual tiene un mango que permite su agarre y posicionamiento en la rama.

Al implementar el uso de COCAFÉ en la cosecha de cerezas de café se estima que se aumentará la eficacia de la cosecha. En consecuencia, el riesgo a la pérdida causado por la sobremaduración del fruto por falta de mano de obra disminuye. Asimismo, el prototipo facilita el traslado de los frutos cosechados mediante gravedad hacia un depósito. Adicionalmente, COCAFÉ es una máquina portátil, por lo que se puede utilizar en terrenos de alta pendiente.

Este informe contendrá las siguientes secciones: planteamiento del problema, marco teórico, metodología, resultados y análisis, conclusiones, recomendaciones, aplicabilidad e implementación, evolución de trabajo actual y trabajo a futuro.

En el planteamiento del problema se describirán diferentes aspectos del origen del problema debido a la poca eficacia de la cosecha manual y el territorio montañoso donde se cultiva el café.

En el marco teórico se abordarán diferentes temas que influyen en el diseño del prototipo.

La metodología se enfocará en describir y justificar las decisiones tomadas al diseñar el equipo.

En los resultados se presentarán las distintas simulaciones a las que el diseño fue sometido y en el análisis se interpretarán los resultados obtenidos.

En las conclusiones se sintetizarán los aspectos claves del diseño efectuado.

Las recomendaciones se enfocarán en describir los procedimientos cuyos resultados pueden ser mejorados. En la sección de aplicabilidad e implementación se detallarán las áreas en donde la maquina diseñada puede ser utilizada para la cosecha selectiva de la cereza de café. Finalmente, la sección de trabajo futuro explicará la siguiente etapa del proyecto desarrollado.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

Desde sus inicios la recolección de la cereza de café se ha realizado de forma manual con varios recolectores que cosechan solo los frutos maduros de uno en uno. Este proceso facilita una alta concentración de frutos maduros en la cosecha, sin embargo, depende del compromiso y selectividad del recolector. Así mismo, el tiempo de cosecha manual es considerable por lo que este proceso se vuelve poco eficaz.

Se ha intentado hacer uso de distintos prototipos orientados en la cosecha semi-mecanizada, mecanizada o robotizada para facilitar el desprendimiento mediante vibración, succión o mecánica de rotación. No obstante, la aplicación de estos prototipos frecuentemente compromete la calidad de la cosecha, aumenta el tiempo de recolección e incluso podrían dañar el cafeto. Por otra parte, el territorio montañoso e irregular de Honduras impide o dificulta la implementación de estos prototipos.

Uno de los prototipos existentes es el Ciferelli SC700®, este es un prototipo portátil de vibración con alta eficiencia al momento de desprender cerezas de café pero que presenta poca selectividad ya que desprende la cereza sin importar la etapa de maduración en la que se encuentre. Por otro lado, los prototipos de succión son equipos robustos cuyo uso se dificulta en terrenos irregulares pero que presenta buenos resultados al ser utilizados en planicies. Alfa, DESCAFÉ y ORSEL son prototipos mecánicos de rotación cuya característica principal es que son equipos portátiles y requieren al menos 45% de frutos maduros en las ramas. Alfa presenta una alta selectividad y garantiza una calidad de 3%. DESCAFÉ permite el desprendimiento de frutos de manera individual o grupal y ORSEL brinda un rendimiento operativo de más del 80% pero con 20% de frutos verdes en la cosecha.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En Honduras no existe un prototipo para la recolección de café que se adapte a las condiciones topográficas de la ubicación de los cultivos y que no comprometa la calidad de la recolección.

2.3 JUSTIFICACIÓN

La recolección de cerezas de café en Honduras representa alrededor del 40% de los costos totales del proceso. La caficultura en Honduras ha crecido en los últimos años de tal manera que el país se ha logrado posicionar como el quinto mayor exportador de café en el mundo (La Prensa, 2018). Para aumentar la cantidad de cerezas de café cosechadas en un menor tiempo y lograr disminuir los costos de dicho proceso se debe implementar la cosecha semi-mecanizada. Sin embargo, se ha dificultado la utilización de equipos para la cosecha de café debido a la topografía irregular de donde se cultiva el cafeto y los múltiples estados de maduración de este en una sola rama. En la actualidad no existe ningún equipo que sea capaz de igualar los estándares de calidad logrados con la cosecha manual.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Existen prototipos que faciliten la cosecha de café?
- ¿Qué métodos utilizan los prototipos existentes para recolectar el café?
- ¿Qué fuerza se necesita para desprender una cereza de café?
- ¿Qué variedades de café se cultivan en Honduras?
- ¿Cuál es la fuerza con la que se daña el grano de café?

2.5 OBJETIVOS

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un prototipo portátil que mediante rotación mecánica permita la recolección selectiva de cerezas de café.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Investigar prototipos que realicen la función de desprendimiento de frutos de café.
2. Realizar una visita técnica a una finca cafetalera para conocer más sobre la recolección de café.

3. Entrevistar a expertos de los métodos de recolección de café que se utilizan en Honduras.
4. Realizar una propuesta de diseño inicial del prototipo.
5. Realizar modificaciones al diseño inicial y presentar un diseño final del prototipo.
6. Ejecutar un análisis computacional del diseño final del prototipo.
7. Realizar un presupuesto de fabricación del prototipo.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 CAFETO

El cafeto pertenece al género *Coffea* de la familia rubiáceas que incluye más de 500 géneros de plantas. Dentro de este género las especies más importantes son: *Coffea Arábica*, *Coffea Caneophora* y *Coffea Liberica*. Para producir frutos, el cafeto necesita de climas tropicales con temperaturas de entre 16°C a 26°C y una altitud entre 500 y 1700 metros sobre el nivel del mar (Instituto del Café en Costa Rica , 2011). Esta planta suele dar sus frutos por primera vez a los dos años de haberlo plantado sin embargo es hasta los cuatro o cinco años cuando comienza a brindar cosechas de alta calidad.



Ilustración 1. Cafeto

Fuente: (Jímenez, 2018)

3.1.1 MORFOLOGÍA DEL CAFETO

El cafeto es una planta, al igual que muchas, que consta de múltiples partes que van desde la raíz hasta el fruto y que se describen a continuación:

3.1.1.1 Tallo

El tallo es una parte fundamental que nace de la raíz de una planta; en el caso del cafeto cumple la función de sostener las ramas y frutos del café. El tallo atribuye diversos componentes como

agua y nutrientes que son transportados desde la raíz a lo largo de toda la planta. La estructura del tallo del cafeto está conformada por lo siguiente:

1. Yemas apicales del tallo: Es el responsable de la formación de nudos, hojas y del crecimiento vertical de la planta.
2. Yemas laterales del tallo: Estas se encargan de efectuar brotes que crecen horizontalmente que comúnmente se conocen como ramas primarias.
3. Yemas axilares: Origina brotes verticales o eventualmente forman flores y frutos que crecen en el tallo.

Fuente: (Arcila, Frafán, Moreno, Salazar, & Hincapié, 2007)

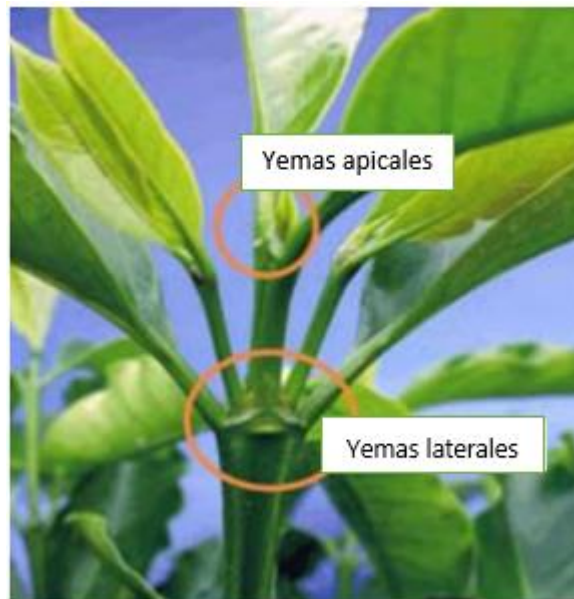


Ilustración 2. Yemas Apicales y Laterales

Fuente: (Arcila, Frafán, Moreno, Salazar, & Hincapié, 2007)

3.1.1.2 *Ramas*

Al igual que en el tallo en las ramas también existe la yema apical; en este caso se encarga de la formación de nudos, hojas y del crecimiento lateral de la planta. Las ramas también están estructuradas por yemas seriadas que dan origen principalmente a la inflorescencia a excepción de aquellas que dan origen a la formación de ramas secundarias o terciarias. La longitud promedio

de una rama de cafeto tipo arábica variedad Colombia es de máximo 0.50 m (Camayo, Chavez, Arcila, & Jaramillo, 2003).

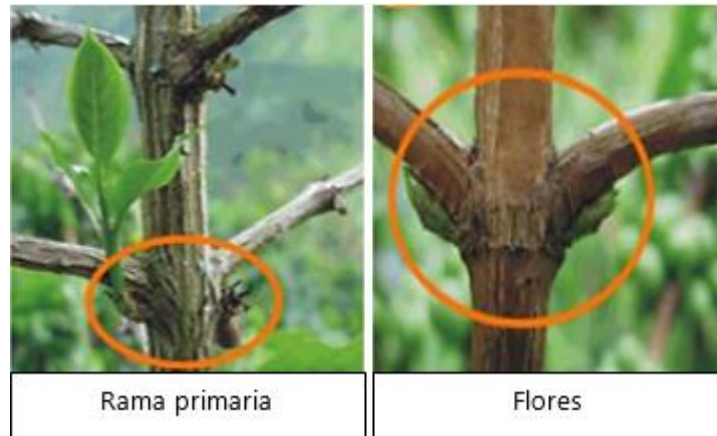


Ilustración 3. Formación de Órganos a Partir de las Yemas Laterales de las Ramas

Fuente: (Arcila, Frafán, Moreno, Salazar, & Hincapié, 2007)

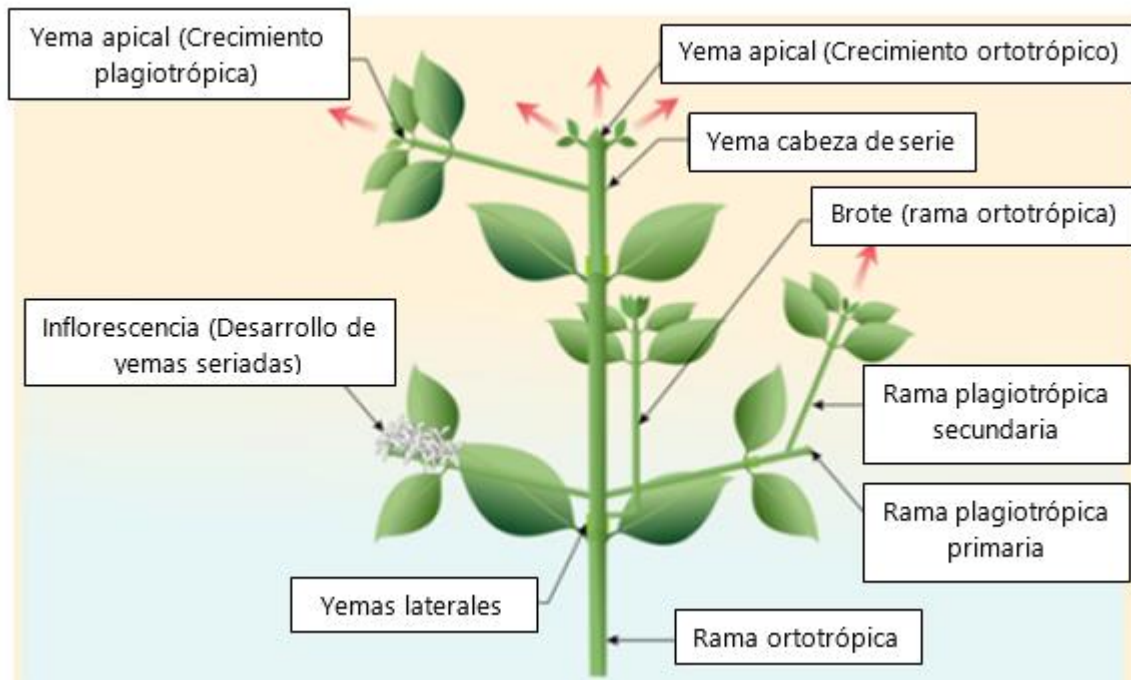


Ilustración 4. Estructura de la Planta del Café

Fuente: (Arcila, Frafán, Moreno, Salazar, & Hincapié, 2007)

3.1.1.3 Fruto

El fruto del café tiene una forma ovalada o elipsoidal ligeramente aplanada. En este fruto generalmente se encuentran dos semillas, pero puede existir el caso que se forme únicamente una semilla denominada caracolillo. Este fruto está compuesto de diferentes partes como se mencionan a continuación y se ilustran en la imagen inferior:

1. Ombligo: Es la parte que conecta al pedúnculo y que une al fruto con la rama del cafeto.
2. Pulpa (Epicarpio): Es la capa externa de material fibroso mucilaginoso del fruto de café. Esta capa varía de color verde a rojo indicando el grado de maduración.
3. Mucilago (Mesocarpio): Es una sustancia azucarada y gelatinosa que en promedio tiene un espesor de 0.55 mm y que cubre los granos. El mucilago se encuentra únicamente en las cerezas maduras.
4. Pergamino (Endocarpio): Es una membrana celulosa dura que se encarga de proteger la semilla.
5. Película plateada (Espermoderma): Está conformada por un grupo de células que están adheridas a los granos y cuya tarea es ayudar y proteger a la semilla. Esta película es más delgada que el pergamino y se despega durante el proceso de tueste.
6. Semillas (Endosperma): Esta es la parte del fruto que luego de ser tostada y molida se utiliza para hacer la bebida de café.

Fuente: (Ramos, Sanz, & Oliveros, 2010)

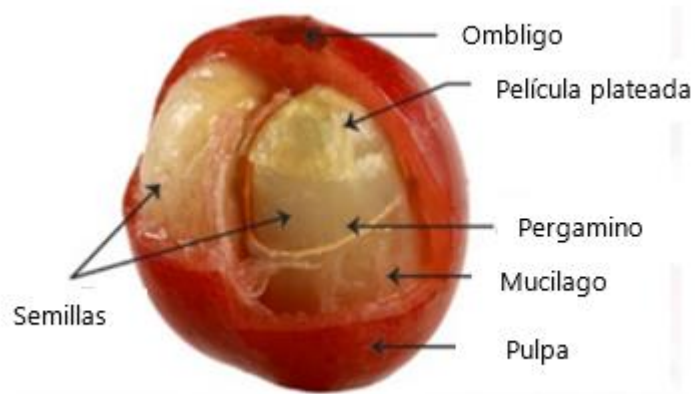


Ilustración 5. Composición de un Fruto de Café

Fuente: (Ramos, Sanz, & Oliveros, 2010)

Las dimensiones estándares de una cereza de café de variedad arábica se dan en base al diámetro polar y el diámetro ecuatorial.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (2014):

El diámetro polar es aquel que se mide por el centro de la fruta, longitudinalmente de la base del pedúnculo al ápice. El diámetro ecuatorial es aquel que se mide perpendicularmente al diámetro polar de una fruta en su sección mayor. (p. 7)

El diámetro polar promedio de la cereza de café madura de variedad arábica es de 15.96 mm y el diámetro ecuatorial promedio es de 14.37 mm (Montilla, y otros, 2008). Las definiciones del diámetro polar y el diámetro ecuatorial del fruto se pueden apreciar de manera ilustrativa en la imagen inferior.

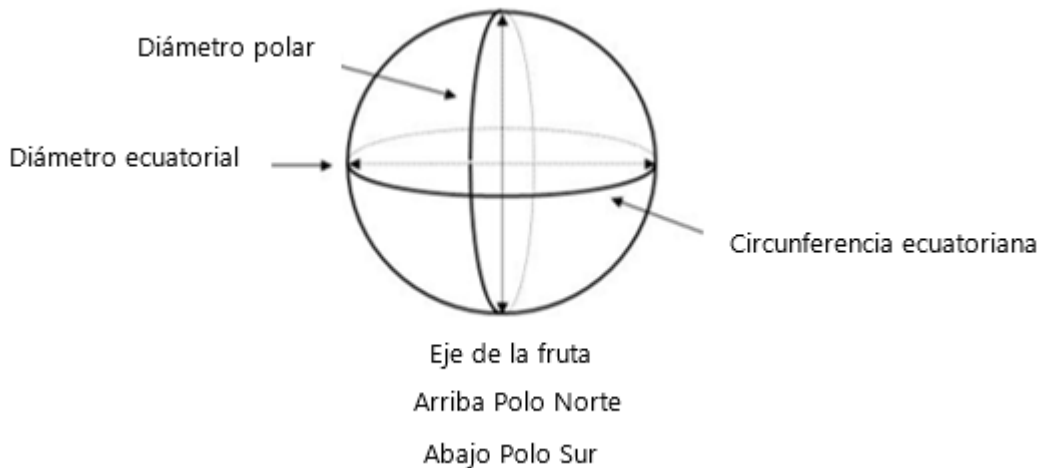


Ilustración 6. Diámetro Polar y Diámetro Ecuatorial de la Cereza de Café

Fuente: (Danizio, 2015)

3.1.2 ETAPAS DE DESARROLLO DE LOS FRUTOS DE CAFÉ

Tal como ocurre en toda especie vegetal el cafeto tiene un ciclo de vida dentro del cual se destacan diferentes fases o etapas. El ciclo de vida de esta planta puede llegar a alcanzar hasta 20 años dentro de los cuales se pueden realizar diferentes cosechas de granos maduros. Sin embargo, a partir de los 8 años la planta comienza a deteriorarse paulatinamente.

El grano de cafeto tiene un ciclo de vida que determina las fases de maduración en las que se encuentra. Es de suma importancia estudiar estas fases ya que para realizar una cosecha de calidad se debe hacer la recolección únicamente en la etapa madura del grano.

Los estados de maduración del fruto del café son: Inmaduro, pintón, maduro y sobremaduro.

Ramos, Sanz, & Oliveros (2010) afirman:

El estado inmaduro se asigna a los frutos con menos de 25 semanas de desarrollo, el pintón a aquellos frutos con 26 a 29 semanas, el maduro a frutos entre 30 y 33 semanas, y el sobremaduro a frutos con cerca de 34 semanas después de floración. (p. 318)

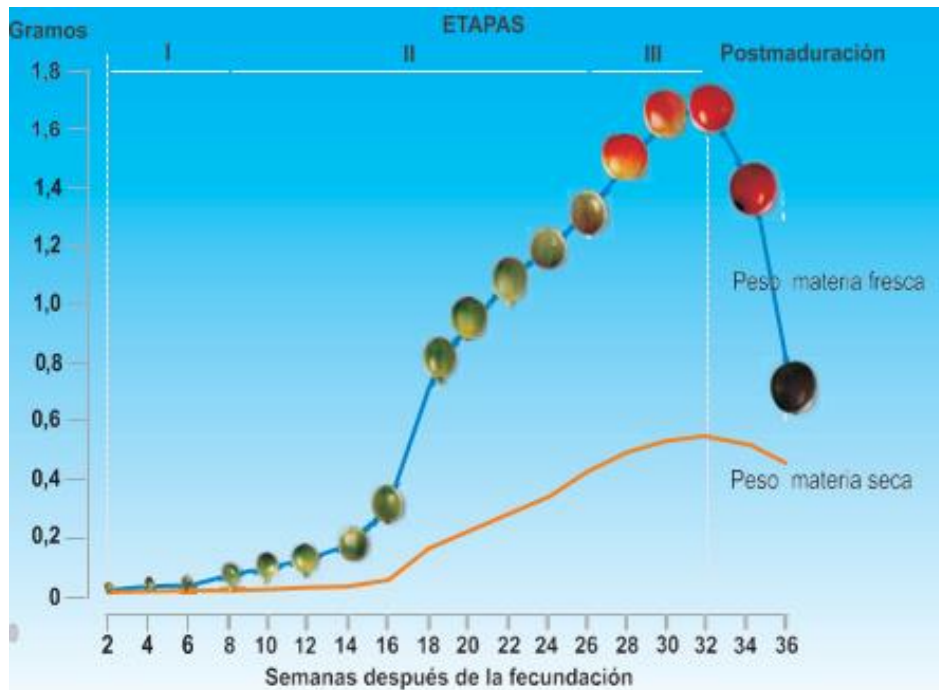


Ilustración 7. Estados de Desarrollo de los Frutos de Café

Fuente: (Ramos, Sanz, & Oliveros, 2010)

3.1.3 VARIEDADES DEL CAFETO

Las cualidades de color, olor y sabor del café que se degusta a nivel mundial día a día dependen de varios factores como ser el tratado del grano y el tipo de grano. El café tiene muchas variedades, pero son dos especies las que predominan: la Arábica y la Canéfora. El fruto de cafeto arábica representa el 70% de la producción de café a nivel mundial y es originario de Etiopía (Revista Fórum Café, 2000).

Su cultivo es el óptimo en zonas húmedas y altas mayormente de América Central y del Sur, Asia y África. Esta especie de café tiene un bajo porcentaje de cafeína y es muy aromático. El cuerpo del café arábica es liviano y tiene un sabor bastante ácido, pero poco amargo. Todas estas características hacen que esta especie de café sea la más consumida a pesar de tener un costo más elevado al café canéfora.

La planta de café canéfora es frecuentemente confundida con el café robusta. Sin embargo, el café robusta es una variedad del café canéfora. El café canéfora tiene una concentración de cafeína mucho mayor a la que se encuentra en el café arábica; este tipo de café es el segundo tipo más

consumido a nivel mundial. Esta especie de café tiene un perfume débil y su sabor se caracteriza por tener poca acidez y mayor amargor.

El café canéfora es nativo de los bosques ecuatoriales de África y actualmente se cultiva en zonas bajas y secas de África, Indonesia, China y Brasil. Adicionalmente, la calidad y características de los granos de café canéfora es extremadamente variable de semilla a semilla. A pesar de esto el café canéfora ofrece cuatro ventajas importantes:

1. Tiene inmunidad o gran resistencia a la roya por el hongo *Hemileia Vastatrix*.
2. La proporción de fruto a grano seco es menor.
3. Tiene una gran capacidad productora.
4. Tiene la capacidad para retener la fruta en el árbol por algún tiempo después de su plena madurez.

(Jímenez, 2018)

En la siguiente imagen, se pueden observar algunas diferencias en la morfología del café arábica y el café canéfora.



Ilustración 8. Diferencia en Granos de Café Arábica y Robusta

Fuente: (Revista Fórum Café, 2000)

A menor escala existen otras dos especies de café que se cultivan en parcelas pequeñas de tierra: café liberiano y café excelsa. El café liberiano se origina de Monrovia en Liberia. Este tipo de café

resiste la exposición al sol mejor que cualquier otra especie de café y tiene una retención de frutos maduros buena. Al igual que el café arábica, el café liberiano es inmune a la roya, característica que le dio apogeo a esta especie desde 1880 hasta 1905. A pesar de todo esto, los granos del café liberiano son de baja calidad.

Por último, el café excelsa proviene de la región semiárida del lago Chad. Esta especie de café se cultiva a menor escala, por ejemplo, en plantaciones de prueba, campos genéticos y pequeños lotes. Al igual que el café canéfora y el café liberiano, el café excelsa es resistente a la roya. La característica única de esta especie de café es que su árbol puede llegar a ser muy alto (20 metros).

En la siguiente imagen, se pueden observar algunas diferencias en la morfología del café liberiano y el café excelsa.



Ilustración 9. Diferencias entre el Grano de Café Liberiano y Café Excelsa

Fuente: (Blackfather Coffee, 2019)

3.1.3.1 Variedades de Café en Honduras

En Honduras el 100% del café cultivado es de especie arábica y el 50% de los cultivos de café lo conforman las variedades "Típyca" y "Bourbon" (Revista Fórum Café, 2002). Sin embargo, hay muchas otras variedades del café arábica que se encuentra en el país, inclusive algunos que son nativos de la región. Esto se debe a que el cultivo de café se caracteriza por ser polimórfico por lo que puede mutarse para adaptarse a las condiciones ambientales a las cuales está sometido. El café puede hibridar ya sea bajo cultivo o de manera silvestre ya que muchos animales disfrutan del fruto maduro de la planta de cafeto y distribuyen su semilla (Jímenez, 2018).

Las variedades de café arábica se clasifican como variedades de porte alto o de porte bajo y generalmente el color de sus frutos es rojo o amarillo. Las variedades Típica y Bourbon son variedades de porte alto; esto significa que el árbol puede crecer hasta 5 metros de altura si este no se descopa. Esta altura hace de la cosecha un trabajo más difícil que la cosecha de las variedades de café arábica de porte bajo, sin embargo, la producción de frutos en las variedades de porte bajo es notoriamente menor a la producción de frutos de las variedades de porte alto. Es importante mencionar que en Honduras para hacer la cosecha más fácil se descopa el árbol a aproximadamente 1.60 metros (Salinas, 2019). A continuación, se muestra una tabla comparativa de las variedades de café de porte alto Típica y Bourbon.

Tabla 1. Variedades de Café de Porte Alto

CARACTERÍSTICAS	PORTE ALTO	
	TÍPICA	BORBÓN
Color de hojas (cogollos)	Bronceado o rojizo	Verde
Susceptibilidad a la roya	si	si
Tamaño de grano (% de supremo)	70%	46%
% de granos vanos	4	4
Densidad de siembra (árboles por hectárea)	2.500	2.500
Producción por árbol (al sol) *kilos de c.p.s.	0,9	1,2
Producción por hectárea* @ c.p.s.	180	240

* Cálculo basado en promedios de muchos ensayos de CENICAFE, a la densidades de siembra descritas en este cuadro.

Fuente: (Echeverri, 2005)

La variedad de café arábica Típica ha sido la base de la mayoría de las hibridaciones realizadas en laboratorio. Esta variedad ofrece un grano grande en comparación al grano del café Bourbon y la calidad del producto final es considerada de las mejores. Sin embargo, la producción de frutos de esta variedad es muy baja.

La variedad de café arábica Bourbon proviene de la Isla Bourbon, mejor conocida en la actualidad como Isla Reunión. Esta variedad tiene un grano de tamaño promedio pero el fruto se madura con mayor rapidez que el fruto de la variedad Típica. Adicionalmente, el árbol tiene un mayor

número de ramas que la variedad Típyca. Estos dos factores contribuyen a que el café variedad Bourbon produzca un 30% más que el árbol de café variedad Típyca.



Ilustración 10. Comparación entre Fruto de la Variedad de Café Típyca y Bourbon

Fuente: (Burke, 2000)

Existen nuevos híbridos del café arábica hondureño producto de mutación silvestre. En el año 2015 científicos de la universidad Trinity College de Dublín descubrieron una nueva variedad de café arábica en El Merendón en El Parque Nacional Cusuco a la cual nombraron Cusucoana Sommera (Revista Fórum Café, 2015). Esta nueva variedad puede alcanzar hasta 10 metros de altura y tiene la característica que su fruto es de color rojo sin importar su etapa de maduración y desarrollo.

En Honduras el café también se puede clasificar por la altura a la cual se cultiva. En general hay dos tipos: café cultivado estrictamente a alturas muy altas y café cultivado a alturas altas. El café cultivado estrictamente a alturas muy altas se cultiva en terrenos que estén mínimo a 1200 metros sobre el nivel del mar. El grano suele ser grande y tener un color verde azulado.

“Este tipo de café representa el 20% de la producción nacional” (Revista Fórum Café, 2002, p. 4).

El café cultivado a alturas altas se cultiva en terrenos que se encuentran desde 900 metros hasta 1200 metros sobre el nivel del mar. El grano también suele ser grande pero su color es verde oscuro. Este tipo representa el 70% de la producción nacional (Revista Fórum Café, 2002).

3.2 COSECHA DE GRANOS DE CAFÉ

La cosecha de granos de café se caracteriza por la selectividad ya que implica la recolección principalmente de frutos con más de 30 semanas después de la floración, es por ello por lo que el método más utilizado para realizar este trabajo es el uso de mano de obra. La cosecha de café en Honduras es realizada por personas que cuidadosamente recolectan los granos de café maduro en los árboles, este proceso toma una gran participación en los costos de producción.

Aunque la recolección manual presenta una alta calidad en el café ya que garantiza la recolección únicamente de frutos maduros esta actividad toma mucho tiempo. De acuerdo con Oliveros & Sanz (2011):

El rendimiento de un recolector de café depende de factores inherentes a él, como la técnica que utilice y su motivación, y de factores atribuibles a la plantación, como la oferta y la distribución de los frutos maduros por recolectar, y la altura de los árboles, entre otros.
(p. 101)

Existen otros métodos no selectivos que se utilizan para la recolección de café como el uso de herramientas tecnológicas. Los métodos no selectivos se caracterizan por el desprendimiento masivo de los frutos donde no se selecciona el material que se desea desprender, este método es muy utilizado en lugares donde la mano de obra es escasa o con grandes extensiones del cultivo en territorio plano.

La clasificación de los métodos o herramientas tecnológicas para el desprendimiento de granos de café es la siguiente: cosecha semi-mecanizada, cosecha mecanizada y cosecha robotizada. La cosecha semi-mecanizada se refiere al uso de herramientas portátiles motorizadas para realizar la recolección del grano. Por otro lado, la cosecha mecanizada hace uso de máquinas robustas que pueden ser autopropulsadas y se dedican únicamente a la recolección masiva de granos de café. Finalmente, la cosecha robotizada implementa tecnología avanzada y de alta precisión mediante la inclusión de software.

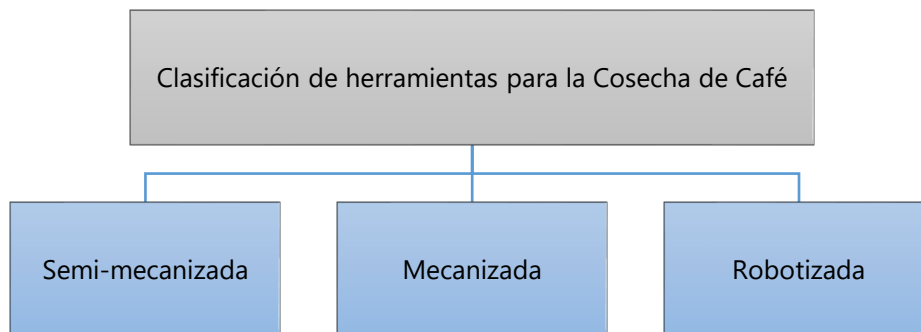


Ilustración 11. Clasificación de Prototipos para la Cosecha de Café

Fuente: realizado por autores

3.2.1 ESTÁNDARES PARA UNA BUENA RECOLECCIÓN

Para garantizar una buena recolección de café se deben considerar tres indicadores operativos: la eficacia, la eficiencia y la calidad. La eficiencia representa el rendimiento operativo y el tiempo por árbol que toma la recolección. La eficacia hace referencia al porcentaje de desprendimiento de frutos maduros y, por último, la calidad que se refiere el porcentaje de frutos verdes en la masa cosechada. Existen también las pérdidas debido a la caída de frutos al suelo las cuales se deben evitar.

En la tabla que se presenta a continuación se muestra el porcentaje que debe representar cada uno de estos indicadores para garantizar una buena recolección de café.

Tabla 2. Estándares para la Recolección de Café

Indicador	Porcentaje
Eficacia Frutos maduros desprendidos	>95%
Calidad Frutos verdes en la masa cosechada	<2.5%
Pérdidas Frutos caídos al suelo	<1%

Fuente: (Oliveros, Ramírez, Buenaventura, & Sanz, 2005)

Además de los estándares presentados en la Tabla 1 se debe considerar que tanto los frutos pintones como los sobremaduros no deben superar el 5% de la masa cosechada y los secos el 2% ya que recolectar frutos verdes como sobremaduros y secos afecta la calidad del café cosechado

y por ende la calidad de la bebida. Más de 2.5% de frutos verdes producen defectos como: grano vinagre, inmaduro y negro, lo cual significa un mal sabor en la bebida y pérdidas para el caficultor.



Ilustración 12. Defectos en Granos de Café Verdes

Fuente: (SENA, 2004)

3.2.2 FUERZA DE DESPRENDIMIENTO DEL GRANO

Existen diferentes especies y variedades de café en el mundo, sin embargo, como se mencionó anteriormente el 100% de café cultivado en Honduras es la especie arábica. Evidentemente para cada especie e incluso para cada variedad de café la fuerza de desprendimiento puede cambiar. En este caso, se va a describir únicamente la fuerza de desprendimiento para la especie cultivada en Honduras.

Para el estudio realizado se utilizó café arábica de la variedad Colombia. Carvajal, Aristazabal, & Tascón (2012) afirman que:

Se emplearon 100 frutos (repeticiones) por cada estado de desarrollo para determinar la fuerza de desprendimiento en la dirección del eje del pedúnculo utilizando un dinamómetro portátil digital con rango de 0 a 200N y resolución de 0,1 N con el cual se registró la fuerza de tracción pura (Ft) requerida para su desprendimiento. (p. 117)

Tabla 3. Fuerza de Desprendimiento para Cosechar el Fruto del Café

Días después de la antesis (DDA)	Estado	Tonalidad	Ft (N)
182	Inmaduro	Verde	10.55
189	Inmaduro	Verde	11.27
196	Inmaduro	Verde	12.00
203	Inmaduro	Verde	12.62
210	Inmaduro	Verde	13.45
217	Inmaduro	Verde-amarillo	13.07
224	Pintón	Verde- amarillo- naranja- rojiza	10.48
231	Maduro	Rojo	10.77
238	Sobremaduro	Rojo violeta	6.33

Fuente: (Carvajal, Aristazabal, & Tascón, 2012)

Se toman los datos de la tabla 3 como referencia ya que el tipo de grano de café Colombia y la calidad de la bebida son similares a las otras variedades de café arábigo como el typica y bourbon que son los que se cultivan en Honduras.

Las características de elasticidad del grano de café brindadas por la pulpa y mucílago de un fruto maduro permiten que el grano experimente deformaciones de hasta 2mm. Así mismo, le permite soportar fuerzas de hasta 30N sin que causen daños a la semilla.

3.3 CULTIVO DEL CAFÉ EN HONDURAS

La caficultura en Honduras ha aumentado en los últimos años. La cosecha de café del año cafetalero 2016-2017 llegó a cifras históricas generando 1,328 millones de dólares. El café es una fuente de empleo grande del país. Se estima que un 20% de la población hondureña, entre ellos jornaleros, cortadores, productores, intermediarios, transformadores, exportadores, dueños de cafeterías y proveedores de servicios, depende del cultivo de café (Carranza, 2015). Alrededor de 100,000 familias son dueñas de fincas pequeñas que producen el 60% del café del país. También 350,000 familias trabajan en la cosecha manual del fruto maduro del café y otras labores de mantenimiento relacionadas con el cultivo del cafeto (Revista Fórum Café, 2002).

