



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE MECATRÓNICA

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMATIZADA PARA EXTRACCIÓN DE
MIEL PARA APICULTORES DEL CANTÓN PUJILÍ PROVINCIA DE COTOPAXI.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTOR: ENRIQUE ALEJANDRO CALLE PIÑA

TUTORA: CARMEN JOHANNA CELI SÁNCHEZ

Quito – Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Enrique Alejandro Calle Piña con documento de identificación N° 1750252924 manifiesto que:
Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad
Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el
presente trabajo de titulación.

Quito, 25 de febrero del 2025

Atentamente,



Enrique Alejandro Calle Piña

1750252924

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Enrique Alejandro Calle Piña con documento de identificación N° 1750252924 expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor de la Propuesta Tecnológica: “Diseño de una máquina semiautomatizada para extracción de miel para apicultores del cantón Pujilí provincia de Cotopaxi”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 25 de febrero del 2025



Enrique Alejandro Calle Piña

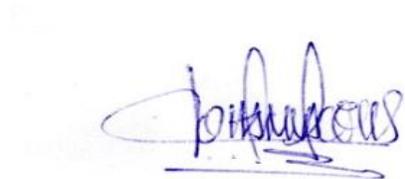
1750252924

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carmen Johanna Celi Sánchez con documento de identificación N° 1717437808, docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMATIZADA PARA EXTRACCIÓN DE MIEL PARA APICULTORES DEL CANTÓN PUJILÍ PROVINCIA DE COTOPAXI, realizado por Enrique Alejandro Calle Piña con documento de identificación N° 1750252924, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Propuesta Tecnológica que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 25 de febrero del 2025

Atentamente,



Ing. Carmen Johanna Celi Sánchez, MSc

1717437808

DEDICATORIA

Con gratitud y cariño, dedico esta tesis a todos aquellos que han estado a mi lado durante esta travesía académica. A mi madre, fuente inagotable de amor y apoyo, han sido mi faro en los momentos más desafiantes, le dedico un reconocimiento especial. A mi padre por demostrarme su fortaleza, sabiduría y ternura. A mis hermanos y amigos, les agradezco profundamente por su apoyo incondicional y por ser parte fundamental de mi camino hacia el conocimiento.

Gracias por ser mi inspiración y por creer en mí.

Enrique Alejandro Calle Piña

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por estar presente en cada proyecto de mi vida, a mi padre y madre por sus consejos, enseñanzas y guiarme siempre por el buen camino. De igual forma agradezco a cada una de las autoridades de la Universidad Politécnica Salesiana por el apoyo y conocimientos entregados en cada uno de los semestres.

Enrique Alejandro Calle Piña

Índice de contenido

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
Resumen	I
Abstract	XV
Planteamiento del problema	16
Justificación.....	17
Objetivos	18
Objetivo general:.....	18
Objetivos específicos	18
Capítulo 1	19
Marco teórico:	19
1.1. Antecedentes	19
1.2. Miel de Abeja	20
1.2.1. Usos de la miel:	21
1.2.2. Apicultura en Ecuador.....	22
1.2.3. Proceso de extracción de la miel manual	23
1.2.4. Proceso de extracción de miel semiautomatizado	24
1.2.5. Extracción de miel.....	26
1.3. Diseño de maquinaria para la extracción de miel.....	26
1.3.1. Características del extractor semiautomatizado:	27

1.3.2. Tipos de extractores:.....	27
1.3.3. Consideraciones técnicas y de seguridad.....	29
Capítulo 2	31
Análisis de alternativas.....	31
2.1. Descripción de alternativas:	31
2.1.1. Descripción de alternativa 1:.....	31
2.2. Determinación y selección de la alternativa.....	35
Capítulo 3	36
Diseño conceptual.....	36
3.1. Análisis de requerimientos.....	38
3.1.1. Requerimientos técnicos	38
3.1.2. Diseño y modelado:.....	39
3.1.3. Selección de materiales y componentes	40
3.2. Costos	42
3.3. Cálculos de la potencia de la máquina.....	43
3.3.1. Cálculo del momento de inercia del mecanismo de giro	43
3.3.2. Relación de transmisión.....	46
3.3.3. Aceleración angular.....	47
3.3.4. Momento tensor y potencia final	48
3.3.5. Factor de seguridad de la estructura.....	49
3.4. Factor de diseño.....	51
3.4.1. Potencia de diseño.....	52
3.4.2. Selección de tipo de correa	53
3.4.3. Selección de poleas	53
3.4.3.1. Velocidad de la banda.....	54

3.5.3.2. Factores de fricción entre polea y correa.....	61
3.4.3.3. Relación entre potencias y tensiones de la banda.....	61
3.4.3.4. Diseño del eje del mecanismo de giro.....	64
3.4.3.5. Análisis estático del eje motriz.....	64
3.5. Electrónica de la máquina centrifugadora de miel	89
3.5.1. Cálculos de los aparatos eléctricos.....	89
3.5.2. Parte electrónica de monitoreo.....	92
3.5.2.1. Configuración.....	92
3.6. Análisis de rentabilidad	103
3.6.1. Análisis de los costos de la máquina:.....	104
3.6.1.1. Costos fijos de la máquina	104
3.6.1.2. Costos variables de la máquina	104
3.6.2. Depreciación de la máquina.....	105
3.6.3. Soldadura	108
3.6.3.1. Parámetros Comunes de Soldadura TIG	108
3.6.3.2. Datos del material a utilizar.....	108
Conclusiones y recomendaciones.....	110
4.1. Conclusiones	110
4.2. Recomendaciones.....	112
Referencias bibliográficas	113
ANEXOS.....	119

Lista de tablas

Tabla 1. Composición de la miel.	21
Tabla 2. Planteamiento de alternativas para el diseño de la máquina semiautomática de extracción de miel.	31
Tabla 3. Puntuación de criterios de las alternativas planteadas.	34
Tabla 4. Ponderación de criterios de las alternativas planteadas	35
Tabla 5. Criterios para la selección de la alternativa.	37
Tabla 6. Requerimientos operativos de la máquina semiautomático de extracción de miel.	38
Tabla 7. Materiales y componentes de la máquina semitautomática.....	40
Tabla 8. Costos en materiales y mano de obra.	43
Tabla 9. Características del motor	49
Tabla 10. Proyección a largo plazo de la máquina	106
Tabla 11. Valores VAN y TIR.....	107

Lista de figuras

Figura 1. Apicultores ecuatorianos inspeccionando colmenas [15].	23
Figura 2. Marcos móviles con panales de miel [18].	25
Figura 3. Estructura de un marco móvil para cosecha de miel [17].	25
Figura 4. Batea y mesa desoperculadora [19].	26
Figura 5. Acero AISI 304 [22]	27
Figura 6. Extractor tangencial [20]	28
Figura 7. Extractor radial [20].	28
Figura 8. Extractor semiradial [20].	29
Figura 9. Motor monofásico de 110-220V [25].	33
Figura 10. Diseño de la máquina mediante el software SolidWorks.	39
Figura 11. Fuerzas actuantes en la canasta.	45
Figura 12. Desplazamiento máximo de la canasta.	45
Figura 13. Desplazamiento máximo del mecanismo de giro	46
Figura 14. Factor de seguridad de la canasta	50
Figura 15. Factor de seguridad del mecanismo de giro.	50
Figura 16. Ejes principales de inercia	51
Figura 17. Factor de servicio para mejorar la potencia nominal [36]	52
Figura 18. Selección de tipo de correa [37].	53
Figura 19. Dimensiones estándares mínimas de poleas en V [35].	53
Figura 20. Secciones para las poleas.	54
Figura 21. Velocidades máximas según el material de la polea [37]	55
Figura 22. Secciones de correas [35]	57
Figura 23. Geometría banda abierta.	58

Figura 24. Secciones de la banda [34].....	59
Figura 25. Representación fundamental de la correa [38]	60
Figura 26. Factores de fricción entre polea y correa [34]	61
Figura 27. Tensiones debido a la flexión en la banda	62
Figura 28. Sección de bandas con picos de fuerza [34]	64
Figura 29. Fuerzas que actúan sobre el eje.	66
Figura 30. Fuerzas tensionales de la polea accionada.....	67
Figura 31. Esquema de representación de fuerzas.	68
Figura 32. Esquema de representación de fuerzas.	69
Figura 33. Diagrama de fuerzas cortantes en el plano X-Y	71
Figura 34. Diagrama de fuerzas cortantes en el plano X-Y	72
Figura 35. Cálculo de punto crítico.....	73
Figura 36. Valores de Marín.....	77
Figura 37. Focos de tensión estática	79
Figura 38. Tipos de rodamientos.....	82
Figura 39. Posicionamiento del ángulo.....	84
Figura 40. Propiedades mecánicas de los rodamientos	85
Figura 41. Factores de cálculo para rodamientos de inserción.	87
Figura 42. Circuito de control Timer 1 y 2.....	91
Figura 43. Circuito de control timer 3.....	92
Figura 48. Código de programación.....	95
Figura 49. Código de programación.....	96
Figura 50. Encendido y pare de la maquina.....	97
Figura 51. Programa Primer interfaz.....	99
Figura 52. Programa Segunda interfaz.....	100

Figura53. Programa tercera interfaz.....	101
Figura 54. Programa cuarta interfaz.....	102
Figura 55. Coordenadas XY táctil.....	103

Resumen

El presente diseño plantea el estudio de una máquina semiautomática destinada a la extracción de miel enfocada para los apicultores del cantón Pujilí en la provincia de Cotopaxi. El estudio responde a las limitaciones que existen a partir de los métodos manuales de extracción, que impactan a la productividad y competitividad de los productores. Mediante un análisis de tipo técnico y económico realizados se seleccionaron materiales como el acero inoxidable AISI 304 y un motor monofásico, adecuados para las condiciones locales y estándares de producción. La máquina utiliza un sistema centrífugo, controlado mediante un Arduino Mega, que optimiza el proceso reduciendo tiempos y mejorando la ergonomía del operador. El diseño fue modelado en el software SolidWorks y cumple con estándares de seguridad y eficiencia. Los cálculos estructurales y mecánicos validan la viabilidad técnica del proyecto, garantizando un alto factor de seguridad. La implementación de esta tecnología busca mejorar la calidad del producto final, incrementar la producción local y posicionar a los apicultores de Pujilí como competidores en el mercado del país. Además, el proyecto destaca por su enfoque en sostenibilidad y accesibilidad económica, promoviendo un desarrollo integral del sector apícola en la región interandina del Ecuador.

Palabras clave: Apicultura; Semiautomatización; Centrifugación

Abstract

The present study proposes the design of a semi-automatic machine for honey extraction focused on beekeepers in Pujilí canton in the province of Cotopaxi. The study responds to the existing limitations derived from manual extraction methods, which affect the productivity and competitiveness of producers. Through a technical and economic analysis, materials such as AISI 304 stainless steel and a single-phase motor, suitable for local conditions and production standards, were selected. The machine uses a centrifugal system, controlled by an Arduino Mega, which optimizes the process by reducing times and improving the ergonomics of the operator. The design was modeled in SolidWorks software and complies with safety and efficiency standards. Structural and mechanical calculations validate the technical feasibility of the project, ensuring a high safety factor. The implementation of this technology seeks to improve the quality of the final product, increase local production, and position Pujilí's beekeepers as competitors in the country's market. In addition, the project stands out for its focus on sustainability and economic accessibility, promoting comprehensive development of the beekeeping sector in Ecuador's Andean region.

Keywords: Beekeeping; Semi-automation; Centrifugation

Planteamiento del problema

La extracción de miel es parte fundamental del proceso de producción apícola que históricamente se ha venido realizando de forma artesanal o manual en el cantón Pujilí, sin embargo, estos procesos presentan limitaciones en términos de eficiencia, costos y producción lo que impacta en la productividad y competitividad de los apicultores sector.

La industria apícola en Ecuador ha crecido en los últimos años, se han registrado 1,760 apicultores y 19,155 colmenas en todo el país y las provincias con más producción apícola son Loja, Manabí, Santa Elena y Azuay con 325, 146, 144 y 118 apicultores inscritos y un total de 2429, 1820, 828 y 854 colmenas registradas. Por último, Chimborazo tiene 114 apicultores [1] y 1190 colmenas registradas. Sin embargo, no aparecen estadísticas para la provincia de Cotopaxi mucho menos del cantón Pujilí, esto puede responder a la poca competitividad de los apicultores que no cuentan con los instrumentos y tecnología necesaria para aumentar su producción y también el poco interés por parte de las Autoridades para medir estos índices [2].

Ante este escenario surge la necesidad de diseñar una máquina semiautomática que permita extraer la miel de las colmenas de los apicultores del cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi que elimine las limitaciones del método manual para mejorar la eficiencia y productividad de los procesos y permitir que los apicultores sean más competitivos en el mercado nacional.

Justificación

En los últimos 28 años la producción de miel y el número de colmenas ha crecido un 277% en todo el mundo según el Instituto Interamericano para Cooperación en Agricultura [3] por lo que la industria apícola constantemente enfrenta desafíos relacionados con la productividad, eficiencia de procesos y calidad del producto.

Ecuador enfrenta una compleja crisis económica que afecta gravemente diversos sectores productivos y que los pone en situación de vulnerabilidad, estos sectores, entre otros, incluyendo la agricultura, la ganadería y, por supuesto, la apicultura. Esta situación se debe en parte a la escasa inversión en la mejora e innovación de procesos, lo que resulta en una baja competitividad de los apicultores en el mercado global. [4].

La necesidad de diseñar una máquina semiautomática para la extracción de miel surge a partir de mejorar las oportunidades de producción de miel para los apicultores de la provincia de Cotopaxi, especialmente del cantón Pujilí. Según estadísticas del Ministerio de Agricultura, provincias como Loja, Manabí y Santa Elena superan a Cotopaxi en la producción de miel, lo que resalta la importancia de implementar tecnologías que impulsen la competitividad en este sector del país [2].

Paralelamente se busca mejorar las condiciones laborales en términos de ergonomía evitando así la aparición de enfermedades derivadas de los procesos manuales de extracción de miel. Finalmente, la implementación de esta máquina contribuye al desarrollo económico de la parroquia al mejorar los procesos de extracción y la calidad del producto final. Esto ayudará a posicionar a la provincia de Cotopaxi como referente a nivel nacional en la elaboración de miel.

Objetivos

Objetivo general:

- Diseñar una máquina semiautomatizada para extracción de miel para apicultores del cantón Pujilí provincia de Cotopaxi.

Objetivos específicos

- Investigar los distintos métodos de extracción de miel mediante investigación bibliográfica obteniendo las variables de entrada y salida para el diseño.
- Diseñar los elementos mecatrónicos de la máquina mediante cálculos y software de ingeniería para su futura implementación.
- Analizar el presupuesto de fabricación de la máquina mediante indicadores económicos que reflejen las proyecciones entre costos y beneficios para una posible implementación.

Capítulo 1

Marco teórico:

1.1. Antecedentes

En 2016, se desarrolló en Ecuador una máquina semiautomática diseñada específicamente para la extracción de miel de abeja. Este equipo, construido íntegramente con acero inoxidable AISI 304, material reconocido por su aptitud para aplicaciones alimentarias, demostró un rendimiento óptimo en todas las evaluaciones realizadas. La máquina alcanzó una capacidad productiva de 40,89 kg por hora operando a su velocidad ideal. Asimismo, se destacó por sus ventajas competitivas en términos de costos y especificaciones técnicas frente a otros modelos disponibles en el mercado, ya fueran de fabricación local o importados [5].

Por otra parte, en el estudio titulado "*Modelo de diseño para equipos de procesamiento*", se analizó el potencial apícola de Kenia, estimándose una producción anual de hasta 100,000 toneladas métricas de miel. Este volumen podría generar ingresos de entre 15 y 20 mil millones de chelines kenianos (Ksh) en divisas para el país. No obstante, este potencial no se ha materializado debido a prácticas apícolas deficientes y la carencia de equipos de extracción y procesamiento de miel que sean adecuados, económicos y de fácil acceso. El diseño del equipo extractor de calentamiento se basó en parámetros como la densidad y la viscosidad promedio de la miel, mientras que el pH influyó en la elección de los materiales de construcción. Además, se comprobó que el contenido de humedad de la miel keniana se encontraba dentro de los límites permitidos, lo que reduce el riesgo de fermentación. La mayoría de la miel producida en Kenia cumplía con los niveles aceptables de prolina y diastasa. Estas propiedades fisicoquímicas se utilizaron eficazmente para desarrollar equipos de extracción y procesamiento adaptados a las necesidades del país[5].

En un estudio publicado en el New York Science Journal presentaron un "Extractor de miel accionado por pedal". Aunque existen distintos tipos de mecanismos para extraer miel, desde métodos tradicionales hasta diseños más modernos, el diseño presentado implicó la introducción de un mecanismo pedaleado para mejorar la eficiencia del proceso de extracción. Se estimó que la máquina tenía una eficiencia del 85%, en comparación con el 83% de eficiencia de diseños anteriores [9].

En el *Science Journal*, se presentó un innovador “Extractor de miel accionado por un sistema de transmisión flexible (cadena – piñón)”. Este extractor, que se basa en las características físicas y propiedades térmicas de la miel, tiene la capacidad de recolectar hasta 9 litros de miel, siendo ligeramente menos eficiente que un extractor importado de 11 litros, pero con la ventaja de no requerir alimentación eléctrica, haciéndolo adecuado para áreas tanto urbanas como rurales, con el potencial de generar empleos y mejorar la economía de Nigeria [9].

1.2. Miel de Abeja

La miel es un endulzante natural elaborado por un insecto llamado *Apis melifera* como sus diversas subespecies. Este producto se obtiene a partir del néctar de las flores y otras secreciones vegetales que las abejas recolectan, procesan y almacenan en panales. Es considerado uno de los alimentos más antiguos utilizados por el ser humano hace milenios [6].

Composición de la miel:

Su composición varía significativamente según la ubicación geográfica, tipo de floración y el procesamiento por parte de las abejas, lo que puede resultar en diferencias en la composición química. De manera general, la miel contiene una mezcla de azúcares simples en grandes proporciones, principalmente glucosa y fructosa, representando alrededor del 95% al 99% de sus componentes. Además de los azúcares, también contiene pequeñas cantidades de minerales, vitaminas, enzimas, antioxidantes y compuestos fenólicos. La concentración y la combinación exacta de estos componentes pueden variar dependiendo de múltiples factores, lo que la convierte a la miel en un tema de gran interés para la investigación científica. Este interés ha impulsado el desarrollo de tecnologías específicas para su análisis y procesamiento de la miel [7].

Formación de miel de abeja:

Las abejas producen miel a partir del néctar floral, un líquido azucarado que contiene alrededor del 80% de agua y azúcares complejos. En la colmena, las abejas ingieren y regurgitan repetidamente el néctar en sus "estómagos de miel" hasta que se digiere parcialmente. Este proceso se repite hasta que el producto alcanza la calidad deseada. Después de la última regurgitación, el panal permanece sin sellar. La miel cruda parcialmente procesada conserva un alto contenido de agua y levadura natural, lo que podría causar fermentación si no se controla. Posteriormente, la miel cruda se almacena en celdas alveolares para secarse. Durante este periodo, las abejas abanicen sus alas

dentro de la colmena, creando una corriente de aire que facilita la evaporación de alrededor del 80% del agua de la miel cruda. Una vez que las celdas del panal se secan, se sellan con cera para conservar la miel. La miel madura, recolectada por un apicultor, tiene una larga vida útil y no fermentará si se sella adecuadamente [8].

Tabla 1. Composición de la miel.

Propiedades	Descripción
Densidad	La densidad de la miel varía entre 1.410-1.435 g/cm ³ dependiendo el estado de madurez o contenido de agua.
Viscosidad	La viscosidad está en función de la temperatura a la cual sea expuesta la miel, si es mayor a 35 °C será menos viscosa, sin embargo, si la temperatura es <14 °C, la miel se cristaliza.
Conductividad térmica	La conductividad es de 0.04 W/mk (hasta 14 veces menos conductor que un líquido como el agua).
Punto de congelación	El punto de congelación va desde -1.42 °C hasta -1.53 °C.

Adaptado de: [9]

1.2.1. Usos de la miel:

Existe una amplia gama de productos alimenticios en los cuales la miel presenta cualidades superiores en comparación al uso de la azúcar refinada. La mayor parte de la población mundial consume miel de abejas en su estado natural, ya sea en panal, líquida o cremosa, representando alrededor del 90% del consumo global de miel. La forma en que se utiliza el restante 10% de la miel ha dado lugar a debates. Este incluye su aplicación en numerosos usos, que van desde la repostería, cereales, productos horneados, conservas, mermeladas, jaleas, embalaje de carnes, fabricación de tabaco, productos cosméticos, preparación de bebidas y productos para untar, confitería y medicamentos [7].

1.2.2. Apicultura en Ecuador

La apicultura en Ecuador tiene sus orígenes por el año 1870 con los hermanos cristianos que trajeron varias colmenas desde Francia las cuales fueron asentadas inicialmente en Cuenca y posteriormente se fueron expandiendo a otras zonas del país [10], pese a que en el Ecuador ya existían especies autóctonas como las “abejas sin aguijón” cultivadas por los primeros indígenas y mestizos la llegada de especies de otros territorios han hecho que se reduzca su dominancia en el ecosistema. Hoy en día en el país se cultiva la *Apis mellifera ligústica* o abeja melífera italiana [11].

En el país la producción de miel está siendo estimulada por el Ministerio de Agricultura y Ganadería, se han hecho programas de entrega de kits, capacitación y formación a apicultores para incrementar la producción y cantidad de productores [12].

En el país existen 1,760 apicultores y 19,155 colmenas, sin embargo para el año 2020 la productividad se incrementó llegando a 2,034 apicultores y 22,631 colmenas y conformándose alrededor de 31 asociaciones de apicultores, además se ha registrado un aumento en el promedio nacional de producción de miel de abeja de 10,5 kg/ha/año a 15,5 kg/ha/año [11]. Otro aspecto relevante en la apicultura ecuatoriana es que gran parte de apicultores son personas adultas con una edad media de 50 años, es decir existe una ausencia de jóvenes presentes en esta actividad, factores como la migración interna, falta de acceso a crédito, falta formación o pérdida de conocimientos ancestrales hacen que los jóvenes busquen el sustento en otras actividades diferentes a la agricultura, ganadería o apicultura [13].

En el sector apícola de Ecuador, el principal producto comercializado es la miel de abeja que representa el 85% de la producción. Le sigue en importancia la cera de abeja con un 5%, el polen con un 3%, el propóleo con un 6%, la jalea real con un 1%, y la Apitoxina con un 0.1% [14]. Así mismo, el apoyo y vinculación de la academia al sector apícola ha sido importante de tal manera que en los últimos años en coordinación con las comunidades rurales, Gobierno central y Universidades han implementado estrategias y programas de conservación de las especies de abeja con el fin de proteger y garantizar la producción sostenible de este producto y sus derivados para cubrir la demanda nacional como se observa en la figura 1 [11].



