UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERÍA MECATRÓNICA

TEMA:

"MÁQUINA CENTRIFUGADORA DE EXTRACCIÓN DE MIEL DE ABEJA *(Apis mellifera)* EN APICULTURA ARTESANAL"

AUTOR: Túquerres Puma Jairo Tomas

DIRECTOR: Ing. Milton Alejandro Gavilánez Villalobos, MSc

ASESOR: Ing. Brizeida Nohemí Gámez Aparicio, PhD

Ibarra - Ecuador

2024

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100373987-5		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Túquerres Puma Jairo Tomas		
DIRECCIÓN:	Yuracrucito, Ibarra		
EMAIL:	jttuquerresp@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		**TELÉFONO MÓVIL:**	0999457991

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Máquina centrifugadora de extracción de miel de abeja *(Apis mellifera)* en apicultura artesanal
AUTOR (ES):	Túquerres Puma Jairo Tomas
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	15/02/2024
PROGRAMA:	☒ **PREGRADO** ☐ **POSGRADO**
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Milton Alejandro Gavilánez Villalobos, MSc

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 15 días del mes de febrero de 2024

EL AUTOR:

(Firma).....
Nombre: Túquerres Puma Jairo Tomas

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 15 de febrero de 2024

Ing. Milton Alejandro Gavilánez Villalobos, MSc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

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

(f) .....

Ing. Milton Alejandro Gavilánez Villalobos, MSc

C.C.:1001139458

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado con profundo cariño a mis padres, Leonso Túquerres y María Puma, quienes con su amor ilimitado y constante apoyo han sido los pilares fundamentales en cada paso de mi trayectoria universitaria. A mis hermanos, Oscar, Doris y Kevin por brindarme inspiración y fortaleza en momentos cruciales de mi vida. Su apoyo incondicional y la conexión especial que compartimos han sido esenciales para mi crecimiento y éxito académico.

Esta dedicatoria es un homenaje que se extiende a los demás miembros de mi familia, con un reconocimiento especial para mi prima Vivi, quien me ha brindado su ayuda invaluable desde los inicios de mi vida universitaria.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a la Universidad Técnica del Norte por brindarme la invaluable oportunidad de realizar mis estudios profesionales ya que es un honor formar parte de esta prestigiosa institución.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis mentores, el Ing. Milton Gavilánez MSc y a la Ing. Brizeida Gámez PhD. Su orientación experta, apoyo constante y dedicación en el desarrollo de este trabajo han sido fundamentales. Además, deseo expresar mi reconocimiento por las innumerables lecciones que me brindaron a lo largo de mi carrera universitaria, las cuales han dejado una marca indeleble en mi formación personal y profesional.

No puedo pasar por alto el agradecimiento a mis mejores amigos que, de alguna u otra manera, han aportado a mi formación y han contribuido a la consecución de este logro, les doy las gracias.

RESUMEN

La apicultura es una actividad que se realiza de manera artesanal en las comunidades rurales donde se emplean técnicas tradicionales de extracción de miel como la de aplastamiento manual, en este proceso, la cera es completamente destruida y no se puede reutilizar. Cuando el marco se devuelve a la colmena las abejas tienen la tarea de reconstruir primero la cera para posteriormente continuar con la elaboración de miel, lo que prolonga significativamente el tiempo de producción.

Posteriormente, se propone el diseño de una máquina centrifugadora capaz de extraer la miel de los marcos con un daño mínimo de cera, la inclusión de un mecanismo de giro reversible no solo reduce la intervención del apicultor en el ciclo de centrifugado, sino que también mejora la calidad del producto final ya que se cumple con normas de higiene establecidas por entidades nacionales. En esta parte también se considera que los elementos involucrados en el diseño sean comerciales y se encuentren disponibles en el mercado local para que no se presenten inconvenientes al momento de la adquisición de materiales en la fase construcción.

Finalmente se implementa la máquina para validar su funcionamiento mecánico y eléctrico, estableciendo tiempos y velocidades recomendadas para cada parte del ciclo de centrifugado. Durante esta fase se comprueba la reducción del daño de cera en los marcos para que puedan ser reutilizados, también se realiza un análisis económico donde se verifica la viabilidad de la implementación de una máquina centrifugadora en la apicultura artesanal.

ABSTRACT

Beekeeping is an activity that is carried out in an artisanal manner in rural communities where traditional honey extraction techniques such as manual crushing are used, in this process, the wax is completely destroyed and cannot be reused. When the frame is returned to the hive the bees have the task of first reconstructing the wax to later continue with the production of honey, which significantly prolongs the production time.

Subsequently, the design of a centrifuge machine capable of extracting honey from the frames with minimal wax damage is proposed. The inclusion of a reversible turning mechanism not only reduces the intervention of the beekeeper in the centrifugation cycle, but also improves the quality of the final product since it complies with hygiene standards established by national entities. In this part, it is also considered that the elements involved in the design should be commercial and available in the local market so that there are no inconveniences at the time of acquiring materials in the construction phase.

Finally, the machine is implemented to validate its mechanical and electrical operation, establishing recommended times and speeds for each part of the centrifugation cycle. During this phase, the reduction of wax damage in the frames is verified so that they can be reused. An economic analysis is also carried out to verify the feasibility of implementing a centrifuge machine in artisanal beekeeping.

ÍNDICE DE CONTENIDO

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA I

CONSTANCIAS I

CERTIFICACIÓN II

DEDICATORIA III

AGRADECIMIENTO IV

RESUMEN V

ABSTRACT VI

ÍNDICE DE FIGURAS XIII

ÍNDICE DE TABLAS XVII

CONTEXTO XVIII

INTRODUCCIÓN XX

Planteamiento del Problema XX

Objetivos XXI

Objetivo General XXI

Objetivos Específicos XXI

Alcance XXII

Justificación XXIII

CAPÍTULO I 1

1. MARCO REFERENCIAL 1

1.1. Antecedentes 1
1.2. La miel 2
1.2.1. Propiedades físicas de la miel 3
1.3. Métodos de extracción de miel 4
1.3.1. Extracción por prensado o aplastamiento 4
1.3.2. Extracción por centrifugado 5
1.3.3. Extracción por gravedad 6
1.4. Máquinas centrífugas 7
1.4.1. Definición de una máquina centrífuga 8
1.5. Máquinas centrifugadoras de miel de abeja 8
1.5.1. Centrifugadora radial 8
1.5.2. Centrifugadora tangencial 9
1.5.3. Centrifugadora paralelo radial 10
1.6. Materiales usados en la industria alimenticia 10
1.6.1. Acero inoxidable 11
1.6.2. Filamento de impresión 3D 12
CAPÍTULO II 14
2. MARCO METODOLÓGICO 14
2.1. Modelo de investigación 14
2.2. Diseño de la investigación 15

2.2.1. Fase 1 15
2.2.2. Fase 2 15
2.2.3. Fase 3 16
2.2.4. Fase 4 17
2.3. Metodología de diseño 17
CAPÍTULO III 19
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS 19
3.1. Requerimientos de diseño 19
3.1.1. Listado de requerimientos de la máquina 19
3.2. Diagrama funcional de la máquina centrifugadora 21
3.3. Planteamiento de alternativas de solución 25
3.3.1. Alternativa 1 25
3.3.2. Alternativa 2 26
3.3.3. Alternativa 3 27
3.4. Evaluación de soluciones 28
3.4.1. Alternativa seleccionada 32
3.5. Diseño del porta marcos 34
3.5.1. Análisis del diseño del porta marcos 36
3.6. Mecanismo de giro 37
3.6.1. Mecanismo tipo bisagra 38

3.6.2. Análisis del diseño del mecanismo de giro 39
3.7. Cálculo de la potencia del motor 40
3.7.1. Momento de inercia del mecanismo de giro 40
3.7.2. Relación de transmisión 42
3.7.3. Aceleración angular 43
3.7.4. Momento torsor y potencia final 44
3.8. Sistema de transmisión de potencia 47
3.8.1. Factor de diseño 47
3.8.2. Selección del tipo de correa 49
3.8.3. Selección de poleas 50
3.8.4. Velocidad de la banda 51
3.8.5. Distancia entre centros y longitud de la banda 53
3.8.6. Vida útil de la banda 55
3.9. Diseño del eje del mecanismo de giro 63
3.9.1. Análisis estático del eje motriz 63
3.9.2. Diseño del eje a fatiga (Punto B) 73
3.10. Selección de los rodamientos 81
3.10.1. Tipo de rodamiento 81
3.10.2. Factor de seguridad a carga estática 85
3.10.3. Vida útil del rodamiento 87

3.11. Diseño del tanque de almacenamiento 89
3.12. Estructura de soporte 91
3.12.1. Análisis estático de la estructura de soporte..... 91
3.13. Automatización..... 92
3.13.1. Rampas de aceleración y desaceleración 93
3.13.2. Diseño del panel de control..... 94
3.14. Fabricación y ensamblaje 102
3.14.1. Sistema eléctrico 103
3.14.2. Estructura de soporte..... 103
3.14.3. Sistema de transmisión..... 104
3.14.4. Tanque de almacenamiento..... 105
3.14.5. Mecanismo de giro..... 105
3.14.6. Ensamblaje de la máquina..... 106
3.14.7. Máquinas y herramientas de construcción 107
3.15. Pruebas de funcionamiento..... 108
3.15.1. Requerimientos previos..... 108
3.15.2. Definición de tiempos y velocidades de centrifugado 108
3.15.3. Datos del proceso de extracción..... 111
3.15.4. Eficiencia de máquina..... 113
3.15.5. Análisis de producción..... 114

3.15.6. Comportamiento del motor trifásico durante ciclo de trabajo 114
3.15.7. Estado de la corriente del motor 116
3.15.8. Sistema de filtrado 118
3.16. Costo de implementación 118
3.16.1. Costos directos 118
3.16.2. Costos indirectos 122
3.16.3. Costo total 122
3.16.4. Análisis de rentabilidad 123
CAPÍTULO IV 126
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 126
4.1. Conclusiones 126
4.2. Recomendaciones 128
BIBLIOGRAFÍA 129
ANEXOS 134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Extractor de Hruschka (versión final).* 2

Figura 2 *Cera con miel y abejas.* 3

Figura 3 *Prensado de los panales de miel.* 5

Figura 4 *Centrifugado de miel.* 6

Figura 5 *Extracción de miel por gravedad.* 7

Figura 6 *Representación de la fuerza centrífuga.* 7

Figura 7 *Canasta de un extractor radial.* 9

Figura 8 *Máquina centrifugadora tangencial.* 9

Figura 9 *Centrifugadora paralelo radial.* 10

Figura 10 *Láminas de acero inoxidable AISI 304.* 12

Figura 11 *Utensilio en impresión 3D.* 13

Figura 12 *Método V.* 18

Figura 13 *Diagrama funcional nivel cero.* 22

Figura 14 *Diagrama funcional nivel uno.* 22

Figura 15 *Diagrama funcional nivel dos.* 23

Figura 16 *Alternativa de diseño 1.* 26

Figura 17 *Alternativa de diseño 2.* 27

Figura 18 *Alternativa de diseño 3.* 28

Figura 19 *Subconjuntos de la máquina centrifugadora.* 32

Figura 20 *Elementos de los subconjuntos de la máquina centrifugadora.* 33

Figura 21 *Dimensiones de marco tipo Langstroth.* 34

Figura 22 *Diseño completo del porta marcos.* 35

Figura 23 *Análisis de elementos finitos del porta marcos.* 36

Figura 24 *Mecanismo de giro reversible.* 37

Figura 25 *Mecanismo tipo bisagra.* 38

Figura 26 *Análisis de elementos finitos del mecanismo de giro.* 39

Figura 27 *Momento de inercia I_{mec} alrededor del eje X* 41

Figura 28 *Factor de servicio FS para mayorar la potencia nominal.* 48

Figura 29 *Gráfica de selección de tipo de correa.* 49

Figura 30 *Dimensiones estándares mínimas de poleas en V.* 50

Figura 31 *Dimensiones estándares para poleas en V.* 51

Figura 32 *Velocidades máximas según el material de la polea.* 52

Figura 33 *Longitudes de bandas clásicas.* 54

Figura 34 *Geometría de banda abierta.* 55

Figura 35 *Factor de corrección de la banda.* 57

Figura 36 *Fuerzas en los ramales de la correa en base al sentido de giro.* 58

Figura 37 *Factores de fricción entre polea y correa.* 59

Figura 38 *Parámetros de durabilidad para algunas secciones de banda en V.* 62

Figura 39 *DCL del eje motriz.* 65

Figura 40 *Representación de las tensiones de la polea en el plano Z-Y.* 65

Figura 41 *Representación de las fuerzas en el plano X-Y.* 67

Figura 42 *Representación de las fuerzas en el plano X-Z.* 68

Figura 43 *Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano X-Y.* 70

Figura 44 *Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano X-Z.* 71

Figura 45 *Diagrama de fuerzas internas y torque.* 73

Figura 46 *Dimensiones del cambio de sección en el punto B.* 78

Figura 47 *Carga combinada en rodamientos.* 82

Figura 48 *Tipos de rodamientos en base al ángulo de contacto.* 83

Figura 49 *Rodamientos de inserción SKF.* 84

Figura 50 *Nomenclatura de rodamientos.* 84

Figura 51 *Propiedades mecánicas de los rodamientos de inserción SKF.* 85

Figura 52 *Factores de cálculo para rodamientos de inserción.* 88

Figura 53 *Dimensiones de la sección de almacenamiento.* 90

Figura 54 *Estructura de soporte.* 91

Figura 55 *Análisis de elementos finitos de la estructura de soporte.* 92

Figura 56 *Rampas de aceleración / desaceleración del motor.* 93

Figura 57 *Posición de los porta marcos durante ciclo de operación.* 94

Figura 58 *Variador de frecuencia Kewo AD100.* 96

Figura 59 *Entradas de control del VDF.* 98

Figura 60 *Temporizador multifunción GEYA.* 98

Figura 61 *Modo de uso del temporizador multifunción.* 99

Figura 62 *Interruptor termomagnético seleccionado.* 100

Figura 63 *Panel de control de la máquina.* 101

Figura 64 *Ensamblaje de sistema eléctrico.* 103

Figura 65 *Ensamblaje de estructura de soporte.* 104

Figura 66 *Implementación del sistema de transmisión.* 104

Figura 67 *Tanque y grifo de salida de la miel.* 105

Figura 68 *Construcción del mecanismo de giro.* 106

Figura 69 *Máquina centrifugadora de extracción de miel ensamblada.* 106

Figura 70 *Tiempos que componen el ciclo de trabajo.* 109

Figura 71 *Marco con daño de cera.* 112

Figura 72 *Marco sin daño de cera.* 112

Figura 73 *Comportamiento del motor durante el ciclo de centrifugado.* 115

Figura 74 *Estado de la corriente del motor sin carga.* 116

Figura 75 *Estado de la corriente del motor a carga completa.* 117

Figura 76 *Filtrado y posterior envasado de la miel.* 118

Figura 77 *Marco de miel con cera incompleta.* 127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Propiedades físicas de la miel.* 4

Tabla 2 *Características del acero inoxidable.* 11

Tabla 3 *Listado de requerimientos por parte de los apicultores.* 19

Tabla 4 *Descripción del diagrama funcional nivel uno.* 22

Tabla 5 *Descripción del diagrama funcional nivel dos.* 24

Tabla 6 *Ponderación alternativa de diseño 1.* 29

Tabla 7 *Ponderación alternativa de diseño 2.* 30

Tabla 8 *Ponderación alternativa de diseño 3.* 31

Tabla 9 *Características del motor trifásico seleccionado.* 46

Tabla 10 *Componentes del sistema eléctrico.* 95

Tabla 11 *Características del VDF Kewo AD100.* 97

Tabla 12 *Descripción de los elementos del tablero de control.* 101

Tabla 13 *Listado de máquinas y herramientas empleadas.* 107

Tabla 14 *Tiempos de operación.* 110

Tabla 15 *Resultados de pruebas de centrifugado.* 111

Tabla 16 *Eficiencia de la máquina centrifugadora.* 113

Tabla 17 *Lista de materiales.* 119

Tabla 18 *Procesos de manufactura.* 121

Tabla 19 *Lista de costos indirectos del proyecto.* 122

Tabla 20 *Costo total del proyecto.* 123

Tabla 21 *Evaluación económica de la centrifugadora.* 124

CONTEXTO

(Montenegro, 2019) desarrolló el diseño de una máquina centrifugadora para ser implementada en Lambayeque, una cuidad de Perú. En su trabajo, se probó un sistema de centrifugación tangencial por lo que se debía de realizar la inversión manual de los panales. La máquina tiene una capacidad de extracción de 296 kg/h por lo que puede cumplir las necesidades de una empresa de mediana o alta producción de miel. Además, al tener una mayor capacidad de extracción la máquina tiene un sistema de calentamiento que optimiza el proceso de evacuación del recipiente donde se almacena la miel después de su centrifugado, de esta manera se reduce la cantidad de producto desperdiciado al momento de realizar la limpieza de la máquina.

(Damián & Díaz, 2021) desarrollaron el diseño e implementación de un prototipo encargado de controlar el proceso de post cosecha de la miel de abeja. En su trabajo, se implementó un sistema de inspección automático que tiene la capacidad de controlar la centrifugación, filtrado y la etapa de cocción de la miel mediante un PLC que envía las señales a un variador de frecuencia que controla la velocidad del motor y sensores que se encargan de detectar el nivel de la miel en el depósito para después activar una bomba que envía el producto al proceso de filtrado y posterior envasado. El prototipo se implementó en la empresa de productos naturales Perú Miel para verificar su funcionamiento por lo que se podría usar en cualquier otra empresa a fin con pequeñas modificaciones en cuanto a dimensiones y capacidad de producción. Además, el prototipo al ser semiautomático optimiza en gran medida todo el proceso de post cosecha con menor invasión al producto lo cual incrementa la producción y las ganancias.

(Cando & Jaramillo, 2016a) diseñaron una máquina centrifugadora de tipo radial automática enfocada a pequeños y medianos apicultores. En el desarrollo de su tesis se emplearon técnicas de diseño mecánico para validar cada elemento de la estructura. El diseño desarrollado es

completamente factible para ser implementado en microempresas de apicultores debido a la relación existente entre su precio y capacidad de extracción y producción. El aspecto que destaca en esta máquina es que posee un sistema optimizado de decantación de la miel además de un sistema de control de velocidad del motor cuyo objetivo es extraer el producto sin dañar la cera de los panales.

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del Problema

"En Ecuador la apicultura ha sido una actividad que se ha caracterizado por ser realizada de forma artesanal y en pequeña escala por habitantes de zonas rurales, mediante pequeños y medianos apicultores" (Beltran & Vásconez, 2020, p. 1327). Un inconveniente que poseen los apicultores es el tiempo que conlleva la extracción de la miel de los panales y el nivel de contacto entre el humano y el producto debido a las máquinas o procesos caseros que se emplean normalmente.

Las técnicas tradicionales de extracción de miel se basan en máquinas o procesos manuales lo cual produce que la cera de los panales se maltrate ocasionando que no pueda ser reutilizada lo cual a su vez perjudica la cantidad y el tiempo de producción de miel. Los pequeños y medianos apicultores de las diferentes provincias del Ecuador desarrollan esta actividad de forma artesanal por lo que es necesario implementar nuevas formas de mejorar la producción para que la apicultura pueda ser considerada como una industria con un alto potencial. En países industrializados ya se han propuesto máquinas de gran nivel tecnológico que cubren estas necesidades, pero las mismas son bastante costosas ya que su precio ronda entre los 580 $ en comparación con la economía de los pequeños productores (Franco & Zambrano, 2020, p. 45).

Para acceder a mercados competitivos es necesario que los pequeños productores optimicen el método de cosecha mediante el uso de una máquina centrifugadora para la extracción de miel de abeja, que sea capaz de cubrir las necesidades de los apicultores como la optimización del tiempo en la extracción de miel, el cuidado de la cera, el cumplimiento de las normas de higiene y el cuidado de la salud del trabajador. Esta máquina debe estar al alcance económico de los

productores con la finalidad de incrementar esta actividad en el país y así obtener un buen posicionamiento entre los países productores de miel de abeja.

Una máquina centrifugadora contribuirá a que los pequeños apicultores puedan tener una mejor estabilidad financiera, disminuir el tiempo de extracción de miel, mejorar la calidad sanitaria del producto e incrementar su producción. De esta manera se salvaguarda la integridad de los apicultores y consumidores.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar una máquina centrifugadora de extracción de miel de abeja (*Apis mellifera*) en apicultura artesanal.

Objetivos Específicos

- Definir las características principales para el diseño de la máquina centrifugadora.
- Diseñar la máquina centrifugadora empleando técnicas que cumplan con los requerimientos previamente definidos.
- Construir la máquina centrifugadora para verificar las características de funcionamiento.
- Validar el diseño de la máquina.

Alcance

Con el desarrollo del trabajo se pretende conseguir el diseño de una máquina centrifugadora funcional que tenga la capacidad de extraer la miel de los panales mediante centrifugación con una capacidad de almacenamiento de 20 litros, gracias a esto se disminuiría el daño de la cera para que pueda ser reutilizada en pequeños apiarios y así optimizar el tiempo de producción.

También mediante la implementación de la máquina se lograría validar el funcionamiento directamente al momento de realizar el proceso de extracción y filtrado de miel en empresas que trabajan con colmenas de tipo Langstroth lo cual permitiría tener una mejor calidad del producto final.

Justificación

La Universidad Técnica del Norte forma profesionales con responsabilidad social que se vinculan con la comunidad que deben contribuir a su desarrollo mediante técnicas, métodos y herramientas tecnológicas y vanguardistas (Estatuto Orgánico de La Universidad Técnica Del Norte, 2020). Por esta razón es necesario brindar herramientas que optimicen el proceso de extracción de miel de los panales para obtener una mejor calidad y cantidad de producción en un menor tiempo, lo cual permite alcanzar mejores mercados, de esta manera se incentiva esta actividad como trabajo frente a pequeños y posibles apicultores en comunidades rurales.

El Registro Apícola realizado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), estableció que en el Ecuador existen alrededor de 1 760 apicultores y 19 155 colmenas, que se encargan de suministrar al mercado nacional de miel de abeja, polen, propóleo y cera (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2018). Por lo que es una alternativa para la agricultura familiar campesina que se debe impulsar ya que juega un papel fundamental para restablecer ecosistemas, e impulsar emprendimientos con fortalecimiento asociativo.

Debido a un incremento de producción en un menor tiempo mediante la implementación de la máquina centrifugadora se tendría un mejor estado económico ya que el producto poseerá mejores características de calidad e higiene, esto abriría un mejor mercado para que el pequeño apicultor pueda comercializar su producto a un mayor precio.

CAPÍTULO I

MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

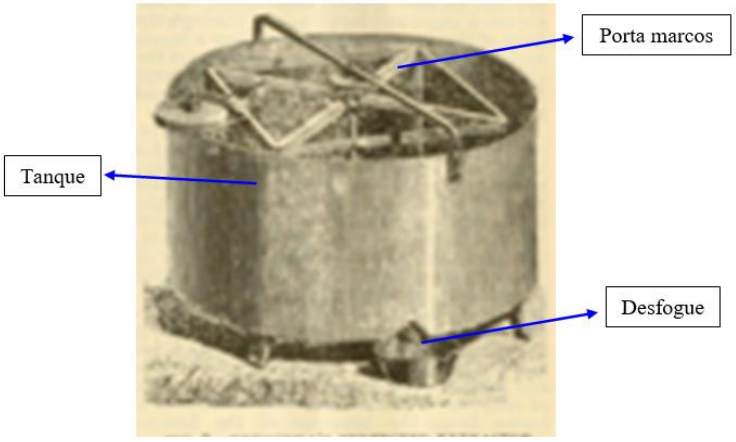
Los hombres primitivos prácticamente hurtaban la miel de los nidos silvestres de las abejas que se localizaban en grandes grietas ya sea en árboles u rocas. Mediante la evolución el hombre fue adquiriendo la habilidad de cuidar, proteger y controlar la producción que tenían las colmenas para después proceder con el desarrollo de la actividad que actualmente se conoce como apicultura.

Hoy los apicultores artesanales presentan dificultad en la extracción de la miel, por los daños internos que se generan en la estructura de los marcos contenedores del producto, por estas razones se buscaron métodos alternativos para la extracción, entre los cuales uno de los más importantes que se ha destacado a lo largo de la historia es el proceso de extracción por centrifugación.

"El inventor del extractor de miel fue Francesco De Hruschka en 1883" (Escobar, 2007, p. 29). Francesco tuvo la idea de emplear la fuerza centrífuga cuando miró a su hijo jugando con una cuerda atada a una canasta que tenía un marco de miel en su interior, el niño lo hizo girar y se pudo evidenciar como la miel se desprendía de la cera de forma automática. Francesco pasó por tres prototipos de máquinas que fueron evolucionando en base a la capacidad y tiempo de extracción llegando hasta la versión final mostrada en la Figura 1.

Figura 1

Extractor de Hruschka (versión final).



Nota: Adaptado de (Wikiwand, 2020).

Gracias a este aporte se ha mejorado la eficiencia de la cosecha de miel y se revolucionado la industria de la apicultura. En este proceso cabe recalcar que se cuenta con los siguientes beneficios:

- Menor daño a la estructura de los marcos de miel para su posterior reutilización.
- Disminución del tiempo de extracción del producto.
- Mayor extracción de miel que otros métodos.

1.2. La miel

"La miel de abeja es una compleja mezcla de carbohidratos y de otros compuestos naturales elaborados por diferentes especies del género de abejas Apis, entre ellas, Apis mellífera. La importancia de este suplemento dietético potencial se debe a los beneficios terapéuticos, profilácticos, cosméticos y nutricionales como resultado de sus propiedades fisicoquímicas" (Campo & Hincapié, 2022, p. 1). En la Figura 2 se muestra la estructura general de la cera.

Figura 2

Cera con miel y abejas.

Nota. Tomado de: (Ulloa et al., 2010).

Este producto natural se ha venido empleando desde tiempos remotos por la gran cantidad de beneficios que ofrece, su uso se remonta hasta la época de la prehistoria ya que se ha encontrado indicios de cera de los panales en cuevas que yacen desde la edad de piedra.

Con el desarrollo de la agricultura se pudo implementar una manera controlada de la producción de miel y de la misma manera gracias a la industrialización de los países se dio inicio al desarrollo de esta actividad de manera vanguardista.

1.2.1. Propiedades físicas de la miel

La miel de abeja cuenta como cualquier otro producto alimenticio cuenta con una gran variedad de características físicas y químicas, en este caso se necesita conocer las propiedades físicas mostradas en la Tabla 1 que se considera en la sección de diseño más adelante.

Tabla 1

Propiedades físicas de la miel.

Propiedad	Descripción
Viscosidad	"A temperatura ambiente la viscosidad de este producto puede variar ya que con un contenido de agua de 18,9% la viscosidad es igual a 9,9 Pa*s, y hasta 61,1 Pa*s con 13,9% de agua" (Ramos et al., 2014, p. 19).
Humedad	La humedad influye fácilmente en el peso específico, en la viscosidad y en el sabor, la palatabilidad y la solubilidad de la miel. Puede variar entre 1,3384 y 1,5015 kg/dm^3.
Conductividad Eléctrica	Esta característica puede variar entre los 0,868 a los 3,65 x 10^{-4} ohm/cm.
Cristalización	Se produce más velozmente cuanto más elevada es la relación glucosa/agua. Por lo general oscila entre 1,6 y 2,5 de viscosidad.
Coloración	El color de la miel varía entre blanco al negro aun que puede variar entre la especie de abeja y la floración del ecosistema.
Densidad	Este aspecto a 20 ° está comprendido entre 1,410 g/ml y 1,435 g/ml.

Nota. Adaptado de: (Gutiérrez, 2016, p. 8).

1.3. Métodos de extracción de miel

1.3.1. Extracción por prensado o aplastamiento

Este método es el más tradicional ya que en comparación a los demás métodos que se mencionan más adelanta no se requiere de máquinas tan costosas, se puede realizar simplemente aplastando los panales para liberar la miel de cada una de las celdillas y así separar el producto de la cera.

De la misma manera se puede emplear una prensa para facilitar el trabajo, como se muestra en la Figura 3 la miel prensada se recolecta en la parte inferior y se deposita en un filtro, una de las principales desventajas de este método es que la cera es totalmente destruida y la miel contiene varias impurezas lo cual dificulta el proceso de filtrado.

Figura 3

Prensado de los panales de miel.

Nota. Tomado de: (Abeja Silvestre, 2017)

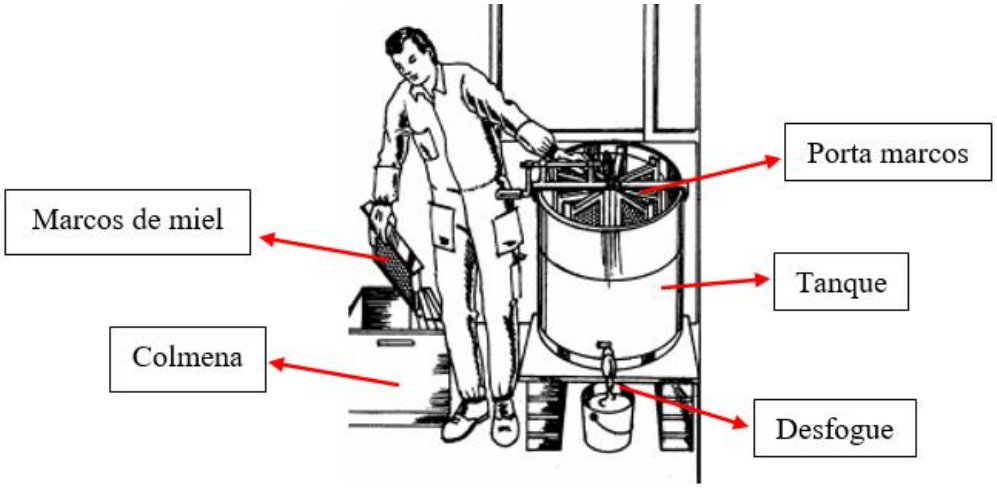
1.3.2. Extracción por centrifugado

"Se realiza con equipos que utilizan la fuerza centrífuga, para que la miel que se acumula hacia afuera luego pueda ser recolectada en depósitos" (Nimo et al., 2016, p. 75). En este proceso primeramente se debe retirar las tapas de cada celdilla del panal para después proceder con la centrifugación donde la miel se desprende hacia las paredes de la máquina.

Cabe recalcar que la velocidad de giro es fundamental ya que si se excede la cera se romperá y no podrá ser reutilizada. Después de este proceso es necesario filtrar la miel para su posterior consumo como se muestra en la Figura 4.

Figura 4

Centrifugado de miel.



Nota. Tomado de: (Usabiaga et al., 2002).

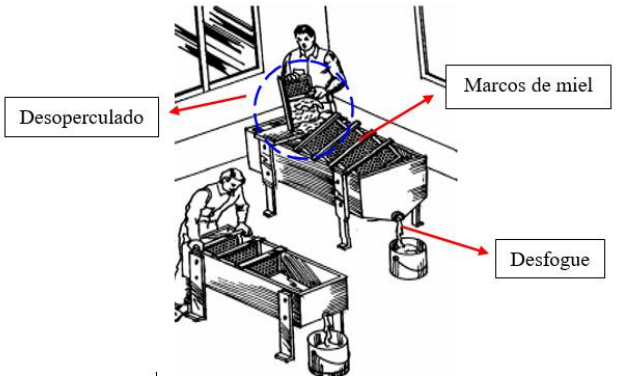
1.3.3. Extracción por gravedad

Se seleccionan los panales con mayor cantidad de miel verificando que estos se encuentren libres de larvas y polen o cualquier otra impureza, después se sigue con el proceso de desopercular que consiste en desprender las tapas de cera de cada celdilla del panal para que la miel se pueda desprender con mayor facilidad.

Posteriormente los cuadros se colocan en cierto grado de inclinación para que la miel se escurra durante toda la noche, finalmente la miel se debe filtrar, aunque en este proceso no se tiene una alta cantidad de impurezas en comparación con los métodos ante mencionados y se logra mantener intactos los panales para su posterior reutilización como se observa en la Figura 5.

Figura 5

Extracción de miel por gravedad.



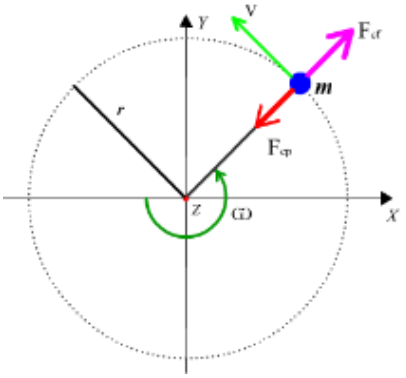
Nota. Tomado de: (Usabiaga et al., 2002).

1.4. Máquinas centrífugas

"La fuerza centrífuga es una fuerza ficticia que actúa cuando se describe un movimiento desde un sistema de referencia en rotación, esta fuerza siempre está dirigida hacia afuera de la curvatura, también es la que tiende a distancias la partícula del eje de rotación" (Llano, 2019, p. 1). Para una mejor comprensión de este término, la Figura 6 muestra a detalle cada elemento que se genera al hablar de fuerza centrífuga.

Figura 6

Representación de la fuerza centrífuga.



Donde:

F_{cf} = *fuerza centrífuga* = $m\,\omega^2 r$

F_{cp} = *fuerza centrípeta*

r = *radio*

ω = *velocidad angular*

v = *velocidad tangencial*

z = *centro de rotación*

m = *masa de la partícula*

1.4.1. Definición de una máquina centrífuga

"Una centrífuga es una máquina que pone en rotación una muestra para separar por fuerza centrífuga sus componentes o fases (generalmente una sólida y una líquida), en función de su densidad" (Maldonado, 2011, p. 20).

Dicho de otra manera, el proceso de centrifugación se centra en el movimiento de las partículas que se encuentran suspendidas en un determinado líquido, mediante la fuerza denominada centrifuga estas se trasladan hacia a fuera del centro de rotación. Los aspectos fundamentales para considerar para este proceso son la viscosidad y las propiedades físicas de la muestra, la fuerza centrífuga varía en función del radio y la velocidad de giro.

1.5. Máquinas centrifugadoras de miel de abeja

Este tipo de máquinas emplean la fuerza centrífuga para separar la miel de la cera para después ser recogida en el fondo del extractor que por lo general se compone de las siguientes partes: canasta, cuba, motor o manivela.

1.5.1. Centrifugadora radial

Este extractor es utilizado por apicultores que poseen un alto número de colmenas ya que la miel es extraída por ambos lados reduciendo el tiempo de cosecha. Los marcos se colocan de forma radial al eje giratorio. Por otra parte, una de las principales desventajas que presenta esta máquina es que los panales se deterioran fácilmente si la cera es nueva o la miel es muy viscosa, de la misma manera la miel no suele salir por completo de las celdillas de cera. Para una mejor comprensión este tipo de máquina se muestra en la Figura 7.

Figura 7

Canasta de un extractor radial.

Nota. Tomado de: (La Tienda del Apicultor, 2018).

1.5.2. Centrifugadora tangencial

En este caso la ubicación de los cuadros dentro de la cuba es tangente al barril, es decir, perpendicular al centro de rotación. Este método es empleado en apiarios con una producción no tan alta de miel, uno de los aspectos que destaca aquí es que estas máquinas tienen alrededor de un 2% de más rendimiento en comparación a la centrifugadora radial y trabaja con normalidad con panales de gran tamaño como el Layens y Dadant como se muestra en la Figura 8.

Figura 8

Máquina centrifugadora tangencial.

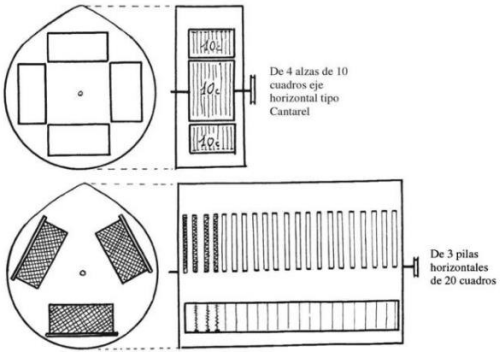
Nota. Tomado de: (Lema & Tisalema, 2016).

1.5.3. Centrifugadora paralelo radial

Básicamente esta máquina mostrada en la Figura 9 es la fusión de los dos métodos antes mencionados, “los cuadros se sitúan en el plano del círculo perpendicularmente a los radios para poder extraer la miel de la cara superior es necesario darles la vuelta manualmente” (Batson & Taipe, 2012, p. 22).

Figura 9

Centrifugadora paralelo radial.



Nota. Tomado de: (Pierre, 2007).

1.6. Materiales usados en la industria alimenticia

Este aspecto puede variar en base al área alimentaria en la que se centra, pero siempre con la misma finalidad de preservar las características de los productos que se manejan como la calidad, higiene y presentación final.

Actualmente gracias al avance de la tecnología las máquinas que se emplean en este aspecto pueden desarrollarse empleando una amplia gama de materiales para su construcción lo cual disminuye la contaminación de los alimentos durante su procesamiento industrial debido a que los materiales son menos invasivos y no alteran las características del producto.

También es necesario recalcar la siguiente premisa: “Material permitido en la industria alimenticia: compuestos autorizados mundialmente para su uso en la elaboración, proceso y envasado de alimentos. Ejemplos de ellos son el Polietileno Tereftalato (PET) y ciertos tipos de acero inoxidable” (Sandoval & Calispa, 2015, p. 10).

1.6.1. Acero inoxidable

Este material es ampliamente empleado en la industria alimentaria debido a sus características, la norma ecuatoriana NTE INEN-EN 1672-2 menciona una serie de características que deben cumplir las máquinas con el fin de reducir los riesgos para la salud del consumidor final.

Básicamente la higiene es el punto fuerte en el que se destaca este tipo de acero manifiesto en la Figura 10, a continuación, en la Tabla 2 se muestran algunas de las características que se destacan de este acero por lo que su uso es bastante amplio. Esta misma norma hace referencia a la norma UNE-EN ISO 1672 la cual tiene el mismo objetivo.

Tabla 2

Características del acero inoxidable.

Características del acero inoxidable
Alta resistencia a choques o tensiones de origen mecánico
Sin recubrimientos que se degraden fácilmente
Posee una superficie lisa, sin poros
Fácil de limpiar y desinfectar
Brinda gran resistencia a variaciones térmicas
Buena resistencia a la corrosión ocasionada por factores externos

Nota. Adaptado de: (ALSIMET, 2017).

Figura 10

Láminas de acero inoxidable AISI 304.

Nota. Tomado de: (ALSIMET, 2017).

1.6.2. Filamento de impresión 3D

Como bien se sabe, la impresión 3D se ha expandido a varias áreas de la ingeniería y una de ellas es la alimenticia. Muchos de los materiales no son aptos para la impresión 3D de elementos que se encuentran en contacto directo con alimentos, pero gracias a la evolución de esta área hoy en día ya se cuenta con una gran variedad de filamento completamente certificado en el área alimenticia que se rige a normas internacionales.

"La normativa FDA 21 CRF 177.15000 es la encargada de regular los materiales con los que se pueden fabricar recipientes para estar en contacto con alimentos (con excepción de alimentos con más del 8% de alcohol)" (FILAMENT2PRINT, 2015).

Esta temática es abordada ya que la versatilidad que ofrece la impresión 3D al momento de diseñar piezas especificas disminuye la complejidad de manufactura de algunas partes del sistema de filtrado de la miel u otros elementos que se encuentran en el interior de la máquina.

A continuación, en la Figura 11 se aprecia un ejemplo del uso de la impresión 3D en el área alimenticia.

Figura 11

Utensilio en impresión 3D.

Nota. Tomado de: (FormLabs, 2022).

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se aborda el proceso de selección y diseño de cada parte que compone la máquina centrifugadora de miel, de la misma manera se describe la metodología empleada que permitirá el cumplimiento de todos los requerimientos previamente definidos lo cual contribuirá significativamente al éxito del diseño y selección de los componentes críticos de la máquina tales como el eje de giro, las chumaceras, el sistema de transmisión de potencia, la estructura de soporte, el mecanismo de giro y los elementos eléctricos.

2.1. Modelo de investigación

En el presente trabajo de titulación se desarrolla una investigación aplicada cuyo objetivo es brindar una solución a una problemática presente en el área de la apicultura artesanal, uniendo aspectos teóricos con la implementación de la máquina (Vera & Finol, 2020).

De la misma manera, se realiza una investigación experimental ya que se lleva a cabo la construcción total de la centrifugadora para su posterior validación mediante pruebas de funcionamiento (Vera & Finol, 2020).