“En total, se estima que el 25% de la fuerza laboral rural es absorbida por este cultivo”

(Revista Fórum Café, 2002, p. 3).

Tabla 4. Productores de Café en Honduras

Tipo de productor	Tamaño de la finca (Hectáreas)	% de Productores	Porcentaje de la producción Nacional
Pequeño	0-3,5	95,2	60
Mediano	3,5-21	4,5	22
Grande	Mayores de 21	0,3	18

Fuente: (Revista Fórum Café, 2002)

En el año cafetalero 2017-2018 se exportaron 9.4 millones de sacos de 46kg a más de 60 destinos en el mundo. El saco se vendió por un precio promedio de 121 dólares, generando 1,130 millones de dólares, un poco más bajo que el año cafetalero anterior debido a una disminución en las exportaciones y el precio del café a nivel mundial. No obstante, el comercio caficultor aportó 5% al PIB del país y el 30% al PIB agrícola (Maradiaga, 2018).

El cultivo de café es una práctica que se realiza en 15 de los 18 departamentos del país, sin embargo, son 5 los departamentos que contribuyen más a la producción nacional. Estos departamentos son Comayagua, Copan, Lempira, El Paraíso y Santa Bárbara y aportan el 68% de la producción de grano de café nacional (Rodríguez, 2018). Las regiones cafetaleras se pueden agrupar en 3 categorías:

- Desarrolladas (Copán, Montecillos)
- De desarrollo intermedio (Opalaca, Comayagua)
- Menos desarrolladas (Agalta, El Paraíso)

(Coperación Internacional y al Desarrollo, 2018).

En conjunto, se aproximan que 280,000 hectáreas de terreno hondureño son dedicadas para el cultivo de café. En promedio, un caficultor utiliza 16.2 hectáreas de terreno para el cultivo del café, generando una productividad aproximada de 432.4 kg/café por hectárea. Es importante

considerar que los suelos del territorio hondureño están compuestos por más del 52% en regiones montañosas, la extensión más grande de terreno de este tipo de toda Centroamérica (Revista Fórum Café, 2002).

3.4 DISEÑO

En el diseño se pueden utilizar dos tipos de ingenierías: ingeniería secuencial e ingeniería concurrente. La ingeniería secuencial se utiliza para realizar el diseño y la manufactura de un producto totalmente nuevo. En este tipo de diseño se realizan las tareas de forma secuencial, por lo que dos equipos no pueden trabajar simultáneamente. Generalmente la implementación de diseño secuencial requiere de mucho tiempo e inversión monetaria.

Por otro lado, la ingeniería concurrente se utiliza para mejorar un producto ya existente mediante la colaboración simultánea de distintas disciplinas y el uso de software para el desarrollo e integración de las tareas a realizar. Esta sección se enfocará en explicar este tipo de ingeniería ya que el diseño del prototipo propuesto utilizó la ingeniería concurrente.

La ingeniería concurrente se enfoca en entregar al cliente un producto de alta calidad, bajo precio y de manera rápida. Esto se logra gracias a que este tipo de ingeniería se caracteriza por hacer uso de trabajo multidisciplinario desde el comienzo del proceso de diseño. El recurso humano que trabaja de manera paralela se puede observar en la ilustración 13.

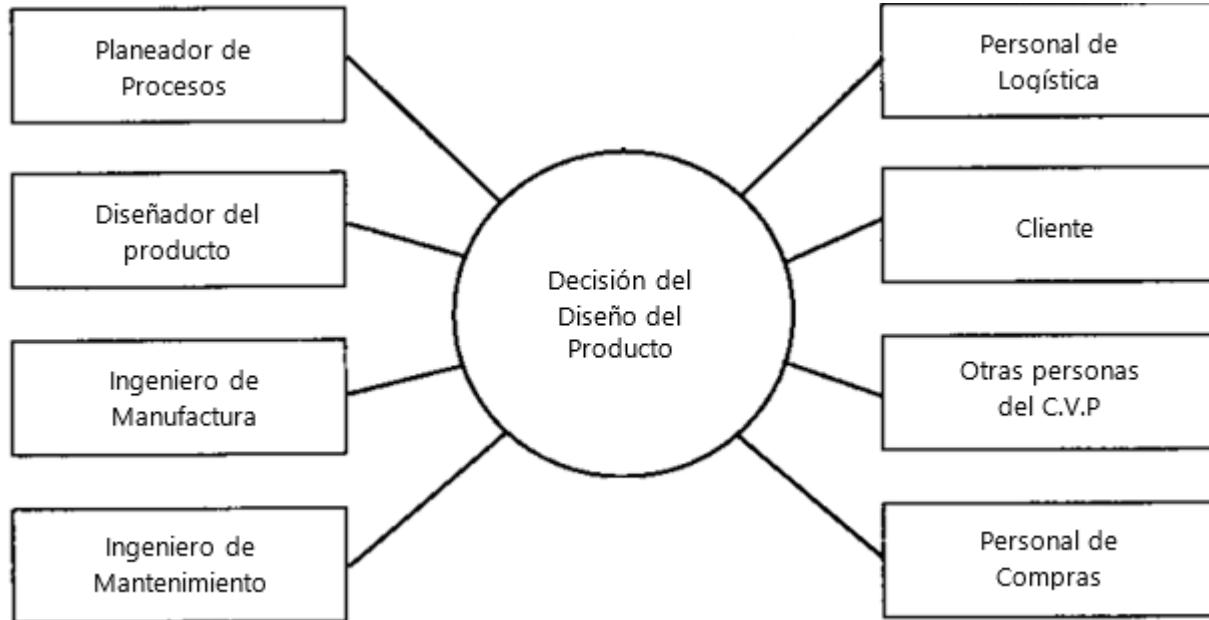


Ilustración 13. Equipo de Trabajo Multidisciplinario de Ingeniería Concurrente

Fuente: (Luna, 1999)

La ingeniería concurrente permite que el producto tenga más sinergia (Künzel, 2005). Este tipo de diseño mecatrónico se puede clasificar en diseño concurrente de sentido amplio y de sentido estrecho (Gao & Xiao, 2012). El diseño concurrente de sentido amplio se preocupa de problemas de alto y bajo nivel. Esta clasificación incluye tanto el diseño conceptual, la organización y la gestión del proceso de desarrollo, como los materiales, la estructura mecánica y los controladores del producto. El diseño concurrente de sentido estrecho se enfoca únicamente en la parte técnica del desarrollo del producto. En este proyecto se utilizará la ingeniería concurrente de sentido estrecho incluyendo la elaboración del presupuesto.

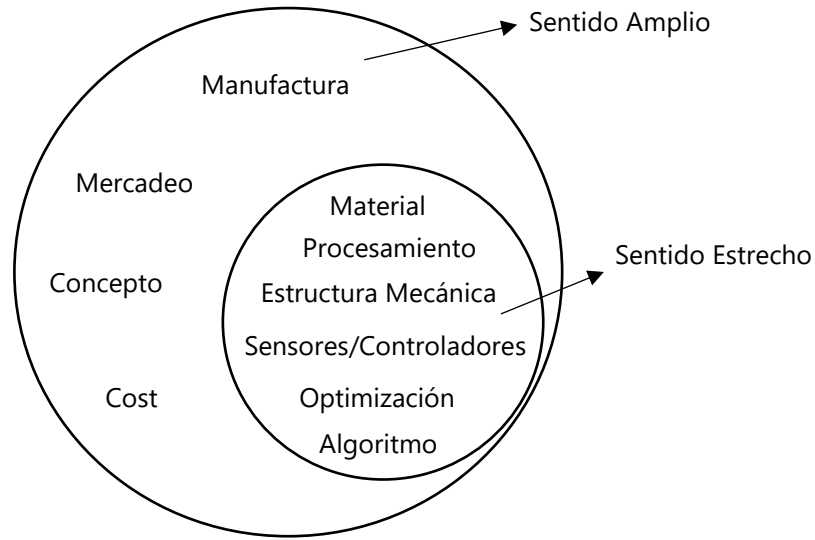


Ilustración 14. Diseño Concurrente de Sentido Amplio y de Sentido Estrecho

Fuente: (Gao & Xiao, 2012)

Al trabajar mediante un diseño concurrente se deben seguir diferentes pasos para realizar un excelente proyecto. Los pasos a seguir se pueden observar en la ilustración 15.

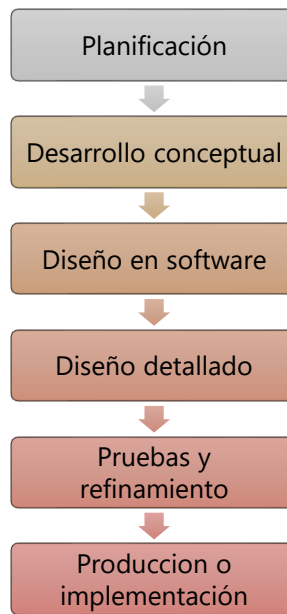


Ilustración 15. Pasos de la Ingeniería Concurrente

Fuente: realizado por autores

Cada uno de esos pasos se detalla a continuación:

- La planificación: En esta parte se realiza una descripción y análisis del problema, también intervienen varios factores como ser requerimiento o necesidades del cliente y análisis de mercado.
- El desarrollo conceptual: Es la etapa de planificación; acá se toman en cuenta los factores necesarios para realizar un análisis de las funciones principales y secundarias que tendrá el producto.
- Diseño en software: En esta etapa es elaborada una vista preliminar de la arquitectura del producto que se desea realizar mediante el software que pueda ejecutar la tarea requerida.
- Diseño detallado: En esta etapa se deberá definir la distribución de las diferentes partes mecánicas, electrónicas y de control que tendrá el producto.
- Pruebas: En esta etapa se realizarán diferentes pruebas como ser vida útil, fiabilidad y desempeño. También se puede realizar un cambio de diseño si es necesario.
- Producción: En la etapa final ya se empieza a implementar o fabricar el producto final.

Fuente: (Gao & Xiao, 2012)

En este proyecto, el proceso de diseño concurrente se realizará hasta el paso de diseño detallado.

3.5 PROTOTIPOS EXISTENTES PARA LA COSECHA DE CAFÉ

La recolección del grano de café es una de las actividades más importantes del procesamiento de este fruto. Desde que se comenzó a cultivar el café en Honduras, el proceso de cosecha se ha realizado manualmente. A partir de la importancia del cultivo de cafeto a nivel mundial, se comenzó a adoptar tecnologías para agilizar y optimizar la cosecha. En un comienzo se implementó el uso de una aspiradora italiana portátil de espalda diseñada para la cosecha de castañas y olivas (Oliveros & Sanz, Ingeniería y café en Colombia, 2011).

Con el tiempo algunas empresas dedicadas al desarrollo de tecnologías agrícolas propusieron varios prototipos que realizan esta labor. Estos prototipos se clasifican según el tipo de tecnología

utilizada para realizar la recolección. La clasificación es la siguiente: cosecha semi-mecanizada, cosecha mecanizada y cosecha robotizada mencionada anteriormente.

Estos prototipos utilizan varios métodos para lograr una recolección eficiente; los métodos más recomendados son vibración, succión, y rotación. Al utilizar máquinas que mediante vibración o rotación desprenden los granos de café se debe considerar la colocación de mallas en el terreno ubicado a los alrededores de los árboles ya que el fruto cae al suelo. Mediante la implementación de mallas se facilita la recolección y transporte de los frutos caídos. A continuación, se describirán algunos de los prototipos más relevantes que utilizan uno de estos métodos.

3.5.1 PROTOTIPOS DE DESPRENDIMIENTO MEDIANTE VIBRACIÓN

El desprendimiento del fruto del cafeto por medio de vibraciones es considerado una buena práctica.

“El árbol de café ha sido definido como una estructura con buena transmisibilidad de la vibración debido a que el tallo y las ramas primarias son relativamente rectas y cortas comparados con las otras especies de plantas” (Aristizábal, Oliveros, Sanz, Montoya, & Álvarez, 2000, p. 42).

En general, utilizar este método en arboles con un grado de maduración inferior al 50% no es una técnica que presente resultados satisfactorios. Si aun así se desea utilizar el prototipo para este caso se recomienda utilizar bajas frecuencias. Cuando el árbol tiene al menos el 50% de sus frutos en estado de maduración se recomienda la implementación de frecuencias altas.

Los equipos que utilizan la vibración para desprender el fruto de cafeto se clasifican según la ubicación que puede tener el equipo en diferentes partes del árbol. Los equipos portátiles se pueden ubicar en la rama o en el tallo. En contraste, existen equipos robustos que someten el árbol entero a vibraciones. En general las máquinas que utilizan la vibración para la cosecha de café disminuyen considerablemente el tiempo de desprendimiento, sin embargo, los tiempos de recolección y transporte aumentan de gran manera en comparación a la cosecha manual.

Los equipos que utilizan vibración para el desprendimiento del fruto de café deben considerar ciertos factores para conseguir resultados óptimos; estos factores son:

1. Frecuencia y amplitud de la fuerza aplicada
2. Desplazamiento y aceleración en varios puntos a lo largo de las ramas.
3. Punto de aplicación como referencia a la estructura del árbol
4. Dirección y tiempo de aplicación
5. Tipo de vibración
6. Frecuencia Natural del sistema fruto-pedúnculo

(Aristizábal, Oliveros, Sanz, Montoya, & Álvarez, 2000)

Dentro de esta categoría se pueden encontrar:

3.5.1.1 Vibradores portátiles del tallo Cifarelli SC700®

Este equipo es utilizado principalmente en árboles con concentraciones de al menos un 60% de frutos maduros ya que al ejercer vibración en el tallo los frutos ubicados en diferentes ramas se van a desprender sin importar su etapa de maduración. En caso contrario esto puede aumentar considerablemente la cantidad de frutos verdes en la masa cosechada generando una baja calidad en el café y en general, se considera que la calidad de la cosecha manual es superior.

“El mecanismo de vibración de los equipos es una biela manivela con amplitud de desplazamiento teórica de 62 mm y frecuencia de oscilación máxima de 1800 ciclos por minuto” (Olivera, y otros, 2005, p. 2700).

El equipo opera con motores a gasolina. El uso de este equipo requiere de cuatro operarios, dos de ellos encargados de ubicar el vibrador en el tallo a mínimo 1.2 metros del suelo y dos para ubicar y transportar las mallas a lo largo del terreno. Los operarios que se dediquen a ubicar el equipo deben de garantizar un ángulo de 90° entre el vibrador y el eje del tallo con el objetivo de evitar desgarramientos de la corteza del árbol. Para ejercer la vibración en el tallo se requiere de un tiempo menor a 5 segundos, mientras que la ubicación y transporte de mallas requiere de mucho más tiempo. A pesar del corto tiempo necesario, existe la posibilidad que la vibración no alcance a cosechar la totalidad de los frutos maduros y se necesite realizar un repase manual.

Es importante mencionar que la utilización de estos prototipos es recomendable a partir de la segunda cosecha del árbol, cuando el árbol se encuentra en una etapa avanzada de maduración, debido a que se ejerce al tallo una presión considerable de máximo 2 MPa.



Ilustración 16. Vibrador Portátil Cifarelli SC700®

Fuente: (Olivera, y otros, 2005)

3.5.2 PROTOTIPOS DE DESPRENDIMIENTO MEDIANTE SUCCIÓN

Los prototipos encargados de recolectar café por medio de succión requieren de diferentes elementos y mecanismos para poder realizar el trabajo. Dentro de esos elementos se destaca el uso de compresores, válvulas y ventosas de diferentes tipos. En muchas ocasiones otros tipos de prototipos de cosecha de café incluyen en su proceso el uso de succión como complemento, sin embargo, existen prototipos que desprenden el fruto únicamente por medio de succión. A continuación, se describirán dichos prototipos.

3.5.2.1 Prototipo para cosecha de café mediante succión y rotación

Este prototipo utiliza una serie de aditamentos que en conjunto permiten la cosecha del cafeto desde diferentes puntos y almacenamiento en un solo contenedor. El equipo cuenta con los componentes que se mencionan a continuación:

1. Sistema de recolección: Consiste en una válvula que permite la transmisión de chorros de aire a dos rodillos giratorios con cilindros de hule flexibles. El aire que deja pasar esta válvula regula la velocidad de los rodillos y con esto la cantidad de frutos de café que se desean recolectar. Una velocidad baja de los rodillos permite recolectar el café más suave de despegar (maduro). Los rodillos están ubicados dentro de un cobertor transparente que está

diseñado para almacenar una cantidad pequeña de frutos. Al cobertor se le acopla una boquilla por la cual se succiona rápidamente los frutos.

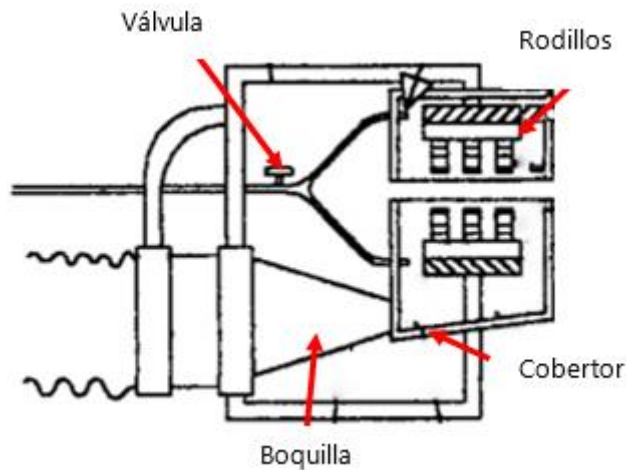


Ilustración 17. Sistema de Recolección

Fuente: (Costa Rica Patente nº WO 01/28311, 2001)

2. Sistema de succión: Consiste en un motor que mueve varios abanicos en serie encargados de generar el flujo de aire necesario para succionar el café. Un compresor genera la presión necesaria para alimentar la válvula del sistema de recolección mencionada en el numeral 1. El sistema cuenta con dos sets de tubos con entradas múltiples para adaptar hasta seis sistemas de recolección. Todos los sistemas de recolección entran tangencialmente al ciclón, el cual deja pasar solo el aire hacia los abanicos. El sistema cuenta con un dosificador que deja pasar gradualmente el fruto de cafeto para que este pueda ser transportado por medio del conducto de escape hasta un contenedor.

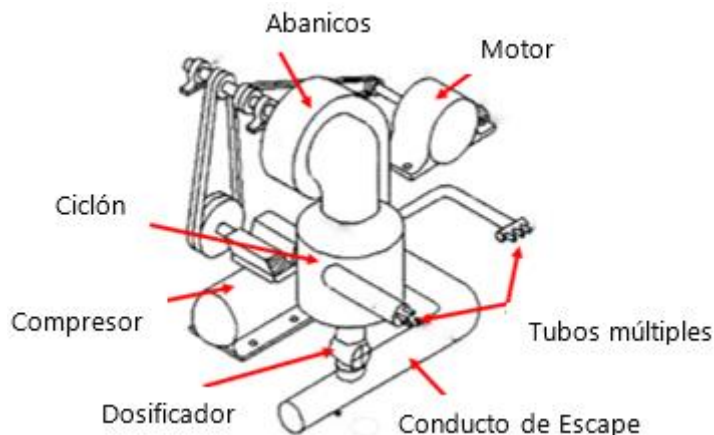


Ilustración 18. Sistema de Succión

Fuente: (Costa Rica Patente nº WO 01/28311, 2001)

3. Almacenamiento: El prototipo permite la facilidad de almacenamiento de frutos de café en cualquier contenedor que sea lo suficientemente grande para acumular todos los frutos que provienen de los varios sistemas recolectores que se le adaptan al sistema de succión. Por lo cual es recomendable el uso del cajón de un vehículo para almacenar y transportar el producto al lugar de tratamiento.

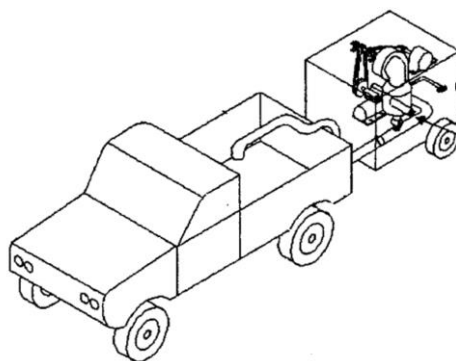


Ilustración 19. Almacenamiento Sugerido

Fuente: (Costa Rica Patente nº WO 01/28311, 2001)

3.5.2.2 Prototipo para cosecha de café mediante aspiración

El prototipo cuenta con una bomba de vacío, un tanque acumulador de 500L, tubería galvanizada de succión de 2" (50,8mm) de diámetro, un tanque ciclón y una ventosa. El tanque acumulador sirve para mantener la presión constante y el tanque de ciclón sirve para separar los frutos

(Campillo, Álvarez, Oliveros, & Álvarez, 2001). Dentro del sistema de vacío se encuentran válvulas, acoples, mangueras, manómetros y un cilindro neumático.

Se pueden utilizar diferentes tipos de ventosas. Para la selección correcta de una ventosa se deben de considerar sus especificaciones técnicas, como ser:

- Tipo
- Diámetro del Fuelle
- Material
- Fuerza Teórica de Aspiración
- Presión Máxima de Vacío
- Superficie de aplicación (curvas o ligeramente curvas)

Las ventosas son una gran opción ya que presentan múltiples ventajas como excelente resistencia al desgaste, conexiones de rosca para cambios fáciles, variedad en el mercado, resistentes de altas temperaturas (hasta 200° C) y permite la manipulación de objetos de diferentes formas. Según estudios realizados la ventosa multifuelle es la más indicada para el desprendimiento del fruto de café. Esto se debe a que la ventosa multifuelle logra alcanzar una fuerza teórica de 30N, más que suficiente para desprender el fruto del pedúnculo, acción que necesita una fuerza mínima 10 N.



Ilustración 20. Succión del Fruto del Cafeto con Ventosa Multifuelle

Fuente: (Campillo, Álvarez, Oliveros, & Álvarez, 2001)

El ángulo de contacto más adecuado entre la ventosa multifuelle y el fruto es de 45°, como se puede apreciar en la imagen inferior.

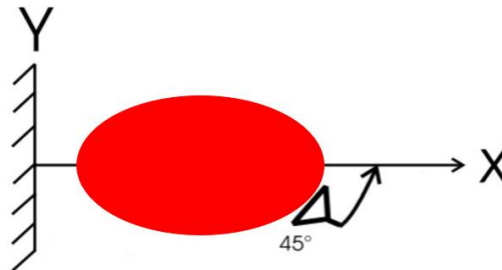


Ilustración 21. Ángulo de Contacto entre la Ventosa y el Cafeto

Fuente: (Campillo, Álvarez, Oliveros, & Álvarez, 2001)

3.5.3 PROTOTIPOS DE DESPRENDIMIENTO MEDIANTE ELEMENTOS MECÁNICOS

Los prototipos que utilizan elementos mecánicos suelen utilizar un movimiento rotatorio para desprender el fruto. Dentro de esta categoría se pueden encontrar:

3.5.3.1 *Alfa*

Alfa es un equipo portátil fabricado en Colombia por CENICAFÉ; es utilizado en la cosecha semi-mecanizada. Alfa tiene un eje rotatorio en el cual se acopla una pieza de material Prolon que consta de tres segmentos de líneas dentadas distribuidas equitativamente. Las líneas dentadas constan de cinco cuchillas cada una. Las cuchillas de los extremos son más altas con el objetivo de penetrar mejor los grupos de fruto maduros (Moreno, Oliveros, Alfonso, & Álvarez, 2013).



Ilustración 22. Actuador Dentado de Alfa

Fuente: (Moreno, Oliveros, Alfonso, & Álvarez, 2013)

Alfa consta de tres partes importantes: el actuador, el cinturón y la fuente de alimentación de corriente directa. El actuador consta del eje rotatorio con la pieza dentada y un mango que contiene un botón de encendido y en su interior un motor de 15 de corriente directa de 15W. El eje rotatorio con la pieza dentada fue descrito anteriormente y se puede apreciar en la imagen superior. El cinturón consta de tres compartimientos; dos de ellos son para colocar las baterías y el otro compartimiento para sostener el actuador cuando este no se esté utilizando. Por último, la fuente de alimentación del equipo consta de dos baterías recargables de 12 voltios y 2.2 amperios.

3.5.3.2 *DESCAFÉ*

DESCAFÉ es una herramienta portátil utilizada para la cosecha semi-mecanizada. Este equipo se ha presentado en tres versiones, de las cuales DESCAFÉ III es la más reciente y utilizada. DESCAFÉ III consta de cuatro partes: un minimotor, un actuador, cuatro baterías y un arnés. El minimotor de corriente directa tiene una potencia de 75 watts alimentado por 48 voltios proporcionado por cuatro baterías recargables de 12 voltios cada una. Las baterías se conectan en serie entre si proporcionando una carga para trabajar 8 horas continuas. El actuador consta de tres ejes en los cuales se pueden adoptar hasta tres piñones por eje.

Los piñones están fabricados de caucho y mediante un movimiento rotatorio se permite el desprendimiento del cafeto. El arnés consta de un compartimiento ubicado en la espalda para almacenar las baterías. Este equipo funciona de mejor manera en la cosecha de cafeto ubicado en la parte tercia media y superior de la rama (Ramírez, Oliveros, Sanz, Acosta, & Buenaventura, 2006).



Ilustración 23. Actuador de DESCAFÉ

Fuente: (Ramírez, Oliveros, Sanz, Acosta, & Buenaventura, 2006)

3.5.3.3 ORSEL

El mecanismo diseñado para ORSEL constó básicamente de tres anillos. Cada anillo se diseñó con el propósito de desgranar los frutos diferentes partes del árbol de café. El primer anillo tiene como objetivo remover ellos frutos de la periferia. Los dos anillos restantes remueven los frutos que se ubican en los laterales de la rama. Cada anillo esta distanciado considerando las proporciones estándares del fruto y de la rama. El palpador del equipo ORSEL está compuesto de las siguientes partes:

1. Tensor: sirve para ubicar y asegurar el palpador en el anillo.
2. Resorte: sirve para proporcionar grados de libertad al prototipo.
3. Espigo: sirve para conectar el diente con el resorte.
4. Dientes: estos son los que entran en contacto con la cereza del café. Tienen una especie de cuña parecida a la de un cincel que permite el fácil desprendimiento del fruto.

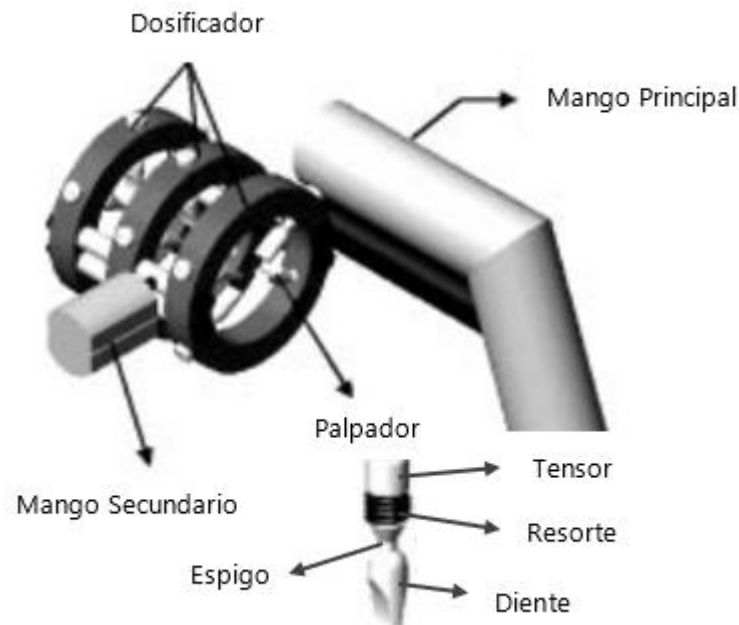


Ilustración 24. Partes del Mecanismo de ORSEL

Fuente: (Londoño, Oliveros, & Moreno, 2002)

“Cada palpador tiene dos grados de libertad con la elasticidad adecuada para ceder y retornar a su posición neutral en presencia de fruto con mayor o menor adherencia al pedúnculo” (Londoño, Oliveros, & Moreno, 2002, p. 100).

Adicionalmente, el equipo cuenta con dos mangos, el mango principal y el mango auxiliar, que sirven para poder sujetar y colocar el prototipo de manera correcta en el árbol. Este equipo aumento el rendimiento operativo en más del 80%, sin embargo, la cosecha presentó 20% de frutos verdes. Este factor afecta la calidad del producto final. Es importante mencionar que este prototipo da mejores resultados cuando el árbol tiene al menos 50% de sus frutos en estado de maduración, de lo contrario se recomienda hacer una cosecha manual tradicional. La utilización de ORSEL no causó ningún daño físico al árbol.



Ilustración 25. Uso de Equipo ORSEL

Fuente: (Oliveros, Ramírez, Buenaventura, & Sanz, 2005)

3.6 COMPARACIÓN ENTRE PROTOTIPOS MECANIZADOS PARA COSECHA DE CAFÉ

Tabla 5. Comparación entre Prototipos de Vibración y Succión

Tipo	Prototipo	Descripción	Ventajas	Desventajas	Condiciones ideales de aplicación
Vibración	Cifarelli SC700®	Portátil	Alta eficiencia al momento de desprender cerezas de café de la rama.	Presenta poca selectividad haciendo necesario un repase manual. Además, requiere la utilización de mallas para evitar que los frutos caigan al suelo. Este tipo de dispositivos puede causar daños en el árbol como: descopado de ramas, necrosis o emisión de brotes.	Concentración de al menos 60% de frutos maduros en la rama y colocación del equipo en el tallo a mínimo 1.2 m del suelo.
Succión	Prototipo mediante succión y rotación	Robusto	Alta eficiencia ya que permite la adaptación de hasta seis sistemas de recolección.	Al ser un equipo robusto no puede ser utilizado en lugares con terrenos irregulares.	Su uso es apto en planicies.
	Prototipo mediante aspiración	Robusto	Alta selectividad ya que desprende los granos de uno en uno. Excelente resistencia al desgaste. Resistente a altas temperaturas (un máximo de 200°C)	El sistema neumático de vacío para cosechar café es robusto. Está fabricado con múltiples componentes que se pueden dañar fácilmente.	El ángulo de contacto entre la ventosa multifuelle y el fruto debe ser de 45°.

Fuente: realizado por autores

Tabla 6. Comparación de Prototipos de Rotación

Tipo	Prototipo	Descripción	Ventajas	Desventajas	Condiciones ideales de aplicación
Rotación	Alfa	Portátil	Tiene una alta selectividad y garantiza una calidad de 3% en la masa cosechada. No causa incomodidad en el usuario. Se puede utilizar en terrenos irregulares.	Tiene un 10% de pérdidas debido a que no cuenta con un sistema de almacenamiento causando que los frutos caigan en el suelo.	Concentración de al menos 45% de frutos maduros en la rama.
	DESCAFÉ	Portátil	Permite el desprendimiento de frutos de manera individual o grupal. El adaptador cuenta con un tren de engranajes que se auto lubrica.	La masa de frutos cosechados presenta una cantidad de frutos inmaduros de 21.7%	Concentración de al menos 45.2% de frutos maduros en la rama
	ORSEL	Portátil	Rendimiento operativo de más del 80%. Al ser un equipo portátil puede ser utilizado en terrenos con pendiente.	Presenta 20% de frutos verdes en la cosecha.	Concentración de al menos 50% de frutos maduros en la rama.

Fuente: realizado por autores

3.7 RIESGOS DE LA MECANIZACIÓN EN LA COSECHA DE CAFÉ

En la mecanización de la cosecha del cafeto se deben de considerar algunos riesgos. Uno de los principales riesgos es el daño físico de los árboles. La implementación de prototipos que utilizan vibración puede generar desprendimiento de la corteza del árbol, tallos anillados, y cafetos descopados. Estos pueden ser ocasionados debido a la fricción durante el movimiento vibratorio. Estudios realizados meses después de la aplicación del prototipo de este tipo señalan necrosis y síntomas de pudrición en el tallo del árbol de cafeto. Adicionalmente, se identificó emisión de brotes, indicando el posible secamiento del cafeto.



Ilustración 26. Árbol Descopado

Fuente: (Gilman & Partin, 2014)



Ilustración 27. Cafetos con Necrosis o Emisión de Brotes

Fuentes: (Aristizábal, Oliveros, Sanz, Montoya, & Álvarez, 2000)

Otro riesgo que se tiene al realizar la cosecha mecanizada es el desprendimiento de una gran cantidad de frutos verdes. Esto afecta considerablemente la calidad del producto final, ya que el mejor café es aquel que se realiza con frutos en su estado de maduración. En general, hay factores que se pueden manipular para obtener los mejores resultados como ser velocidades, frecuencias, presiones, entre otros. Sin embargo, la cosecha mecanizada no ofrece una garantía de la calidad del producto ya que hasta el momento ningún prototipo descrito anteriormente ha logrado alcanzar el estándar de calidad.

Adicionalmente, el uso y la comprensión del correcto funcionamiento del equipo puede resultar ser un problema para los recolectores. Si un determinado equipo se utiliza de manera inapropiada, puede ocasionar una cosecha de fruto verde excesivo y dañar la calidad del producto. Es por esto que es necesario capacitaciones y supervisión durante un periodo prudente de adaptación.

IV. METODOLOGÍA

4.1 ENFOQUE

El proyecto basado en el diseño de una máquina portátil para la cosecha de cerezas de café cumple con un enfoque cuantitativo ya que está orientado al análisis de resultados con números y datos que representan la realidad. Tanto el dimensionamiento del diseño como los resultados de las simulaciones analizadas son cuantificables.

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

1. Diseño: Se debe definir tanto el software con el que se va a diseñar como las simulaciones con las que será puesto a prueba el prototipo, esto con la finalidad de validar el proyecto.
2. Dimensiones de las piezas que conforman el prototipo: Es necesario investigar el dimensionamiento adecuado de la máquina con la finalidad de hacerla lo más compacta posible, respetando los aspectos ergonómicos de diseño.
3. Materiales para la fabricación: Se debe investigar las especificaciones técnicas de los diferentes materiales para poder definir cuál es el más adecuado para la fabricación del prototipo.
4. Presupuesto: Investigar el costo de cada uno de los componentes que conforman la máquina para poder calcular el costo final del diseño y, de esta forma, analizar la viabilidad económica del proyecto.