Figura 1. Apicultores ecuatorianos inspeccionando colmenas [15].

1.2.3. Proceso de extracción de la miel manual

La extracción de miel manual se enfoca en obtener este producto mediante mecanismos artesanales y rudimentarios, por lo general se enfoca en producciones pequeñas. A continuación, se describe el proceso de extracción manual:

1. Preparación de los materiales y equipo

Para el proceso de extracción es importante contar con equipos y materiales necesarios como el cuchillo de desopercular, recipiente para almacenar la miel y un tamiz.

2. Cosecha de paneles

La cosecha de los cuadros de miel es supervisada, se debe evitar que tenga exceso de humedad, no debe contener crías de ningún tipo ni polen. También el desabejado debe ser realizado con instrumentos que minimicen su contaminación, es decir, no usar deyecciones animales, combustibles o productos químicos.

3. Desoperculación de paneles

Se utiliza un cuchillo especializado también conocido como cuchillo de desopercular para remover la capa fina de cera que cubre las celdas de miel.

4. Drenaje de la miel

Luego del proceso de desopercular las celdas, los paneles se colocan en un recipiente inclinado para que la miel pueda drenar por efecto de gravedad hacia la parte inferior. Esta etapa puede tardar varias horas dependiendo del volumen de miel que contengan los paneles.

5. Filtrado de la miel

Una vez drenada la miel de los panales pasa por un filtro para eliminar impurezas como pedazos de cera, restos de abeja o polen lo que ayuda a garantizar que la miel esté libre limpia y clara.

6. Almacenamiento

La etapa final es el almacenamiento que consiste en verter en recipientes la miel drenada previamente para su posterior consumo o comercialización. Es importante que la miel debe ser almacenada en lugares frescos y oscuros para mantener su frescura y calidad.

1.2.4. Proceso de extracción de miel semiautomatizado

La evolución en términos tecnológicos que ha experimentado la apicultura en los últimos años ha sido muy importante puesto que se han automatizado los procesos para mejorar la eficiencia, rendimiento y calidad del producto final [16].

El procedimiento general de la extracción semiautomática permite mejorar el rendimiento del proceso, disminuir tiempos de producción y mejorar las condiciones ergonómicas del operario o apicultor.

El proceso semiautomatizado empieza con:

1. Cosecha de paneles

La cosecha de paneles en sistemas semiautomatizados se los realiza en marcos móviles como se puede observar en la Figura 2. Marcos móviles con panales de miel [18]. que son espacios donde se colocan a las abejas para que construyan los panales, este método permite una inspección de la colonia, también observar las crías de las abejas y verificar la cantidad de miel almacenada como su estructura Figura 3. Estructura de un marco móvil para cosecha de miel [17].



Figura 2. Marcos móviles con panales de miel [18].

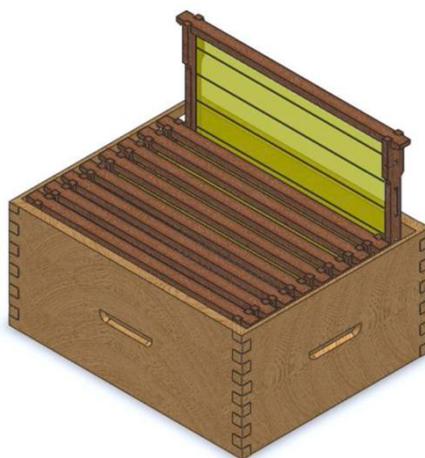


Figura 3. Estructura de un marco móvil para cosecha de miel [17].

2. Desoperculación de paneles

En los procesos semiautomatizados se ocupan máquinas y tecnología que permiten regular factores como temperatura, vibraciones o corte que facilitan este proceso; por otra parte, también se utilizan mesas y bateas para desopercular (Figura 4. Batea y mesa desoperculadora [19].), para este efecto, se coloca el panel en la mesa y con la ayuda de cuchillos eléctricos se procede a retirar la lámina de cera de los paneles, el residuo de cera resultante caerá a la batea y puede ser usado en otros productos como cosméticos, velas, entre otros [17].



Figura 4. Batea y mesa desoperculadora [19].

1.2.5. Extracción de miel

La extracción de la miel se realiza mediante un proceso mecánico utilizando una operación de centrifugado, esta etapa consiste en que el operario debe colocar los panales previamente desoperculados en la canasta o jaula en el interior de la máquina, esta canasta tiene ejes verticales y horizontales que mediante elementos mecánicos como poleas, engranajes, cojinetes y motor generan fuerza centrífuga que permite que la miel se separe del panal.

1.3. Diseño de maquinaria para la extracción de miel

El desarrollo del diseño de un equipo para la obtención de miel consiste en un sistema mecánico donde se insertan los marcos móviles de los panales llenos de miel. Posteriormente, mediante la aplicación de fuerza centrífuga permite extraer dicha miel [20].

Desde su invención en 1883 por Francesco De Hruschka, en las últimas décadas se han producido desarrollos importantes de este tipo de maquinaria, han pasado desde mecanismos manuales, semiautomatizados hasta automatizados con diferentes capacidades para marcos móviles de hasta 120 por máquina lo que permite al apicultor realizar mayor trabajo, incrementar la producción y aumentar su competitividad. El material de estas máquinas son comúnmente de acero inoxidable especial para la industria alimenticia (AISI 304), así mismo cuenta con otros elementos como bombas, motor, controlador de revoluciones, paletas, decantadores, entre otros [21].

1.3.1. Características del extractor semiautomatizado:

Utiliza como principal fuente de impulso un motor, mismo que es seleccionado en función de la cantidad de cuadros móviles que se vayan a procesar mismos que son colocados de forma manual por el operador.

Materiales:

El principal material es el acero inoxidable industrial para industria alimenticia, conocido también como acero AISI 304 con se observa en la Figura 5. Acero AISI 304 [22].



Figura 5. Acero AISI 304 [22]

1.3.2. Tipos de extractores:

Extractor tangencial

La disposición de los cuadros es paralela a las tangentes del recipiente, se usa generalmente para producciones a pequeña escala o para apicultores con pequeñas número de colmenas (figura 6).

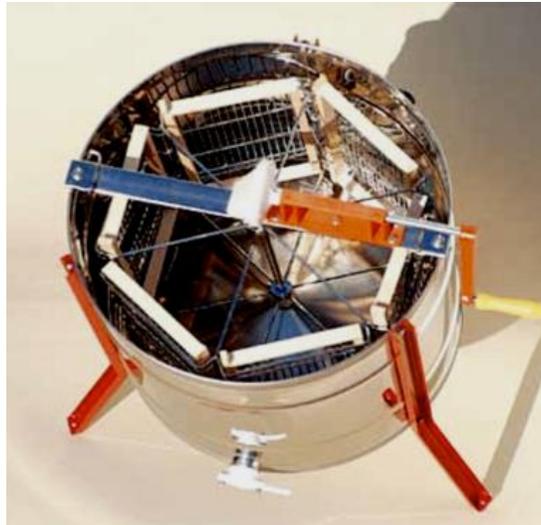


Figura 6. Extractor tangencial [20]

Extractor radial:

Los marcos están dispuestos de forma radial o espiral al eje de giro, estos son usados para procesar grandes números de cuadros móviles (Figura 7. Extractor radial [20]).



Figura 7. Extractor radial [20]

Extractor semiradial:

Este extractor es un híbrido entre tangencial y radial debido a que los marcos están desplazados como se observa en la figura 8.



Figura 8. Extractor semiradial [20].

1.3.3. Consideraciones técnicas y de seguridad

Factor de diseño:

El factor de diseño hace relación a la capacidad de carga máxima prevista y la carga real que se espera que soporte la máquina en su operación, este factor es muy importante considerar puesto que permite seleccionar los materiales, dimensiones y componentes estructurales adecuados que soporten las cargas esperadas durante la operación normal de la máquina y que esta no sufra fallas o deformaciones [5].

Factor de seguridad:

Este factor asimismo permite garantizar el óptimo funcionamiento de la máquina bajo diferentes condiciones de operación como imprevistos, sobrecargas accidentales, variaciones en la viscosidad o errores humanos. La obtención de este factor de seguridad se enfoca en proporcionar márgenes adicionales de resistencia y protección contra condiciones de operación adversas o imprevistas [5].

Características de funcionalidad

La máquina para que sea funcional y opere normalmente debe tener las siguientes características:

- Alimentación

Suministro de materia prima, en este caso: marcos móviles desperculados suministrados por el operador de la máquina.

- Transmisión:

Medio por el cual se genera la fuerza mecánica para el movimiento del sistema: motor.

- Extracción:

Mecanismo por el cual se extrae o se separa la miel de los cuadros móviles: centrifugación.

- Resistencia

Componente que calienta las paredes de la máquina.

- Calentar miel

Etapas en las que se calienta la miel que se encuentran en las paredes de la máquina y que permite que esta caiga rápidamente.

- Almacenamiento

Contenedor o depósito para almacenar la miel extraída del proceso. [5]

Capítulo 2

Análisis de alternativas

Se realizó la evaluación usando el método propuesto de Saaty [23] con el fin de decidir por la alternativa óptima, se consideraron criterios relacionados con el costo, facilidad de operación, disponibilidad de materiales, facilidad de montaje y seguridad operacional como se describe en la siguiente Tabla 2:

2.1.Descripción de alternativas:

Tabla 2. Planteamiento de alternativas para el diseño de la máquina semiautomática de extracción de miel.

Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Tambor de extracción de acero inoxidable 304	Tambor de extracción de acero inoxidable 316	Tambor de extracción de acero inoxidable 304 con recubrimiento de teflón
Arduino mega con pantalla LCD TFT De 2.8» Ili9341 320×240	Microcontrolador con pantalla de 7 pulgadas	Microcontrolador ESP32 con pantalla táctil de 3.5 pulgadas.
Motor monofásico de 110-220v	Motor sin escobillas	Motor DC con controlador PWM
Sistema eléctrico AC para el motor	Sistema eléctrico con controlador electrónico, DC, sensores hall y bobinas.	Sistema eléctrico DC para el motor y el microcontrolador.

2.1.1. Descripción de alternativa 1:

Se presenta una combinación de factores económicos, disponibilidad de materiales y facilidad de implementación y uso de la máquina. Esta máquina incluye componentes como un tambor de extracción de acero inoxidable 304, un Arduino Mega con pantalla LCD TFT de 2.8" (Ili9341 320×240), un motor monofásico de 110-220V, un sistema eléctrico AC para el motor.

Acero Inoxidable 304:

En la industria alimentaria, el acero inoxidable 304 es muy común debido a sus características favorables que aseguran la calidad y pureza de la miel, evitando fenómenos como la biocorrosión, que representan un alto riesgo en el procesamiento de alimentos [24], Además, este tipo de acero es más económico comparado con otros de mayor resistencia como el 316.

Ventajas:

- Resistente a la corrosión en todo tipo de ambientes evitando que microorganismos se adhieran a la superficie y afecten el proceso.
- Facilidad de limpieza y mantenimiento al ser de superficie lisa y no porosa.

Desventajas:

- Costos altos en caso de añadirle características adicionales como galvanizado
- Afectaciones al acero en caso de entrar en contacto con sustancias químicas fuertes.

Motor monofásico de 110-220v

Por otro lado, el motor monofásico de 110-220V es una opción ideal para el área geográfica de implementación del proyecto, ya que todos los sistemas de la parroquia permiten este tipo de conexión tanto a nivel residencial como comercial. Además, estos motores son fáciles de adquirir, mantener y suficientemente potentes para las necesidades del presente proyecto (Figura 9. Motor monofásico de 110-220V [25]). El costo de implementación y mantenimiento también es relativamente bajo, lo cual es ideal para zonas como Pujilí, donde el acceso a técnicos o profesionales especializados es muy limitado.



Figura 9. Motor monofásico de 110-220V [25].

Ventajas:

- Este tipo de motores es compatible con prácticamente todas las infraestructuras eléctricas ya puede funcionar con cualquier sistema eléctrico sin necesidad de instalar transformadores o conversores adicionales.
- Diseño simple y rígido que hace más fácil su funcionamiento y operación, no requiere de mayor infraestructura para operar y sus costos de mantenimiento son relativamente bajos.

Desventajas:

- Pueden presentar una eficiencia energética si se sobrepasa la carga de trabajo establecida llegando a consumir más energía de lo normal.
- El control de velocidad de estos motores es menos preciso por lo tanto el proceso de extracción puede ser limitado.

Sistema eléctrico AC para el motor

Finalmente, el sistema eléctrico AC para el motor es adecuado para las características de la infraestructura eléctrica del sector, lo que reduce o elimina la necesidad de implementar convertidores costosos y disminuye los costos de implementación y mantenimiento.

Ventajas:

- Se podrán usar las conexiones eléctricas existentes en el área del proyecto puesto que este tipo de corriente no necesita fuentes de alimentación especiales o transformadores.
- Separar los circuitos eléctricos tanto AC para el motor mejora la eficiencia del sistema reduciendo el riesgo de daños por picos de tensión o interferencias eléctricas.

Desventajas:

- El diseño del sistema se puede tornar más complejo si se incrementan las necesidades o características del sistema generando así costos adicionales.
- Existe la posibilidad que el motor pueda generar interferencias electromagnéticas afectando así al funcionamiento del Arduino.

Con el análisis de cada alternativa planteado, se procede a evaluar y ponderar cada alternativa considerando los objetivos del proyecto y los recursos disponibles en la Tabla 3:

Tabla 3. Puntuación de criterios de las alternativas planteadas.

Criterios	Puntuación		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Valor económico	9	5	4
Facilidad de operación	7	8	8
Disponibilidad de materiales en el mercado	10	6	6
Facilidad de montaje	8	7	6
Seguridad	9	7	7
TOTAL	43	33	31

2.2.Determinación y selección de la alternativa

A continuación, en la tabla 4 se ponderan las alternativas planteadas en base a los criterios mencionados anteriormente:

Tabla 4. Ponderación de criterios de las alternativas planteadas

CRITERIOS	Alternativa 1			Alternativa 2			Alternativa 3		
Valor económico	0,5	9	4,5	0,4	5	2	0,4	4	1,6
Facilidad de operación	0,1	7	0,7	0,1	8	0,8	0,1	8	0,8
Disponibilidad de materiales en el mercado	0,2	10	2	0,2	6	1,2	0,2	6	1,2
Montaje	0,1	8	0,8	0,1	7	0,7	0,1	6	0,6
Seguridad en la máquina	0,2	9	1,8	0,2	7	1,4	0,2	7	1,4
TOTAL			9,8			6,1			5,6

Capítulo 3

Diseño conceptual

El diseño de la máquina de extracción integra componentes mecánicos y electrónicos para que el proceso sea eficiente y cumpla las expectativas iniciales. Este desarrollo comienza con la definición de las necesidades y especificaciones del proyecto, es decir evaluar aspectos como el suministro de marcos, volumen de extracción, presupuesto y materiales e insumos disponibles.

El diseño inicial plantea 8 claves enfocadas en diseñar una máquina de extracción de miel semiautomática que permita procesar hasta 4 litros de miel por proceso, así mismo como se describe en la tabla 5 se plantean criterios que permiten definir de una manera completa la mejor alternativa para el diseño final.

1. Volumen de producción
2. Materiales
3. Control y operación,
4. Motor y sistema eléctrico
5. Seguridad ocupacional
6. Costo y accesibilidad
7. Eficiencia operativa.

Tabla 5. Criterios para la selección de la alternativa.

Criterio	Descripción
Volumen de producción	El tambor está diseñado para contener cuatro marcos que permitirán una extracción eficiente de 1 litro de miel por proceso.
Materiales	Los materiales del tambor son elaborados con acero inoxidable 304 por la resistencia a la corrosión, facilidad de limpieza y compatibilidad con estándares de seguridad alimentaria.
Control y operación	El control está basado en un Arduino mega con pantalla LCD que permite una interacción práctica del operador y el proceso de extracción, este elemento permite el monitoreo y ajuste de velocidad del motor, tiempo de extracción y temperatura dentro del tambor.
Motor y sistema eléctrico	El motor monofásico es suficiente para girar el tambor a la velocidad adecuada para procesar 4 cuadros o panales, este motor presenta características físicas ideales en términos de mantenimiento, durabilidad y eficiencia. Además, el sistema eléctrico AC para el motor y DC para el Arduino permiten asegurar eficiencia energética y estabilidad en el suministro eléctrico para el sistema.
Seguridad ocupacional	La seguridad ocupacional incluye aspectos relacionados con la protección del operador contra los elementos mecánicos, ergonómicos y eléctricos del sistema de extracción, se debe considerar la implementación de protecciones del motor, interruptores de emergencia, aislamientos, accesibilidad, entre otros.

Costo y accesibilidad	Los materiales y suministros necesarios para el diseño de la máquina están disponibles en el área del proyecto. Además, son accesibles de forma directa y se ajustan a los costos previstos en el presupuesto.
Eficiencia operativa	Los elementos mecánicos y eléctricos seleccionados permitirán operar el sistema de manera eficiente optimizando recursos humanos y económicos para procesar el volumen de miel proyectado (4 litros por ciclo).

3.1. Análisis de requerimientos

3.1.1. Requerimientos técnicos

La máquina es diseñada bajo requerimientos técnicos específicos los cuales están descritos en la tabla 6 y que permiten una operación semiautomática para la extracción de miel; se ha determinado una capacidad de producción de 4 litros de miel por ciclo mediante el uso de marcos.

Tabla 6. Requerimientos operativos de la máquina semiautomático de extracción de miel.

Requerimiento operativo	Detalle
Motor monofásico de 110-220v	Alimentación de AC 110-220V; Temperatura del motor: 130 grados centígrados.
Arduino mega	Alimentación DC 5V
Tambor de extracción	Acero inoxidable 304
Sistema eléctrico	Protección contra sobrecargas y cortocircuitos.

3.1.2. Diseño y modelado:

Se utilizó el software SolidWorks para el diseño de la máquina semiautomática, se consideraron los elementos del diseño conceptual y requerimientos operativos tales como la capacidad de carga y volumen de producción considerando aspectos técnicos y geométricos relevantes que garantizarán un funcionamiento eficiente Figura 10. Diseño de la máquina mediante el software SolidWorks.

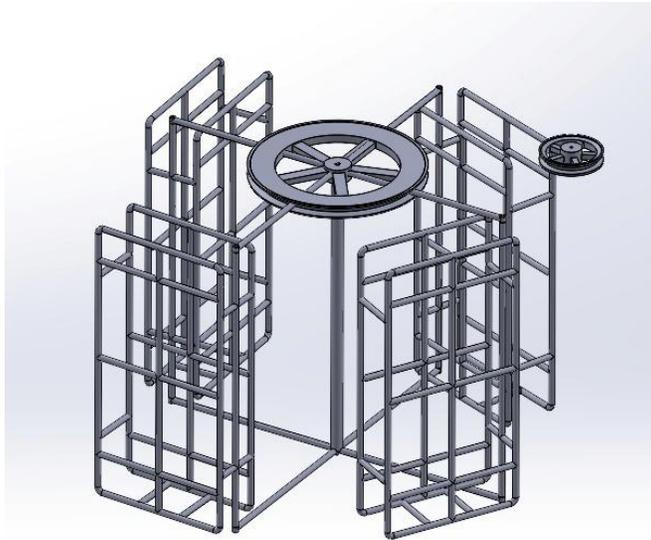


Figura 10. Diseño de la máquina mediante el software SolidWorks.

3.1.3. Selección de materiales y componentes

Los elementos y materiales utilizados para la fabricación de la máquina fueron seleccionados bajo los criterios descritos en la Tabla 5 y considerando los recursos económicos con los que se cuentan para el presente proyecto.

A continuación, se describen los materiales y componentes utilizados en la máquina semiautomática para la extracción de miel:

Tabla 7. Materiales y componentes de la máquina semiautomática

Descripción gráfica	Material	Especificación	Detalle	Referencia
	Acero inoxidable 304	Plancha de acero inoxidable de aleación 304 con uso específico para la fabricación de máquinas para la industria alimenticia.	Se lo utiliza en la fabricación de las paletas que contienen los cuadros de miel.	[22]
	Arduino mega	Elemento que permite el control de los procesos de extracción mediante la programación del sistema.	Se lo utiliza para programar las acciones del proceso.	[25]
	Motor monofásico 110-220v	El motor monofásico opera con un voltaje de 110-220v, la potencia nominal por lo general va de 0.24hp. a 5hp y está conectado a la corriente alterna lo que le	Se lo utiliza para generar el movimiento de los cuadros y	[26]

permite operar ciclos de efectuar el forma regular o continua. proceso de extracción.



Válvula Esta válvula permite Se lo utiliza [27] cheque controlar la presión en el para acero sistema, proteger los controlar el inoxidable componentes y controlar el flujo de miel 316 wafer flujo de los fluidos. y proteger los 1-1/2" los componentes pn40 de la 580psi it- 406 máquina. inoxtek



Filtro malla La malla de 1 ½ permite Proteger el [28] pequeña 1 remover las impurezas y proceso de ½ partículas sólidas que extracción y pueden ingresar al sistema y los afectar al proceso y a la componentes máquina. de la máquina.



Polea de Transmite la potencia desde La polea de [29] 50mm y de el motor a los tambores. 50 mm conectada al eje del motor y la de 145 mm conectada al tambor de extracción.



Correa para polea Las correas permiten ajustar la velocidad de rotación y regular el torque que genera el motor hacia los tambores. Controlar la velocidad y fuerza del motor. [30]



Pantalla LCD TFT De 2.8 Conectado al Arduino, permite la interacción entre el operador y el sistema de extracción. Interacción entre el operador y el proceso. [25]

Finalmente, después del análisis planteado concluye que se utilizarán los siguientes materiales e insumos:

Materiales:

- Acero inoxidable 304
- Motor monofásico de 110-220v
- Válvula che acero inoxidable 316 wafer 1-1/2" pn40 580psi it-406 inoxtek
- Filtro malla PEQ 1 1/2"
- Polea de 50mm y de 145mm
- Correa para polea
- Cables

Materiales sistema eléctrico:

- AC para el motor

3.2. Costos

A continuación, en la Tabla 8 se plantea de forma general los materiales y mano de obra que utilizarán para convertir el diseño de la máquina en un producto final.

Tabla 8. Costos en materiales y mano de obra.