Por otra parte, se efectúa una investigación documental ya que se emplean herramientas como catálogos comerciales de elementos estandarizados (Vera & Finol, 2020), por otra parte, también se desarrolla un manual de usuario para que el apicultor pueda manipular la máquina de forma eficiente y segura.

Finalmente, se aplica una investigación de campo donde se recopila información de datos directamente del entorno de interés como lo son los apiarios que es el fenómeno de interés (Vera & Finol, 2020).

2.2. Diseño de la investigación

A continuación, se detallan las fases y actividades que conllevan para el diseño, construcción y respectivas pruebas de funcionamiento de la máquina centrifugadora de miel de abeja, cada fase hace referencia a los objetivos específicos.

2.2.1. Fase 1

Definición de las características principales para el diseño de la máquina centrifugadora.

En esta parte se realiza una investigación sobre lo referente a máquinas centrifugas y los métodos más empleados en la extracción de miel de abeja en apicultura artesanal, de la misma manera se recopila información referente a los requerimientos y necesidades que poseen los apicultores artesanales. A continuación, se enlistan las actividades de esta fase:

Entrevista a los pequeños apicultores.

Estudio de las características y propiedades de la miel.

Análisis de los métodos de extracción.

Análisis de los requerimientos de los apicultores.

2.2.2. Fase 2

Diseño de la máquina centrifugadora empleando técnicas que cumplan con los requerimientos previamente definidos.

En esta sección se realiza el diseño de cada componente que posee la máquina o a su vez se realiza el proceso de selección de piezas estandarizadas mediante el uso de catálogos verificando su disponibilidad en el mercado, todo esto se realiza considerando las respectivas normas que rigen

este tipo de máquinas enfocadas al ámbito alimenticio. A continuación, se enlistan las actividades de esta fase:

Definición del diseño.

Diseño de la estructura externa.

Diseño de elementos internos.

Diseño del sistema eléctrico.

Desarrollo de planos.

2.2.3. Fase 3

Construcción de la máquina centrifugadora para verificar las características de funcionamiento.

En esta fase se realiza la implementación del diseño previo, iniciando por la adquisición de todos materiales necesarios que componen cada parte de la máquina, seguido de los diferentes procesos de manufactura que conlleva cada elemento, finalizando con el ensamble de la máquina. A continuación, se enlistan las actividades de esta fase:

Adquisición de materiales.

Construcción de estructura externa.

Construcción de elementos internos.

Implementación del sistema de transmisión.

Implementación del sistema eléctrico.

2.2.4. Fase 4

Validación del diseño de la máquina.

En esta fase final se realizan las respectivas pruebas de funcionamiento que permiten determinar la funcionalidad de la máquina, esto se realiza mediante un análisis del proceder de los componentes de la máquina ante diferentes situaciones. A continuación, se enlistan las actividades de esta fase:

Prueba de centrifugado.

Prueba de sistema de filtrado.

Prueba de sistema de desfogue.

Desarrollo de documentación final.

2.3. Metodología de diseño

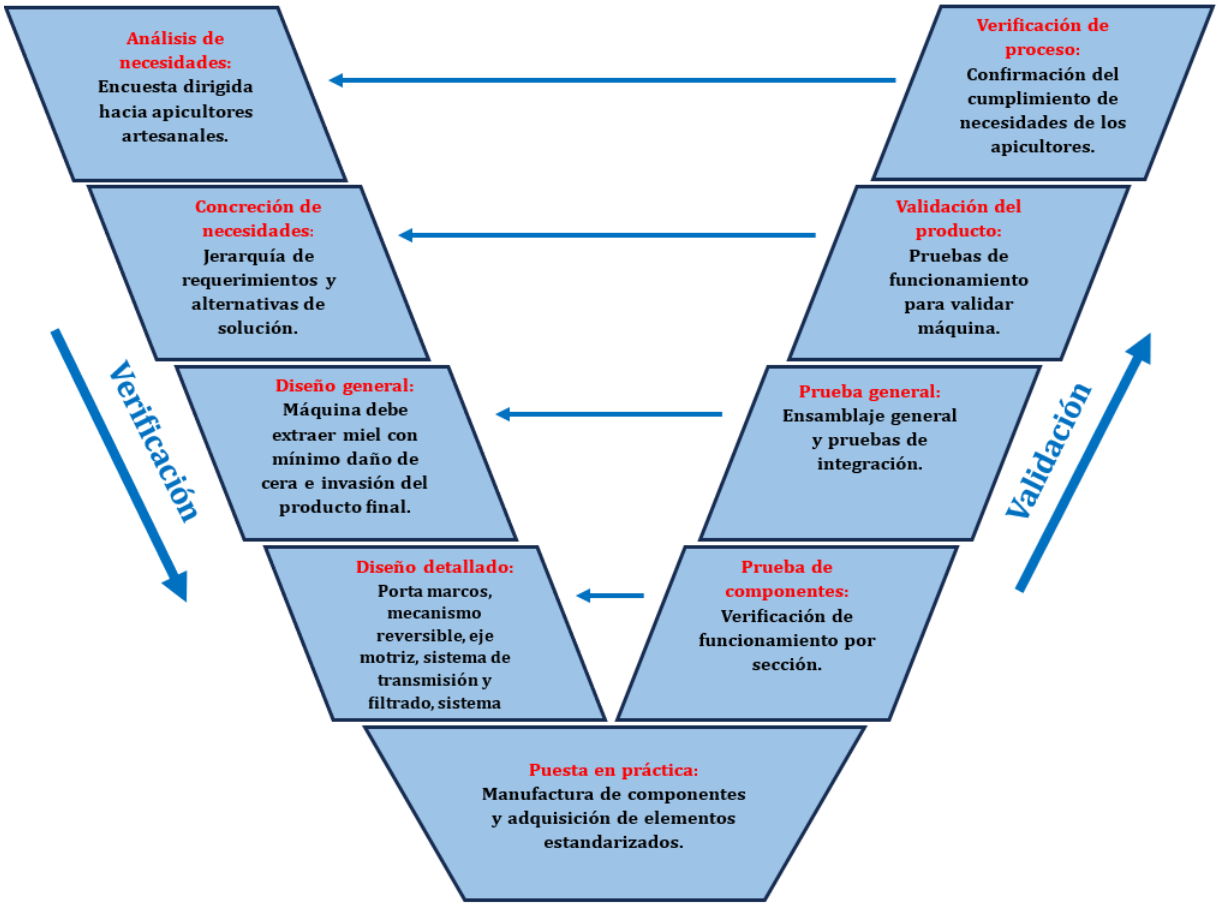
Existe una gran variad de metodologías empleadas en el desarrollo de trabajos que planean varias actividades para alcanzar el objetivo del proyecto. Específicamente en el área de la mecatrónica resalta un metodología denominada modelo V la cual será empleada debido a las ventajas que ofrece.

“Este modelo se adapta a los requisitos de la mecatrónica, y busca establecer un proceso para describir las principales características físicas y lógicas de funcionamiento del producto” (Rocha et al., 2019, p. 98).

En la Figura 12 se detalla cómo se ha aplicado el método V al desarrollo del proyecto partiendo desde el análisis de las necesidades, propuestas de solución, diseño, construcción, pruebas de funcionamiento y confirmación de la solventación de la problemática inicial.

Figura 12

Método V.



CAPÍTULO III

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Requerimientos de diseño

"La maquinaria apícola local no tiene estandarizados parámetros de diseño y en su mayoría se elaboran equipos artesanales sin ninguna previa investigación lo que provoca una adaptación forzada a utilizar métodos de extracción totalmente improvisados que carece de estudios técnicos" (López, 2017, p. 11).

3.1.1. Listado de requerimientos de la máquina

En base a la encuesta realizada a los apicultores de la comunidad de Chaupi, ubicada en el Anexo 1, se pudo recopilar el siguiente listado de requerimientos que se deben considerar en el diseño de la máquina centrifugadora de extracción de miel de abeja. Cada requerimiento tiene un grado de prioridad que varía entre baja, media y alta como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

Listado de requerimientos por parte de los apicultores.

Requerimiento	Descripción	Prioridad
Portabilidad	La máquina debe ser fácil de desplazarse cuando sea necesario dar el servicio de extracción a los apicultores de la zona.	Medio
Daño de cera	El método empleado debe ocasionar un mínimo daño a la cera de los panales para que pueda ser reutilizada.	Alto

	Capacidad	La máquina debe ser capaz de almacenar una cantidad de 20 L de miel en su interior para su posterior envasado, de la misma manera debe ser capaz de mantener una carga mínima de 2 panales.	Alto
	Limpieza	La máquina debe ser fácil de limpiar para evitar la contaminación de las siguientes cosechas de miel por una mala limpieza.	Medio
	Ruido	Este aspecto es irrelevante ya que la extracción se realiza lejos de las colmenas lo cual no molesta a las abejas, obviamente el ruido debe ser tolerable por el usuario.	Bajo
uso	Facilidad de	La máquina no debe ocasionar un alto nivel de dificultad en su manejo y debe tener el mínimo nivel invasivo del apicultor hacia el producto durante la extracción de miel.	Medio
	Mantenimiento	La máquina debe tener un sistema no tan complejo para que el usuario pueda realizar el respectivo mantenimiento fácilmente y sin herramientas muy complejas de emplear.	Medio
	Tiempo	La máquina debe extraer la mayor cantidad de miel para su posterior envasado en la menor	Medio

	cantidad de tiempo posible, pero sin comprometer a los panales.	
Costo	La máquina debe tener un costo considerablemente bajo en comparación a las máquinas de alto nivel que se encuentran en el mercado ya que esta actividad se realiza de forma artesanal y no a nivel industrial.	Alto

Nota: La tabla muestra el nivel de prioridad de los aspectos a considerar en el diseño de la máquina extractora de miel.

Esta serie de requerimientos será considerada para verificar que alternativa propuesta satisface la mayoría de ellos, cabe recalcar que solo se incrementarán dos parámetros extra de parte de la voz del ingeniero que se basa en el proceso de manufactura y la seguridad ya que es lo más importante en el proceso de diseño y fabricación.

3.2. Diagrama funcional de la máquina centrifugadora

A continuación, se muestran los diferentes niveles de diagramas funcionales de la máquina con el fin de comprender el completo funcionamiento de la centrifugadora, mostrando cada sección que la compone e identificando la sección de interés para el aspecto de automatización.

En la Figura 13 se muestra el diagrama nivel cero donde se resume completamente el objetivo funcional de la máquina.

Figura 13

Diagrama funcional nivel cero.

Posteriormente, en la Figura 14 se muestra un diagrama más detallado de cada sección y a continuación se describe en la Tabla 4.

Figura 14

Diagrama funcional nivel uno.

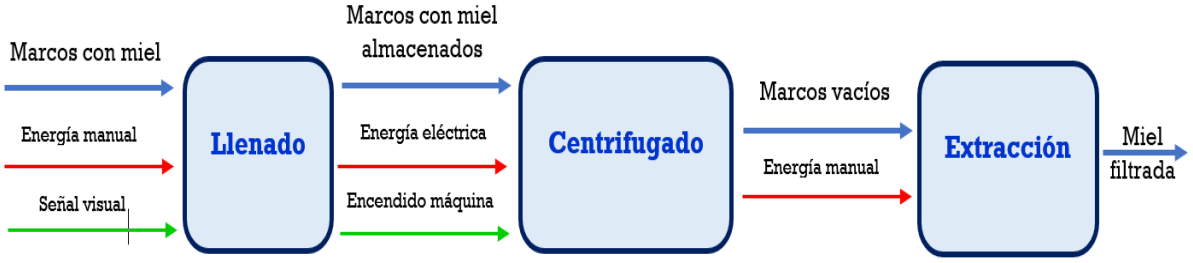


Tabla 4

Descripción del diagrama funcional nivel uno.

Función	Descripción
Llenado	Se ingresan los marcos repletos de miel a la cestas de la centrifugadora verificando su correcta posición.
Centrifugado	Se energiza la máquina y se inicia el proceso de centrifugado de los marcos repletos de miel.

Extracción	Finalizada la centrifugación se retiran los marcos vacíos de la máquina y se extrae la miel acumulada en el fondo del tanque de almacenamiento.

Finalmente se decide dividir el proceso en módulos funcionales con el fin de describir en destalle el desarrollo que conlleva la extracción de miel de los marcos para su posterior filtrado y envasado, de la misma manera se logra identificar el módulo de interés para esta sección del capítulo.

En la Figura 15 se muestra el diagrama funcional y posteriormente en la Tabla 5 la descripción de cada módulo que lo conforma.

Figura 15

Diagrama funcional nivel dos.

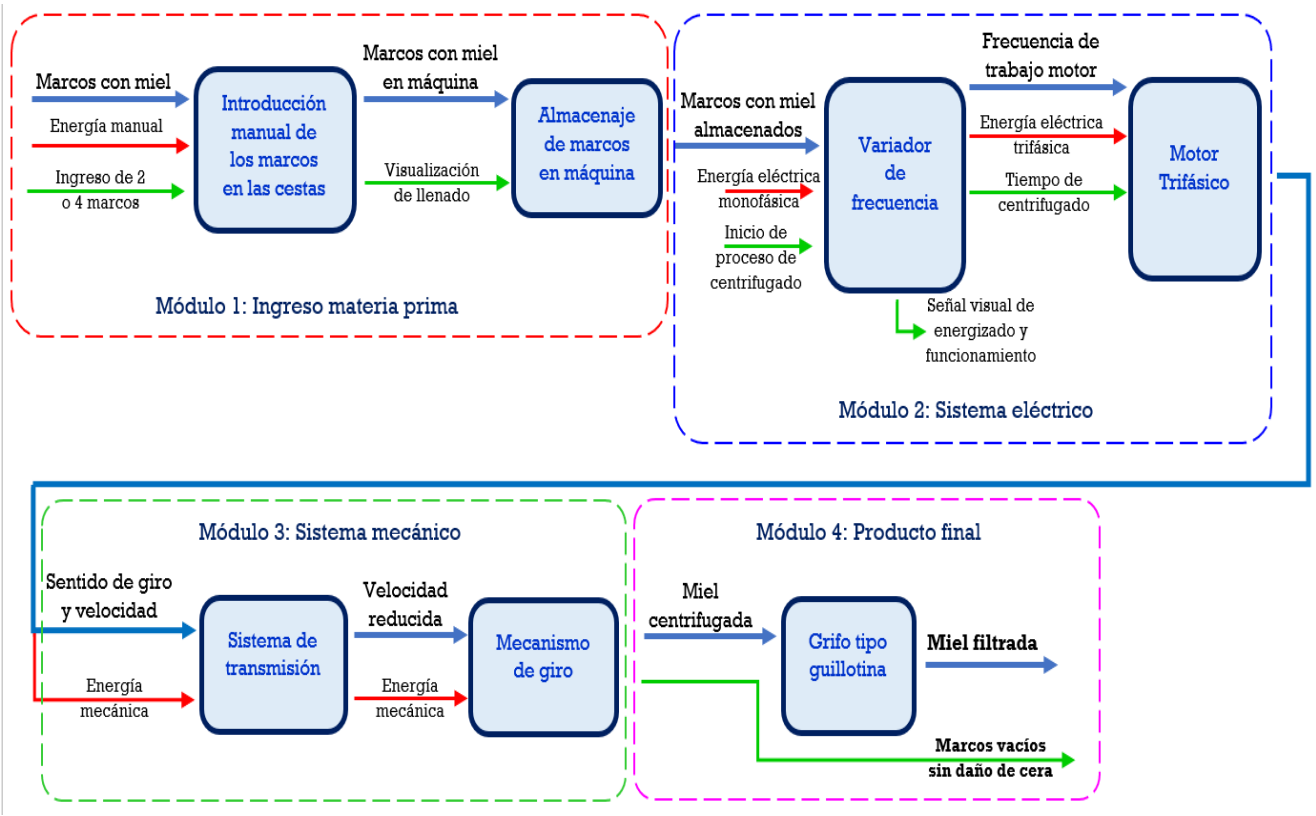


Tabla 5

Descripción del diagrama funcional nivel dos.

Módulo	Función	Descripción
Ingreso de materia prima	Ingreso de los marcos en las cestas (porta marcos).	Se ingresan manualmente 2 o 4 marcos repletos de miel a cada porta marcos, posteriormente se cierran las tapas del tanque de almacenamiento.
	Almacenamiento de los marcos en el tanque contenedor.	
Sistema eléctrico	Variador de frecuencia.	Se compone de un envolvente cuyo tablero posee pulsadores que mandan señales al VDF para controlar el estado del motor trifásico.
	Motor trifásico.	
Sistema mecánico	Sistema de transmisión.	Se compone de una banda y dos poleas posicionadas en el motor y en el mecanismo de giro, encargado de reducir la velocidad proveniente del motor.
	Mecanismo de giro.	
Producto final	Grifo tipo guillotina.	Se retiran los marcos vacíos cuya cera tiene un daño mínimo para su reutilización, el grifo tipo guillotina posee un filtro integrado que se encarga de retener posibles impurezas.

3.3. Planteamiento de alternativas de solución

Se realiza la propuesta de tres alternativas en cuanto a diseño, las cuales varían en base a fabricación, componentes y materiales.

3.3.1. Alternativa 1

La máquina de esta alternativa que se muestra en la Figura 16 se compone de las siguientes partes principales:

Tanque de acero inoxidable: el tanque se encarga de almacenar toda la miel extraída en su fondo cuya forma es cónica permitiendo que la miel fluya a un punto en común para su fácil envasado posterior.

Sistema de transmisión: el sistema se basa en dos poleas con su respetiva banda, que mediante una relación de transmisión permite disminuir la velocidad del mecanismo de giro que proviene del motor.

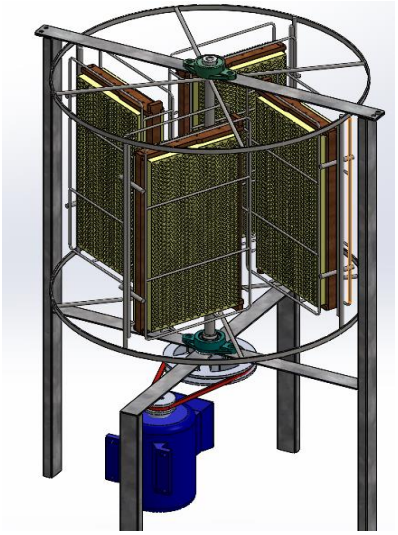
Estructura de soporte: la estructura consta de varias secciones donde intervienen platinas de varias dimensiones y tubos rectangulares.

Mecanismo de giro: este elemento reversible consta de varios componentes estructurales como platinas y ejes de acero inoxidable, su construcción es relativamente compleja debido a que posee geometrías circulares.

Sistema de filtrado: esta parte consta de una malla de acero inoxidable perforada cuyo diámetro coincide con el tanque, es decir, cubre todo su fondo.

Figura 16

Alternativa de diseño 1.



3.3.2. Alternativa 2

La máquina de esta alternativa que se muestra en la Figura 17 se compone de las siguientes partes principales:

Tanque de acero inoxidable: la geometría de este tanque es similar en cuanto al diámetro de la anterior alternativa, la variación es su fondo ya que tiene la forma de un cono invertido permitiendo que la miel recolectada converja en los extremos inferiores para su posterior envasado.

Sistema de transmisión: el sistema se basa en un motor trifásico con su respectivo motorreductor que permite controlar la velocidad que llega al mecanismo de giro.

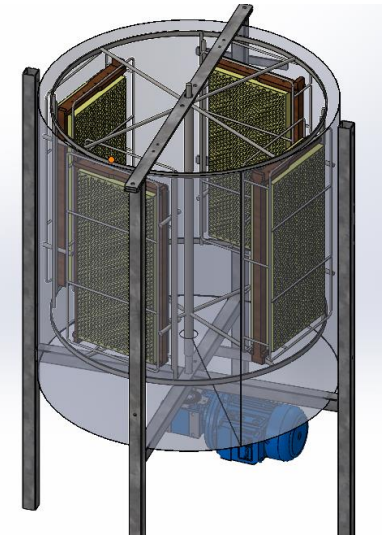
Estructura de soporte: la estructura consta de varias secciones donde intervienen platinas de varias dimensiones y tubos netamente cuadrados.

Mecanismo de giro: el diseño de este elemento se mantiene en su mayoría con la variación de que las cestas que contienen los marcos de miel ya no son reversibles, consta de varios componentes estructurales como platinas y ejes de acero inoxidable

Sistema de filtrado: esta parte mantiene el diseño de la anterior alternativa.

Figura 17

Alternativa de diseño 2.



3.3.3. Alternativa 3

La máquina de esta alternativa mostrada en la Figura 18 se compone de las siguientes partes principales:

Tanque de acero inoxidable: el diámetro del tanque se mantiene, pero la geometría de su fondo cambia ya que posee un ángulo de caída para que la miel fluya a un costado para su posterior envasado.

Sistema de transmisión: el sistema mantiene su diseño en comparación a la alternativa 1, es decir, se compone de dos poleas y una banda.

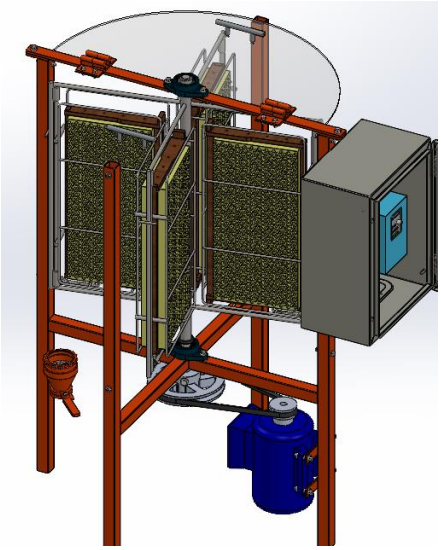
Estructura de soporte: la geometría de esta parte se mantiene en comparación a la alternativa 2.

Mecanismo de giro: el diseño este elemento reversible reduce sus componentes estructurales ya que no se emplean platinas y ya no se cuenta con geometrías circulares lo cual reduce considerablemente su complejidad de manufactura. 3,

Sistema de filtrado: la malla de acero inoxidable reduce su tamaño considerablemente ya que se integra al grifo por donde extrae la miel lista para ser envasada.

Figura 18

Alternativa de diseño 3.



3.4. Evaluación de soluciones

A continuación, en la Tabla 6,

Tabla 7 y Tabla 8 se evalúan todos los criterios en cada alternativa de diseño propuesta con su respetivo porcentaje de peso, este permite valorar de mejor manera la efectividad de cada solución propuesta ya que al final se obtiene una cuantía total por cada alternativa de diseño, la solución más factible es la que obtenga un mayor valor total.

La cantidad agregada al valor de cada criterio se valida en base a la siguiente escala: Excelente = 5, Muy bueno = 4, Bueno = 3, Pobre = 2, Insatisfactorio = 1.

Tabla 6

Ponderación alternativa de diseño 1.

Criterio	% Peso	Valor	Valor*Peso
Ruido	4	4	16
Portabilidad	6	3	18
Tiempo extracción	6	4	24
Seguridad	7	3	21
Capacidad	8	4	32
Facilidad de uso	10	4	40
Limpieza	10	3	30
Mantenimiento	10	4	40
Proceso fabricación	13	3	39
Daño de cera	13	5	65
Costo	13	3	39
TOTAL	100	-	364

Tabla 7

Ponderación alternativa de diseño 2.

Criterio	% Peso	Valor	Valor*Peso
Ruido	4	5	20
Portabilidad	6	3	18
Tiempo extracción	6	2	12
Seguridad	7	4	28
Capacidad	8	5	40
Facilidad de uso	10	3	30
Limpieza	10	2	20
Mantenimiento	10	3	30
Proceso fabricación	13	3	39
Daño de cera	13	4	52
Costo	13	2	26
TOTAL	100	-	315

Tabla 8

Ponderación alternativa de diseño 3.

Criterio	% Peso	Valor	Valor*Peso
Ruido	4	4	16
Portabilidad	6	3	18
Tiempo extracción	6	4	24
Seguridad	7	3	21
Capacidad	8	4	32
Facilidad de uso	10	4	40
Limpieza	10	4	40
Mantenimiento	10	5	50
Proceso fabricación	13	4	52
Daño de cera	13	5	65
Costo	13	5	65
TOTAL	100	-	423

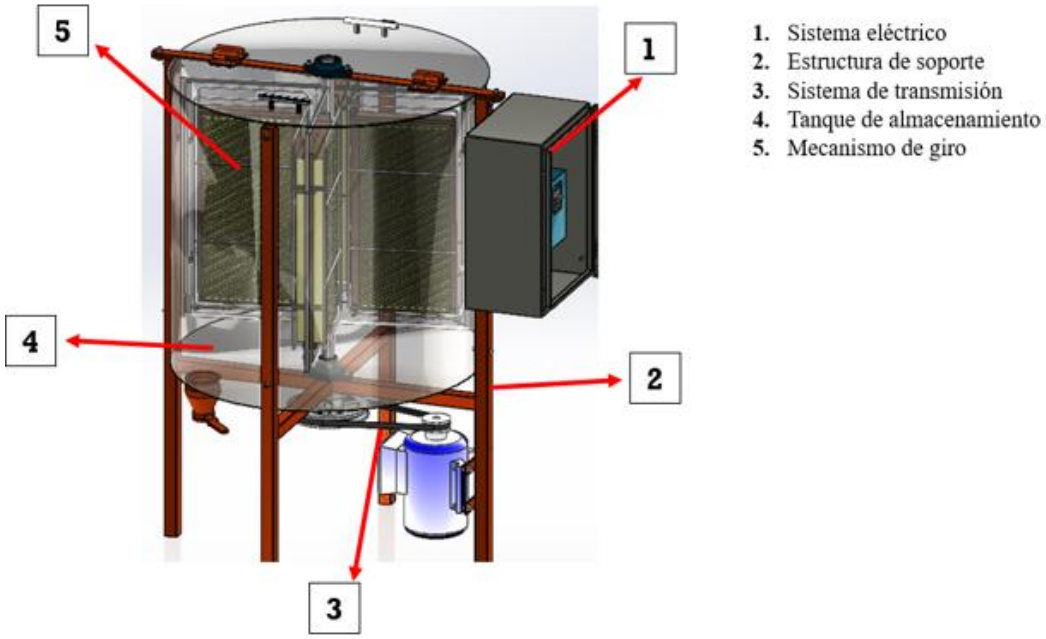
3.4.1. Alternativa seleccionada

Como se puede observar la alternativa 3 mostrada en Tabla 8 tiene un total mayor en comparación a las demás alternativas propuestas, el diseño escogido tiene un mayor porcentaje de cumplimiento en cuanto a los criterios de selección propuestos por los apicultores.

A continuación, en la Figura 19, se muestran los cinco principales subconjuntos que componen el diseño que se desarrollará.

Figura 19

Subconjuntos de la máquina centrifugadora.



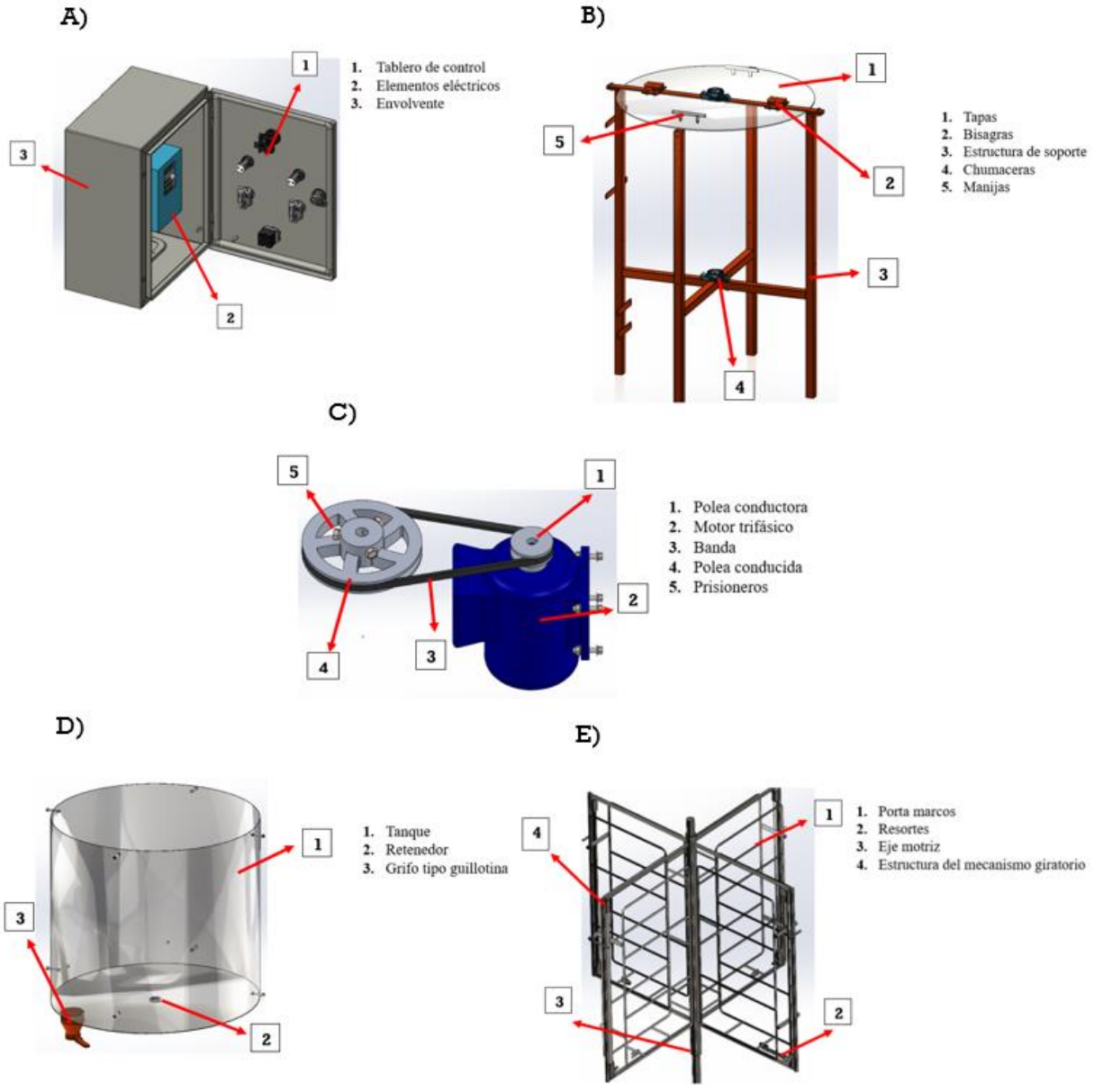
Estos subconjuntos que se componen de varios elementos se unen entre si mediante el uso de soldadura o pernos, subdividir la máquina de esta manera permite una mejor comprensión de

cómo trabaja cada sección de la centrifugadora y como se relacionan entre sí para alcanzar el objetivo de extracción de miel de los marcos.

A continuación, en la Figura 20 se muestran a detalle los elementos que conforman cada subconjunto mencionado anteriormente.

Figura 20

Elementos de los subconjuntos de la máquina centrifugadora.



Nota. A) Sistema eléctrico, B) Estructura de soporte, C) Sistema de transmisión, D) Tanque de almacenamiento, E) Mecanismo de giro.

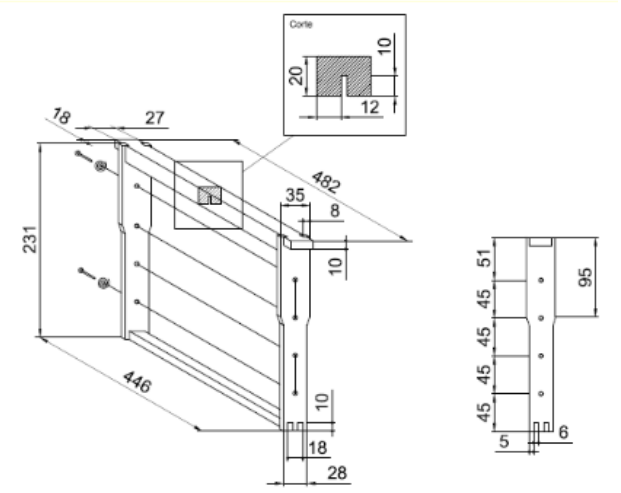
En base a los resultados anteriormente obtenidos en la evaluación de soluciones se procede con el desarrollo de cada elemento que conforma la máquina centrifugadora, el proceso conlleva el dimensionamiento y diseño matemático de cada parte con el fin de verificar que cumpla su función sin comprometer su vida útil. Esta práctica previene posibles problemas cuando se pase a la fase de construcción, ensamblado y pruebas de funcionamiento.

3.5. Diseño del porta marcos

Es fundamental considerar las dimensiones de los marcos de tipo Langstroth para iniciar con el diseño de los porta marcos. Este tipo de marco posee medidas estandarizadas, aunque pueden variar un poco en cada región del país por lo que es necesario considerar tolerancias para evitar problemas con dicha variación de dimensiones. A continuación, en la Figura 21, se pueden ver las medidas a considerar en el diseño del porta marcos.

Figura 21

Dimensiones de marco tipo Langstroth.



Nota. Tomado de: (Jordi Besora, 2017).

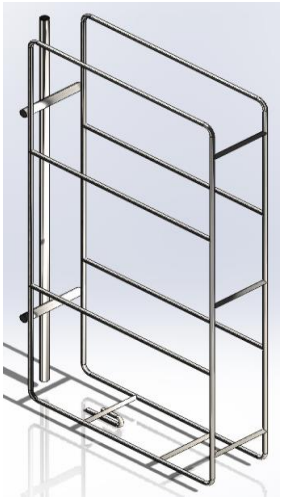
En base a la Figura 21 se considera que el porta marcos debe tener capacidad de almacenar un marco con dimensiones de 500 mm de largo y 250 mm de ancho, finalmente para el espesor se propone un valor de 60 mm ya que es el máximo que la cera sobresale del marco.

Adicionalmente, en el diseño del porta marcos, se han incorporado las debidas protecciones para evitar que el marco de madera sea expulsado y choque contra el tanque durante el proceso de extracción. Esta medida ayuda a prevenir posibles accidentes o daños al mecanismo de giro interno de la máquina, resultando en un diseño seguro y con peso aproximado de 1 kg.

Considerando la disponibilidad en el mercado de las varillas de acero inoxidable AISI 304 se opta por elegir un diámetro mayormente comercial de 3/16 in con el que se diseña la cesta, el resultado final se puede observar en la Figura 22.

Figura 22

Diseño completo del porta marcos.



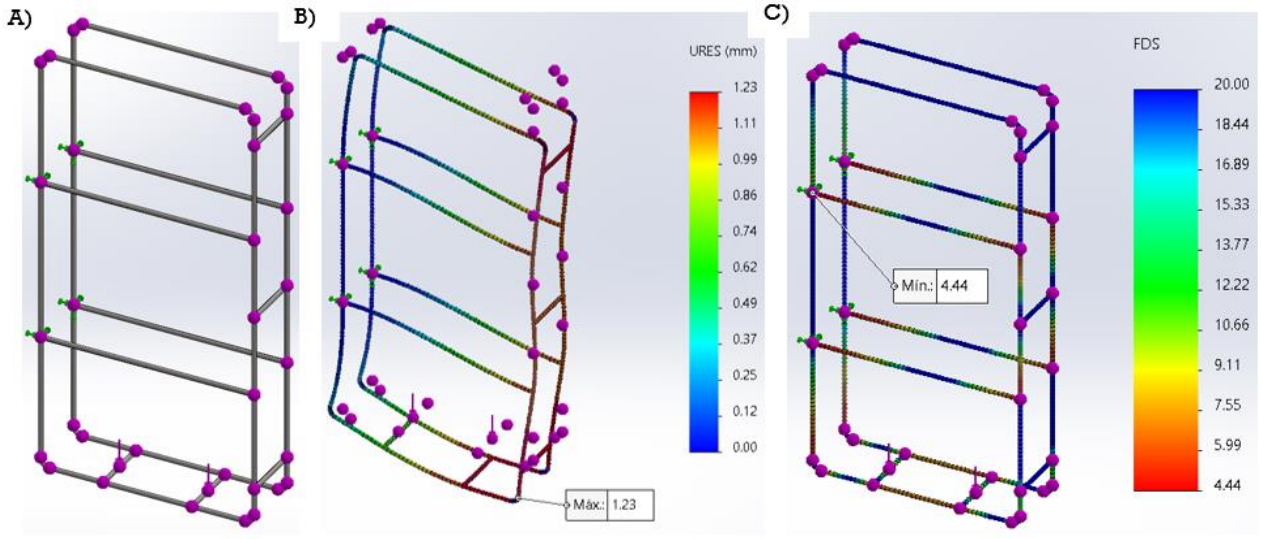
3.5.1. Análisis del diseño del porta marcos

Debido a la complejidad geométrica del porta marcos, se ha determinado que la implementación de un análisis estático utilizando herramientas matemáticas como SolidWorks es más viable. Este enfoque permite validar de manera eficaz el diseño, asegurando que el porta marcos cumpla con los criterios de resistencia estructural garantizando su integridad y rendimiento adecuado, de la misma manera se verifica que no se presenten posibles fallas bajo condiciones de carga.

Inicialmente se posicionan en la cesta los puntos fijos y las fuerzas pertenecientes al peso del marco repleto de miel cuyo valor es de 34,35 N como se observa en la Figura 23, literal A, posteriormente en la Figura 23, literal B, se observa un desplazamiento máximo de 1,23 mm lo cual es totalmente aceptable en comparación a las dimensiones generales de la cesta, finalmente en la Figura 23, literal C, se observa que el factor de seguridad tiene un valor de 4,44 lo cual certifica que el diseño es completamente fiable.

Figura 23

Análisis de elementos finitos del porta marcos.



Nota: A) Fuerzas actuantes en el porta marcos, B) Desplazamiento máximo del porta marcos, C) Factor de seguridad del porta marcos.

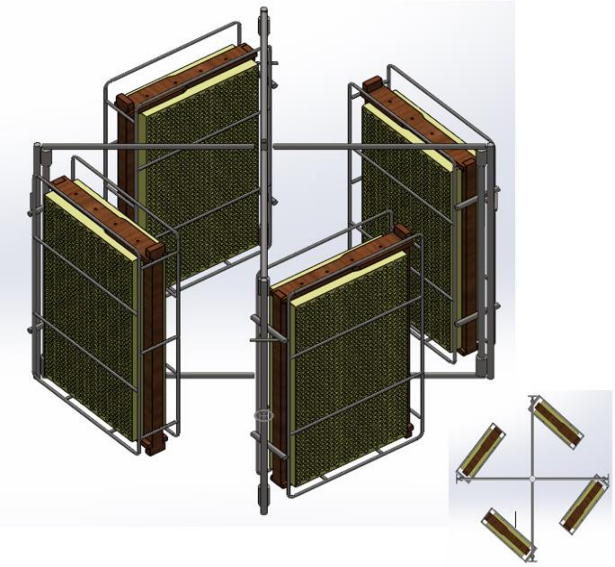
3.6. Mecanismo de giro

El mecanismo debe tener la capacidad de soportar un máximo de cuatro porta marcos, los cuales estarán construidos en acero inoxidable AISI 304 de grado alimenticio. “Cada marco, repleto de miel, puede variar en peso según la época del año y la floración local, pero se estima en aproximadamente 3,5 kg” (Cando & Jaramillo, 2016b, p. 25). Finalmente, el mecanismo de giro deberá ser capaz de soportar un peso total de alrededor de 18 kg.

De manera similar la elección del diámetro para la estructura giratoria se basó en la disponibilidad de ejes en el mercado. Inicialmente se asumió un diámetro y posteriormente se realizó su análisis estático con el fin de verificar que el diseño no comprometa la seguridad ni el rendimiento del mecanismo asegurando que la estructura no se encuentre sobredimensionada evitando costos innecesarios y excesivos, el diseño final se muestra en la Figura 24.

Figura 24

Mecanismo de giro reversible.