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Para realizar el diseño de la máquina para la cosecha de cerezas de café fue necesario tener conocimiento en el área mecánica, específicamente en los temas de engranes, bandas de transmisión de potencia, motores, rodamientos y materiales para la fabricación de elementos mecánicos. También fue necesario el conocimiento de CAD, específicamente la utilización del software SolidWorks, para poder realizar el diseño de la máquina y cada uno de sus componentes y las simulaciones correspondientes.

4.4 MATERIALES

Los materiales utilizados se dividen en dos categorías: la categoría de software y hardware y la categoría de componentes mecánicos y electrónicos. En la siguiente tabla se especifican dichos materiales.

Tabla 7. Materiales de Software y Hardware

Software y Hardware
SolidWorks 2018 SPS5,0 Premium
Proteus 8 Profesional
Computadora Dell Inspiron 5759
Computadora HP Pavilion X360

Fuente: realizado por autores

Tabla 8. Materiales de Componentes Mecánicos y Electrónicos

Materiales Físicos			
Cantidad	Descripción	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
1	Motor eléctrico 12 V 800mA	3.50	3.50
1	Batería 12 V 20 Ah	59.99	59.99
4	Rodamiento de bola	7.80	31.20
1	Eje Ø 6 mm de AISI 1020	2.85	2.85
2	Sello de un labio Ø6 mm	4.17	8.34
1	Fusible 3 A	0.94	0.94
2	Engranajes cónicos de inglete 1M20T	7.39	14.78
2	Poleas de Aluminio con Ø _{Int} 6mm	0.66	1.32
1	Banda de transmisión 80x0,6x5 mm	3.70	3.70
1	Impresión de carcasa y actuadores	122.58	122.58
1	Interruptor de dos posiciones	2.88	2.88
5	5 pies de cable TSJ-N de 2 hilos AWG 14	0.32	1.60
1	Porta fusible	4.16	4.16
1	Abrazadera 50 - 70 mm	0.40	0.40
1	Manguera corrugada Ø 4,5 cm	11.10	11.10
2	Terminales eléctricas de ojo	0.15	0.30
Total Materiales			\$ 269.64
Total en Lempiras:			L. 6667.51
*Nota: Se asume que la impresión cuesta \$5.00 la hora.			

Fuente: realizado por autores

4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Para realizar el diseño de la máquina portátil para la cosecha de cerezas de café se desarrollaron diferentes actividades que se describen a continuación:

4.5.1 INVESTIGACIÓN DE PROTOTIPOS EXISTENTES

Luego de haber investigado seis prototipos distintos, mencionados en la sección 3.5, y los estándares de calidad que cada uno de ellos brinda a la cosecha, se decidió basar el diseño de los actuadores de COCAFÉ en el actuador de ALFA. El prototipo ALFA es la máquina portátil cuyos resultados se asemejan más a los estándares de calidad obtenidos con la cosecha manual. Sin embargo, el prototipo presenta la debilidad que los frutos cosechados caen al suelo y se pierde mucho tiempo en el posicionamiento y recolección de mallas; actividad que se dificulta particularmente en terrenos con pendientes considerables. Dicho problema se soluciona con el diseño propuesto al incorporar dos actuadores redimensionados que giran en sentidos contrarios de manera sincronizada, causando el desprendimiento de cada cereza y transportándola mediante gravedad a través de una manguera flexible corrugada para almacenarlas en un depósito.

Los diseñadores de ALFA sometieron el actuador a múltiples cambios y pruebas para verificar el material más resistente y la forma más adecuada de las paletas. El material de fabricación del actuador es Prolon ON. Este material presenta una gran resistencia mecánica, térmica y a los rayos UV. Los diseñadores hicieron pruebas con distintitos tipos de plástico y los mejores resultados se obtuvieron con este material. Sus especificaciones técnicas se pueden observar en el Anexo 1.

Al realizar pruebas con los diseños de la Ilustración 28, los mejores resultados fueron obtenidos con el actuador señalado. El actuador consta de tres segmentos de líneas dentadas distribuidas equitativamente. Las líneas dentadas están compuestas por cinco cuchillas cada una. Las cuchillas de los extremos son más altas con el objetivo de penetrar mejor los grupos de fruto maduros.



Ilustración 28. Actuadores Evaluados para la Cosecha de Cerezas de Café con el Prototipo ALFA

Fuente: (Moreno, Oliveros, Alfonso, & Álvarez, 2013)

4.5.2 VISITA TÉCNICA

Se realizó una visita técnica a la Finca Recreo ubicada en la comunidad de Granadillo, a 15 minutos de El Paraíso, El Paraíso. Esta finca cuenta con 400 manzanas de extensión territorial. El terreno es irregular con cultivos de cafeto plantados en zonas de alta pendiente. A momento de realizar la visita a inicios de agosto 2019, la cereza de café aún estaba inmadura. En temporada de cosecha, desde finales de septiembre a finales de febrero, la finca requiere de mínimo 100 recolectores de cerezas de café.



Ilustración 29. Estado de Maduración del Fruto en Agosto en la Finca Recreo

Fuente: realizado por autores

Actualmente, la finca no cuenta con ningún tipo de máquina que asista la cosecha de cerezas de café. Se pudo observar que la única herramienta que utilizan son las canastas donde almacenan el fruto desprendido. Las canastas son de mimbre y cuentan con un cinturón que permite que el recolector pueda atarla a su cintura.



Ilustración 30. Canastas de Recolección

Fuente: realizado por autores

4.5.3 ENTREVISTA

Durante la visita técnica se entrevistó al Sr. Cesar Salinas, dueño de la Finca Recreo y al Sr. Juan Martínez, recolector. El Sr. Salinas mencionó la dificultad que actualmente tienen los dueños de fincas caficultoras para contratar mano de obra calificada, ya que muchas personas no practican la cosecha de manera cuidadosa o simplemente no desean trabajar. Para retener la poca mano de obra calificada que contrata debe de ofrecer bonos por las canastas recolectadas después de las 2:00 p.m., ya que a esa hora la mayoría de los trabajadores desean terminar la jornada laboral.

El Sr. Salinas hace énfasis a los recolectores en la selectividad de la cosecha y el cuidado que se le debe brindar al cafeto para no dañarlo. Para monitorear este proceso, asigna a dos supervisores por área. El Sr. Salinas mencionó que la implementación de una máquina que asista la recolección sería de gran ayuda, siempre y cuando esta máquina permita la selectividad en la cosecha y no dañe el cafeto para que pueda seguir dando frutos en futuras cosechas. Asimismo, comentó que, en su caso, la finca cuenta con energía eléctrica gracias a la implementación de un panel solar. Sin embargo, explicó que el acceso a combustible y a energía eléctrica estaba a 15 minutos en la ciudad de El Paraíso.

Por su parte, el Sr. Martínez comentó que al momento de hacer la cosecha los recolectores no emplean una técnica específica para desprender la cereza de café, pero que si deben tener cuidado de no desprender el pedúnculo de la rama del cafeto.

4.5.4 PROPUESTA INICIAL DE DISEÑO

La propuesta inicial del diseño consistió en el uso de engranes rectos para la transmisión de potencia entre ejes y cambio de giro en uno de los ejes. Es importante mencionar que la distancia entre los ejes de los actuadores es de 60 mm. Este es el resultado de la suma de:

- Los radios del diámetro del eje de cada actuador (4.5mm)
- La distancia desde el origen de la paleta hasta el extremo del diente central (≈ 17 mm)
- La distancia entre los dientes centrales de un actuador a otro (17mm)

Esto permite que la distancia entre los extremos de las paletas sea de 17 mm, tamaño promedio de una cereza de café. Puede referirse a los planos del actuador en el Anexo 8.

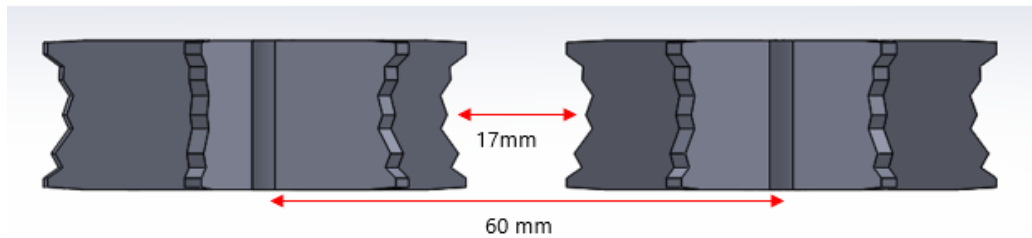


Ilustración 31. Distancia entre Actuadores

Fuente: realizado por autores

Con ese valor de distancia entre centros de los actuadores se puede aplicar la Ecuación 1, donde el número de dientes del engrane se representa por N_1 , el número de dientes del piñón se representa por N_2 , y el paso diametral por P_d .

$$C_{\text{Engranés externos}} = \frac{N_1 + N_2}{2P_d}$$

Ecuación 1. Distancia entre Centros de Engranajes Rectos

Fuente: (Myszka, 2012)

Ya que los engranes no deben cambiar la potencia, el número de dientes de cada engrane debe ser igual ($N_1 = N_2$). Por lo que la ecuación se simplifica a:

$$C_{\text{Engranés externos}} = \frac{2N}{2P_d} = \frac{N}{P_d}$$

En el sistema internacional un parámetro clave para seleccionar un engrane es el módulo. Este se calcula con la siguiente ecuación:

$$m = \frac{25.4}{P_d}$$

Ecuación 2. Módulo

Fuente: (Myszka, 2012)

Debido a que los dientes de este tipo de engranajes son con forma de involuta se debió tomar en consideración la interferencia. En la siguiente tabla se puede observar la cantidad mínima de dientes que debe tener un engrane con forma de involuta para evitar la interferencia:

Tabla 9. Combinaciones de Dientes de Engranaje para Eliminar la Interferencia

$\phi = 14^\circ$		$\phi = 20^\circ$		$\phi = 25^\circ$	
Número de dientes del piñón	Número máximo de dientes del engrane	Número de dientes del piñón	Número máximo de dientes del engrane	Número de dientes del piñón	Número máximo de dientes del engrane
< 23	Interferencia	< 13	Interferencia	< 9	Interferencia
23	26	13	16	9	13
24	32	14	26	10	32
25	40	15	45	11	249
26	51	16	101	12	∞
27	67	17	1309		
28	92	18	∞		
29	133				
30	219				
31	496				
32	∞				

Fuente: (Myszka, 2012)

Se escogió un engranaje cuyo ángulo de presión es de 20° ya que son los más comunes comercialmente. Utilizando la Tabla 9. Combinaciones de Dientes de Engranaje para Eliminar la Interferencia, la menor cantidad de dientes que debe tener un engrane de este tipo es de 13 dientes. Para encontrar una combinación de engranes se emplearon las ecuaciones mencionadas anteriormente y los resultados se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla 10. Resultados de Combinaciones de Engranes con su Respectiva Distancia entre Ejes

N	P_d	m	C (in)	C (mm)
13	5.6	4.50	2.30	58.50
14	5.6	4.50	2.48	63.00
15	6.4	4.00	2.36	60.00

Fuente: realizado por autores

Al llegar a los 15 dientes con módulo 4 se puede observar que la distancia entre centros obtenida es de 60 mm, por lo que se utilizó este engrane en el diseño inicial.

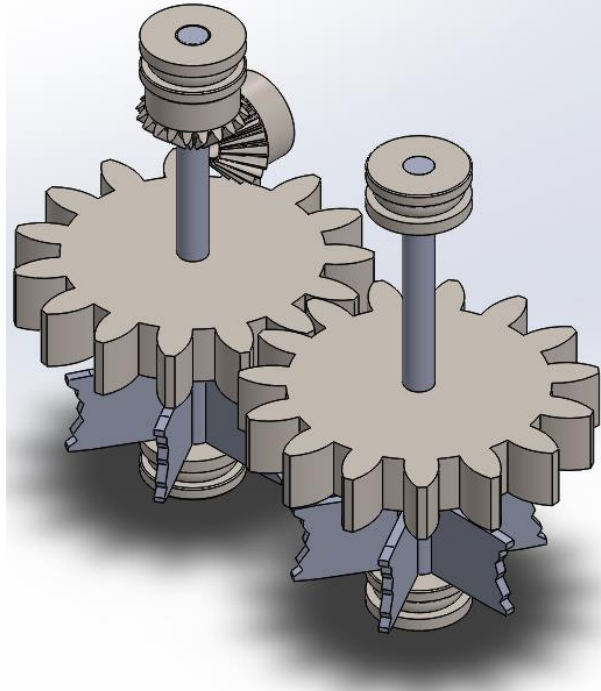


Ilustración 32. Montaje de Mecanismos con Engranajes Rectos

Fuente: realizado por autores

Como se puede observar en la en la Ilustración 33. Vista Inferior del Montaje Inicial, el diámetro de los engranajes sobrepasaba el diámetro de los actuadores, significando un problema ya que esta disposición impedía que los actuadores sobresalieran en relación con los demás elementos del prototipo y complicaba el posicionamiento del prototipo hacia la rama para lograr una cosecha selectiva.

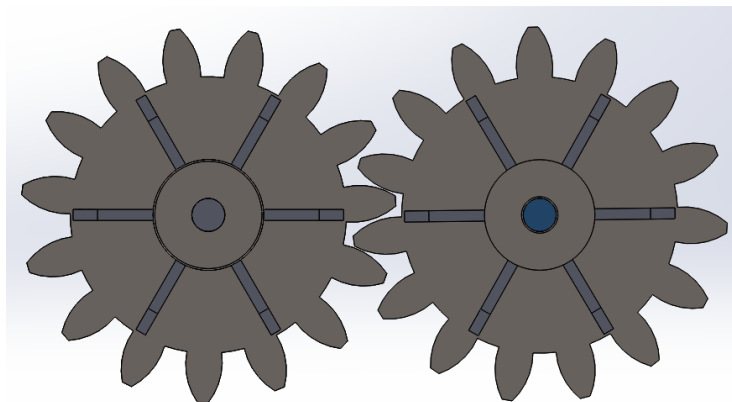


Ilustración 33. Vista Inferior del Montaje Inicial

Fuente: realizado por autores

Las dos alternativas presentes para resolver dicho problema eran aumentar la longitud del eje considerablemente o utilizar bandas. Al aumentar la longitud de los ejes para aumentar el espacio entre los actuadores y los engranajes se aumentaba el tamaño de la máquina y, a su vez, el peso. Por esta razón se optó por la implementación de bandas.

4.5.5 PROPUESTA FINAL DEL DISEÑO

4.5.5.1 *Diseño de Actuador*

Tomando como referencia el prototipo ALFA, el primer paso fue el redimensionamiento del actuador con la finalidad que este desprenda las cerezas de café de manera individual. Para esto se consideró el diámetro polar y ecuatorial promedio de una cereza de café de variedad arábica, cuyo valor redondeado es 17 mm. El extremo superior e inferior de cada paleta tiene una longitud de 20 mm, medida colocada al aumentar un 25% el valor promedio de la cereza de café. Esto permite que los dientes que se ubican en la parte céntrica del extremo de la paleta alcancen los 17 mm aproximadamente facilitando el desprendimiento de cerezas de diferentes tamaños.

Como se puede observar en la Ilustración 34. Vista Frontal del Actuador Ilustración 31. Distancia entre Actuadores, la distribución de los dientes asemeja una forma elipsoidal para facilitar el contacto con la cereza de café. Los dientes de dicho actuador no son afilados, ya que esto podría provocar la penetración al fruto y ocasionar el estancamiento en el diente o daños al grano de café. Se escogió el material Prolon ON para las paletas por las ventajas que este material presenta y por los resultados obtenidos con ALFA.

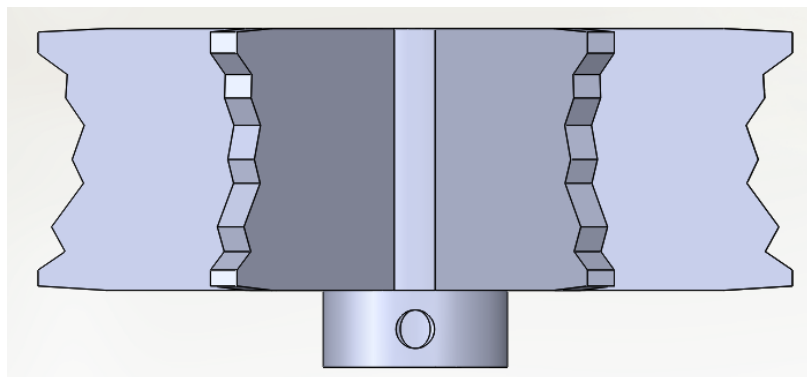


Ilustración 34. Vista Frontal del Actuador

Fuente: realizado por autores

4.5.5.2 Selección de Motor

Para seleccionar el motor se tomó en cuenta la fuerza de desprendimiento que debe ejercer el actuador para recolectar la cereza del café en su estado de maduración. Como se detalla en la Tabla 3, dicha fuerza es en promedio 10.77 N. Es importante mencionar que esta fuerza podría variar, sin embargo, no es recomendable que alcance los 30 N, ya que podría ocasionar daños al grano, tal como se menciona en la sección 3.2.2.

Se comenzó calculando el momento de torsión tomando en cuenta que la fuerza de desprendimiento es de 10.77 N y el radio de 24.50 mm al tomar en consideración el radio del eje del actuador (4.5 mm) y la longitud de la paleta (20 mm). El momento de torsión (τ) es el producto de la fuerza (F) y la distancia (r) que hay desde el origen de la rotación hasta la posición donde se ejerce la fuerza:

$$\tau = F \cdot r$$

Ecuación 3. Momento de Torsión

Fuente: (Young & Freedman, 2009)

$$\begin{aligned}\tau &= 10.77 \text{ N} \cdot 24.50 \text{ mm} \\ \tau &= 263.87 \text{ N} \cdot \text{mm} = 0.27 \text{ N} \cdot \text{m}\end{aligned}$$

Tomando en consideración este momento de torsión se comenzó a buscar motores que tuvieran un momento de torsión disponible cercano al calculado.

Se consideró la utilización de motores de combustión o motores eléctricos. Los motores que se tomaron en consideración fueron:

- Motor de combustión de 4 tiempos de 746 W con capacidad de almacenamiento de 100 centímetros cúbicos de gasolina con salida de 5,500 rpm.
- Motor eléctrico con caja de cambios SG-555123000-30K con salida de 100 rpm de 12V y 0.80 A cuya hoja de especificaciones está en Anexo 2.

Al realizar una visita técnica a la Finca Recreo en El Paraíso, El Paraíso, y tomar en cuenta la opinión de los cosechadores y las especificaciones técnicas se realizó una tabla de comparación que se muestra a continuación.

Tabla 11. Comparación entre Motor de Combustión y Motor Eléctrico

	Motor de Combustión	Motor Eléctrico
Accesibilidad	Media	Media
Vibración	Alta	Baja
Peso	3.30 kg	0.35 kg
Costo	\$188.00	\$8.00
Tamaño	30 X 30 X 32 cm	116.3 X 37 X 37 mm
Potencia mínima	745.70 W	2.60 W

Fuente: realizado por autores

Al ser el prototipo un elemento portátil con agarradero que debe ser posicionado en las ramas de manera precisa por el cosechador para alcanzar altos estándares de calidad, se consideró que el peso y la vibración del motor de combustión son muy altos en comparación con el motor eléctrico. Adicionalmente, se deberían implementar múltiples engranes de reducción de potencia para alcanzar la potencia adecuada para el desprendimiento del fruto, lo que ocasiona mayor ruido y aumenta el peso del prototipo. También se tomó en cuenta que la disponibilidad de un motor de combustión de 746 W en el mercado es baja y generalmente viene incluida en aparatos como cortadoras de césped o sierras, por lo que la compra resultaría poco conveniente.

Por lo mencionado anteriormente se decidió la utilización de un motor eléctrico con un momento de torsión de 0.34 N·m y 100 rpm con el objetivo que el actuador desprenda al menos 10 cerezas de café por segundo, una por cada paleta del actuador. Se seleccionó un motor con un momento de torsión de 0.34 N·m ya que este es el valor comercial que se encontró más cercano a los 0.27 N·m. Se realizó el cálculo para verificar la fuerza que proporciona este motor tal como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned}\tau &= F \cdot r \\ F &= \frac{\tau}{r} \\ F &= \frac{0.34 \text{ Nm}}{0.0245 \text{ m}} \\ F &= 13.88 \text{ N}\end{aligned}$$

4.5.5.3 Selección de Batería

La batería es utilizada para alimentar el motor. Como se mencionó anteriormente el motor seleccionado requiere de una corriente de 800 mA. Lo primero que se realizó fue determinar las horas en las que se deseaba que el prototipo estuviera en funcionamiento sin que la batería se descargue. Para esto se consideró prudente seleccionar una batería cuya duración sea de 25 horas con el objetivo de garantizar el funcionamiento del prototipo durante tres días con jornada laboral de ocho horas.

Se procedió a encontrar la capacidad nominal de la batería utilizando la Ecuación 4. Capacidad de una Batería, que se define como la corriente de la carga (I) y el tiempo (t).

$$Q = I \cdot t$$

Ecuación 4. Capacidad de una Batería

Fuente: (Gears Educational Systems, 2009)

$$Q = I \cdot t$$

$$Q = 800 \text{ mA} \cdot 25 \text{ h}$$

$$Q = 20000 \text{ mAh} = 20 \text{ Ah}$$

Finalmente, se seleccionó una batería recargable, de iones de litio (Li-Ion) de 12 V y 20 Ah para una corriente de la carga no mayor a 2 A. Las baterías de iones de litio presentan la ventaja que tienen una larga vida útil y poco peso; en este caso 0.57 kg. Adicionalmente esta batería cuenta con un interruptor de encendido/apagado integrado para ahorrar energía.



Ilustración 35. Batería Recargable 12 V y 20 Ah

Fuente: (ABENIC, 2019)

La batería seleccionada tiene dos terminales, una hembra y otra macho. La terminal hembra se debe utilizar para conectar el cargador cuando sea necesario cargar la batería mientras que la carga se debe conectar a la terminal macho mediante el uso de un adaptador de enchufe hembra de alimentación de 12 V.

4.5.5.4 Selección de Engranés

Al seleccionar el motor eléctrico de 100 rpm, se hace uso únicamente de dos engranes cónicos cuyo único objetivo es redireccionar el giro del motor a 90° ya que no es necesaria el cambio de las revoluciones. Los engranes cónicos que cumplen esta función tienen el mismo número de dientes y una relación 1:1; se conocen como engranes cónicos de inglete. La característica principal de este tipo de engranes es que cada uno de los dientes están ubicados a 45° , formando un ángulo de 90° entre ellos. En el Anexo 3. Datos de los Engranés Cónicos de Inglete, encontrará las especificaciones de los engranes seleccionados.

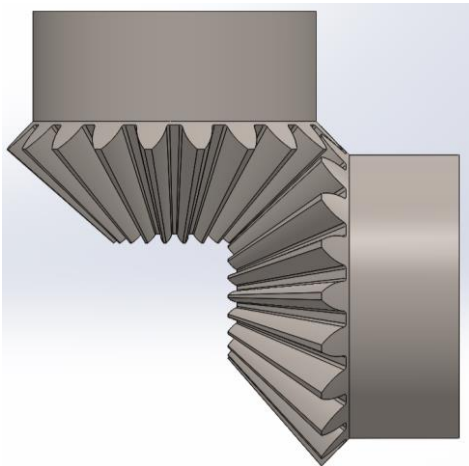


Ilustración 36. Engranajes Cónicos de Inglete

Fuente: realizado por autores

4.5.5.5 Selección de Poleas y Banda

La banda debe cumplir dos funciones, transmitir la potencia del primer eje al segundo y cambiar el giro del segundo eje. Se implementó el uso de una banda cruzada ya que cumple con cada una de las funciones mencionadas anteriormente. Las bandas ofrecen la ventaja que operan de forma

eficiente a distancias pequeñas entre centros, son menos costosas que las transmisiones de engranes, operan suavemente y con menos ruidos que los engranes, requieren de poco mantenimiento y no requieren lubricación (Myszka, 2012).

Para encontrar el grosor (b) mínimo recomendable de la banda se toma en consideración la distancia (C) entre los ejes de las poleas mediante la siguiente fórmula:

$$C = 20 \cdot b$$

Ecuación 5. Ancho Mínimo Recomendado en una Banda de Transmisión

Fuente: (Khurmi & Gupta, 2005)

Como se mencionó en la sección 4.5.4, la distancia entre los ejes es de 60 mm. Sustituyendo este dato en la ecuación anterior obtenemos que el ancho mínimo de la banda es de 3mm.

$$b = \frac{C}{20}$$
$$b = \frac{60 \text{ mm}}{20}$$
$$b = 3 \text{ mm}$$

Con el objetivo de no dejar la banda limitada se seleccionó la implementación de una banda de 5 mm de ancho y 0.6 mm de grosor. En estas dimensiones, se encontró en el comercio las bandas de neopreno, un tipo de hule. Este material puede soportar hasta 120°C y se utiliza para aplicaciones de baja potencia tal como se muestra en el Anexo 5. Ficha Técnica Neopreno.

Al tener un montaje de banda cruzada se puede calcular cual será la longitud total de la banda (L) y el ángulo con el cual la banda se acopla en la polea (θ) mediante las siguientes ecuaciones.

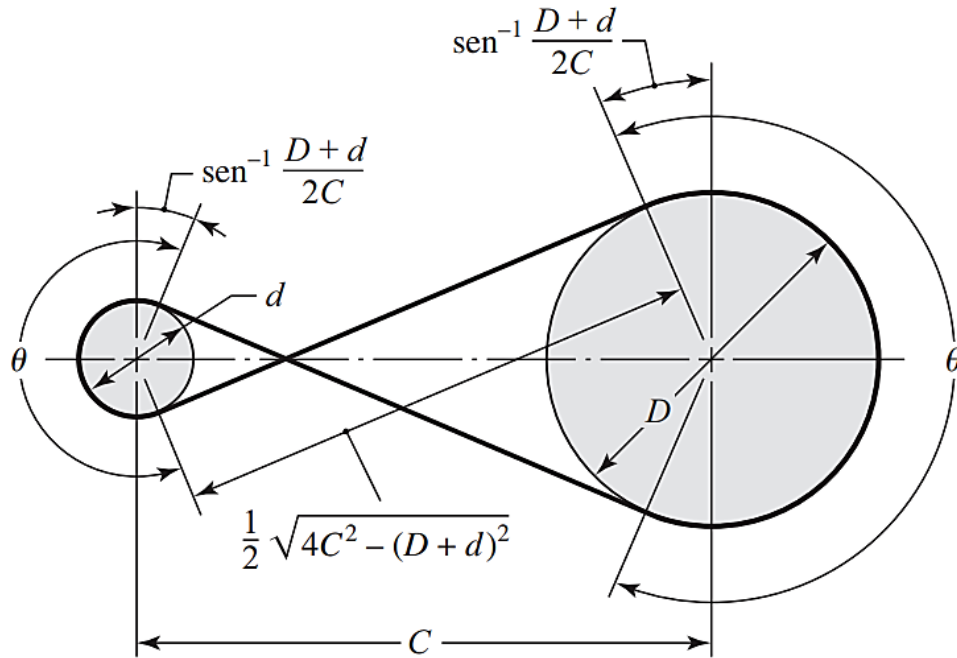


Ilustración 37. Geometría de una Banda Plana Cruzada

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

$$\theta = \pi + 2 \sin^{-1} \frac{D + d}{2C}$$

Ecuación 6. Ángulo de Contacto entre la Banda y la Polea

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

$$L = \sqrt{4C^2 - (D + d)^2} + \frac{1}{2}(D + d)\theta$$

Ecuación 7. Longitud de la Banda

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

Para asegurar que no exista un cambio de velocidad angular en la transferencia de potencia de un eje a otra el diámetro de ambas poleas debe ser igual ($D = d$). Tal como se muestra a continuación con la ecuación de razón de velocidad donde el cociente de la velocidad angular de la polea 1 (ω) y la velocidad angular de la polea 2 (ω) es igual al cociente del diámetro de la polea 1 (D) y el diámetro de la polea 2 (d).

$$VR = \frac{W}{w} = \frac{D}{d}$$

Ecuación 8. Razón de Velocidad de Bandas

Fuente: (Myszka, 2012)

La velocidad angular está dada por el motor, este valor es 100 rpm por lo que el cociente $\frac{W}{w}$ es igual a uno y a partir de ello se obtiene lo siguiente:

$$\begin{aligned}\frac{W}{w} &= \frac{D}{d} \\ D &= d\end{aligned}$$

Luego, al implementar la Ecuación 7. Longitud de la Banda, y tomando en consideración que los diámetros de ambas poleas son iguales ($D = d = 12\text{mm}$) ya que no se requiere una reducción de potencia y $C = 60\text{ mm}$.

$$\theta = \pi + 2 \sin^{-1} \frac{12\text{mm} + 12\text{mm}}{2 * 60\text{ mm}} = 3.54 \text{ radianes}$$

$$L = \sqrt{4(60\text{mm})^2 - (12\text{mm} + 12\text{mm})^2} + \frac{1}{2}(12\text{mm} + 12\text{mm})3.54 \text{ rad}$$

$$L = 160.06 \text{ mm} = 16.01 \text{ cm}$$

4.5.5.6 Selección de Rodamientos

Los rodamientos son utilizados para acoplar los dos ejes verticales a la carcasa. Para ensamblar los dos ejes verticales los rodamientos se ubicaron en un alojamiento ciego en la carcasa. Estos alojamientos incluyen un agujero para facilitar su desmontaje. Estos orificios deberán estar cubiertos con un tapón removible a excepción de cuando se esté desmontando el prototipo.

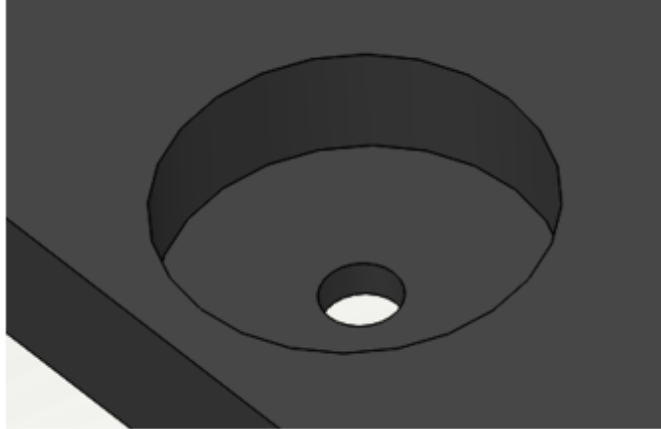


Ilustración 38. Alojamiento para Rodamientos

Fuente: realizado por autores

Al momento de seleccionar el rodamiento adecuado para los ejes verticales se tomó en cuenta que la mayoría de las cargas que soportan estos rodamientos están paralelas al eje de rotación del elemento; sin embargo, la banda y la polea ejercen una tensión perpendicular al eje que representa una carga radial. Ya que el eje está sometido a cargas axiales y radiales, se utilizó rodamientos rígidos de bolas.

“Los rodamientos que sostienen ejes verticales están sujetos a cargas de empuje, causadas por el peso del eje y por los elementos en el eje, así como las fuerzas axiales de operación” (Mott, 2006, p. 600).

En base a lo anterior, para la selección de los rodamientos se tomó como base la carga de diseño (P_d) del rodamiento que soporta la mayor cantidad de fuerzas radiales y axiales.

$$P_d = P_{Eje} + P_{Engranaje} + P_{Polea} + P_{Banda} + P_{Actuador} + P_{Rodamiento Superior} + P_{Parte superior de Carcasa}$$

$$P_d = (22.34 + 2.59 + 3.00 + 1.06 + +5.01 + 8.80 + 76.41)g \cdot \frac{1 Kg}{1000 g} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$P_d = 1.17 N$$

Se comenzó realizando el cálculo de la duración de diseño necesaria en el rodamiento para soportar las cargas a las que está sujeto, y con este dato se calculó la carga dinámica básica que

debe resistir el rodamiento. La ecuación de la duración del diseño en horas utiliza la duración recomendada para rodamientos especificada en la tabla 11 (h), la velocidad de giro del eje (rpm) y la conversión de minutos a horas. La ecuación es la siguiente:

$$L_d = h \cdot rpm \cdot 60 \frac{min}{h}$$

Ecuación 9. Duración de Diseño Dada

Fuente: (Mott, 2006)

Tabla 12. Duración Recomendada en Horas para Rodamientos

Aplicación	Duración de diseño L ₁₀ (h)
Electrodomésticos	1000-2000
Motores de aviación	1000-4000
Automotores	1500-5000
Equipo Agrícola	3000-6000
Elevadores, ventiladores industriales, transmisiones de usos múltiples	8000-15,000
Motores eléctricos, sopladores industriales, maquinas industriales en general	20,000-30,000
Bombas y compresores	40,000-60,000
Equipo critico en funcionamiento durante 24 h	100,000-200,000

Fuente: (Avallone & Baumeister, 1986)

Ya que el giro es causado por un motor eléctrico la duración de diseño (L₁₀) según la tabla 11 es de máximo 30,000 horas. Tomando en consideración este dato y que el motor gira a 100 rpm se calcula L_d.

$$L_d = h \cdot rpm \cdot 60 \frac{min}{h}$$

$$L_d = 30000 h \cdot 100 rpm \cdot 60 \frac{min}{h}$$

$$L_d = 180 \cdot 10^6 \text{ revoluciones}$$

La ecuación de la carga dinámica básica (C) se usa para calcular la vida útil de un rodamiento. En los rodamientos de la marca SKF el valor C se define como: la carga del rodamiento que dará como resultado una vida útil nominal ISO 281 de 1,000,000 revoluciones (SKF Group, 2018).

$$C = P_d \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}}$$

Ecuación 10. Capacidad de Carga Dinámica Básica Necesaria

Fuente: (Mott, 2006)

Al utilizar un rodamiento de bolas el exponente de duración de vida del rodamiento (k) es igual a 3 (Mott, 2006). Aplicando la ecuación se encuentra que la capacidad de carga dinámica básica mínima de los rodamientos es de:

$$C = 1.17 N \left(\frac{180 \cdot 10^6}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$
$$C = 6.60 N$$

Como se puede observar en el Anexo 6. Ficha Técnica Rodamiento 626-Z de SKF, el rodamiento seleccionado soporta una carga dinámica básica nominal de 2.34 kN por lo que funciona bien en la aplicación diseñada.

4.5.5.7 Diseño de Carcasa

Se diseñó una carcasa desmontable con la finalidad de permitir la lubricación y acceso a cada uno de los componentes que la conforman. La carcasa deberá imprimirse con plástico ABS con pigmentación en negro ya que provee mayor resistencia a la intemperie (PALSA, 2019). Esta carcasa tiene una masa de 689.06 g y un volumen de 675.55 cm³. La carcasa está conformada por cinco partes como se puede observar en la siguiente ilustración.