Producto/Servicio	Valor (USD)
Partes mecánicas	
eje varilla acero inoxidable 3/16	\$ 9,16
eje varilla acero inoxidable 1/2	\$ 20,18
banda A87	\$ 10,99
polea aluminio 14"	\$ 25,00
polea aluminio 2 1/2"	\$ 3,50
caja D	\$ 16,46
mano de obra	\$ 20,00
SubTotal partes mecánicas	\$ 105,29
Partes eléctricas	
Componentes eléctricos	\$ 43,13
Componentes eléctricos	\$ 109,70
Cables	\$ 7,75
Timer	\$ 16,00
Subtotal partes eléctricas	\$ 176,58
TOTAL DE LA MÁQUINA	\$ 281,87

3.3. Cálculos de la potencia de la máquina

3.3.1. Cálculo del momento de inercia del mecanismo de giro

I_{mec} ejeX

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (kilogramos * metros cuadrados) Medido desde el centro de masa.	
$I_x = (1.00, 0.00, 0.00)$	$P_x = 0.91$
$I_y = (0.00, 0.00, -1.00)$	$P_y = 1.09$
$I_z = (0.00, 1.00, 0.00)$	$P_z = 1.09$

La inercia inicialmente calculada se relaciona con el eje del mecanismo rotativo; por ende, es esencial convertirla al eje del motor. Con este propósito, se establece una velocidad nominal de 1350 rpm, mientras que para el mecanismo rotativo alcanza una velocidad máxima de 250 rpm, según investigaciones previas de máquinas similares. De esta manera, la inercia efectiva se calcula utilizando la siguiente fórmula: [21]

$$I_{ef} = I_{mec} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \quad [1]$$

Donde:

I_{ef} = inercia efectiva

I_{mec} = inercia del mecanismo de giroS

n_2 = velocidad de giro del eje del mecanismo

n_1 = velocidad de giro del eje del motor

$$I_{ef} = 0.91 kg * m^2 \left(\frac{350 rpm}{1720 rpm} \right)^2$$

$$I_{ef} = 0.04 kg * m^2$$

Es por ello por lo que la inercia total (figura 11) que debe vencer el motor viene dada por lo siguiente

$$I_{total} = I_{mec} + I_{ef} \quad [2]$$

Donde:

I_{total} = inercia total

I_{mec} = inercia del mecanismo de giro

I_{ef} = inercia efectiva

Aplicando la formula:

$$I_{total} = 0,91 kg * m^2 + 0.04 kg * m^2$$

$$I_{total} = 0.95 kg * m^2$$

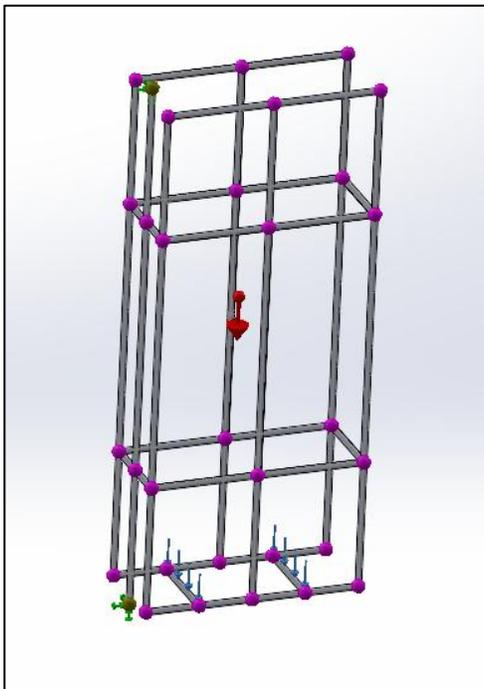


Figura 11. Fuerzas actuantes en la canasta

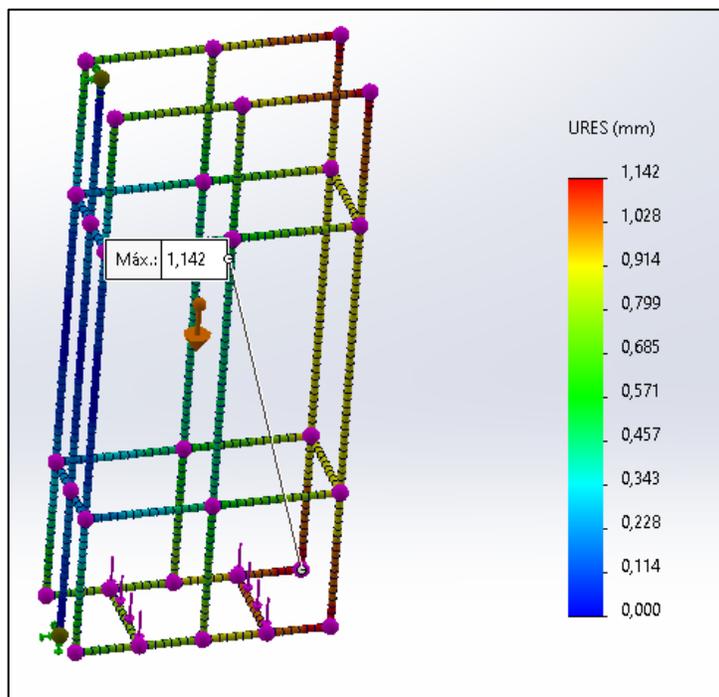


Figura 12. Desplazamiento máximo de la canasta.

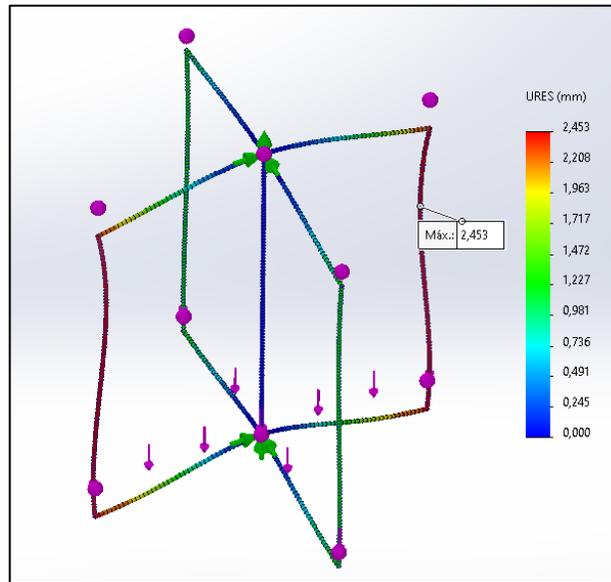


Figura 13. Desplazamiento máximo del mecanismo de giro

3.3.2. Relación de transmisión

$$i = \frac{n_2}{n_1}$$

[3]

Donde:

i = relación de transmisión

n_2 = velocidad de giro del eje del mecanismo

n_1 = velocidad de giro del eje del motor

$$i = \frac{350 \text{ rpm}}{1720 \text{ rpm}}$$

$$i = 0.20$$

R= Se tiene un sistema reductor debido a que el i es 0.20.

Anteriormente se estimó una velocidad máxima de 350 rpm para el mecanismo de rotación, teniendo en cuenta un margen superior al requerido para la extracción eficiente de miel de los

marcos. Sin embargo, basándose en el análisis de equipos similares, la velocidad operativa del mecanismo de rotación se fijó en un valor media n_2 de 250 rpm. Esto nos permite determinar la velocidad equivalente en el eje del motor n_1 , se reorganizó la ecuación correspondiente, obteniendo el siguiente resultado:

$$n'_1 = \frac{n'_2}{i} \quad [4]$$

$$n'_1 = \frac{250 \text{ rpm}}{0.20}$$

$$n'_1 = 1250 \text{ rpm}$$

Efectuando la conversión de unidades:

$$\omega_1 = 130,9 \text{ rad/s}$$

3.3.3. Aceleración angular

Se considera que el mecanismo alcanza la estabilidad a una velocidad n_2 en al menos 60 segundos, lo cual sugiere que el arranque del motor debe ser gradual. Seguidamente, se puede determinar la aceleración angular utilizando la fórmula siguiente:

$$\alpha = \frac{\omega_1}{t} \quad [5]$$

Donde:

α = aceleración angular

ω_1 = velocidad angular

t = tiempo de estabilización del mecanismo de giro

$$\alpha = \frac{130.9 \text{ rad/s}}{60 \text{ s}}$$

$$\alpha = 2.18 \text{ rad/s}^2$$

3.3.4. Momento tensor y potencia final

Con el fin de determinar el torque necesario en el sistema utilizamos la siguiente ecuación:

$$T = I_{total} * \alpha \quad [6]$$

Donde:

$T = \text{torque}$

$I_{total} = \text{Momento de Inercia Total}$

$\alpha = \text{aceleración angular}$

Reemplazando:

$$T = 0.95 \text{ kg} * \text{m}^2 * 2.18 \text{ rad/s}^2$$

$$T = 2.07 \text{ N} * \text{m}$$

R= El motor monofásico debe tener una potencia igual o superior a 2.07 N*m para producir la aceleración angular requerida por el sistema rotacional de la máquina.

Además de esto se calculó la potencia mínima para iniciar el sistema de giro de la máquina utilizando la Tabla 9 y la siguiente ecuación:

$$P = T * \omega_1 \quad [7]$$

Donde:

$P = \text{potencia del motor}$

$T = \text{torque aplicado}$

$\omega_1 = \text{velocidad angular}$

Reemplazando la formula:

$$P = 2.07 \text{ N} * \text{m} * 130.9 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P = 170.96 \text{ W} \text{ o } 0.22 \text{ hp}$$

Tabla 9. Características del motor

Características	Detalle
Voltaje	110v
Amperaje	8,4 A
Torque	-
Fases	1
Factor de potencia	0,37 kW
Velocidad nominal	1720 rpm
Potencia	1 hp
Peso	10 kg
Protección	IP55

3.3.5. Factor de seguridad de la estructura

El diseño de la máquina incorpora un factor de seguridad que tiene en cuenta las características del material empleado, acero inoxidable 304 y su resistencia máxima es 515 MPa (o 515,000,000 Pa) y aplicando una máxima tensión descrita en los análisis (803,348 Pa):

$$Fs = \frac{\text{Resistencia máxima al material}}{\text{Máxima tensión aplicada}} \quad [8]$$

$$Fs [35] = 515,000,000 \text{ Pa} / 803,348 \text{ Pa}$$

$$Fs = 640,93$$

El factor de seguridad para la máquina es alto (640,93) lo que significa que la estructura puede soportar una tensión a la proyectada inicialmente antes de alcanzar un punto de falla o colapso (figura 14 y 15).

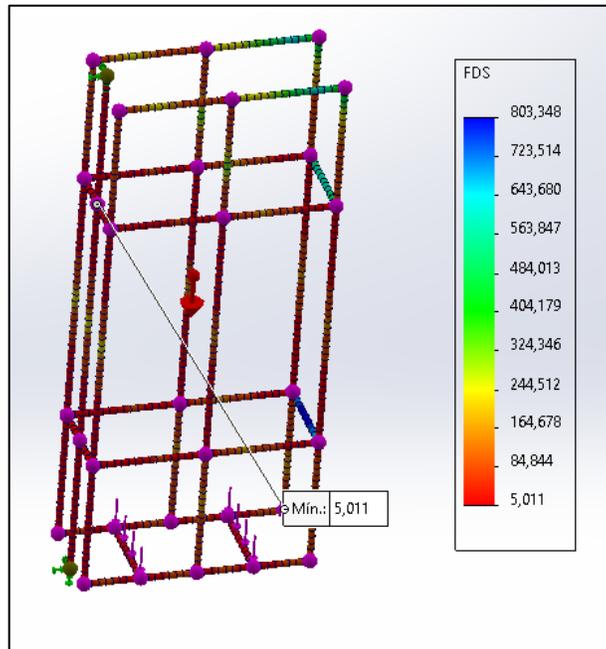


Figura 14. Factor de seguridad de la canasta

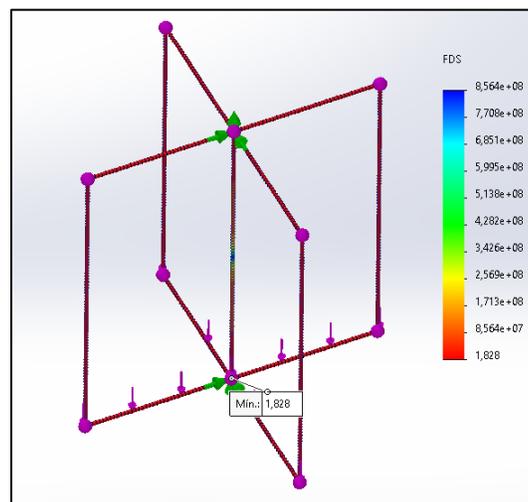


Figura 15. Factor de seguridad del mecanismo de giro.

Sistema de transmisión de potencias

El mecanismo de transmisión consta de una correa y dos poleas: una conectada al eje del motor y otra al eje del dispositivo de rotación. Con el objetivo de llevar a cabo los cálculos correspondientes a esta sección, se tomó como base el manual “*Poleas en V*” de Intermec y la ecuación [35].

Con los datos obtenidos previamente se obtiene que:

$$Potencia\ del\ motor\ (P_m) = 0.37\ kw\ (1hp)$$

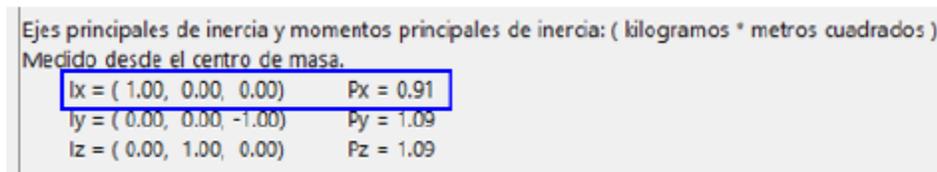
$$Velocidad\ angular\ del\ eje\ del\ motor\ (\omega_m) = 1720\ rpm$$

$$Velocidad\ angular\ del\ eje\ del\ mecanismo\ (\omega_{mec}) = 350\ rpm$$

$$Distancia\ entre\ centros\ (C) = 800\ mm$$

3.4. Factor de diseño

En ingeniería, el factor de diseño o servicio se utiliza para añadir un margen de seguridad y tener en cuenta la variabilidad en el rendimiento del motor. Esto asegura que la máquina funcione de manera óptima sin superar los límites de capacidad, incluso frente a fluctuaciones en la carga, condiciones ambientales adversas, extensas etapas laborales y situaciones específicas. Dado que la centrífuga opera de manera discontinua durante un máximo de 16 horas diarias y basándose en la elección previa de un motor síncrono, se consulta una figura 16 específica para calcular el factor de servicio, obteniendo el siguiente resultado:



Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (kilogramos * metros cuadrados)
Medido desde el centro de masa.

$I_x = (1.00, 0.00, 0.00)$	$P_x = 0.91$
$I_y = (0.00, 0.00, -1.00)$	$P_y = 1.09$
$I_z = (0.00, 1.00, 0.00)$	$P_z = 1.09$

Figura 16. Ejes principales de inercia

Factor de servicio (FS) = 1.1 que nos ayuda a mejorar la potencia nominal (Figura 17. Factor de servicio para mejorar la potencia nominal [36])

MAQUINA CONDUCTORA	MAQUINA CONDUCTORA					
	Motor eléct.sincrónico, Motor de comb. interna, multicilindro, Turbinas			Motor eléctrico de alto par, Motor de combustión interna monocilindro		
	8 h/día	16 h/día	24 h/día	8 h/día	16 h/día	24 h/día
Carga ligera: Agitadores de líquidos. Bombas y compresores centrífugos. Transportadores de banda. Ventiladores. Máquinas herramientas de corte continuo	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Carga normal: Bombas y compresores de 3 y más cilindros. Transportadores de cadena. Fresadoras.	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Carga pesada: Bombas y compresores de uno y dos cilindros. Elevadores de cangilones. Cepilladoras y mortajadoras	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Carga muy pesada: Mecanismos de elevación de grúas. Prensas. Cizallas.	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

Figura 17. Factor de servicio para mejorar la potencia nominal [36]

3.4.1. Potencia de diseño

La potencia de diseño se calculó utilizando la ecuación siguiente:

$$P_d = FS * P_m \quad [9]$$

Explicación

P_d = potencia de diseño

FS = factor de servicio

P_m = Potencia motor

$$P_d = 1.1 * 1hp$$

$$P_d = 1.1 hp$$

El factor de potencia de diseño es de 1.1 hp lo que significa que se deberá implementar un motor igual o ligeramente más grande a este valor para garantizar el funcionamiento óptimo y confiable del sistema.

3.4.2. Selección de tipo de correa

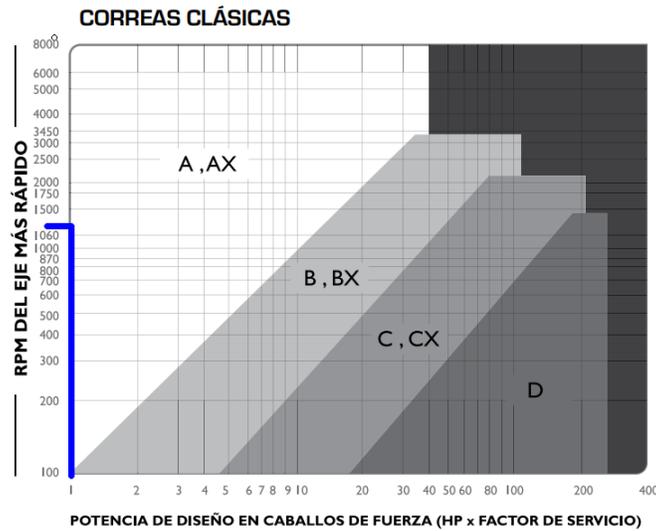


Figura 18. Selección de tipo de correa [37].

Los cálculos indican que el eje más rápido gira a una velocidad de 1720 rpm, y la potencia de diseño requerida es de 1.1 hp. Estos valores sitúan el punto de intersección dentro de rango correspondiente a las bandas de tipo A y AX. Debido a que las bandas estándar son las más comunes, como se muestra en la (Figura 18. Selección de tipo de correa [37]).

Selección de correa = Correa clásica tipo A

3.4.3. Selección de poleas

En base a lo descrito anteriormente y según la figura 19 se ha determinado que la sección A es la más recomendable para el óptimo funcionamiento del sistema en la (Figura 20. Secciones para las poleas).

SECCION	ANCHO MM	ALTURA MM	DIAMETROS DE PASO DE POLEAS,MM	
			RECOMENDADO	MINIMO
A	12,7	7,9	76 A 127	66
B	16,7	10,3	137 A 190	117
C	22,2	13,5	229 A 305	178
D	31,8	19,0	330 A 508	305
E	38,1	23,0	533 A 711	457

Figura 19. Dimensiones estándares mínimas de poleas en V [35]

Diámetro de la polea motriz = 66 mm

Para el cálculo del diámetro de la polea conducida, se utiliza la ecuación siguiente:

$$D = \frac{d}{i}$$

[10]

Donde

D = diámetro de la polea conducida

d = diámetro de la polea conductora

$$D = \frac{66 \text{ mm}}{0.20}$$

$$D = 330 \text{ mm}$$

$$D \approx 12 \text{ in}$$

SECCION A		SECCION B		SECCION C		SECCION D		SEC.E
3,0	6,2	4,6	9,4	7,0	14,0	12,0	27,0	21,0
3,2	6,4	4,8	11,0	7,5	16,0	13,0	33,0	21,6
3,4	7,0	5,0	12,4	8,0	18,0	13,4	40,0	22,0
3,6	7,6	5,2	13,6	8,5	20,0	13,5	48,0	22,8
3,8	8,2	5,4	15,4	9,0	24,0	14,0	58,0	23,2
4,0	9,0	5,6	18,4	9,4	30,0	14,2		24,0
4,2	10,6	5,8	20,0	9,5	36,0	14,5		27,0
4,4	12,0	6,0	25,0	9,6	44,0	14,6		31,0
4,6	15,0	6,2	30,0	9,8	50,0	15,0		35,0
4,8	18,0	6,4	38,0	10,0		15,4		40,0
5,0	19,6	6,6		10,2		15,5		46,0
5,2	24,6	6,8		10,5		16,0		52,0
5,4	29,6	7,0		10,6		18,0		58,0
5,6	37,6	7,4		11,0		18,4		66,0
5,8		8,0		12,0		20,0		74,0
6,0		8,6		13,0		22,0		84,0

Figura 20. Secciones para las poleas

3.4.3.1. Velocidad de la banda

La velocidad de la banda se calcula utilizando la ecuación siguiente:

$$V = \frac{\pi * d * n}{12}$$

[11]

Donde:

V = velocidad de la banda

d = diámetro primitivo de una de las poleas

n = velocidad de giro de la misma polea

$$V = \frac{\pi * 12 \text{ in} * 350 \text{ rpm}}{12}$$

$$V = 1099.55 \text{ pie/min}$$

$$V = 5.58 \text{ m/s}$$

En el sistema de poleas en V , la velocidad de la banda se fijó en 1099.55 pies por minuto, lo cual se sitúa dentro del intervalo deseado de 1000 a 4000 pies por minuto. Esta velocidad se considera aceptable, presentando una variación se mantiene dentro de los márgenes permitidos, asegurando que la máquina opere de manera adecuada bajo su configuración actual.

MATERIAL		VELOCIDAD
Fundición gris	GG 20	33 m/s
Fundición nodular	GGG 40	41 m/s
Aluminio	A329	33 m/s
Fundición de acero	1020	45 m/s
Acero laminado	1020	61 m/s

m/s= metros por segundo

Figura 21. Velocidades máximas según el material de la polea [37]

La selección del material para la polea no es arbitraria, a pesar de que su velocidad se encuentre dentro del rango permitido para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema.

Distancia entre centros y longitud de la banda

$$\text{Distancia entre centros } (C) = 800 \text{ mm}$$

$$C_{m\acute{a}x} = 2 * (D + d) \quad [12]$$

$$C_{min} = 0.7 * (D + d) \quad [13]$$

Donde:

$C_{m\acute{a}x}$ = distancia máxima entre centros

C_{min} = distancia mínima entre centros

$$C_{m\acute{a}x} = 2 * (330 + 66)mm$$

$$C_{m\acute{a}x} = 792 \text{ mm}$$

$$C_{min} = 0.7 * (330 + 66)m$$

$$C_{min} = 277.2mm$$

Tras verificar la distancia entre centros sugerida, se determina la longitud de la banda aplicando la siguiente fórmula:

$$L_p = 2 * C + 1.57 * (D + d) + \frac{(D + d)^2}{4 * C} \quad [14]$$

Donde:

L_p = longitud de la correa

$$L_p = 2 * 800mm + 1.57 * (330 + 66) + \frac{(330 + 66)^2mm}{4 * 800mm}$$

$$L_p = 2270.7 \text{ mm}$$

$$L_p = 89.4 \text{ in}$$

Según el cálculo la longitud de correa equivale a 89.4 in por lo que se selecciona la correa A90 según la Figura 22. Secciones de correas [35].

