

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

Diseño de sistema de separación de lixiviados por centrifugado para residuos  
orgánicos sólidos

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**INGENIEROS EN MECÁNICA**

Presentado por:

William Kevin Olivares Montero

Emilio José García Villacis

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

## **Dedicatoria**

El presente proyecto lo dedico a mi querida y hermosa novia por darme fuerzas e inspiración para seguir avanzando en este proceso, a los ingenieros que me brindaron de su sabiduría para solventar los problemas que encontré a lo largo de la elaboración de esta tesis y a mis compañeros de la carrera por esos bellos momentos en esta época universitaria.

(William Olivares)

Dedico este proyecto a mi familia que me dio su apoyo, a mis amigos, a los ingenieros que me educaron a lo largo de esta etapa universitaria para la posterioridad profesional, y especialmente a aquellos que la volvieron más amena como Melvin Balarezo, Davis Paredes, Ronny Recalde y Dante Olivares.

(Emilio García)

## **Agradecimientos**

Nuestros más sinceros agradecimientos a los Ingenieros que nos guiaron para la realización de este proyecto, a nuestros amigos que nos brindaron consuelo y apoyo durante este estresante proceso de titulación.

## Declaración Expresa

Nosotros García Villacís Emilio José y Olivares Montero William Kevin acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 15 de febrero del 2024.



García Villacís Emilio

José



Olivares Montero William

Kevin

## **Evaluadores**

---

**José A. Macías Z., MSc.**

Profesor de Materia

---

**Jorge L. Amaya R., Ph.D.**

Tutor de proyecto

## **Resumen**

Este proyecto tiene como objetivo principal diseñar un sistema de centrifugado para reducir la humedad en los residuos sólidos orgánicos (RSO) generados en el campus Gustavo Galindo de ESPOL. La gestión ineficiente de estos residuos puede tener un impacto negativo en la salud ambiental, los recursos naturales y la sostenibilidad del entorno. Se optó por el enfoque de centrifugado debido a su efectividad parcial en la reducción de la humedad de los residuos. La metodología empleada abarcó desde la identificación del problema hasta la simulación y evaluación de los resultados. Se utilizaron herramientas como el análisis de elementos finitos y matrices de decisión para la selección de componentes. Los resultados obtenidos demostraron la viabilidad del diseño propuesto. Este diseño incluye un sistema de tres velocidades mediante una configuración de banda y poleas, con una capacidad de procesamiento de 20 kg. Además, se implementó un dispositivo electrónico, como un panel de control, que permite ajustar el tiempo de encendido y otros parámetros relevantes. Estas mejoras contribuyen significativamente a la eficiencia del proceso de gestión de residuos en el campus.

**Palabras clave:** Centrifugado, Humedad, Residuos sólidos orgánicos, Diseño mecánico.

## **Abstract**

This project focuses on designing a centrifugation system to reduce the moisture content in the organic solid waste (OSW) generated at the Gustavo Galindo campus of ESPOL.

Inefficient management of these wastes can negatively impact environmental health, natural resources, and overall sustainability. The centrifugation approach was chosen due to its partial effectiveness in reducing waste moisture. The methodology employed ranged from problem identification to simulation and result evaluation. Tools such as finite element analysis and decision matrices were used for component selection. The obtained results demonstrated the feasibility of the proposed design. The design includes a three-speed system using a belt and pulley configuration, with a processing capacity of 20 kg. Additionally, an electronic device, such as a control panel, was implemented to adjust startup time and other relevant parameters. These enhancements significantly contribute to the efficiency of waste management on campus.

**Keywords:** Centrifugation, Moisture, Organic Solid Waste, Design.

## Índice general

Resumen.....	I
Índice general.....	III
Abreviaturas.....	VI
Simbología.....	VII
Índice de figuras.....	IX
Índice de tablas.....	XI
Índice de planos.....	XIII
Capítulo 1.....	1
1.3    Introducción.....	2
1.4    Descripción del problema.....	3
1.5    Justificación del problema.....	5
1.6    Objetivos.....	6
1.6.1    Objetivo general.....	6
1.6.2    Objetivos específicos.....	6
1.7    Marco teórico.....	7
1.7.1    Residuo solido.....	7
1.7.2    Clasificación de residuos sólidos.....	7
1.7.3    Disposición final.....	8
1.7.4    Reciclaje.....	8