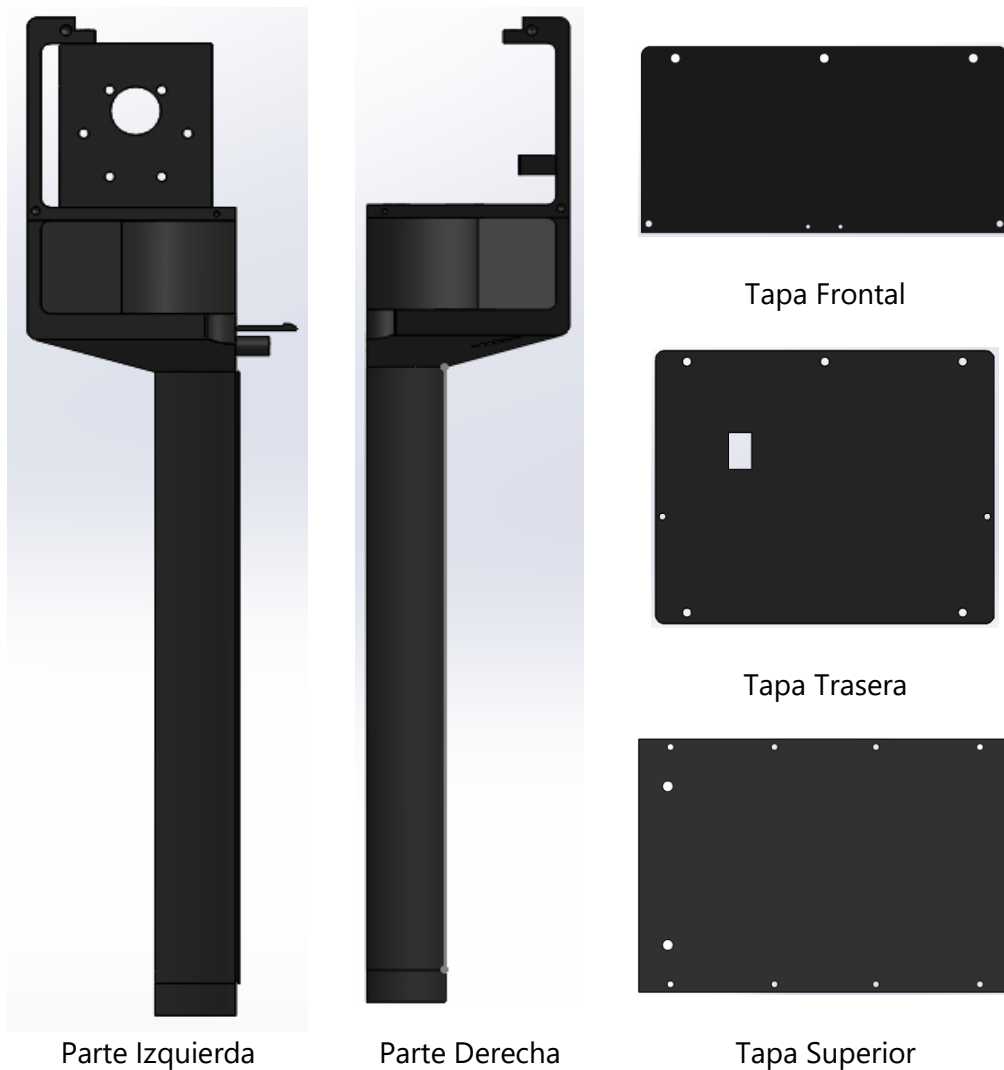


Ilustración 39. Partes de la Carcasa

Fuente: realizado por autores

Para mantener la parte izquierda y la parte derecha unidas se agregó a una de ellas un ajuste a presión conocido como viga en voladizo o gancho. Este tipo de ajuste se encaja perfectamente en la otra parte lateral de la carcasa. El gancho tiene una cara cónica con un ángulo de encaje superficial que le permite engancharse en lo que se conoce como parte obstructora. Existe también un ángulo de liberación para permitir el retiro del gancho.

El ángulo de liberación debe ser mayor que el ángulo de encaje para hacer que la liberación sea un poco más difícil que el enganche y de esta forma asegurar la unión de ambas piezas (Maier, 2009). Adicionalmente, el grosor del gancho con la distancia entre la base y la retención deben

tener una relación de distancia 1:10 (Bonenberg, 2000). Los ángulos seleccionados para el diseño del cantiléver se pueden observar en la Ilustración 40. en Voladizo.

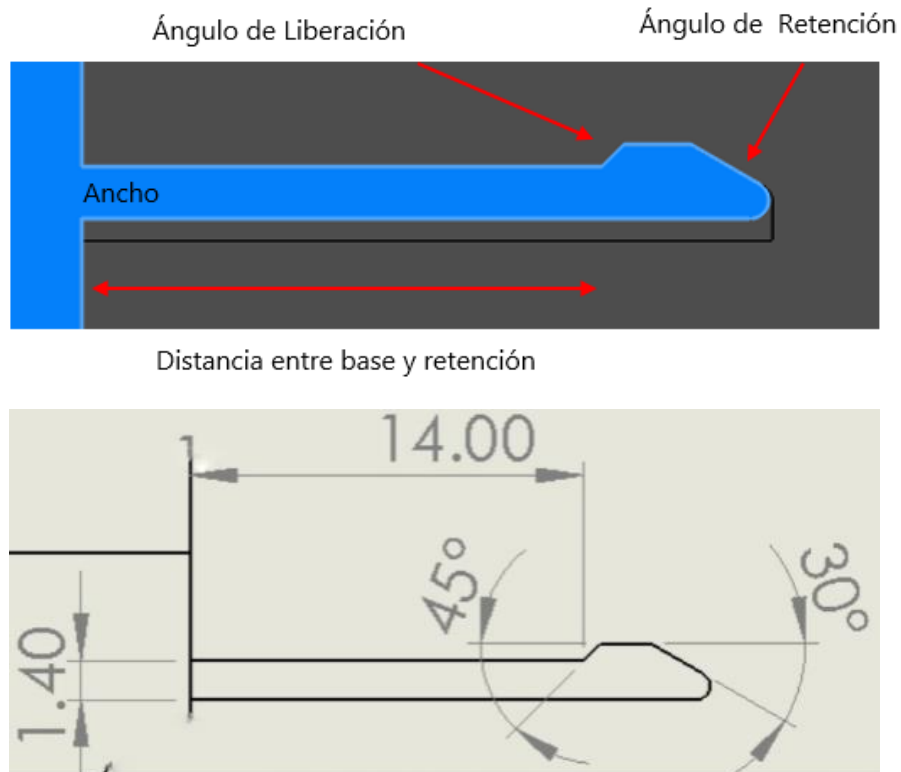


Ilustración 40. Viga en Voladizo

Fuente: realizado por autores

La carcasa cuenta con un alojamiento para ubicar y atornillar el motor, esto con la finalidad de evitar que se mueva. Adicionalmente, hay una división que separa el espacio donde están ubicados los actuadores del espacio donde se ubican los componentes mecánicos. Esta división tiene dos agujeros de 12 mm de diámetro por donde pasan los ejes. La sección transversal de los agujeros permite colocar un sello de labio que excluye los contaminantes que se puedan transferir desde la sección de los actuadores a la sección que contiene los elementos de transmisión de potencia (Mott, 2006).

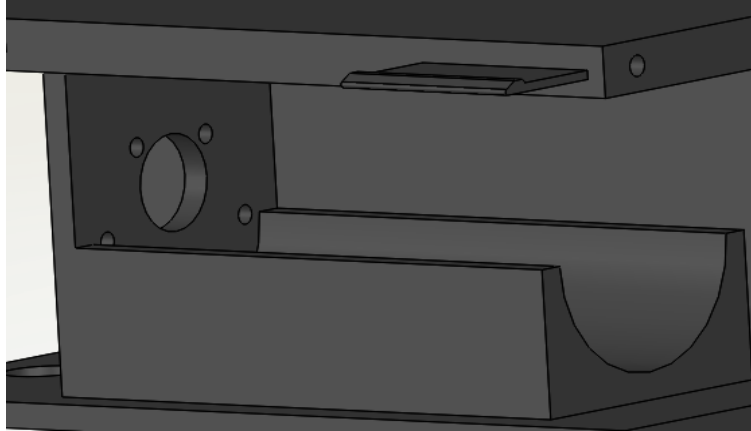


Ilustración 41. Soporte para Motor

Fuente: realizado por autores

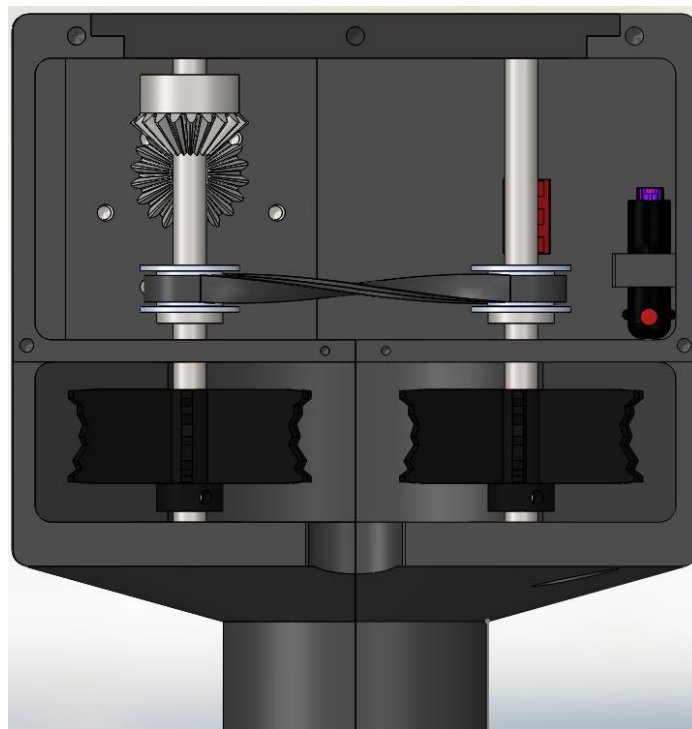


Ilustración 42. Divisiones en el Prototipo

Fuente: realizado por autores

Las paletas de los actuadores sobresalen de la carcasa para permitir el desprendimiento de las cerezas de café. Adicionalmente, se diseñó un agujero para poder posicionar parte del racimo y de esta manera facilitar el desprendimiento de la cereza de café. Una vez las cerezas de café son

desprendidas por los actuadores, estas se dirigen a un embudo ubicado en el interior de la carcasa. El embudo desemboca en el mango, el cual es hueco, y permite el transporte de las cerezas hacia una manguera corrugada flexible universal la cual se acopla al mango del prototipo mediante una abrazadera. La manguera corrugada flexible puede llevar las cerezas a una canasta u otro deposito. La manguera flexible corrugada universal es la que utilizan las aspiradoras y tiene 4.50 cm de diámetro interior.

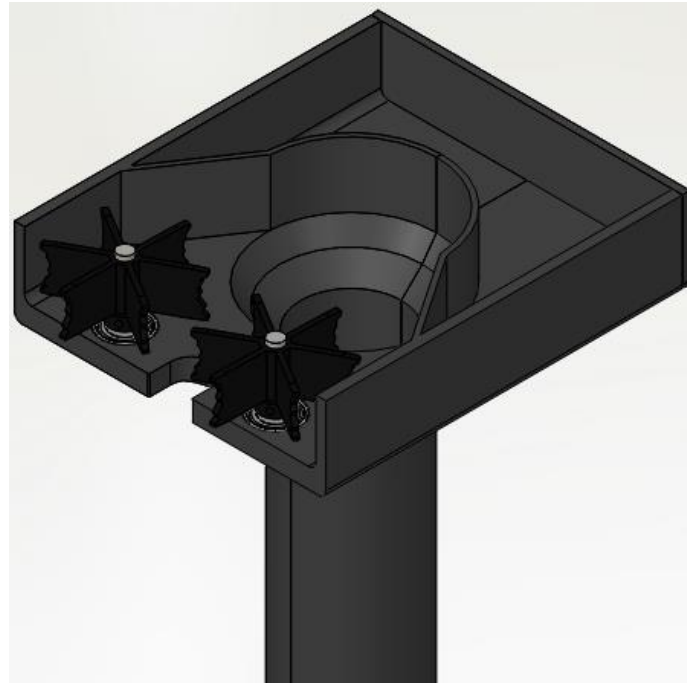


Ilustración 43. Vista Seccionada del Embudo

Fuente: realizado por autores

Por otro lado, para el diseño del mango se tomó en cuenta las pautas claves dictadas por la ergonomía para el diseño de herramientas eléctricas. Estas pautas se describen a continuación y se pueden observar en la Ilustración 44. Ergonomía del Agarradero de una Herramienta Eléctrica.

- El agarradero no debe tener ranuras para dedos.
- El mango debe ubicarse cerca del centro de gravedad de la herramienta.
- Se debe establecer una longitud del mango que permita posicionar todos los dedos (mínimo 14cm).

- Los mangos deben estar diseñados para evitar un estrés excesivo en la palma o los dedos.
- El ancho del agarradero debe de estar en un rango de 4 a 6 cm.
- Todos los cables de alimentación y aire deben ser muy flexibles y no deben interferir con la operación y el manejo de la herramienta.
- Siempre que sea posible debe usarse un interruptor para encender la herramienta eléctrica.

(Delphi Ergonomics Council (DEC), 2010)

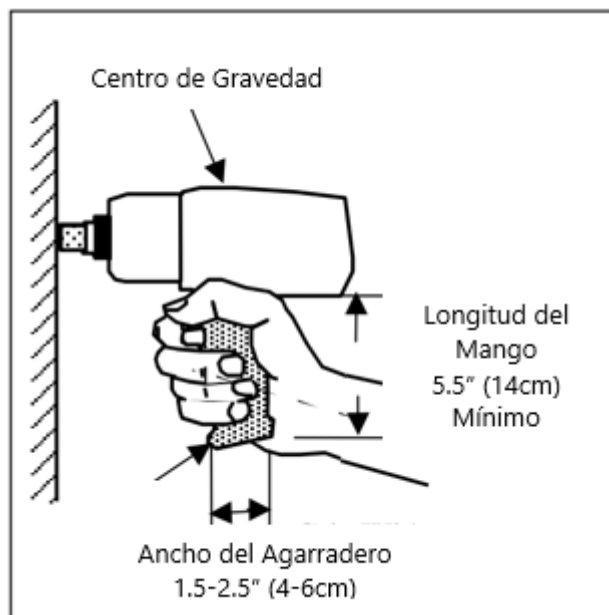
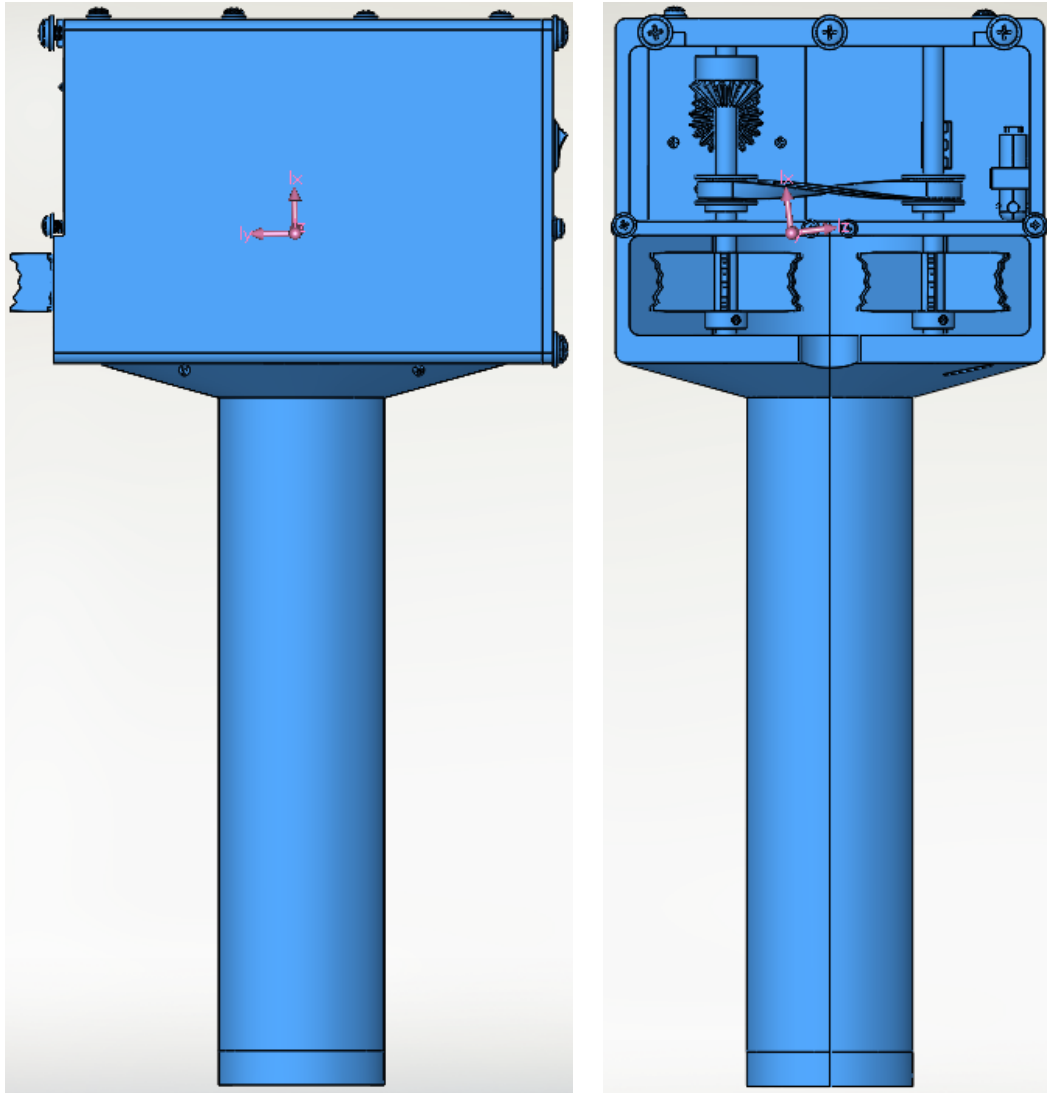


Ilustración 44. Ergonomía del Agarradero de una Herramienta Eléctrica

Fuente: (Delphi Ergonomics Council (DEC), 2010)

En base a lo anterior se realizó el cálculo del centro de gravedad de la máquina utilizando la opción de propiedades físicas de SolidWorks. Al realizar el análisis se decidió ubicar el mango justo debajo del centro de gravedad. Adicionalmente, el mango del prototipo tiene un ancho de agarradero de 4 cm y una longitud de mango de 20 cm. Este último dato está sobredimensionado ya que a la parte final del mango se le adapta la abrazadera para conectar la manguera corrugada flexible.



Vista Lateral

Vista Frontal

Ilustración 45. Resultados del Centro de Masa en SolidWorks

Fuente: realizado por autores

Para la unión de las dos partes del mango de la máquina se utilizaron tornillos M3 por lo que se requirió el uso de agujeros ciegos. Lo primero que se realizó fue el cálculo de dichos agujeros considerando que el plástico que se utilizará en la carcasa es ABS. Dichos cálculos se utilizaron para el diseño de los agujeros ciegos. Para hacer los agujeros de los tornillos se utilizó la herramienta de SolidWorks, Asistente para Taladrado, la cual realiza los cálculos de forma automática.

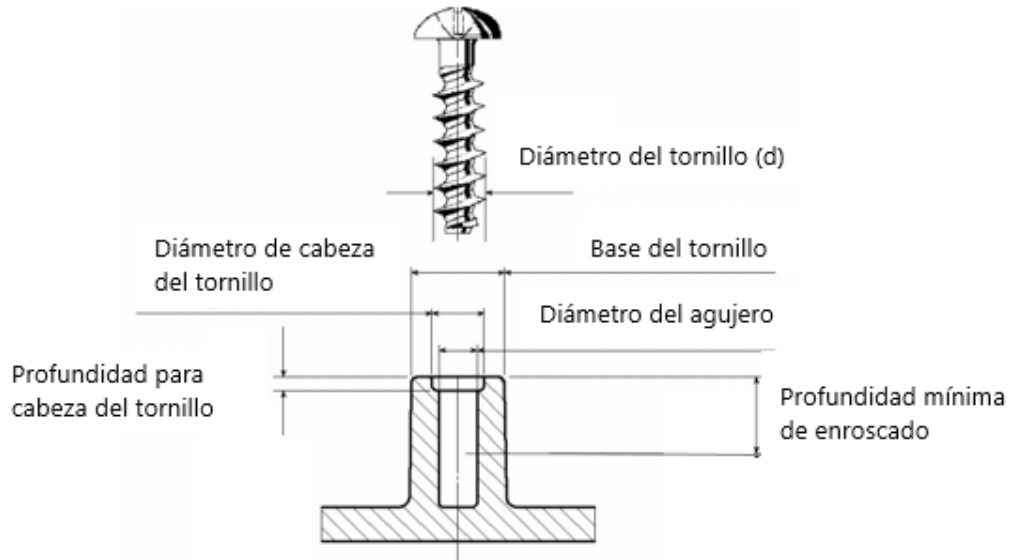


Ilustración 46. Factores de Diseño de Agujeros Ciegos para Tornillos

Fuente: (Maier, 2009)

Tabla 13. Ecuaciones Necesarias para Definir Agujeros en Bases Plásticas

Factores	Ecuación
Base del tornillo	$d \cdot \text{Factor de la base}$
Diámetro del agujero	$d \cdot \text{Factor del Agujero}$
Profundidad mínima de enroscado	$d \cdot \text{Factor de profundidad}$
Profundidad para cabeza del tornillo	0.3d a 0.5d
Diámetro de cabeza del tornillo	$d + 0.2 \text{ mm}$

Fuente: (Maier, 2009)

Los valores factores: de la base, de agujero y de profundidad dependen del tipo de plástico que se utilice y se obtienen a través de la Tabla 13.

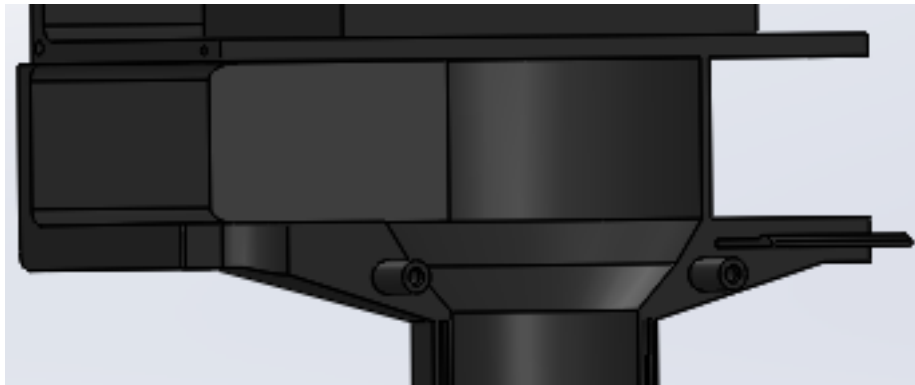
Tabla 14. Factores para el Diseño de Agujeros en Plástico ABS

Material	Factor del agujero	Factor de la base	Factor de profundidad
ABS	0.80	2.00	2.00

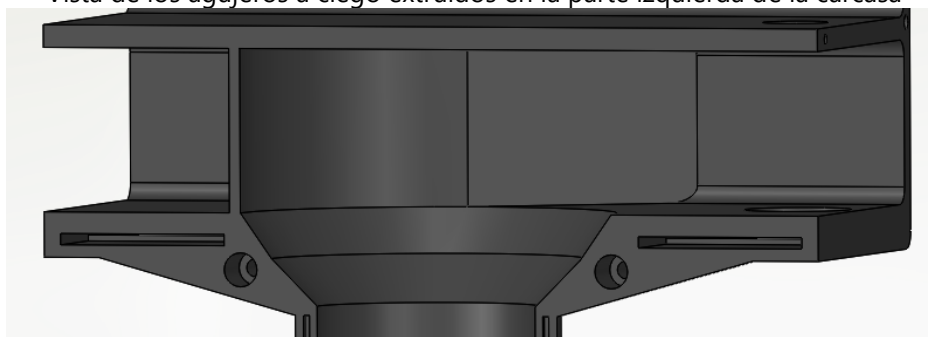
Fuente: (Maier, 2009)



Vista lateral de los agujeros ciegos con los tornillos M3



Vista de los agujeros a ciego extruidos en la parte izquierda de la carcasa



Vista de los agujeros para la acoplar la extrusión en la parte derecha de la carcasa

Ilustración 47. Vista de los Agujeros Ciegos en la Carcasa

Fuente: realizado por autores

4.5.5.8 Diagrama Eléctrico

La parte eléctrica del prototipo consta de un interruptor, la batería de 12 voltios, un fusible y el motor de corriente directa. Para proteger el motor se escogió un fusible de 3 amperios ya que esta es la corriente de bloqueo del rotor. Esta corriente es la máxima que puede soportar el motor cuando su rotor se detiene por obstrucción (González, 2012). Al trabajar con una fuente de baja tensión se debe considerar que las corrientes generalmente son altas y que los cables pueden

causar una pérdida de tensión en el circuito. Para verificar cual es la perdida de tensión debido al cable se debe calcular el voltaje haciendo uso de la ley de Ohm.

$$V_{Cable} = I_{Cable} \cdot R_{Cable}$$

Ecuación 11. Voltaje en el Cable Mediante Ley de Ohm

Fuente: (Young & Freedman, 2009)

La corriente del cable (I_{cable}) es la corriente nominal que consume el motor ya que es la única carga en el circuito. Esta corriente es de 0.80 amperios. La resistencia del cable (R_{cable}) está dada por el fabricante en ohmios por kilómetro (Ω/km), por lo que se debe considerar la longitud del cable en el circuito. La longitud del cable que se debe utilizar es de 3 metros (1.50 metros de cable positivo y 1.50 metros de cable negativo).

Esta longitud se definió al considerar la altura promedio de los hondureños y la posición de la máquina en la mano del cosechador. La altura promedio del hondureño es de 1.64 metros (Longás, 2016). El cable se conecta desde la batería hasta el motor. Se asume que el cosechador carga la batería en la parte trasera de un arnés o mochila, exactamente en su espalda, y el motor ubicado en la máquina portátil que podrá cargar en cualquiera de sus manos. Por ende, es de suma importancia que la longitud del cable sea capaz de recorrer toda esta distancia permitiendo que los movimientos sean realizados de forma natural.

En promedio, las proporciones humanas dictan que la longitud de los brazos extendidos de un hombre es igual a su altura (Horcajada, 2012). En consecuencia, la longitud de un brazo extendido desde la mitad de la espalda de un hondureño promedio es de 0.82 metros. Sin embargo, la longitud del cable se aumentó hasta 1.50 metros con el objetivo de permitirle al cosechador poder sostener el prototipo con cualquiera de sus manos y a su vez ser capaz de alzar la mano para alcanzar las cerezas de café ubicadas en las ramas superiores. Dejar esta longitud extra también evita que el operador estire súbitamente la máquina y ocasione la desconexión del cable.

El cable seleccionado se conoce como TSJ-N. Este cable consta de dos hilos de cobre con recubrimiento de nylon cada uno. Se escogió este tipo de aislamiento ya que están diseñados para operar a máximo 60° C en ambientes secos o húmedos. Los hilos del cable TSJ-N son de

colores negro y blanco respectivamente. El hilo de color blanco corresponde para las conexiones positivas y el hilo de color negro para las conexiones negativas.



Ilustración 48. Cable TSJ-N de Dos Hilos

Fuente: (Wire & Cable Your Way , s.f.)

Se seleccionó un cable del fabricante General Cable. Según sus fichas técnicas el cable TSJ-N de dos hilos de calibre 14 tiene una resistencia de $8.88 \Omega/\text{km}$ tal como se especifica en el Anexo 7. Información Técnica Multiconductor. Con estos datos la pérdida de tensión por el cable es de:

$$V_{\text{Cable}} = 0.80 \text{ A} \cdot 8.88 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} \cdot 3\text{m}$$
$$V_{\text{Cable}} = 0.02 \text{ A}$$

En conclusión, este cable no representa una pérdida de tensión significativa para el circuito.

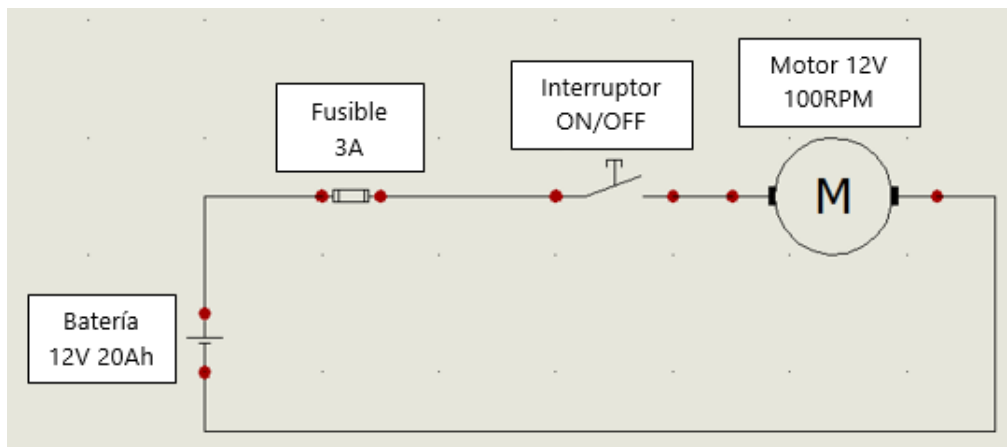


Ilustración 49. Esquema Eléctrico

Fuente: realizado por autores

4.5.5.9 Montaje

Para realizar el montaje del prototipo se deben de seguir los siguientes pasos:

1. Montar el motor en el soporte de la carcasa izquierda. Atornillar los seis tornillos M3.

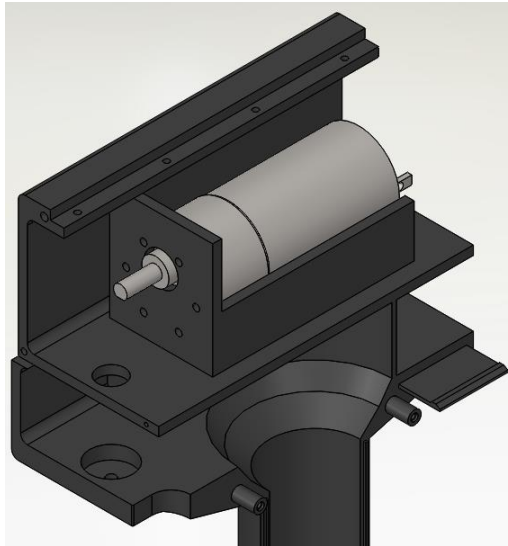


Ilustración 50. Montaje del Motor

Fuente: realizado por autores

2. Colocar el engrane cónico de inglete en el eje del motor. Asegurarlo con un prisionero M5.

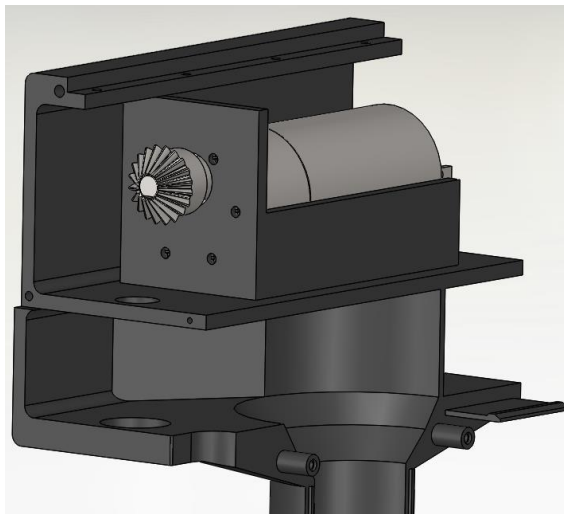


Ilustración 51. Colocación de Engranaje Cónico de Inglete en el Eje del Motor.

Fuente: realizado por autores

3. Unir la carcasa izquierda con la carcasa derecha.

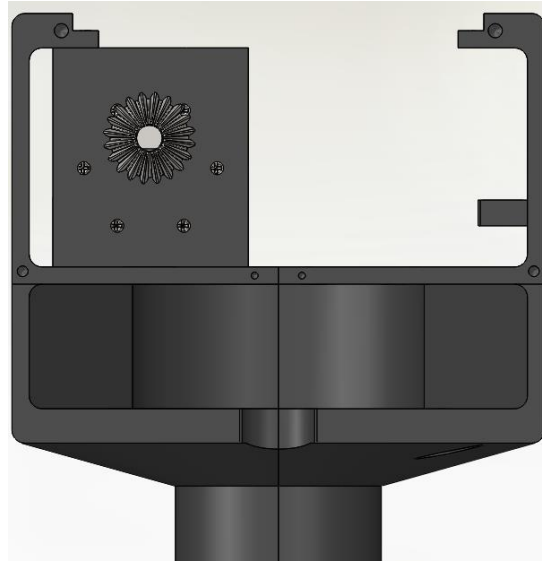


Ilustración 52. Unión de Carcasas

Fuente: realizado por autores

4. Instalar los rodamientos en los agujeros ciegos de la parte inferior de la carcasa.

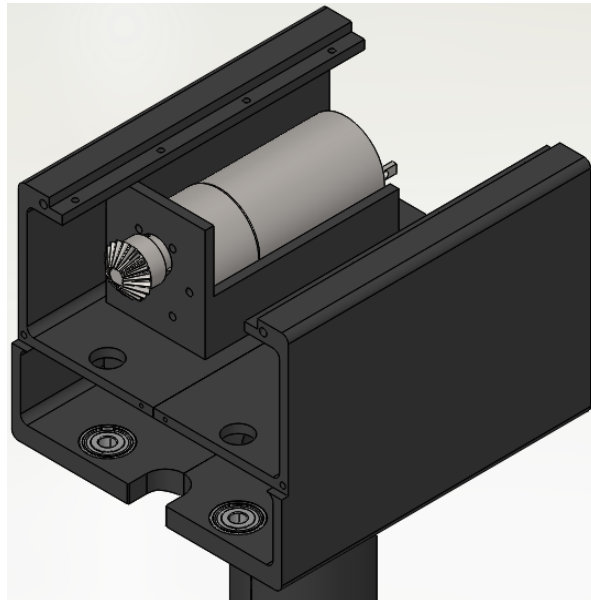


Ilustración 53. Montaje de los Rodamientos.