SECCION A			SECCION B			SECCION C		
FAJA Nº	LONG. PASO PULG.	K _L	FAJA Nº	LONG. PASO PULG.	K _L	FAJA Nº	LONG. PASO PULG.	K _L
A26	27,3	0,81	B35	36,8	0,81	C51	53,9	0,80
A31	32,3	0,84	B38	39,8	0,83	C60	62,7	0,82
A33	34,3	0,85	B42	43,8	0,85	C68	70,9	0,85
A35	36,3	0,87	B46	47,8	0,87	C75	77,9	0,87
A36	37,3	0,87	B51	52,8	0,89	C81	83,9	0,89
A38	39,3	0,88	B53	54,8	0,89	C85	87,9	0,90
A40	41,3	0,89	B55	56,8	0,90	C90	92,9	0,91
A42	43,3	0,90	B58	59,8	0,91	C96	98,9	0,92
A43	44,3	0,90	B60	61,8	0,92	C100	102,9	0,92
A46	47,3	0,92	B62	63,8	0,92	C105	107,9	0,94
A48	49,3	0,93	B64	65,8	0,93	C112	114,9	0,95
A51	52,3	0,94	B66	67,8	0,93	C120	122,9	0,97
A53	54,3	0,95	B68	69,8	0,95	C124	126,9	0,97
A55	56,3	0,96	B71	72,8	0,95	C128	130,9	0,98
A58	59,3	0,97	B75	76,8	0,97	C136	138,9	0,99
A60	61,3	0,98	B78	79,8	0,97	C144	146,9	1,00
A62	63,3	0,98	B81	82,8	0,98	C158	160,9	1,02
A64	65,3	0,99	B83	84,8	0,98	C162	164,9	1,03
A66	67,3	0,99	B85	86,8	0,99	C173	175,9	1,04
A68	69,3	1,00	B90	91,8	1,00	C180	182,9	1,05
A71	72,3	1,01	B93	94,8	1,01	C195	197,9	1,07
A75	76,3	1,02	B97	98,8	1,02	C210	212,9	1,08
A78	79,3	1,03	B103	104,8	1,03	C225	225,9	1,10
A80	81,3	1,04	B105	106,8	1,04	C240	240,9	1,11
A85	86,3	1,05	B112	113,8	1,05	C255	255,9	1,12
A90	91,3	1,06	B120	121,8	1,07	C270	270,9	1,14
A96	97,3	1,08	B128	129,8	1,08	C300	300,9	1,16
A105	106,3	1,10	B136	137,8	1,09	C330	330,9	1,19
A112	113,3	1,11	B144	145,8	1,11	C360	360,9	1,21
A120	121,3	1,13	B158	159,8	1,13	C390	390,9	1,23
A128	129,3	1,14	B173	174,8	1,15	C420	420,9	1,24

Figura 22. Secciones de correas [35]

Vida útil de la banda

Después de completar la etapa de selección de los elementos del sistema de transmisión, se continúa con la evaluación de las tensiones en la correa para determinar la durabilidad de los componentes (Figura 23. Geometría banda abierta.).

Geometría de banda abierta

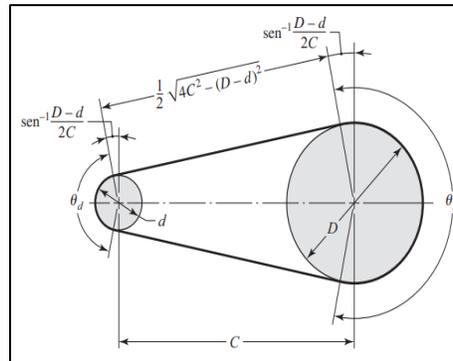


Figura 23. Geometría banda abierta.

$$\theta_d = \pi - 2 * \text{sen}^{-1} \left(\frac{D - d}{2 * C} \right) \quad [15]$$

$$\theta_D = \pi + 2 * \text{sen}^{-1} \left(\frac{D - d}{2 * C} \right)$$

Donde:

θ_d = ángulo de contacto polea conductora

θ_D = ángulo de contacto polea conducida

$$\theta_d = \pi - 2 * \text{sen}^{-1} \left(\frac{330\text{mm} - 66\text{mm}}{2 * 800\text{mm}} \right)$$

$$\theta_d = 2.81 \text{ rad}$$

$$\theta_d = 161^\circ$$

$$\theta_D = \pi + 2 * \text{sen}^{-1} \left(\frac{330\text{mm} - 66\text{mm}}{2 * 800\text{mm}} \right)$$

$$\theta_D = 3.47 \text{ rad}$$

$$\theta_D = 198.81^\circ$$

Tensión centrífuga

La fuerza centrífuga genera una tensión tangencial la cual se calcula con la siguiente fórmula:

$$F_c = K_c \left(\frac{V}{1000} \right)^2 \quad [16]$$

Donde:

F_c = tensión tangencial debida a la fuerza centrífuga

K_c = factor de corrección de longitud de banda

Factor de corrección de la banda

Sección de la banda	K_b	K_c
A	220	0.561
B	576	0.965
C	1 600	1.716
D	5 680	3.498
E	10 850	5.041

Figura 24. Secciones de la banda [34]

$$F_c = 0.561 \left(\frac{1099.55 \text{ pie}/\text{min}}{1000} \right)^2$$

$$F_c = 0.68 \text{ lbf}$$

$$F_c = 3.02 \text{ N}$$

Ecuación fundamental de la correa

Esta ecuación establece una correlación entre múltiples variables, entre las cuales se incluye el ángulo de la garganta, fijado en 40° para una correa tipo A, así como las tensiones objetivo representadas de manera más precisa a continuación (Figura 25. Representación fundamental de la correa [38]):

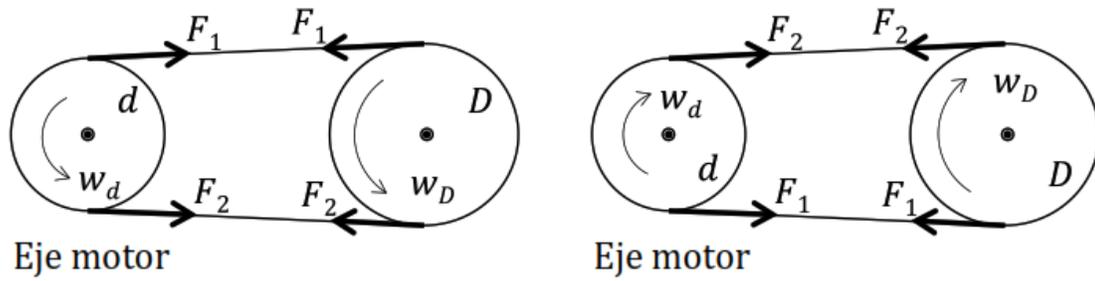


Figura 25. Representación fundamental de la correa [38]

$$\frac{F_1 - F_c}{F_2 - F_c} = e^{\left(\frac{f \cdot \theta_D}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\right)} \quad [17]$$

Donde:

F_1 = fuerza en el lado tirante

F_2 = fuerza en el lado flojo

α = ángulo de garganta de la correa

f = coeficiente de rozamiento de la polea

Este parámetro varía dependiendo del material de la polea rotativa y la correa, por lo que es esencial consultar a la Figura 26. Factores de fricción entre polea y correa [34] donde se verifica que su valor es de 0,30.

3.5.3.2. Factores de fricción entre polea y correa

Material de la correa	Material de la polea						
	Hierro Fundido			Madera	Papel comprimido	Superficie de cuero	Superficie de caucho
	Seco	Mojado	Ingrasado				
Cuero curtido con tanino de roble	0.25	0.20	0.15	0.30	0.33	0.38	0.40
Cuero al cromo curtido	0.35	0.32	0.22	0.40	0.45	0.48	0.50
Lona tejida	0.20	0.15	0.12	0.23	0.25	0.27	0.30
Algodón tejido	0.22	0.15	0.12	0.25	0.28	0.27	0.30
Caucho	0.30	0.18	-	0.32	0.35	0.40	0.42
Balata	0.32	0.20	-	0.35	0.38	0.40	0.42
Caucho con recubrimiento y Caucho tejido	0.32	0.15	-	0.35	0.38	-	-
Poliamida	0.50 a 0.80						
Uretano	0.70						

Figura 26. Factores de fricción entre polea y correa [34]

Sustituir

$$\frac{F_1 - 3.02N}{F_2 - 3.02N} = e^{\left(\frac{0.30 \cdot 3.47 \text{ rad}}{\text{sen}\left(\frac{40^\circ}{2}\right)}\right)}$$

$$\frac{F_1 - 3.02N}{F_2 - 3.02N} = 21.09$$

3.4.3.3. Relación entre potencias y tensiones de la banda

La siguiente ecuación relaciona las tensiones objetivo con la potencia de diseño, previamente determinada anteriormente, la cual tiene un valor de 820.27 W.

$$P_d = V * (F_1 - F_2)$$

[18]

$$820.27 \text{ W} = 5.58 \text{ m/s} * (F_1 - F_2)$$

Los valores intermedios de las ecuaciones finales crean un sistema compuesto por dos ecuaciones con dos incógnitas. Cuando se fusiona y resolver este sistema, se determinan los valores correspondientes a las fuerzas en las secciones de la correa.

$$F_1 = 60.45 \text{ N}$$

$$F_1 = 13.59 \text{ lbf}$$

$$F_2 = 5.74 \text{ N}$$

$$F_2 = 1.29 \text{ lbf}$$

Tensiones debido a la flexión en la banda

$$T_1 = F_1 + \frac{K_b}{d}$$

$$T_2 = F_1 + \frac{K_b}{D}$$

Donde:

T_1 y T_2 = picos máximos de tensión en la banda

K_b = factor de corrección de la banda

Tomando de referencia la figura 26 ya mostrada anteriormente:

Sección de la banda	K_b	K_c
A	220	0.561
B	576	0.965
C	1 600	1.716
D	5 680	3.498
E	10 850	5.041

Figura 27. Tensiones debido a la flexión en la banda [34]

$$T_1 = 13.59 \text{ lbf} + \frac{220}{2.5 \text{ in}}$$

$$T_1 = 101.59 \text{ lbf}$$

$$T_2 = 13.59 \text{ lbf} + \frac{220}{12 \text{ in}}$$

$$T_2 = 31.92 \text{ lbf}$$

Número de pasadas:

Las bandas suelen fallar debido a la fatiga, por lo que es esencial determinar el número máximo de ciclos que la banda es capaz de resistir sin afectar el rendimiento óptimo del equipo. El desgaste generado en cada rotación completa se determina a través de la fórmula siguiente:

$$N_p = \left[\left(\frac{K}{T_1} \right)^{-b} + \left(\frac{K}{T_2} \right)^{-b} \right]^{-1}$$

[19]

Donde:

N_p = cantidad de pasadas de la banda

K = parámetro de durabilidad

b = parámetro de durabilidad

La resistencia y vida útil de la banda están directamente relacionadas con su clasificación específica. En el gráfico adjunto se muestran las características técnicas correspondientes a una banda clasificada como tipo A, en la cual el diámetro de la polea principal coincide aproximadamente con las dimensiones seleccionadas en la etapa de diseño Figura 28.

Sección de la banda	10 ⁸ a 10 ⁹ picos de fuerza		10 ⁹ a 10 ¹⁰ picos de fuerza		Diámetro mínimo de polea, pulg
	K	b	K	b	
A	674	11.089			3.0
B	1 193	10.926			5.0
C	2 038	11.173			8.5
D	4 208	11.105			13.0
E	6 061	11.100			21.6
3V	728	12.464	1 062	10.153	2.65
5V	1 654	12.593	2 394	10.283	7.1
8V	3 638	12.629	5 253	10.319	12.5

Figura 28. Sección de bandas con picos de fuerza [34]

Donde finalmente:

$$N_p = \left[\left(\frac{674}{101.59 \text{ lbf}} \right)^{-11.089} + \left(\frac{674}{31.92 \text{ lbf}} \right)^{-11.089} \right]^{-1}$$

$$N_p = 1.39 (10^9) \text{ pasadas}$$

3.4.3.4. Diseño del eje del mecanismo de giro

La concepción de este elemento resulta fundamental, puesto que está destinado a absorber las cargas generadas por el sistema giratorio en su totalidad. En consecuencia, resulta imprescindible ejecutar un estudio de fuerzas en equilibrio que permita evaluar las tensiones aplicadas sobre el componente principal. Complementariamente, la aplicación de criterios de resistencia cíclica garantizará su funcionamiento prolongado, minimizando las probabilidades de ruptura ocasionadas por esfuerzos periódicos.

3.4.3.5. Análisis estático del eje motriz

En este apartado resulta crucial determinar y posicionar adecuadamente cada una de las cargas concentradas. El proceso inicia con el cálculo del peso total del sistema giratorio, el cual comprende tanto los bastidores de soporte como sus bases de sustentación y los paneles completamente cargados con el producto apícola.

El cálculo del valor másico se realiza empleando el software SolidWorks en su versión 2023, obteniendo como resultado un valor de 21 kg. Posteriormente, se efectúa la determinación de la fuerza gravitatoria actuante sobre el sistema mediante la aplicación de la fórmula que se expone a continuación:

$$W_E = M_E * g \quad [20]$$

Donde

W_E = peso de la estructura giratoria

M_E = masa de la estructura giratoria

g = gravedad

$$W_E = 21 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W_E = 206.01 \text{ N}$$

Del mismo modo, se determina el peso de la polea accionada, que tiene una masa es de 1,1 kg. La ecuación utiliza para este cálculo es la siguiente:

$$W_P = M_P * g \quad [21]$$

Donde

W_P = peso de la polea conducida

M_P = masa de la polea conducida

$$W_P = 1.1 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$W_P = 10.79 \text{ N}$$

Diagrama de cuerpo libre (DCL) del eje motriz

Las cargas previamente determinadas se distribuyen uniformemente sobre el componente rotatorio, considerando adicionalmente las fuerzas de apoyo originadas por los cojinetes ubicados en las posiciones B y C, tal como representa gráficamente en la figura 29 que se muestra a continuación:

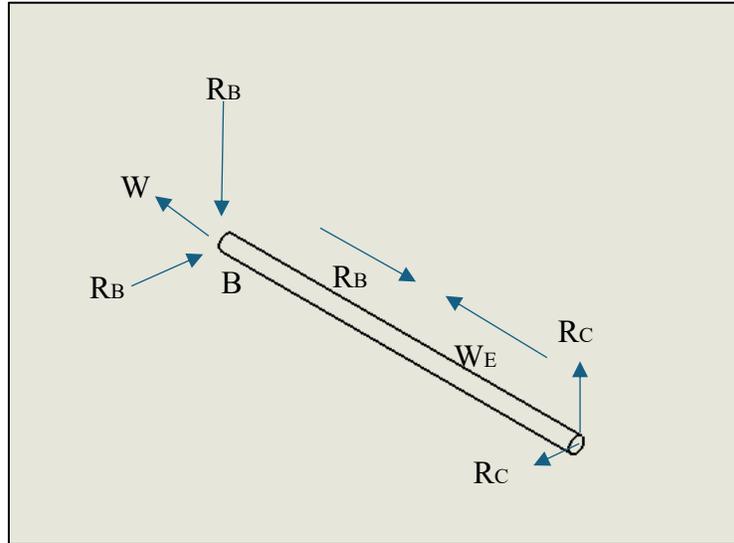


Figura 29. Fuerzas que actúan sobre el eje.

La determinación de las fuerzas de apoyo en los cojinetes requiere la alineación precisa de todas las cargas con respecto al sistema de referencia cartesiano. Por este motivo, se realiza el ajuste correspondiente a las tensiones presentes en la polea impulsada, proceso se encuentra detallado en la figura 30:

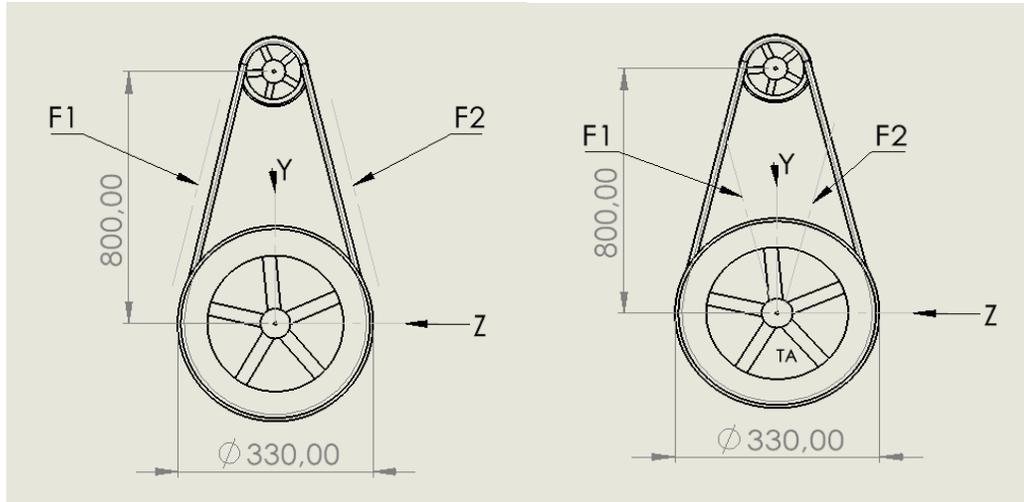


Figura 30. Fuerzas tensionales de la polea accionada

La determinación de las componentes vectoriales correspondientes en el sistema de referencia cartesiano requiere el cálculo previo del ángulo β , parámetro que se define mediante la expresión matemática que se presenta a continuación, cuyos términos guardan relación directa con las características geométricas del mecanismo de transmisión de potencia.

$$\beta = \frac{57}{2} \left(\frac{D - d}{C} \right) \quad [22]$$

$$\beta = \frac{57}{2} \left(\frac{330\text{mm} - 66\text{mm}}{800\text{mm}} \right)$$

$$\beta = 9.41^\circ$$

Una vez determinado este ángulo, se procede a determinar las fuerzas equivalentes en los ejes coordenados empleando las ecuaciones siguientes para el eje Z y el eje Y. Estas ecuaciones implican una suma de fuerzas actuantes en la posición A.

$$F_{AZ} = (F_1 - F_2) * \sin(\beta) \quad [23]$$

$$F_{AZ} = (60.45 \text{ N} - 5.74 \text{ N}) * \sin(9.41^\circ)$$

$$F_{AZ} = 8.95 \text{ N}$$

$$F_{AY} = (F_1 + F_2) * \cos(\beta) \quad [24]$$

$$F_{AY} = (60.45 \text{ N} + 5.74 \text{ N}) * \cos(9.41^\circ)$$

$$F_{AY} = 65.30 \text{ N}$$

Durante el ajuste de estas fuerzas de tensión, se produce un torque T_A , que se determina mediante la siguiente ecuación.

$$T_A = (F_1 - F_2) * \frac{D}{2} \quad [25]$$

$$T_A = (60.45 \text{ N} - 5.74 \text{ N}) * \frac{330 \text{ mm}}{2}$$

$$T_A = 9.027,15 \text{ N} * \text{ mm}$$

Seguidamente, se pretende establecer los montos de las respuestas de las chumaceras, iniciando con el análisis vectorial de las cargas aplicadas sobre el componente rotatorio en el plano X-Y, conforme se exhibe en la próxima ilustración. Luego, se efectúan las sumas pertinentes de fuerzas y momentos para calcular las respuestas RBY y RCY como se observa en la Figura 31. Esquema de representación de fuerzas.

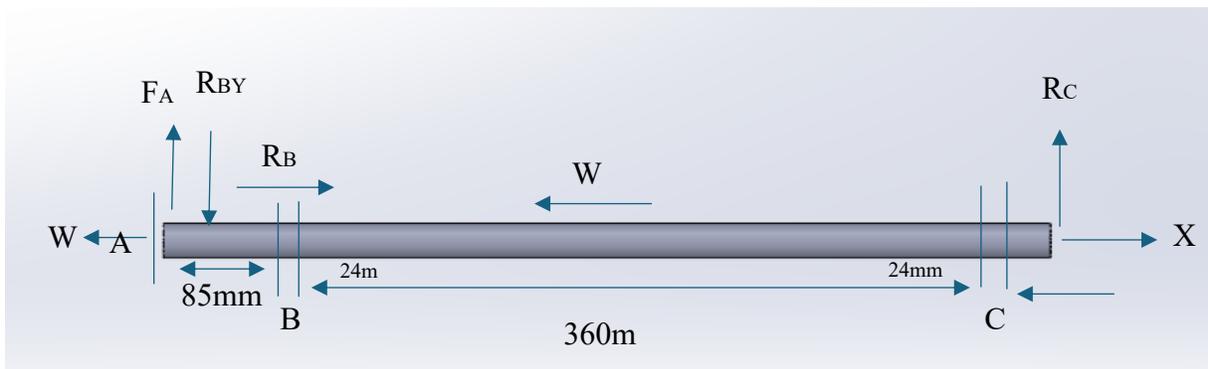


Figura 31. Esquema de representación de fuerzas.

$$\Sigma M_B = 0$$

$$-F_{AY} * (85 \text{ mm}) + R_{CY} * (408 \text{ mm}) = 0$$

$$-F_{AY} * (85 \text{ mm}) + R_{CY} * (408 \text{ mm}) = 0$$

$$R_{CY} = \frac{F_{AY} * (85 \text{ mm})}{408 \text{ mm}}$$

$$R_{CY} = \frac{65.30 \text{ N} * (85 \text{ mm})}{408 \text{ mm}}$$

$$R_{CY} = 13.60 \text{ N}$$

$$\Sigma F_Y = 0$$

$$F_{AY} - R_{BY} + R_{CY} = 0$$

$$R_{BY} = F_{AY} + R_{CY}$$

$$R_{BY} = 65.30 \text{ N} + 13.60 \text{ N}$$

$$R_{BY} = 78.9 \text{ N}$$

Las fuerzas que actúan sobre el eje en el plano X-Z se ilustran de forma análoga a como se exhibe en la Figura 32. Esquema de representación de fuerzas. A partir de esto, se procede a calcular las sumas respectivas de fuerzas y momentos con el fin de determinar las reacciones RBZ, RCZ y RBX.