1.7.5	Secadores para solidos.....	9
1.7.6	Energía requerida para el secado.....	9
Capítulo 2.....		13
2.1	Metodología.....	14
2.2	Consideraciones del diseño.....	16
2.3	Alternativas de solución .....	16
2.4	Diseño del equipo de centrifugado .....	18
2.4.1	Diseño de forma .....	18
2.4.2	Subsistemas .....	19
2.4.3	Sistema receptor .....	21
2.4.4	Sistema de transmisión.....	23
2.4.5	Sistema de soporte.....	31
2.4.6	Amortiguamiento.....	32
Capítulo 3.....		35
3.1	Resultados y análisis.....	36
3.2	Sistema receptor.....	36
3.2.1	Cantidad de Residuos producida en el campus .....	36
3.2.2	Volumen del tambor .....	36
3.2.3	Volumen de RSO.....	37
3.2.4	Relación de llenado .....	37

3.3	Sistema de transmisión .....	37
3.3.1	Inercia del sistema .....	37
3.3.2	Potencia del motor.....	38
3.3.3	Selección de polea y banda.....	39
3.3.4	Diseño de eje .....	41
3.4	Sistema de soporte .....	49
3.4.1	Diseño de carcasa .....	49
3.5	Análisis de resistencia de las bases.....	50
3.6	Panel de control .....	50
3.7	Análisis de vibraciones .....	51
3.8	Resultados del proceso de diseño .....	51
3.9	Cotización/Análisis económico .....	52
Capítulo 4	.....	53
4.1	Conclusiones y recomendaciones .....	54
4.2	Conclusiones.....	55
4.3	Recomendaciones .....	56

## **Abreviaturas**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral.
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción.
RSO	Residuos sólido orgánico
GAD	Gobiernos Autónomos Descentralizados
MAE	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica

## Simbología

$cm$	Centímetro
$\frac{g}{mL}$	Gramos por mililitro
$mm$	Milímetro
$cm^3$	Centímetros cúbicos
$\frac{g}{cm^3}$	Gramos por centímetros cúbicos
$kg$	Kilogramo
$S_y$	Esfuerzo de fluencia
$S_{ut}$	Esfuerzo último a tensión
$MPa$	Mega pascales
$k_a$	Factor de modificación de condición de superficie
$k_b$	Factor de modificación de tamaño
$k_c$	Factor de modificación de carga
$k_d$	Factor de modificación de temperatura
$k_e$	Factor de confiabilidad
$k_f$	Factores de modificación varios
$S'_e$	Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria
$S_e$	Límite de resistencia a la fatiga en punto crítico

$kpsi$	Kilo libra por pulgada cuadrada
$d$	Diámetro del eje
$\eta_f$	Factor de seguridad contra la fatiga
$K_f$	Factor de concentración de esfuerzo de fatiga por flexión en la componente alternante
$M_a$	Momento de flexión a lo largo del eje componente alternante
$k_{fs}$	Factor de concentración de esfuerzo de torsión por fatiga para la componente alternante
$T_a$	Torque sobre el eje componente alternante
$S_f$	Límite de resistencia a la fatiga corregida
$k_{fm}$	Factor de concentración de esfuerzo de fatiga por flexión en la componente media
$M_m$	Momento de flexión a lo largo del eje componente medio

## Índice de figuras

Figura 1. Secador de bandejas.....	10
Figura 2. El secador rotatorio calentado con aire en contracorriente.....	10
Figura 3. Secador de pulverización que utiliza un flujo en paralelo .....	11
Figura 4. Secador con dos tambores que recibe la alimentación en su centro .....	12
Figura 5, Diagrama de flujo para diseño. ....	15
Figura 6, Diseño de forma.....	19
Figura 7, Diagrama de flujo de sistema.....	20
Figura 8, Diagrama de tensiones en polea.....	29
Figura 9, Plancha a rolar. ....	37
Figura 10, Diagrama de cuerpo libre de tensiones de banda.....	42
Figura 11, Diagrama de cuerpo libre de tambor.....	43
Figura 12, Diagrama de cortante para el eje.....	45
Figura 13, Diagrama de momento flector para el eje.....	46
Figura 14, Ensayo de deformación en ANSYS.....	47
Figura 15, Ensayo de esfuerzos en ANSYS.....	48
Figura 16, Ángulo de pendiente .....	50
Figura 17, Simulación de amortiguamiento en función del tiempo .....	51