Fuente: realizado por autores

5. Posicionar los sellos en los agujeros de la pared divisoria de la carcasa.
6. Colocar el actuador en la parte inferior de la carcasa izquierda. Posicionar la polea con su banda y el engranaje en la parte superior de la carcasa izquierda. Colocar el sello de un labio en el agujero que esta entre la parte inferior y superior de la carcasa. Alinear los componentes y posicionar el eje. Asegurar el actuador con un prisionero M3, la polea mediante una cuña y el engranaje cónico de inglete con un prisionero M5.

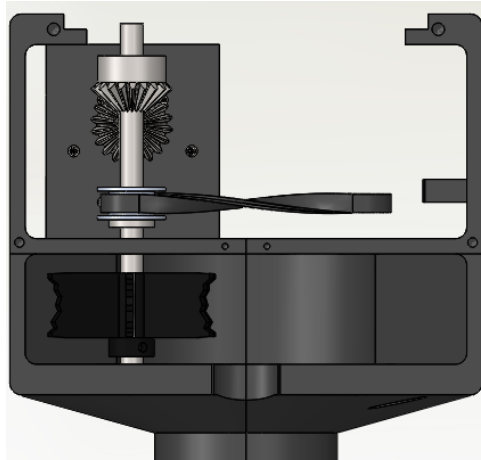


Ilustración 54. Montaje del Eje Izquierdo y sus Componentes.

Fuente: realizado por autores

7. Repetir el paso 5 con el eje derecho considerando que en ese eje solamente se coloca la polea y el actuador.

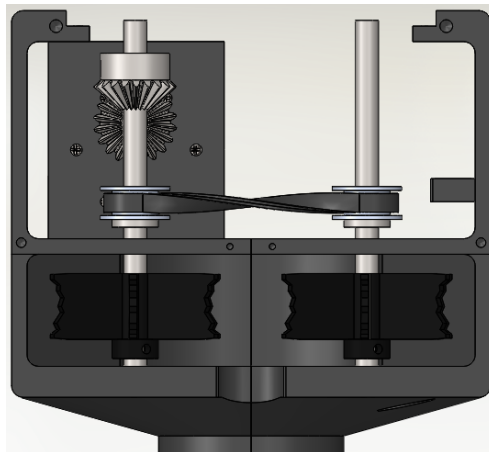


Ilustración 55. Montaje del Eje Derecho y sus Componentes.

Fuente: realizado por autores

8. Posicionar el fusible en el porta fusible. Colocar el porta fusible en el soporte de la parte trasera de la carcasa derecha. Asegurar que los cables queden en la parte baja del soporte.

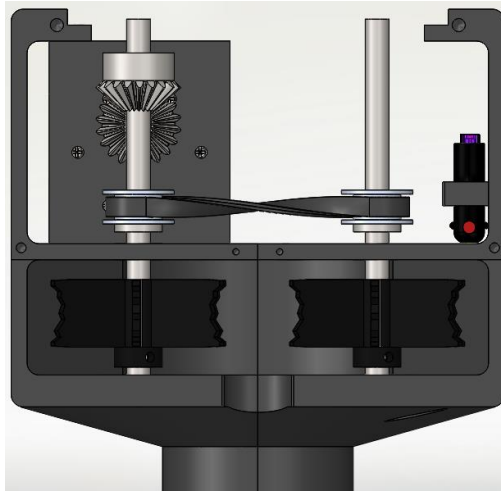


Ilustración 56. Montaje del Fusible

Fuente: realizado por autores

9. Colocar los rodamientos en la tapa superior y unirla a las demás partes de la carcasa.

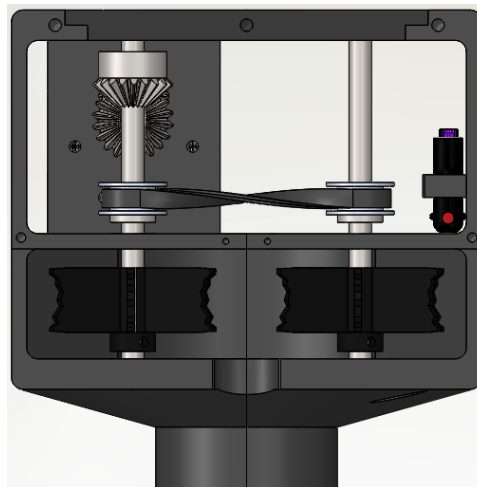


Ilustración 57. Montaje de la Tapa Superior

Fuente: realizado por autores

10. Colocar los tornillos en la tapa superior.

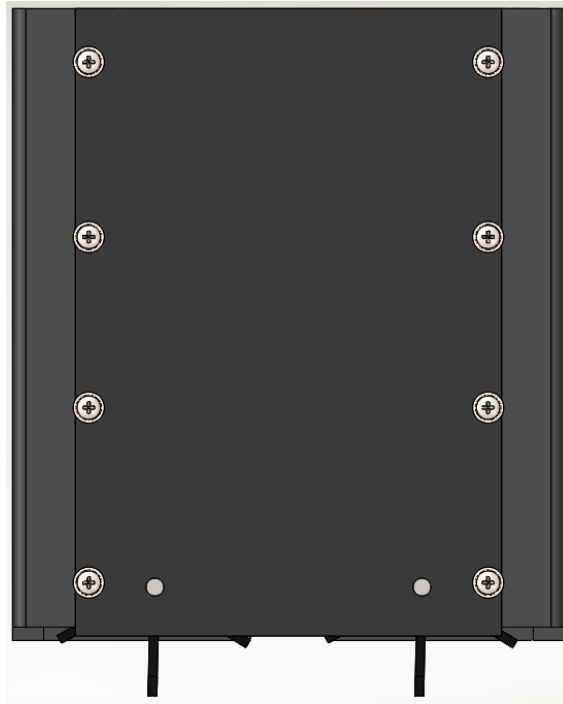


Ilustración 58. Montaje Tapa Superior

Fuente: realizado por autores

11. Colocar la tapa delantera con sus respectivos tornillos.

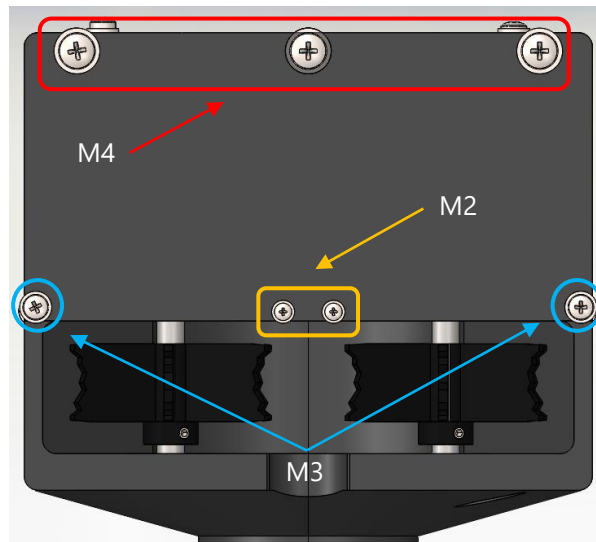
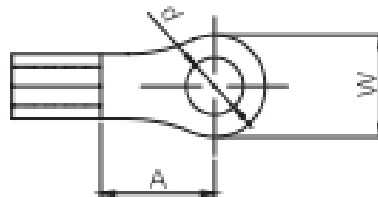


Ilustración 59. Montaje de Tapa Delantera

Fuente: realizado por autores

12. Colocar el botón en la tapa trasera y hacer las conexiones de acuerdo con el diagrama eléctrico. Los cables que van al motor están conectados a terminales eléctricos de ojo que se adaptan a las terminales del motor. Al seleccionar la terminal eléctrica se debe de considerar que el cable de las conexiones es calibre 14 AWG. Para este calibre de cable el orificio para el perno de la terminal eléctrica de ojo debe de estar dentro del rango M3 hasta M8 (Hellermann Tyton, 2013).

TERMINAL OJAL



Sección	d orificio	W	A
1,50 - 2,50 mm ² 16 - 14 AWG	M3 - 1/8"	5,60	4,60
	M3 - 1/8"	7,10	8,10
	M4 - 5/32"	7,10	8,10
	M5 - 3/16"	7,80	8,10
	M6 - 1/4"	11,90	11,20
	M8 - 5/16"	11,90	11,20

Ilustración 60. Terminales de Ojo para Cable 16 -14 AWG

Fuente: (Hellermann Tyton, 2013)

Adicionalmente, se debe tomar en consideración el agujero en las terminales del motor. La terminal eléctrica de ojo seleccionada tiene forro de vinilo muy resistente a la intemperie ya a rayos ultravioleta para perno M4; soporta hasta 600 voltios máximos 75 °C (ESTEC, 2019).

13. Colocar la tapa trasera en el prototipo.

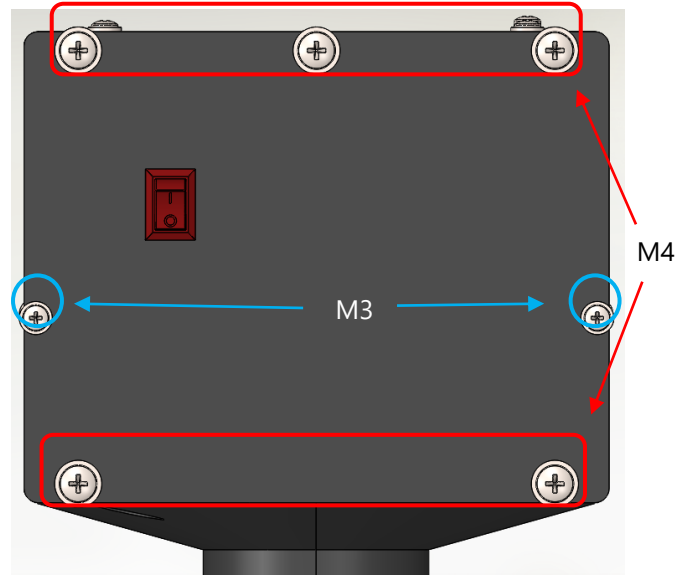
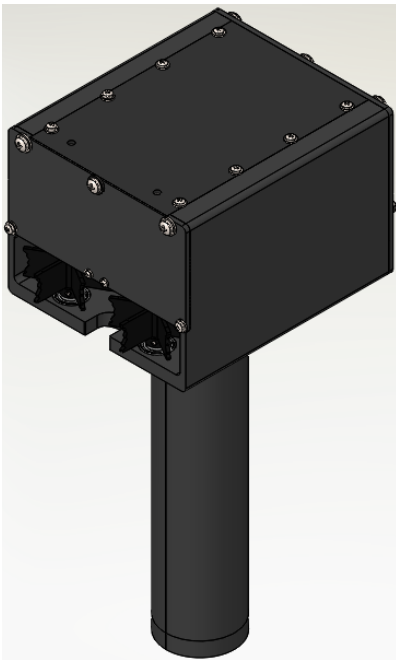
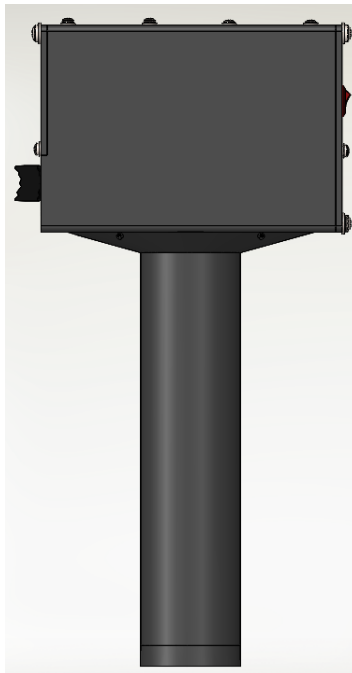


Ilustración 61. Montaje de Tapa Trasera

Fuente: realizado por autores



Vista Isométrica



Vista Lateral



Vista Trasera

Ilustración 62. Montaje Final

Fuente: realizado por autores

4.5.6 ANÁLISIS COMPUTACIONAL

Con la finalidad de verificar el funcionamiento del diseño se decidió ejecutar las siguientes simulaciones:

4.5.6.1 *Análisis de Movimiento*

El análisis de movimiento se hizo con el objetivo de verificar el funcionamiento del sistema mecánico. Se inició simplificando el montaje y suprimiendo la relación de engranajes de los engranes cónicos de inglete con el objetivo que el movimiento del estudio fuese causado por el contacto entre los dientes de los componentes, y no las relaciones de posición de SolidWorks. Se añadió en el análisis de movimiento el contacto entre los engranes cónicos, donde se estableció el material de los engranes como acero (grasoso), ya que el área de contacto debe de estar lubricada. Adicionalmente, se añadió el contacto entre el resto de los componentes necesarios y el efecto de la gravedad.

También se incluyó en la simulación la fuerza que la cereza ejerce en las paletas de los actuadores al momento del desprendimiento. Para facilitar la ecuación que represente el contacto entre la cereza y la paleta del actuador, se utilizó el torque que produce esta fuerza. El torque se representó con una función de coseno. Para desarrollar la ecuación se tomó en cuenta que la ecuación general de una gráfica de coseno es:

$$y = A * \cos(\omega(x - \alpha)) + C$$

Ecuación 12. Función Coseno Generalizada.

Fuente: (Zill & Dewar, 2012)

Donde A es la amplitud, C es el desplazamiento vertical, α es el desplazamiento de faso, P es el periodo o longitud de onda y ω es la frecuencia angular. La frecuencia angular se expresa por:

$$\omega = \frac{2\pi}{P}$$

Ecuación 13. Frecuencia Angular

Fuente: (Zill & Dewar, 2012)

La amplitud (A) y el desplazamiento vertical (C) dependen de la magnitud del torque que ejercen cada una de las paletas de los actuadores. El torque necesario para desprender una cereza de café es:

$$\tau = 10.77 \text{ N} \cdot 24.50 \text{ mm}$$

$$\tau = 263.87 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Sin embargo, la paleta de cada actuador solo contribuye con la mitad de la fuerza para desprender la cereza, por lo que el torque por paleta de actuador es:

$$\tau = \frac{263.87 \text{ N} \cdot \text{mm}}{2} = 131.94 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

La amplitud (A) y el desplazamiento vertical (C) serían la mitad de este valor. De esta manera no hay picos negativos en la gráfica.

$$A = C = \frac{131.94 \text{ N} \cdot \text{mm}}{2} = 65.97 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

El desplazamiento de faso (α) es igual a cero ya que no se desea un desplazamiento horizontal. El periodo depende de la frecuencia con la cual una paleta desprende una cereza. Ya que el motor gira a 100 RPM, el periodo es:

$$P = \frac{100 \text{ revoluciones}}{1 \text{ minuto}} * \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} = 1.67 \frac{\text{rev}}{\text{seg}}$$

Se tomó en consideración que, en la situación óptima, las seis paletas desprenderían una cereza por lo que el periodo se divide entre seis:

$$P = \frac{1.67 \frac{\text{rev}}{\text{seg}}}{6} = 0.28 \frac{\text{rev}}{\text{seg}}$$

Por consiguiente, la frecuencia angular (ω) es igual a:

$$\omega = \frac{2\pi}{P} = \frac{2\pi}{0.28} = 22.62$$

Tomando en cuenta que el eje x es el tiempo de simulación y el eje y el torque, la ecuación a utilizar es:

$$\text{Torque} = 65.97 * \cos(22.62 * \text{Tiempo}) + 65.97$$

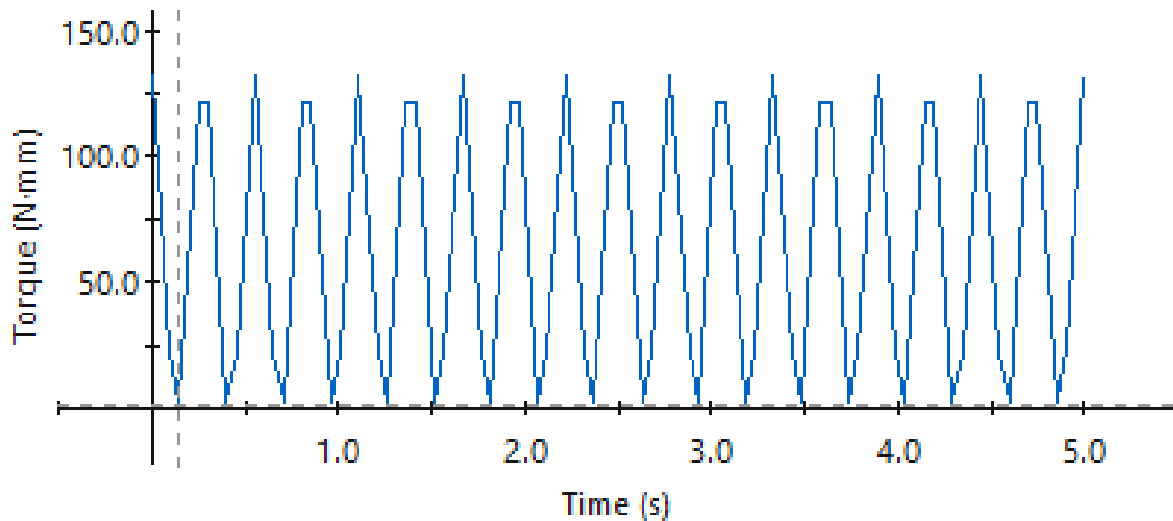


Ilustración 63. Gráfica de la Ecuación de Torque

Fuente: realizado por autores

Una vez configurado el montaje, se procedió al cálculo de resultados los cuales incluyen tensión, desplazamiento y deformación del engrane, el piñón, el actuador y los ejes. Asimismo, se calculó la potencia y el torque necesario para el correcto funcionamiento del sistema con el objetivo de verificar que el motor seleccionado sea el adecuado.

4.5.6.2 Simulación Eléctrica

Para realizar la simulación eléctrica se utilizó el software Proteus. Se comenzó diseñando el circuito tal como se muestra en la Ilustración 49. Esquema Eléctrico y posteriormente se realizó la configuración de los valores nominales del motor que se está utilizando.

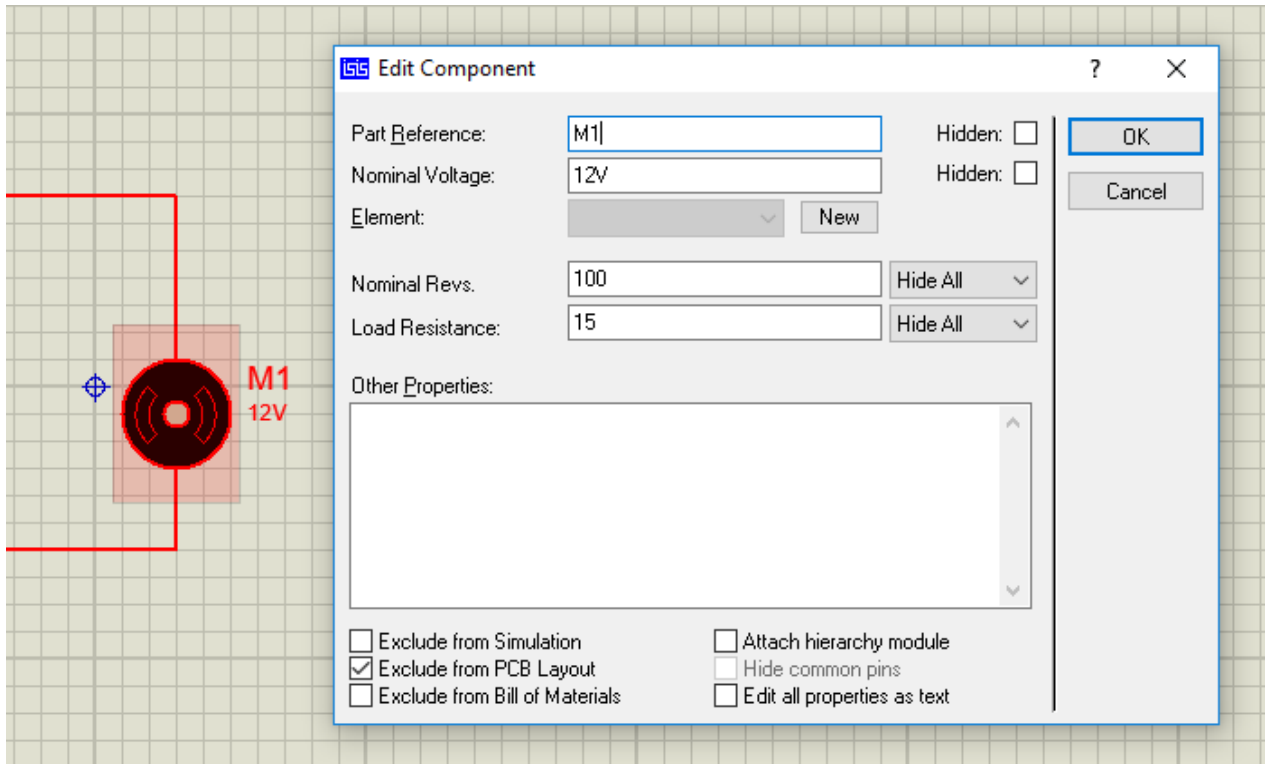


Ilustración 64. Configuración Datos Nominales del Motor

Fuente: realizado por autores

Se seleccionó un motor de 12 V de 100 rpm y una corriente nominal de 800 mA. Para configurar el motor se realizó el cálculo de la resistencia como se muestra a continuación:

$$R = \frac{V}{I}$$

Ecuación 14. Resistencia en el Motor

Fuente: (Young & Freedman, 2009)

$$R = \frac{12 \text{ V}}{800 \text{ mA}} = 15 \Omega$$

Las simulaciones realizadas evaluaron el circuito eléctrico en dos estados: estado operacional y corto circuito. Para la simulación de corto circuito se conectó un cable en paralelo a las terminales del motor.

4.5.7 PRESUPUESTO DE FABRICACIÓN

Referirse a la sección 4.4 se explica con detalles los materiales utilizados y el presupuesto.

4.6 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

El prototipo propuesto para la cosecha de cerezas de café se validó con el análisis y la ejecución de diferentes simulaciones computacionales. Utilizando el software SolidWorks, se realizaron simulaciones mecánicas al motor y análisis de movimiento del sistema mecánico. Con el uso del software Proteus se realizó el análisis del circuito eléctrico.

4.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividades	Semana 1							Semana 2							Semana 3							Semana 4							Semana 5							Semana 6						
	L	M	Mi	J	V	S	D	L	M	Mi	J	V	S	D	L	M	Mi	J	V	S	D	L	M	Mi	J	V	S	D	L	M	Mi	J	V	S	D	L	M	Mi	J	V	S	D
Investigar prototipos existentes	■																																									
Investigar tipos de cafeto de Honduras								■																																		
Investigar características del cafeto								■																																		
Selección de motor																													■													
Selección de batería																													■													
Diseño del actuador																													■													
Diseño de circuito eléctrico																													■													

Ilustración 65. Cronograma de Actividades de Semana 1 hasta Semana 6

Fuente: realizado por autores

Actividades	Semana 7							Semana 8							Semana 9							Semana 10							Semana 11							Semana 12						
	L	M	Mi	J	V	S	D	L	M	Mi	J	V	S	D	L	M	Mi	J	V	S	D	L	M	Mi	J	V	S	D	L	M	Mi	J	V	S	D	L	M	Mi	J	V	S	D
Diseño de carcasa	■																																									
Ejecución de simulaciones																													■													
Análisis de resultados																													■													
Redacción de conclusiones																													■													
Redacción de recomendaciones																													■													
Redacción de aplicabilidad																													■													
Realizar correcciones																													■													

Ilustración 66. Cronograma de Actividades de Semana 7 hasta Semana 12

Fuente: realizado por autores

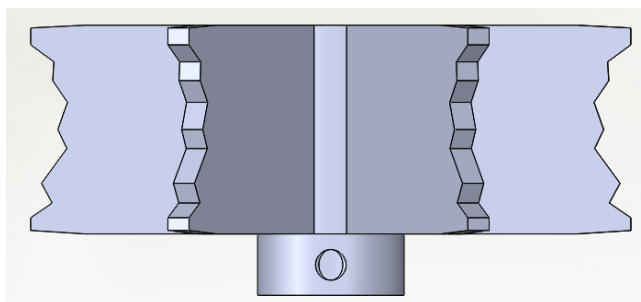
V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN DE PROTOTIPOS

Tras haber realizado la investigación de prototipos y seleccionado a ALFA como prototipo base del diseño de los actuadores de COCAFÉ, se redimensionó el actuador para que este desprendiera frutos de café de manera individual y selectiva.



Actuador ALFA



Actuador COCAFÉ

Ilustración 67. Comparación entre Actuadores

Fuente: realizado por autores

5.2 RESULTADOS DE LA VISITA TÉCNICA

Luego de realizar la visita técnica y evaluar el acceso a electricidad y gasolina de las fincas caficultoras, se determinó que la accesibilidad es bastante pareja. Si bien es cierto, la gasolina se puede almacenar, un motor a gasolina vibraría considerablemente disminuyendo la precisión de colocación del prototipo en la rama del cafeto. Una vez seleccionado un motor de corriente directa, se optó por una batería que permita el uso del prototipo durante tres días laborales con jornadas de ocho horas.

5.3 RESULTADOS DE LA ENTREVISTA A COSECHADORES

Una vez que se entrevistó al cosechador, se determinó que la selectividad del prototipo debe ser alta ya que ese es el mayor criterio que se debe de tomar en consideración en la cosecha de las cerezas de café. Asimismo, se tomó en consideración que el cafeto no debe ser dañado por la máquina.

5.4 RESULTADOS DE LA PROPUESTA INICIAL

Al observar que la implementación de engranes rectos para la transmisión de potencia entre los ejes de los actuadores comprometía el tamaño y efectividad, se decidió reemplazar los engranes rectos por una banda cruzada.

5.5 RESULTADOS DEL DISEÑO FINAL

A continuación, los resultados del diseño.

Tabla 15. Resultados del Sistema Mecánico

Cantidad	Componente	Material	Especificaciones
2	Eje	Acero Inoxidable	$\varnothing = 6\text{mm}$ y $L = 95.5\text{mm}$
2	Actuador	Prolon ON	$\varnothing_{\text{Interno}} = 6\text{mm}$, cuenta con 6 paletas dentadas y agujero para prisionero M3.

Fuente: realizado por autores

Los planos del actuador está en el Anexo 8.

Tabla 16. Transferencia de Potencia

Cantidad	Componente	Material	Especificaciones
2	Engranaje Cónicos de Inglete	Acero	20 dientes, Módulo 1, Agujero para prisionero M5
2	Polea 20T	Aluminio	Sin dientes, $\varnothing_{\text{Interno}} = 6\text{mm}$
1	Banda	Neopreno	$\varnothing = 8\text{cm}$

Fuente: realizado por autores

Tabla 17. Carcasa

Cantidad	Componente	Material	Peso (g)
1	Parte Izquierda	ABS	322.20
1	Parte Derecha	ABS	232.99
1	Tapa Frontal	ABS	22.33
1	Tapa Trasera	ABS	37.46
1	Tapa Superior	ABS	99.41

Fuente: realizado por autores

Los planos de las partes de la carcasa están en el Anexo 8.

Tabla 18. Componentes Eléctricos

Cantidad	Componente	Especificaciones
1.53 m	Cable	TSJ-N de 2 hilos AWG 14
1	Batería	Batería de iones de litio recargable de 12 V y 20 Ah
1	Fusible	Fusible de Cuchilla, 3A
1	Porta Fusible	Para fusible de cuchilla
1	Interruptor	Normalmente Abierto de un polo y dos posiciones
1	Motor Eléctrico SG-555123000-30K	12V, 100RPM

Fuente: realizado por autores

Tabla 19. Propiedades Físicas del Prototipo Final

Masa	Volumen	Área Superficial
1186.23 g	800.51 cm ³	353.39 cm ²

Fuente: realizado por autores

La masa de COCAFÉ es de 1186.23 g o 1.19 kg aproximadamente. La masa máxima recomendada de herramientas manuales para uso prolongado es de 2.30 kg; COCAFÉ respeta este rango encontrándose 1113.77 g por debajo del límite (The International Ergonomics Association (IEA), 2007).

5.5.1 RESULTADOS ESTIMADOS DE RECOLECCIÓN DE CEREZAS

Se considera que con el diseño propuesto cada paleta del actuador desprenderá un fruto cada vez que esta pase por el centro del prototipo. Para saber cuántas paletas logran pasar por el centro por cada segundo lo primero que se debe calcular es cuantas revoluciones hay por segundo:

$$\text{Revoluciones por segundo} = \frac{100 \text{ revoluciones}}{\text{minuto}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = 1.67 \frac{\text{revoluciones}}{\text{seg}}$$

Con el cálculo realizado anteriormente se obtiene que existen aproximadamente 1.67 revoluciones por segundo. En un segundo 10 paletas logran pasar por el centro, por lo que en el caso óptimo se estima que el prototipo desprenderá 10 cerezas de café por segundo.

El cálculo de las cerezas cosechadas por minuto se obtiene como se muestra a continuación:

$$\text{Cerezas cosechadas por minuto} = 10 \frac{\text{cerezas}}{\text{seg}} \times \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} = 600 \frac{\text{cerezas}}{\text{min}}$$

Un recolector de alto rendimiento desprende 65 kilogramos de cerezas de café en una jornada laboral de ocho horas (López, Roa-Mejía, & Parra, 2006). A continuación, se demuestra el cálculo de la cosecha manual.

Tomando en consideración estos datos se realizaron los siguientes cálculos:

$$\text{Conversion de kilogramos a gramos} = 65 \text{ kg} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} = 65,000 \text{ g}$$

$$\text{Gramos cosechados por minuto} = \frac{65,000 \text{ g}}{8 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ mn}} = 135.42 \frac{\text{g}}{\text{min}}$$

Como se puede observar en la Ilustración 7. Estados de Desarrollo de los Frutos de Café , el peso promedio de una cereza de café de variedad arábica es 1.8 gramos.

$$\text{Cerezas cosechadas por minuto} = 135.42 \frac{\text{g}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ cereza}}{1.8 \text{ g}} = 75.23$$

$$\text{Cerezas cosechadas por minuto} \approx 75 \frac{\text{cerezas}}{\text{min}}$$

Al analizar los cálculos se concluye que con el diseño propuesto se aumentaría la eficacia de la recolección 8 veces. Con estas especificaciones, un recolector estaría realizando el trabajo de nueve cosechadores manuales, lo cual estaría combatiendo la problemática que tienen los caficultores en contratar mano de obra.

5.6 RESULTADOS DE SIMULACIONES

Se realizó el análisis de movimiento del sistema mecánico de COCAFÉ. La primera simulación se enfocó en la evaluación del engrane cónico de inglete. La segunda simulación se basó en el piñón y el eje primario. La tercera simulación se enfocó en la evaluación de los actuadores. La cuarta y última simulación se basó en el eje secundario. Todas las simulaciones se hicieron con una duración de 5 segundos y los resultados que se muestran a continuación son los más críticos.

5.6.1 SIMULACIÓN DEL ENGRANE CÓNICO DE INGLETE

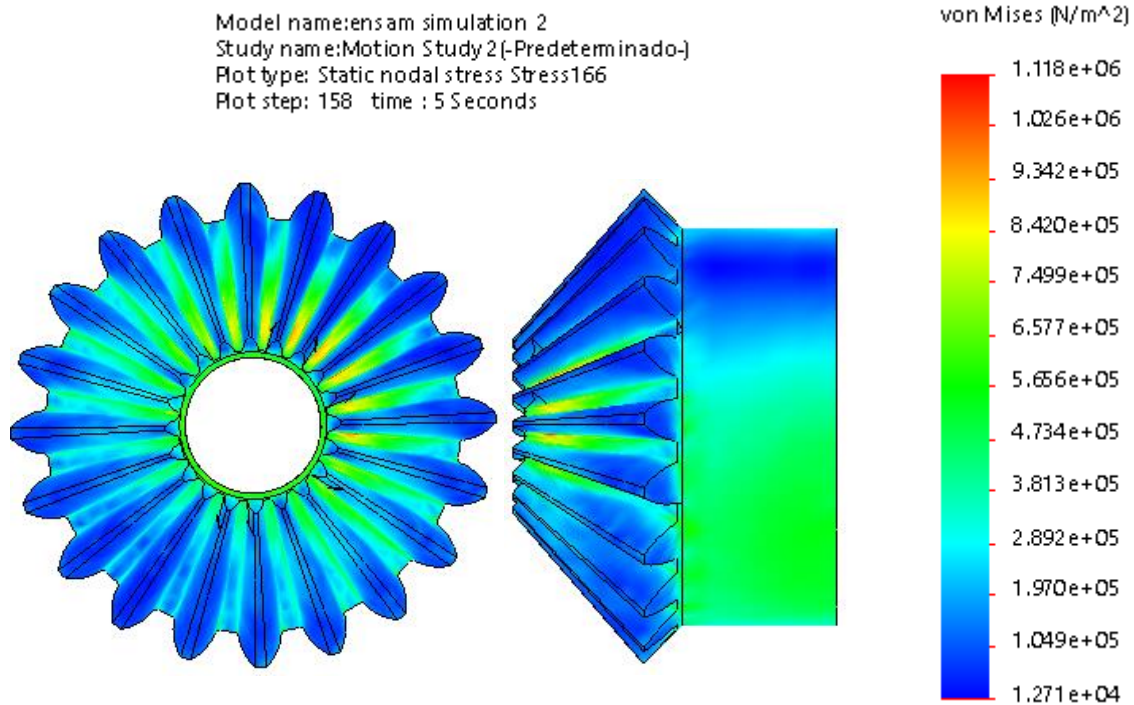


Ilustración 68. Resultados de Tensiones de la Simulación del Engrane Cónico de Inglete en 5 Segundos

Fuente: realizado por autores

El esfuerzo de fluencia del acero para maquinaria varía entre 340 a 700 MPa (Gere & Goodno, 2009). Esta pieza está hecha de AISI 1020 y está sometida a máximo 1.12 MPa, por lo que soporta fácilmente la tensión de Von Mises. Las mayores tensiones se encuentran en las partes donde los dientes del piñón hacen contacto con el engrane.