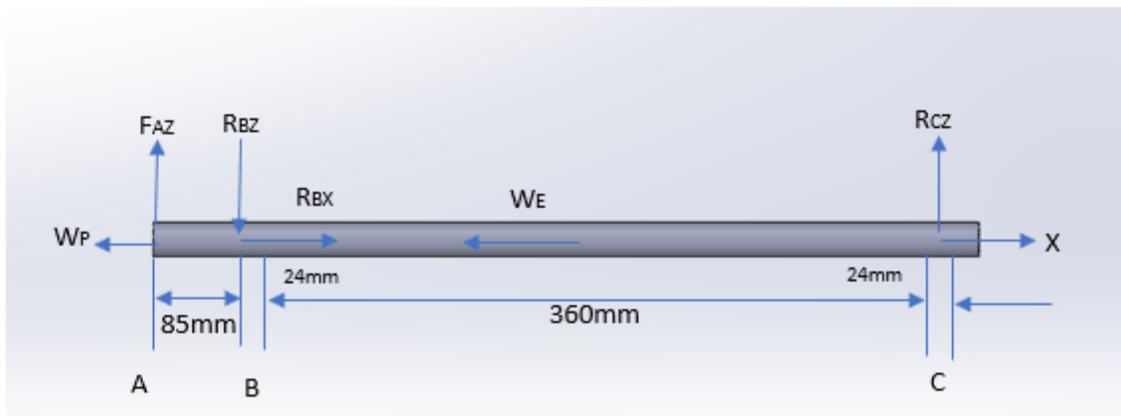


Figura 32. Esquema de representación de fuerzas.

$$\Sigma M_B = 0$$

$$-F_{AZ} * (85 \text{ mm}) + R_{CZ} * (408 \text{ mm}) = 0$$

$$R_{CZ} = \frac{F_{AZ} * (85 \text{ mm})}{408 \text{ mm}}$$

$$R_{CZ} = \frac{8.95 \text{ N} * (85 \text{ mm})}{408 \text{ mm}}$$

$$R_{CZ} = 1.86 \text{ N}$$

$$\Sigma F_Z = 0$$

$$F_{AZ} - R_{BZ} + R_{CZ} = 0$$

$$R_{BZ} = F_{AZ} + R_{CZ}$$

$$R_{BZ} = 8.95 \text{ N} + 1.86 \text{ N}$$

$$R_{BZ} = 10.81 \text{ N}$$

$$\Sigma F_X = 0$$

$$-W_p + R_{BX} - W_E = 0$$

$$R_{BX} = W_p + W_E$$

$$R_{BX} = 10.79 \text{ N} + 206.01 \text{ N}$$

$$R_{BX} = 216.8 \text{ N}$$

Diagrama de fuerza cortante y momento flector

Tras calcular las fuerzas que actúan sobre el eje, se generan los diagramas necesarios en cada plano para identificar el momento flector máximo, un dato crucial en el diseño del eje frente a la fatiga. Es importante destacar que el análisis de los momentos flectores se enfoca en los puntos críticos, denominados concentradores de tensión, que corresponden a zonas donde la sección del eje sufre variaciones bruscas. Estos puntos se localizan, por ejemplo, justo después del punto B (B') y antes del punto C (C'), como se ilustra en la Figura 33.

Diagrama de fuerzas cortantes en el plano X-Y

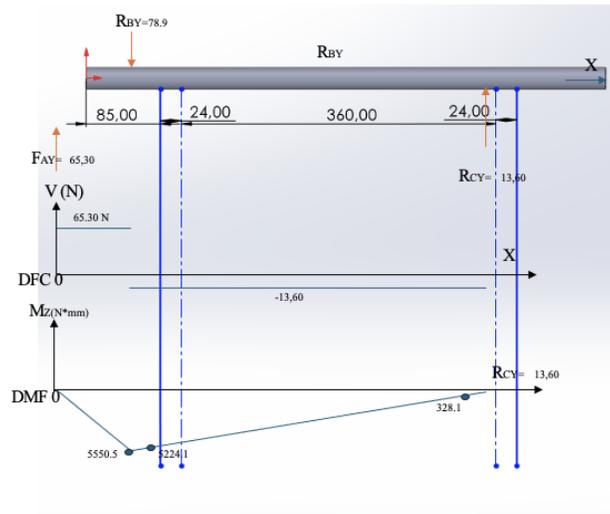


Figura 33. Diagrama de fuerzas cortantes en el plano X-Y

Monto flecto del plano X-Y es el siguiente

$$M_{B'X-Y} = 5224.1 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{C'X-Y} = 328.1 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Diagrama de fuerzas cortante y momento en el plano X-Z

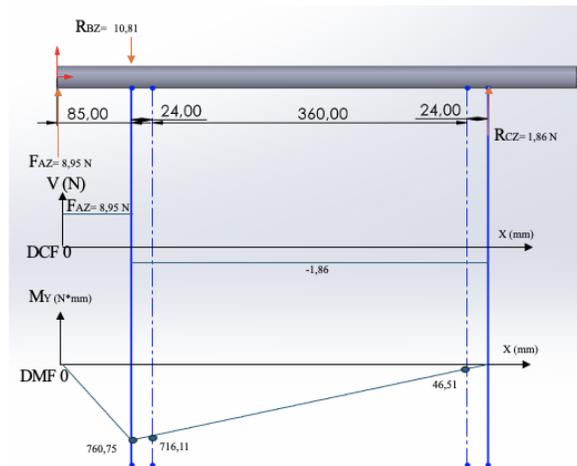


Figura 34. Diagrama de fuerzas cortantes en el plano X-Y

Diagrama de fuerzas cortantes en el plano X-Y

Monto flecto del plano X-Z es el siguiente

$$M_{B'X-Z} = 716,11 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{C'X-Z} = 46,51 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Punto crítico

La identificación del punto crítico requiere el uso de las fórmulas adecuadas, para comparar sus resultados y establecer cuál es el valor más elevado, que es crucial para la planificación.

$$M_{B'} = \sqrt{(M_{B'X-Y})^2 + (M_{B'X-Z})^2} \quad [26]$$

$$M_{B'} = \sqrt{(5224,1 \text{ N} \cdot \text{mm})^2 + (716,11 \text{ N} \cdot \text{mm})^2}$$

$$M_{B'} = 5272,95 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{C'} = \sqrt{(M_{C'X-Y})^2 + (M_{C'X-Z})^2} \quad [27]$$

$$M_{C'} = \sqrt{(328,1 \text{ N} * \text{mm})^2 + (46,51 \text{ N} * \text{mm})^2}$$

$$M_{C'} = 331,38 \text{ N} * \text{mm}$$

$$\therefore M_{B'} > M_{C'}$$

Tras localizar el único punto crucial B', conforme se ilustra en la figura 35, se determina un momento fijo de 9027,15 N*mm. Se que el tramo A-B está bajo tensión y la región B-C bajo compresión. Con estos datos, se progresa en la planificación del eje, enfocándose en comprobar el margen de seguridad con el grosor seleccionado, examinando concretamente los puntos B y C debido a los puntos de esfuerzo concentrado.

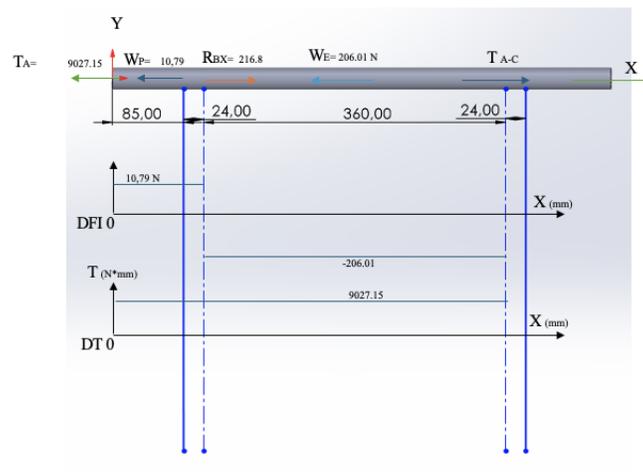


Figura 35. Cálculo de punto crítico.

Diseño del eje a fatiga

Es relevante resaltar que al referirse al punto B, en realidad se está aludiendo al punto B', que corresponde a la ubicación del concentrador de tensiones. Dicho material empleado es Acero Inoxidable AISI 304 de grado alimentario, cuyas características mecánicas se describen en el siguiente gráfico:

EJES

ACERO INOXIDABLE

Especificaciones Generales:

Norma: AISI 304

Descripción: Acero Inoxidable austenítico al cromo-níquel con bajo contenido de carbono. Resiste a la corrosión intercrystalina hasta 300 C. Resiste al efecto corrosivo del medio ambiente, vapor, agua y ácidos, así como de soluciones alcalinas, si se emplea con la superficie pulida espejo.

Aplicaciones: Industrias alimenticias, cervecera, azucarera, utensillos domésticos, industria del cuero, farmacéutica, dental, etc...

Largo: 6 mts



COMPOSICIÓN QUÍMICA						
%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Cr
0 - 0,08	0 - 1	0 - 2	0 - 0,045	0 - 0,03	8 - 10,5	18 - 20

PROPIEDADES MECÁNICAS			
RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm ²)	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm ²)	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
520	220	20	249 - 278

DIMENSIONES
DIÁMETRO
3/16"
1/4"
5/16"
3/8"
1/2"
5/8"
3/4"
1"
1-1/4"
1-1/2"
2"
2-1/2"
3"
3-1/2"
4"
5"
6"

EJES

$$S_{ut} = 520 \text{ MPa}$$

$$S_y = 220 \text{ MPa}$$

Donde:

S_{ut} = resistencia a la ruptura

S_y = resistencia a la fluencia

Factores que modifican la fatiga

Ahora se procede a la determinación del límite de fatiga real del material a través de la siguiente ecuación matemática.

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * S'_e \quad [28]$$

Donde:

S_e = límite a la fatiga real

k_a = factor de superficie

k_b = factor de tamaño

k_c = factor de modificación de carga

k_d = factor de temperatura

k_e = factor de confiabilidad

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

Para saber el valor de S'_e se da con la siguiente ecuación

$$\text{Si } S_{ut} \leq 1.400 \text{ MPa} \quad S'_e = 0,5 * S_{ut}$$

$$\text{Si } S_{ut} \leq 1.400 \text{ MPa} \quad S'_e = 700 \text{ MPa}$$

$$S'_e = 0,5 * S_{ut}$$

$$S'_e = 0,5 * 520 \text{ MPa}$$

$$S'_e = 260 \text{ MPa}$$

Factor de acabado superficial:

$$k_a = 4.51 * (520MPa)^2$$

$$k_a = 0.86$$

Índice de dimensión: en este entorno, es relevante señalar que la determinación del grosor para el eje fue afectada por la accesibilidad de los soportes, los cuales muestran una medida de 3/4 de pulgada (19,05 mm).

$$k_b = 1.24 * (520 MPa)^{-0.265}$$

$$k_b = 0.90$$

Factor de carga: Este factor está incluido en la ecuación de Von Mises, teniendo en cuenta el doblamiento.

$$k_c = 1$$

Factor de temperatura: Este factor considera que el equipo opera a temperatura estándar.

$$k_d = 1$$

Factor de confiabilidad: Se aplica este factor asumiendo una fiabilidad del 99%.

$$k_e = 1 - 0.08 * 2.326$$

$$k_e = 0.81$$

Reemplazando:

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

$$S_e = 0.86 * 0.90 * 1 * 1 * 0.81 * 260 MPa$$

$$S_e = 163 MPa$$

Tablas de Marín

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S _{utr} , kpsi	S _{utr} , MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Confiabilidad, %	Variación de transformación z _a	Factor de confiabilidad k _e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Figura 36. Valores de Marín

Esfuerzos alternantes y medios de Von Mises

A continuación, se inicia el proceso de determinación de los esfuerzos normales generados por la carga axial, el momento flector y la torsión, aplicando las fórmulas correspondientes.

$$\sigma_{flexión} = \frac{32 * M_f}{\pi * D^3} \quad [29]$$

$$\tau_{torsión} = \frac{16 * T}{\pi * D^3} \quad [30]$$

$$\sigma_{axial} = \frac{4 * P}{\pi * D^2} \quad [31]$$

Donde:

$\sigma_{flexión}$ = esfuerzo debido al momento flector

M_f = momento flector

D = diámetro del eje

$\tau_{torsión}$ = esfuerzo debido al momento torsor

T = momento torsor

σ_{axial} = esfuerzo debido a la carga axial

P = fuerza axial

$$\sigma_{flexión} = \frac{32 * 5272,95 \text{ N} * \text{mm}}{\pi * 19,05 \text{mm}^3}$$

$$\sigma_{flexión} = 7,76 \text{ MPa}$$

$$\tau_{torsión} = \frac{16 * 9027,15 \text{ N} * \text{mm}}{\pi * 19,05 \text{mm}^3}$$

$$\tau_{torsión} = 6,65 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{axial} = \frac{4 * 10,79 \text{ N}}{\pi * 19,05 \text{mm}^2}$$

$$\sigma_{axial} = 0,038 \text{ MPa}$$

Para el cálculo de los esfuerzos variables se aplican las ecuaciones siguientes:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_m = \frac{\sigma_{máx} + \sigma_{mín}}{2} \\ \tau_m = \frac{\tau_{máx} + \tau_{mín}}{2} \end{array} \right.$$

[32]

$$\begin{cases} \sigma_a = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{m\acute{i}n}}{2} \\ \tau_a = \frac{\tau_{m\acute{a}x} - \tau_{m\acute{i}n}}{2} \end{cases}$$

[33]

$$\tau_{m \text{ torsión}} = \frac{(6.65 - 6.65)MPa}{2} = 0 MPa$$

$$\tau_a \text{ torsión} = \frac{[6.65 - (-6.65)]MPa}{2} = 6.65 MPa$$

$$\sigma_{m \text{ flexión}} = \frac{(7.76 - 7.76)MPa}{2} = 0 MPa$$

$$\sigma_a \text{ flexión} = \frac{[7.76 - (-7.76)]MPa}{2} = 7.76 MPa$$

$$\sigma_{m \text{ axial}} = \frac{(0.038 + 0.038)MPa}{2} = 0.038 MPa$$

$$\sigma_a \text{ axial} = \frac{[0.038 - 0.038]MPa}{2} = 0 MPa$$

Concentradores de esfuerzos

En primer lugar, se procede a calcular los focos de tensión estática empleando los gráficos adjuntos. Es vital considerar las medidas de las alteraciones de la sección en el eje, tal y como se muestra en el dibujo que sigue.

Dimensiones del cambio de sección en el punto B en mm, pasar dichas unidades a pulgadas

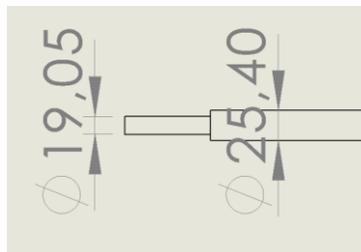


Figura 37. Focos de tensión estática

$$19.05\text{mm} = 0.75 \text{ in}$$

$$25.40\text{mm} = 1 \text{ in}$$

Concentradores de esfuerzos estáticos:

$$K_{t \text{ axial}} = 1.4$$

$$K_{t \text{ flexión}} = 2.75$$

$$K_{ts \text{ torsión}} = 2.1$$

Resultados de fluidez cortante y sensibilidad:

$$q = 0.60$$

$$q_{\text{cortante}} = 0.88 \text{ unidades}$$

A continuación, se determinan los valores de los factores de concentración de esfuerzo K_f y K_{fs} utilizando las siguientes ecuaciones.

$$K_f = 1 + q * (K_t - 1) \quad [34]$$

$$K_{fs} = 1 + q_{\text{cortante}} * (K_{ts} - 1)$$

$$K_{t \text{ axial}} = 1 + 0.60 * (1.4 - 1) = 1,24$$

$$K_{t \text{ flexión}} = 1 + 0.60 * (2,75 - 1) = 2.05$$

$$K_{ts \text{ torsión}} = 1 + 0.88 * (2,1 - 1) = 1,97$$

Criterio de Von Mises

Después de recopilar los datos, se aplican las fórmulas de Von Mises, considerando la energía de distorsión:

$$\begin{aligned} & \sigma'_a \\ & = \sqrt{\left(K_{f \text{ flexión}} * \sigma_a + K_{f \text{ axial}} * \frac{\sigma_a \text{ axial}}{0.85}\right)^2 + 3(K_{fs \text{ torsión}} * \tau_a \text{ torsión})^2} \quad [35] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \sigma'_m \\ & = \sqrt{\left(K_{f \text{ flexión}} * \sigma_m \text{ flexión} + K_{f \text{ axial}} * \sigma_m \text{ axial}\right)^2 + 3(K_{fs \text{ torsión}} * \tau_m \text{ torsión})^2} \quad [36] \end{aligned}$$

Donde:

σ'_a = esfuerzo alternante equivalente de Von Mises

σ'_m = esfuerzo medio equivalente de Von Mises

$$\sigma'_a = \sqrt{\left(2.05 * 7.76 MPa + 1.24 * \frac{0 MPa}{0.85}\right)^2 + 3(1.97 * 6.65 MPa)^2}$$

$$\sigma'_a = 25.06 MPa$$

$$\sigma'_m = \sqrt{(2.05 * 0 MPa + 1.24 * 0.038 MPa)^2 + 3(1.97 * 0 MPa)^2}$$

$$\sigma'_m = 0.047 MPa$$

Factor de seguridad del eje

El factor de seguridad se determina considerando el criterio de Soderberg para una vida infinita, tal como se indica en la siguiente ecuación.

$$n = \frac{1}{\left(\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_y}\right)} \quad [37]$$

Donde:

n = factor de seguridad

$$n = \frac{1}{\left(\frac{25.06 MPa}{163 MPa} + \frac{0.047 MPa}{220 MPa}\right)}$$

$$n = 6.49$$

En síntesis, el alto índice de protección se atribuye a la selección del grosor del eje fundamentada en la existencia de cojinetes estándar, eludiendo la búsqueda infructuosa de cojinetes con un grosor menor. Dada la oferta limitada en el mercado, es factible conservar el grosor elegido para el debido eje.

Selección de rodamientos

La selección cuidadosa de estos componentes garantiza el adecuado desempeño del dispositivo y facilita establecer un programa de mantenimiento anticipado que asegure la longevidad de los cojinetes. Se utilizó el manual "Cojinete SKF" para realizar la respectiva consulta.

Es recomendable mantener una temperatura de trabajo de 22°C para optimizar el rendimiento.

En el punto B, se encuentran las siguientes fuerzas actuantes:

$$R_{BY} = 78.9 \text{ N}, R_{Bz} = 10.81 \text{ N}, R_{BX} = 216.8 \text{ N}.$$

Además, el eje gira a una velocidad máxima de 350 rpp lo que es crucial para su correcto funcionamiento.

Tipos de rodamientos

Para que un rodamiento sea considerado para su selección, debe tener la capacidad de soportar cargas múltiples, como cargas axiales y radiales que actual al mismo tiempo Figura 38. Esto se puede observar en la ilustración próxima, donde la habilidad de soportar una carga axial se establece mediante el ángulo de inclinación α .

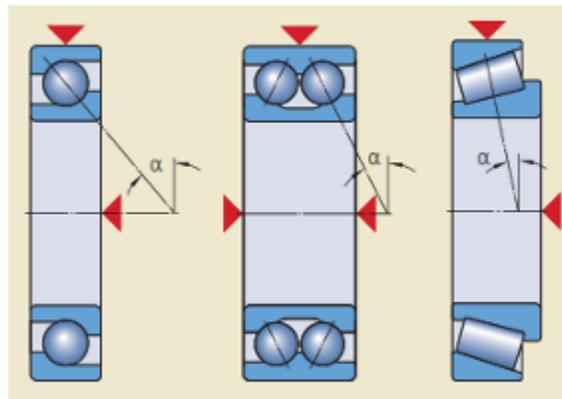


Figura 38. Tipos de rodamientos.

Para calcular la carga radial total, es crucial utilizar la siguiente ecuación, que toma en cuenta las reacciones R_{BY} y R_{BZ} . Conocer esta carga es fundamental para garantizar el correcto funcionamiento del rodamiento.

$$F_r = \sqrt{(R_{BY})^2 + (R_{BZ})^2} \quad [38]$$

Explicación:

F_r = carga radial real

$$F_r = \sqrt{(78.9N)^2 + (10.81N)^2}$$

$$F_r = 79.64 N$$

$$F_r = 0.079 kN$$

El paso siguiente consiste en emplear la ecuación para calcular el ángulo de contacto (α) entre las cargas axiales y radiales, como se indica en la siguiente ecuación. Este paso es crucial para comprender cómo se distribuyen y se equilibran las cargas dentro del sistema.

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{F_a}{F_r} \right) \quad [39]$$

α = ángulo de contacto entre cargas

F_a = carga axial real

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{0.217kN}{0.079kN} \right)$$

$$\alpha = 70^\circ$$

En la siguiente figura 39 se ve el posicionamiento del ángulo

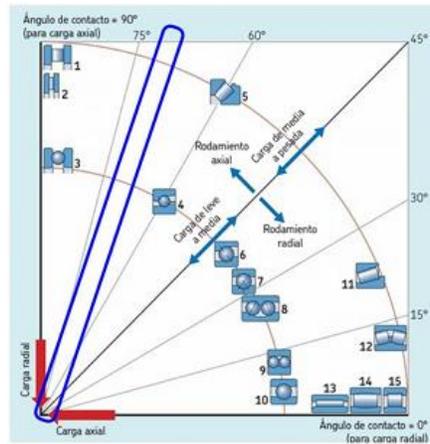


Figura 39. Posicionamiento del ángulo

Así, se amplían las opciones disponibles, destacando el ángulo calculado que se aproxima al límite de los cojinetes diseñados para cargas totalmente axiales. Por consiguiente, la alternativa óptima sería seleccionar un tipo de cojinete de esferas que se ubique en el extremo derecho de la serie.

En relación con el mantenimiento de la barra de inserción, es relevante señalar que este tipo de barra comúnmente se emplea en soportes y es apto para aplicaciones tanto continuas como intermitentes [39].

Propiedades mecánicas de los rodamientos

Dimensiones principales							Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga P_u	Velocidad límite con tolerancia del eje h6	Masa	Designación
d	D	B	C	d_1	s_1	$r_{1,2}$ min.	dinámica C	estática C_0				
pulg./mm	mm						kN	kN	r. p. m.	kg	-	
$\frac{1}{2}$ 12,7	40	27,4	12	24,2	15,9	0,3	9,56	4,75	0,2	9 500	0,12	YAR 203-008-2F
$\frac{5}{8}$ 15,875	40	22,5	12	24,2	16	0,3	9,56	4,75	0,2	9 500	0,1	YAT 203-010
$\frac{3}{4}$ 19,05	40	27,4	12	24,2	15,9	0,3	9,56	4,75	0,2	9 500	0,11	YAR 203-010-2F
$\frac{3}{4}$ 19,05	47	25,5	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	8 500	0,14	YAT 204-012
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	8 500	0,14	E2.YAR 204-012-2F
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	8 500	0,17	YAR 204-012-2F
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	8 500	0,16	YAR 204-012-2F/AH
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	5 000	0,16	YAR 204-012-2RF
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	10,8	6,55	0,28	5 000	0,16	YAR 204-012-2RF/HV

Figura 40. Propiedades mecánicas de los rodamientos

La fórmula desempeña una función crucial al iniciar el procedimiento de valoración de las cargas estos datos se consiguen en la Figura 40 que influyen en el eje al supervisar el coeficiente de seguridad fijo de la aplicación, tal como se indica en la fórmula siguiente:

$$P_0 = 0,6 * F_r + 0,5 * F_a$$

$$P_0 < F_r \rightarrow P_0 = F_r$$

Este paso es esencial para asegurar la integridad y el desempeño adecuado del sistema en distintas situaciones de carga.

Donde:

P_0 = carga estática equivalente

$$P_0 = 0,6 * 0,079 + 0,5 * 0,217 \text{ kN}$$

$$P_0 = 0,156 \text{ kN}$$

$$0,156 \text{ kN} > 0,071 \text{ kN}$$

Luego, el factor de seguridad para la carga estática se calcula utilizando la siguiente ecuación. El valor de C_0 se extrae de la anterior figura, el cual tiene un valor de 6,55 kN.