Figura 18, Circuito del panel de control.....	76
Figura 19, Placa PCB para el circuito. ....	77
Figura 20, PCB ensamblada con sus respectivos componentes. ....	78

## Índice de tablas

Tabla 1, Coeficientes de modificación de condición para superficies. ....	25
Tabla 2, Factores de modificación para la resistencia a la fatiga .....	26
Tabla 3, Resultados selección sistema receptor. ....	32
Tabla 4, Resultados selección sistema de transmisión. ....	32
Tabla 5, Resultados selección sistema de soporte .....	32
Tabla 6, Matriz decisión sistema de reducción de humedad. ....	61
Tabla 7, Matriz decisión tambor .....	62
Tabla 8, Matriz decisión filtro. ....	62
Tabla 9, Matriz decisión eje de transmisión. ....	63
Tabla 10, Matriz decisión transmisión de potencia. ....	64
Tabla 11, Matriz decisión material de carcasa .....	64
Tabla 12, Levantamiento de información en el campo. ....	65
Tabla 13, Propiedades mecánicas del acero inoxidable. ....	66
Tabla 14, Factores de servicio para poleas. ....	67
Tabla 15, Diámetro mínimo recomendado para la polea del motor eléctrico. ....	68
Tabla 16, Selección de bandas convencionales. ....	69
Tabla 17, Catálogo de bandas de Martin Sproket. ....	69



Tabla 18, Propiedades de algunos materiales de las bandas planas y redondas.....	70
Tabla 19, Tamaños mínimos de poleas para bandas planas y redondas de uretano.....	70
Tabla 20, resultados de centro de distancia entre centros.....	71
Tabla 21, Factor de corrección de polea CP para bandas planas.....	71
Tabla 22, Tensiones de banda .....	71
Tabla 23, Motores disponibles en el mercado siemens.....	72
Tabla 24, Factores para rodamiento rígido de bola.....	73
Tabla 25, Valores de vida específica de los rodamientos según su uso.....	73
Tabla 26, Catalogo de rodamientos de bola.....	74
Tabla 27, Resultados parámetros de diseño .....	79
Tabla 28, Cotización planchas de acero inoxidable.....	80
Tabla 29, Costos de mano de obra .....	81
Tabla 30, Costos totales del proyecto.....	82

## Índice de planos

PLANO 1 Corte medio simétrico del sistema

PLANO 2 Vista explosiva del sistema

PLANO 3 Carcasa del sistema

PLANO 4 Eje de transmisión

PLANO 5 Bisagra para base del motor

PLANO 6 Base del motor

PLANO 7 Soporte para eje y rodamiento

PLANO 8 Cajonera para rodamiento

PLANO 9 Tambor de centrifugadora

PLANO 10 Sistema de poleas

## **Capítulo 1**

### **1.3 Introducción**

La gestión sostenible de los residuos sólidos orgánicos (RSO) es un desafío crítico que ha adquirido una creciente importancia en el contexto de la reutilización de recursos para diversas instituciones en todo el mundo, en el caso de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) desde que se retomaron clases presenciales a inicios del año 2022 se ha apreciado un constante aumento de la población de estudiantes dentro del campus y a su vez en la generación de residuos per cápita que han llevado a un incremento significativo en la cantidad de desechos orgánicos, generados mayormente por lo consumido en: quioscos, bares y comedores dentro del campus, que deben ser manejados de manera responsable, los principales desechos que encontramos son los residuos de comida, plásticos de botellas o envolturas y cartones de bebidas.

A medida que la institución enfrenta esta realidad, es esencial reconsiderar y transformar los métodos tradicionales de manejo de residuos, particularmente en un momento en el que la conciencia ambiental y la sostenibilidad son preocupaciones globales clave. A pesar de los esfuerzos por mejorar la gestión de RSO, la ESPOL continúa dependiendo en gran medida del proceso tradicional de relleno sanitario, en el cual los residuos se acumulan inicialmente en un vertedero a cielo abierto antes de ser trasladados a la alternativa municipal, que es el destino final conocido como relleno sanitario. Este enfoque presenta limitaciones, siendo una solución a corto plazo, ya que, con el tiempo, el vertedero se llenará y requerirá la búsqueda de otro lugar por parte del sector municipal para continuar con el uso como relleno sanitario. Estas prácticas, aunque han sido ampliamente utilizadas, presentan limitaciones significativas en términos de sostenibilidad ambiental, económica y social. Los vertederos a cielo abierto, en particular, han sido objeto de críticas debido a su impacto negativo en la salud pública y el medio ambiente,

incluyendo la contaminación del suelo y del agua, la emisión de gases de efecto invernadero y la propagación de enfermedades.