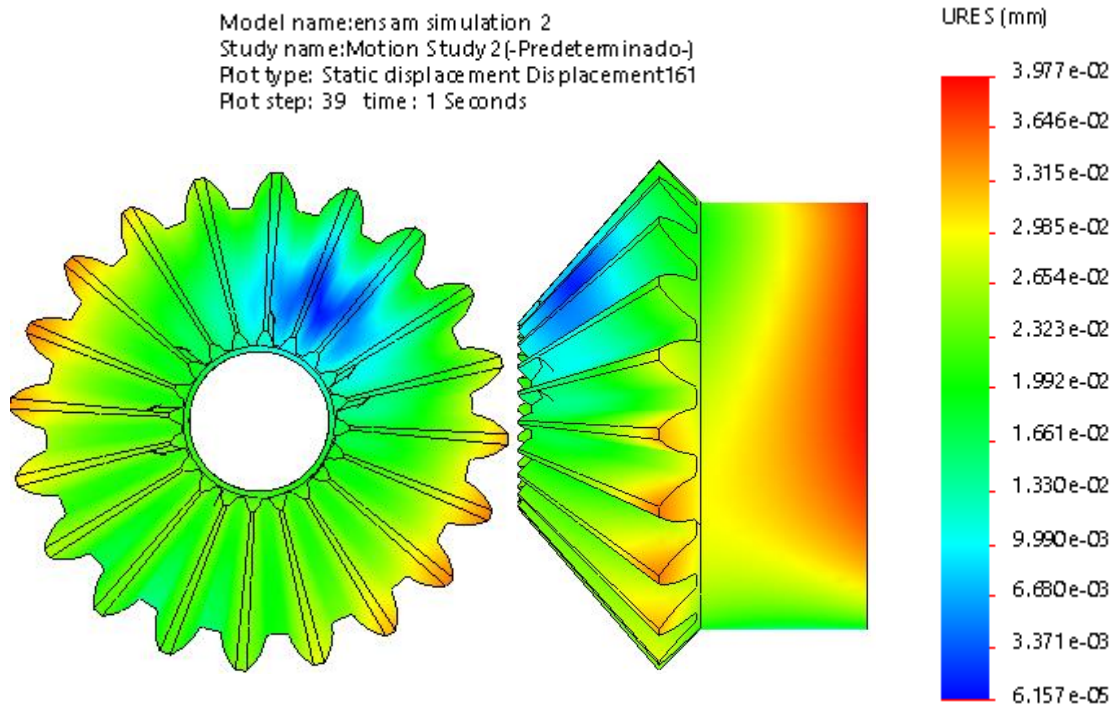


Ilustración 69. Resultados de Deformación de la Simulación del Engrane Cónico de Inglete en 1 Segundo

Fuente: realizado por autores

Las mayores deformaciones las sufre el engrane cónico de inglete en la parte alejada de los dientes del cubo y en los extremos de los dientes. El valor máximo de desplazamiento es aproximadamente de 0.04 mm.

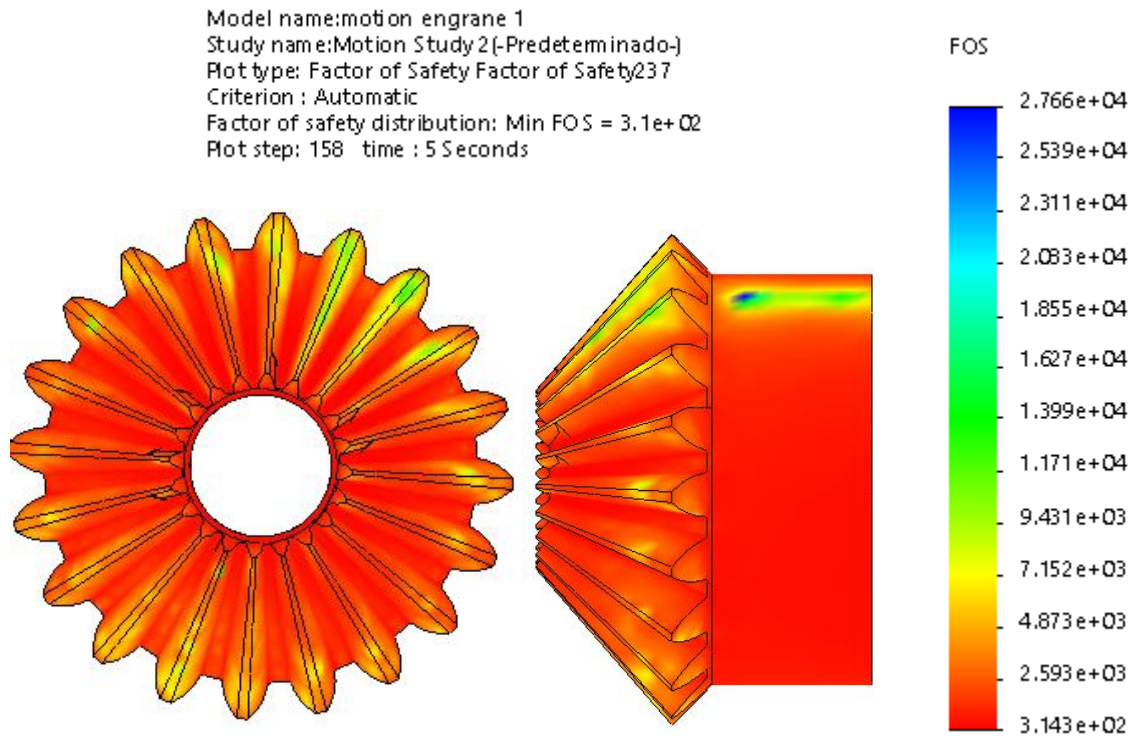


Ilustración 70. Resultados de Factor de Seguridad de la Simulación del Engrane Cónico de Inglete en 5 Segundo

Fuente: realizado por autores

En el segundo 5 de la simulación, el factor de seguridad del engrane cónico de inglete alcanza un valor mínimo de 3100. Este engrane soporta 3100 veces la fuerza a la que se encuentra sometido por el sistema mecánico en este instante. En el resto de la simulación el resultado es mayor.

5.6.2 SIMULACIÓN DEL PIÑÓN Y EJE PRIMARIO

Nombre del modelo: ensam simulation 2
Nombre de estudio: Piñón y eje(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones144
Intervalo: 127 tiempo: 5 Segundos

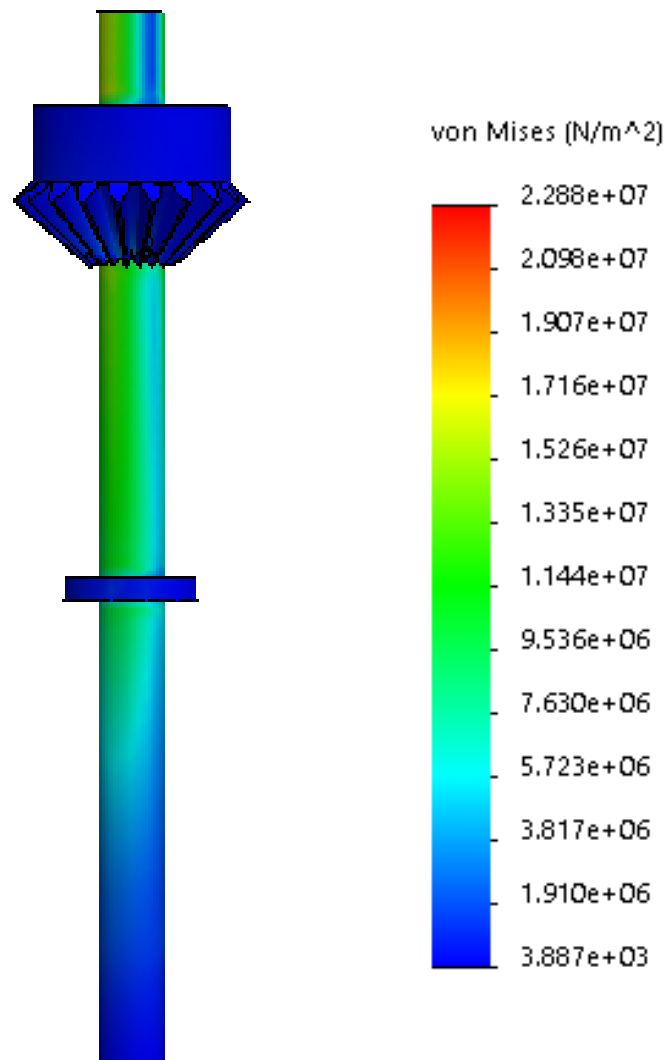


Ilustración 71. Resultados de Tensión de la Simulación del Piñón y Eje Primario en el Segundo 5

Fuente: realizado por autores

Igual que el engrane cónico de inglete anterior, el piñón de esta pieza también está hecha de AISI 1020 y está sometida a máximo 22.88 MPa. Al soportar este material mínimo 340 MPA, el piñón y el eje principal soportan fácilmente el esfuerzo. Los mayores esfuerzos se encuentran el eje.

Nombre del modelo: ensam simulation 2
Nombre de estudio: Piñón y eje(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos:129
Intervalo: 127 tiempo: 5 Segundos

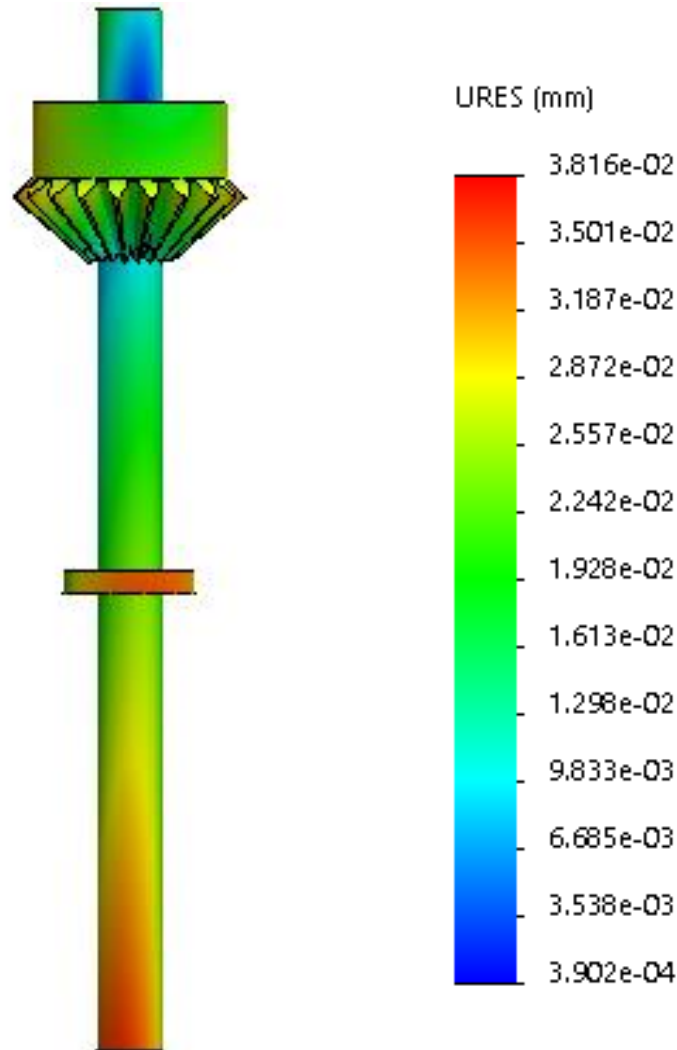


Ilustración 72. Resultados de Deformación de la Simulación del Piñón y Eje Primario en el Segundo 5

Fuente: realizado por autores

Las mayores deformaciones se encuentran en los extremos del eje; esto se debe a que el eje está rotando y haciendo fricción con los rodamientos. También se puede observar deformaciones en los extremos de los dientes y la cara que hace contacto con la polea. La mayor deformación que sufre la pieza es aproximadamente de 0.04 mm.

Nombre del modelo: ensam simulation 2
Nombre de estudio: Piñón y eje(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad146
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 15
Intervalo: 127 tiempo: 5 Segundos

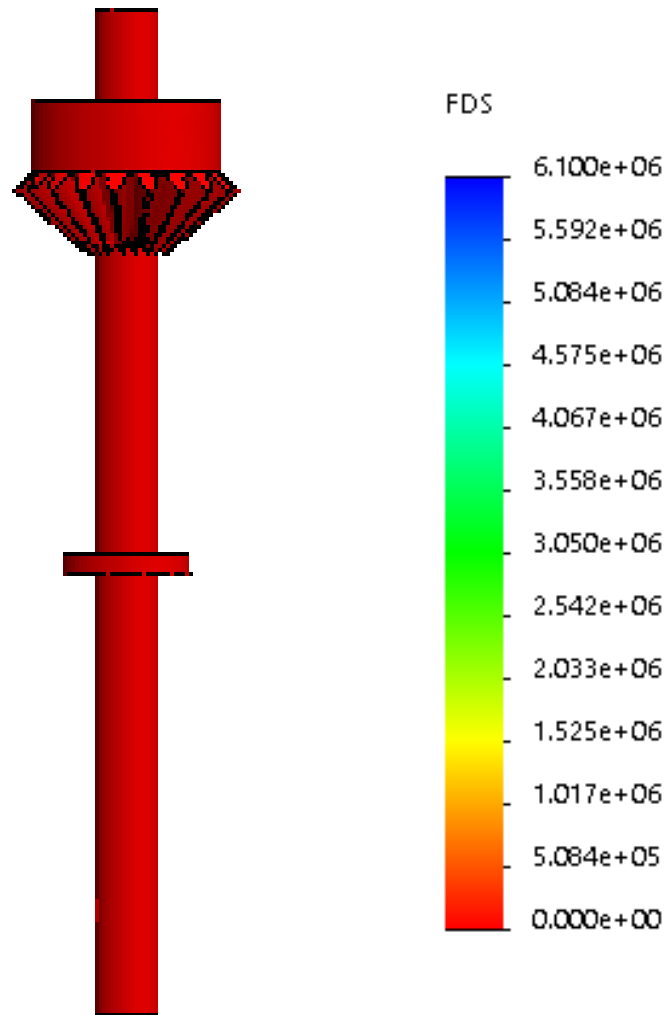


Ilustración 73. Resultados de Factor de Seguridad de la Simulación del Piñón y Eje Primario en el Segundo 5

Fuente: realizado por autores

El factor de seguridad del piñón y eje primario es de 15 en el segundo 5, por lo que la pieza soporta 15 veces los esfuerzos a los que está sometida.

5.6.3 SIMULACIÓN DEL ACTUADOR

Model name: motion paleta
Study name: Motion Study 2 (-Predeterminado-)
Plot type: Static nodal stress Stress151
Plot step: 1 time : 0 Seconds

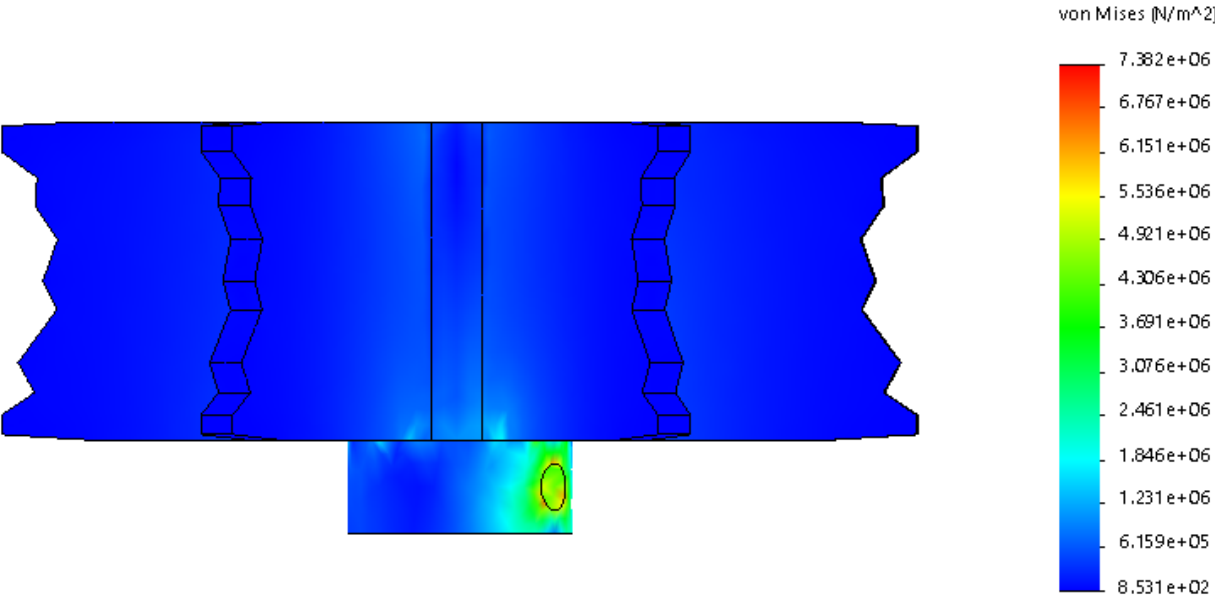


Ilustración 74. Resultados de Tensión de la Simulación del Actuador en el Segundo 0

Fuente: realizado por autores

Como se menciona en el Anexo 1, el esfuerzo de fluencia del Prolon ON es de mínimo 75.5 MPa. El esfuerzo máximo a la que está sometido el actuador es de 7.38 MPa cuando comienza a moverse el sistema, por lo que este soporta fácilmente dicha tensión. La máxima tensión ocurre en la unión mediante prisionero del actuador con el eje.

Model name: motion paleta
Study name: Motion Study 2 (-Predeterminado-)
Plot type: Static displacement Displacement151
Plot step: 133 time : 5 Seconds

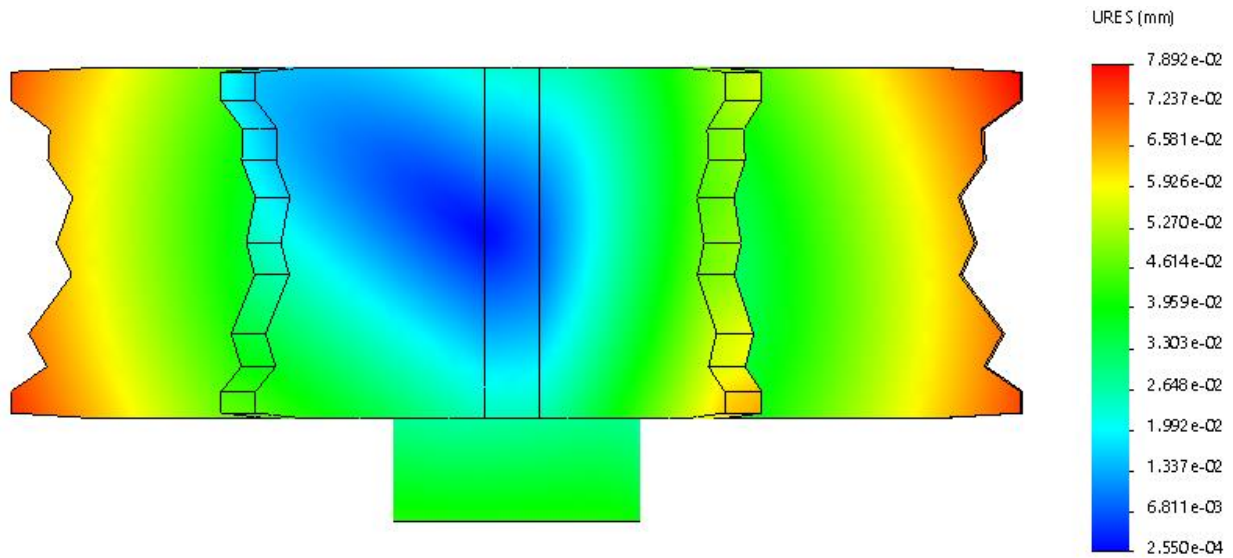


Ilustración 75. Resultados de Deformación de la Simulación del Actuador en el Segundo 5

Fuente: realizado por autores

Las deformaciones máximas están ubicadas en los extremos de los dientes de las paletas del actuador debido al contacto que existe entre la paleta y la cereza de café. La deformación máxima en el segundo 5 es de 0.08 mm.

Model name: motion paleta
Study name: Motion Study 2 (-Predeterminado-)
Plot type: Factor of Safety Factor of Safety181
Criterion : Automatic
Factor of safety distribution: Min FOS = 8.1
Plot step: 1 time :0 Seconds

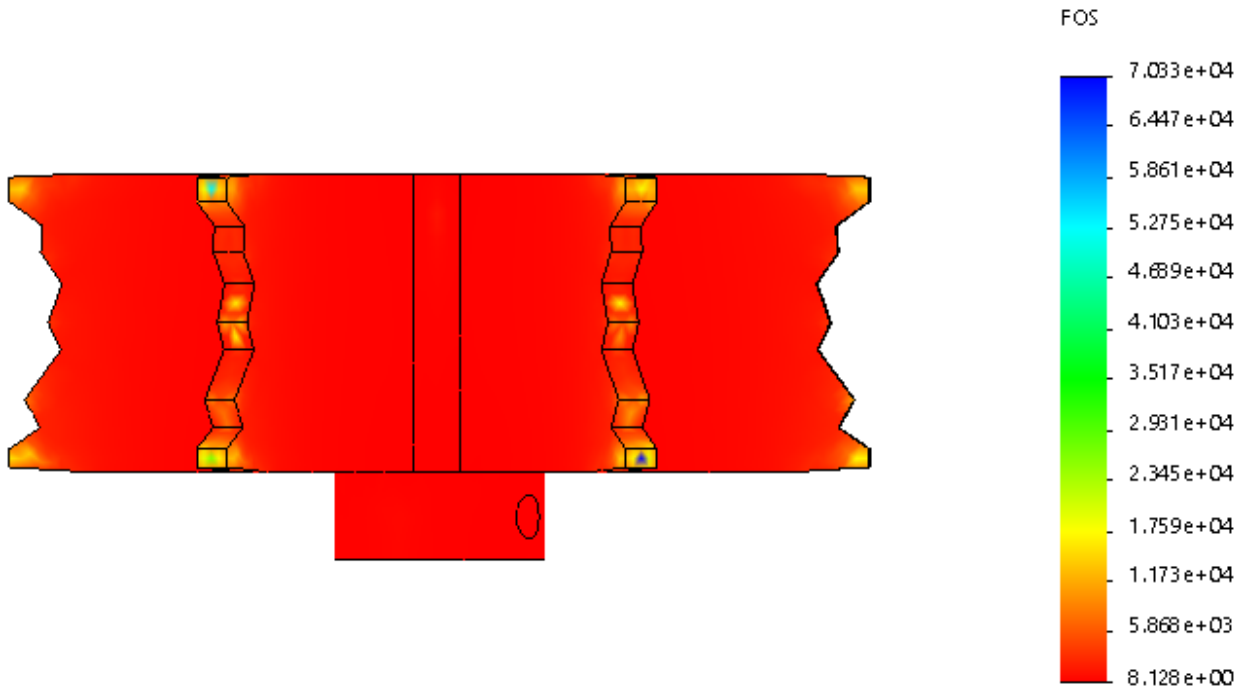


Ilustración 76. Resultados de Factor de Seguridad de la Simulación del Actuador en el Segundo 0

Fuente: realizado por autores

El factor de seguridad del actuador es de 8.1, por lo que esta pieza soporta 8.1 veces las tensiones de Von Mises a las cuales está sometida.

5.6.4 SIMULACIÓN DEL EJE SECUNDARIO

Model name:motion paleta
Study name:Motion Study 1(-Predeterminado-)
Plot type: Static nodal stress Stress192
Plot step: 1 time :0 Seconds

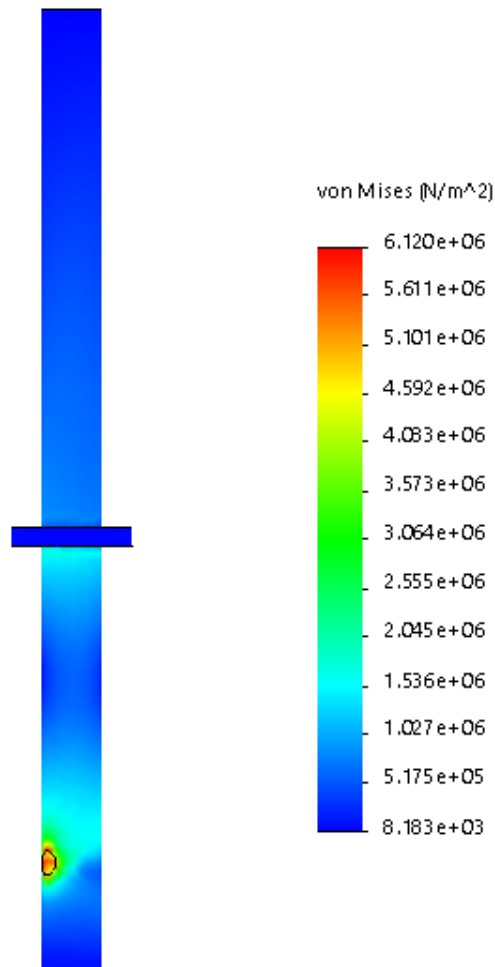


Ilustración 77. Resultados de Tensiones de la Simulación del Eje Secundario en el Segundo

0

Fuente: realizado por autores

El esfuerzo máximo a la cual está sometido el eje secundario es de 6.12 MPa, valor que soporta ya que está fabricado de acero. Las mayores tensiones nodales se encuentran en la parte inferior del eje y en el agujero al cual se une el actuador mediante el uso de un prisionero.

Model name: motion paleta
Study name: Motion Study 1 (-Predeterminado-)
Plot type: Static displacement Displacement177
Plot step: 171 time : 5 Seconds

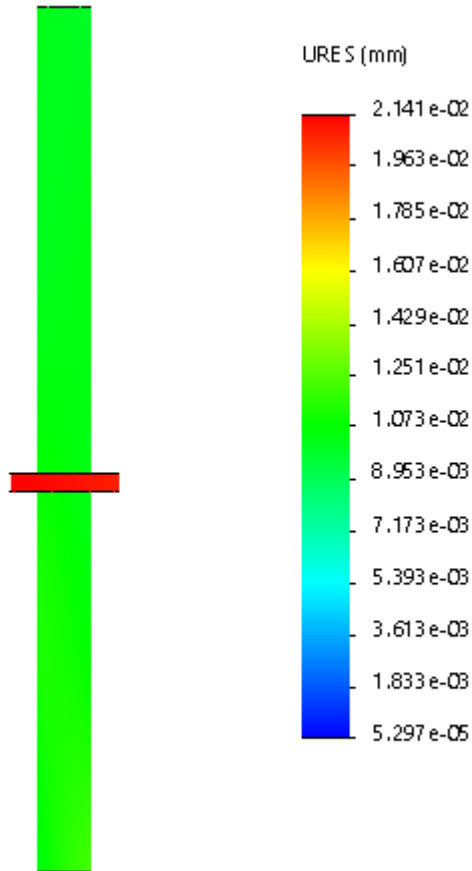


Ilustración 78. Resultados de Deformaciones de la Simulación del Eje Secundario en el Segundo 5

Fuente: realizado por autores

En el segundo 5, las mayores deformaciones se encuentran en la cara que hace contacto con la polea de aluminio con un valor de 0.02 mm aproximadamente debido a los esfuerzos que genera la polea.

Model name:motion paleta
Study name:Motion Study 1(-Predeterminado-)
Plot type: Factor of Safety Factor of Safety207
Criterion : Automatic
Factor of safety distribution: Min FOS = 57
Plot step: 1 time :0 Seconds

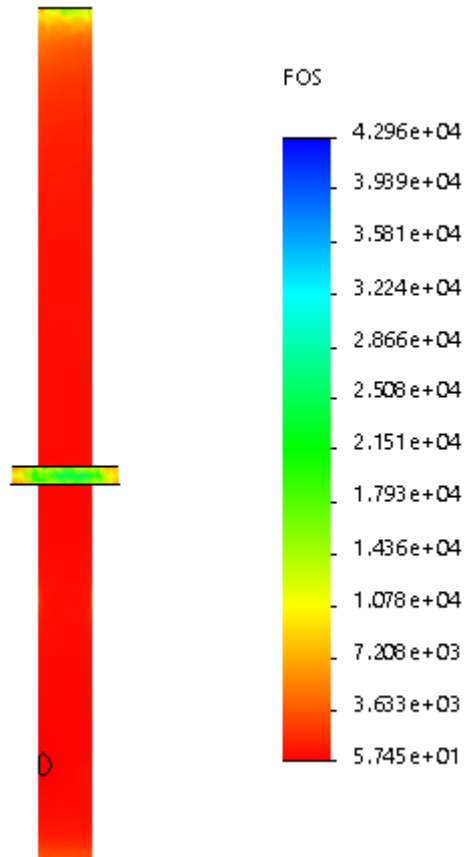


Ilustración 79. Resultados de Factor de Seguridad de la Simulación del Eje Secundario en el Segundo 0

Fuente: realizado por autores

El factor de seguridad es de 57, por lo que el eje secundario soporta 57 veces las tensiones a las cuales está sometido.

5.6.5 RESULTADOS DE TORQUE Y POTENCIA RECOMENDADA DEL MOTOR

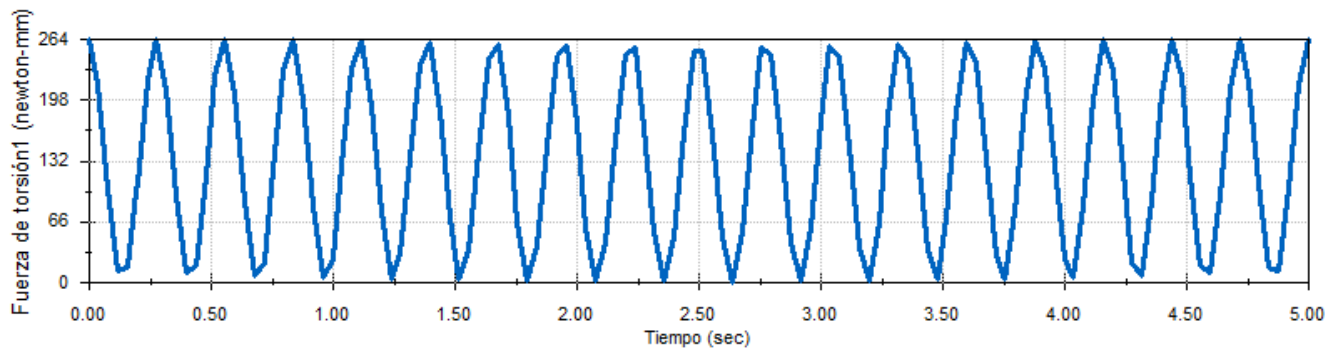


Ilustración 80. Gráfica Torque Motor vs Tiempo

Fuente: realizado por autores

En la gráfica anterior, se puede observar que la magnitud del torque que el motor debería de tener para que el sistema mecánico desprenda las cerezas es de 264 N-mm, valor similar al calculado en la sección 4.5.5.2 de 263.87 N-mm.

En la Ilustración 81 se muestra la gráfica combinada de Torque vs tiempo para el torque recomendado del motor y el torque provocado por los actuadores al desprender una cereza de café.

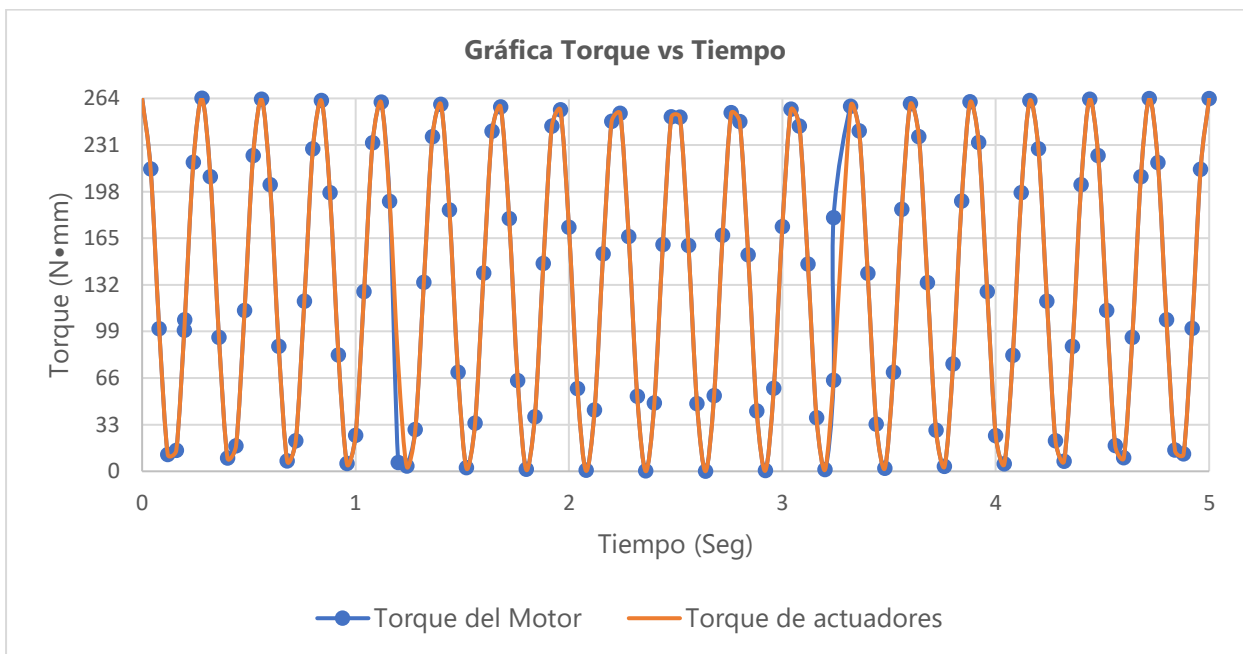


Ilustración 81. Gráfica Torque en Motor y Provocado por Actuadores vs Tiempo

Fuente: realizado por autores.

Como se puede observar en la ilustración anterior ambas gráficas presentan valores similares, esto es debido a que el motor siempre brinda el torque requerido por los actuadores. Los picos superiores de la gráfica representan el torque requerido para desprender una cereza de café.

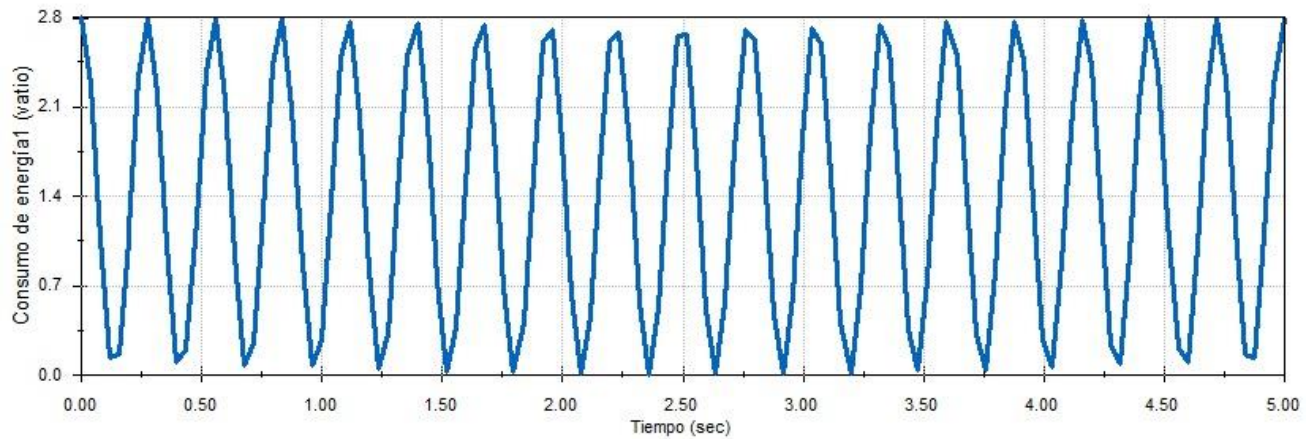


Ilustración 82. Gráfica Potencia vs Tiempo

Fuente: realizado por autores

En magnitud, el consumo de energía del motor es de 2.8 Watts.