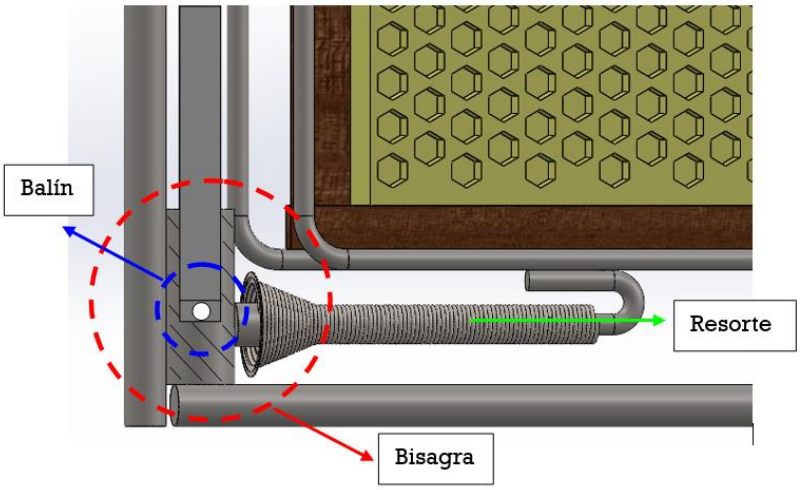


3.6.1. Mecanismo tipo bisagra

Adicionalmente, en los extremos se implementó un mecanismo tipo bisagra para que los porta marcos cambien de posición automáticamente cuando se invierta el sentido de giro de todo el mecanismo rotatorio, de la misma manera en la parte inferior de cada bisagra se adaptó un resorte que permite regresar al porta marcos siempre a la posición inicial, esto se puede visualizar en la Figura 25.

Figura 25

Mecanismo tipo bisagra.



De esta manera se disminuye el nivel de invasión a la miel ya que el apicultor se evita la tarea de cambiar manualmente la posición de cada marco con el fin de extraer la miel de cada lado del marco.

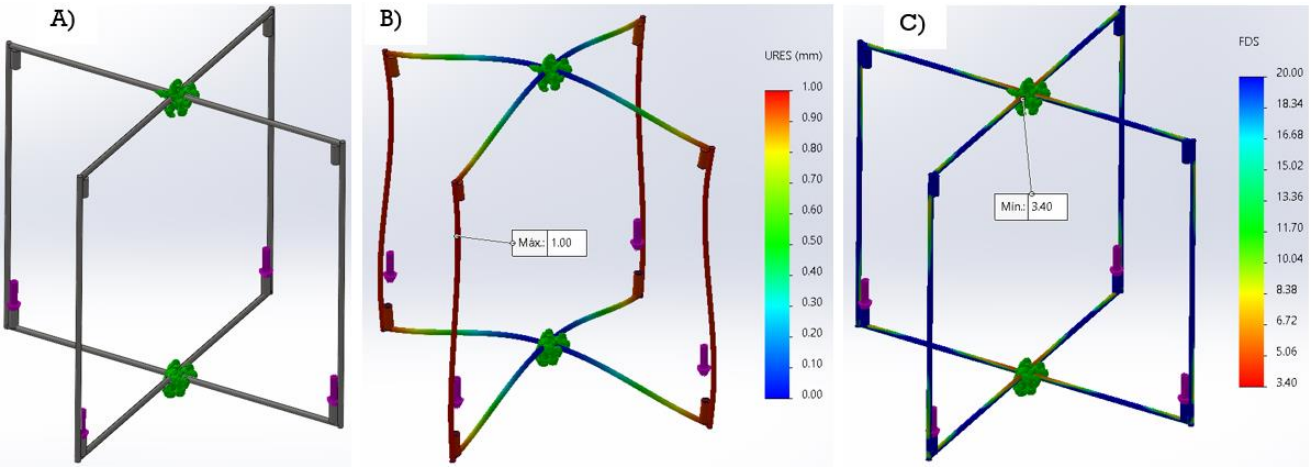
3.6.2. Análisis del diseño del mecanismo de giro

Se realiza una relación de geometría fija en el centro del mecanismo ya que es donde se localizará el eje de giro, posteriormente se añaden las fuerzas pertenecientes a cada porta marcos con su respectiva carga. Cada fuerza tiene un valor de 43,95 N y se localizan en los extremos superiores, es decir, en el mecanismo tipo bisagra como se puede visualizar en la Figura 26, literal A.

Posteriormente en la Figura 26, literal B, se observa un desplazamiento máximo de 1 mm lo cual es totalmente aceptable en comparación a las dimensiones generales de la estructura, finalmente en la Figura 26, literal C, se observa que el factor de seguridad tiene un valor de 3,40 lo cual certifica que el diseño es completamente fiable.

Figura 26

Análisis de elementos finitos del mecanismo de giro.



Nota: A) Fuerzas actuantes en el mecanismo de giro, B) Desplazamiento máximo del mecanismo de giro, C) Factor de seguridad del mecanismo de giro.

3.7. Cálculo de la potencia del motor

Uno de los objetivos a cumplir en este apartado es seleccionar un motor cuya potencia sea la menor posible con el fin de disminuir los costos que es uno de los aspectos más cruciales, cabe recalcar que dicha selección no debe comprometer el funcionamiento de la máquina ni los resultados de centrifugado cuando se encuentre a carga máxima.

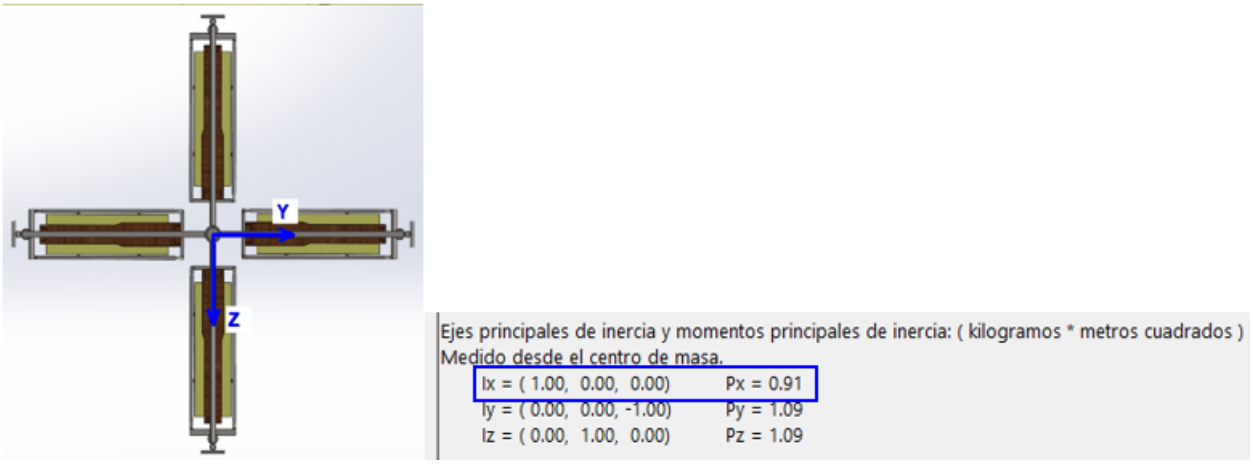
3.7.1. Momento de inercia del mecanismo de giro

El motor debe ser capaz de accionar todo el mecanismo de giro de la centrifugadora a su máxima carga, para el cálculo de la potencia del motor es necesario considerar varios aspectos, uno de los más importantes para iniciar es conocer el momento de inercia de todo el mecanismo que incluye el porta marcos, los marcos llenos de miel y la estructura general del mecanismo de giro.

Para realizar este cálculo se emplea el software SolidWorks 2023 donde se establece un sistema de coordenadas dando como resultado un momento de inercia del mecanismo de giro I_{mec} de 0,91 kg*m^2 alrededor del eje X como se observa en la Figura 27.

Figura 27

Momento de inercia I_{mec} alrededor del eje X



La inercia previamente calculada se refiere al eje del mecanismo de giro, por lo que ahora es necesario reflejarla en el eje del motor, para ello se define una velocidad estandarizada n1 de 1122 rpm para el motor y una velocidad máxima n2 de 400 rpm para el mecanismo de giro, esta segunda velocidad se asume en base a estudios previos sobre máquinas similares. De esta manera la inercia efectiva viene dada por la ecuación (1).

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

Donde:

*I_{ef} = inercia efectiva [kg*m^2]*

*I_{mec} = inercia del mecanismo de giro [kg*m^2]*

n_2 = velocidad de giro del eje del mecanismo [rpm]

n_1 = velocidad de giro del eje del motor [rpm]

$$I_{ef} = 0{,}91\ kg * m^2 \left(\frac{400\ rpm}{1122\ rpm}\right)^2$$

$$I_{ef} = 0{,}12\ kg * m^2$$

Por lo tanto, la inercia total que debe vencer el motor viene dada por la ecuación (2).

$$I_{total} = I_{mec} + I_{ef} \tag{2}$$

Donde:

I_{total} = inercia resultante [kgm^2]*

$$I_{total} = 0{,}91\ kg * m^2 + 0{,}12\ kg * m^2$$

$$I_{total} = 1{,}03\ kg * m^2$$

3.7.2. Relación de transmisión

En este punto ya se puede realizar el cálculo de la relación de transmisión que viene dado por la ecuación (3).

$$i = \frac{n_2}{n_1} \tag{3}$$

Donde:

i = relación de transmisión.

$$i = \frac{400\ rpm}{1122\ rpm}$$

$$i = 0{,}36$$

El resultado del cálculo de la ecuación (3) es menor que la unidad, lo que significa que se tiene un sistema reductor de velocidad.

Previamente se asumió un valor máximo de 400 rpm para el mecanismo de giro considerando un margen que sobrepasa la velocidad suficiente y necesaria para extraer la miel de los marcos, de este modo la velocidad real del mecanismo de giro, en base a máquinas similares, puede tomar un valor promedio n'_2 de 330 rpm. Para encontrar la velocidad del eje del motor equivalente n'_1 se reordena la ecuación (3) y se obtiene el siguiente resultado:

$$n'_1 = \frac{n'_2}{i}$$

$$n'_1 = \frac{330\ rpm}{0{,}36}$$

$$n'_1 = 916{,}67\ rpm$$

$$n'_1 \approx 917\ rpm$$

Finalmente es necesario realizar un cambio de unidades de este resultado parcial para encontrar la velocidad angular ω_1 del eje del motor.

$$\omega_1 = 96{,}03\ rad/s$$

3.7.3. Aceleración angular

El aspecto más importante en esta sección es el tiempo t en el que el mecanismo de giro se estabiliza en la velocidad n_2 mencionada previamente. Dicho tiempo se asume con un valor mínimo de 60 segundos, lo cual significa que el arranque del motor es considerablemente lento. Este tiempo se asume considerando que se trata específicamente de una máquina centrifugadora

de extracción de miel de abeja, donde no es crucial que el tiempo de aceleración sea tan bajo como en otras máquinas donde los tiempos rodean los 6 segundos como máximo.

Con estos datos se procede con el cálculo de la aceleración angular que viene dada por la ecuación (4).

$$\alpha = \frac{\omega_1}{t} \tag{4}$$

Donde:

α = aceleración angular [rad/s²]

ω_1 = velocidad angular [rad/s]

t = tiempo de estabilización del mecanismo de giro [s]

$$\alpha = \frac{96{,}03 \text{ rad/s}}{60\ s}$$

$$\alpha = 1{,}60\ rad/s^2$$

3.7.4. Momento torsor y potencia final

Otro aspecto para considerar en el cálculo de la potencia del motor es el torque que debe ser capaz de generar, de este modo el torque viene dado por la ecuación (5).

$$T = I_{total} * \alpha \tag{5}$$

Donde:

*T = torque [N*m]*

$$T = 1{,}03\ kg * m^2 * 1{,}60\ rad/s^2$$

$$T = 1{,}64\ N * m$$

Este valor obtenido es fundamental ya que al momento de seleccionar el motor se debe verificar que sea mayor o igual al calculado. Finalmente, con todos los datos encontrados hasta este punto se procede con el cálculo de potencia mínima que se necesita para poner en marcha el sistema de giro de la máquina centrifuga, para ello se emplea la ecuación (6).

$$P = T * \omega_1 \tag{6}$$

Donde:

P = potencia del motor [W]

$$P = 1{,}64\ N * m * 96{,}03\ rad/s$$

$$P = 157{,}49\ W$$

$$P = 0{,}21\ hp$$

En este punto cabe recalcar que la potencia calculada disminuye considerablemente si se incrementan tan solo 10 segundos más al tiempo de estabilización del sistema de giro, de la misma manera este tipo de máquinas no requiere de elevadas potencias debido a que el punto crítico solo es el arranque del motor ya que el peso de cada marco de miel se reduce considerablemente durante los primeros segundos de funcionamiento, esto se traduce en una reducción enorme del momento de inercia del mecanismo giratorio, por ende, se procede a seleccionar un motor cuya potencia estandarizada sea el inmediato superior al valor calculado.

A continuación, en la Tabla 9, se muestran las características del motor que se ha elegido debido a la relación existente entre su eficiencia y su bajo costo lo que se traduce como una elección económica y sostenible que cubre las necesidades planteadas sin comprometer el

funcionamiento de la centrifugadora. Además, cabe recalcar que el grado de protección IP55 seleccionado se debe a que se consideró las precarias condiciones en las que la máquina va a trabajar, como polvo y humedad, en el Anexo 2 se detallan más características del motor.

Tabla 9

Características del motor trifásico seleccionado.

Característica	Valor
Voltaje	220 V
Amperaje	1,07 A
Torque	1,82 N*m
Frecuencia	60 Hz
Fases	3
Factor de potencia	0,62
Velocidad nominal	1122 rpm
Potencia	0,18 kW (0,25 hp)
Peso	8 kg
Protección	IP55

Nota: Adaptado de: (Cemp, 2022).

3.8. Sistema de transmisión de potencia

El sistema de transmisión está comprendido por una banda y dos poleas, una polea conductora que se sitúa en el eje del motor y una polea conducida que se sitúa en el eje del mecanismo de giro. Para desarrollar los cálculos de esta sección se utilizó el manual "Poleas en V" de Intermec, el libro "Diseño de Ingeniería Mecánica" de Shigley y el libro "Diseño de Elementos de Máquinas I" de Fortunato Alva.

Como datos conocidos hasta este punto se tiene la velocidad angular del eje del motor, la potencia del motor, las velocidades angulares máximas y la distancia entre centros tentativa de las poleas.

$$Potencia\ del\ motor\ (P_m) = 0{,}18\ kW\ (0{,}25\ hp)$$

$$Velocidad\ angular\ del\ eje\ del\ motor\ (\omega_m) = 1122\ rpm$$

$$Velocidad\ angular\ del\ eje\ del\ mecanismo\ (\omega_{mec}) = 400\ rpm$$

$$Distancia\ entre\ centros\ (C) = 237\ mm$$

3.8.1. Factor de diseño

El factor de diseño o factor de servicio ayuda a considerar ciertos márgenes de seguridad y variabilidad en el rendimiento del motor, de esta manera se garantiza el correcto funcionamiento de la máquina sin exceder sus límites de capacidad ante variaciones referentes a carga, condiciones ambientales, largas jornadas de trabajo y situaciones de servicio específicas.

Considerando que la máquina centrifuga tiene un uso intermitente que no excede las 16 horas diarias, y habiendo seleccionado previamente un motor síncrono, se procede a emplear la Figura 27 para determinar el factor de servicio, dando como resultado:

$$Factor\ de\ servicio\ (FS) = 1{,}1$$

Figura 28

Factor de servicio FS para mayorar la potencia nominal.

MAQUINA CONDUCIDA	MAQUINA CONDUCTORA					
	Motor eléct.sincróno, 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

Nota. Tomado de: (Abasolo et al., 2020).

Ahora se procede a calcular la potencia de diseño que viene dada por la ecuación (7).

$$P_d = FS * P_m \tag{7}$$

Donde:

P_d = *potencia de diseño [hp]*

$$P_d = 1{,}1 * 0{,}25\ hp$$

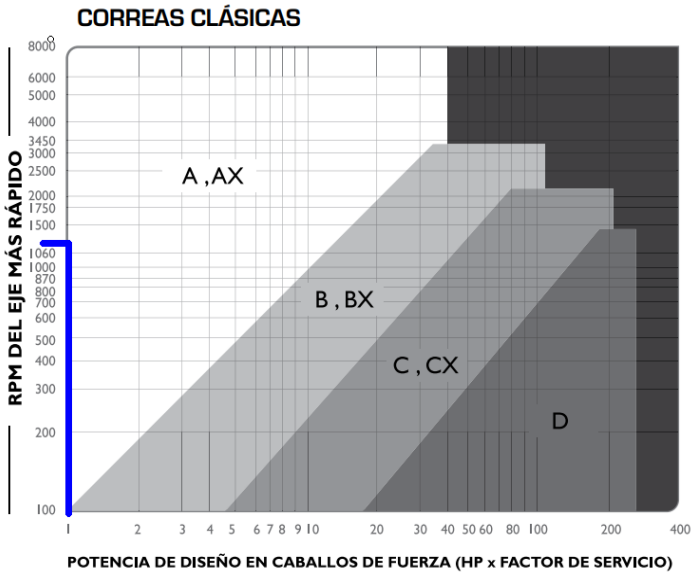
$$P_d = 0{,}28\ hp$$

3.8.2. Selección del tipo de correa

La velocidad del eje más rápido (ω_m) y la potencia de diseño (P_d) juegan un papel fundamental ya que de ello depende la selección de la correa mediante el uso de la Figura 29.

Figura 29

Gráfica de selección de tipo de correa.



Nota. Tomado de: (Intermec, 2013).

En base a la gráfica se tiene que la velocidad del eje más rápido es de 1122 rpm y la potencia de diseño es de 0,28 hp dando como resultado un punto de intersección en el área de las bandas de tipo A y AX. Considerando que las correas clásicas son las más comerciales se selecciona la sección de bandas tipo A.

$$Selección\ de\ correa = Correa\ clásica\ tipo\ A$$

3.8.3. Selección de poleas

En base a la Figura 30 lo más recomendable es elegir un diámetro de polea comercial para el motor.

Figura 30

Dimensiones estándares mínimas de poleas en V.

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

Nota. Tomado de: (Alva, 2008).

$$Diámetro\ de\ la\ polea\ conductora\ (d) = 66\ \text{mm}$$

De este modo el diámetro mínimo seleccionado para la polea conductora es de 66 milímetros o aproximadamente 2,50 pulgadas. El siguiente paso es emplear la ecuación (8) para calcular el diámetro de la polea conducida.

$$D = \frac{d}{i} \tag{8}$$

Donde:

d = diámetro de la polea conductora [mm]

D = diámetro de la polea conducida [mm]

$$D = \frac{66\ mm}{0{,}36}$$

$$D = 183{,}33\ mm$$

$$D \approx 7\ in$$

Una vez calculado el diámetro de la polea conducida es necesario recurrir a la Figura 31 donde se verifica que se obtuvo un diámetro cuyo valor es comercial, de esta manera se evitan problemas al momento de adquirir el par de poleas.

Figura 31

Dimensiones estándares para poleas en V.

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

Nota. Tomado de: (Alva, 2008).

3.8.4. Velocidad de la banda

"Para obtener mejores resultados, una banda en V debe funcionar muy rápido: 4 000 pies/min es una buena velocidad. Pueden surgir problemas si la banda funciona con velocidad mayor a 5 000 pies/min o mucho menor que 1 000 pies/min" (Budynas & Keith, 2012, p. 867).

La velocidad de la banda viene dada por la ecuación (9):

$$V = \frac{\pi * d * n}{12} \quad (9)$$

Donde:

V = velocidad de la banda [pie/min]

d = diámetro primitivo de una de las poleas [in]

n = velocidad de giro de la misma polea [rpm]

$$V = \frac{\pi * 7\ in * 400\ rpm}{12}$$

$$V = 733\ pie/min$$

$$V = 3{,}73\ m/s$$

La velocidad calculada para la banda en el sistema de poleas V resultó ser de 733 pies por minuto, ubicándose en la proximidad del rango objetivo de 1000 a 4000 pies por minuto. Aunque está ligeramente por debajo del límite inferior, se encuentra casi cerca del rango aceptable, y podría considerarse como una variación mínima dentro de los límites tolerables para el rendimiento de la máquina en su configuración actual.

Por otra parte, gracias a la información de la Figura 32 se puede seleccionar cualquier material para la polea ya que su velocidad se encuentra dentro del rango admisible para que el sistema funcione sin problemas.

Figura 32

Velocidades máximas según el material de la polea.

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

Nota. Tomado de: (Intermec, 2013).

3.8.5. Distancia entre centros y longitud de la banda

La distancia entre centros viene determinada en su mayoría por la geometría de los porta marcos y el tanque que deberá contenerlos, gracias al software CAD se pudo realizar un diseño simultaneo del sistema donde se obtuvo un valor estimado para la distancia entre centros.

$$Distancia\ entre\ centros\ (C) = 237\ \text{mm}$$

Para validar este resultado se emplea la ecuación (10) y (11) ya que con ello se verificará que el valor propuesto se encuentra dentro del rango recomendado por Intermec.

$$C_{máx} = 2 * (D + d) \tag{10}$$

$$C_{min} = 0{,}7 * (D + d) \tag{11}$$

Donde:

$C_{máx}$= distancia máxima entre centros [mm]

C_{min}= distancia mínima entre centros [mm]

$$C_{máx} = 2 * (180 + 66)\ mm$$

$$C_{máx} = 492\ mm$$

$$C_{min} = 0{,}7 * (180 + 66)\ mm$$

$$C_{min} = 172{,}1\ mm$$

Una vez que se ha validado la distancia entre centros propuesta se procede a calcular la longitud de la banda mediante la ecuación (12).

$$L_p = 2 * C + 1{,}57 * (D + d) + \frac{(D + d)^2}{4 * C} \quad (12)$$

Donde:

L_p= longitud de la correa [mm]

$$L_p = 2 * 237\ mm + 1{,}57 * (180\ mm + 66\ mm) + \frac{(180\ mm + 66\ mm)^2}{4 * 237\ mm}$$

$$L_p = 924{,}1\ \text{mm}$$

$$L_p = 36{,}4\ \text{in}$$

Con este resultado se pasa a la selección de la correa comercial mediante el uso de la Figura 33.

Figura 33

Longitudes de bandas clásicas.

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

Nota. Tomado de: (Alva, 2008).

$$Correa\ seleccionada: A35\ (36{,}3\ in)$$

3.8.6. Vida útil de la banda

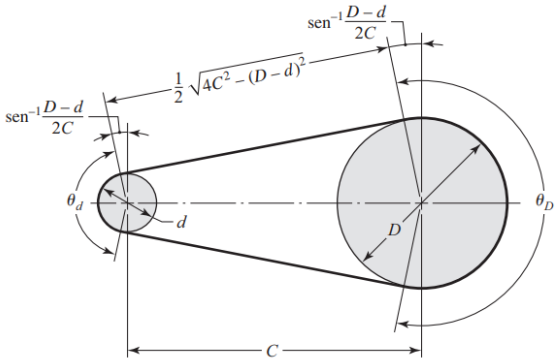
Una vez realizado el proceso de selección de los componentes del sistema de transmisión se procede con el cálculo de las tensiones de la banda con el fin de conocer la vida útil de los mecanismos.

3.8.6.1. Ángulo de contacto

La Figura 34 ilustra de mejor manera la ubicación de estos ángulos que vienen dados por la ecuación (13) y (14).

Figura 34

Geometría de banda abierta.



Nota. Tomado de: (Budynas & Keith, 2012).

$$\theta_d = \pi - 2 * sen^{-1}\left(\frac{D-d}{2*C}\right) \quad (13)$$

$$\theta_D = \pi + 2 * sen^{-1}\left(\frac{D-d}{2*C}\right) \quad (14)$$

Donde:

θ_d = *ángulo de contacto polea conductora [rad]*

θ_D = *ángulo de contacto polea conducida [rad]*

$$\theta_d = \pi - 2 * sen^{-1}\left(\frac{180\ mm - 66\ mm}{2 * 237\ mm}\right)$$

$$\theta_d = 2{,}66\ rad$$

$$\theta_d = 152{,}17\ °$$

$$\theta_D = \pi + 2 * sen^{-1}\left(\frac{180\ mm - 66\ mm}{2 * 237\ mm}\right)$$

$$\theta_D = 3{,}62\ rad$$

$$\theta_D = 207{,}83\ °$$

3.8.6.2. Tensión centrífuga

Gracias a la fuerza centrífuga aparece un término conocido como tensión circunferencial y viene dado por la ecuación (15).

$$F_c = K_c \left(\frac{V}{1000}\right)^2 \tag{15}$$

Donde:

F_c = tensión circunferencial debida a la fuerza centrífuga [lbf]

K_c = factor de corrección de longitud de banda (Figura 35)

Figura 35

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

Nota. Tomado de: (Budynas & Keith, 2012).

$$F_c = 0{,}561 \left(\frac{733\ pie/min}{1000}\right)^2$$

$$F_c = 0{,}30\ lbf$$

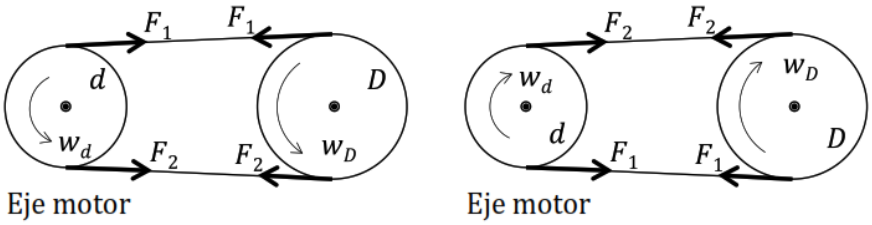
$$F_c = 1{,}35\ N$$

3.8.6.3. Ecuación fundamental de la correa

La ecuación (16) relaciona varios términos, entre ellos, el ángulo de garganta que en el caso de una correa de tipo A tiene un valor de 40° y las tensiones objetivo que se muestran de mejor manera en la Figura 36.

Figura 36

Fuerzas en los ramales de la correa en base al sentido de giro.



Nota. Tomado de:(Abasolo et al., 2020).

$$\frac{F_1 - F_c}{F_2 - F_c} = e^{\left(\frac{f * \theta_D}{sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\right)} \tag{16}$$

Donde:

F_1 = fuerza en el lado tirante [N]

F_2 = fuerza en el lado flojo [N]

α = ángulo de garganta de la correa [°]

f = coeficiente de rozamiento de la polea

Este último parámetro varía en función del material de la polea y la banda por lo que es necesario recurrir a la Figura 37 donde se verifica que su valor es de 0,30.

Figura 37

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	Engrasado				
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						

Nota. Tomado de: (Budynas & Keith, 2012).

Sustituyendo los datos obtenidos en la ecuación (16) se tiene el siguiente resultado parcial:

$$\frac{F_1 - 1{,}35\ \text{N}}{F_2 - 1{,}35\ \text{N}} = e^{\left(\frac{0{,}30*3{,}62\ rad}{sin\left(\frac{40^\circ}{2}\right)}\right)}$$

$$\frac{F_1 - 1{,}35\ \text{N}}{F_2 - 1{,}35\ \text{N}} = 24{,}09$$

3.8.6.4. Relación entre potencia y tensiones de la banda

La ecuación (17) relaciona las tensiones objetivo y la potencia de diseño calculada al inicio de esta sección cuyo valor es de 205,01 W.

$$P_d = \text{V} * (F_1 - F_2) \tag{17}$$

Sustituyendo los valores conocidos se obtiene el siguiente resultado parcial:

$$205{,}01\ \mathrm{W} = 2{,}73\ \mathrm{m/s} * (F_1 - F_2)$$

Los resultados parciales de las ecuaciones (16) y (17) forman un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, por lo que al combinarlas y resolverlas se obtienen los siguientes resultados para las fuerzas en los ramales de la correa.

$$F_1 = 58{,}78\ N$$

$$F_1 = 13{,}22\ lbf$$

$$F_2 = 3{,}73\ N$$

$$F_2 = 0{,}84\ lbf$$

3.8.6.5. Tensiones debido a la flexión en la banda

Estas tensiones corresponden al esfuerzo de tensión máximo debido a la flexión, es decir, son los picos máximos de tensión, por esta razón es necesario adicionarlas al valor de F_1 calculado previamente, esto se representa en las ecuaciones (18) y (19).

$$T_1 = F_1 + \frac{K_b}{d} \tag{18}$$

$$T_2 = F_1 + \frac{K_b}{D} \tag{19}$$

Donde:

T_1, T_2= picos máximos de tensión en la banda [lbf]

K_b = factor de corrección de la banda

Empleando la Figura 35 se encuentra el valor de K_b y se procede con el cálculo.

$$T_1 = 13{,}22\ lbf + \frac{220}{2{,}5\ in}$$

$$T_1 = 101{,}22\ lbf$$

$$T_2 = 13{,}22\ lbf + \frac{220}{7\ in}$$

$$T_2 = 44{,}64\ lbf$$

3.8.6.6. Número de pasadas y vida de la correa

Las bandas fallan por fatiga por lo que es necesario conocer cuál es el máximo número de pasadas que la banda resiste sin comprometer el funcionamiento de la máquina. El daño acumulado en cada giro completo viene dado por la ecuación (20).

$$N_p = \left[\left(\frac{K}{T_1}\right)^{-b} + \left(\frac{K}{T_2}\right)^{-b}\right]^{-1} \quad (20)$$

Donde:

N_p= número de pasadas de la banda

K = parámetro de durabilidad

b = parámetro de durabilidad

Los parámetros de durabilidad varían en función del tipo de banda en V, la Figura 38 proporciona dichos parámetros para una banda tipo A donde el diámetro de la polea conductora se aproxima al elegido previamente.

Figura 38

Parámetros de durabilidad para algunas secciones de banda en V.

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

Nota. Tomado de: (Budynas & Keith, 2012).

Reemplazando esta serie de datos en la ecuación (20) se obtiene el siguiente resultado:

$$N_p = \left[\left(\frac{674}{101{,}22\ lbf}\right)^{-11{,}089} + \left(\frac{674}{44{,}64\ lbf}\right)^{-11{,}089}\right]^{-1}$$

$$N_p = 1{,}35\ (10^9)\ pasadas$$

Las constantes K y b mencionadas previamente tiene un rango de validez que afecta la ecuación del tiempo de vida de la banda, por lo que es necesario verificar que el número de pasadas se encuentre dentro de dicho rango mediante el uso de la desigualdad (21).

$$\begin{cases} Si\ N_p > 10^9, \quad N_p = 10^9 \ \wedge\ t_{vida} > \dfrac{N_p * L_p}{720 * V} \\ Si\ N_p \leq 10^9, \ \ N_p = N_p\ calculado \ \wedge\ t_{vida} = \dfrac{N_p * L_p}{720 * V} \end{cases} \tag{21}$$

Donde:

t_{vida} = *tiempo de vida de la banda [h]*

En base a la desigualdad antes mencionada se procede con el cálculo de la vida útil de la banda considerando que el valor del número de pasadas también se puede suponer con un valor mínimo de 10^8 en base a la Figura 38.

$$t_{vida} > \frac{10^8 * 36{,}3\ in}{720 * 733\ pie/min}$$

$$t_{vida} > 6880\ h$$

3.9. Diseño del eje del mecanismo de giro

El diseño de este elemento es fundamental ya que será el encargado de soportar todo el peso de la estructura giratoria, por esta razón es necesario realizar el análisis estático donde se verificarán todas las fuerzas que actúan en el eje, por otra parte, mediante el diseño a fatiga se asegurará su vida útil y se reducirán los riesgos de falla debido a cargas cíclicas.

3.9.1. Análisis estático del eje motriz

Para este apartado es necesario realizar el cálculo y posicionamiento de todas las fuerzas puntuales. Se inicia con la obtención de la masa de la estructura giratoria que consta de los porta marcos, sus respectivos soportes y los marcos llenos de miel.

Dicha masa se obtiene mediante el uso del software SolidWorks 2023 dando como resultado un valor de 21,01 kg. Posteriormente se calcula el peso de la estructura mediante el uso de la ecuación (22).

$$W_E = M_E * g \tag{22}$$

Donde:

W_E= peso de la estructura giratoria [N]

M_E = masa de la estructura giratoria [kg]

g = gravedad [m/s^2]

$$W_E = 21{,}01\ kg * 9{,}81\ m/s^2$$

$$W_E = 206{,}11\ N$$

De la misma manera se calcula el peso de la polea conducida cuya masa tiene un valor de 1,1 kg. Se emplea la ecuación (23) para el cálculo.

$$W_P = M_P * g \tag{23}$$

Donde:

W_P= peso de la polea conducida [N]

M_P = masa de la polea conducida [kg]

$$W_P = 1{,}1\ kg * 9{,}81\ m/s^2$$

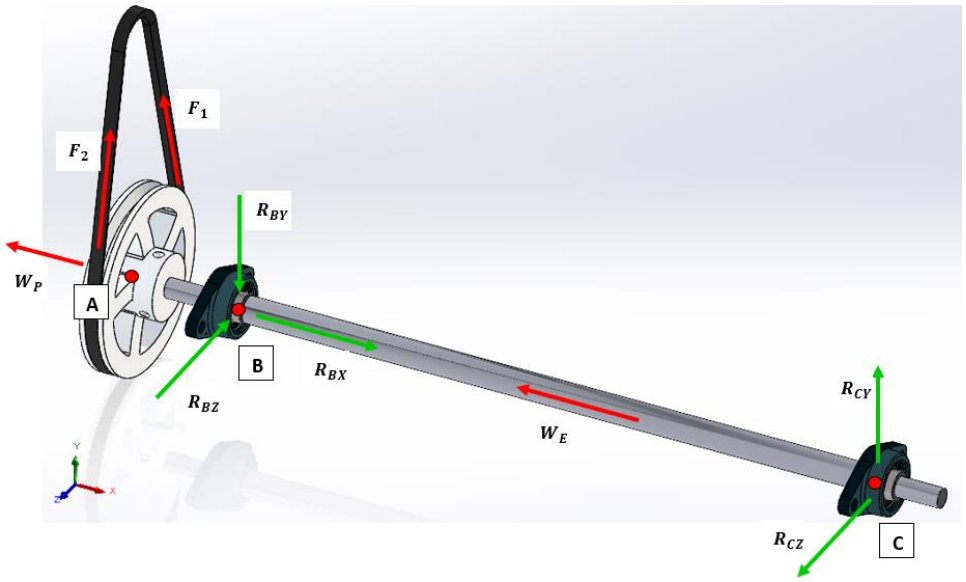
$$W_P = 10{,}79\ N$$

3.9.1.1. Diagrama de cuerpo libre (DCL) del eje motriz

Todas las fuerzas calculadas previamente se posicionan a lo largo del eje incluyendo las respectivas reacciones de las chumaceras que se localizan en los puntos B y C como se muestra en la Figura 39.

Figura 39

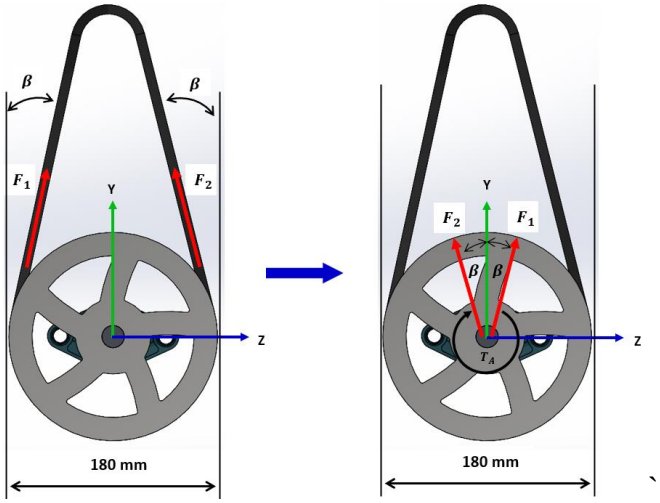
DCL del eje motriz.



Para realizar el cálculo de las reacciones de las chumaceras es necesario que todas las fuerzas se encuentren a lo largo de los ejes coordenados, por este motivo se reposicionan las fuerzas tensoras de la polea conducida. El objetivo de este proceso se visualiza en la Figura 40.

Figura 40

Representación de las tensiones de la polea en el plano Z-Y.



Para encontrar los equivalentes de las fuerzas en los ejes coordenados es necesario encontrar el ángulo β que viene dado por la ecuación (24), donde todos sus componentes dependen de la geometría del sistema de transmisión.

$$\beta = \frac{57}{2}\left(\frac{D-d}{C}\right) \tag{24}$$

$$\beta = \frac{57}{2}\left(\frac{180\ mm - 66\ mm}{237\ mm}\right)$$

$$\beta = 13{,}71°$$

Una vez encontrado este ángulo se procede con el cálculo de las fuerzas equivalentes a lo largo de los ejes coordenados mediante el uso de la ecuación (25) para el eje Z y la ecuación (26) para el eje Y donde se realiza una sumatoria de fuerzas en el punto A.

$$F_{AZ} = (F_1 - F_2) * \sin(\beta) \tag{25}$$

$$F_{AZ} = (58{,}78\ N - 3{,}73\ N) * \sin(13{,}71°)$$

$$F_{AZ} = 13{,}05\ N$$

$$F_{AY} = (F_1 + F_2) * \cos(\beta) \tag{26}$$

$$F_{AY} = (58{,}78\ N + 3{,}73\ N) * \cos(13{,}71°)$$

$$F_{AY} = 60{,}73\ N$$

Al realizar el reposicionamiento de estas fuerzas tensoras aparece un momento torsor T_A que se calcula con la ecuación (27).

$$T_A = (F_1 - F_2) * \frac{D}{2} \tag{27}$$

Donde:

*T_A = torque en el punto A [N*mm]*

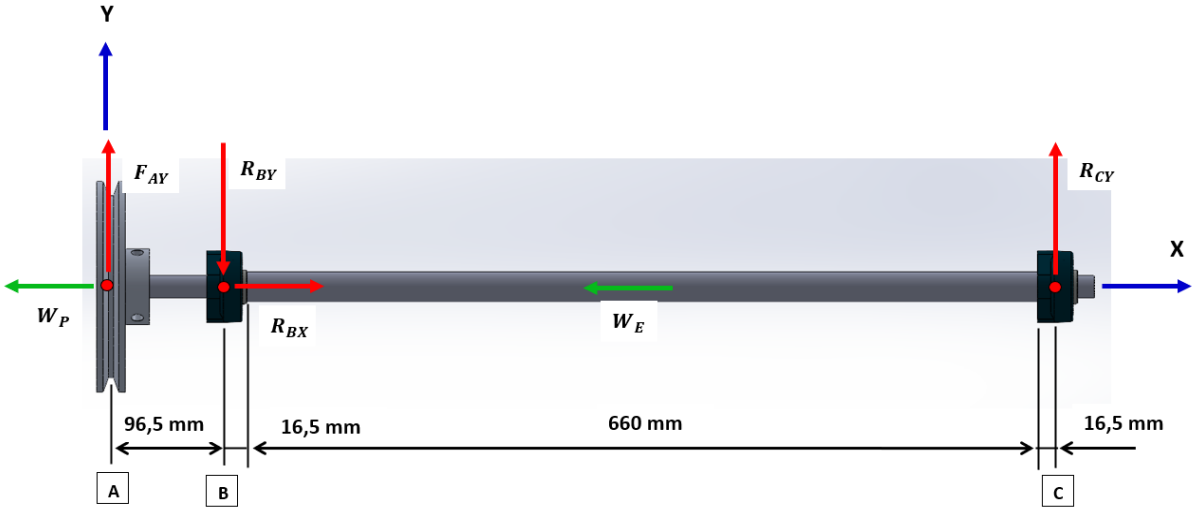
$$T_A = (58{,}78\ N - 3{,}73\ N) * \frac{180\ mm}{2}$$

$$T_A = 4.954{,}5\ N * mm$$

Lo siguiente es encontrar los valores de las reacciones de las chumaceras y para ello se inicia por la representación de las fuerzas actuantes del eje en el plano X-Y como se observa en la Figura 41. De esta manera se realizan las respectivas sumatorias de fuerzas y momentos para encontrar las reacciones R_{BY} y R_{CY}.