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0}$$

[40]

Explicación:

S_0 = factor de seguridad a carga estática

C_0 = capacidad de carga estática básica

$$S_0 = \frac{6,55 \text{ kN}}{0,156 \text{ kN}}$$

$$S_0 = 41,99$$

Vida útil del rodamiento

La duración de un rodamiento se define como el número de revoluciones o las horas de operación que puede resistir a una velocidad determinada antes de que se manifiesten indicios de fatiga en su superficie de contacto [39].

Este término viene dado por la siguiente ecuación.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad [41]$$

L_{10} = vida útil en millones de revoluciones o ciclos

C = capacidad de carga dinámica básica

p = exponente de la ecuación de la vida útil. $p = 3$ para rodamientos de bolas

P = carga dinámica equivalente del rodamiento S

Para obtener es te ultimo elemento se viene de la ecuación x que se ve a continuación:

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e \leftarrow P = F_r \quad [42]$$

$$\frac{F_a}{F_r} > e \rightarrow P = X * F_r + Y * F_a$$

Explicación:

e = límite para la relación de carga

X = factor de cálculo para la carga radial

Y= factor de cálculo para la carga axial

El cálculo se basa en la siguiente figura:

$f_0 F_a/C_0$	Series de rodamientos			Series de rodamientos tamaños	Factor f_0
	e	X	Y		
0,172	0,29	0,46	1,88	YAT 2, YAR 2, YARAG 2, YET 2, YEL 2, YELAG 2, YSP 2, YSPAG 2, YSA 2	13
0,345	0,32	0,46	1,71		
0,689	0,36	0,46	1,52		
1,03	0,38	0,46	1,41	17262	14
1,38	0,4	0,46	1,34		
2,07	0,44	0,46	1,23		
3,45	0,49	0,46	1,1	17263	12
5,17	0,54	0,46	1,01		
6,89	0,54	0,46	1		

Figura 41. Factores de cálculo para rodamientos de inserción.

Se considera un factor f_0 de 14 se realiza lo siguiente:

$$f_0 \frac{F_a}{C_0} = 14 * \frac{0,217kN}{6,55kN}$$

$$f_0 \frac{F_a}{C_0} = 0,462$$

Utilizando un método básico de estimación de valores intermedios proporcionados en la figura 41 anterior, se llegan a los siguientes resultados:

Fórmula de interpolación:

$$Y = Y_1 + \left[\left(\frac{X - X_1}{X_2 - X_1} \right) (Y_2 - Y_1) \right] \quad [43]$$

$$Y = 0,32 + \left[\left(\frac{0,463 - 0,345}{0,689 - 0,345} \right) (0,36 - 0,32) \right] = 0,33$$

$$e = 0,33$$

$$X = 0,46$$

$$Y = 1,64$$

Ahora se describe la conexión entre la carga radial:

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{0,217kN}{0,079kN}$$

$$\frac{F_a}{F_r} = 2,75$$

Como consecuencia de este proceso, la anterior ecuación arroja el valor real para la carga equivalente que soporta la varilla (P).

$$\frac{F_a}{F_r} > e \rightarrow P = X * F_r + Y * F_a$$

$$2,75 > 0,33$$

$$P = 0,46 * 0,079kN + 1,64 * 0,217kN$$

$$P = 0,392 kN$$

En otras palabras, bajo las condiciones específicas de carga y velocidad, se espera que el rodamiento realice 34.005,79 millones de ciclos antes de que el 10% de ellos presenten fallas por fatiga

$$L_{10} = \left(\frac{C}{p}\right)^p \quad [44]$$

$$L_{10} = \left(\frac{12,7 kN}{0,392 kN}\right)^3$$

$$L_{10} = 34.005,79 \text{ millones de ciclos}$$

Diseño del tanque de almacenamiento

La característica principal del proyecto es la aptitud de almacenamiento de la máquina; se extrae cerca de un litro de material de cada cuadro de miel. La máquina está diseñada para extraer la miel de forma continua hasta llenar dos recipientes sin requerir envasar el resultado definitivo.

Para comprobar la capacidad, se emplea la fórmula para calcular el volumen del espacio dedicado a almacenar el producto. Se contempla el mecanismo de rotación para determinar el radio del

cilindro, el cual resulta ser de 0,3 m, y se estima que la altura es de 0,057 m según se aprecia en el esquema siguiente:

$$V = 1000 * \pi * r^2 * h \quad [45]$$

Donde:

V = volumen de la sección de almacenamiento

r = radio de cilindro

h = altura del cilindro

$$V = 1000 * \pi * (0,3m)^2 * 0,057m$$

$$V = 16.12 L$$

3.5. Electrónica de la máquina centrifugadora de miel

Para esto será necesario de una conexión robusta industrial que está conformada de 1 disyuntor, 4 contactores, 1 relé térmico, 1 botón de pare, 1 botón de inicio, 3 timers, 3 luces piloto y 1 motor monofásico.

3.5.1. Cálculos de los aparatos eléctricos

Para calcular el circuito eléctrico se deben conocer todos los datos que ofrece el fabricante de motor, ya que en base a ello se obtendrá el cálculo para cada parte.

Sabiendo dicha información se puede obtener la corriente nominal para el Disyuntor con la siguiente fórmula:

$$I_n = \frac{P_E}{(\sqrt{3} * V * \cos \theta)} \quad [46]$$

Para calcular la corriente nominal se debe conocer el valor de P_E para lo cual se aplica la siguiente fórmula:

$$P_E = \frac{P_m}{n} \quad [47]$$

Se reemplaza:

$$P_E = \frac{372,85w}{0,95} = 392,47w = 0,53hp$$

El valor de 392,47w se reemplaza en la primera fórmula de la siguiente manera:

$$I_n = \frac{392,47w}{(\sqrt{3} * 110v * 0,37)} = 5,57 A$$

Este es el valor mínimo de amperaje que se necesita en el disyuntor (5,57 A). Ahora, se debe calcular el valor máximo de amperaje para que no exista daño en el motor, para lo cual se aplica la siguiente ecuación:

$$I_s = I_n * F_s \quad [48]$$

$$I_s = 5,57A * 1,25 = 7A$$

Contactores

Para calcular la sección de los contactores se puede elegir la categoría Ac-2 o Ac-4 que sirve para el frenado y la contracorriente para el motor de jaula o de anillos.

A continuación, en la figura 43 se presenta el diagrama del circuito eléctrico realizado en CADe_SIMU donde se separaron los cables por tres colores: rojo para línea, azul para neutro y verde para tierra:

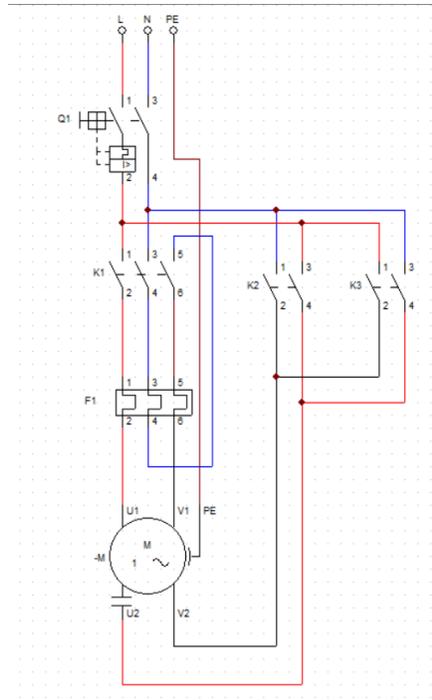
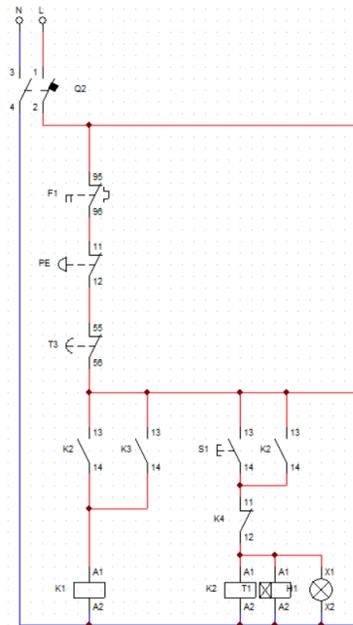


Figura 42. Circuito de control Timer 1 y 2



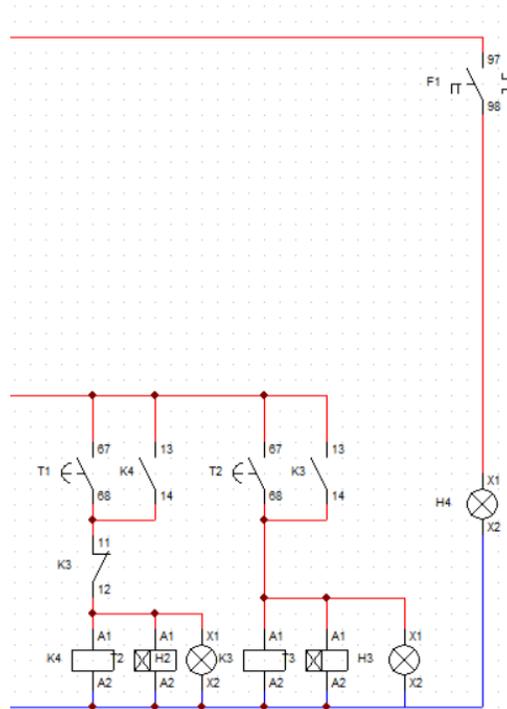


Figura 43. Circuito de control timer 3

En el diagrama del circuito (figura 43) se puede observar su correspondiente función donde todo el funcionamiento va con timers que ayudan a que la máquina sea semiautomática para su proceso de centrifugado de miel.

3.5.2. Parte electrónica de monitoreo

El diseño consta de dos sensores inductivos en la parte superior donde van las tapas metálicas estos sensores sirven como seguridad para el cliente ya que si no se detecta que el contenedor de miel esta cerrado la máquina no puede comenzar con su proceso.

3.5.2.1. Configuración

Pantalla Inicial: Muestra la información sobre la institución, nombre del estudiante creador y un botón para iniciar el proceso veremos su programación en la Figura 48. Código de programación.



Figura 44. Interfaz principal

Pantalla Secundaria: Presenta los tres tipos de tiempos y las RPM en las que la máquina puede operar Figura 45.



Figura 45. Segunda interfaz

Pantalla Terciaria: Muestra las RPM actuales y el tiempo restante en cuenta regresiva Figura 46.

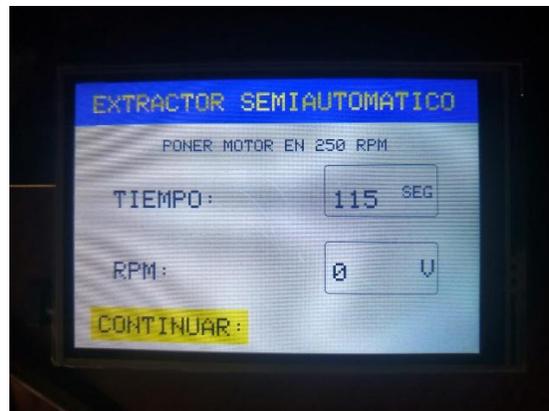


Figura 46. Tercer interfaz

Pantalla Cuarta: Presenta la pantalla final, que incluye un botón para regresar a la pantalla de inicio Figura 47.



Figura 47. Cuarta y última interfaz

En la Figura 48, se especifican los pines, niveles de velocidad, valores a equilibrar, y los códigos de colores correspondientes.

```

1 //Incluir las librerías para utilizar la pantalla
2 #include <TouchScreen.h>
3 #include <Adafruit_GFX.h>
4 #include <UTFTGLUE.h>
5 #include <stdint.h>
6 UTFTGLUE myGLCD(0x9481, A2, A1, A3, A4, A0);
7
8 //Definir pines para controlar la pantalla
9 #define XP 9 //Pin de control digital
10 #define YP A2 //Pin análogo de control
11 #define XM A3 //Pin análogo de control
12 #define YM 8 //Pin digital de control
13
14 // Definir los niveles de presión mínima y máxima
15 #define MINPRESSURE 10
16 #define MAXPRESSURE 1000
17
18 //Definir los valores para calibrar la pantalla táctil
19 #define X_STPT 75 // Valor de X inicial
20 #define X_ENPT 905 // Valor de X final
21 #define Y_STPT 145 // Valor de Y inicial
22 #define Y_ENPT 880 // Valor de Y final
23
24 TouchScreen myTouch = TouchScreen(XP, YP, XM, YM, 300);
25
26 //Definir códigos de los colores más utilizados
27 #define NEGRO 0x0000
28 #define AZUL 0x001F
29 #define ROJO 0xF800
30 #define VERDE 0x07E0
31 #define CIAN 0x07FF
32 #define MAGENTA 0xF81F
33 #define AMARILLO 0xFFE0
34 #define BLANCO 0xFFFF
35

```

Figura 48. Código de programación

Procedimientos para el control de la pantalla, calibración táctil y definición de colores Figura 49. Se aprecia el valor de la pantalla, las variables utilizadas y las coordenadas en un plano XY para el táctil.

```

1 //Incluir las librerías para utilizar la pantalla
2 #include <TouchScreen.h>
3 #include <Adafruit_GFX.h>
4 #include <UTFTGLUE.h>
5 #include <stdint.h>
6 UTFTGLUE myGLCD(0x9481, A2, A1, A3, A4, A0);
7
8 //Definir pines para controlar la pantalla
9 #define XP 9 //Pin de control digital
10 #define YP A2 //Pin análogo de control
11 #define XM A3 //Pin análogo de control
12 #define YM 8 //Pin digital de control
13
14 // Definir los niveles de presión mínima y máxima
15 #define MINPRESSURE 10
16 #define MAXPRESSURE 1000
17
18 //Definir los valores para calibrar la pantalla táctil
19 #define X_STPT 75 // Valor de X inicial
20 #define X_ENPT 905 // Valor de X final
21 #define Y_STPT 145 // Valor de Y inicial
22 #define Y_ENPT 880 // Valor de Y final
23
24 TouchScreen myTouch = TouchScreen(XP, YP, XM, YM, 300);
25
26 //Definir códigos de los colores más utilizados
27 #define NEGRO 0x0000
28 #define AZUL 0x001F
29 #define ROJO 0xF800
30 #define VERDE 0x07E0
31 #define CIAN 0x07FF
32 #define MAGENTA 0xF81F
33 #define AMARILLO 0xFFE0
34 #define BLANCO 0xFFFF
35

```

Figura 49. Código de programación.

En la siguiente programación, se pueden observar en la Figura 50 los parámetros de seguridad de la máquina. Si el cilindro no está completamente sellado y ambos sensores no detectan su presencia, la máquina no podrá funcionar.

```

36 //Variables utilizadas
37 int pant = 0;
38 int rep3 = 0;
39 int rep4 = 0;
40 int ReleIn = 28;
41 int ReleOut = 30;
42 int Cocina = 32;
43 int Sensor1 = 5;
44 int Sensor2 = 6;
45 //Define el ancho y largo de la pantalla en pixeles
46 int x_size = 480; int y_size = 320;
47 bool settscreen(int w, int h) {
48     if ((w <= 0) || (h <= 0)) return false;
49     x_size = w; y_size = h;
50     return true;
51 }
52
53 int x, y;
54 //Variables para obtener las coordenadas X y Y donde se presiona la pantalla
55
56 void setup() {
57     pinMode(ReleIn, OUTPUT);
58     pinMode(ReleOut, OUTPUT);
59     pinMode(Cocina, OUTPUT);
60     Page1();
61 }
62
63 void loop() {
64     TSPoint p;
65
66     if (checktouch(&myTouch, &p))
67     {
68         x = p.x; y = p.y;
69
70         if (pant == 0) {
71             if (x >= 145 && x <= 360 && y >= 270 && y <= 310 )
72                 if (Sensor1 == HIGH && Sensor2 == HIGH) {
73
74                     // Encender la máquina si ambos sensores están activos
75                     digitalWrite(Maquina, HIGH);
76                 } else {
77                     // Apagar la máquina si uno o ambos sensores están inactivos
78                     digitalWrite(Maquina, LOW); }
79
80                 {
81                     Page2();
82                     pant = 1;
83                 }
84
85                 if (pant == 1) {
86                     if (x >= 30 && x <= 150 && y >= 150 && y <= 200 )
87                     {
88                         rep3 = 60;
89                         Page3_1();
90                         pant = 2;
91                     }
92
93                     if (x >= 180 && x <= 300 && y >= 150 && y <= 200 )
94                     {
95                         rep3 = 120;
96                         Page3_2();
97                         pant = 2;
98                     }
99
100                    if (x >= 330 && x <= 450 && y >= 150 && y <= 200 )
101                    {
102                        rep3 = 180;
103                        Page3_3();
104                        pant = 2;
105                    }
106                    if (x >= 0 && x <= 145 && y >= 270 && y <= 310 )
107                    {
108                        Page1();
109                        pant = 0;
110                    }
111                }
112            }
113        }
114    }

```

Figura 50. Encendido y pare de la maquina

Se crea la interfaz de inicio que proporciona información sobre la institución, el nombre del estudiante y su carrera figura 51.

```

110     if (pant == 2) {
111         if (x >= 0 && x <= 145 && y >= 270 && y <= 310 )
112         {
113             rep4 = 1;
114             Page4();
115             pant = 3;
116         }
117     }
118
119     if (pant == 3) {
120         if (x >= 360 && x <= 480 && y >= 270 && y <= 310 )
121         {
122             Page1();
123             pant = 0;
124         }
125     }
126 }
127 }
128 void Page1() {
129     digitalWrite(ReleIn, HIGH);
130     digitalWrite(ReleOut, HIGH);
131     digitalWrite(Cocina, HIGH);
132
133     //Inicializacion de la pantalla
134     myGLCD.InitLCD(1); //Inicia en modo horizontal
135     myGLCD.clrScr();
136     myGLCD.fillScreen(BLANCO);
137     //Rectángulos
138     myGLCD.setColor(AZUL);
139     myGLCD.fillRect(0, 0, 480, 35);
140     myGLCD.setColor(AZUL);
141     myGLCD.fillRect(0, 35, 480, 70);
142     myGLCD.setColor(AMARILLO);
143     myGLCD.fillRect(145, 270, 360, 310);

```

```

144 // Textos
145 myGLCD.setTextColor(AMARILLO);
146 myGLCD.setTextSize(3);
147 myGLCD.print("UNIVERSIDAD POLITECNICA", 32, 8);
148 myGLCD.setTextColor(AMARILLO);
149 myGLCD.print("SALESIANA", 170, 45);
150 myGLCD.setTextColor(NEGRO);
151 myGLCD.print("INGENIERIA MECATRONICA", 40, 85);
152 myGLCD.print("AUTOR:", 20, 200);
153 myGLCD.setTextColor(ROJO);
154 myGLCD.print("EXTRACTOR SEMIAUTOMATICO", 20, 130);
155 myGLCD.setTextColor(AZUL);
156 myGLCD.print("ENRIQUE CALLE", 140, 200);
157 myGLCD.print(" INICIAR ", 175, 280);
158 }
159 void Page2() {
160     digitalWrite(ReleIn, HIGH);
161     digitalWrite(ReleOut, HIGH);
162     digitalWrite(Cocina, HIGH);
163     //Inicializacion de la pantalla
164     myGLCD.InitLCD(1); //Inicia en modo horizontal
165     myGLCD.clrScr();
166     myGLCD.fillScreen(BLANCO);
167     //Rectángulos
168     myGLCD.setColor(AZUL);
169     myGLCD.fillRect(0, 0, 480, 50);
170     myGLCD.setColor(NEGRO);
171     myGLCD.fillRect(30, 150, 150, 200);
172     myGLCD.fillRect(180, 150, 300, 200);
173     myGLCD.fillRect(330, 150, 450, 200);
174     myGLCD.setColor(ROJO);
175     myGLCD.fillRect(20, 270, 210, 310);

```

Figura 51. Programa Primer interfaz

El siguiente código proporciona indicaciones sobre cómo visualizar los tiempos en la interfaz para seleccionar las RPM (revoluciones por minuto) a las que debe funcionar la máquina figura 52.

```

176 // Textos
177 myGLCD.setTextSize(3.5);
178 myGLCD.setTextColor(AMARILLO);
179 myGLCD.print("EXTRACTOR SEMIAUTOMATICO", 25, 15);
180 myGLCD.setTextSize(3);
181 myGLCD.setTextColor(NEGRO);
182 myGLCD.print("TIEMPO DE CENTRIFUGADO", 45, 90);
183 myGLCD.print("REGRESAR", 45, 280);
184 myGLCD.setTextSize(2);
185 myGLCD.setTextColor(BLANCO);
186 myGLCD.print("1 MIN", 55, 170);
187 myGLCD.print("2 MIN", 205, 170);
188 myGLCD.print("3 MIN", 355, 170);
189 }
190 void Page3_1() {
191   digitalWrite(ReleIn, LOW);
192   digitalWrite(ReleOut, LOW);
193   digitalWrite(Cocina, LOW);
194   int Temperatura;
195   //Inicializacion de la pantalla
196   myGLCD.InitLCD(1); //Inicia en modo horizontal
197   myGLCD.clrScr();
198   myGLCD.fillScreen(BLANCO);
199   //Rectángulos
200   myGLCD.setColor(AZUL);
201   myGLCD.fillRect(0, 0, 480, 50);
202   myGLCD.setColor(NEGRO);
203   myGLCD.drawRoundRect(300, 100, 430, 160);
204   myGLCD.drawRoundRect(300, 190, 430, 250);
205   myGLCD.setColor(AMARILLO);
206   myGLCD.fillRect(20, 270, 210, 310);

207 // Textos
208 myGLCD.setTextSize(3.5);
209 myGLCD.setTextColor(AMARILLO);
210 myGLCD.print("EXTRACTOR SEMIAUTOMATICO", 23, 15);
211 myGLCD.setTextSize(3);
212 myGLCD.setTextColor(NEGRO);
213 myGLCD.print("CONTINUAR:", 30, 280);
214 myGLCD.print("TIEMPO:", 50, 130);
215 myGLCD.print("RPM:", 50, 215);
216 myGLCD.print("V", 400, 210);
217 myGLCD.setTextSize(2);
218 myGLCD.print("PONER MOTOR EN 300 RPM", 110, 70);
219 myGLCD.print("SEG", 390, 125);
220 while (rep3 >= 0) {
221   Temperatura = thermocouple.readCelsius();
222   myGLCD.setColor(BLANCO);
223   myGLCD.fillRect(310, 130, 380, 155);
224   myGLCD.fillRect(310, 215, 390, 240);
225   myGLCD.setTextSize(3);
226   myGLCD.setTextColor(NEGRO);
227   myGLCD.setCursor(310, 130);
228   myGLCD.println(rep3);
229   myGLCD.setCursor(310, 215);
230   myGLCD.println(Temperatura);
231   delay(1000);
232   rep3--;
233 }
234 }
235 void Page3_2() {
236   digitalWrite(ReleIn, LOW);
237   digitalWrite(ReleOut, LOW);
238   digitalWrite(Cocina, LOW);
239   int Temperatura;

```

Figura 52. Programa Segunda interfaz.