5.6.6 RESULTADOS DE CIRCUITO ELÉCTRICO

Se realizó la simulación del circuito eléctrico en el software Proteus 8.0 Professional. La simulación consistió en dos pruebas: prueba con el circuito en estado operacional y prueba de corto circuito en el motor. A continuación, se ilustran y se brinda un análisis de dichos resultados.

5.6.6.1 Simulación Eléctrica

Una vez realizada la configuración de los elementos y las conexiones se realizó la simulación. Como se puede observar en la siguiente imagen, en el estado operacional del circuito el motor consume aproximadamente 0.79 A. Al no sobrepasar la corriente máxima de falla del fusible, la corriente fluye y alimenta el motor siempre y cuando el interruptor este cerrado.

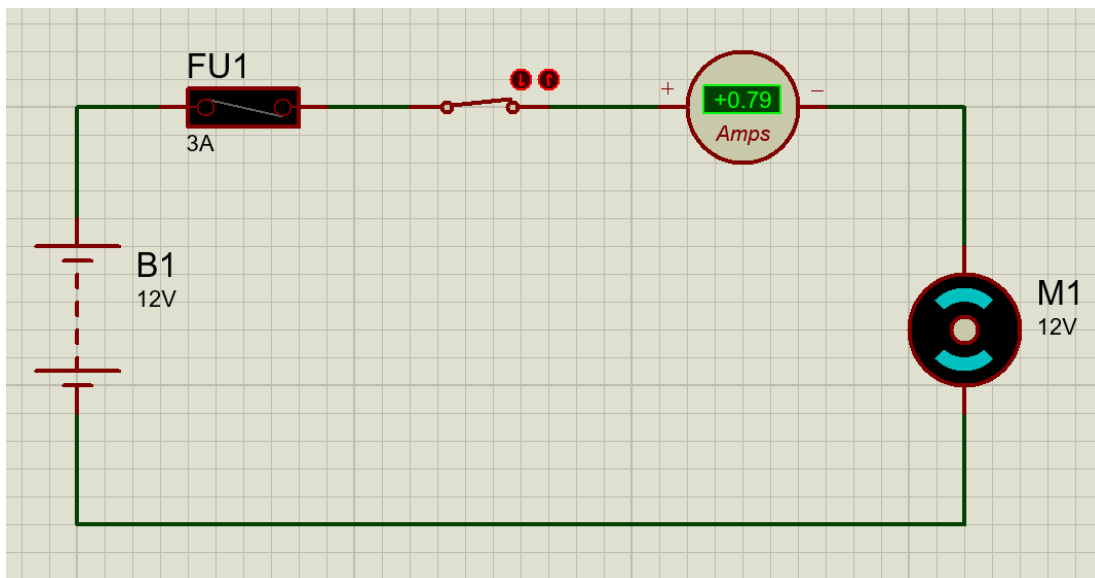
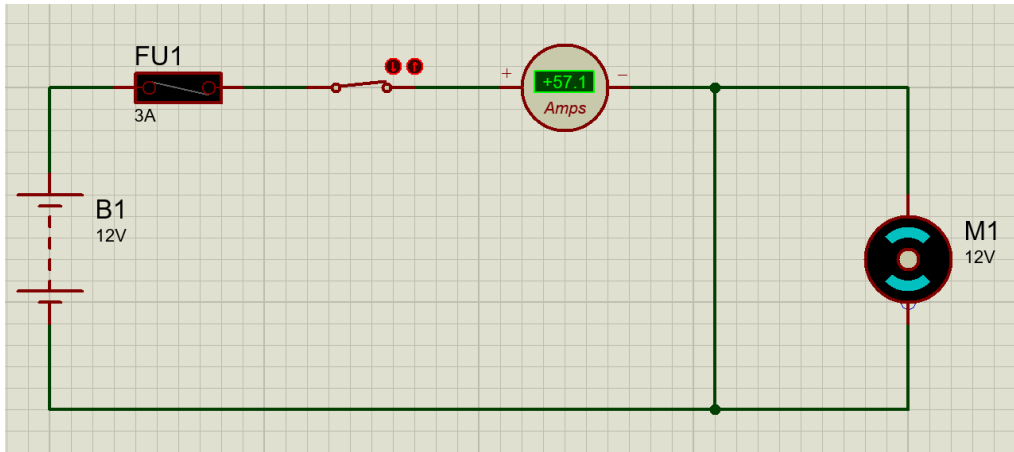


Ilustración 83. Estado Operacional del Circuito

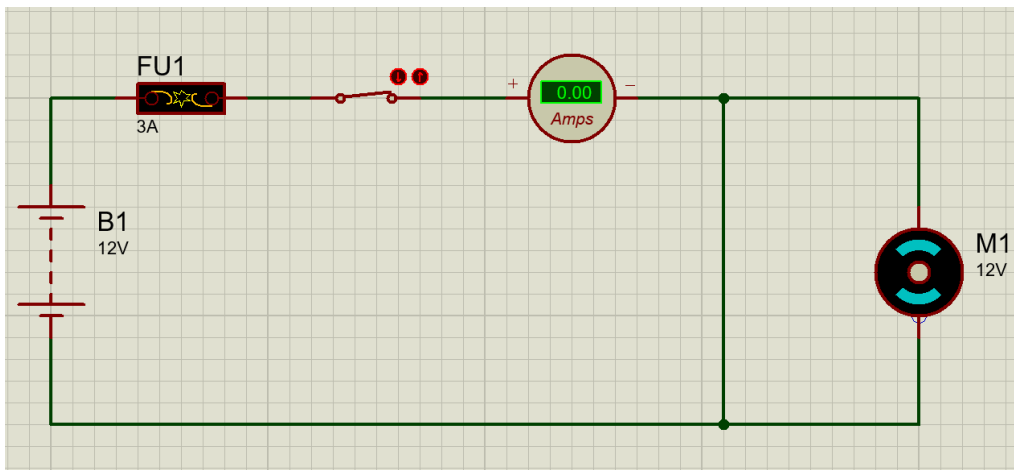
Fuente: realizado por autores

5.6.6.2 Prueba de Cortocircuito

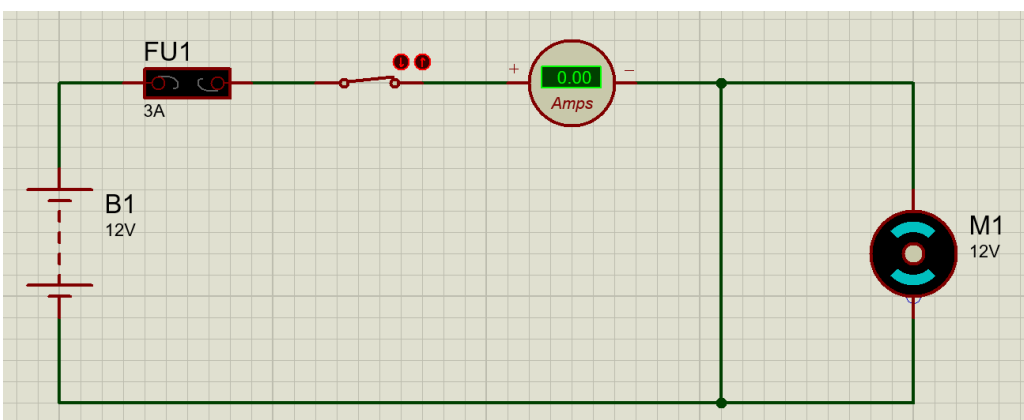
En la prueba de corto circuito, se observa que la demanda de corriente aumenta hasta 57.1 A. Debido a que la demanda de corriente es mayor a 3 A, el fusible se funde para proteger el motor. En las siguientes imágenes se puede ver las etapas de la simulación.



Etapa 1: La demanda de corriente aumenta



Etapa 2: El fusible se funde.



Etapa 3: No hay paso de corriente hacia el motor.

Ilustración 84. Simulación de Corto Circuito

Fuente: realizado por autores

5.7 RESULTADOS DEL PRESUPUESTO

La fabricación de COCAFÉ tiene un costo de L. 6,667.51. Referirse a la sección 4.4, donde se explica con detalle los materiales utilizados y la división del presupuesto.

VI. CONCLUSIONES

- Se diseñó un prototipo portátil que mediante el movimiento rotatorio de dos actuadores dentados desprende las cerezas de café de manera individual y selectiva. Al ser portátil, se puede implementar en terrenos de alta pendiente.
- Se investigó distintos prototipos y se seleccionó como base de COCAFÉ el prototipo cuyos estándares de calidad se asemejan más a los estándares obtenidos con la cosecha manual. Se redimensionó el actuador de ALFA para adaptarlo al método de cosecha de COCAFÉ. En comparación a ALFA, COCAFÉ facilita el traslado y almacenamiento de las cerezas de café.
- Se realizó una visita técnica a la Finca Recreo ubicada en El Paraíso, El Paraíso. Se encontró que un prototipo que asista la cosecha es necesario para el área caficultora hondureña ya que la mano de obra calificada es escasa, por lo que frecuentemente se pierde parte de los frutos debido a la sobremaduración.
- Con la entrevista realizada a los expertos, se consideró que el prototipo debe de estar diseñado para evitar daños severos al cafeto y ser aplicable para la cosecha selectiva de cerezas.
- En el diseño inicial de COCAFÉ se utilizó engranes rectos para transmitir la potencia entre los ejes. La implementación de engranes es efectiva y más duradera en comparación a las bandas, pero, su aplicación en esta máquina aumentaba el tamaño de la carcasa considerablemente e impedía que las paletas del actuador sobresalieran. Por esta razón se descartó el uso de engranes rectos y se sustituyó por bandas cruzadas.
- COCAFÉ es una máquina portátil manual cuyo peso se encuentra 1113.77 g por debajo del límite máximo recomendado para herramientas manuales de uso prolongado. La carcasa fue diseñada siguiendo los lineamientos ergonómicos de diseño.
- Los resultados obtenidos mediante el análisis de movimiento indican que, con el diseño propuesto, la máquina trabaja de manera óptima. Adicionalmente, el circuito eléctrico

funciona adecuadamente. El motor seleccionado es el apropiado al poder proporcionar el torque necesario para el desprendimiento de las cerezas.

- La fabricación de COCAFÉ tiene un costo de L. 6,667.51, por lo que es una máquina accesible que puede aumentar considerablemente la eficacia de la cosecha de cerezas de café y disminuir el riesgo de pérdidas monetarias debido a la sobremaduración.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la distribución de los componentes sea lo más simétrica posible para que el centro de gravedad quede lo más cercano posible al mango.
- Se recomienda el uso de un arnés o mochila que permita la colocación de la batería en la espalda del recolector.
- COCAFÉ ha sido diseñado para adaptar un tubo corrugado flexible por donde se trasladarán las cerezas de café hacia cualquier depósito. Sin embargo, en terrenos de alta pendiente se recomienda el uso de un arnés que tenga un depósito donde se puedan almacenar las cerezas cosechadas para facilitar el trabajo.
- Si bien es cierto, con una carcasa fabricada de ABS, el peso de COCAFÉ está dentro del rango recomendado para herramientas manuales de uso prolongado, se puede utilizar otro material menos pesado.
- La capacitación del uso del prototipo es necesaria ya que el usuario se debe familiarizar con la máquina para utilizarla correctamente y obtener mejores resultados.

VIII. APLICABILIDAD / IMPLEMENTACIÓN

El prototipo para la recolección de cerezas de café está diseñado para asistir al recolector en la cosecha selectiva del fruto del cafeto en ramas cuyo porcentaje de maduración sea mínimo 40%; dicha selectividad depende de la colocación del prototipo en la rama. COCAFÉ está diseñado para la cosecha individual de frutos mediante un movimiento rotacional de dos actuadores. Al ser un prototipo manual portátil, COCAFÉ permite su utilización en terrenos irregulares con pendientes significativas y terrenos planos. El prototipo puede ser implementado para desprender cualquier fruto elipsoidal o circular de las mismas dimensiones que la cereza del café que necesite una fuerza máxima de 15.81 N para su desprendimiento.

IX. EVOLUCIÓN DE TRABAJO ACTUAL / TRABAJO FUTURO

La siguiente etapa para el proyecto es realizar de forma física el diseño, la ejecución y el análisis de pruebas de campo. En esta etapa se puede incluir el uso de sensores para detener el giro de los actuadores en caso de que una cereza de café quede atascada. Esto evitaría daños en los actuadores y en el fruto. También se pueden implementar sensores para la detección de cerezas cuando entren al mango del prototipo. Esto permitiría el cierre de una compuerta y evitaría el retorno de las cerezas en caso de que el prototipo sea inclinado hacia alguna dirección determinada.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABENIC. (14 de Agosto de 2019). Amazon. Obtenido de <https://www.amazon.com/Polymer-Rechargeable-20000mAh-Lithium-ion-DC122000/dp/B074MQ1Q3V>
2. Arcila, J., Frafán, F., Moreno, A., Salazar, L., & Hincapié, E. (2007). Sistemas de producción de café en Colombia (Primera ed.). (H. Ospina, & S. Marín, Edits.) Chinchiná, Colombia: Blanecolor.
3. Aristizábal, I., Oliveros, C., Sanz, J., Montoya, E., & Álvarez, F. (2000). Cosecha Mecánica de Café Aplicando Vibraciones Circulares al Tallo del Cafeto. Cenicafé, 41-53.
4. Avallone, E., & Baumeister, T. (1986). Mark's Standard Handbook for Mechanical Engineers (Novena ed.). Nueva York: McGraw-Hill.
5. Blackfather Coffee. (Marzo de 2019). V6DE. Obtenido de <https://www.v6de.com/photo/BvyB5N8nKiu>
6. Bonenberger, P. (2000). The First Snap-Fit Handbook. Cincinatti: Hanser Gardner Publications Inc.
7. Budynas, R., & Nisbett, J. N. (2012). Diseño de ingeniería mecánica. México D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES .
8. Burke, R. (2000). University of Rochester. Obtenido de Department of Chemistry: <http://www2.optics.rochester.edu/workgroups/cml/opt307/spr16/beckah/>
9. Camayo, C., Chavez, B., Arcila, J., & Jaramillo, Á. (2003). Desarrollo Floral del Cafeto y su Relación con las Condiciones Climáticas de Chinchiná-Caldas. CENICAFÉ, 35-49.
10. Campillo, P., Álvarez, J., Oliveros, C., & Álvarez, F. (2001). Cosecha de Café Utilizando un Equipo de Aspiración. Revista Cenicafé, 185-194.
11. Carranza, S. (04 de Mayo de 2015). Casi 20% de la población depende del café en Honduras. El Heraldo.

12. Carvajal, J., Aristazabal, I., & Tascón, O. (2012). Evaluación de propiedades físicas y mecánicas del fruto de café (*Coffea arabica* L. var, Colombia) durante su desarrollo y maduración. *Cenicafé*, 79(173), 116-124.
13. Cooperación Internacional y al Desarrollo. (2018). Análisis de la cadena de valor de café en Honduras. Brussels: Comisión Europea.
14. Danizio, P. (2015). Generalidades de Cartografía. Obtenido de SlidePlayer: <https://slideplayer.es/slide/5458263/>
15. Delphi Ergonomics Council (DEC). (2010). Design-in Ergonomic Guidelines. Delphi Corporation.
16. Echeverri, E. (2005). Cenicafé. Obtenido de Variedades de café sembradas en Colombia: <https://www.cenicafe.org/es/publications/C1.pdf>
17. El Heraldo. (26 de Septiembre de 2010). Honduras cuenta con nuevas variedades de café. *América Economía*.
18. ESTEC. (25 de Agosto de 2019). ESTEC. Obtenido de NC TERMINAL OJO AZUL 16-14 AWG OJO M4 : <https://www.estec.cl/catalogo-de-productos/nc-terminal-ojo-azul-16-14-awg-ojo-m4-x-100-ud/>
19. Foro Social de la Deuda externa y Desarrollo de Honduras . (2008). Mapa de Ubicación y Relieve de Honduras . Tegucigalpa: Proyecto Construcción del Desarrollo Regional Ampliado.
20. Gao, Y., & Xiao, Z.-Q. (2012). Science Direct. Obtenido de Mechatronic Design of Flexible Manipulators: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/concurrent-design>
21. Gears Educational Systems. (2009). Battery Basics. Massachusetts.
22. General Cable. (2019). General Cable. Obtenido de Conductores TNM-B: <https://cdn.generalcable.com/assets/documents/LATAM%20Documents/Mexico%20Site/Productos%20y%20Soluciones/Baja%20Tensi%C3%B3n/TNM-B-Conductor-Cu-600V-PVC-90%C2%B0C-FT-2015-77.pdf>

23. Gere, J., & Goodno, B. (2009). Mecánica de Materiales. México D.F.: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.
24. Gilman, E., & Partin, T. (13 de Julio de 2014). Trees and Hurricanes. Obtenido de Programa de Restauración del Bosque Urbano Afectado por Huracanes: <http://treesandhurricanes.ifas.ufl.edu>
25. Gonzáles, J. (2012). Montaje y mantenimiento de máquinas eléctricas rotativas. Málaga: Innovación y Cualificación S.L.
26. Goodmart. (2019). Engranaje Cónico 2Pcs 1:1 módulo 1 15/20 dientes ID = 6mm/8mm 90 grados. Obtenido de ebay: https://www.ebay.com/itm/2Pcs-1-1-Bevel-Gear-1-Modulus-15-20-Teeth-ID-6mm-8mm-90-Degree/253809312152?_trkparms=aid%3D555018%26algo%3DPL.SIM%26ao%3D1%26asc%3D57476%26meid%3D112120301540e796d431ec944e7d4d%26pid%3D100005%26rk%3D1%26rkt%3D12%26sd%3D16257950
27. Hellermann Tyton. (2013). Terminales y Conectores Eléctricos. Buenos Aires: Hellermann Tyton Argentina .
28. Hidalgo, E. (2001). Costa Rica Patente nº WO 01/28311.
29. Horcajada, R. (2012). Apuntes Generales de Anatomía Morfológica Aplicada. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
30. Illicaffè. (2017). La Calidad premia. Bar Business.
31. longway. (219). Motor Factory 37 MM High Torque 24V 100RPM DC GEAR MOTOR. Obtenido de https://www.alibaba.com/product-detail/motor-factory-37MM-High-Torque-24V_62172694145.html?spm=a2700.7724838.2017115.155.29d82450kOWtYu
32. Jiménez, H. (2018). Generalidades del Cultivo de Café. Universidad de Santiafo , Instituto Superior de Agricultura. Componente de República Dominicana del Programa Centroamericano para la Gestión Integrada del Café.

33. Khurmi, R., & Gupta, J. (2005). A Textbook of Machine Design . Nueva Dehli: Eurasia Publishing House.
34. Künzel, G. (14 de Septiembre de 2005). THE MECHATRONICS DESIGN PROCESS. Obtenido de Slovenská Pol'nohospodárska Kniznica Pri Spu V Nitre: http://www.slpk.sk/eldo/2005/010_05/13.pdf
35. Lara, B. (24 de Agosto de 2017). El 60% del parque cafetelero tiene variedades resistentes a la roya. La Prensa.
36. Londoño, D., Oliveros, C., & Moreno, M. (2002). Desarrollo de una herramienta manual para asistir la recolección de café en Colombia. Cenicafé, 93-105.
37. Longás, H. (26 de Julio de 2016). Altura media por países. El País.
38. López, H., Roa-Mejía, G., & Parra, A. (2006). Evaluación del equipo "AROANDES", un prototipo para la cosecha manual asistida de café. CENICAFÉ, 208-219.
39. Lork Industrias. (2019). Lork Industrias. Obtenido de <http://www.lorkindustrias.com/downloads/fichastecnicas/fichaTecnicaNeopreno.pdf>
40. Luna, C. (1999). Ingeniería Simultánea: Un enfoque para reducir los tiempos de entrega, mejorar la calidad y disminuir los costos. Ingeniería & Desarrollo, 80-91.
41. Maier, C. (2009). Design Guides for Plastics. Plastics and Rubber Weekly .
42. Maradiaga, C. (2018). Memoria Cosecha 2017-2018. Tegucigalpa: IHCAFÉ.
43. Marín, S., Arcila, J., Montoya, E., & Oliveros, C. (2003). Relación entre el estado de madurez del fruto del café y las caracyterísticas de beneficio, rendimiento y calidad de la bebida. Cenicafé, 297-315.
44. MILAPEAK. (14 de Agosto de 2019). Amazon. Obtenido de https://www.amazon.com/seguridad-Conectores-Adaptador-alimentaci%C3%B3n-Vigilancia/dp/B072BXB2Y8/ref=pd_bxgy_121_img_2/142-4423250-

4613056?_encoding=UTF8&pd_rd_i=B072BXB2Y8&pd_rd_r=1e0dac9f-ad51-4267-a8c6-045518ed13b7&pd_rd_w=pXxFp&pd_rd_wg=IMBMn&pf_rd_p=

45. Montilla, J., Arcila, J., Aristizábal, M., Montoya, E., Puerta, G., Oliveros, C., & Cadena, G. (2008). Propiedades Físicas y Factores de Conversión del Café en el Proceso de Beneficio. Avances Técnicos CENICAFÉ, 1-8.
46. Moreno, E., Oliveros, C., Alfonso, O., & Álvarez, F. (2013). Desarrollo de un Nuevo Impactador para una Herramienta Portátil de Cosecha de Café. Revista Facultad Nacional de Agronomía, 7071-7083.
47. Mott, R. L. (2006). Diseño de elementos de máquinas . Naucalpan de Juárez: Pearson Educación de México.
48. Myszka, D. (2012). Máquinas y Mecanismos. Naucalpan de Juárez: Pearson Educación de México.
49. Olivera, C., Benítez, R., Álvarez, F., Aristizábal, I., Ramírez, C., & Sanz, J. (2005). Cosecha del café con vibradores portátiles del tallo. Facultad Nacional de Agronomía, 58(1), 2697-2708.
50. Oliveros, C., & Sanz, J. (Enero - Junio de 2011). Ingeniería y café en Colombia. Revista de Ingeniería, 99-114.
51. Oliveros, C., Ramírez, C., Buenaventura, J., & Sanz, J. (2005). Diseño y evaluación de una herramienta para agilizar la cosecha manual de café. Cenicafé, 37-49.
52. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). Comisión del Codex Alimentarius. Organización Mundial de la Salud. Roma: Viale delle Terme di Caracalla.
53. PALSA. (2019). Ficha técnica ABS. Murcia.
54. Procables S.A. C.I. (2011). THHN/THWN-2 CT . Bogotá: Infocables.
55. Ramírez, C., Oliveros, C., Sanz, J., Acosta, R., & Buenaventura, J. (2006). Desgranador Mecánico Portátil para la Cosecha del Café. Cenicafé, 122-131.

56. Ramirez, V. (Marzo de 2014). La fenología del café, una herramienta para apoyar la toma de decisiones. Federación Nacional de Cafeteros en Colombia; Cenicafé, Caldas.
57. Ramos, P., Sanz, J., & Oliveros, E. (2010). Identificación y clasificación de frutos de café en tiempo real, a través de la medición de color. Cenicafé, 315-326.
58. Revista Fórum Café. (Junio de 2000). Clasificación de los cafés. Revista Fórum Café.
59. Revista Fórum Café. (2002). Un café respetuoso con el medio ambiente. Revista Fórum Café.
60. Revista Fórum Café. (2015). Descubren nueva planta de cafe en Honduras. Revista Fórum Café.
61. Rodríguez, L. (16 de Marzo de 2018). Cinco departamentos producen el 67.9% del café en Honduras. El Heraldo.
62. Salinas, C. (02 de Agosto de 2019). Generalidades de la cosecha del café en Finca Recreo. (N. Reyes, & L. Vargas, Entrevistadores)
63. Santacreo, R. (17 de Junio de 2017). IHCAFÉ. Obtenido de Historia del Café en Honduras : <https://www.ihcafe.hn/?mdocs-posts=tec-guia-historia-cafe>
64. SENA. (2004). Recolección de café. Caldas.
65. SKF Group. (Octubre de 2018). Rodamientos de Bola. Obtenido de skf.com/go/17000
66. The International Ergonomics Association (IEA). (2007). Assessment of the Ergonomic Quality of Hand-Held Tools and Computer Input Devices. (H. Strasser, Ed.) Berlin, Alemania: University of Siegen.
67. Wire & Cable Your Way . (s.f.). Wire & Cable Your Way . Obtenido de <https://www.wireandcableyourway.com/16-2-conductor-thhn-pvc-shielded-type-tc-tray-cable.html>
68. Young, H., & Freedman, R. (2009). Física Universitaria (Vol. I). Naucalpan de Juárez, México: Pearson Educación de México.

69. Zill, D., & Dewar, J. (2012). Álgebra, trigonometría y geometría analítica. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V.

ANEXOS

Anexo 1. Propiedades de Distintos Tipos de Prolon

Properties	Units	PROLON NA	PROLON CP	PROLON ON
Density	g/cm ³	1.15 - 1.16	1.10 - 1.14	1.13
Elasticity Module	kgf/cm ²	24600 - 31600	21100 - 28100	21000 - 28100
Traction Resistance	MPa	82.3 - 87.2	61.7 - 82.10	70.6 - 89.2
Bending Resistance	Pa	-	-	7.55x10 ⁷ - 1.24x10 ⁸
Compression Resistance	Pa	1.07x10 ⁸	9.70x10 ⁷	9.80x10 ⁷

Fuente: (Moreno, Oliveros, Alfonso, & Álvarez, 2013)

Anexo 2. Especificaciones de Motor Eléctrico



SG-555123000 Series

(12VDC LOW NOISE LONG LIFE)

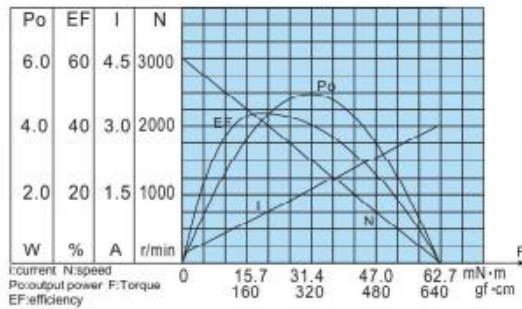
DC GEARED MOTOR

OUTPUT POWER: 2.9W(APPROX)

WEIGHT:350~400g(APPROX)

Typical applications: Labal printers, auto shutter, automatic stabilized voltage supply, grill, oven, cleaning machine, garbage disposers, household appliances, slot machines, money detector, automatic actuator, coffee machine, towel disposal, lighting, coin refund devices, peristaltic pump.

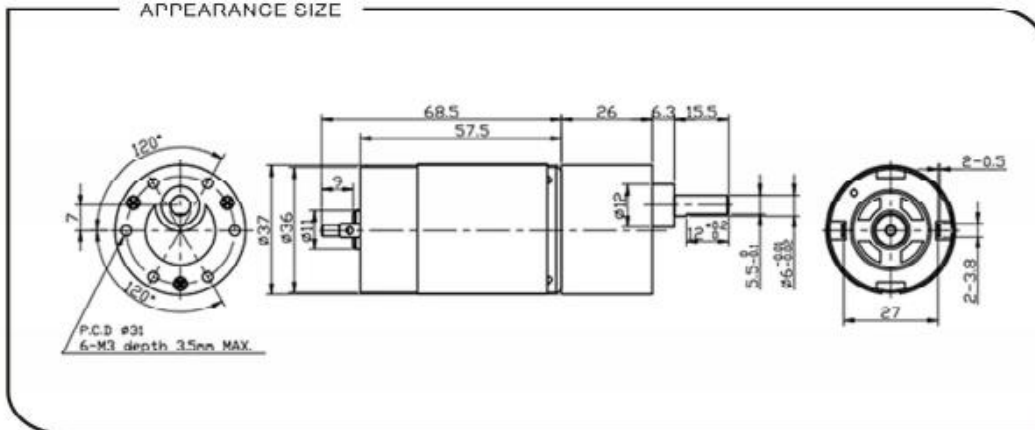
MOTOR CHARACTERISTICS



MOTOR TORQUE/SPEED/CURRENT

Rated voltage	12VDC
No load speed	3000r/min
No load current	140mA
Rated torque	190gf · cm 15.7mN · m
Rated current	800mA
Rated speed	2200r/min
Stall torque	640gf · cm 62.7mN · m
Stall current	3000mA

APPEARANCE SIZE



GEARED MOTOR TORQUE/SPEED/CURRENT

Geared motor name	Rated Volt. V	No load		Load torque				At maximum efficiency		Output power W	Number of gear trains	Gearbox length "L" mm
		Current mA	Speed r/min	Current mA	Speed r/min	Torque Kgf · cm N · m		Kgf · cm	N · m			
SG-555123000-10K	12	≤140	300	≤800	220	1.3	0.13	4	0.39	2.9	2	23
SG-555123000-20K	12	≤140	150	≤800	110	2.3	0.23	7	0.69	2.6	3	23
SG-555123000-30K	12	≤140	100	≤800	73	3.5	0.34	11	1.00	2.0	3	23
SG-555123000-60K	12	≤140	50	≤800	36	6.3	0.62	19	1.86	2.3	4	26
SG-5551223000-90K	12	≤140	33	≤800	24	9.5	0.93	30	2.94	2.3	4	26
SG-555123000-180K	12	≤140	16	≤340	12	10	0.98	30	2.94	1.2	5	28
SG-555123000-270K	12	≤140	11	≤2520	8	10	0.98	30	2.94	0.8	5	28
Packing Details	CTN size:28X26XH22.5CM		40pcs/CTN		N.W. 14Kgs							

Fuente: (longway, 2019)

Anexo 3. Datos de los Engranés Cónicos de Inglete

Model	D	Base Diameter	h	H	Tooth Length	d	ID	mm Screw Holes
0.5M30T	16	13	11	17	6	7	6	M4
0.5M40T	21	16	10	17	6	11	6	M4
1M15T	16	13	12	18	6	7	6	M5
1M20T	21	16	10	18	7	9	6	M5
1M20T	21	16	10	18	7	9	8	M5
1.5M16T	25.5	19	9	18	7	13	6	M5
1.5M16T	25.5	19	9	18	7	13	8	M5
1.5M16T	25.5	19	9	18	7	13	10	M5
1.5M20T	31	22	10	20	9	13	8	M5
1.5M20T	31	22	10	20	9	13	10	M5
1.5M20T	31	22	10	20	9	13	12	M5
2M20T	42	32	14	27	12	20	8	M5
2M20T	42	32	14	27	12	20	10	M5
2M20T	42	32	14	27	12	20	12	M5
2M20T	42	32	14	27	12	20	14	M5
2M20T	42	32	14	27	12	20	15	M5
2M20T	42	32	14	27	12	20	16	M5
2M20T	42	32	14	27	12	20	17	M5
2M20T	42	32	14	27	12	20	18	M5
2M20T	42	32	14	27	12	20	19	M5
2M20T	42	32	14	27	12	20	20	M5
2M25T	50	40	16	15	25	20	20	M5



Fuente: (Goodmart, 2019)

Anexo 4. Especificaciones de Batería

Capacidad	20 Ah
Tamaño	157mm x 75 mm x 47mm
Voltaje de entrada	12.60 V
Corriente de entrada	350 mA
Voltaje de salida	12.60 – 10.80 V
Peso	0.57 kg
Corriente de salida	1 – 2 A
Entrada del cargador	100 – 240 V AC 50/60 Hz
Salida del cargador	12.6 V – 1A

Fuente: (ABENIC, 2019)

Anexo 5. Ficha Técnica Neopreno

NEOPRENO

Composición

Cloropreno (CR)

Características

El Neopreno se caracteriza por una buena resistencia a la flexión, excelente resistencia a la fatiga y una amplia resistencia a la intemperie y el ozono. Es caucho sintético con excelente resistencia a los fluidos hidráulicos, aceites lubricantes, fluidos de transmisión, etc.

Propiedades	Unidades	Valores
Composición		Cloropreno
Color		Negro
Peso específico	1,55 ±0,05	gr/cm ³
Dureza	65 ± 5	SHORE A
Carga de rotura	≥ 3,5	Mpa
Alargamiento a la rotura	≥ 280	%
Resistencia al desgarro	15	N/ mm
Temperatura mínima de servicio	-30	°C
Temperatura máxima de servicio	120	°C
Envejecimiento por aire caliente	72 h x 70°C	
Inc. Dureza	5	SHORE A
Inc. Carga de rotura	-15	%
Inc. Alargamiento	-40	%
Resistencia Química		
Ozono		Moderada
Ácidos y Alcalis diluidos		Buena
Ácidos y Alcalis concentrados		No recomendada
Hidrocarburos, aceites y grasas		Moderada
Disolventes orgánicos		No recomendada

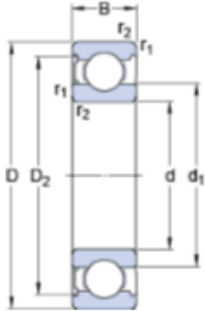
Fuente: (Lork Industrias, 2019)

Anexo 6. Ficha Técnica Rodamiento 626-Z de SKF

626-Z

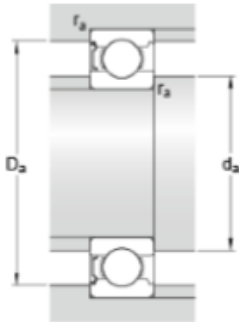
SKF Explorer

Dimensiones



d	6	mm
D	19	mm
B	6	mm
d_1	≈ 11.1	mm
D_2	≈ 16.5	mm
$r_{1,2}$	min. 0.3	mm

Dimensiones de los resaltes



d_a	min. 8.4	mm
d_a	max. 11	mm
D_a	max. 16.6	mm
r_a	max. 0.3	mm

Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	2.34	kN
Capacidad de carga estática básica	C_0	0.95	kN
Carga límite de fatiga	P_u	0.04	kN
Velocidad de referencia		80000	r/min
Velocidad límite		50000	r/min
Factor de cálculo	k_r	0.025	
Factor de cálculo	f_0	13	

Masa

Rodamiento de masa		0.0088	kg
--------------------	--	--------	----

Fuente: (SKF Group, 2018)

Anexo 7. Información Técnica Multiconductor TSJ-N

TSJ FLEX
MULTICONDUCTOR TSJ-N



- Debe evitarse que el conductor vivo quede conectado a alguna de las partes expuestas en lámparas, electrodomésticos y otros (Sec. 410.5 del NEC 2008).
- Bajo ninguna circunstancia el conductor deberá sustituir a los medios destinados para soporte mecánico de la instalación o los equipos.