Figura 41

Representación de las fuerzas en el plano X-Y.



$$\Sigma M_B = 0 \qquad (28)$$

$$-F_{AY} * (96{,}5\ mm) + R_{CY} * (693\ mm) = 0$$

$$-F_{AY} * (96{,}5\ mm) + R_{CY} * (693\ mm) = 0$$

$$R_{CY} = \frac{F_{AY} * (96{,}5\ mm)}{693\ mm}$$

$$R_{CY} = \frac{60{,}73\ N * (96{,}5\ mm)}{693\ mm}$$

$$R_{CY} = 8{,}46\ N$$

$$\Sigma Fy = 0 \tag{29}$$

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

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

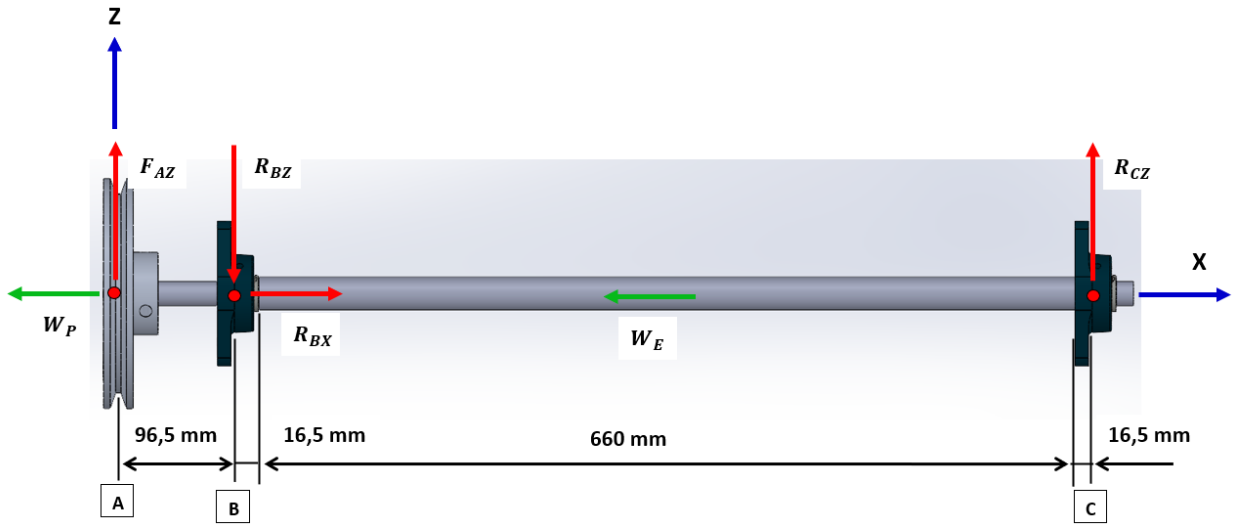
$$R_{BY} = 60{,}73\ N + 8{,}46\ N$$

$$R_{BY} = 69{,}19\ N$$

De manera similar se representan las fuerzas actuantes del eje en el plano X-Z como se observa en la Figura 42. De esta manera se realizan las respectivas sumatorias de fuerzas y momentos para encontrar las reacciones R_{BZ}, R_{CZ} y R_{BX}.

Figura 42

Representación de las fuerzas en el plano X-Z.



$$\Sigma M_B = 0 \quad (30)$$

$$-F_{AZ} * (96{,}5\ mm) + R_{CZ} * (693\ mm) = 0$$

$$R_{CZ} = \frac{F_{AZ} * (96{,}5\ mm)}{693\ mm}$$

$$R_{CZ} = \frac{13{,}05\ N * (96{,}5\ mm)}{693\ mm}$$

$$R_{CZ} = 1{,}82\ N$$

$$\Sigma Fz = 0 \quad (31)$$

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

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

$$R_{BZ} = 13{,}05\ N + 1{,}82\ N$$

$$R_{BZ} = 14{,}87\ N$$

$$\Sigma Fx = 0 \quad (32)$$

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

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

$$R_{BX} = 10{,}79\ N + 206{,}11\ N$$

$$R_{BX} = 216{,}9\ N$$

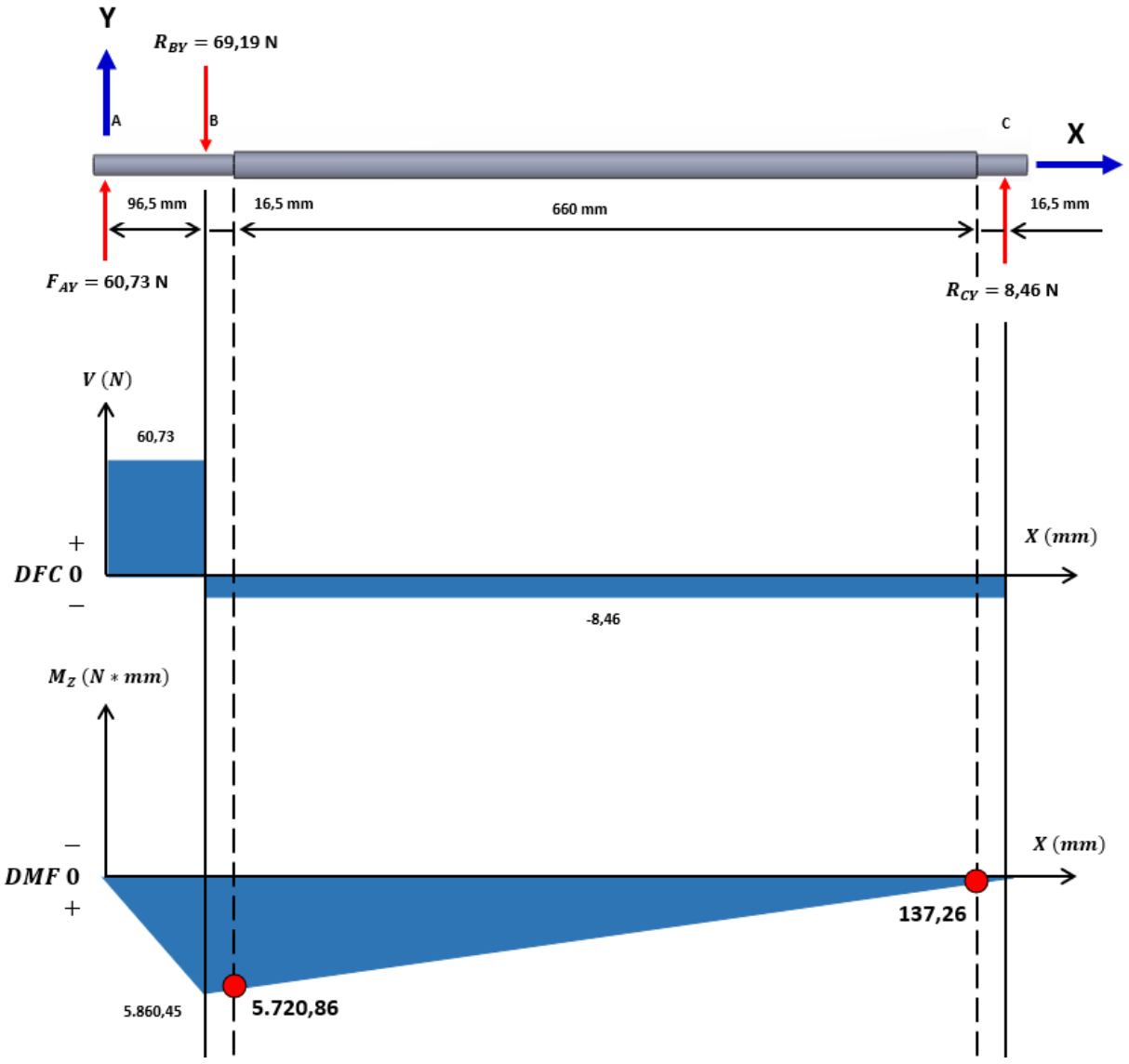
3.9.1.2. Diagrama de fuerza cortante y momento flector

Con los valores de las fuerzas actuantes en el eje se procede a realizar los respectivos diagramas en cada plano con el fin de encontrar el momento flector máximo que es fundamental para realizar el diseño a fatiga del eje. Obviamente los valores de los momentos flectores serán

considerados en los puntos críticos como los concentradores de esfuerzos, es decir, donde la sección transversal del eje cambia repentinamente, como por ejemplo a la derecha del punto B (*B'*) y a la izquierda del punto C (*C'*).

Figura 43

Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano X-Y.



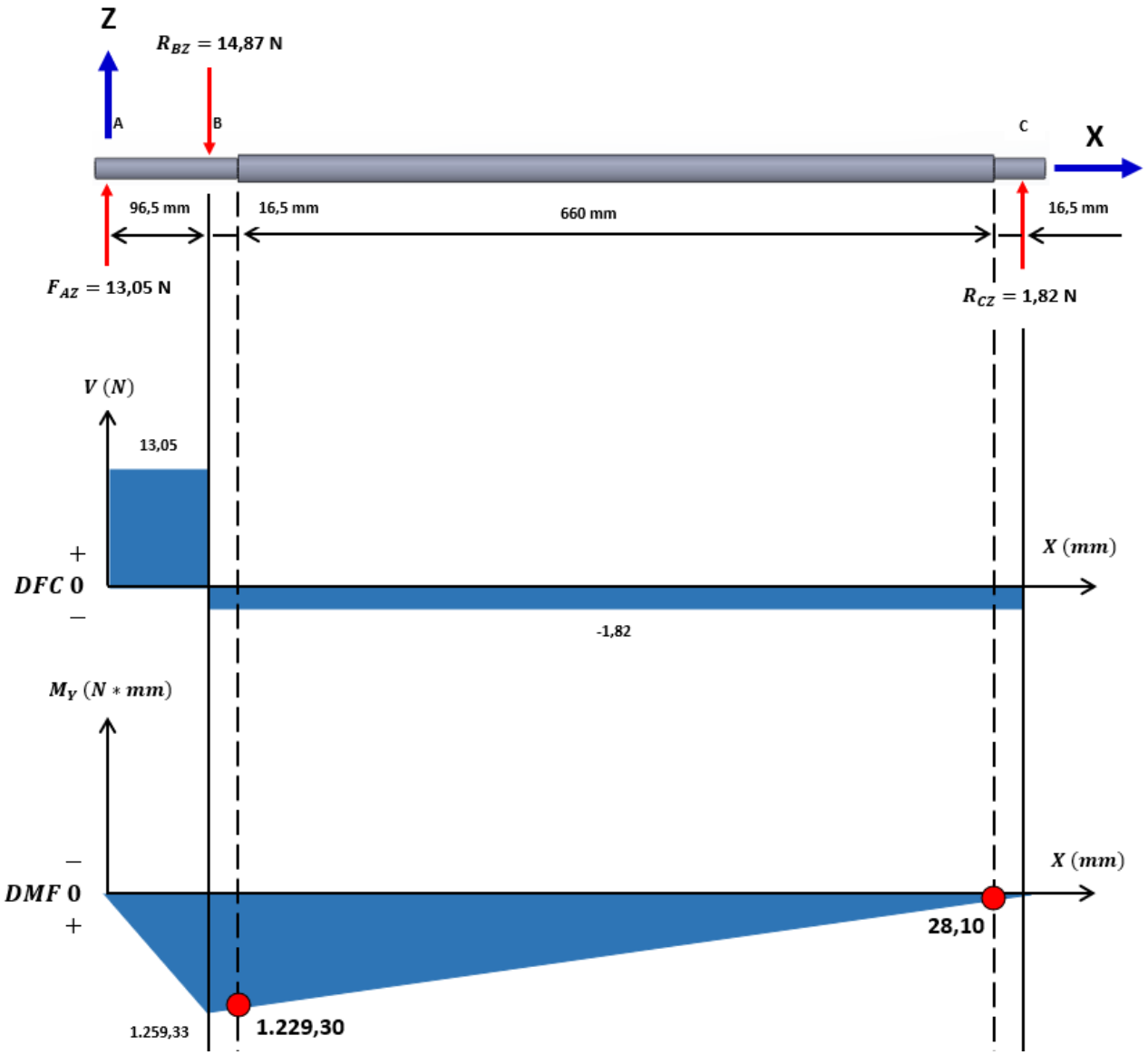
En base al diagrama de la Figura 43 los valores en el plano X-Z de los momentos flectores en los concentradores de esfuerzos son los siguientes:

$$M_{B'X-Y} = 5.720{,}86\ N * mm$$

$$M_{C'X-Y} = 137{,}26\ N * mm$$

Figura 44

Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano X-Z.



En base al diagrama de la Figura 44 los valores en el plano X-Y de los momentos flectores en los concentradores de esfuerzos son los siguientes:

$$M_{B'X-Z} = 1.229{,}30\ N * mm$$

$$M_{C'X-Z} = 28{,}10\ N * mm$$

Para encontrar el punto crítico es necesario emplear las ecuaciones (33) y (34) donde se comparan sus resultados verificando el de mayor valor que es el de interés para el diseño.

$$M_{B'} = \sqrt{(M_{B'X-Y})^2 + (M_{B'X-Z})^2} \tag{33}$$

$$M_{B'} = \sqrt{(5.720{,}86\ N * mm)^2 + (1.229{,}30\ N * mm)^2}$$

$$M_{B'} = 5.851{,}45\ N * mm$$

$$M_{C'} = \sqrt{(M_{C'X-Y})^2 + (M_{C'X-Z})^2} \tag{34}$$

$$M_{C'} = \sqrt{(137{,}26\ N * mm)^2 + (28{,}10\ N * mm)^2}$$

$$M_{C'} = 140{,}11\ N * mm$$

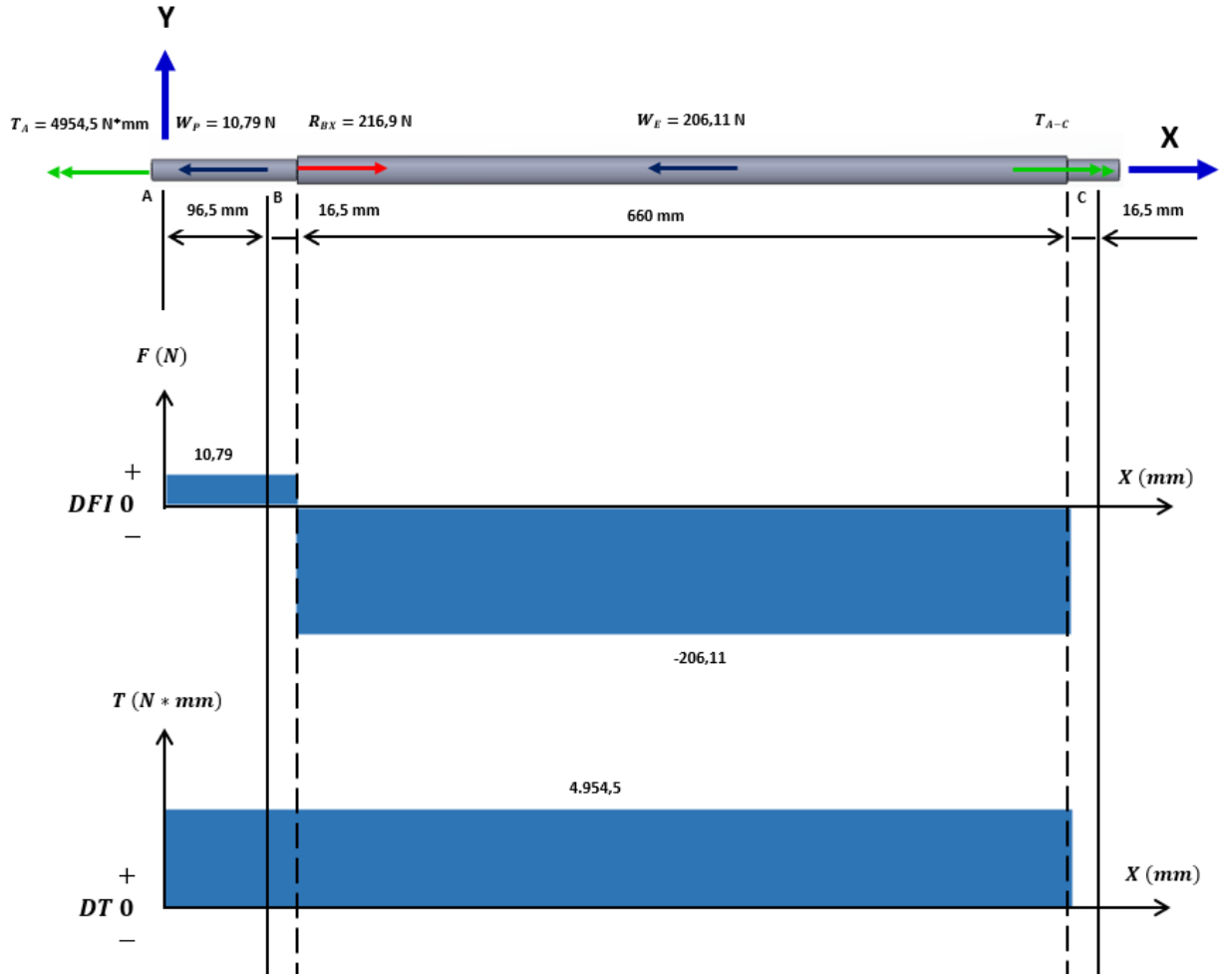
$$\therefore\ M_{B'} > M_{C'}$$

Una vez determinado el punto B' como crítico, en base a la Figura 45 se establece el torque constante con un valor de 4954,5 N*mm, de la misma manera se verifica que la sección A-B se encuentra a tracción y la sección B-C se encuentra a compresión.

Con esta serie de datos se procede con el diseño del eje donde el objetivo es verificar el factor de seguridad en base al diámetro seleccionado, esto se realiza en el punto B y C debido a los concentradores de esfuerzos.

Figura 45

Diagrama de fuerzas internas y torque.



3.9.2. Diseño del eje a fatiga (Punto B)

Cabe recalcar que al hablar del punto B se hace referencia al punto B' donde se ubica el concentrador de esfuerzo.

El material empleado es el Acero Inoxidable AISI 304 de grado alimenticio cuyas propiedades mecánicas en base al Anexo 3 son las siguientes:

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

$$S_y = 220\ MPa$$

Donde:

S_{ut} = *resistencia a la ruptura [MPa]*

S_y = *resistencia a la fluencia [MPa]*

3.9.2.1. Factores que modifican la fatiga

Con las propiedades antes mencionadas se pasa a calcular el límite a la fatiga real del material mediante la ecuación (35) donde intervienen los factores de Marín.

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * S'_e \tag{35}$$

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*

Este último valor viene dado por la ecuación (36).

$$Si\ S_{ut} \leq 1.400\ MPa, \qquad S'_e = 0{,}5 * S_{ut} \tag{36}$$

$$S_{ut} > 1.400\ MPa, \qquad S'_e = 700\ MPa$$

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

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

$$S'_e = 260\ MPa$$

Por otra parte, el cálculo de los factores de Marín se realiza con la ayuda de las tablas del Anexo 4 de la siguiente manera:

Factor de acabado superficial:

$$k_a = 4{,}51 * (520\ MPa)^{-0{,}265}$$

$$k_a = 0{,}86$$

Factor de tamaño: para este apartado cabe recalcar que el diámetro seleccionado para el eje fue determinado por la disponibilidad de las chumaceras, cuyo valor es de 3/4 in (19,05 mm).

$$k_b = 1{,}24 * (19{,}05\ mm)^{-0{,}107}$$

$$k_b = 0{,}90$$

Factor de carga: incorporado en la ecuación de Von Mises, considerando flexión.

$$k_c = 1$$

Factor de temperatura: considerando que la máquina trabaja a temperatura ambiente.

$$k_d = 1$$

Factor de confiabilidad: considerando una confiabilidad del 99%.

$$k_e = 1 - 0{,}08 * 2{,}326$$

$$k_e = 0{,}81$$

Seguido se reemplazan estos valores en la ecuación (35) para encontrar el límite a fatiga real.

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

$$S_e = 0{,}86 * 0{,}90 * 1 * 1 * 0{,}81 * 260\ MPa$$

$$S_e = 163\ MPa$$

3.9.2.2. Esfuerzos alternantes y medios de Von Mises

Se inicia por determinar los esfuerzos normales debido a la carga axial, momento flector y torsor mediante el uso de las ecuaciones (37), (38) y (39).

$$\sigma_{flexión} = \frac{32 * M_f}{\pi * D^3} \quad (37)$$

$$\tau_{torsión} = \frac{16 * T}{\pi * D^3} \quad (38)$$

$$\sigma_{axial} = \frac{4 * P}{\pi * D^2} \quad (39)$$

Donde:

$\sigma_{flexión}$ = *esfuerzo debido al momento flector [MPa]*

M_f = *momento flector ($M_{B'}$) [N*mm]*

D = diámetro del eje [mm]

$\tau_{torsión}$ = *esfuerzo debido al momento torsor [MPa]*

*T = momento torsor (T_A) [N*mm]*

σ_{axial} = *esfuerzo debido a carga axial [MPa]*

P = fuerza axial (W_p) [N]

$$\sigma_{flexión} = \frac{32 * 5.851{,}45\ N * mm}{\pi * (19{,}05\ mm)^3}$$

$$\sigma_{flexión} = 8{,}62\ MPa$$

$$\tau_{torsión} = \frac{16 * 4954{,}5\ N * mm}{\pi * (19{,}05)^3}$$

$$\tau_{torsión} = 3{,}65\ MPa$$

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

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

Con estos valores el siguiente paso es calcular los esfuerzos alternantes y medios con la ayuda de las ecuaciones (40) y (41).

$$\begin{cases} \sigma_m = \dfrac{\sigma_{máx} + \sigma_{mín}}{2} \\ \tau_m = \dfrac{\tau_{máx} + \tau_{mín}}{2} \end{cases} \tag{40}$$

$$\begin{cases} \sigma_a = \dfrac{\sigma_{máx} - \sigma_{mín}}{2} \\ \tau_a = \dfrac{\tau_{máx} - \tau_{mín}}{2} \end{cases} \tag{41}$$

$$\tau_{m\ torsión} = \frac{(3{,}65 - 3{,}65)\ MPa}{2} = 0\ MPa$$

$$\tau_{a\ torsión} = \frac{[3{,}65 - (-3{,}65)]\ MPa}{2} = 3{,}65\ MPa$$

$$\sigma_{m\ flexión} = \frac{(8{,}62 - 8{,}62)\ MPa}{2} = 0\ MPa$$

$$\sigma_{a\ flexión} = \frac{[8{,}62 - (-8{,}62)]\ MPa}{2} = 8{,}62\ MPa$$

$$\sigma_{m\ axial} = \frac{(0{,}038 + 0{,}038)\ MPa}{2} = 0{,}038\ MPa$$

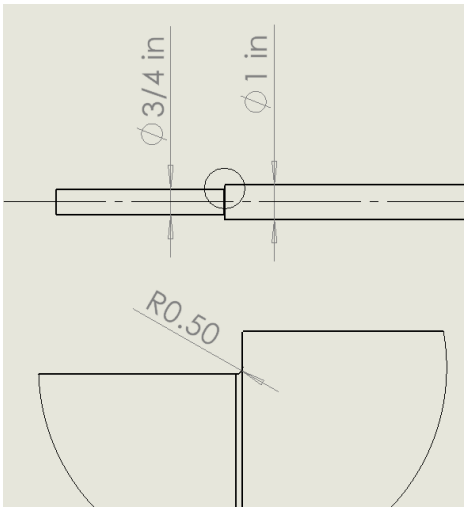
$$\sigma_{a\ axial} = \frac{[0{,}038 - 0{,}038]\ MPa}{2} = 0\ MPa$$

3.9.2.3. Concentradores de esfuerzos

Lo primero es calcular los concentradores de esfuerzos estáticos con la ayuda de las gráficas del Anexo 5, para ello es necesario considerar las dimensiones de los cambios de sección en el eje como se muestra en la Figura 46.

Figura 46

Dimensiones del cambio de sección en el punto B.



De esta manera los concentradores de esfuerzos estáticos son los siguientes:

$$K_{t\ axial} = 1{,}4$$

$$K_{t\ flexión} = 2{,}75$$

$$K_{ts\ torsión} = 2{,}1$$

Por otra parte, los valores de la sensibilidad a la muestra q y $q_{cortante}$ son los siguientes:

$$q = 0{,}60$$

$$q_{cortante} = 0{,}88$$

Después se calculan los valores de los concentradores de esfuerzos a fatiga K_f y K_{fs} mediante el uso de las ecuaciones (42) y (43).

$$K_f = 1 + q * (K_t - 1) \tag{42}$$

$$K_{fs} = 1 + q_{cortante} * (K_{ts} - 1) \tag{43}$$

$$K_{f\ axial} = 1 + 0{,}60 * (1{,}4 - 1) = 1{,}24$$

$$K_{f\ flexión} = 1 + 0{,}60 * (2{,}75 - 1) = 2{,}05$$

$$K_{fs\ torsión} = 1 + 0{,}88 * (2{,}1 - 1) = 1{,}97$$

3.9.2.4. Criterio de Von Mises

Una vez que se tiene esta serie de datos se emplean las ecuaciones (44) y (45) de Von Mises que consideran la energía de distorsión.

$$\sigma'_a = \sqrt{\left(K_{f\ flexión} * \sigma_{a\ flexión} + K_{f\ axial} * \frac{\sigma_{a\ axial}}{0{,}85}\right)^2 + 3(K_{fs\ torsión} * \tau_{a\ torsión})^2} \tag{44}$$

$$\sigma'_m = \sqrt{\left(K_{f\ flexión} * \sigma_{m\ flexión} + K_{f\ axial} * \sigma_{m\ axial}\right)^2 + 3(K_{fs\ torsión} * \tau_{m\ torsión})^2} \tag{45}$$

Donde:

σ'_a = esfuerzo alternante equivalente de Von Mises [MPa]

σ'_m = esfuerzo medio equivalente de Von Mises [MPa]

$$\sigma'_a = \sqrt{\left(2{,}05 * 8{,}62\ MPa + 1{,}24 * \frac{0\ MPa}{0{,}85}\right)^2 + 3 * (1{,}97 * 3{,}65\ MPa)^2}$$

$$\sigma'_a = 21{,}62\ MPa$$

$$\sigma'_m = \sqrt{(2{,}05 * 0\ MPa + 1{,}24 * 0{,}038\ MPa)^2 + 3 * (1{,}97 * 0\ MPa)^2}$$

$$\sigma'_m = 0{,}047\ MPa$$

3.9.2.5. Factor de seguridad del eje

Finalmente se realiza el cálculo del factor de seguridad considerando el criterio de Soderberg a vida infinita que viene dado por la ecuación (46).

$$n = \frac{1}{\left(\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_y}\right)} \tag{46}$$

Donde:

n = factor de seguridad del eje

$$n = \frac{1}{\left(\frac{21{,}62\ MPa}{163\ MPa} + \frac{0{,}047\ MPa}{220\ MPa}\right)}$$

$$n = 7{,}53$$

Para concluir en esta sección, el valor elevado del factor de seguridad se debe a la elección del diámetro del eje basado en la disponibilidad de chumaceras estándar. La reducción del factor de seguridad se traduce en la búsqueda innecesaria de chumaceras de menor diámetro cuya disponibilidad en el mercado es escasa, por este motivo es viable mantener el diámetro seleccionado para el eje.

3.10. Selección de los rodamientos

Una buena elección de estos elementos asegura el funcionamiento de la máquina y permite desarrollar un plan de mantenimiento preventivo garantizando la vida útil de los rodamientos, es por ello que se emplea como guía el catálogo de "Rodamiento SKF".

Se empieza por discurrir el punto B para la selección de los rodamientos debido a que las cargas tienen un mayor valor. Los aspectos para considerar al inicio del proceso de selección del rodamiento son los siguientes:

Se estima una temperatura ambiente de trabajo (22°).

El diámetro del eje tiene un valor de ¾ in (19,05 mm).

Las fuerzas actuantes en el punto B son: $R_{BY} = 69{,}19\ N, R_{Bz} = 14{,}87\ N,\ R_{BX} = 216{,}9\ N$.

El eje gira a una velocidad máxima de 400 rpm.

3.10.1. Tipo de rodamiento

El rodamiento para seleccionar debe resistir cargas combinadas, es decir, cargas axiales y radiales que actúan simultáneamente. La capacidad de resistir una carga axial se determina mediante el ángulo de contacto α como se muestra en la Figura 47. De la misma manera es necesario conocer la carga total radial y para ello se emplea la ecuación (47) donde intervienen las reacciones R_{BY} y R_{BZ}.

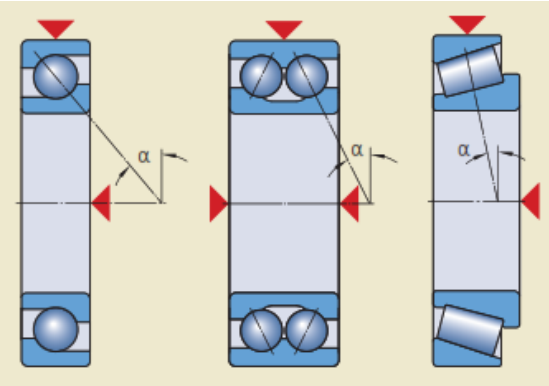
$$F_r = \sqrt{(R_{BY})^2 + (R_{BZ})^2} \tag{47}$$

Donde:

F_r = carga radial real [N]

Figura 47

Carga combinada en rodamientos.



Nota. Tomado de: (Grupo SKF, 2015).

Sustituyendo los respectivos valores en la ecuación (47) se obtiene el siguiente resultado.

$$F_r = \sqrt{(69{,}19\ N)^2 + (14{,}87\ N)^2}$$

$$F_r = 70{,}77\ N$$

$$F_r = 0{,}071\ kN$$

El siguiente paso es encontrar el ángulo de contacto α entre las cargas axial y radial mediante el uso de la ecuación (48).

$$\propto = \tan^{-1}\left(\frac{F_a}{F_r}\right) \quad (48)$$

Donde:

α = ángulo de contacto entre cargas [°]

F_a = carga axial real [kN]

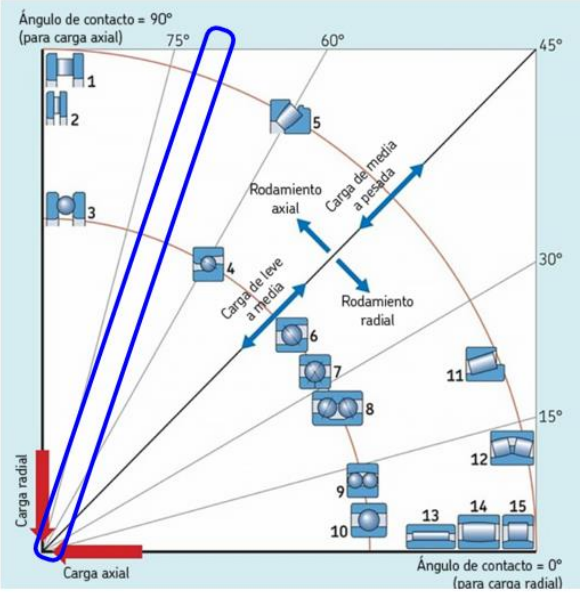
$$\propto = \tan^{-1}\left(\frac{0{,}217\ kN}{0{,}071\ kN}\right)$$

$$\propto = 71{,}88\ °$$

En la Figura 48 se observa el posicionamiento del ángulo calculado.

Figura 48

Tipos de rodamientos en base al ángulo de contacto.



Nota. Tomado de: (Grupo SKF, 2015).

El ángulo calculado se posiciona cerca del límite de los rodamientos cuya carga es completamente axial por lo que es necesario optar por un tipo de rodamiento de bolas localizado hacia la derecha, de esta manera se aumenta el número de opciones, entre las cuales destaca el rodamiento de inserción. “Este tipo de rodamiento por lo general se emplea en chumaceras y son adecuados para aplicaciones en un sentido de giro constante y alternante’’ (Grupo SKF, 2015, p. 424).

En la Figura 49 se puede observar la geometría del rodamiento seleccionado.

Figura 49

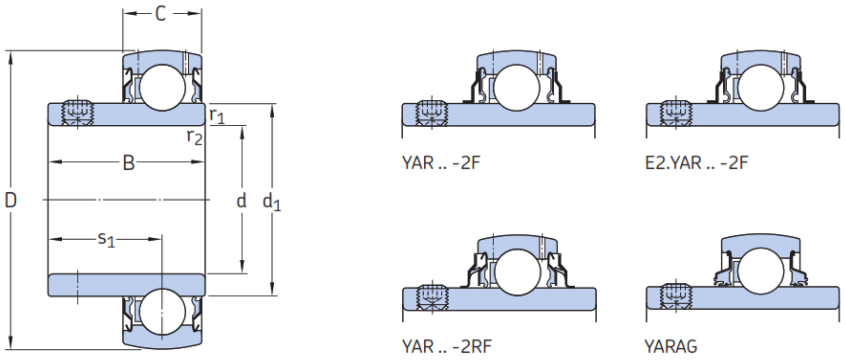
Rodamientos de inserción SKF.

Nota. Tomado de: (Grupo SKF, 2015).

Posteriormente en la Figura 50 se muestra toda la nomenclatura usada en este tipo de rodamiento, misma que será de ayuda para el desarrollo de los cálculos.

Figura 50

Nomenclatura de rodamientos.



Nota. Tomado de: (Grupo SKF, 2015).

Donde:

D = diámetro exterior nominal [mm]

d = diámetro nominal del agujero [mm]

d_1 = diámetro exterior del aro interno [mm]

B = anchura nominal del aro interior [mm]

C = anchura nominal del aro exterior [mm]

S_1 = distancia entre el extremo saliente del aro y el centro [mm]

3.10.2. Factor de seguridad a carga estática

En la Figura 51 se observa la serie de modelos de rodamientos de inserción para el diámetro del eje diseñado previamente cuyo valor es de ¾ in (19,05 mm). El modelo con el que se desarrollarán los cálculos de validación de funcionamiento es el YAT 204-012.

Figura 51

Propiedades mecánicas de los rodamientos de inserción SKF.

Dimensiones principales							Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidad límite	Masa	Designación
d	D	B	C	d_1 ~	s_1	$r_{1,2}$ mín.	dinámica C	estática C_0	P_u	con tolerancia del eje h6		
pulg./mm	mm						kN		kN	r. p. m.	kg	–
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
5/8	40	22,5	12	24,2	16	0,3	9,56	4,75	0,2	9 500	0,1	YAT 203-010
15,875	40	27,4	12	24,2	15,9	0,3	9,56	4,75	0,2	9 500	0,11	YAR 203-010-2F
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

Nota. Tomado de: (Grupo SKF, 2015).

La verificación de las cargas que actúan el eje se realiza mediante el control del factor de seguridad estático de la aplicación, se inicia por la ecuación (49).

$$P_0 = 0{,}6 * F_r + 0{,}5 * F_a$$
$$P_0 < F_r \ \rightarrow \ P_0 = F_r \tag{49}$$

Donde:

P_0 = carga estática equivalente [kN]

$$P_0 = 0{,}6 * 0{,}071\ kN + 0{,}5 * 0{,}217\ kN$$
$$P_0 = 0{,}151\ kN$$
$$0{,}151\ kN > 0{,}071\ kN$$
$$P_0 = 0{,}151\ kN$$

Posteriormente se emplea la ecuación (50) para determinar el factor de seguridad a carga estática. El valor de *C_0* se obtiene de la Figura 51 cuya magnitud es de 6,55 kN.

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0} \tag{50}$$

Donde:

S_0 = factor de seguridad a carga estática

C_0 = capacidad de carga estática básica [kN]

$$S_0 = \frac{6{,}55\ kN}{0{,}151\ kN}$$
$$S_0 = 43{,}38$$

3.10.3. Vida útil del rodamiento

"La vida individual de un rodamiento viene expresada en la cantidad de revoluciones o cantidad de horas de funcionamiento que el rodamiento puede soportar a una determinada velocidad antes de que aparezcan indicios de fatiga en el camino de rodadura'' (Grupo SKF, 2015, p. 63). Este término viene dado por la ecuación (51).

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^{p} \tag{51}$$

Donde:

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

C = capacidad de carga dinámica básica [kN]

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

P = carga dinámica equivalente del rodamiento [kN]

Este último elemento de carga viene dado por la ecuación x mostrada a continuación.

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e \rightarrow P = F_r \tag{52}$$

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

Donde:

e = límite para la relación de carga

X = factor de cálculo para la carga radial

Y = factor de cálculo para la carga axial

Esta serie de elementos se obtienen en base a la Figura 52 mostrada a continuación:

Figura 52

Factores de cálculo para rodamientos de inserción.

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

Series de rodamientos tamaños	Factor f_0
YAT 2, YAR 2, YARAG 2, YET 2, YEL 2, YELAG 2, YSP 2, YSPAG 2, YSA 2	
03-04	13
05-12	14
13-18	15
20	14
17262	
03-04	13
05-12	14
17263	
05	12
06-10	13

Nota. Tomado de: (Grupo SKF, 2015).

Considerando un factor f_0 de 14 se realiza la siguiente sustitución:

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

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

Mediante una interpolación simple con los datos de la Figura 52 se obtienen los siguientes resultados:

$$e = 0{,}33$$

$$X = 0{,}46$$

$$Y = 1{,}64$$

Entonces la relación entre la carga radial y axial permanece de la siguiente manera:

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{0{,}217\ kN}{0{,}071\ kN}$$

$$\frac{F_a}{F_r} = 3{,}056$$

Verificando este resultado en la ecuación (52) se obtiene el resultado real para la carga equivalente del rodamiento (P).

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

$$3{,}056 > 0{,}33$$

$$P = 0{,}46 * 0{,}071\ kN + 1{,}64 * 0{,}217\ kN$$

$$P = 0{,}389\ kN$$

Finalmente sustituyendo esta serie de valores en la ecuación (51) se obtiene el siguiente resultado para la vida útil del rodamiento.

$$L_{10} = \left(\frac{12{,}7\ kN}{0{,}389\ kN}\right)^3$$

$$L_{10} = 34.798{,}65\ millones\ de\ ciclos$$

3.11. Diseño del tanque de almacenamiento

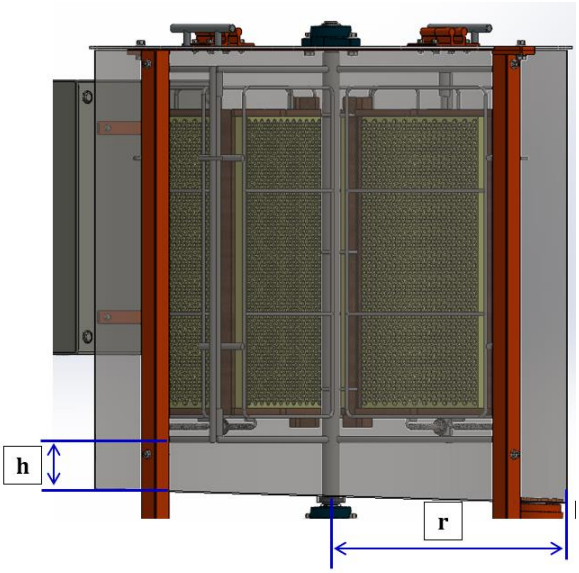
Uno de los aspectos que se resaltan en el alcance del proyecto es la capacidad de almacenamiento que tendrá la máquina, aproximadamente de cada marco de miel se extrae 1 litro de producto. Cada colmena de miel almacena 10 marcos de miel, por lo que la máquina tiene la capacitad de extraer miel continuamente de hasta 2 colmenas sin necesidad de envasar el producto final.

Para verificar este almacenamiento máximo de 20 litros se emplea la ecuación (53) donde se calcula el volumen del lugar donde se acumulará el producto. Para el valor del radio del cilindro

se considera la geometría del mecanismo de giro dando como resultado 0,34 m y se asume un valor de 0,06 m para la altura. Esto se visualiza de mejor manera en la Figura 53.

Figura 53

Dimensiones de la sección de almacenamiento.



$$V = 1000 * \pi * r^2 * h \tag{53}$$

Donde:

V = volumen de la sección de almacenamiento [l]

r = radio del cilindro [m]

h = altura del cilindro [m]

$$V = 1000 * \pi * (0{,}34\ m)^2 * 0{,}06\ m$$

$$V = 21{,}79\ l$$

3.12. Estructura de soporte

Esta estructura es la encargada de soportar el peso de los siguientes elementos: motor trifásico, envolvente, mecanismo de giro y el tanque de almacenamiento. La elección de los componentes estructurales se realizó en base a las dimensiones disponibles en el mercado, por lo que es necesario verificar que el diseño que se muestra en la Figura 54 no comprometa el funcionamiento de la máquina debido a la presencia de posibles fallas por deflexiones.

Figura 54

Estructura de soporte.

3.12.1. Análisis estático de la estructura de soporte.

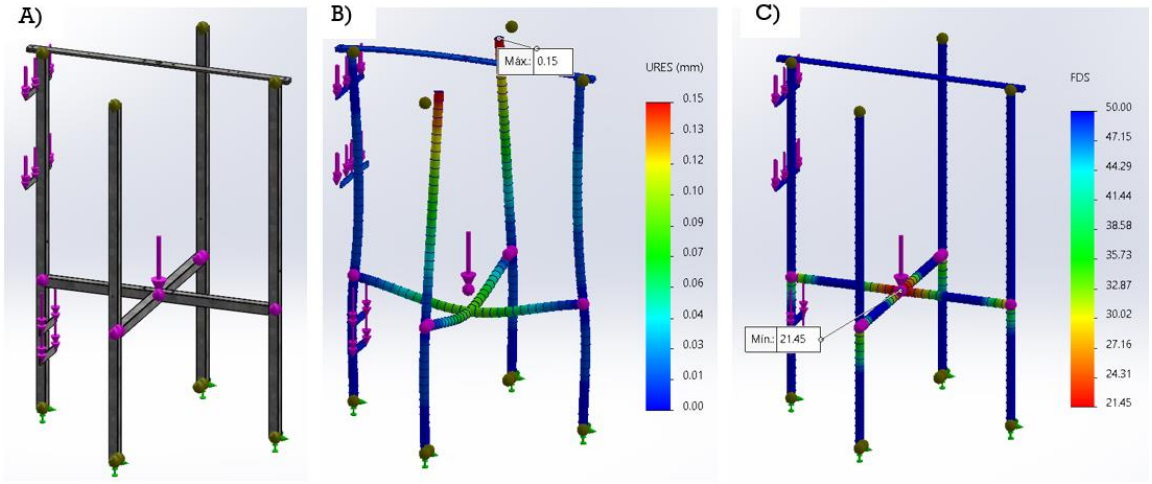
Debido a la compleja geometría que posee la estructura se opta por emplear el software SolidWorks para realizar un análisis de elementos finitos. Para ello se agregan los respectivos

pesos en cada componente estructural como se muestra en la Figura 55, literal A, donde se considera el peso total del sistema giratorio, el envolvente y el motor trifásico con valores de 23 N, 34 N y 34 N respectivamente.