En la figura 53, el comando `myGLCD.print("SEG", 390, 125);` muestra los segundos en cuenta regresiva del funcionamiento de la máquina.

```
240 //Inicializacion de la pantalla
241 myGLCD.InitLCD(1); //Inicia en modo horizontal
242 myGLCD.clrScr();
243 myGLCD.fillScreen(BLANCO);
244 //Rectángulos
245 myGLCD.setColor(AZUL);
246 myGLCD.fillRect(0, 0, 480, 50);
247 myGLCD.setColor(NEGRO);
248 myGLCD.drawRoundRect(300, 100, 430, 160);
249 myGLCD.drawRoundRect(300, 190, 430, 250);
250 myGLCD.setColor(AMARILLO);
251 myGLCD.fillRect(20, 270, 210, 310);
252 // Textos
253 myGLCD.setTextSize(3.5);
254 myGLCD.setTextColor(AMARILLO);
255 myGLCD.print("EXTRACTOR SEMIAUTOMATICO", 23, 15);
256 myGLCD.setTextSize(3);
257 myGLCD.setTextColor(NEGRO);
258 myGLCD.print("CONTINUAR:", 30, 280);
259 myGLCD.print("TIEMPO:", 50, 130);
260 myGLCD.print("RPM:", 50, 215);
261 myGLCD.print("V", 411, 210);
262 myGLCD.setTextSize(2);
263 myGLCD.print("PONER MOTOR EN 250 RPM", 110, 70);
264 myGLCD.print("SEG", 390, 125);
265 while (rep3 >= 0) {
266     Temperatura = thermocouple.readCelsius();
267     myGLCD.setColor(BLANCO);
268     myGLCD.fillRect(310, 130, 380, 155);
269     myGLCD.fillRect(310, 215, 390, 240);
270     myGLCD.setTextSize(3);
271     myGLCD.setTextColor(NEGRO);
272     myGLCD.setCursor(310, 130);
273     myGLCD.println(rep3);
274     myGLCD.setCursor(310, 215);
```

Figura53. Programa tercera interfaz

Se programó la interfaz final, la cual muestra los resultados de velocidad y RPM de la máquina obtenidos durante el centrifugado. Además, se añadió un botón para regresar a la interfaz inicial, como se observa en la figura 54.

```

275     myGLCD.println(Temperatura);
276     delay(1000);
277     rep3--;
278 }
279 }
280 void Page3_3() {
281     digitalWrite(RelayIn, LOW);
282     digitalWrite(RelayOut, LOW);
283     digitalWrite(Cocina, LOW);
284     int Temperatura;
285
286     //Inicializacion de la pantalla
287     myGLCD.InitLCD(1); //Inicia en modo horizontal
288     myGLCD.clrScr();
289     myGLCD.fillScreen(BLANCO);
290     //Rectángulos
291     myGLCD.setColor(AZUL);
292     myGLCD.fillRect(0, 0, 480, 50);
293     myGLCD.setColor(NEGRO);
294     myGLCD.drawRoundRect(300, 100, 430, 160);
295     myGLCD.drawRoundRect(300, 190, 430, 250);
296     myGLCD.setColor(AMARILLO);
297     myGLCD.fillRect(20, 270, 210, 310);
298     // Textos
299     myGLCD.setTextSize(3.5);
300     myGLCD.setTextColor(AMARILLO);
301     myGLCD.print("EXTRACTOR SEMIAUTOMATICO", 23, 15);
302     myGLCD.setTextSize(3);
303     myGLCD.setTextColor(NEGRO);
304     myGLCD.print("CONTINUAR:", 30, 280);
305     myGLCD.print("TIEMPO:", 50, 130);
306     myGLCD.print("RPM:", 50, 215);
307     myGLCD.print("V", 411, 210);
308     myGLCD.setTextSize(2);
309     myGLCD.print("PONER MOTOR EN 200 RPM", 110, 70);
310     myGLCD.print("SEG", 390, 125);
311     while (rep3 >= 0) {
312
313         Temperatura = thermocouple.readCelsius();
314         myGLCD.setColor(BLANCO);
315         myGLCD.fillRect(310, 130, 380, 155);
316         myGLCD.fillRect(310, 215, 390, 240);
317         myGLCD.setTextSize(3);
318         myGLCD.setTextColor(NEGRO);
319         myGLCD.setCursor(310, 130);
320         myGLCD.println(rep3);
321         myGLCD.setCursor(310, 215);
322         myGLCD.println(RPM);
323         delay(1000);
324         rep3--;
325     }
326 void Page4() {
327     digitalWrite(RelayIn, HIGH);
328     digitalWrite(RelayOut, HIGH);
329     digitalWrite(Cocina, HIGH);
330     //Inicializacion de la pantalla
331     myGLCD.InitLCD(1); //Inicia en modo horizontal
332     myGLCD.clrScr();
333     myGLCD.fillScreen(BLANCO);
334     //Rectángulos
335     myGLCD.setColor(AZUL);
336     myGLCD.fillRect(0, 0, 480, 50);
337     myGLCD.setColor(NEGRO);
338     myGLCD.fillRect(40, 150, 260, 200);
339     myGLCD.drawRoundRect(300, 150, 430, 200);
340     myGLCD.setColor(ROJO);
341     myGLCD.fillRect(310, 270, 470, 310);
342     // Textos
343     myGLCD.setTextSize(3.5);
344     myGLCD.setTextColor(AMARILLO);
345     myGLCD.print("EXTRACTOR SEMIAUTOMATICO", 17.5, 15);
346     myGLCD.setTextSize(3);
347     myGLCD.setTextColor(NEGRO);
348     myGLCD.print("TERMINAR", 320, 280);

```

Figura 54. Programa cuarta interfaz

En la figura 55, se observa cómo el programa incluye variables para el táctil, así como el cálculo del funcionamiento del centrifugado de la máquina, permitiendo así realizar una parada y una regresión del motor.

```

349 myGLCD.setTextSize(2);
350 myGLCD.print("0", 407, 160);
351 myGLCD.setTextSize(2.5);
352 myGLCD.setTextColor(BLANCO);
353 myGLCD.print("VELOCIDAD:", 80, 170);
354 }
355 bool checktouch_core(TouchScreen *ts, TSPoint *pp, bool calflg) {
356     // variables
357     bool rlt = false;
358     int rtry = 10;
359     // Leer el sensor táctil de la pantalla
360     delay(1);
361     TSPoint p = ts->getPoint();
362     if ((p.z < MINPRESSURE) || (p.z > MAXPRESSURE)) goto rsmpt;
363     if (pp == 0) {
364         rlt = true;
365         goto rsmpt;
366     }
367     // Volver a leer el sensor táctil
368     if (p.x < (X_STPT + 100)) {
369         for (int i = 0; i < 2; i++) {
370             delay(1);
371             p = ts->getPoint();
372             if (p.x > (X_STPT + 100)) break;
373             if (p.x == 0) {
374                 if (rtry > 0) {
375                     rtry--;
376                     i = 0;
377                 }
378             }
379             if (p.x == 0) return false;
380             // Obtener las coordenadas X y Y en donde se toca la pantalla
381             if (pp != 0) {
382                 #ifdef X_INVERSE
383                 p.x = 1100 - p.x;
384                 #endif
385                 if (calflg) {
386                     pp->x = p.x; pp->y = p.y;
387                 } else {
388                     pp->x = ((long)(p.x - X_STPT) * (long)x_size) / (long)(X_ENPT - X_STPT);
389                     if (pp->x < 0) pp->x = 0;
390                     pp->y = ((long)(p.y - Y_STPT) * (long)y_size) / (long)(Y_ENPT - Y_STPT);
391                     if (pp->y < 0) pp->y = 0; if (pp->y >= y_size) pp->y = y_size - 1;
392                 }
393                 pp->z = p.z;
394             }
395             rlt = true;
396             // Restaurar los pines para volver a ser utilizados para la función táctil
397             rsmpt:
398             pinMode(XP, OUTPUT); pinMode(XM, OUTPUT);
399             pinMode(YP, OUTPUT); pinMode(YM, OUTPUT);
400             return rlt;
401         }
402     }
403     // Verificar el sensor touch para usarlo
404     bool checktouch(TouchScreen *ts, TSPoint *pp) {
405         return checktouch_core(ts, pp, false);
406     }

```

Figura 55. Coordenadas XY táctil

3.6. Análisis de rentabilidad

La actividad apícola debe ser sostenible en términos ambientales y económicos, actualmente el litro de miel ronda los USD 10,00; en Pujilí, el área de implementación del proyecto los apicultores

con los procesos manuales extraían cerca de 15 litros por mes, sin embargo, con la máquina implementada se puede llegar a 30 litros por cada mes dando como resultado una utilidad mensual de USD 300 utilizando el sistema semiautomático implementado, es decir duplicando las ganancias.

Adicional a esto, se pueden ofrecer servicios de extracción o centrifugado a otros apicultores de la zona lo que equivale a generar otros ingresos por concepto de arrendamiento o utilización de la máquina. Con lo expuesto, es válido afirmar que el retorno de inversión de la máquina puede darse entre los dos y tres meses considerando los factores descritos anteriormente.

3.6.1. Análisis de los costos de la máquina:

La máquina trabaja 8 veces en una hora y trabaja 3 días a la semana, por lo tanto:

3.6.1.1. Costos fijos de la máquina

Adquisición de la máquina: \$351,87

Mantenimiento y reparaciones: \$20

Mano de obra: \$20

Energía eléctrica: 0,37 Kw

3.6.1.2. Costos variables de la máquina

Consumo de energía: 3,2033 Kwh*mes

*Consumo de energía = potencia Kw * tiempo de uso * numero de usos*

$$\text{Consumo por proceso} = \frac{0,37Kw}{0,0833} = 0,0308kWh$$

$$\text{Tiempo de uso} = \frac{5min}{60 min} = 0,0833h$$

$$\text{Consumo diario} = \frac{\text{Tiempo de usos}}{\text{numero de procesos}} = \frac{0,0308h}{8} = \frac{0,2464kWh}{dia}$$

$$\text{Consumo semana} = \frac{0,2464kWh}{dia} \times 3 dias = 0,7398 \frac{kWh}{semana}$$

$$\text{Consumo mes} = 0,7398 \frac{kWh}{semana} \times 4,33 \text{ mes} = 3,2033 \frac{kWh}{mes}$$

Materiales consumibles: Banda: \$11

Embalaje: \$2,78

Transporte: \$10

3.6.2. Depreciación de la máquina

Método de línea recta

Costo inicial: \$351,87

Valor salvamento: \$100

Vida útil: 10 años

$$\text{Depreciación anual} = \frac{\text{costo inicial} - \text{valor salvamento}}{\text{vida util}}$$

$$\text{Depreciación anual} = \frac{351,87 - 100}{10 \text{ años}} = 25,19 \text{ por año}$$

Tasa de asignación

Uso total de la máquina por mes:

$$\text{Horas por mes} = 3 \frac{\text{horas}}{\text{semana}} \times 4,33 \frac{\text{semanas}}{\text{mes}} = 12,99 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$$

Costos totales

$$\text{Costo total: } 251,87 + 33,16 = \$385,03$$

Producción mensual

$$\text{Producción mensual: } 103,03 \text{ litros}$$

Tasa de asignación

$$Tasa\ de\ asignación = \frac{\$385,03}{103,91\ litros} = \$3,71$$

Proyección a largo plazo:

Tabla 10. Proyección a largo plazo de la máquina

Año	Depreciación Anual	Costo Operativos Anuales	Costo Total Anual
0	\$ 25,19	\$ 517,72	\$ 542,91
1	\$ 25,19	\$ 517,72	\$ 542,91
2	\$ 25,19	\$ 517,72	\$ 542,91
3	\$ 25,19	\$ 517,72	\$ 542,91
4	\$ 25,19	\$ 517,72	\$ 542,91
5	\$ 25,19	\$ 517,72	\$ 542,91
6	\$ 25,19	\$ 517,72	\$ 542,91
7	\$ 25,19	\$ 517,72	\$ 542,91
8	\$ 25,19	\$ 517,72	\$ 542,91
9	\$ 25,19	\$ 517,72	\$ 542,91
10	\$ 25,19	\$ 517,72	\$ 542,91
Total	\$ 251,90	\$ 5.177,20	\$ 5.429,10

Con esto podemos obtener la tasa de descuento que con ello en 1 año sería factible tener un 8% como tasa de descuento.

VAN y TIR

Con todos los datos obtenidos ahora podemos sacar los siguientes valores del VAN y TIR que nos ayudaran a tener una mejor idea en la inversión del proyecto ya sea a largo o corto plazo como vemos en la siguiente Tabla 11. Valores VAN y TIR.

Tabla 11. Valores VAN y TIR

Tasa Interna de Retorno			Valor Actual Neto		
0	\$	-351,87	0	\$	-351,87
1	\$	1.561,44	1	\$	1.561,44
2	\$	1.561,44	2	\$	1.561,44
3	\$	1.561,44	3	\$	1.561,44
4	\$	1.561,44	4	\$	1.561,44
5	\$	1.561,44	5	\$	1.561,44
6	\$	1.561,44	6	\$	1.561,44
7	\$	1.561,44	7	\$	1.561,44
8	\$	1.561,44	8	\$	1.561,44
9	\$	1.561,44	9	\$	1.561,44
10	\$	1.561,44	10	\$	1.561,44
TIR		444%	VAN	\$	9.023,61

Tasa de descuento: 0,08

3.6.3. Soldadura

3.6.3.1. Soldadura TIG (GTAW)

1. Electrodo: Utiliza un electrodo de tungsteno no consumible.
2. Gas Inerte: gas inerte, como el argón o el helio, se utiliza para crear una barrera protectora alrededor del área de soldadura, evitando así la oxidación y la contaminación por impurezas.
3. Corriente: Puede usar corriente continua (DC) o corriente alterna (AC), dependiendo del material a soldar.
4. Aplicaciones: Ideal para materiales delgados y difíciles como aluminio, acero inoxidable, cobre y titanio.
5. Acabado: Produce soldaduras limpias y precisas con un acabado estético.
6. Control de Calor: Permite un control preciso de la cantidad de calor aplicado, lo que es útil para soldaduras delicadas.
7. Sin Salpicaduras: No produce salpicaduras, resultando en un acabado muy limpio.

3.6.3.1. Parámetros Comunes de Soldadura TIG

- Voltaje: Varía según el material y el grosor, pero generalmente entre 10-20V.
- Corriente: Dependiendo del grosor del material y el tipo de corriente, puede variar entre 50-300A.
- Velocidad de Soldadura: Varía según la técnica y el material, pero típicamente entre 3-15 cm/min.
- Espesor del Material: Puede soldar desde materiales muy delgados (0.5 mm) hasta más gruesos (6 mm).

3.6.3.2. Datos del material a utilizar

Las propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 304 son:

- Resistencia de tracción: entre 460 y 110 MPa
- Elasticidad: entre 190 y 210 GPa
- Dureza Brinell: entre 160 y 190 HBW
- Elongación: hasta un 60%
- Disminución de área: hasta un 70%

Resistencia de la soldadura

Resistencia de tracción promedio

$$\text{Resistencia a la tracción promedio} = \frac{460 \text{ MPa} + 110 \text{ MPa}}{2} = 285 \text{ MPa}$$

Área de soldadura

Se estima que se soldara un espacio de 480mm^2

Resistencia de soldadura

$$\text{Resistencia de soldadura} = 480\text{mm}^2 \times 285\text{MPa} = 136800 \text{ N}$$

Resistencia de tracción

$$\text{Resistencia de tracción} = \frac{264,87 \text{ N}}{480\text{mm}^2} = 0.511\text{MPa}$$

¿Esto alcanzaría para resistir los 27 Kg de peso de la máquina?

Se convierten los Kg a N

$$F = mxg = 27\text{Kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 264,87 \text{ N}$$

Realizamos nuestra comparación ya que 264,87 N es mucho menor que 136800 N es por ello que puede resistir con facilidad.

Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

- El diseño de la máquina de extracción de miel, considerando el material seleccionado, acero inoxidable 304, cumple con los criterios de seguridad estructural necesarios para su operación. La resistencia máxima del material es de 515 MPa, mientras que la tensión máxima alcanzada en los análisis realizados es de 803.348 Pa. Al calcular el factor de seguridad, se obtiene un valor de 640,93 Pa. Este resultado indica que el diseño tiene un margen de seguridad extremadamente elevado, garantizando que el material podrá soportar las tensiones generadas durante su uso sin riesgo de falla estructural. Este amplio factor de seguridad no solo asegura la durabilidad y confiabilidad de la máquina, sino que también resalta la adecuada selección de materiales y parámetros durante el proceso de diseño. Sin embargo, se podría evaluar la posibilidad de optimizar el diseño reduciendo excesos de material para mejorar la eficiencia económica, sin comprometer la seguridad del equipo, considerando materiales o insumos de bajo coste, pero con excelente calidad.
- Con base en el factor de seguridad calculado, que alcanza un valor elevado de 640,93 Pa, existe una oportunidad significativa para optimizar el diseño de la máquina de extracción de miel y aumentar su margen de eficiencia.
- Se puede reducir ligeramente el factor de seguridad, manteniéndolo dentro de los límites recomendados para aplicaciones similares, lo que permitiría rediseñar componentes clave para disminuir el peso de la máquina, optimizar su consumo energético y mejorar su capacidad de extracción. Estas modificaciones no solo reducirían los costos de producción, sino que también aumentarían el rendimiento por unidad de energía consumida y mejorarían la competitividad del equipo en el mercado. Es posible aumentar el margen de eficiencia considerando implementar mejoras y un seguimiento más riguroso del proceso de cosecha de cuadros y dentro del filtrado.
- En cuanto a los módulos se pueden presentar alternativas para optimizar su funcionalidad, adaptabilidad y eficiencia. Se debe considerar ciertas variaciones en el diseño, como módulos intercambiables, sistemas más compactos o integraciones automatizadas, pueden aumentar la versatilidad de la máquina para procesar diferentes volúmenes de miel según las necesidades específicas de los apicultores. Adicional a esto se puede plantear también

implementación de materiales alternativos, manteniendo estándares de seguridad y resistencia, podría reducir costos de producción y mejorar la accesibilidad del equipo para los productores locales. Finalmente, un diseño modular también permitiría facilitar el mantenimiento y la ampliación futura de la máquina, prolongando su vida útil y maximizando su impacto económico en la comunidad.

- El motor de inducción que tiene características de durabilidad y bajo mantenimiento, proporciona una potencia constante y fiable para el proceso de extracción, mientras que el sistema de protecciones garantiza la seguridad del equipo y del operador ante sobrecargas o fallos eléctricos. La conexión con el sistema de control y la pantalla táctil permite una interacción intuitiva y fácil ideal para el manejo de los apicultores de Pujilí, simplificando el monitoreo y ajuste de los parámetros de operación en tiempo real. Esta integración de estos elementos más allá de optimizar el rendimiento del equipo también mejora la experiencia del usuario, posicionando a la máquina como una solución moderna y eficiente para los apicultores.
- La implementación de la máquina de extracción de miel genera un impacto positivo y significativo en los apicultores de Pujilí, ya que permitiría duplicar la producción de miel, incrementando así sus márgenes de ganancia y mejorando su competitividad en el mercado. Además, los valores actuales de comercialización de la miel garantizan un retorno de la inversión en un tiempo relativamente corto, de dos a tres meses, lo que hace de esta máquina una solución económica altamente rentable. Paralelamente, el aumento en la capacidad de procesamiento beneficiará directamente a la comunidad al contribuir al crecimiento de sus ingresos económicos y al fortalecimiento del sector apícola local.