Información Técnica

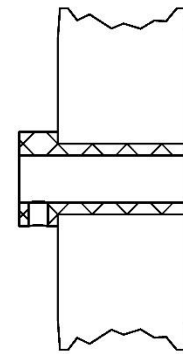
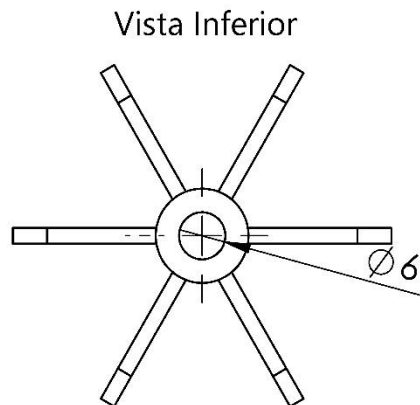
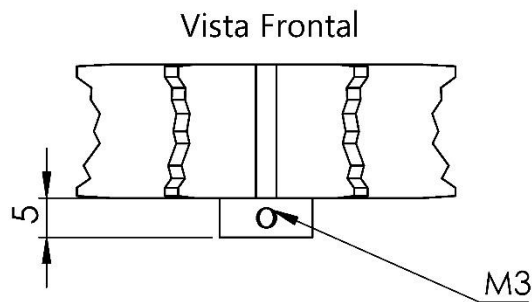
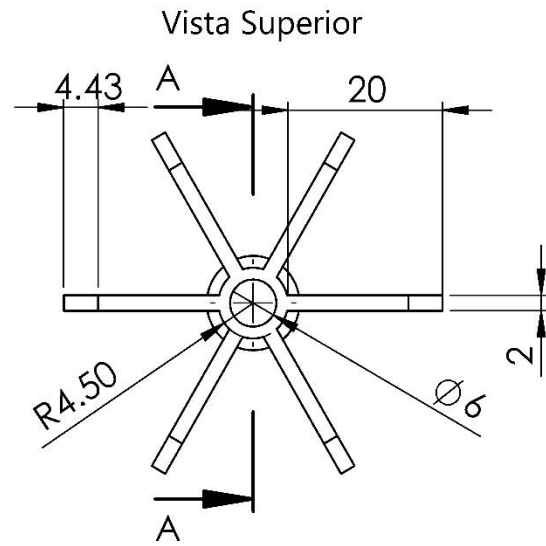
Dimensiones y Características

Formación Calibre	Área de la Sección Transversal Nominal	Espesor de Cubierta Nominal		Diámetro Total Aproximado		Peso Total Aprox.	Resistencia Eléctrica C.D Máx. @20 °C
		in	mm	in	mm		
Dúplex							
2 x 18	0,82	0,030	0,762	0,231	5,859	48,45	22,40
2 x 16	1,31	0,030	0,762	0,256	6,492	63,86	14,10
2 x 14	2,08	0,030	0,762	0,285	7,244	86,06	8,88
2 x 12	3,31	0,045	1,143	0,353	8,956	133,17	5,58
2 x 10	5,26	0,060	1,524	0,463	11,752	222,53	3,51
2 x 8	8,37	0,060	1,524	0,559	14,205	332,63	2,23
2 x 6	13,3	0,060	1,524	0,628	15,949	456,25	1,40
Triplex							
3 x 18	0,82	0,030	0,762	0,244	6,192	58,42	22,40
3 x 16	1,31	0,030	0,762	0,271	6,874	78,49	14,10
3 x 14	2,08	0,030	0,762	0,303	7,684	107,80	8,88
3 x 12	3,31	0,045	1,143	0,373	9,469	166,68	5,58
3 x 10	5,26	0,060	1,524	0,489	12,420	276,82	3,51
3 x 8	8,37	0,060	1,524	0,593	15,063	417,18	2,23
3 x 6	13,3	0,060	1,524	0,667	16,942	582,54	1,40
Cuádruplex							
4 x 18	0,82	0,030	0,762	0,266	6,750	71,04	22,40
4 x 16	1,31	0,030	0,762	0,296	7,514	96,48	14,10
4 x 14	2,08	0,030	0,762	0,332	8,423	133,84	8,88
4 x 12	3,31	0,045	1,143	0,407	10,328	206,39	5,58
4 x 10	5,26	0,060	1,524	0,533	13,542	341,51	3,51
4 x 8	8,37	0,060	1,524	0,650	16,503	517,78	2,23
4 x 6	13,3	0,060	1,524	0,733	18,608	729,61	1,40

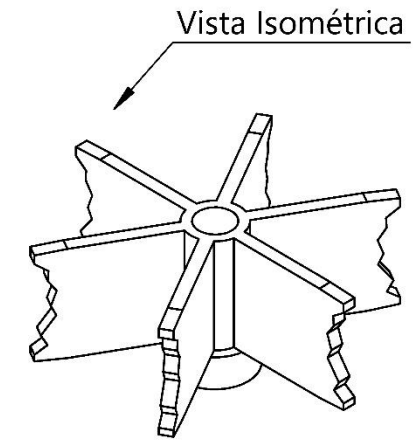
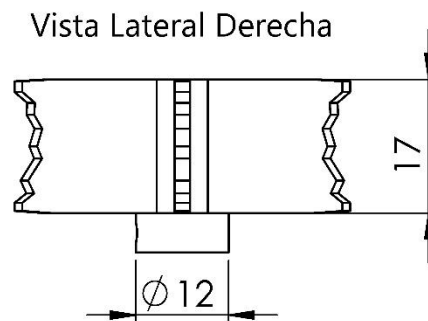
Nota: Los valores proporcionados pueden variar de acuerdo a las tolerancias de fabricación

Fuente: (General Cable, 2019)

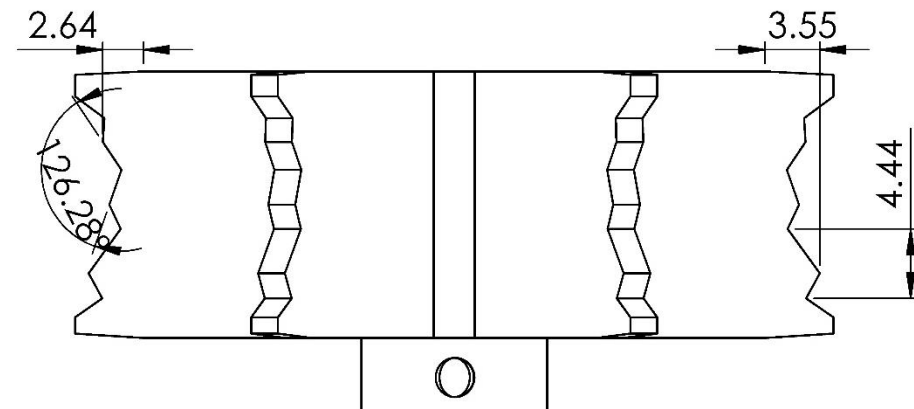
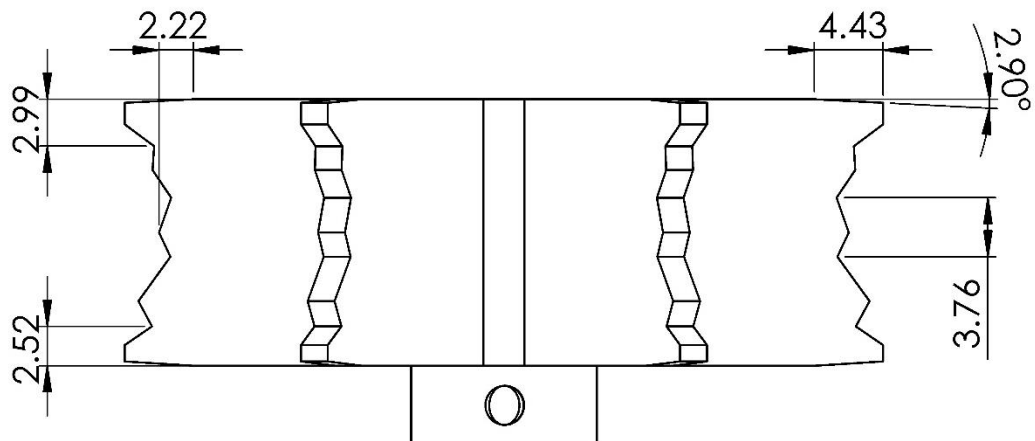
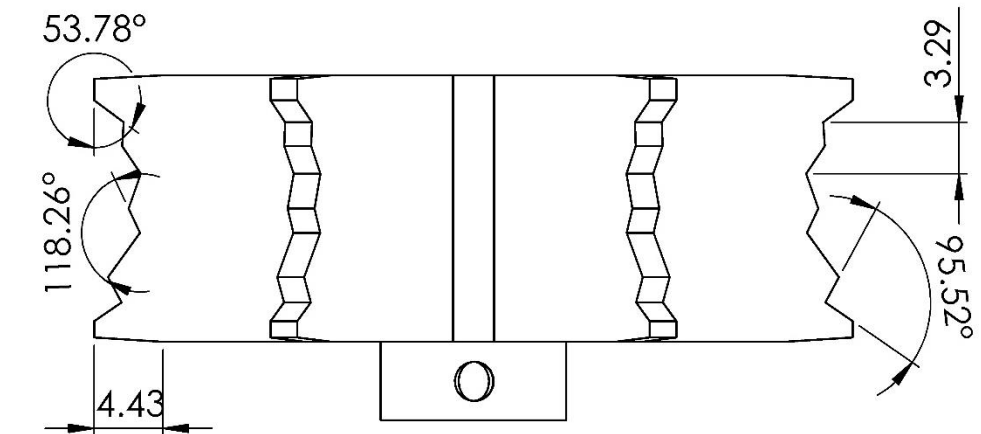
Anexo 8. Planos de Piezas Diseñadas



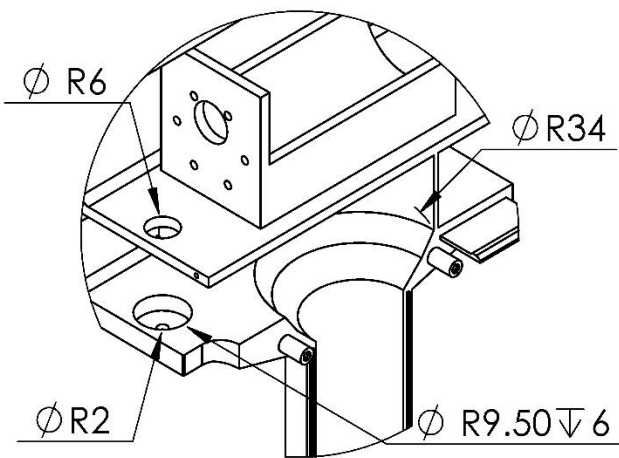
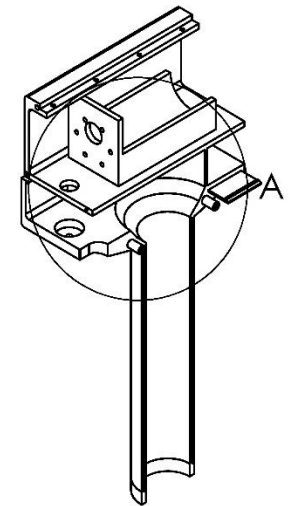
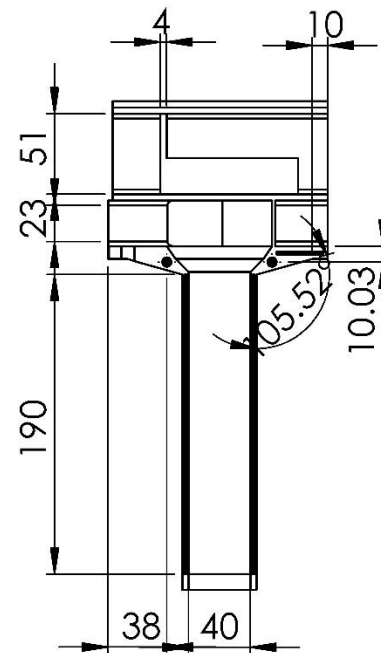
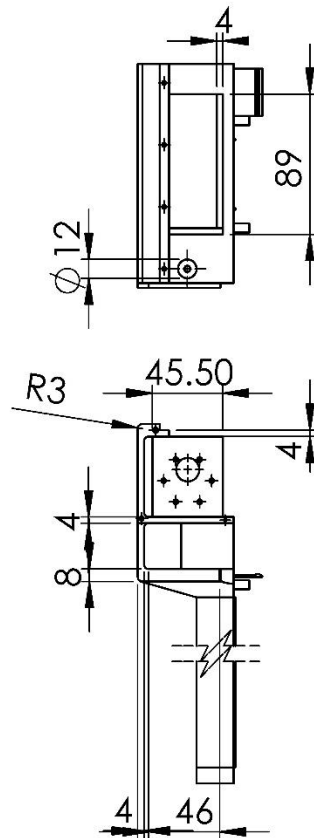
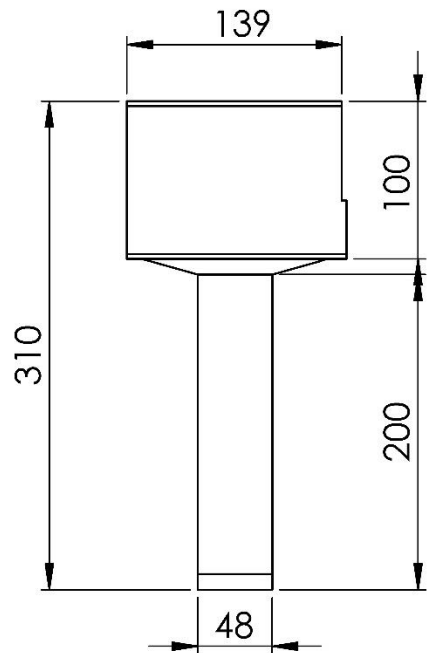
SECCIÓN A-A



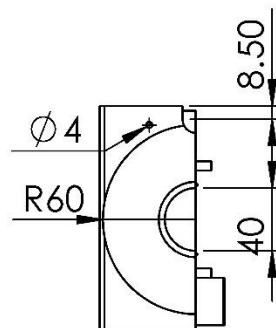
Dimensiones en el Sistema Internacional: Milímetros				COCAFÉ	
	Nombre	Firma	Fecha	Título: Actuador Dentado	
Diseñado por	Laura Michelle Vargas Flores		04/08/19		
Diseñado por	Nancy Suyapa Reyes Brizuela		04/08/19		
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICA		Material de la pieza: Prolon ON		No. de Plano 1	Tamaño de la Hoja LEGAL
Módulo IV del año 2019		Peso: 5.90 g		Escala:1:1	Hoja 1 de 8



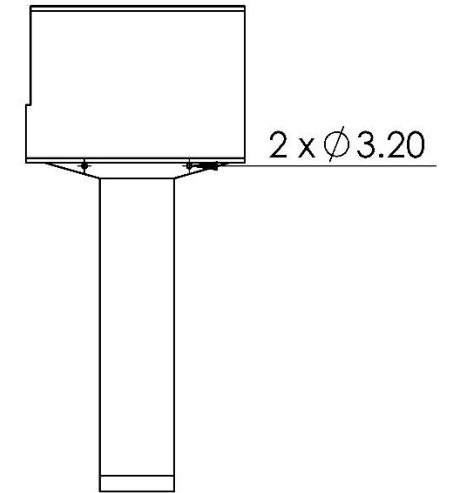
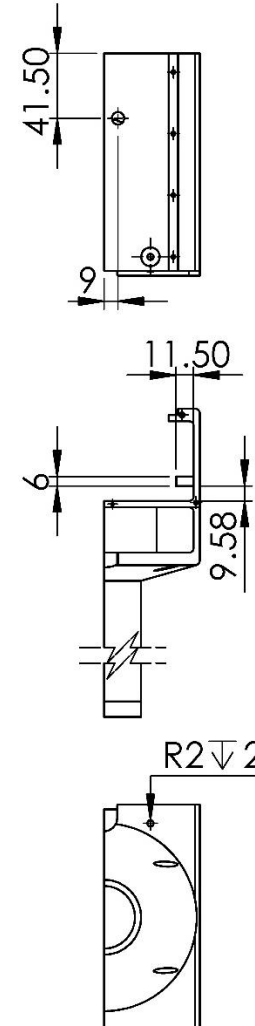
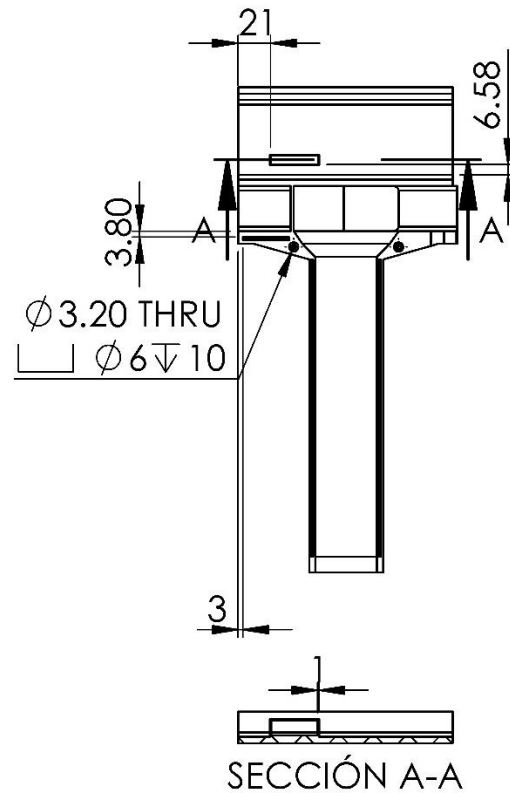
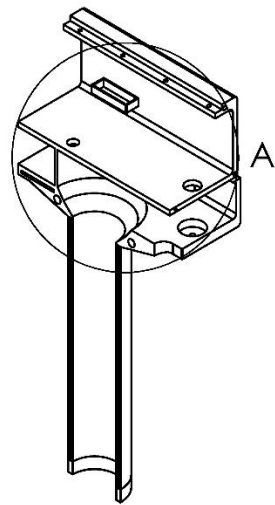
Dimensiones en el Sistema Internacional: Milímetros				COCAFÉ	
	Nombre	Firma	Fecha	Título: Actuador Dentado	
Diseñado por	Laura Michelle Vargas Flores		04/08/19		
Diseñado por	Nancy Suyapa Reyes Brizuela		04/08/19		
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMÉRICA		Material de la pieza: Prolon ON		No. de Plano 2	Tamaño de la Hoja LEGAL
Módulo IV del año 2019		Peso: 5.90 g		Escala:2:1	Hoja 2 de 8



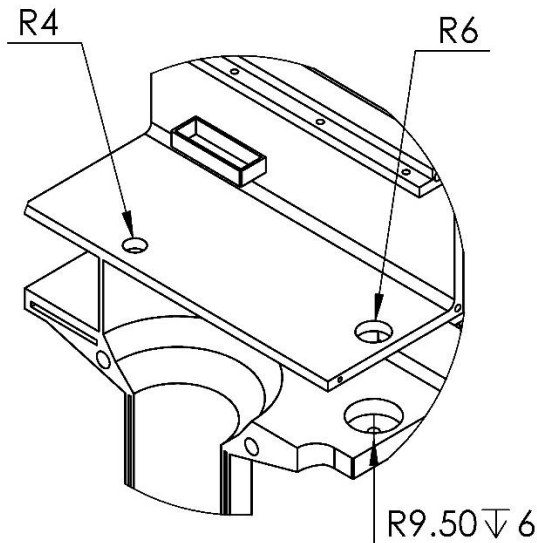
DETALLE A
ESCALA 2 : 5



Dimensiones en el Sistema Internacional: Milímetros		 LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES®		COCAFÉ	
	Nombre	Firma	Fecha	Título:	
Diseñado por	Laura Michelle Vargas Flores		24/08/19	Parte Izquierda Carcasa	
Diseñado por	Nancy Suyapa Reyes Brizuela		24/08/19		
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMÉRICA		Material de la pieza: Plástico ABS		No. de Plano	1
Módulo IV del año 2019		Peso: 322.20 g		Escala:1:5	Tamaño de la Hoja LEGAL
					Hoja 3 de 8



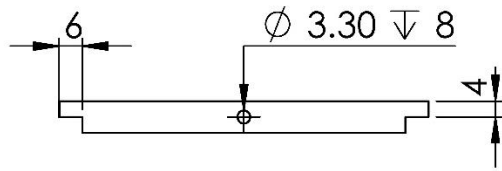
Nota: Las medidas no mostradas son iguales a la parte izquierda de la carcasa.



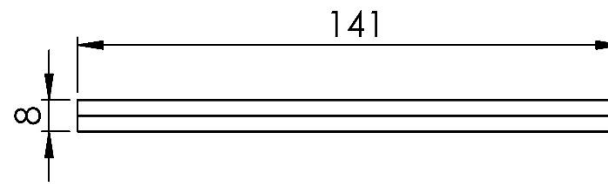
DETALLE A
ESCALA 2 : 5

Dimensiones en el Sistema Internacional: Milímetros				COCAFÉ	
Nombre		Firma		Título:	
Diseñado por	Laura Michelle Vargas Flores			Parte Derecha Carcasa	
Diseñado por	Nancy Suyapa Reyes Brizuela				
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMÉRICA		Material de la pieza: Plástico ABS		No. de Plano	Tamaño de la Hoja
Módulo IV del año 2019		Peso: 232.99 g		1	LEGAL
				Escala:1:5	Hoja 5 de 8

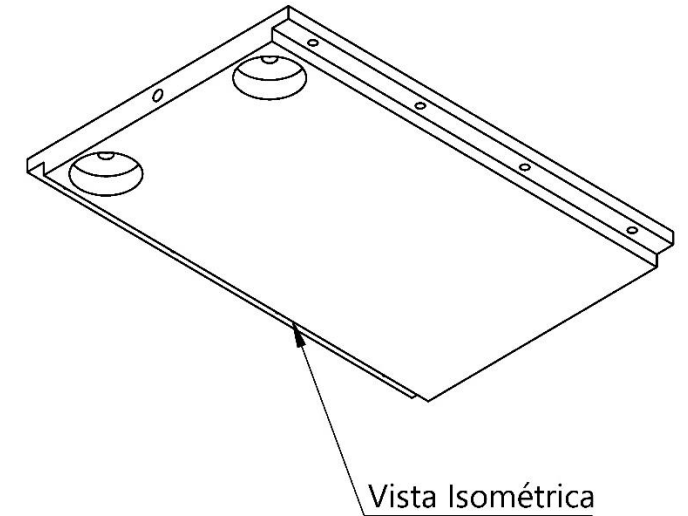
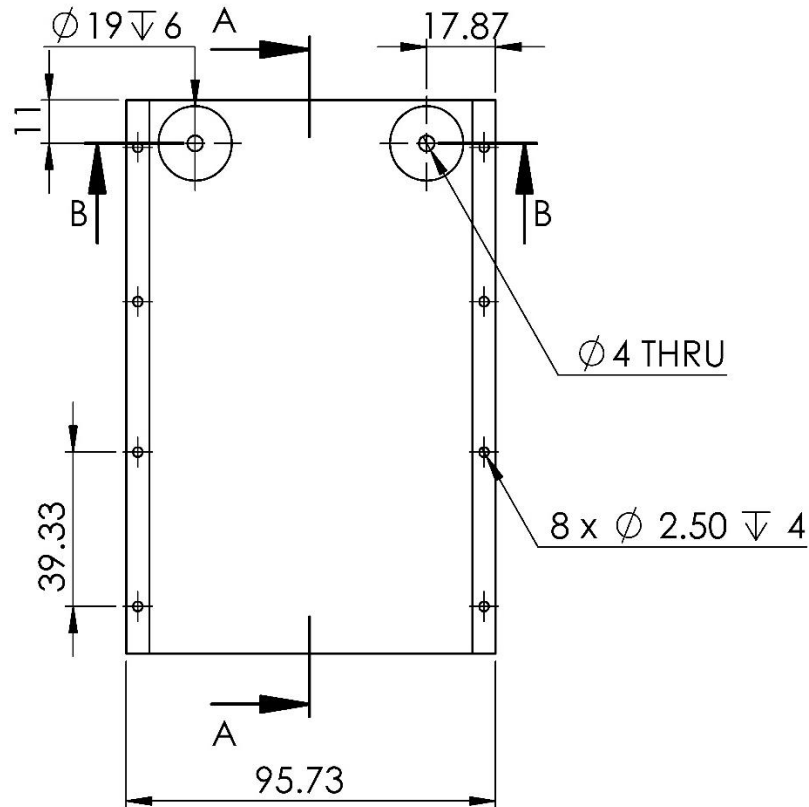
Vista Frontal



Vista Lateral Derecha



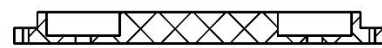
Vista Inferior



Vista Isométrica

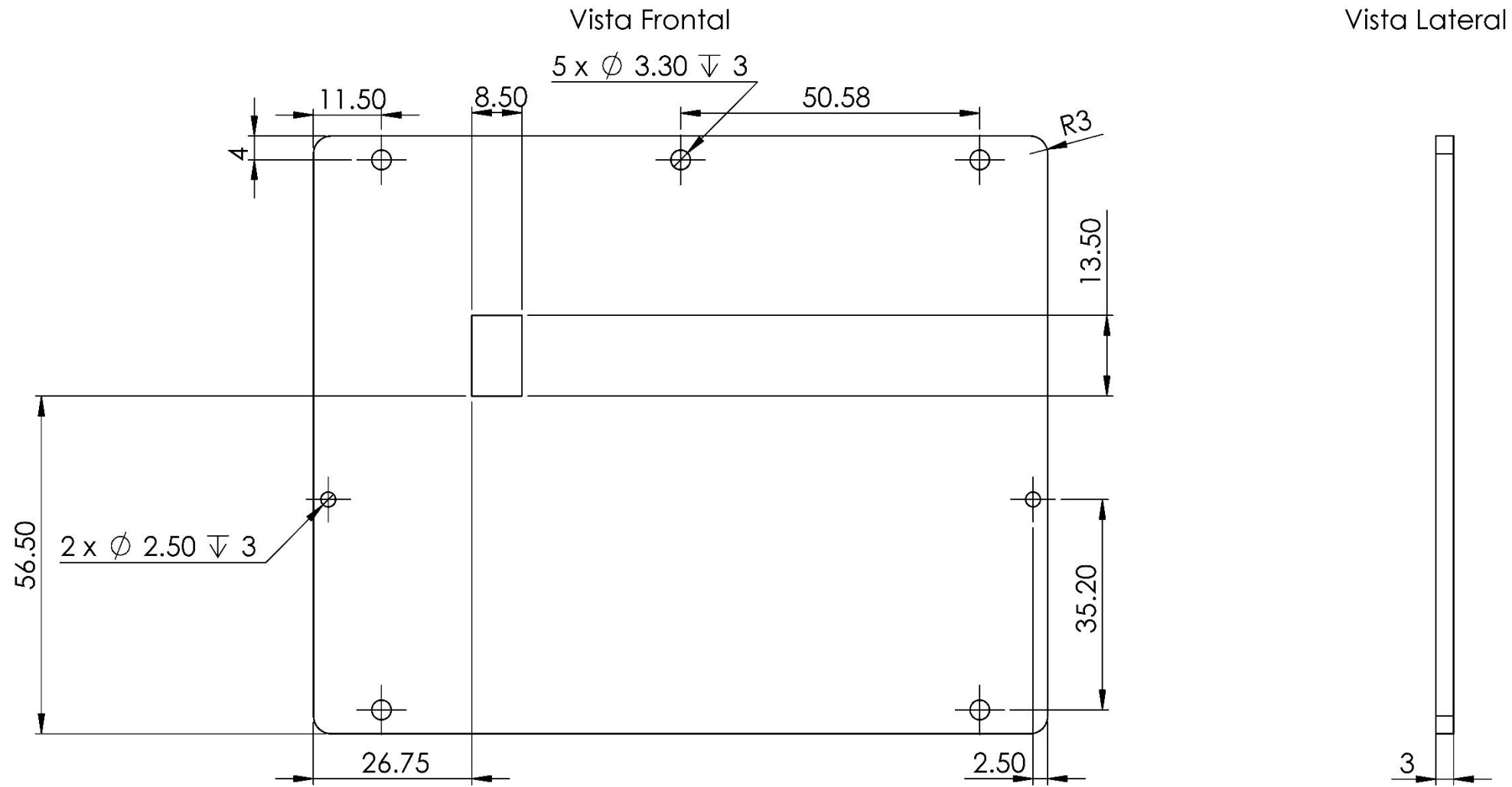


SECCIÓN A-A



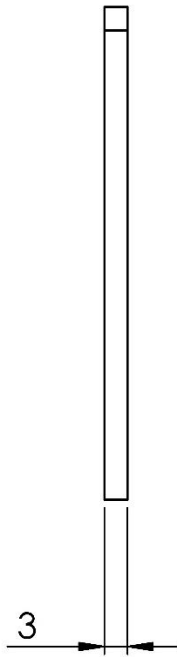
SECCIÓN B-B

Dimensiones en el Sistema Internacional: Milímetros		 LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES®		COCAFÉ	
Nombre		Firma		Título:	
Diseñado por	Laura Michelle Vargas Flores		Fecha	Tapa Superior	
Diseñado por	Nancy Suyapa Reyes Brizuela		24/08/19	Carcasa	
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMÉRICA		Material de la pieza: Plástico ABS		No. de Plano	1
Módulo IV del año 2019		Peso: 99.41 g		Escala: 1:2	Tamaño de la Hoja LEGAL
					Hoja 6 de 8

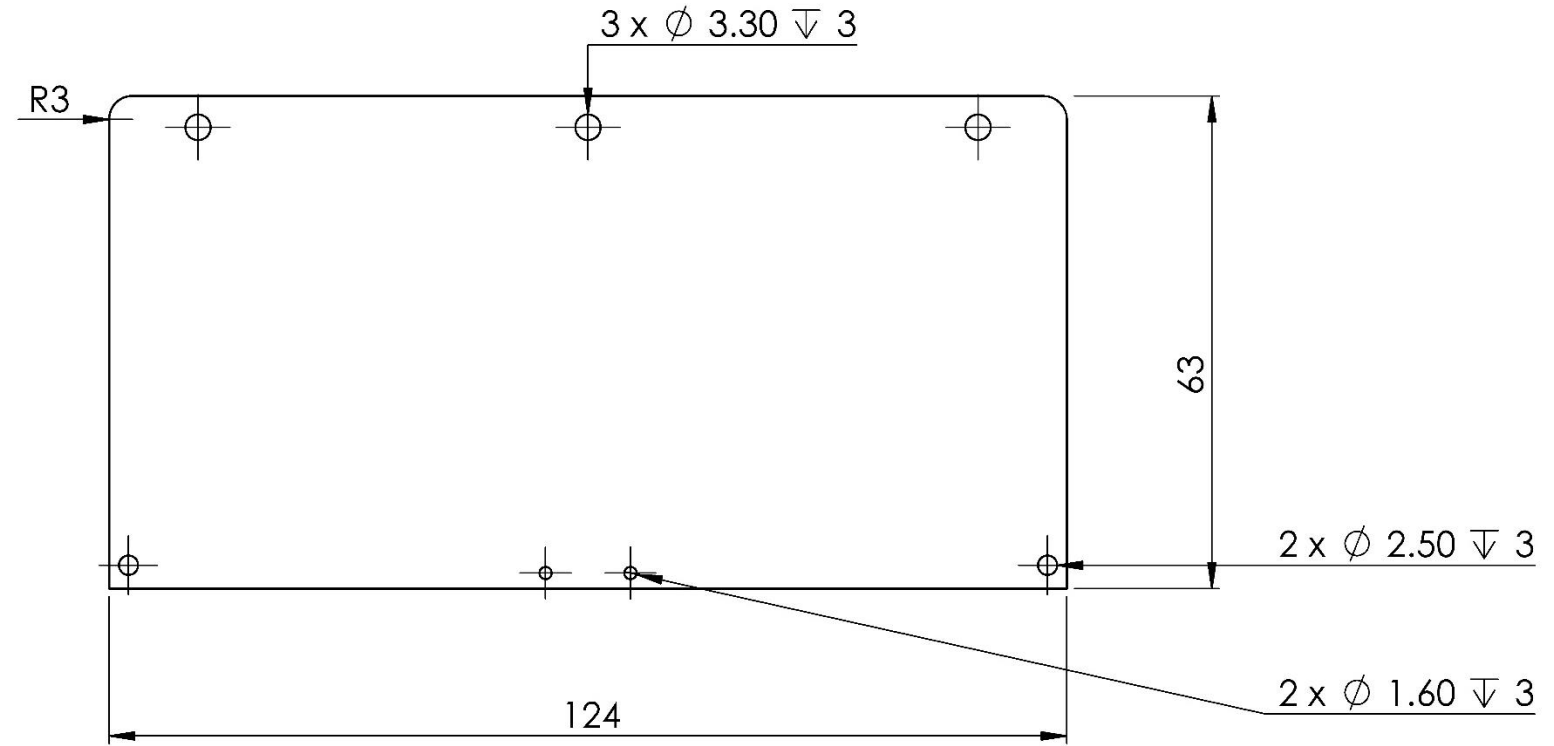


Dimensiones en el Sistema Internacional: Milímetros		 LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES®		COCAFÉ	
	Nombre	Firma	Fecha	Título: Tapa Tasera Carcasa	
Diseñado por	Laura Michelle Vargas Flores		24/08/19		
Diseñado por	Nancy Suyapa Reyes Brizuela		24/08/19		
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMÉRICA		Material de la pieza: Plástico ABS		No. de Plano	1
Módulo IV del año 2019		Peso: 37.46 g		Escala: 1:1	Tamaño de la Hoja LEGAL
					Hoja 7 de 8

Vista Lateral



Vista Frontal



Dimensiones en el Sistema Internacional: Milímetros				COCAFÉ	
	Nombre	Firma	Fecha	Título: Tapa Frontal Carcasa	
Diseñado por	Laura Michelle Vargas Flores		24/08/19		
Diseñado por	Nancy Suyapa Reyes Brizuela		24/08/19		
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMÉRICA		Material de la pieza: Plástico ABS		No. de Plano 1	Tamaño de la Hoja LEGAL
Módulo IV del año 2019		Peso: 22.33 g		Escala: 1:1	Hoja 8 de 8