Posteriormente en la Figura 55, literal B, se observa un desplazamiento máximo de 0,15 mm lo cual es básicamente despreciable en comparación a las dimensiones generales de la estructura, finalmente en la Figura 55, literal C, se observa que el factor de seguridad tiene un valor de 21,45 lo cual afirma que el diseño es completamente fiable.

Figura 55

Análisis de elementos finitos de la estructura de soporte.



Nota: A) Fuerzas actuantes en la estructura de soporte, B) Desplazamiento máximo de la estructura de soporte, C) Factor de seguridad de la estructura de soporte.

3.13. Automatización

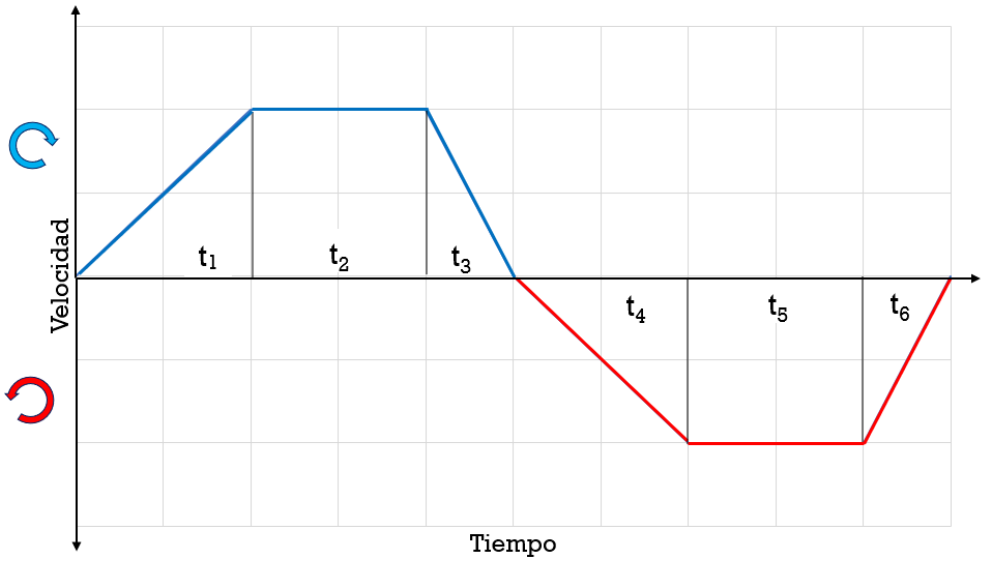
El enfoque central de esta sección recae en el control de trabajo del motor trifásico, abarcando aspectos de interés como el tiempo de aceleración y desaceleración, así como la inversión de giro.

Por otra parte, también es necesario considerar el ámbito de seguridad por lo que es preciso implementar protecciones que salvaguardan tanto a la máquina como al operador. Finalmente, esta sección integra estrategias para optimizar la comprensión y usabilidad de la máquina para que su operación sea lo más intuitiva posible.

3.13.1. Rampas de aceleración y desaceleración

Figura 56

Rampas de aceleración / desaceleración del motor.



En la Figura 56 se puede visualizar el comportamiento deseado del motor durante todo el ciclo de operación que se compone de los siguientes tiempos:

t_1 = tiempo de aceleración 1, durante este tiempo se extrae una determinada cantidad de miel de una cara del marco.

t_2 = tiempo de velocidad constante 2, durante este tiempo se extrae completamente la miel restante de la cara del marco.

t_3 = tiempo de desaceleración 3, durante este tiempo el motor disminuye su velocidad para realizar el cambio de giro permitiendo que los marcos se reposicionen gracias al mecanismo reversible.

El resto de los tiempos es similar a los anteriormente descritos debido a que se realiza la misma secuencia con la otra cara del marco permitiendo la extracción total de miel, es decir:

$$t_4 = t_1$$

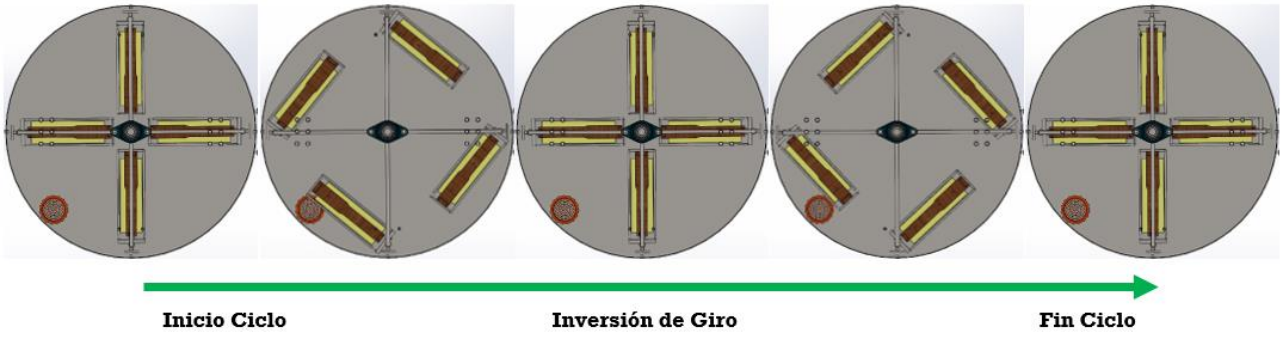
$$t_5 = t_2$$

$$t_6 = t_3$$

Para una mejor comprensión en la Figura 57 se muestra una vista superior de la secuencia de posicionamiento de los porta panales durante todo el ciclo de operación de la máquina centrifugadora.

Figura 57

Posición de los porta marcos durante ciclo de operación.



3.13.2. Diseño del panel de control

A continuación, en la Tabla 10 se muestran los principales elementos necesarios para llevar a cabo el ciclo de operación de la máquina, es decir, los elementos seleccionados que permitirán controlar los tiempos de centrifugado, la inversión de giro del motor, las protecciones contra

sobrecargas eléctricas, y elementos que permitan enviar señales de inicio o parada de emergencia como pulsadores, interruptores y sus respectivas señalizaciones visuales como lámparas.

Tabla 10

Componentes del sistema eléctrico.

Componente	Acción
Variador de frecuencia	Controlar motor trifásico
Breaker	Protección contra sobrecorrientes
Temporizador multifunción	Controlar tiempos de centrifugado
Selector	Energizar máquina
Paro de emergencia	Desenergizar máquina ante emergencia
Pulsador NC	Detener ciclo de operación
Pulsador NA	Iniciar ciclo de operación
Lampara verde	Indicar presencia de energía
Lampara roja	Indicar presencia de emergencia

3.13.2.1. Variador de frecuencia (VDF)

(Siemens, 2016), menciona que los criterios a considerar para realizar la selección exitosa de un VDF son los siguientes: tipo de aplicación ya sea par constante o variable, voltaje de

aplicación, selección en base a características del motor, rangos de velocidades nominales, condiciones ambientales de trabajo. De la misma manera recomienda emplear elementos de protección externos como interruptores automáticos, fusibles, reactancias, etc.

Considerando los criterios y recomendaciones de SIEMENS se optó por seleccionar el VDF que se muestra en la Figura 58, de la misma manera sus características principales se resumen en la Tabla 11, el resto de los detalles se encuentran en el Anexo 6.

Figura 58

Variador de frecuencia Kewo AD100.

Tabla 11

Características del VDF Kewo AD100.

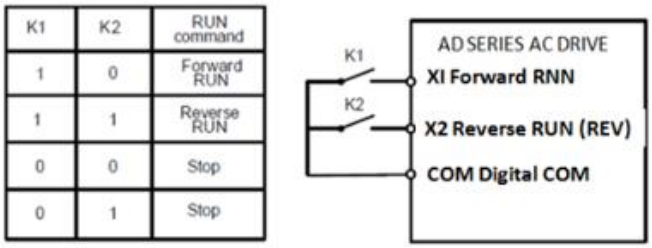
Característica	Valor
Potencia	1 hp
Protección de ingreso	IP20
Corriente nominal	3,6 A
Voltaje de entrada	Monofásico 220 V ±15%
Modos de control	Control vectorial, control V/f
Función de protección	25 tipos de protección contra fallas, sobrecorriente, sobretensión, subtensión, falta de fase, función de protección contra sobrecarga.
Método de enfriamiento	Ventilador
Método de instalación	Montado en pared
Entradas digitales/análogas	5 / 2

Nota. Adaptado de: (Kewoelectric Technology, 2018).

Este variador posee varios métodos de control considerando señales externas para su funcionamiento, el método seleccionado se muestra en la Figura 59 donde K1 y K2 son las entradas digitales que manejan la lógica de funcionamiento.

Figura 59

Entradas de control del VDF.



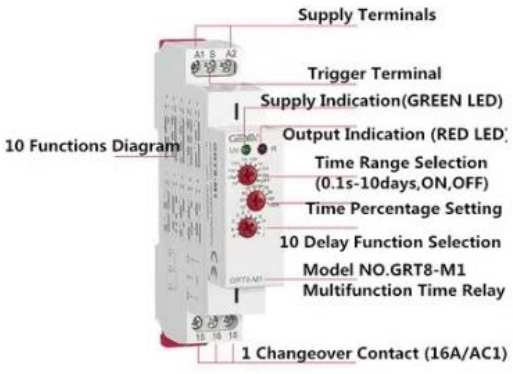
Nota. Tomado de: (Kewoelectric Technology, 2018).

3.13.2.2. Temporizador multifunción

Los tiempos de aceleración y desaceleración se pueden programar en el VDF dirigiéndose a los códigos de función P0.08 y P0.09 respectivamente, con esto en base a la Figura 56 se tienen controlados los tiempos t_1 y t_3. Los tiempos restantes en los que el motor gira en un determinado sentido serán controlados mediante dos temporizadores multifunción, sus características principales se resumen en la Figura 60 y el resto de los detalles se encuentran en el Anexo 7.

Figura 60

Temporizador multifunción GEYA.

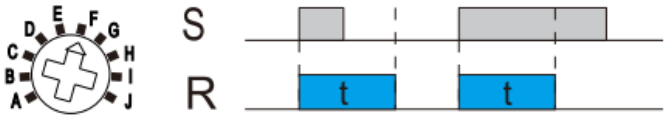


Nota. Tomado de: (GEYA, 2023).

El modo de función empleado será el “F: Single Shot” de mostrado en la Figura 61, donde S es la señal de trabajo para el contador proveniente del pulsador de inicio de ciclo, en pocas palabras el temporizador trabaja con retardo en la desconexión permitiendo el control de las entradas digitales mostradas en la Figura 59.

Figura 61

Modo de uso del temporizador multifunción.



Nota. Tomado de: (GEYA, 2023).

3.13.2.3. Protección del circuito

Como se mostró en la Tabla 11 el VDF tiene una gran variedad de protecciones lo cual es una gran ventaja, pero también es necesario implementar una protección externa, en este caso se realiza la implementación de un interruptor termomagnético o breaker como es más conocido en Ecuador.

“Su funcionamiento se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de corriente eléctrica en un circuito: el magnético y el térmico, teniendo tres sistemas de desconexión: manual, térmico (calor) y magnético (magnetismo)” (Salvatierra, 2021, p. 2).

El dimensionamiento de este dispositivo está establecido en la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) articulo 210.20, donde se menciona que el amperaje de este dispositivo se basa en la ecuación (54).

$$1{,}25 * I_{carga} \leq I_{breaker} \leq I_{conductor} \quad (54)$$

El VDF recomienda emplear un conductor calibre #14 AWG cuya capacidad de intensidad es de 15 amperios, por otra parte, en base a la Tabla 9 la intensidad de la carga es de 1,07 amperios. Considerando esto se emplea la ecuación (54) obteniendo el siguiente resultado:

$$1{,}25 * 1{,}07\ A \leq I_{breaker} \leq 15\ A$$

$$1{,}25 * 1{,}07\ A \leq 1{,}34\ A \leq 15\ A$$

En base a la disponibilidad de este dispositivo en el mercado se selecciona el interruptor termomagnético mostrado en la Figura 62 cuya corriente nominal es de 10 amperios, el resto de información se encuentra en el Anexo 8.

Figura 62

Interruptor termomagnético seleccionado.

3.13.2.4. Panel de control

La principal característica del envolvente seleccionado es su designación de protección IP65 ya que la máquina será empleada en un entorno con presencia de polvo y humedad, de esta manera todo el sistema eléctrico se encuentra aislado y protegido contra elementos externos.

En la Figura 63 se puede visualizar el tablero de control que será manipulado por el usuario para manejar la máquina centrifugadora de miel, posteriormente en la Tabla 12 se describe a detalle la función de cada elemento que compone el envolvente.

Figura 63

Panel de control de la máquina.

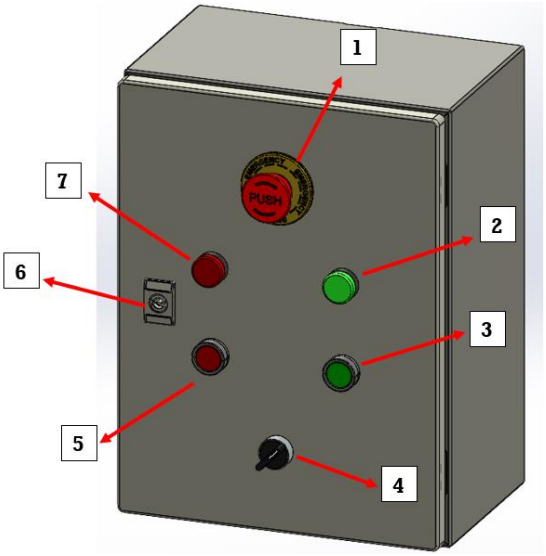


Tabla 12

Descripción de los elementos del tablero de control.

N °	Elemento	Función
1	Paro de emergencia	Detiene inmediatamente el funcionamiento del sistema eléctrico ante situaciones críticas garantizando la seguridad del usuario.
2	Luz piloto verde	Proporciona una señal visual del estado de energización de la máquina.

3	Pulsador NA	Inicia el ciclo de centrifugado.
4	Selector	Energiza / desenergiza el sistema eléctrico.
5	Pulsador NC	Interrumpe el ciclo de centrifugado.
6	Cerradura	Asegura la protección y el control de acceso de personal no autorizado previniendo accidentes.
7	Luz piloto roja	Proporciona una señal visual ante la activación del paro de emergencia.

Para finalizar esta unidad cabe recalcar que el esquema eléctrico de la sección de mando y potencia donde se implementan todos los componentes mencionados hasta este punto se localizan en el Anexo 9.

3.14. Fabricación y ensamblaje

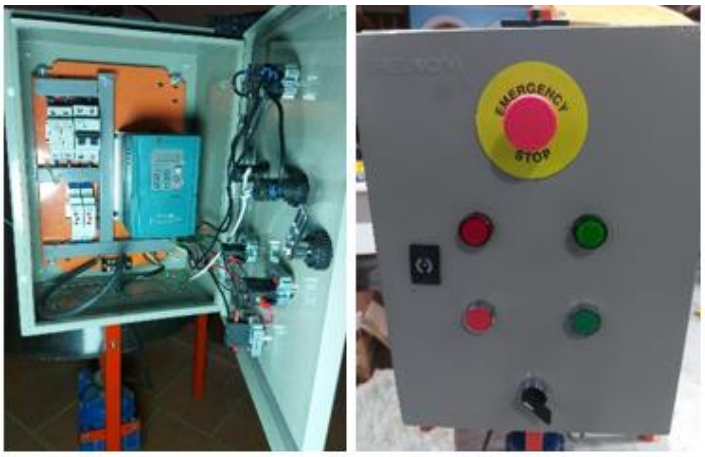
A continuación, se presenta de manera resumida la construcción de los componentes que conforman la máquina centrifugadora y su posterior ensamblaje, los respectivos planos de cada pieza se ubican en el Anexo 10.

3.14.1. Sistema eléctrico

El envolvente de 400x300x200 mm mostrado en la Figura 64 contiene en su interior elementos como el VDF, breaker, temporizadores, canaletas, riel DIN con todo su respectivo cableado hacia el tablero de control donde se ubican los componentes accionados por el usuario para que la máquina cumpla con el ciclo de operación.

Figura 64

Ensamblaje de sistema eléctrico.



3.14.2. Estructura de soporte

La estructura mostrada en la Figura 65 está formada por tubo cuadrado de acero negro y una serie de dimensiones en cuanto a platinas, todos estos elementos se encuentran soldados con electrodo E6011 el cual es el más adecuado para el tipo de acero empleado, posteriormente se agregó una capa protectora de pintura para evitar el deterioro debido a la humedad y polvo.

En la parte superior se ubican las tapas de acrílico que protegen el ingreso de impurezas al producto final.

Figura 65

Ensamblaje de estructura de soporte.

3.14.3. Sistema de transmisión

En la Figura 66 se muestra la implementación del sistema de transmisión compuesto por el motor trifásico que se fija a la estructura mediante pernos y tuercas, la polea conducida, la banda y la polea conductora que se fija al eje motriz mediante pernos prisioneros.

Figura 66

Implementación del sistema de transmisión.

3.14.4. Tanque de almacenamiento

En la parte izquierda de la Figura 67 se muestra la construcción del tanque de almacenamiento que se obtuvo tras el desarrollo de varios métodos de manufactura como rolado y soldadura con electrodo E308L-16.

Por otra parte, en la sección izquierda se ubica el grifo tipo guillotina obtenido por impresión 3D, por donde se extrae el producto final sin impurezas gracias al filtro integrado que posee.

Figura 67

Tanque y grifo de salida de la miel.

3.14.5. Mecanismo de giro

La construcción de este sistema mostrado en la x se inició por los cuatro porta marcos que se encargan de posicionar a los panales de forma tangente al tanque para que la miel se pueda extraer gracias a la fuerza centrífuga. El eje motriz posicionado en el centro se encarga de transmitir la velocidad hacia todo el mecanismo que se encuentra completamente soldado.

Figura 68

Construcción del mecanismo de giro.

3.14.6. Ensamblaje de la máquina

Finalmente en la Figura 69 se muestra la máquina completamente funcional y lista para ser implementada para su posterior validacion mediante pruebas de funcionamiento.

Figura 69

Máquina centrifugadora de extracción de miel ensamblada.

3.14.7. Máquinas y herramientas de construcción

A continuación, en la Tabla 13 se muestran todas las herramientas y máquinas que fueron empleadas para realizar los diferentes procesos de manufactura de cada elemento que compone la centrifugadora.

Tabla 13

Listado de máquinas y herramientas empleadas.

Máquinas	Herramientas	
Roladora de placa	Juego de brocas	Playo de presión
Soldadora (SMAW)	Juego de destornilladores	Juego de dados
Sierra de metal	Juego de llaves	Ratchet (media vuelta)
Amoladora	Martillo	Juego de pinzas
Taladro de mano	Escuadra magnética	Limatón
Taladro de banco	Calibrador vernier	Nivel
Compresor	Disco de corte	Fresas
Cortadora láser CNC	Disco de pulir	Tijeras industriales
Torno manual	Juego de escobillas	Broca escalonada

Impresora 3D	Juego de llaves allen	Flexómetro

3.15. Pruebas de funcionamiento

En esta sección se detallan todos los resultados obtenidos durante el proceso de centrifugado de miel, el manejo de la máquina se ubica en el Anexo 11.

3.15.1. Requerimientos previos

Los elementos necesarios para el desarrollo de las pruebas de funcionamiento se enlistan a continuación:

- Fuente de 220 Voltios para energizar la máquina.
- Marcos de miel tipo Langstroth para su respectivo centrifugado.
- Balanza para verificar pesos de marcos antes y después de centrifugado.
- Cronómetro para toma de tiempos de todo el ciclo de operación.
- Nivel para verificar la estabilización de la máquina.

3.15.2. Definición de tiempos y velocidades de centrifugado

Los tiempos que componen el ciclo completo de centrifugado se muestran en la Figura 70 mostrada a continuación.

Figura 70

Tiempos que componen el ciclo de trabajo.

A continuación, se detalla lo referente a cada tiempo:

Tiempo de Carga: tiempo en posicionar los marcos de miel en las cestas.

Tiempo de Centrifugado Cara 1: tiempo de aceleración y tiempo a velocidad constante.

Tiempo de Inversión de Giro: tiempo de desaceleración y parte del tiempo de aceleración.

Tiempo de Centrifugado Cara 2: resto del tiempo de aceleración y tiempo a velocidad constante, cabe recalcar que a este ítem se le debe adicionar el tiempo de desaceleración.

Tiempo de Descarga: tiempo en retirar los marcos de miel de las cestas.

Esta serie de tiempos se tabula en la Tabla 14 para su posterior análisis.

Para iniciar la prueba de centrifugado se establece el tiempo de aceleración y desaceleración de la siguiente manera:

$$t_{aceleración} = 60\ s$$

$$t_{desaceleración} = 10\ s$$

Por otra parte, las velocidades de centrifugado se establecen de la siguiente manera:

$$\omega_{arranque} = 108\ rpm$$

$$\omega_{máxima} = 216\ rpm$$

Una vez definidos esta serie de valores se procede con las pruebas de centrifugado de la máquina a carga máxima, es decir, con cuatro marcos de miel por cada ciclo, todos los resultados se tabulan en la Tabla 14 para su posterior análisis.

Tabla 14

Tiempos de operación.

N° de Prueba	Tiempo de carga (s)	Tiempo centrifugado cara 1 (s)	Tiempo inversión de giro (s)	Tiempo centrifugado cara 2 (s)	Tiempo de descarga (s)
1	50	240	40	200	48
2	54	240	38	202	54
3	52	180	36	144	55
4	55	180	41	139	49

Como se puede observar en la Tabla 14 se realizó un total de cuatro pruebas de centrifugado a carga completa, en las primeras dos pruebas se configuró un tiempo de centrifigado de cara 1 de cuatro minutos (240 s), el tiempo de centrifugado de cara 2 es aproximadamente el mismo considerando que a los cuatro minutos se le resta el tiempo de inversion de giro de los marcos de miel.

En las últimas dos pruebas se decidió reducir el tiempo de centrifugado a tres minutos (180 s) por cada cara con el fin de verificar si se obtiene el mismo resultado, la velocidades de arranque y máxima se decidieron manetener en las cuatro pruebas de centrifugado para su posterior análisis.

3.15.3. Datos del proceso de extracción

A continuación, en la Tabla 15 se muestra el resultado de la toma de pesos total de los cuatro marcos de miel antes y después del ciclo de centrifugado a carga completa, esto permitirá conocer si la reducción de tiempos de centrifugado mencionada anteriormente presenta una variación positiva, de la misma manera se realiza una inspección visual para determinar el nivel de deterioro de la cera.

Tabla 15

Resultados de pruebas de centrifugado.

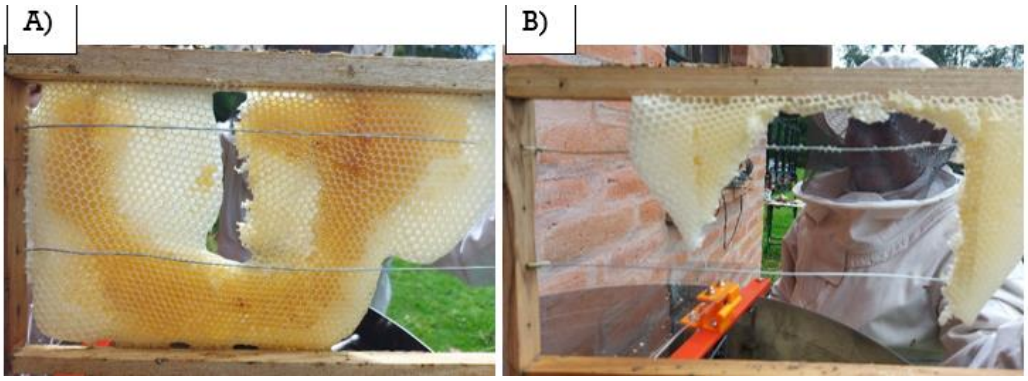
N° de Prueba	Peso de los marcos antes del centrifugado (kg)	Peso de los marcos después del centrifugado (kg)	Miel extraída (kg)	Nivel de daño de cera
1	6,9	2,6	4,3	Bajo
2	5,2	2,2	3,3	Medio
3	6,1	2,4	3,7	Bajo
4	5,4	2,3	3,1	Bajo

En cuando al nivel de daño de la cera se destaca la prueba N° 2 ya que se obtuvo un nivel medio, esto se debe a que la cera no se encontraba completamente adherida al marco de madera por lo que incluso a velocidades bajas de extracción el daño es inevitable.

En la Figura 71 se muestra el antes y después de uno de los marcos que involucran esta prueba.

Figura 71

Marco con daño de cera.

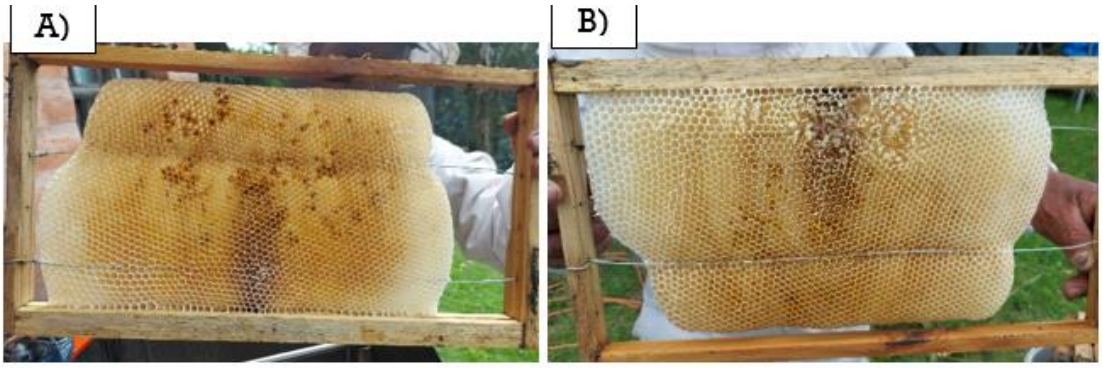


Nota: A) Marco de miel antes de centrifugado, B) Marco de miel después de centrifugado.

Posteriormente en la Figura 72 se muestra el resultado exitoso del resto de las pruebas donde el daño de la cera de cada marco es mínimo.

Figura 72

Marco sin daño de cera.



Nota: A) Marco de miel antes de centrifugado, B) Marco de miel después de centrifugado.

3.15.4. Eficiencia de máquina

La eficiencia de la máquina centrifugadora se puede calcular mediante el uso de la ecuación (55) que se muestra a continuación. Cabe recalcar que el peso mínimo de un marco sin miel es de aproximadamente 0,5 kg por lo que multiplicado por los cuatro marcos que son la carga máxima se tiene el valor constante de 2 kg que se observa en la ecuación.

$$\eta = \frac{Peso_{antes-centrifugado} - (Peso_{después-centrifugado} - 2\ kg)}{Peso_{antes-centrifugado}} * 100\% \qquad (55)$$

Donde:

η = *eficiencia de la máquina*

Para el desarrollo de este cálculo se emplean los datos de la Tabla 15, de esta manera se calcula la eficiencia promedio obtenida de las cuatro pruebas de centrifugado a carga completa, el resultado se visualiza a continuación en la Tabla 16.

Tabla 16

Eficiencia de la máquina centrifugadora.

N° de Prueba	Eficiencia (η)
1	$\eta = \frac{6{,}9\ kg - (2{,}6 - 2\ kg)}{6{,}9\ kg} * 100\% = 91{,}30\ \%$
2	$\eta = \frac{5{,}2\ kg - (2{,}2 - 2\ kg)}{5{,}2\ kg} * 100\% = 96{,}15\ \%$
3	$\eta = \frac{6{,}1\ kg - (2{,}4 - 2\ kg)}{6{,}1\ kg} * 100\% = 93{,}44\ \%$

4	$\eta = \frac{5{,}4\ kg - (2{,}3 - 2\ kg)}{5{,}4\ kg} * 100\% = 94{,}44\ \%$
Eficiencia promedio	$\eta = 93{,}83\ \%$

Como resultado se tiene que la máquina centrifugadora de miel tiene una eficiencia del 93,83 % a carga completa.

3.15.5. Análisis de producción

De la misma manera para el análisis de esta sección se emplean los datos de la Tabla 14 y Tabla 15, donde se mencionan los tiempos que componen el ciclo completo de centrifugado y los pesos de miel obtenidos en cada prueba de centrifugado.

Cabe recalcar que no se tomaran en cuenta los tiempos de las pruebas a N° 1 y N° 2 ya que como se mencionó previamente se redujo el tiempo de centrifugado, lo que significa que se obtuvieron los mismos resultados en menor tiempo en las pruebas N° 3 y N° 4. De esta manera se tienen los siguientes resultados promedio en cuanto a tiempos y kilogramos de miel extraídos:

$$Tiempo\ promedio\ de\ cada\ ciclo\ completo\ \approx 474\ s\ \approx\ 0{,}13\ h$$

$$Cantidad\ promedio\ de\ miel\ extraida =\ 3{,}6\ kg$$

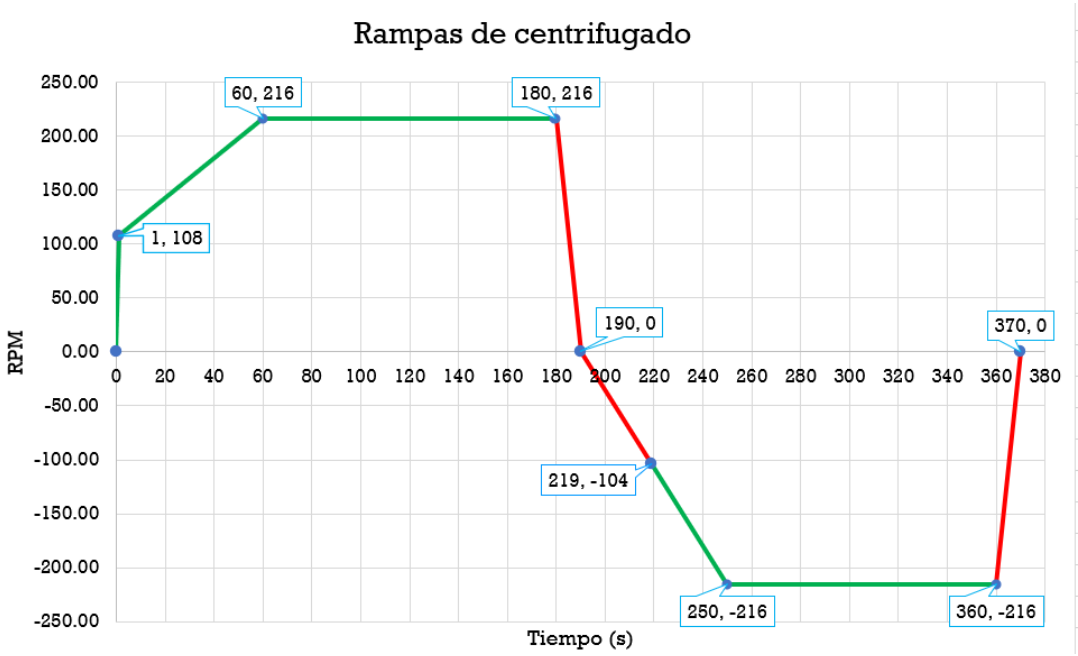
Como se puede ver se tiene una producción aproximada de $3{,}6\ kg$ en $0{,}13\ h$, relacionando estos datos se tiene una producción final de $27{,}69\ kg/h$ o a su vez alrededor de $19\ l/h$.

3.15.6. Comportamiento del motor trifásico durante ciclo de trabajo

Se realiza un análisis de comportamiento del motor en base a los resultados de las pruebas realizadas, considerando que las últimas dos se realizaron en un tiempo menor de centrifugado.

Figura 73

Comportamiento del motor durante el ciclo de centrifugado.



En la Figura 73 mostrada anteriormente se grafican las rampas de aceleración y desaceleración del motor durante todo el ciclo de centrifugado, inicialmente mediante el sistema de transmisión el motor hace que el mecanismo de giro inicie con una velocidad de 108 rpm y se acelere durante 60 s para llegar a una velocidad máxima de 216 rpm donde permanece constante durante 180 s, hasta este punto se cumple el centrifugado de la primera cara del marco.

Posteriormente el motor reduce la velocidad del mecanismo hasta las 0 rpm en un tiempo de 10 s, invirtiendo el sentido de giro, para volver a acelerar en un tiempo de 60 s llegando a una velocidad máxima de 216 rpm donde permanece constante durante 110 s finalizando el centrifugado de la otra cara del marco, lo único que resta es desacelerar el motor en 10 s concluyendo el ciclo de centrifugado completo.

En base a la Figura 73, cabe recalcar que el proceso de centrifugado se realiza en la sección de color verde, la sección de color rojo del centro de la gráfica es el tiempo total de 39 s que le toma al mecanismo en invertir la posición de los marcos de miel, en la parte derecha de la gráfica se observa la desaceleración final.

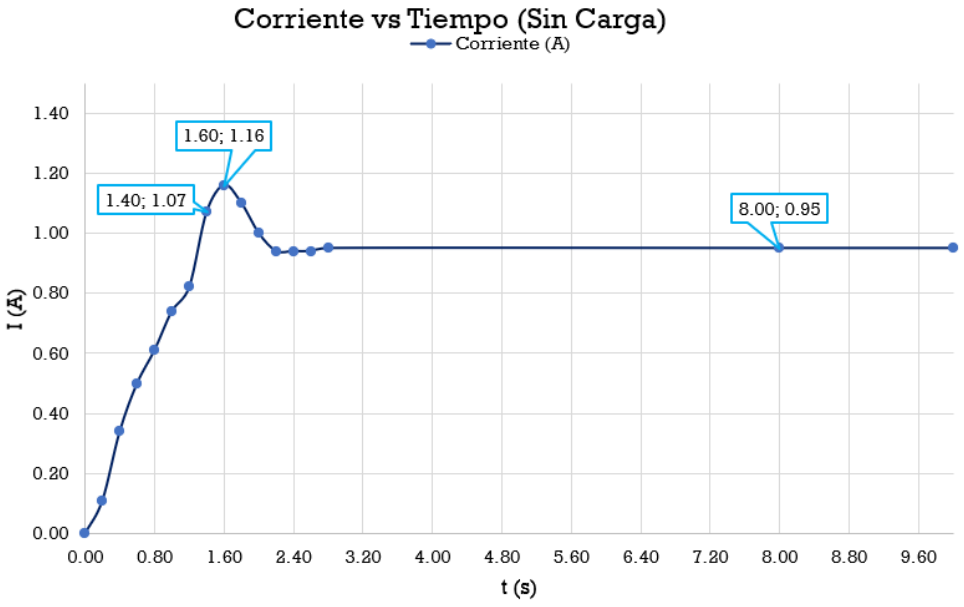
3.15.7. Estado de la corriente del motor

Se realiza un análisis sobre la corriente que consume el motor en la sección más crítica del ciclo de trabajo que es el arranque del motor.

En la Figura 74 se observa la evolución del consumo de corriente en base al tiempo cuando la máquina no tiene carga, inicialmente a los 1,60 s se presenta un pico máximo de 1,16 A lo cual sobrepasa la corriente nominal del motor cuyo valor es de 1,07 A, pero posteriormente se estabiliza en 0,95 A en un tiempo de 3 s lo cual es aceptable ya que los motores se encuentran diseñados para resistir a este comportamiento normal de arranque.

Figura 74

Estado de la corriente del motor sin carga.

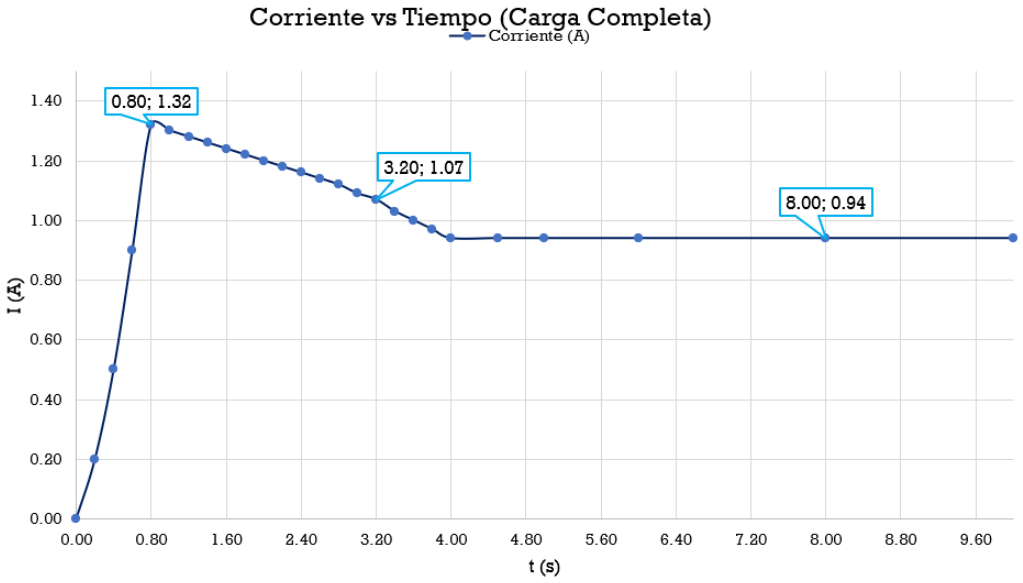


Por otra parte, En la Figura 75 se observa la evolución del consumo de corriente en base al tiempo cuando la máquina se encuentra a carga completa, este análisis tiene mayor relevancia debido a que se debe verificar que el motor no se encuentre en un consumo de sobrecorriente por tiempos prolongados.

De esta manera, inicialmente a los 0,80 s se presenta un pico máximo de 1,32 A lo cual sobrepasa la corriente nominal del motor cuyo valor es de 1,07 A, pero posteriormente se estabiliza en 0,95 A en un tiempo de 4 s lo cual es completamente aceptable ya que en el diseño de los motores como se mencionó anteriormente se considera esta sobrecorriente en el arranque, esto debido a que el motor debe romper el momento de inercia inicial, finalmente se concluye que el motor trabaja con normalidad y no se encuentra sometido a sobreesfuerzos produciendo posibles fallos.

Figura 75

Estado de la corriente del motor a carga completa.



3.15.8. Sistema de filtrado

Finalmente se verifica el sistema de filtrado que se compone de un grifo tipo guillotina impreso en 3D donde se encuentra integrada una malla de acero inoxidable, esta es la encargada de atrapar los posibles restos de cera que se hayan desprendido, finalmente se procede a envasar el producto final, esto se visualiza en la Figura 76.

Figura 76

Filtrado y posterior envasado de la miel.

3.16. Costo de implementación

En este apartado se realiza un análisis de todos los costos que se involucran en el desarrollo de este proyecto, desde la adquisición de materiales, construcción e implementación.

3.16.1. Costos directos

La Tabla 17 muestra la lista de todos los materiales empleados para la construcción de la máquina centrifugadora.

Tabla 17

Lista de materiales.