4.2. Recomendaciones

- Se debe capacitar previamente a los apicultores para que exista un manejo óptimo de la máquina y de esta manera optimizar recursos y precautelar la salud de los operadores.
- Vigilar los procesos de cosecha de cuadros, así como el filtrado de la miel luego del centrifugado para alcanzar la máxima eficiencia del proceso.
- Se debe considerar la implementación de sistemas de electricidad alternos (plantas) para una dotación permanente de electricidad ya que el país actualmente atraviesa problemas de racionamientos eléctricos que podría afectar al desarrollo de los procesos.
- Exhortar a las Autoridades locales a replicar estos proyectos que benefician directamente a las comunidades dedicadas a la apicultura

Referencias bibliográficas

- [1] Ministerio de Agricultura y GanaderíaG, «Ecuador tiene 1760 apicultores registrados – Ministerio de Agricultura y Ganadería». Accedido: 30 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-tiene-1760-apicultores-registrados/>
- [2] V. Agreda y S. P. de I. Agraria, *Perú, el problema agrario en debate*. Soluciones Practicas, 1999.
- [3] «Bee stories: How innovations are improving honey production in Latin America», IICA.INT. Accedido: 30 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://iica.int/en/press/news/bee-stories-how-innovations-are-improving-honey-production-latin-america>
- [4] D. M. Lara Haro *et al.*, «El impacto de las crisis en el desempeño del sector agropecuario del Ecuador», *Rev. Finanz. Política Económica*, vol. 14, n.o 1, pp. 167-186, jun. 2022, doi: 10.14718/revfinanzpolitecon.v14.n1.2022.7.
- [5] A. Montenegro, «DISEÑO DE UNA MÁQUINA CENTRIFUGADORA, PARA LA EXTRACCIÓN DE MIEL DE ABEJA EN LAMBAYEQUE», UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO, Chiclayo, 2019. Accedido: 6 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/2362/1/TL_MontenegroVilchezAndres.pdf
- [6] P. De la Roca, «Las abejas mesoamericanas y la miel en la historia, cosmovisión y medicina de los pueblos mayas.» Accedido: 30 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ideipi.usac.edu.gt/wp-content/uploads/2021/07/29-Revista-IDEI.pdf#page=140>

- [7] M. E. García-Chaviano, E. Armenteros-Rodríguez, M. del C. Escobar-Álvarez, J. A. García-Chaviano, J. Méndez-Martínez, y G. Ramos-Castro, «Composición química de la miel de abeja y su relación con los beneficios a la salud», *Rev. Médica Electrónica*, vol. 44, n.o 1, pp. 155-167, 2024.
- [8] A. García, D. Soto, y C. Romo, «La miel de abejas: composición química, propiedades y usos industriales», *Rev Chil Nutr*, pp. 183-91, 1986.
- [9] D. Cando y A. Jaramillo, «Diseño de una centrifugadora de miel de tipo radial automática con un banco de decantación para los procesos de extracción y filtrado de apiarios provenientes de la provincia del Guayas», ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, 2016. Accedido: 6 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/97160/D-CD88347.pdf>
- [10] Cabrera, «La apicultura en el Ecuador: Antecedentes históricos.» Laboratorios La Melífera, 2012.
- [11] D. A. Masaquiza-Moposita, D. Martín, J. Zapata, G. Soldado, y D. Salas, «Apicultura ecuatoriana: situación y perspectiva», *Tesla Rev. Científica*, vol. 3, n.o 2, Art. n.o 2, nov. 2023, doi: 10.55204/trc.v3i2.e252.
- [12] Ministerio de Agricultura y GanaderíaG, «Apicultores certifican su actividad con apoyo del MAG – Ministerio de Agricultura y Ganadería». Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/apicultores-certifican-su-actividad-con-apoyo-del-mag/>
- [13] «Repositorio Universidad Técnica de Ambato: Factores que inciden para la pérdida de los saberes ancestrales de la producción de papá (*Solanum tuberosum*) en la comunidad San Miguel de Quera del cantón Riobamba». Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en:

<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/24852>

- [14] R. Granda, «Análisis del potencial de la actividad apícola como desarrollado socioeconómico en sectores rurales», UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ, 2017. Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/160259708.pdf>
- [15] Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional, «SECAP único organismo certificador de apicultores en el Ecuador», Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional. Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.secap.gob.ec/secap-unico-organismo-certificador-de-apicultores-en-el-ecuador/>
- [16] J. M. Chicaiza Clavijo y H. P. Molina Alvarez, «Diseño de una máquina automatizada bifuncional para la extracción de miel y cera de abeja.», bachelorThesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi: UTC., 2020. Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://localhost/handle/27000/8066>
- [17] P. M. Espejo Velasco y K. E. Heredia Villacís, «Diseño e implementación de un sistema automatizado de extracción de miel de abejas de bajo costo para mejorar la eficiencia en la recolección del producto, destinado a apicultores de la zona central del país.», bachelorThesis, LATACUNGA / ESPE / 2013, 2013. Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/6898>
- [18] Apicultura y miel, «Cosecha de la miel: 10 buenas prácticas para recoger miel con seguridad», Apicultura y miel. Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://apiculturaymiel.com/miel/cosecha-de-la-miel-10-buenas-practicas-recoger-miel-seguridad/>
- [19] «BATEA DESOPERCULADORA 2 m LYSON ULTRA - Líderes de La Industria Apícola en Chile - AGRO APICULTURA». Accedido: 1 de mayo

- de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.apicola.cl/producto/bateadesoperculadora-2-mts-ac-inox-lyson-ultra/>
- [20] S. M. Sánchez Lana, «Diseño y construcción de una maquina centrifuga automatizada para extracción de miel», 2008, Accedido: 3 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/6710>
 - [21] Túquerres Puma, «Máquina centrifugadora de extracción de miel de abeja (Apis Mellifera) en apicultura artesanal», 2024.
 - [22] «Acero AISI 304». Accedido: 6 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.acerosecuador.com/aceroaisi304.html>
 - [23] T. Saaty, «Decision making with the analytic hierarchy process. Springer». 2008.
 - [24] Magaña, Cebada, y Zumudio, «Efecto del Jamón de Tipo Americano en la corrosión del acero inoxidable tipo AISI 304.» Accedido: 29 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://smbb.mx/congresos%20smbb/puertovallarta03/TRABAJOS/AREA_VI/CARTEL/CVI-20.pdf
 - [25] «SHIELD PANTALLA TACTIL 2.8" SD CARD», Tecnoconciencia. Accedido: 29 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://tecnoconciencia.com/producto/shield-pantalla-tactil-2-8-sd-card/>
 - [26] Kywi, «Motor Monof 2Hp 110/220V 1800Rpm Weg - Kywi – MegaKywi – Ferretería – Hogar – Construcción». Accedido: 29 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.kywi.com.ec/motor-monof-2hp-110-220v-1800rpm-weg/p>
 - [27] «VÁLVULA CHEQUE PISTON ACERO INOXIDABLE». Accedido: 5 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en:

<https://www.acerocomercial.com/shop/product/it-407-valvula-cheque-piston-aceroinoxidable-1-2-tipo-y-580psi-it-407-inoxtek-6459>

- [28] «Malla Filtro 100 Mesh para FIA-65 (2-1/2") Versión Plisada», Antilhue Comercial SPA. Accedido: 5 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://antilhue.com/shop/product/d0148h318000-malla-filtro-100-mesh-para-fia-65-2-1-2-version-plisada-28053>
- [29] «POLEA DE ALUMINIO MCL», EL.FERRETERO. Accedido: 5 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.elferretero.com.ec/products/1030>
- [30] «Correa trapezoidal». Accedido: 5 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.euro4x4parts.com/es/recambios/ref=CTZ2057/correa-trapezoidal/oe=90916-02101>
- [31] S. E. Radescu Cioranescu, A. Mújica Fernaud, y A. Mujica Radescu, «Compendio de fórmulas matemáticas para física», *Con aplicaciones*, 2020, Accedido: 10 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/21962>
- [32] E. G. Acuña Acuña, «Rotación», oct. 2020, Accedido: 10 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.usam.ac.cr/xmlui/handle/11506/localhost/xmlui/handle/11506/1796>
- [33] OpenStax, «Trabajo y potencia en el movimiento rotacional - Física universitaria volumen 1.» Accedido: 10 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://openstax.org/books/f%C3%ADsica-universitaria-volumen-1/pages/10-8-trabajo-y-potencia-en-el-movimiento-rotacional#>
- [34] Budynas y Keith, «Diseño e ingeniería mecánica». Accedido: 12 de

junio de 2024. [En línea]. Disponible en:
<http://www1.frm.utn.edu.ar/electromecanica/materias%20pagina%20nuevas/elementoMaquina/material/libroCabecera.pdf>

- [35] Alba, «Diseño de elementos de máquinas I». Accedido: 12 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en:
https://issuu.com/andreavillap/docs/kupdf.com_diseno-de-elementos-de-ma
- [36] Inermec, Navalpotro, Iriondo, y Corral, «Transmisión por correas - 11 TRANSMISIÓN POR CORREAS 1. INTRODUCCIÓN Las correas son - Studocu». Accedido: 12 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en:
<https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-tecnologico-de-orizaba/maquinas-de-fluidos-compresibles/tema-11-transmision-por-correas/61359631>
- [37] Intermecc S.A, «Transmisión de potencia; Poleas en “V”». [En línea]. Disponible en:
https://www.intermec.com.co/Pdf/Manual_poleas_en_V_Intermec.pdf
- [38] S. Aguilar-Barojas, «Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud», *Salud En Tabasco*, vol. 11, n.o 1-2, pp. 333-338, 2005.
- [39] Grupo SKF, «Rodamientos SKF». 2015.

•

ANEXOS

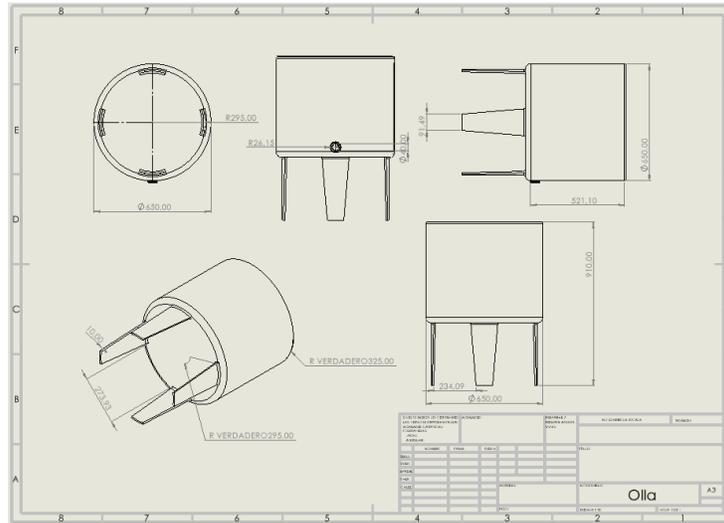


Figura 56. Plano de olla

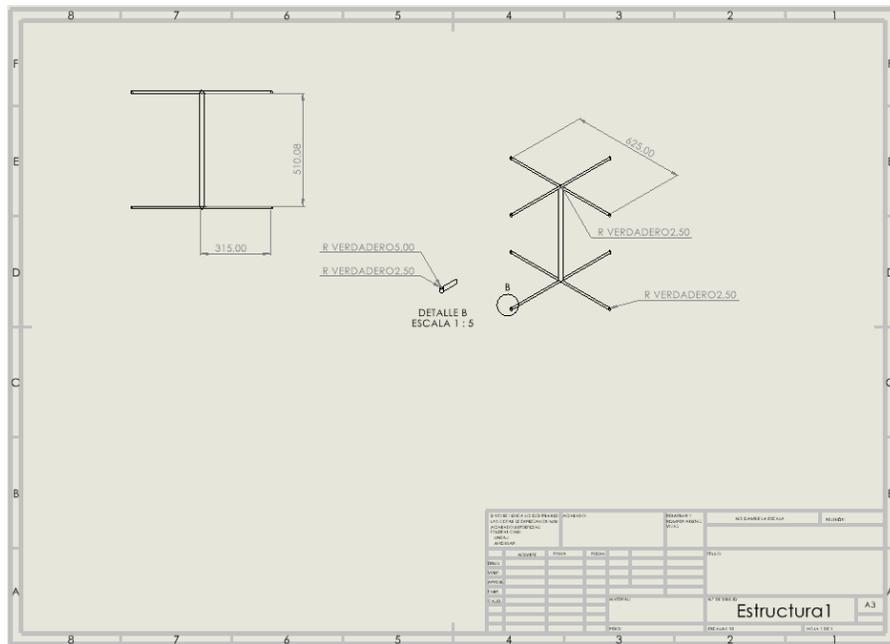


Figura 57. Plano de Estructura.

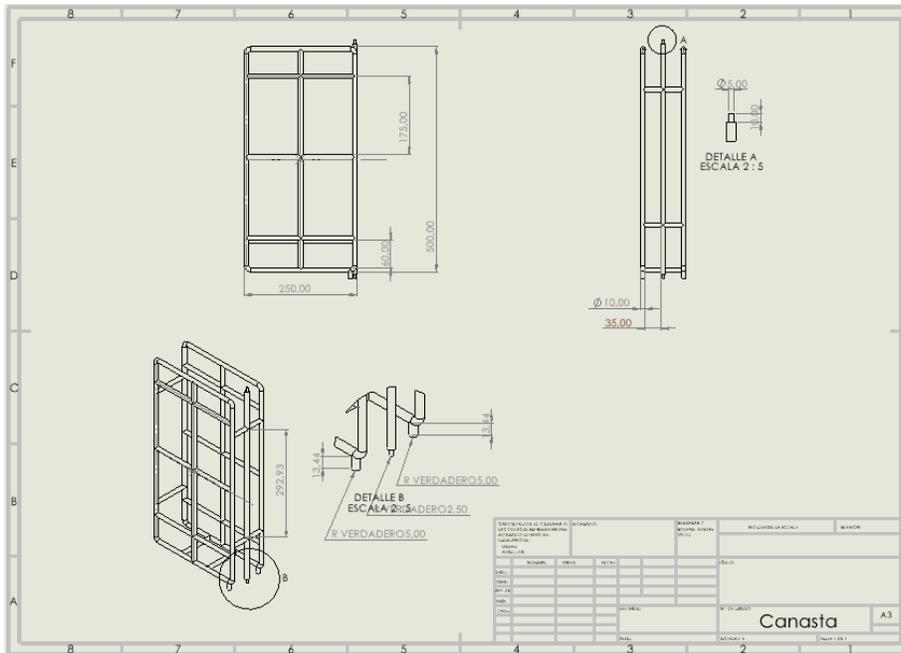


Figura 58. Plano de Canasta

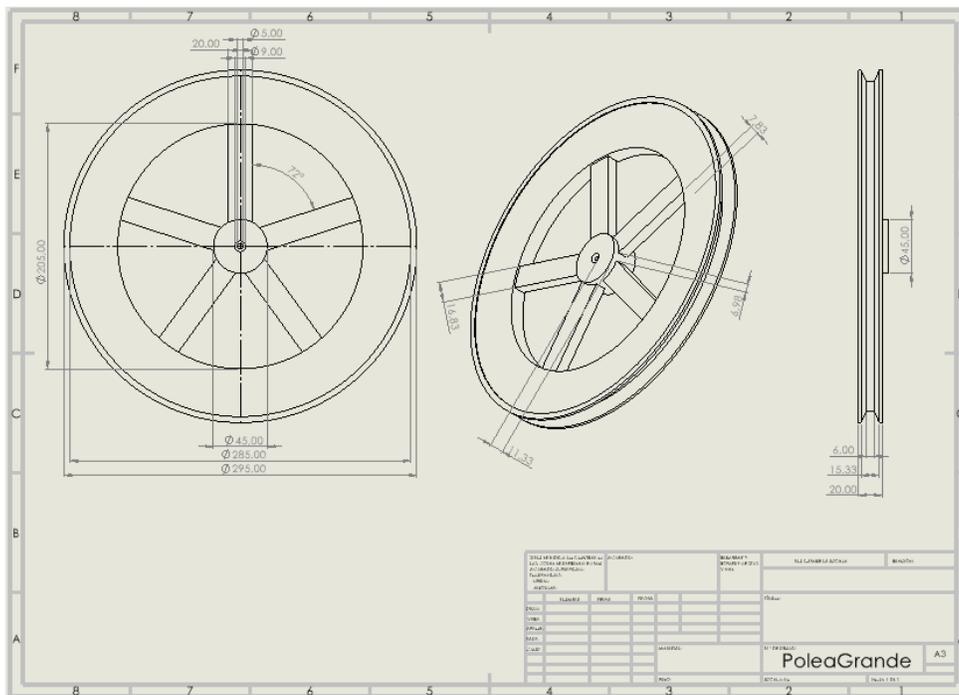
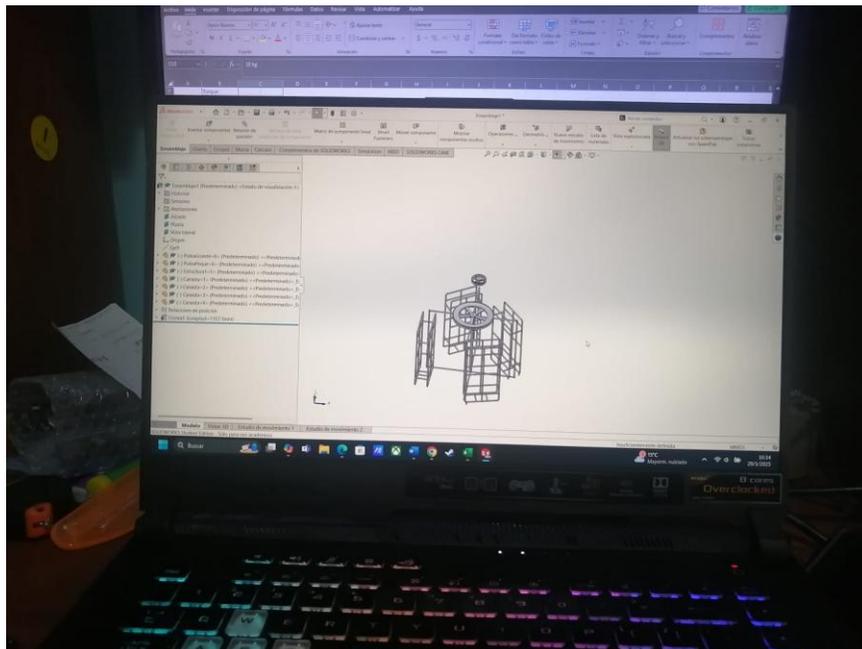
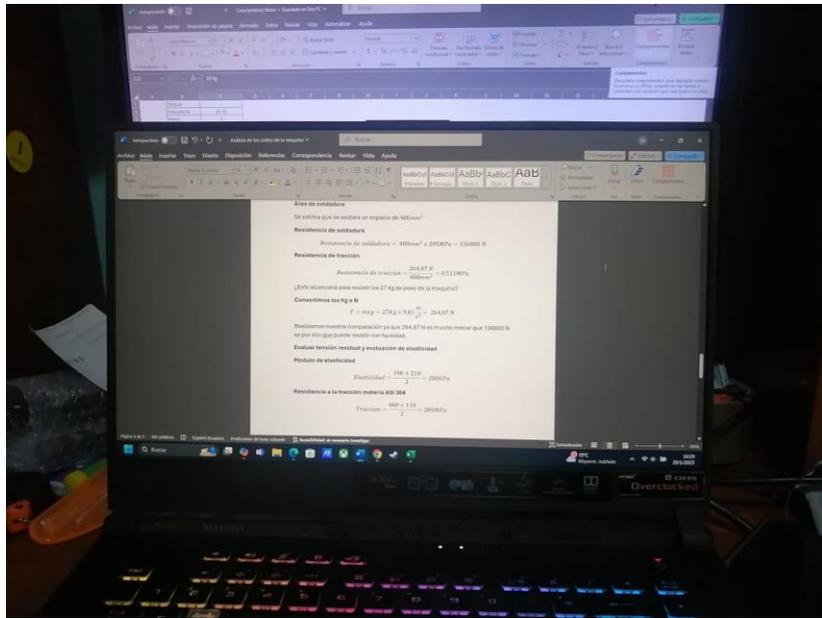
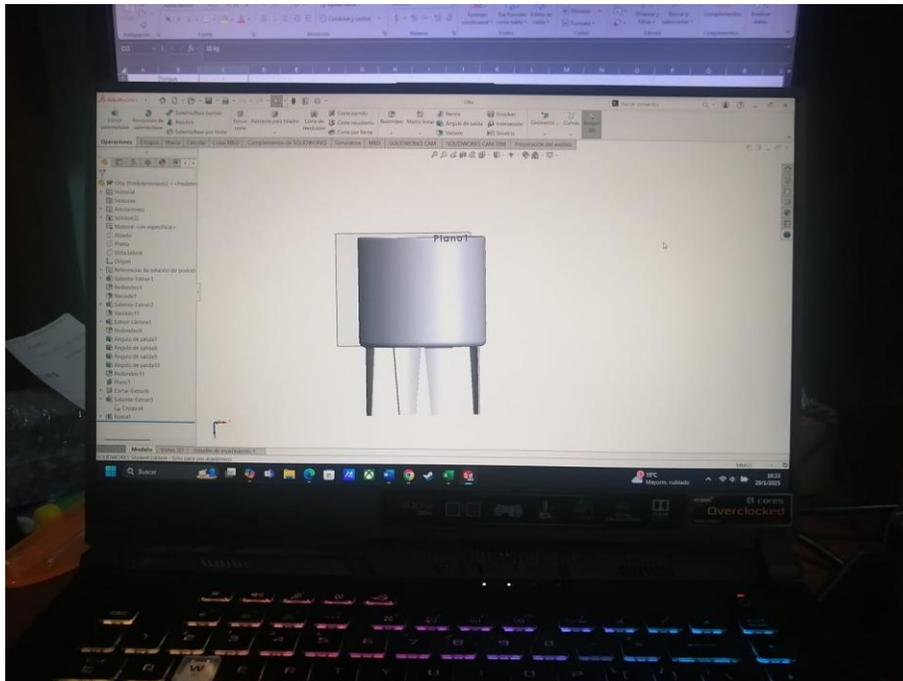
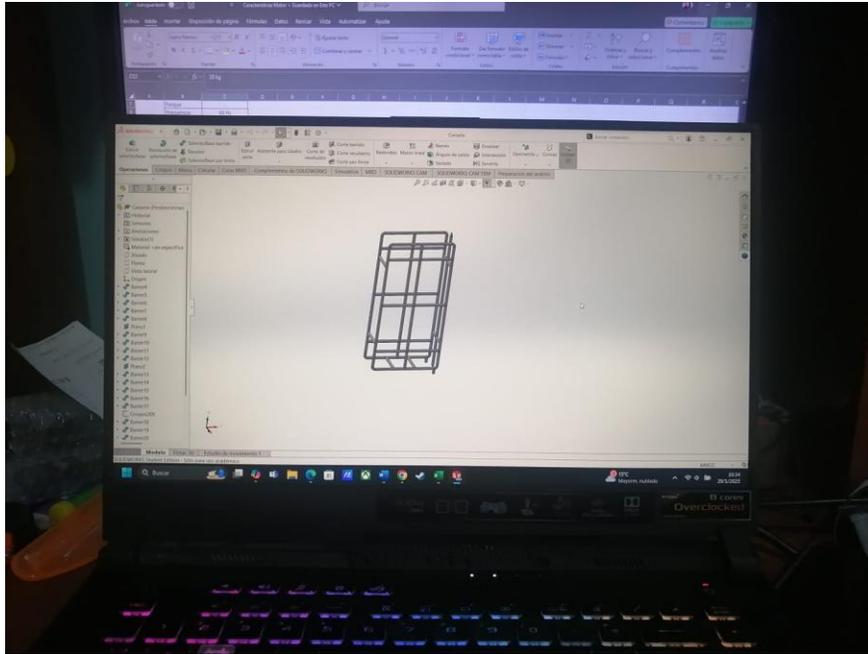


Figura 59. Polea grande





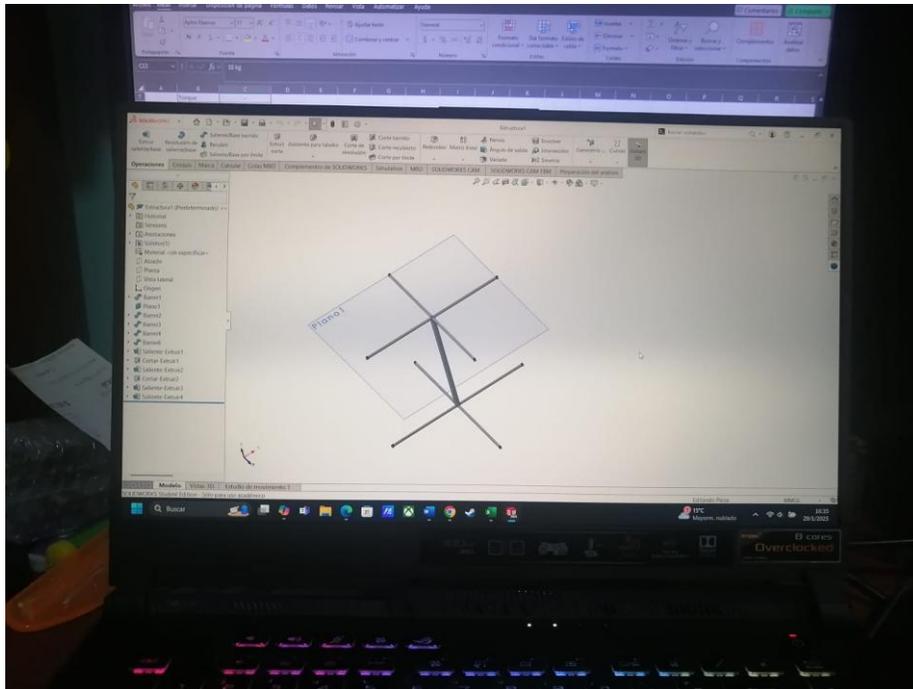


Figura 61. Registro de la elaboración de los modelos.