Ítem	Elemento	Cant	Costo $	Costo Total $
1	Eje de acero inoxidable AISI 304 Ø 1 in, 80 cm	1	21	21
2	Eje de acero inoxidable AISI 304 Ø 5/8 in, 50 cm	1	3	3
3	Eje de acero inoxidable AISI 304 Ø 3/16 in, 6 m	3	4.25	12.75
4	Eje de acero inoxidable AISI 304 Ø 3/8 in, 7 m	1	18	18
5	Tubo estructural cuadrado negro SAE 1008 30x2 mm, 6 m	1	12	12
6	Platina de acero negro ASTM A36 30x6 mm, 1 m	1	4	4
7	Platina de acero negro ASTM A36 25x4 mm, 30 cm	1	2.5	2.5
8	Platina de acero negro ASTM A36 19x4 mm, 36 cm	1	2.5	2.5
9	Plancha de acero inoxidable AISI 304 1220x2440x1,5 mm	1	67	67
10	Electrodo E308L-16	20	0.4	8
11	Electrodo E6011	15	0.75	11.25
12	Chumacera UCFL 204-12	2	6	12
13	Retenedor grado alimenticio 25x35x7 mm	1	5	5
14	O’ring grado alimenticio 2x65 mm	1	1.5	1.5
15	O’ring grado alimenticio 3x17 mm	1	1	1
16	Banda A35	1	4	4
17	Polea tipo A 7 in	1	15	15
18	Polea tipo A 2,5 in	1	5	5
19	Manijas de acero inoxidable 65 mm	2	1.25	2.5

20	Tapa de acrílico 4 mm	2	8	16
21	Lamina perforada de acero inoxidable 100x100x1 mm	1	2.5	2.5
22	Bisagra impresa en 3D	2	3	6
23	Grifo tipo guillotina impreso en 3D	1	6	6
24	Resorte de Acero zincado modelo SKU 15226	4	0.5	2
25	Envolvente 400x300x200 mm	1	28	28
26	VDF Kewo AD100 1 hp	1	130	130
27	Motor trifásico Cemp ¼ hp	1	90	90
28	Interruptor termomagnético 10 A	1	9	9
29	Riel DIN	1	1.5	1.5
30	Etiqueta Emergencia	1	0.5	0.5
31	Canaleta ranurada	1	5	5
32	Temporizador multifunción	2	19	38
33	Pulsador NC	1	3	3
34	Pulsador NA	1	3	3
35	Pulsador paro de emergencia	1	6	6
36	Luz piloto verde	1	3	3
37	Luz piloto roja	1	3	3
38	Cable tripolar calibre 14 AWG, 3 m	1	6	6
39	Cable rojo calibre 18 AWG, 5 m	1	4	4
40	Cable verde calibre 18 AWG, 5 m	1	4	4
41	Cable blanco calibre 18 AWG, 5 m	1	4	4
42	Terminales	40	0.2	8

43	Enchufe	1	4	4
44	Perno M5x0,8x16 mm	16	0.3	4.8
45	Perno M6x1x20 mm	2	0.4	0.8
46	Perno M6x1x40 mm	8	0.55	4.4
47	Perno M8x1,5x25 mm	4	0.5	2
48	Perno M8x1,5x35 mm	4	0.8	3.2
49	Perno M8x1,5x50 mm	2	1	2
50	Perno M10x1,5x25 mm	3	0.75	2.25
51	Tuerca M5x0,8	16	0.15	2.4
52	Tuerca M6x1	10	0.2	2
53	Tuerca M8x1,5	10	0.25	2.5
	Total $			616.85

Como se observa en la Tabla 17 se tiene un costo total de 616,85 dólares en lo referente a materiales. Posteriormente en la Tabla 18 se muestra la lista de costos sobre procesos de manufactura de la máquina.

Tabla 18

Procesos de manufactura.

Ítem	Actividad	Costo $
1	Soldadura	75
2	Pintura	15
3	Torneado	15

4	Rolado	8
5	Mano de obra	75
	Total $	188

Se observa que se tiene un costo total de 188 dólares en cuanto a manufactura, con esto se tiene un total de 804,85 dólares en cuanto a costos directos.

3.16.2. Costos indirectos

Por otra parte, en la Tabla 19 se refleja la lista de costos indirectos, es decir aquellos que no se pueden asignar directamente a un servicio o producto.

Tabla 19

Lista de costos indirectos del proyecto.

Ítem	Detalle	Costo $
1	Transporte	15
2	Alimentación	20
4	Energía eléctrica	10
5	Gastos varios	10
	Total $	55

Se tiene un total de 55 dólares en cuanto a costos indirectos del proyecto.

3.16.3. Costo total

Este valor es el resultado de la suma entre los costos directos e indirectos, el total se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20

Costo total del proyecto.

Detalle	Valor $
Materiales	616.85
Manufactura	188
Costo indirecto	55
Total Final $	859.85

Finalmente se concluye que el costo final para completar la construcción de la máquina centrifugadora es de aproximadamente 860 dólares.

3.16.4. Análisis de rentabilidad

En este apartado se realiza un análisis sobre el tiempo estimado en el que se recupera el dinero invertido en la construcción de la máquina.

El costo promedio de 1 litro de miel de abeja puede llegar a tener un valor de hasta 10 dólares, por lo general un apicultor artesanal tiene un promedio mínimo de 5 colmenas compuestas por 10 marcos cada una. En base a las pruebas de extracción realizadas anteriormente se tiene que cada colmena produce 6,4 litros en cada cosecha, multiplicado por las 5 colmenas se tiene un total de 32 litros de producción cada dos meses, lo cual se traduce en un beneficio económico de 320 USD cada dos meses.

$$Produccion\ normal = \frac{32\ l}{2\ meses} = \frac{320\ USD}{2\ meses} = \frac{160\ USD}{1\ mes}$$

Con la implementación de la máquina el tiempo de cosecha se reduce a aproximadamente 1 mes, es decir, se tendría 32 litros mensuales.

$$Producción\ centrifugadora = \frac{32\ l}{1\ mes} = \frac{320\ USD}{1\ mes}$$

De esta manera se observa que con la implementación de la máquina centrifugadora la producción mensual personal se duplica, lo que se traduce como una ganancia extra de 160 USD por mes.

Cabe recalcar que la máquina brinda un beneficio personal pero también se podría prestar el servicio de centrifugado a los apicultores de la zona local ya que como se ha mencionado anteriormente esta actividad se realiza de forma artesanal en las comunidades rurales.

Por este motivo se considera que por cada hora de prestación de servicio de maquinaria se tendría una remuneración de 5 dólares, además asumiendo un mínimo de 5 días de trabajo por mes con sus respectivas 8 horas diarias de operación se tiene una ganancia extra de 200 dólares mensuales pertenecientes a la prestación de servicio de centrifugado más la ganancia personal mencionada anteriormente.

De esta manera el tiempo de recuperación de la inversión se observa en la Tabla 21 mostrada a continuación.

Tabla 21

Evaluación económica de la centrifugadora.

Meses	1	2	3	4
Flujo de caja	-860	360	360	360

Pendiente recuperar	-860	-500	-140	220

En la Tabla 21 se emplea el método denominado cálculo de periodo de recuperación de inversión o payback. Este tiempo de recuperación del dinero invertido se puede aproximar hasta un máximo de 4 meses debido a la variación de producción de miel en base a la floración local y estación del año.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

La delimitación de los criterios a considerar para el desarrollo del diseño de la máquina centrifugadora de miel es un aspecto fundamental por lo que la implementación de una encuesta dirigida a los apicultores permitió una definición precisa sobre las necesidades y requerimientos que se presentan al desarrollar esta actividad de manera artesanal. Este enfoque que brinda una retroalimentación directa de los beneficiarios ha sido una herramienta clave para orientar el diseño de la máquina hacia el cumplimiento de las demandas presentes en la apicultura artesanal.

Parte del éxito del proyecto se atribuye a la aplicación efectiva de la metodología V, que abarca todo lo referente al proceso de diseño, partiendo desde el análisis de requerimientos, diseño general y detallado, implementación y finalmente validación mediante pruebas de funcionamiento. Por otra parte, la subdivisión de la máquina en subconjuntos fue una decisión estratégica ya que facilitó la comprensión de cómo operan y se relacionan cada una de las secciones, permitiendo alcanzar el objetivo de centrifugar la miel de los marcos con un daño mínimo de cera.

El diseño y la selección de los elementos que se encuentran en contacto directo con la miel se llevaron a cabo considerando las normativas proporcionadas por la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la calidad del Agro, que menciona principalmente el uso de acero AISI 304 de grado alimenticio. Esta elección garantizó que las piezas como el tanque de almacenamiento, mecanismo de giro y el porta marcos no afecten la calidad ni las propiedades del producto final.

Por otra parte, para la selección y diseño del resto de los elementos se consideró principalmente opciones que sean comerciales y que se encuentren disponibles en el mercado local, lo cual en algunos casos condujo al sobredimensionamiento de componentes como el eje motriz

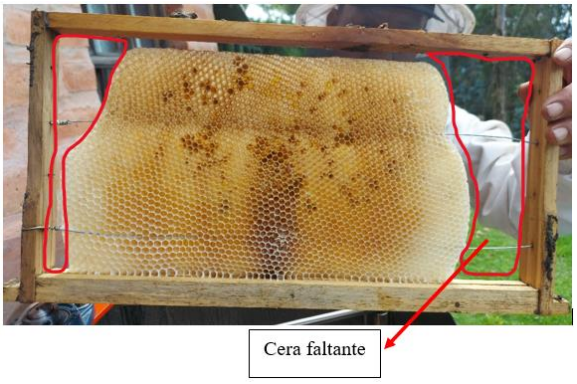
donde el factor de seguridad resultó ser de 7,53 cuyo origen se debe a la reducida variedad de chumaceras que ofrecen los proveedores locales.

Inicialmente se desarrollaron los cálculos detallados para verificar la potencia mínima requerida del motor, considerando específicamente el funcionamiento planteado de la máquina centrifugadora. El objetivo fue demostrar que en este tipo de artefactos no es necesario emplear motores de alta potencia, ya que el punto crítico de trabajo se encuentra únicamente en el arranque del motor. Esto fue validado en las pruebas de funcionamiento donde se lograron resultados efectivos de centrifugado sin daño de cera con los siguientes detalles: velocidad de arranque inicial de 108 rpm, tiempo de aceleración de 60 segundos y una velocidad máxima de 216 rpm.

Además, se observó que los tiempos de centrifugado por cada cara del marco fueron de aproximadamente 3 minutos, considerando un tiempo de 39 s para la inversión de giro automático de los marcos. Estos resultados se observan en la Figura 77, donde también se tiene que la cera faltante en el marco se reconstruirá por completo gracias a las abejas en la siguiente cosecha, de esta manera se incrementará la cantidad de miel a extraer consecutivamente hasta llegar a la capacidad máxima de cada marco.

Figura 77

Marco de miel con cera incompleta.



Posteriormente, se obtuvo que cada ciclo completo de centrifugado tiene una duración promedio de 774 s y una cantidad promedio de 3,6 kg de miel extraída, este producto se encuentra listo para ser envasado gracias al filtro integrado en el grifo de desfogue que retiene restos mínimo de cera desprendida de los marcos. Finalmente, en base a los datos mencionados previamente se tiene una eficiencia de máquina de 93,83 % y una producción final de 27,69 kg/h o a su vez alrededor de 19 l/h.

4.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar ajustes en la lógica cableada con la finalidad de reducir el tiempo de inversión del giro automático de los marcos de miel. Esta optimización tiene un impacto en la eficiencia del ciclo completo de centrifugado, lo que se traduce en una mejora notable en cuanto a capacidad de producción, ya que al minimizar el tiempo de operación se logra una mayor agilidad del ciclo que contribuye a un incremento de la rentabilidad y competitividad en el mercado.

Se sugiere incrementar la seguridad de la máquina mediante la implementación de un sistema de prevenga el inicio del ciclo de centrifugado si las tapas del tanque no se encuentran cerradas correctamente. Además, se podría instalar una estructura que proteja el sistema de transmisión, lo cual evita el ingreso de objetos no deseados en la banda. De esta manera no solo se asegura el entorno de trabajo para el operario, sino que también se minimiza el riesgo de daños de la maquinaria.

Se recomienda mejorar el sistema de filtrado de la miel ya que el filtro integrado en el grifo actual es relativamente pequeño, lo que se traduce en obstrucciones frecuentes si se desprende cera del marco de miel. Se podría implementar una serie de filtros con diferentes tamaños o, a su vez, aumentar el diámetro del grifo con el fin de facilitar el flujo de miel. De esta manera, por una parte, se optimiza la eficiencia del sistema de filtrado y se obtiene un producto final de mayor calidad.

BIBLIOGRAFÍA

Abasolo, M., Navalpotro, S., Iriondo, E., & Corral, J. (2020). Transmisión por Correas 1. In *Diseño de Máquinas: Vol. I* (1st ed., pp. 1–26). Universidad del País Vasco. https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-tecnologico-de-orizaba/maquinas-de-fluidos-compresibles/tema-11-transmision-por-correas/61359631

Abeja Silvestre. (2017, October 29). *Abeja Silvestre*. Taller de Prensado de Miel. https://abejasilvestre.es/taller-de-prensado-de-miel-29-de-octubre-de-2017/

ALSIMET. (2017). *Acero inoxidable: Un imprescindible en la industria alimentaria.* Alsimet@alsimet.Es. http://alsimet.es/es/noticias/acero-inoxidable-industria-alimentaria

Alva, F. (2008). *Diseño de elementos de máquinas I* (II). Universidad Nacional de Ingeniería. https://es.scribd.com/document/415564362/298937952-Diseno-de-Elementos-de-Maquina-1-Jorge-Alva-convertido-docx

Batson, E., & Taipe, O. (2012). Diseño y construcción de una máquina centrífuga, con un mecanismo de giro de marcos de 180 grados, para la extracción de miel de abeja con capacidad de 20 kg/h. In *Espe*.

Beltran, P., & Vásconez, J. (2020). Analysis of the production costs of honey in Ecuador as an input in the generation of public policies that stimulate its production: case Pichincha. *Revista Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación*, *7*, 1326–1340.

Budynas, R., & Keith, N. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica* (IX). McGRAW-HILL. http://www1.frm.utn.edu.ar/electromecanica/materias%20pagina%20nuevas/elementoMaquina/material/libroCabecera.pdf

Campo, O., & Hincapié, G. (2022). Factores que determinan las propiedades fisicoquímicas de la miel de abejas: Revisión Sistemática de Literatura. *Revista Mutis*, *13*(1), 1–28. https://doi.org/10.21789/22561498.1851

Cando, D., & Jaramillo, Á. (2016a). *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.

Cando, D., & Jaramillo, Á. (2016b). *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]. http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/36985

Cemp (Ed.). (2022). *Cemp Flameproof Motors*. Regal Rexnord.

Damián, W., & Díaz, L. (2021). *Diseño e Implementación De Un Prototipo Para Un Sistema De Control En El Proceso De Post Cosecha De La Miel De Abeja En La Empresa Productos Naturales Perú Miel E.I.R.L*. UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO.

Escobar, E. (2007). Tecnología e Ingeniería de los Alimentos. *Revisiones de La Ciencia*, *7*(1), 1–31.

Estatuto Orgánico de La Universidad Técnica Del Norte, 21 UTN 46 (2020).

FILAMENT2PRINT. (2015, November 9). *Taulman 680 FDA*. https://filament2print.com/es/nylon-pa/640-taulman-680-fda.html

FormLabs. (2022, February 12). *La guía esencial de impresión 3D apta para el uso alimentario*. https://formlabs.com/latam/blog/guia-impresion-3D-apta-uso-alimentario/

Franco, J., & Zambrano, G. (2020). *Estrategias para fortalecer a los actores de la cadena agroindustrial de miel de abeja en la provincia del Guayas*. UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL.

GEYA. (2023, January 1). *GEYA*. Relé de Tiempo Multifunción GRT8-M1. https://www.geya.net/es/product/multifunction-time-relay-grt8-m1/

Grupo SKF. (2015). *Rodamientos SKF*. SKF.

Gutiérrez, D. (2016). *Relación Estadística De Las Propiedades Químicas, Físicas y Microbiológicas De Tres Muestras De Mieles (Apis mellifera. L.) Comerciales, Distribuidas En Supermercados Del Distrito Metropolitano De Quito*. Universidad Politécnica Salesiana.

Intermec. (2013). *Manual de Poleas en V: Vol. I* (I). Intermec S.A. https://www.intermec.com.co/Pdf/Manual_poleas_en_V_Intermec.pdf

Jordi Besora. (2017). *Colmena y Portanúcleo Tipo Langstroth*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Kewoelectric Technology. (2018). *AC Drive User Operation Manual* (1st ed., Vol. 2). Shenzhen.

La Tienda del Apicultor. (2018). *Qué extractor de miel elegir: Tangenciales vs radiales*. https://www.latiendadelapicultor.com/blog/que-extractor-de-miel-elegir-tipos-y-modelos/

Lema, E., & Tisalema, D. (2016). *Trabajo de titulación*.

Llano, J. (2019). *Práctica6: Fuerza Centrífuga*. https://es.scribd.com/document/493605174/Fuerza-Centrifuga

López, C. (2017). *Diseño de un extractor centrífugo para marcos de miel*. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Maldonado, D. (2011). Estudio De Automatización En Un Prototipo De Centrifugadora Industrial y Su Incidencia En Los Tiempos de Producción De La Empresa Lava Jean's De La Ciudad De Ambato. In *Repositorio Institucional de la Universidad Técnica de Ambato*.

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2018). *Ecuador tiene 1760 apicultores registrados*. https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-tiene-1760-apicultores-registrados/

Montenegro, A. (2019). *Diseño De Una Máquina Centrifugadora, Para La Extracción De Miel De Abeja En Lambayeque*. Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo.

Nimo, M., Janin, A., Pons, G., & Fattori, S. (2016). *Guía de Buenas Prácticas Apícolas y de Manufactura*.

Pierre, J. (2007). *Apicultura: Conocimiento de la abeja manejo de la Colmena* (4th ed.). Ediciones Mundi-Prensa.

Ramos, M., Jordán, O., Pablo R, L., Espinoza, N., & Añaños, M. (2014). Caracterización fisicoquímica y reológica de miel de abeja comercializada en la feria agroindustrial de Huánuco. *Revista de Investigaciones de La Universidad Le Cordon Bleu*, *1*(2), 13–21. https://doi.org/10.36955/riulcb.2014v1n2.002

Rocha, D., Morales, C., Soto, I., Torres, V., & Benítez, I. (2019). Metodologías para diseño de prácticas didácticas en sistemas de control. *Serie Científica de La Universidad de Las*

Ciencias Informáticas, *12*(11), 90–106. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8590223.pdf

Salvatierra, B. (2021). *Interruptores Termomagnéticos* [Instituto Superior Tecnológico José Ochoa León]. https://web.instipp.edu.ec/Libreria/libro/FOLLETO%20T%C3%89CNICO%20INTERRUPTOR%20TERMOMAGN%C3%89TICO%20(1).pdf

Sandoval, C., & Calispa, A. (2015). *Guía de buenas prácticas apícolas, Resolución N° 0053, Inocuidad de alimentos* (Agrocalida).

Siemens. (2016). *Variadores de velocidad*. Siemens. https://irp-cdn.multiscreensite.com/c5be8995/files/uploaded/Variadores_de_Velocidad.pdf

Ulloa, A., Mondragón, P., Rodríguez, R., Reséndiz, J., & Ulloa, P. (2010). La miel de abeja y su importancia. *Fuente*, *2*(4), 11–18. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35125-9_6

Usabiaga, J., Gallardo, L., Salazar, J., Cajero, S., & Mateos, A. (2002). Manual Básico de Apicultura. In *Programa Nacional para el Control de la Abeja Africana*.

Vera, J., & Finol, M. (2020). Paradigmas, enfoques y métodos de investigación: análisis teórico. *Mundo Recursivo*, *3*(1), 2–24. https://atlantic.edu.ec/ojs/index.php/mundor/article/view/38/37

Wikiwand. (2020). *Franz Hruschka*. https://www.wikiwand.com/en/Franz_Hruschka

ANEXOS

Anexo 1

Encuesta dirigida hacia los apicultores de la comunidad de Chaupi-Imbabura.

Encuestado: Gabriel Ibarra	
1. ¿Cuántas colmenas tiene?	18
2. ¿Cuál es la dimensión de los marcos?	49x14cm
3. ¿Qué método usa para extraer la miel de los marcos que usa?	Exprimir manualmente
4. ¿Cuánto tiempo le toma en extraer la miel de cada marco?	30 minutos
5. ¿Cuántas veces al mes cosecha la miel?	2 veces
6. ¿Cuántos litros cosecha por mes?	30 litros
7. ¿Desea conservar la cera de los marcos?	Si
8. ¿Le gustaría que la máquina extractora sea manual o eléctrica?	Las dos opciones están bien
9. ¿Le gustaría que la máquina extractora sea ligera de transportar?	No importa
10. ¿Le gustaría que la máquina se silenciosa?	No importa
11. ¿Usted envasa inmediatamente después de extraer la miel?	Si, envase máximo de 1 litro
12. ¿Estaría dispuesto a alquilar la máquina extractora?	Si

Encuestado: William Anrrango	
1. ¿Cuántas colmenas tiene?	15
2. ¿Cuál es la dimensión de los marcos que usa?	41x14 cm
3. ¿Qué método usa para extraer la miel de los marcos?	Exprimir manualmente
4. ¿Cuánto tiempo le toma en extraer la miel de cada marco?	20 minutos
5. ¿Cuántas veces al mes cosecha la miel?	3 veces
6. ¿Cuántos litros cosecha por mes?	25 litros
7. ¿Desea conservar la cera de los marcos?	Si
8. ¿Le gustaría que la máquina extractora sea manual o eléctrica?	Las dos opciones están bien
9. ¿Le gustaría que la máquina extractora sea ligera de transportar?	Si
10. ¿Le gustaría que la máquina se silenciosa?	Si
11. ¿Usted envasa inmediatamente después de extraer la miel?	Si, envase máximo de 1 litro

12. ¿Estaría dispuesto a alquilar la máquina extractora?	No, mejor comprar

Encuestado: Edison Anrrango	
1. ¿Cuántas colmenas tiene?	7
2. ¿Cuál es la dimensión de los marcos que usa?	49x14 cm
3. ¿Qué método usa para extraer la miel de los marcos?	Exprimir manualmente
4. ¿Cuánto tiempo le toma en extraer la miel de cada marco?	25 minutos
5. ¿Cuántas veces al mes cosecha la miel?	1 vez
6. ¿Cuántos litros cosecha por mes?	10 litros
7. ¿Desea conservar la cera de los marcos?	Si, para una producción más rápida
8. ¿Le gustaría que la máquina extractora sea manual o eléctrica?	Las dos opciones están bien
9. ¿Le gustaría que la máquina extractora sea ligera de transportar?	No importa
10. ¿Le gustaría que la máquina se silenciosa?	No importa
11. ¿Usted envasa inmediatamente después de extraer la miel?	Si, envase máximo de 1 litro
12. ¿Estaría dispuesto a alquilar la máquina extractora?	Si

Encuestado: Darío Perugachi	
1. ¿Cuántas colmenas tiene?	45
2. ¿Cuál es la dimensión de los marcos que usa?	48x28 cm
3. ¿Qué método usa para extraer la miel de los marcos?	Máquina centrifugadora casera
4. ¿Cuánto tiempo le toma en extraer la miel de cada marco?	5 minutos
5. ¿Cuántas veces al mes cosecha la miel?	1 vez
6. ¿Cuántos litros cosecha por mes?	100 litros
7. ¿Desea conservar la cera de los marcos?	Si, para una producción más rápida
8. ¿Le gustaría que la máquina extractora sea manual o eléctrica?	Las dos opciones están bien
9. ¿Le gustaría que la máquina extractora sea ligera de transportar?	No importa
10. ¿Le gustaría que la máquina se silenciosa?	No importa
11. ¿Usted envasa inmediatamente después de extraer la miel?	Si, envase máximo de 20 litros
12. ¿Estaría dispuesto a alquilar la máquina extractora?	Si

Anexo 2

Datasheet motor.

Regal Rexnord

cemp® Flameproof Motors

FOGLIO DATI PER MOTORI ELETTRICI ASINCRONI TRIFASI : SERIE IEC

DATA SHEET FOR ASYNCHRONOUS THREEPHASE INDUCTION MOTORS: IEC SERIES

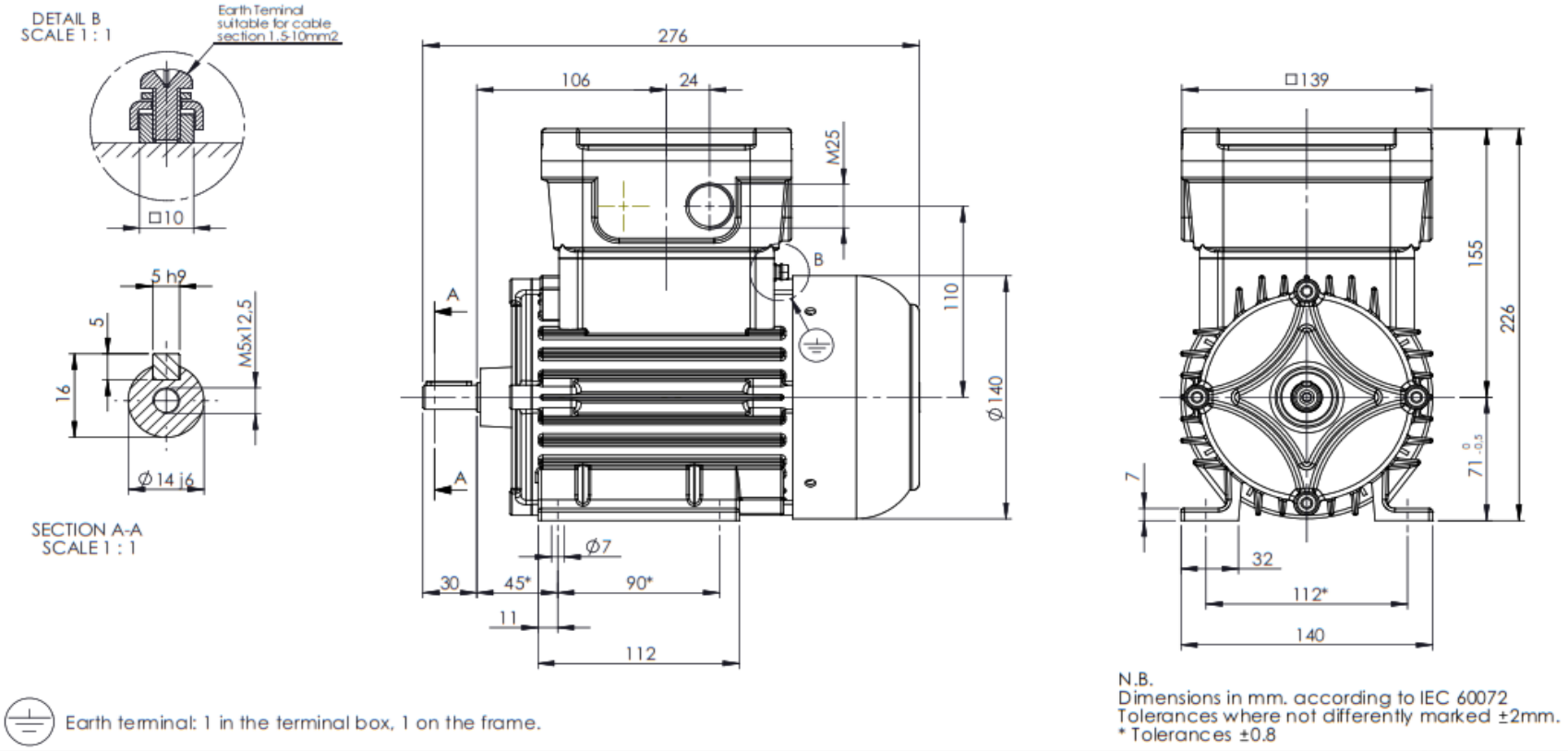
Cliente / Customer	CEMP
Offerta / Offer : 2021.	
Impianto / Plant	-

DATI DI PROGETTO - DESIGN DATA

Modo di protezione	II2G	Motore / Frame	Ex db IIB T4 Gb	IP55
Type of protection		Scatola morsetti / Terminal box	Ex db IIB Gb	IP55
Tem. Amb. Min. / Min Amb.Temp.	-20 °C		Tem. Amb. Max. / Max Amb. Temp.	40 °C
Umidità relativa / Relative humidity	90%		Altitudine / Altitude	< 1000 mslm / masl
Tensione nominale / Rated Voltage	400 V +/- 5%		Frequenza / Frequency	60 Hz +/- 2%

DATI FUNZIONALI E COSTRUTTIVI - PERFORMANCE AND CONSTRUCTION DATA

1	Quantità / Quantity				01		**Servizio / Duty**		
2	Motore tipo / Motor type				AB30r 71A 6	40	Servizio / Duty type	-	S1
3	Numero di serie / Serial Number					41	Intermittenza / Cyclic duration factor	-	-
4	Forma costruttiva / Shape				B3	42	Avviamenti-ora / Starting-hour	-	-
5	Certificato / Certificate			TUV IT	14ATEX065X	43	Tempo ciclo / Time		-
6	Altro certificato / Other certificate						**Cuscinetti / Bearings**		
	Dati nominali / Rated data					44	Cuscinetto ant / DE bearing	-	6203 ZZ
7	Poli / Pole			n°	6	45	Cuscinetto post / NDE bearing	-	6203 ZZ
8	Potenza nominale / Rated power			kW	0,18	46	Carico radiale max / Max radial load in X1	N	510
9	Corrente nominale / Rated current			A	1,07	47	Carico assiale max / Max axial load	N	170
10	Velocità nominale / Full Load speed			1/min	1122	48	Tipo grasso / Grease type		LGHP2 SKF or equivalent
11	Collegamento / Winding connection				Y	49	Intervallo lubrificazione / Lubrication	h	-
12	Isolamento / Insulation class				F	50	Quantità grasso / Quantity grease	gr	-
13	Sovratemperatura / Temperature rise				80K		**Caratteristiche meccaniche / mechanical specification**		
14	Raffreddamento / Cooling type				IC411	51	Massa / Mass	kg	8
15	Fattore di servizio / Service factor				1	52	Momento d'inerzia / Moment of inertia	kgm2	0,0007
16						53	Rumore a vuoto / Noise at no load (1 m)	Lp dB(A)	42
17	Classe di rendimento / Efficiency level			IEC 34-30	IE3	54	Vibrazioni / Vibration level	IEC 34-14	A
	Performances elettriche / Electrical performances					55	Limite norma / Vibration limit	mm/sec	1,60
	Carico / Load		4/4	3/4	2/4				
18	Giri / Speed	1/min	1122	956	967	56			
19	Corr. / Curr.	A	1,07	0,98	0,96	57			
20	Rend / Eff	%	63,9	57,7	47,3				
21	cos φ	-	0,62	0,34	0,29	58			
	Performances all'avviamento / Starting performances					59			
22	Ia/In - LRC/FLC				% 335	60			
23	Cosphi a rotore bloccato / LR power factor				0,91	61			
	Tempo a rotore bloccato / LRWT					62			
24	100% Un	(A caldo / Warm)			sec 27		**Dati entrata cavi - verniciatura / Cable entry and painting**		
25		(A freddo / Cold)			sec 56	63	Entrata cavi / Cable entry	IEC 60423	1xM25
26	80% Un	(A caldo / Warm)			sec 42	64	Ciclo verniciatura / Painting cycle		STD
27		(A freddo / Cold)			sec 88	65	Colore finale / Final colour	RAL	5010
	Tempo di avviamento ammissibile / ART								
28	100% Un				sec 49				
29	80% Un				sec 76	66			
	Curva di coppia / Speed-torque values					67			
30	Coppia nominale / Rated Torque				Nm 1,82	68			
31	Ca/Cn - LRT/FLT				% 370	69			
32	Cmax/Cn - BDT/FLT				% 370	70			
33						71			
34							**Ausiliari - Auxiliaries**		
35						72	Sonde termiche / Temperature detector	winding	-
	Varie / Other					73	Sonde termiche / Temperature detector	bearing	-
36						74	Scaldiglie / Heaters	V / W	-
37						75	Preparation for SPM sensor		-
38						76	Pressacavi / Cable glands		NO
39						77			



Earth terminal: 1 in the terminal box, 1 on the frame.

N.B.
Dimensions in mm. according to IEC 60072
Tolerances where not differently marked ±2mm.
* Tolerances ±0.8

Customer reference and additional information:

Dimensions in mm
Tolerances allowed

Frame size: **71** Document N.**B3A048070001A01** - Date 28/11/2008 Issued by G.Toscano - Approved by A.Madaschi Cemp - Senago (Italy)	**Rev.** 0	**Motor type and description**

cemp
Flameproof Motors

Anexo 3

Datasheet eje de acero inoxidable AISI 304.

EJES

ACERO INOXIDABLE

Especificaciones Generales:

Norma: AISI 304

Descripción: Acero Inoxidable austenítico al cromo-níquel con bajo contenido de carbono. Resiste a la corrosión intercristalina 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, farmaceútica, 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

Anexo 4

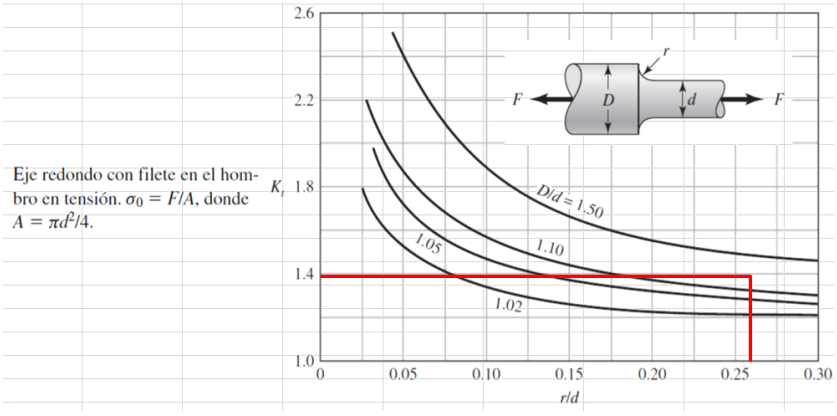
Tablas factores de Marín.

Acabado superficial	Factor a S_{ut}, kpsi	Factor a S_{ut}, MPa	Exponente b
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

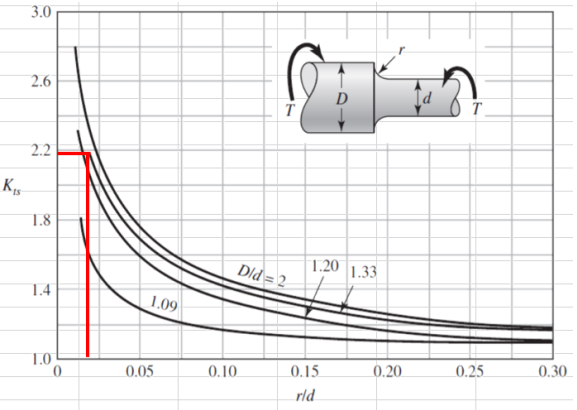
Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidadr k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Anexo 5

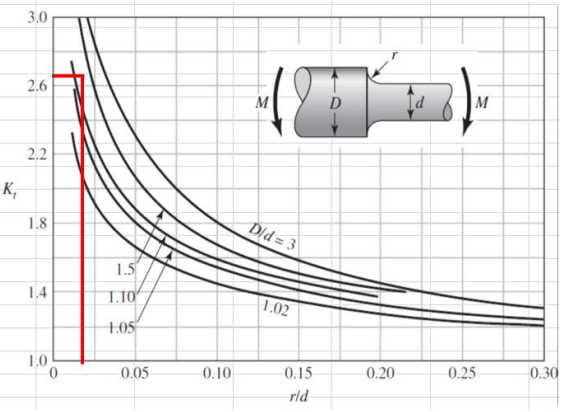
Tablas concentradores de esfuerzos.

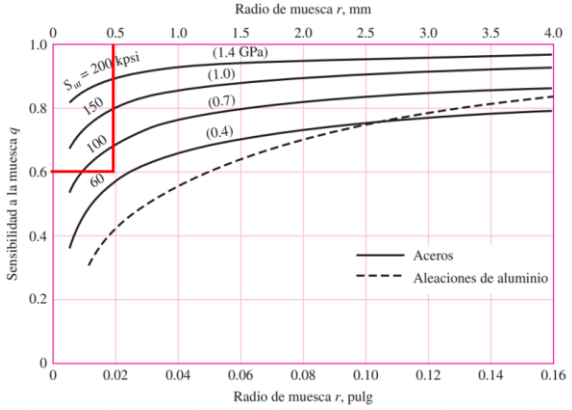


Eje redondo con filete en el hombro en torsión. $\tau_0 = Tc/J$, donde $c = d/2$ y $J = \pi d^4/32$.

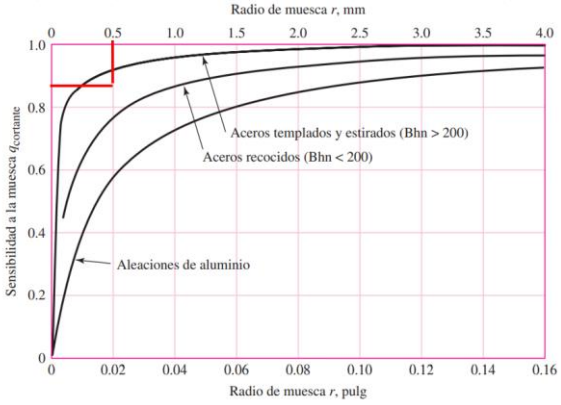


Eje redondo con filete en el hombro en flexión. $\sigma_0 = Mc/I$, donde $c = d/2$ e $I = \pi d^4/64$.





Sut [GPa]= 0.52



Anexo 6

Datasheet VDF Kewo AD100.

KEWO

www.kewodrive.com

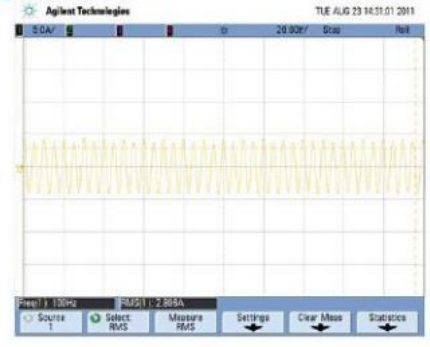
AD100 Mini Frequency Inverter.

AD100 is a small and economical type inverter, which designed for small machine OEM general purpose application. The good performance of V/F control mode, multiple segment speed, flexible and accuracy PID, DC braking function, ModBus communication, that will make you machine become powerful and improving his competitive edge.

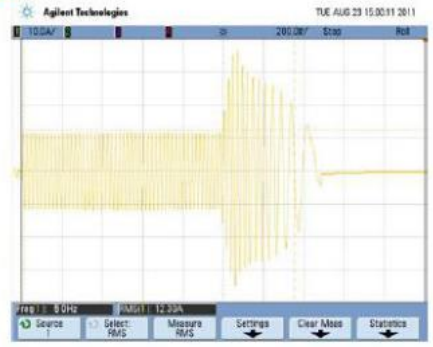
Power range: 0.4 to 1.5kw
Input voltage: single phase 220V ±15%
Control mode: Sensorless vector control without PG, V/f control
Protection function: Provide up to 25 kinds fault protection, over current, over voltage, under voltage, phase missing, overload protection function
Cooling method: force cooling
Installation method: wall mount
IPM iGBT using

Good performance for smaller machine.

100H z Running current waveform



50H z Flux braking current waveform

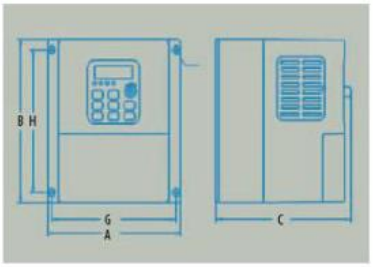


Built in RS485 interface for forming communication easily.

All series support Modbus communication

Multiple keypad connection is avaialbe

Data sheet.



Modes	G	H	A	B	C
AD100-2S0.4¯2.2G	117	135	125	155	130
AD350-2S0.4¯2.2G AD350-4T0.75¯3.7G	117	135	125	155	130
AD350-5.5¯7.5G	...	...	...	...	...
AD350-11¯15G	...	...	...	...	...

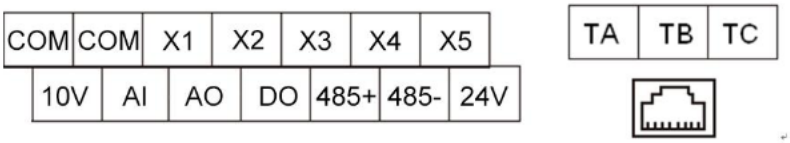
The pictures of KEWO AD100 economic frequency inverter

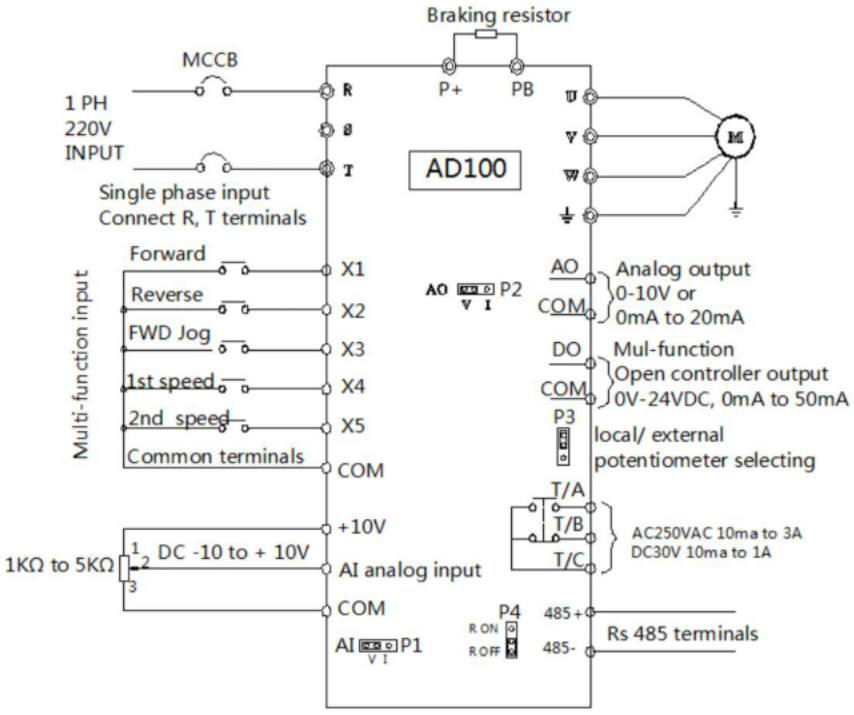
Power board IPM module Controller board multiple function terminals

Wiring Diagram

Main circuit: Single phase input (R, T), 3 phase output (U, V, W)
Controller circuit:
5 digital input, DI5 can use for high pulse train inut.
1 analog AI1 input (0-10V, 0-20mA)
1 analog output AO （ 0-10V,0-20mA)
1 open collector output D0
1 relay output. (TA, TB, TC)
Built in Modbus Rs485 terminals.

Terminals diagram:





Wiring diagram

Anexo 7

Datasheet temporizador multifunción.

GEYA®

CE

Multifunction time relay GRT8-M

Instruction Manual

GEYA ELECTRICAL CO.,LTD
Add:Wenzhou Brige Industrial Zone,Beibaixiang Town, Yueqing,Zhejiang,China 325603
Tel:0086-577-62771036
Fax:0086-577-62711079
E-mail:sale@cnyeya.com
Web:www.geya.net

General

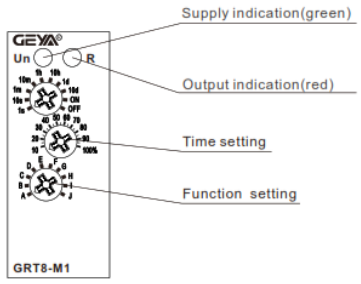
■Applications
-Multifunction time relay can be used for electrical appliances, control of lights, heating, motors, pumps and fans (10 functions, 10 time ranges, multi-voltage).
■Function Features
-10 functions: - 5 time functions controlled by supply voltage
- 4 time functions controlled by control input
- 1 function of latching relay
-Comfortable and well-arranged function and time-range setting by rotary switches.
-Time scale 0.1 s - 10 days divided into 10 ranges.
- Relay status is indicated by LED.
- 1-MODULE,DIN rail mounting.
■Model and connotation

GRT8 — M □/□
- Rated control supply voltage: A230:AC230V; W240:AC/DC12V-240V
- Number of contacts: 1:1×SPDT; 2:2×SPDT
- Multifunction time relay
- GRT8 Series

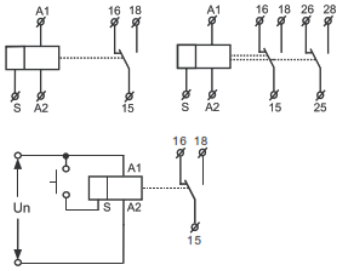
Technical parameters

Technical parameters		GRT8-M1	GRT8-M2
Function		A,B,C,D,E,F,G,H,I,J	
Supply terminals		A1-A2	
Voltage range	W240	AC/DC 12-240V(50-60Hz)	
Burden	W240	AC 0.09-3VA/DC 0.05-1.7W	
Voltage range	A230	AC 230V(50-60Hz)	
Power input	A230	AC max.6VA/1.3W	AC max.6VA/1.9W
Supply voltage tolerance		-15%;+10%	
Supply indication		green LED	
Time ranges		0.1s-10days,ON,OFF	
Time setting		potentionmeter	
Time deviation		10%-mechanical setting	
Repeat accuracy		0.2%-set value stability	
Temperature coecient		0.05%/℃,at=20℃(0.05%℉ , at=68℉)	
Output		1×SPDT	2×SPDT
Current rating		16A/AC1	
Switching voltage		250VAC/24VDC	
Min.breaking capacity DC		500mW	
Output indication		red LED	
Mechanical life		1×10^7	
Electrical life(AC1)		1×10^5	
Reset time		max.200ms	
Operating temperature		-20℃ to +55℃ (-4℉ to 131℉)	
Storage temperature		-35℃ to +75℃ (-22℉ to 158℉)	
Mounting/DIN rail		Din rail EN/IEC 60715	
Protection degree		IP40 for front panel/IP20 terminals	
Operating position		any	
Overvoltage cathegory		III.	
Pollution degree		2	
Max.cable size(mm^2)		solid wire max.1×2. 5or 2×1. 5/with sleeve max.1×2. 5(AWG 12)	
Tightening torque		0.4Nm	
Dimensions		90×18×64mm	
Weight		1×SPDT: W240-63g,A230-62g	
		2×SPDT: W240-82g,A230-81g	
Standards		EN 61812-1,IEC60947-5-1	

Panel Diagram



Wiring Diagram



Functions Diagram

A:On Delay (Power On)

When the input voltage U is applied, timing delay t begins. Relay contacts R change state after time delay is complete. Contacts R return to their shelf state when input voltage U is removed. Trigger switch is not used in this function.

B:Interval (Power On)

When input voltage U is applied, relay contacts R change state immediately and timing cycle begins. When time delay is complete, contacts return to shelf state. When input voltage U is removed, contacts will also return to their shelfstate. Trigger switch is not used in this function.

C:Repeat Cycle (Starting Off)

When input voltage U is applied, time delay t begins. When time delay t is complete, relay contacts R change state for time delay t. This cycle will repeat until input voltage U is removed. Trigger switch is not used in this function.

D:Repeat Cycle (Starting On)

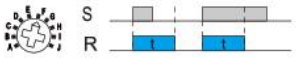
When input voltage U is applied, relay contacts R change state immediately and time delay t begins. When time delay t is complete, contacts return to their shelf state for time delay t. This cycle will repeat until input voltage U is removed. Trigger switch is not used in this function.

E:Off Delay (S Break)

Input voltage U must be applied continuously. When trigger switch S is closed, relay contacts R change state. When trigger switch S is opened, delay t begins. When delay t is complete, contacts R return to their shelf state. If trigger switch S is closed before time delay t is complete, then time is reset. When trigger switch S is opened, the delay begins again, and relay contacts R remain in their energized state. If input voltage U is removed, relay contacts R return to their shelf state.

F:Single Shot

Upon application of input voltage U, the relay is ready to accept trigger signal S. Upon application of the trigger signal S, the relay contacts R transfer and the preset time t begins. During time-out, the trigger signal S is ignored. The relay resets by applying the trigger switch S when the relay is not energized.

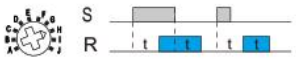


G:Single Shot Trailing Edge (Non-Retriggerable)

Upon application of input voltage U, the relay is ready to accept trigger signal S. Upon application of the trigger signal S, the relay contacts R transfer and the preset time t begins. At the end of the preset time t, the relay contacts R return to their normal condition unless the trigger switch S is opened and closed prior to time out t (before preset time elapses). Continuous cycling of the trigger switch S at a rate faster than the preset time will cause the relay contacts R to remain closed. If input voltage U is removed, relay contacts R return to their shelf state

H:On/Off Delay

Input voltage U must be applied continuously. When trigger switch S is closed, time delay t begins. When time delay t is complete, relay contacts R change state and remain transferred until trigger switch S is opened. If input voltage U is removed, relay contacts R return to their shelf state.



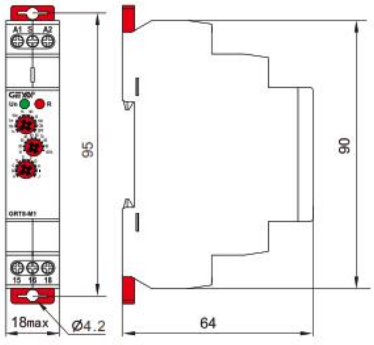
I:Latching relay

Input voltage U must be applied continuously. Output changes state with every trigger switch S closure. If input voltage U is removed, relay contacts R return to their shelf state.

J:Pulse generator

Upon application of input voltage U, a single output pulse of 0.5 seconds is delivered to relay after time delay t. Power must be removed and re-applied to repeat pulse. Trigger switch is not used in this function.

Dimensions(mm)



Setting instructions

	Knob 1: delay gear setting, "s" for second, "m" for minute, "h" for hour, "d" for day, "ON" for relay action (15-18/25-28 closed), "OFF" for relay open (15-18/25-28 open).
	Knob 2: fine adjustment of delay time, 10% ~ 100% adjustable.

Delay time = knob 1 × knob 2.

Example 1: it needs to be set for 5 seconds. You can set knob 1 to 10s, knob 2 to 50%, and delay time = 10s × 50% = 5s.

Example 2: it needs to be set for 8 minutes. You can set knob 1 to 10m, knob 2 to 80%, and delay time = 10m × 80% = 8m.

Disposal of Electrical Waste
All electrical waste should be disposed of in compliance with current WEEE regulations.

Caution
The products must be installed by qualified electricians. All and any electrical connections of the product shall comply with the appropriate safety standards.

http://www.geya.net

Anexo 8

Datasheet interruptor termomagnético.

Ficha técnica del producto
Características

EZ9F56210
Miniature circuit breaker, Easy9, 2P, 10 A, C curve, 10000 A

Green Premium

Principal

Gama	Easy9
Aplicación del dispositivo	Distribución
Tipo de producto o componente	Interruptor automático en miniatura
Nombre corto del dispositivo	Easy9 MCB
Poles	2P
Número de polos protegidos	2
Corriente nominal (In)	10 A
Tipo de red	CA
Tecnología de unidad de disparo	Térmico-magnético
Código de curva	C
Poder de corte	10000 A Icn en 220 V CA 50/60 Hz acorde a IEC 60898-1 6000 A Icn en 400 V CA 50/60 Hz acorde a IEC 60898-1
Apto para seccionamiento	Sí acorde a IEC 60898-1

Complementario

Frecuencia de red	50/60 Hz
[Ue] tensión asignada de empleo	220 V CA 50/60 Hz 400 V CA 50/60 Hz
Límite de enlace magnético	5...10 x In
[Ics] poder de corte en servicio	6 kA 100 % Icn en 230 V CA 50/60 Hz acorde a IEC 60898-1
[Ui] tensión asignada de aislamiento	500 V CA 50/60 Hz acorde a IEC 60898-1
[Uimp] Tensión asignada de resistencia a los choques	4 kV acorde a IEC 60898-1
Indicador de posición del contacto	Sí
Tipo de control	Maneta
Señalizaciones en local	Sin
Tipo de montaje	Ajustable en clip
Tipo de montaje	Carril DIN

Descargo de responsabilidad: Esta documentación no ha sido diseñada como reemplazo, ni se debe utilizar para determinar la idoneidad o la confiabilidad de estos productos para aplicaciones específicas de usuarios

Pasos de 9 mm	4
Altura	81 mm
Anchura	36 mm
Profundidad	66,5 mm
Color	Gris - tipo de cable: RAL 7035)
Endurancia mecánica	10000 cycles
Durabilidad eléctrica	4000 cycles
Conexiones - terminales	Terminal tipo túnel - tipo de cable: arriba o abajo) 1…25 mm² rígido Terminal tipo túnel - tipo de cable: arriba o abajo) 1…16 mm² Flexible
Par de apriete	2 N.m arriba o abajo
Protección contra fugas a tierra	Sin
Segmento de mercado	Residencial

Entorno

Normas	IEC 60898-1
Certificaciones de producto	CE
Grado de protección IP	IP20 acorde a IEC 60529
Grado de contaminación	2
Tropicalización	2
Humedad relativa	95 % en -5…60 °C
Temperatura ambiente de funcionamiento	-5…60 °C
Temperatura ambiente de almacenamiento	-40…85 °C

Sostenibilidad de la oferta

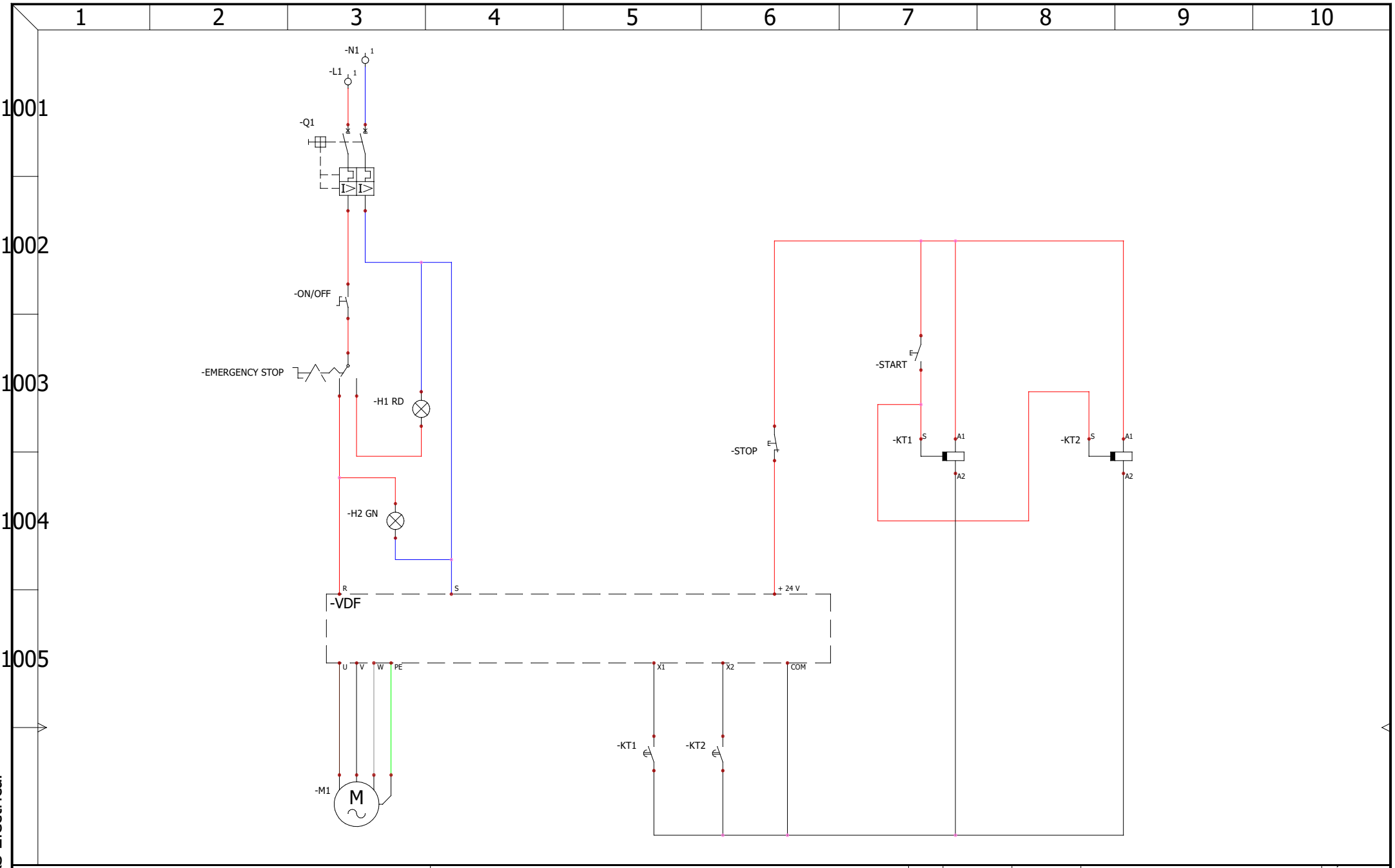
Estado de oferta sostenible	Producto Green Premium
Reglamento REACh	Declaración de REACh
Conforme con REACh sin SVHC	Si
Directiva RoHS UE	Conforme Declaración RoHS UE
Sin metales pesados tóxicos	Si
Sin mercurio	Si
Información sobre exenciones de RoHS	Si
Normativa de RoHS China	Declaración RoHS China Declaración proactiva de RoHS China (fuera del alcance legal de RoHS China)
Comunicación ambiental	Perfil ambiental del producto
Perfil de circularidad	No se necesitan operaciones de reciclaje específicas
RAEE	En el mercado de la Unión Europea, el producto debe desecharse de acuerdo con un sistema de recolección de residuos específico y nunca terminar en un contenedor de basura.

Garantía contractual

Periodo de garantía	18 Meses

Anexo 9

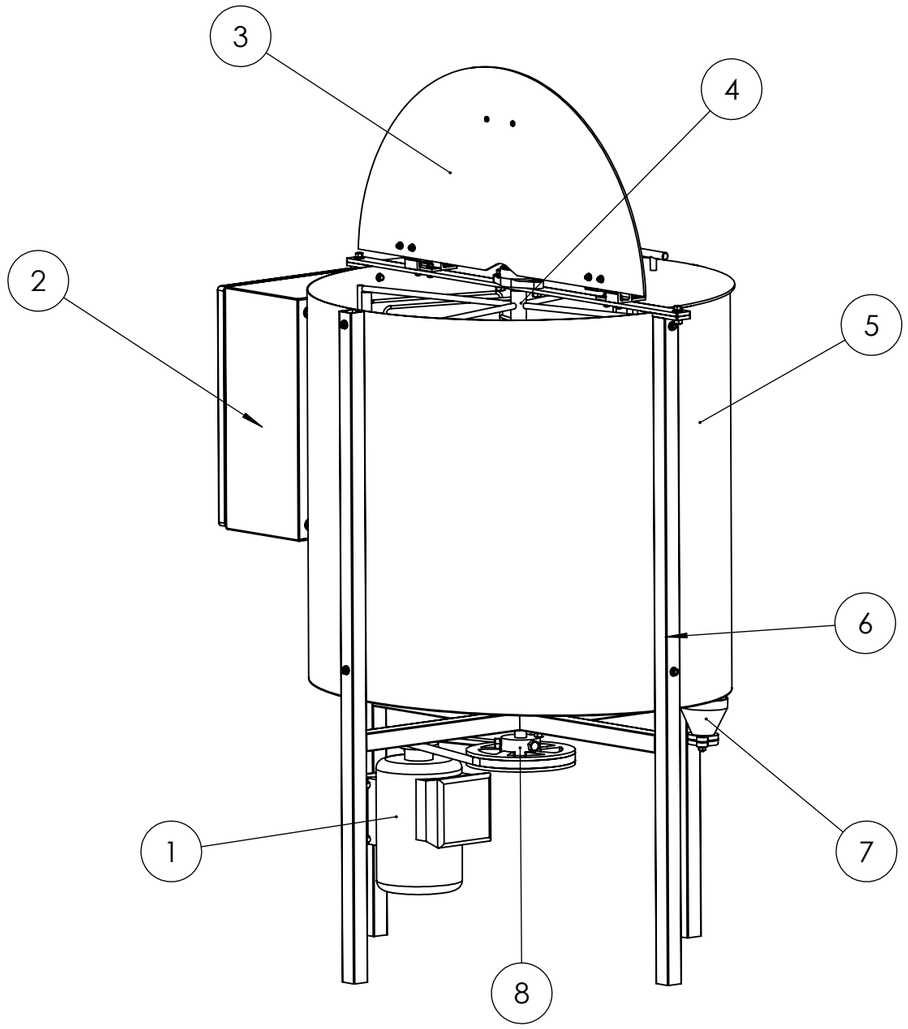
Plano eléctrico.



Universidad Técnica del Norte	Máquina Centrifugadora			Índice 0
		0	23/01/2024	Hoja 01
		IND	Fecha	Comentarios
Contrato n° : 1		Nombre: Túquerres Jairo		

SOLIDWORKS Electrical

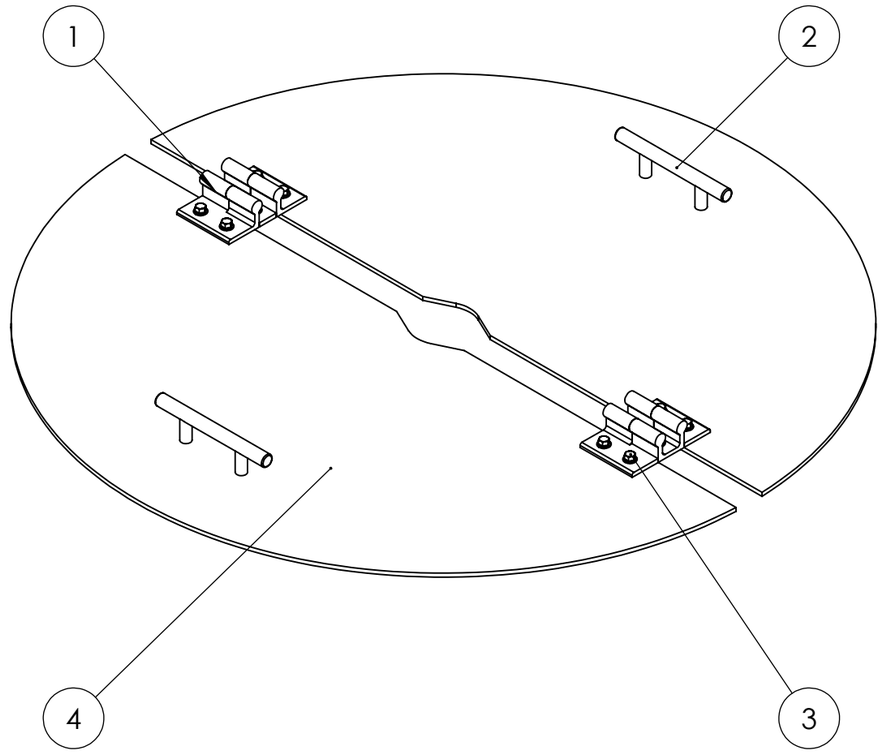
Documento creado con la versión : 2023.0.0.502



Nro.	Denominación	Código	Cant.	Detalle
8	Sistema de transmisión	MCM-0124-06-000	1	
7	Grifo tipo guillotina	MCM-0124-05-000	1	Impresión PLA
6	Estructura metálica	MCM-0124-04-000	1	Acero estructural
5	Tanque	MCM-0124-03-000	1	Acero inoxidable
4	Mecanismo de giro	MCM-0124-02-000	1	Acero inoxidable
3	Tapa	MCM-0124-01-000	2	Acrílico 4 mm
2	Envolvente	-	1	400x300x200 mm
1	Motor Trifásico	-	1	Marca CEMP1/4 hp

UTN | CIME

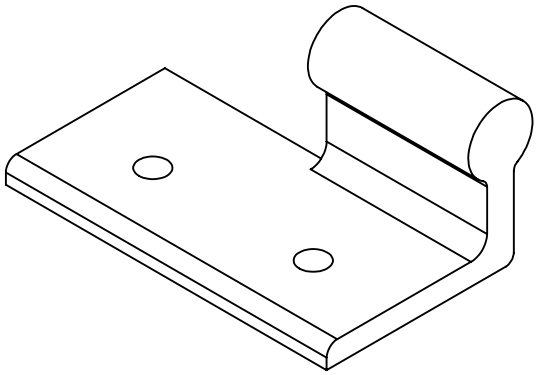
PROYECTO: MÁQUINA CENTRIFUGADORA DE MIEL				ESCALA: 1:20
PARTE: Ensamble_MCM				
CÓDIGO: MCM-0124-00-000				TOLERANCIA: ±N/A
MATERIAL:	N/A	DISEÑÓ:	TÚQUERRES J.	HOJA: 1
TRATAMIENTO:	N/A	DIBUJÓ:	TÚQUERRES J.	
RECUBRIMIENTO:	N/A	REVISÓ:	ING. GAVILANEZ M.	A3
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. GAVILANEZ M.	

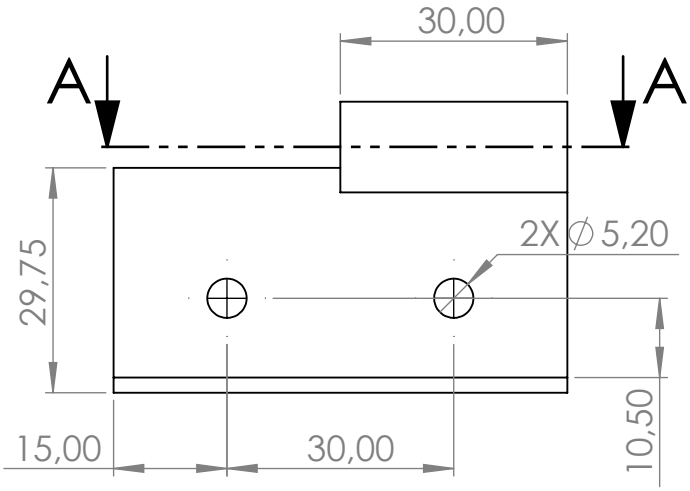


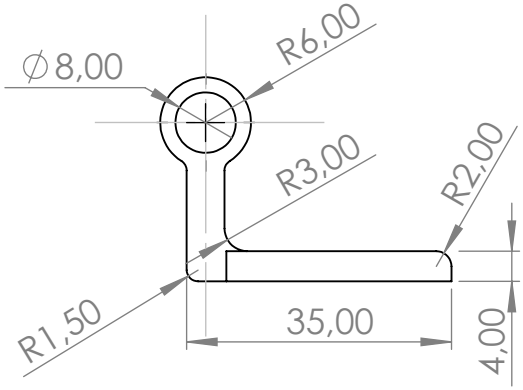
Nro.	Denominación	Código	Cant.	Detalle
4	Tapa	MCM-0124-01-003	2	Acrílico 4 mm.
3	Perno	-	12	M5X0.8X16
2	Manija	MCM-0124-01-002	2	Acero inoxidable 65 mm.
1	Bisagra	MCM-0124-01-001	2	Impresión PLA

UTN | CIME

PROYECTO: MÁQUINA CENTRIFUGADORA DE MIEL				ESCALA: 1:10
PARTE: Ensamble_Tapa				
CÓDIGO: MCM-0124-01-000				TOLERANCIA: ±N/A
MATERIAL:	N/A	DISEÑÓ:	TÚQUERRES J.	HOJA:
TRATAMIENTO:	N/A	DIBUJÓ:	TÚQUERRES J.	2
RECUBRIMIENTO:	N/A	REVISÓ:	ING. GAVILANEZ M.	A3
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. GAVILANEZ M.	

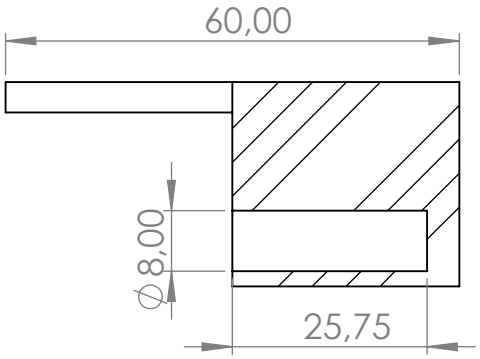






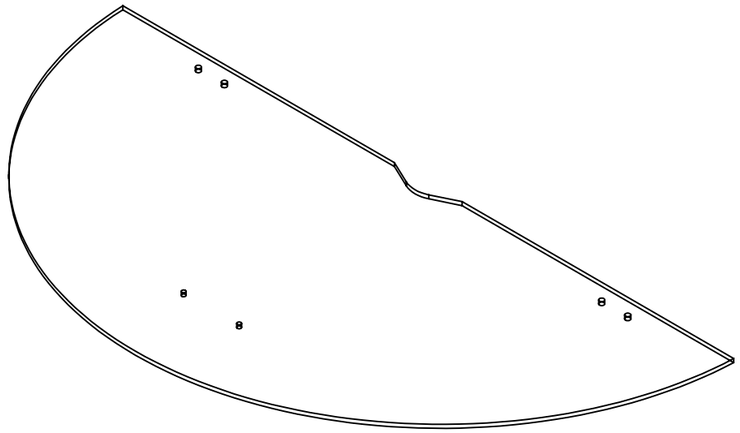
SECCIÓN A-A

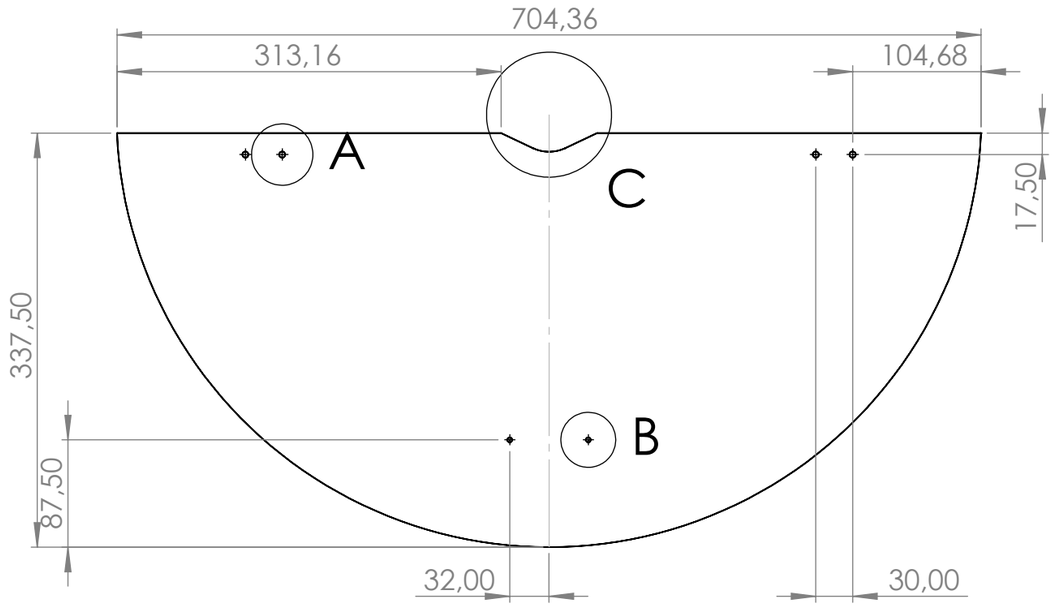
ESCALA 1 : 1



Nota:
Todas las medidas se encuentran en milímetros (mm).

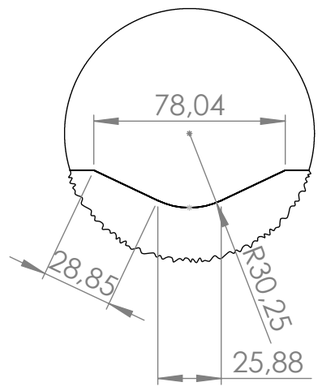
UTN CIME	PROYECTO: MÁQUINA CENTRIFUGADORA DE MIEL			ESCALA: 1:2	
	PARTE: Bisagra				
	CÓDIGO: MCM-0124-01-001			TOLERANCIA: ±N/A	
	MATERIAL:	PLA	DISEÑÓ:	TÚQUERRES J.	HOJA:
	TRATAMIENTO:	N/A	DIBUJÓ:	TÚQUERRES J.	3
	RECUBRIMIENTO:	N/A	REVISÓ:	ING. GAVILANEZ M.	A4
	CANTIDAD:	4	APROBÓ:	ING. GAVILANEZ M.	

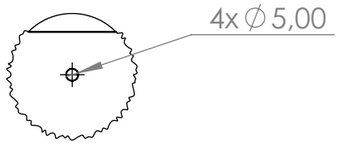




DETALLE C

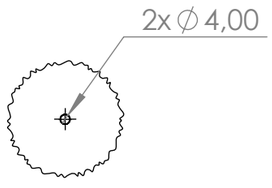
ESCALA 2 : 5





DETALLE A

ESCALA 2 : 5

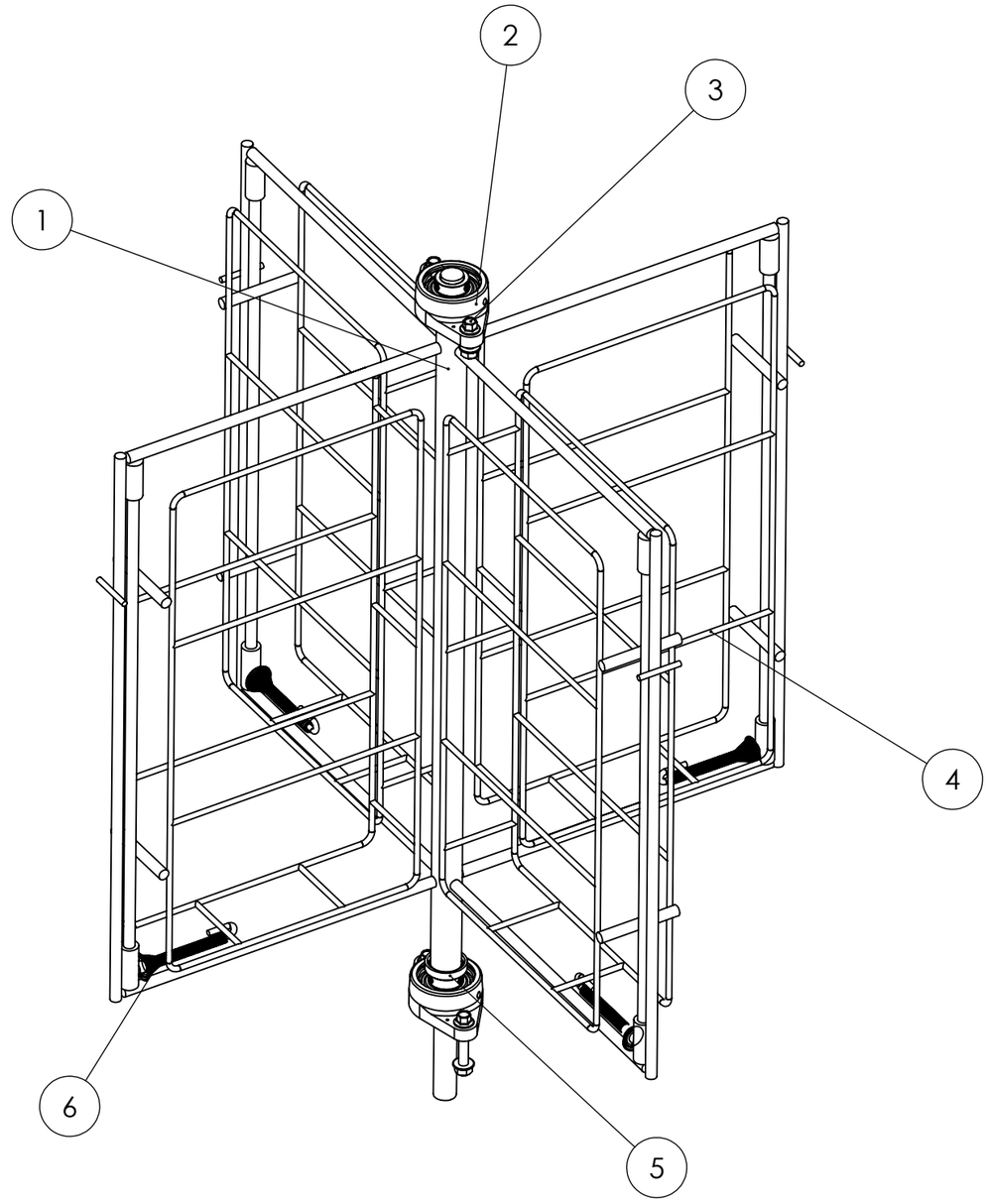


DETALLE B

ESCALA 2 : 5

Nota:
Material acrílico de 4 mm de espesor.
Todas las medidas se encuentran en milímetros (mm).

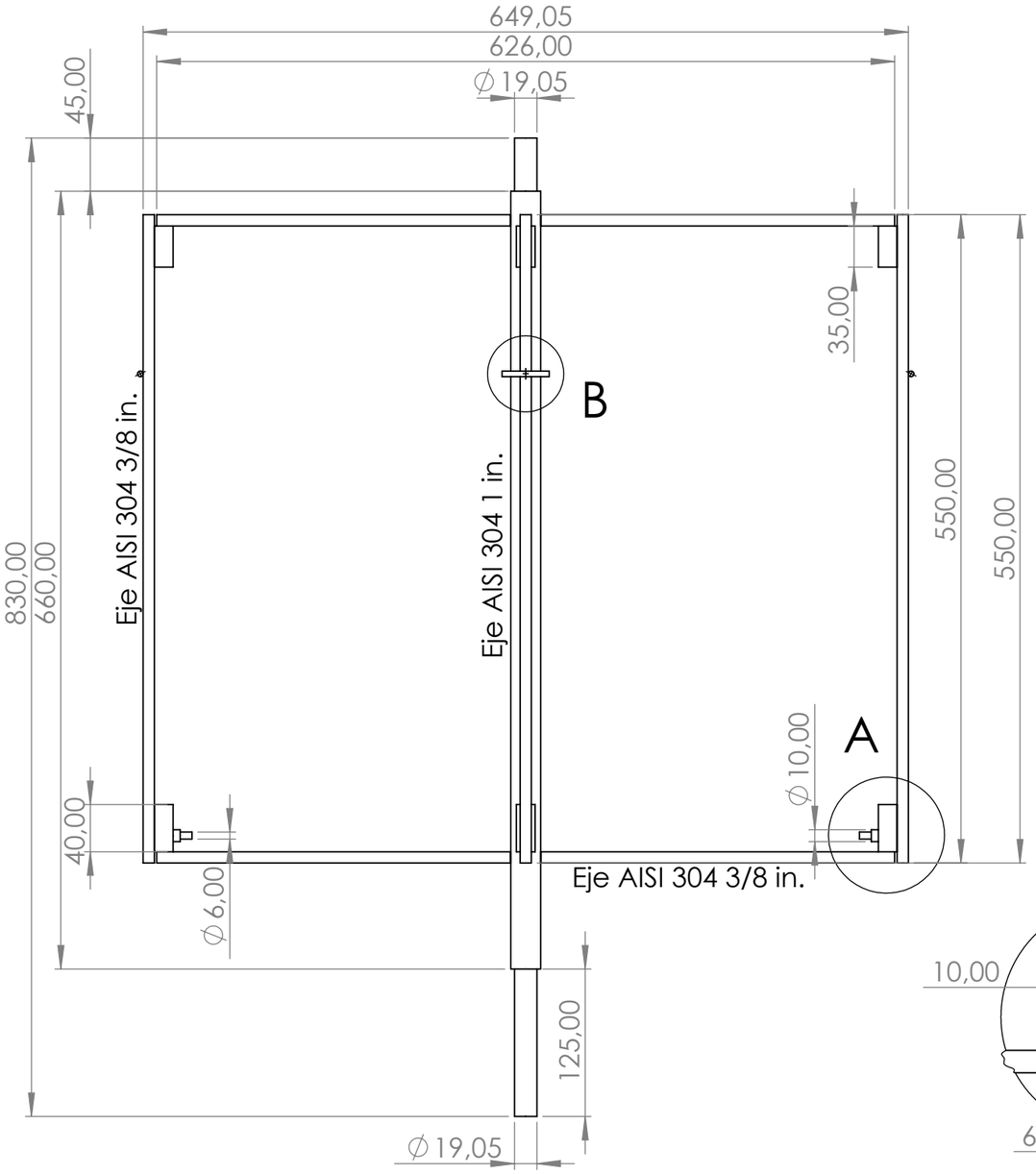
UTN CIME	PROYECTO: MÁQUINA CENTRIFUGADORA DE MIEL			ESCALA: 1:5	
	PARTE: TAPAS				
	CÓDIGO: MCM-0124-01-002			TOLERANCIA: ±N/A	
	MATERIAL:	ACRÍLICO	DISEÑÓ:	TÚQUERRES J.	HOJA:
	TRATAMIENTO:	N/A	DIBUJÓ:	TÚQUERRES J.	4
	RECUBRIMIENTO:	N/A	REVISÓ:	ING. GAVILANEZ M.	A3
	CANTIDAD:	2	APROBÓ:	ING. GAVILANEZ M.	

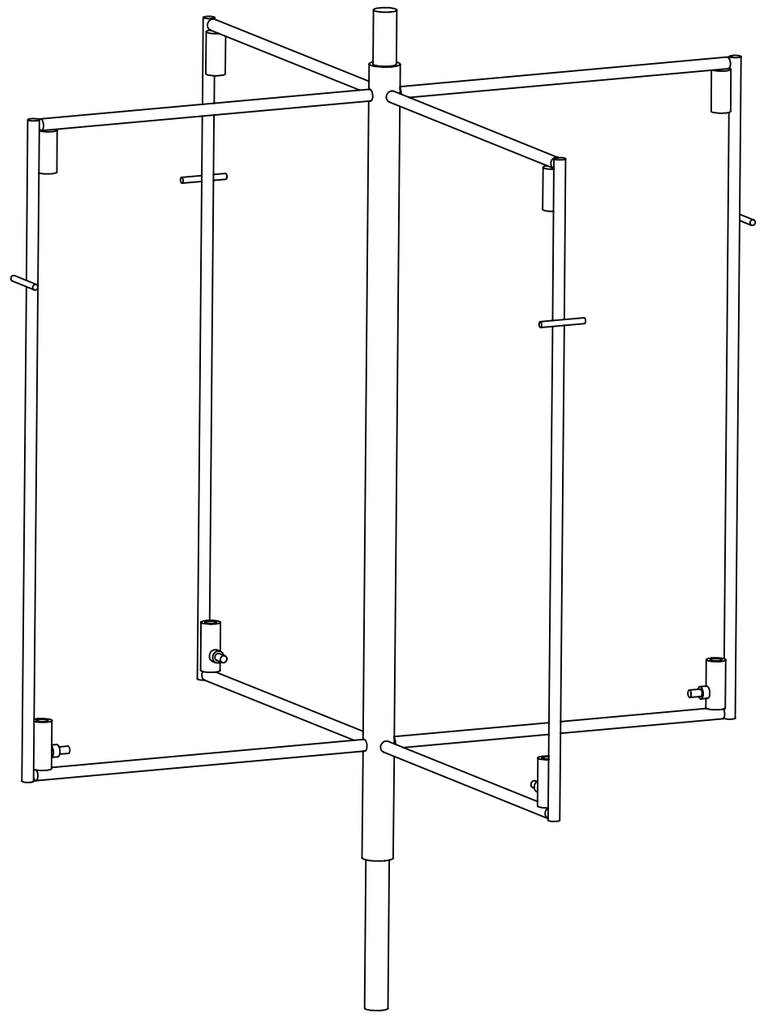


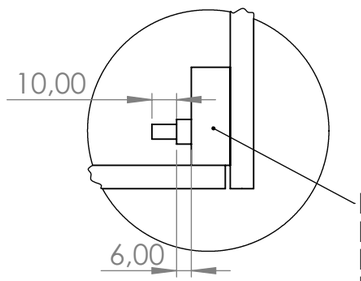
Nro.	Denominación	Código	Cant.	Detalle
7	Resorte de acero zincado	-	4	Modelo SKU15226
6	Retén	-	1	Retén 25x35x7
5	Porta panal	MCM-0124-02-002	4	Acero inoxidable AISI 304
3	Perno	-	4	M8x1.25x25
2	Chumacera	-	2	SKF UCFL 204-12
1	Eje motriz	MCM-0124-02-001	1	Acero inoxidable AISI 304

UTN | CIME

PROYECTO: MÁQUINA CENTRIFUGADORA DE MIEL				ESCALA: 1:10
PARTE: Mecanismo de giro				
CÓDIGO: MCM-0124-02-000				TOLERANCIA: ±N/A
MATERIAL:	N/A	DISEÑÓ:	TÚQUERRES J.	HOJA:
TRATAMIENTO:	N/A	DIBUJÓ:	TÚQUERRES J.	5
RECUBRIMIENTO:	N/A	REVISÓ:	ING. GAVILANEZ M.	A3
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. GAVILANEZ M.	



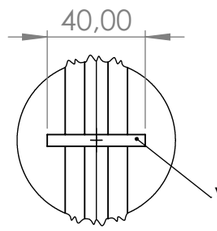




Eje AISI 304 taladrado
D interno 3/8 in.
D externo 5/8 in.
Profundidad 15 mm.

DETALLE A

ESCALA 2 : 5



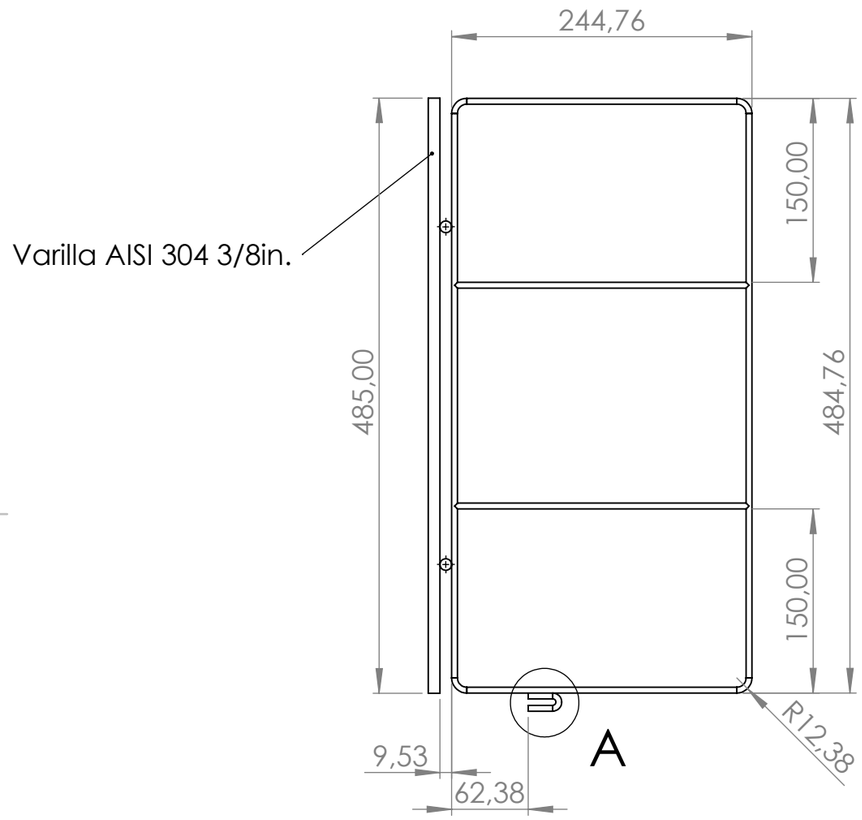
Varilla AISI 304 3/16 in.

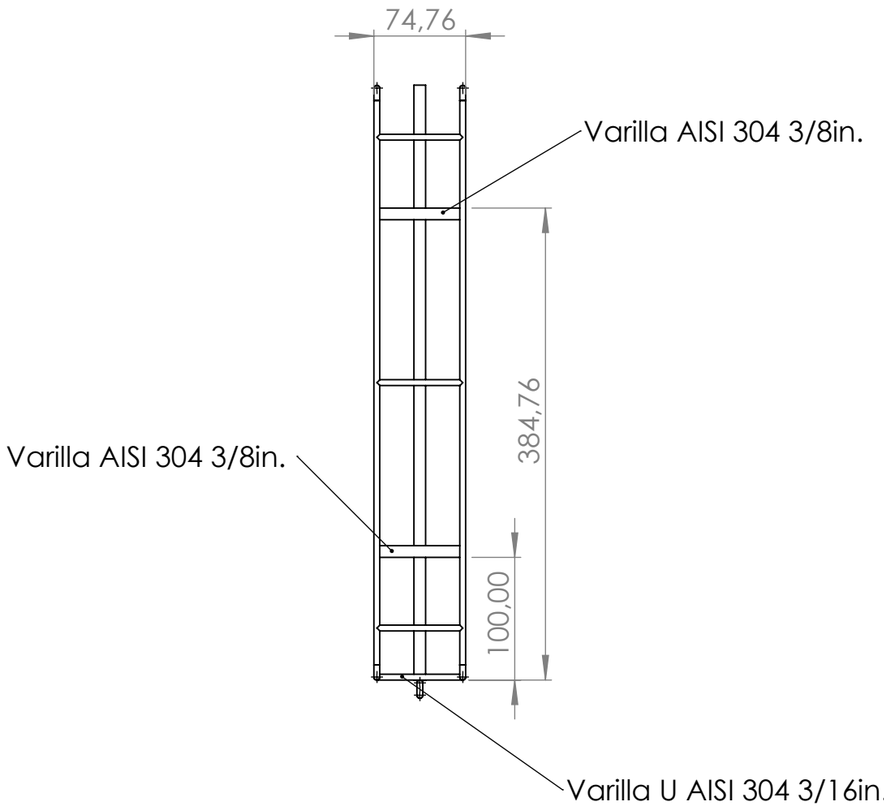
DETALLE B

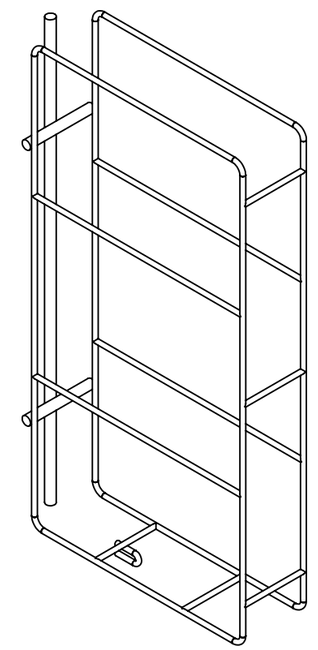
ESCALA 2 : 5

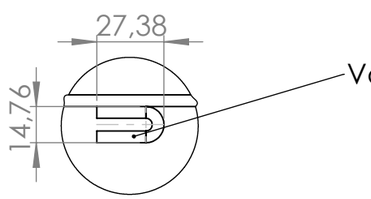
Nota:
Ejes en acero inoxidable AISI 304.
Todas las medidas están en milímetros, si no se indica lo contrario.
Todas las soldaduras con electrodo E308L-16.

UTN CIME	PROYECTO: MÁQUINA CENTRIFUGADORA DE MIEL			ESCALA: 1:10
	PARTE: Eje motriz			
	CÓDIGO: MCM-0124-02-001			TOLERANCIA: ±N/A
	MATERIAL:	Acero Inoxidable AISI 304	DISEÑÓ: TÚQUERRES J.	HOJA: 6
	TRATAMIENTO:	N/A	DIBUJÓ: TÚQUERRES J.	
	RECUBRIMIENTO:	N/A	REVISÓ: ING. GAVILANEZ M.	A3
	CANTIDAD:	1	APROBÓ: ING. GAVILANEZ M.	







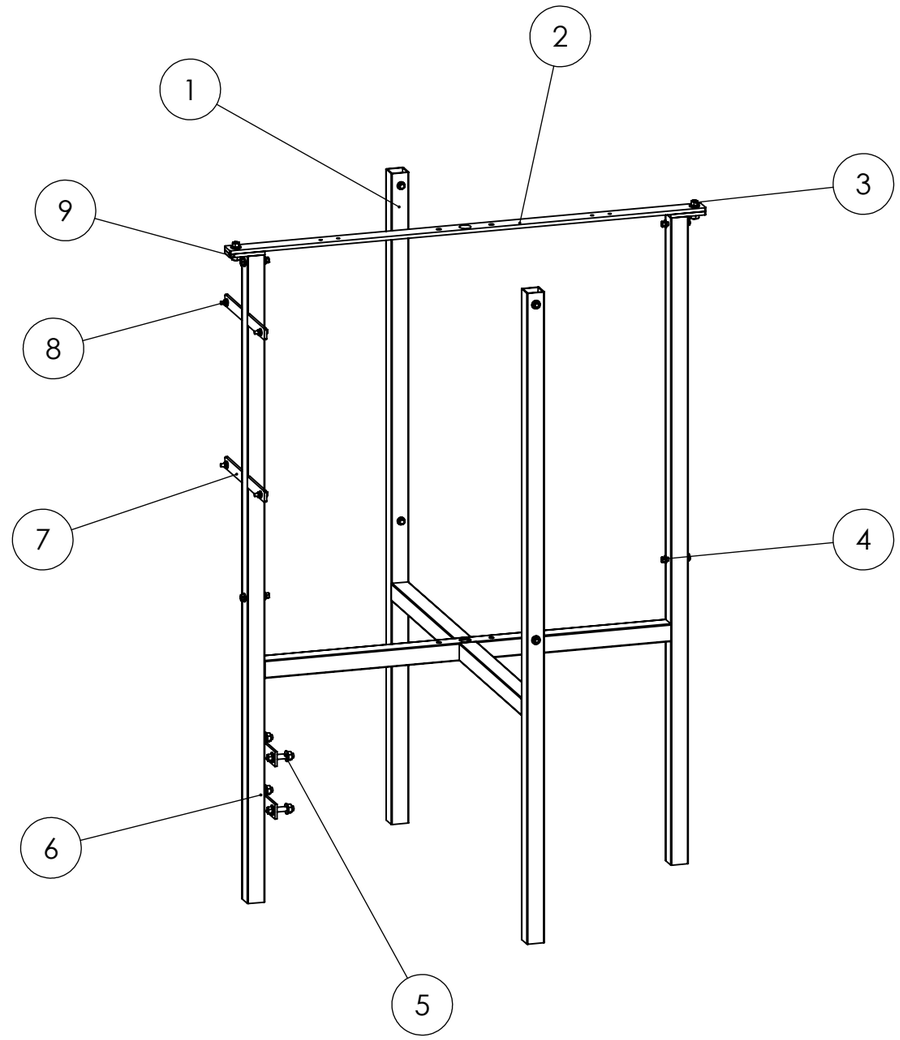


DETALLE A

ESCALA 2 : 5

Nota:
Todas las medidas están en milímetros (mm), sino se indica lo contrario.
Soldadura de la estructura con electrodo E308L-16

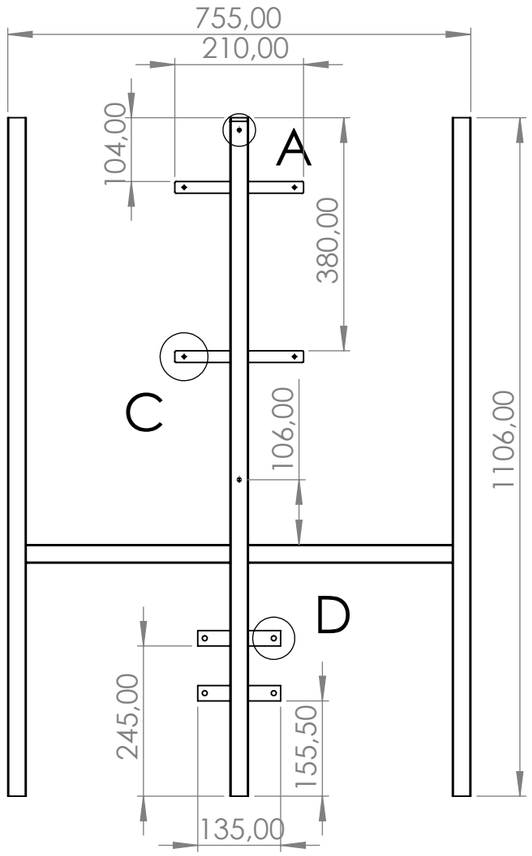
UTN CIME	PROYECTO: MÁQUINA CENTRIFUGADORA DE MIEL			ESCALA: 1:5	
	PARTE: Portapanal				
	CÓDIGO: MCM-0124-02-002			TOLERANCIA: ±N/A	
	MATERIAL:	Acero Inoxidable AISI 304	DISEÑÓ:	TÚQUERRES J.	HOJA: 7
	TRATAMIENTO:	N/A	DIBUJÓ:	TÚQUERRES J.	
	RECUBRIMIENTO:	N/A	REVISÓ:	ING. GAVILANEZ M.	A3
	CANTIDAD:	4	APROBÓ:	ING. GAVILANEZ M.	

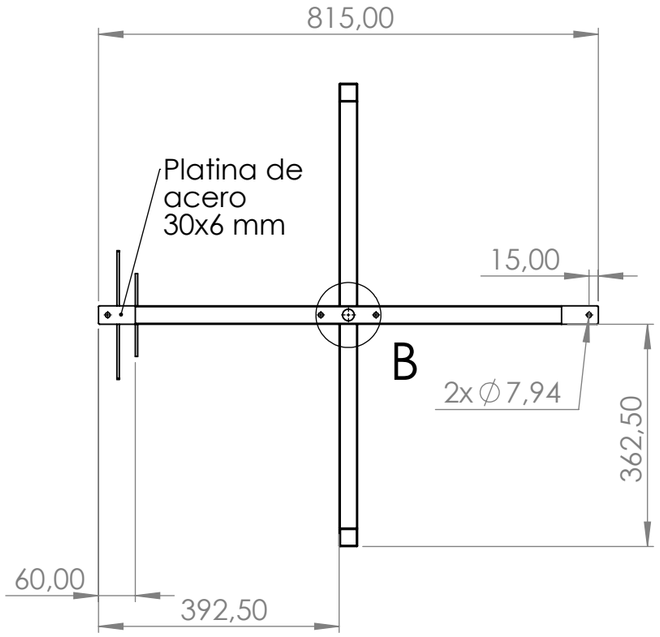


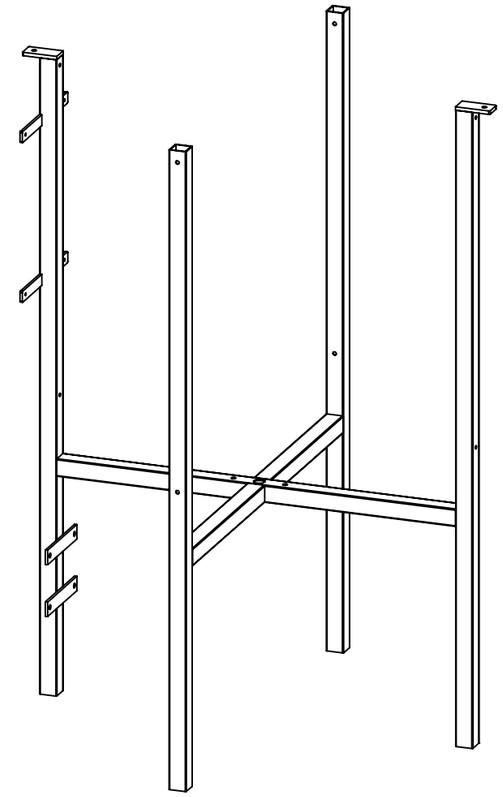
Nro.	Denominación	Código	Cant.	Detalle
9	Platina_suj	-	2	Acero negro
8	Perno_env	-	4	M5x0.8x16
7	Platina_env	-	2	Acero negro
6	Platina_mot	-	2	Acero negro
5	Perno_mot	-	4	M8x1.25x35
4	Perno_lat	-	8	M6x1.0x40
3	Perno_sup	-	2	M8x1.25x20
2	Platina Superior	MCM-0124-04-002	1	Acero negro
1	Estrucura base	MCM-0124-04-001	1	Tubo cuadrado de acero negro

UTN | CIME

PROYECTO: MÁQUINA CENTRIFUGADORA DE MIEL				ESCALA: 1:20
PARTE: Estructura metálica				
CÓDIGO: MCM-0124-04-000				TOLERANCIA: ±N/A
MATERIAL:	Acero negro	DISEÑÓ:	TÚQUERRES J.	HOJA:
TRATAMIENTO:	N/A	DIBUJÓ:	TÚQUERRES J.	8
RECUBRIMIENTO:	N/A	REVISÓ:	ING. GAVILANEZ M.	A3
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. GAVILANEZ M.	

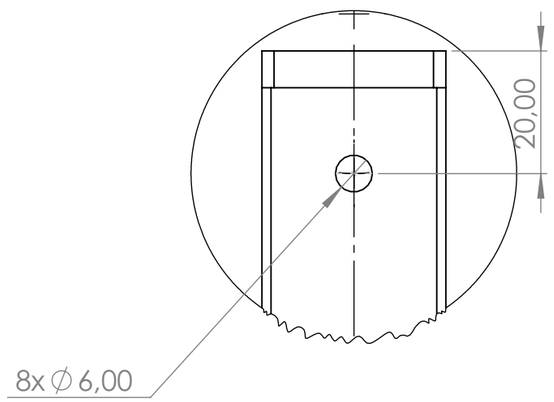






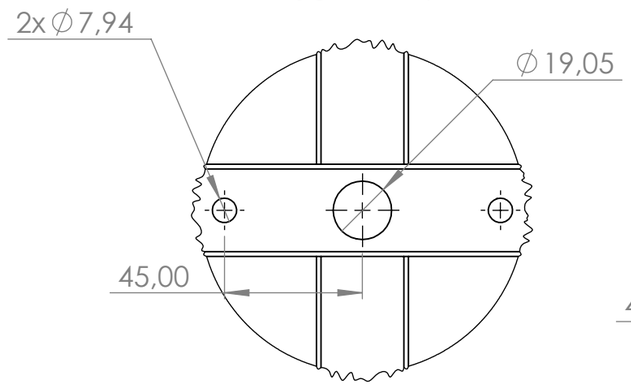
DETALLE A

ESCALA 1 : 1



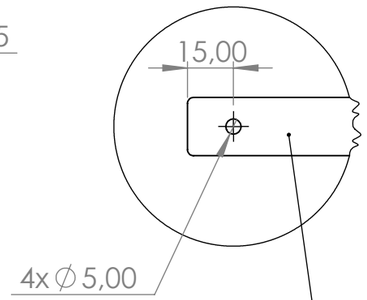
DETALLE B

ESCALA 1 : 2



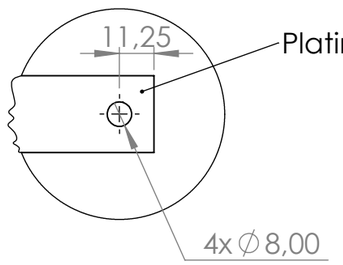
DETALLE C

ESCALA 1 : 2



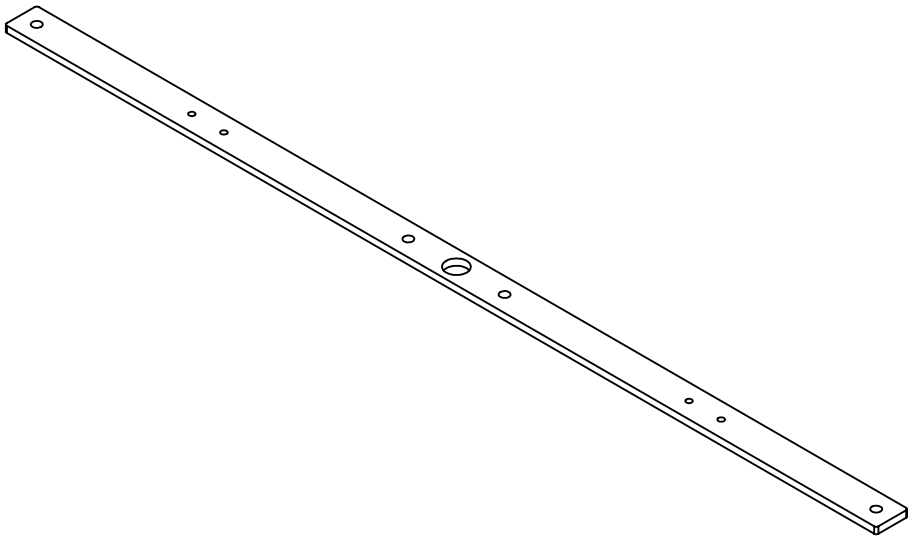
DETALLE D

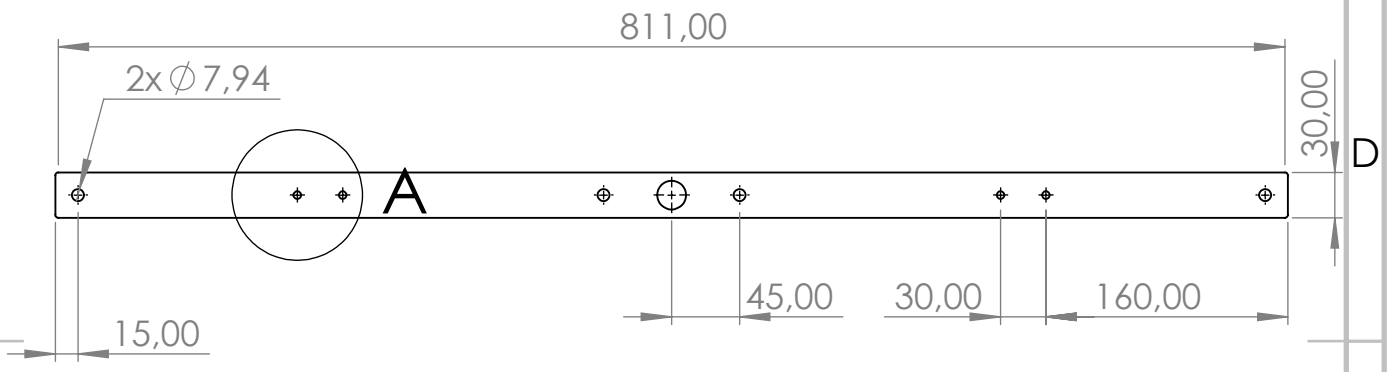
ESCALA 1 : 2



Nota:
Material Tubo de acero negro 30x30x2 mm.
Todas las medidas están en milímetros (mm).
Todas las soldaduras con electrodo E6011

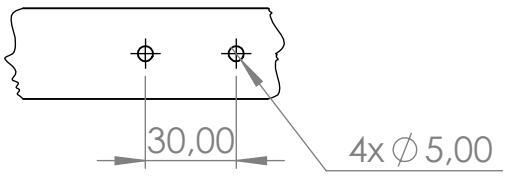
UTN CIME	PROYECTO: MÁQUINA CENTRIFUGADORA DE MIEL			ESCALA: 1:20	
	PARTE: Estructura_TanqueV2				
	CÓDIGO: MCM-0124-04-001			TOLERANCIA: ±N/A	
	MATERIAL:	Acero negro	DISEÑÓ:	TÚQUERRES J.	HOJA: 9
	TRATAMIENTO:	N/A	DIBUJÓ:	TÚQUERRES J.	
	RECUBRIMIENTO:	N/A	REVISÓ:	ING. GAVILANEZ M.	A3
	CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. GAVILANEZ M.	





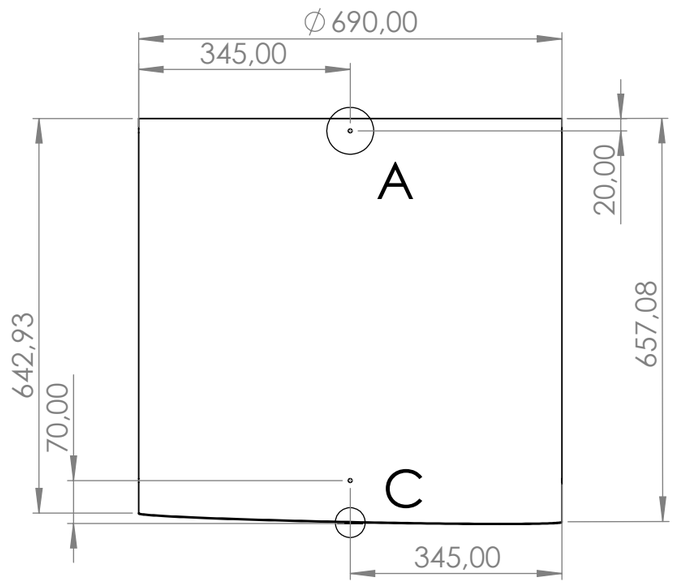
DETALLE A

ESCALA 2 : 5



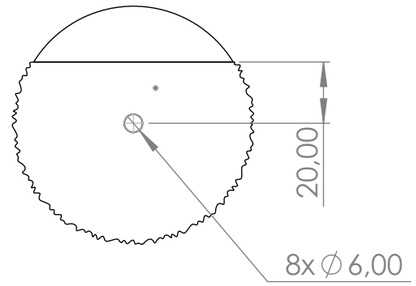
Nota:
Todas las medidas están en milímetros (mm)

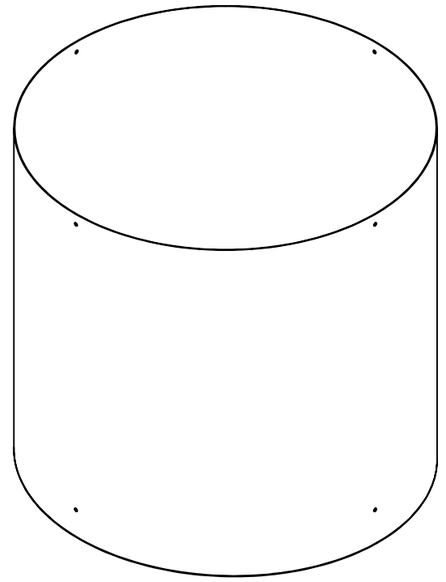
UTN CIME	PROYECTO: MÁQUINA CENTRIFUGADORA DE MIEL			ESCALA: 1:20	
	PARTE: Platina superior				
	CÓDIGO: MCM-0124-04-002			TOLERANCIA: ±N/A	
	MATERIAL:	Acero negro 6mm	DISEÑÓ:	TÚQUERRES J.	HOJA:
	TRATAMIENTO:	N/A	DIBUJÓ:	TÚQUERRES J.	10
	RECUBRIMIENTO:	N/A	REVISÓ:	ING. GAVILANEZ M.	A4
	CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. GAVILANEZ M.	

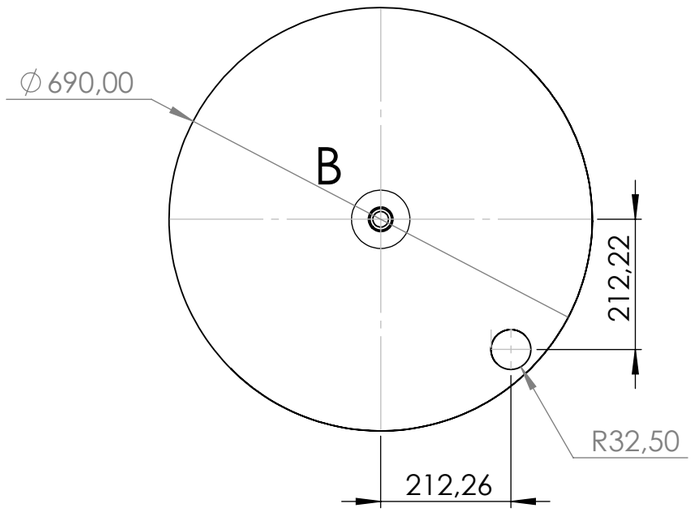


DETALLE A

ESCALA 1 : 2

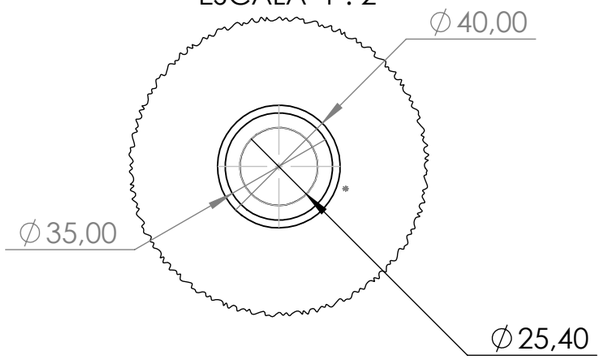






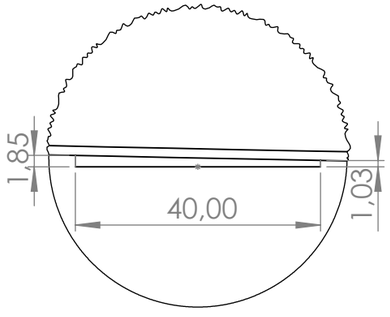
DETALLE B

ESCALA 1 : 2



DETALLE C

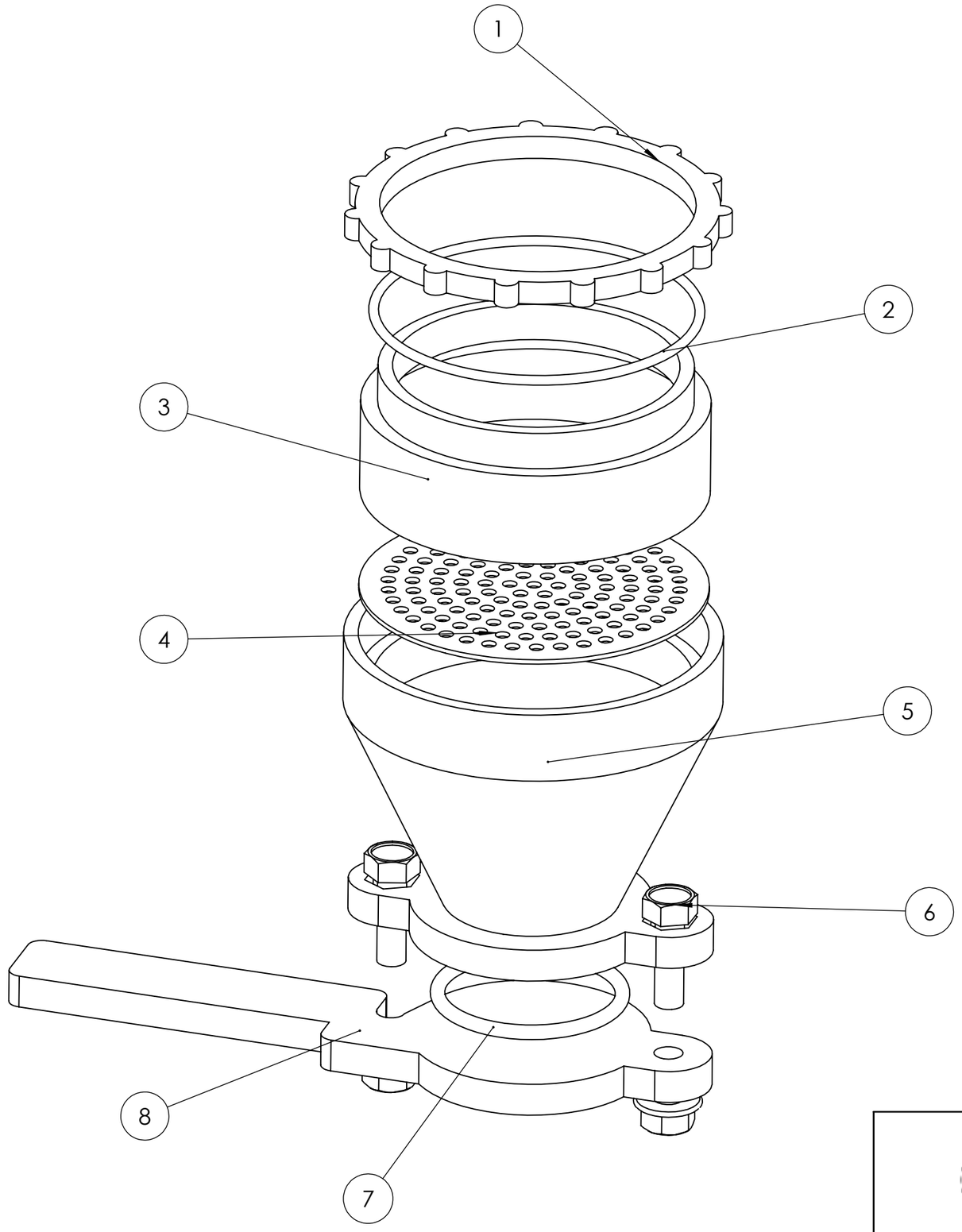
ESCALA 1 : 1



Nota:
Todas las medidas se encuentran en milímetros (mm).
Material, plancha de acero AISI 304 de 1,5 mm.
Soldadura con electrodo E308L-16

UTN | CIME

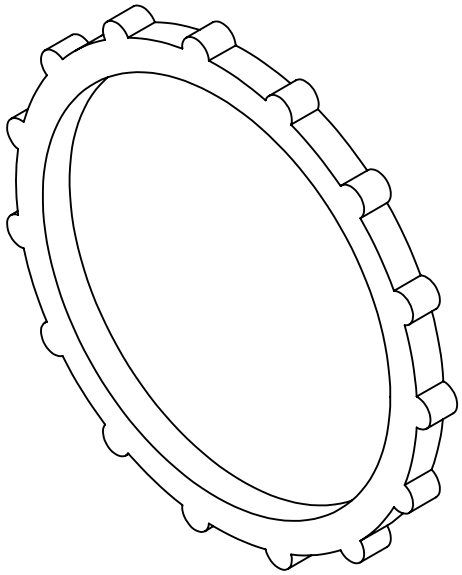
PROYECTO: MÁQUINA CENTRIFUGADORA DE MIEL				ESCALA: 1:20
PARTE: Tanque				
CÓDIGO: MCM-0124-03-000				TOLERANCIA: ±N/A
MATERIAL:	Acero AISI 304 1.5mm.	DISEÑÓ:	TÚQUERRES J.	HOJA:
TRATAMIENTO:	N/A	DIBUJÓ:	TÚQUERRES J.	11
RECUBRIMIENTO:	N/A	REVISÓ:	ING. GAVILANEZ M.	A3
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. GAVILANEZ M.	

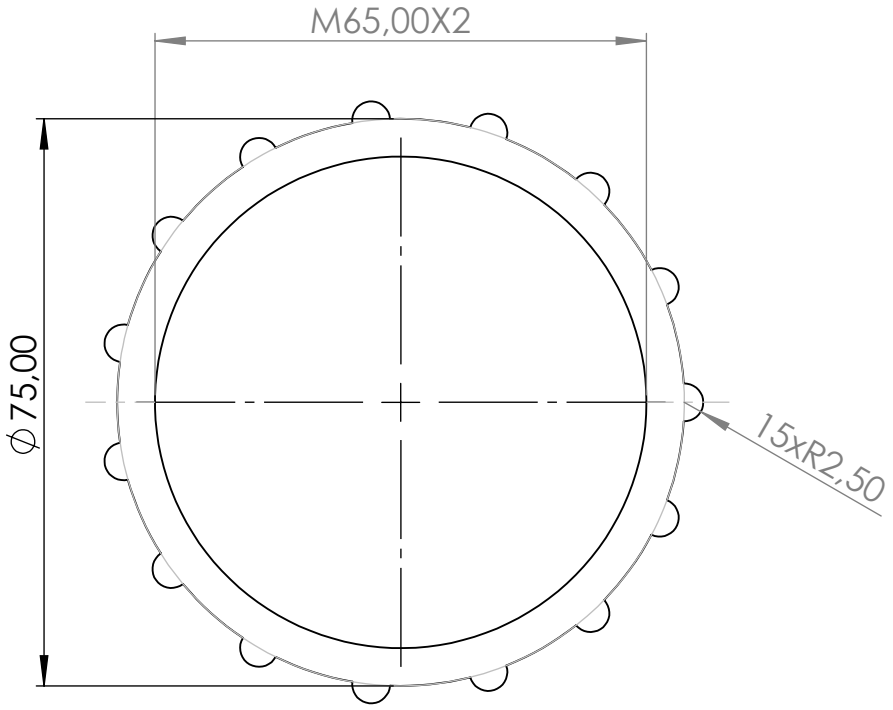


Nro.	Denominación	Código	Cant.	Detalle
8	Palanca grifo	MCM-0124-05-004	1	Impresión 3D PLA
7	O'ring	-	1	O'ring 2x65
6	Perno	-	2	M6x1.0x20
5	Embudo	MCM-0124-05-003	1	Impresión 3D PLA
4	Lámina perforada	-	1	Acero inoxidable AISI 304, diámetro 72mm y espesor 1mm.
3	Rosca grifo	MCM-0124-05-002	1	Impresión 3D PLA
2	O'ring	-	1	O'ring 3x17
1	Tuerca grifo	MCM-0124-05-001	1	Impresión 3D PLA

UTN | CIME

PROYECTO: MÁQUINA CENTRIFUGADORA DE MIEL				ESCALA: 1:5
PARTE: Grifo_guillotina				
CÓDIGO: MCM-0124-05-000				TOLERANCIA: ±N/A
MATERIAL:	Impresión 3D PLA	DISEÑÓ:	TÚQUERRES J.	HOJA:
TRATAMIENTO:	N/A	DIBUJÓ:	TÚQUERRES J.	12
RECUBRIMIENTO:	N/A	REVISÓ:	ING. GAVILANEZ M.	A3
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. GAVILANEZ M.	





Nota:
Espesor 5 mm.
Realizado mediante impresión 3D.
Todas las medidas se encuentran en milímetros (mm).

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
UTN
IBARRA - ECUADOR

Anexo 11

Manual de usuario.