Según el MAE (Ministerio del Ambiente y Agua), una de las principales recomendaciones para el aprovechamiento de RSO es mediante el proceso de compostaje (Lenin Moreno Garcés et al., 2020). Aunque esta práctica ofrece beneficios, su efectividad se ve limitada. Actualmente, diversos estudios a nivel nacional se están llevando a cabo para mejorar el aprovechamiento de estos residuos. Un ejemplo notable es el proyecto desarrollado en los laboratorios de etimología de SILAB en ESPOL. Este proyecto propone la generación de harina alta en proteínas a partir del procesamiento de larvas de moscas soldado negro. Sin embargo, es crucial destacar que antes de realizar cualquier proceso de transformación, es necesario tratar adecuadamente los RSO. En muchas ocasiones, estos residuos contienen altas concentraciones de lixiviados, lo cual complica el desarrollo de estudios en los diversos laboratorios. En el caso del laboratorio de ESPOL, esto impacta negativamente el ciclo de vida de las larvas. Dado que aún no se dispone de tecnologías específicas para este fin, el tratamiento de los residuos debe realizarse de manera manual.

#### **1.4 Descripción del problema**

El campus Gustavo Galindo de ESPOL enfrenta un desafío central relacionado con la gestión de los RSO, específicamente en el control de la humedad y la extracción de lixiviados generados por estos residuos. La gestión inadecuada de estos residuos puede acarrear impactos significativos en términos de salud ambiental, agotamiento de recursos naturales y sostenibilidad. La carencia de un sistema eficiente de manejo y tratamiento de estos residuos limita las oportunidades para convertir estos desechos en recursos valiosos, contribuyendo así a un entorno más sostenible.

Los RSO en el campus Gustavo Galindo son una fuente potencial de energía y recursos valiosos, especialmente cuando se considera la posibilidad de utilizar larvas de moscas soldado negro en un proceso de bioconversión. Sin embargo, el proceso de cría de larvas con RSO enfrenta un desafío crítico relacionado con la presencia de lixiviados presentes en estos residuos debido a que la acumulación de líquidos genera proliferación de microorganismos perjudiciales. El control de la humedad es esencial para mantener un ambiente óptimo para el desarrollo de las larvas y la bioconversión efectiva de los residuos.

Los RSO en el campus Gustavo Galindo representan una fuente potencial de energía y recursos valiosos, especialmente al considerar la posibilidad de utilizar larvas de moscas soldado negro en un proceso de bioconversión. Sin embargo, el proceso de cría de larvas con RSO enfrenta un desafío crítico relacionado con la presencia de lixiviados en estos desechos, ya que la acumulación de líquidos propicia la proliferación de microorganismos perjudiciales (Nilson Emerson Liberato Soto, 2020). El control de la humedad resulta esencial para mantener un ambiente óptimo para el desarrollo de las larvas y lograr una bioconversión efectiva de los residuos.

El proceso actual de extracción de lixiviados se lleva a cabo manualmente mediante el uso de una malla de polipropileno u otro material similar, que sirve como filtro para separar los líquidos y retener la parte sólida de los residuos. Además, se requiere la intervención de una o varias personas que utilizan palas para ejercer presión sobre los residuos, agilizando así el proceso de exprimido. Sin embargo, esta metodología resulta ser agotadora, ineficiente e incómoda para los operadores. Además, plantea riesgos para la salud del personal involucrado en la extracción (Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Ciencias de la Atmosfera,

2012). Por lo tanto, es crucial encontrar una solución más efectiva y automatizada para el control de la humedad y la extracción de lixiviados.

Para el caso de estudio del laboratorio de ESPOL se estima que la temperatura y la humedad ambiental son factores críticos para el éxito del proceso de bioconversión. La temperatura no debe superar los 52°C, y la humedad debe estar aproximado a 60% para garantizar un entorno óptimo. Controlar estos parámetros es esencial para asegurar la salud y el desarrollo de las larvas, así como para maximizar la eficiencia del proceso.

Para el caso de estudio del laboratorio de etimología de ESPOL, se estima que la temperatura y la humedad de los RSO son factores críticos para el éxito del proceso de bioconversión. Es crucial que la temperatura no supere los 52°C y que la humedad se mantenga en torno al 60%, lo que garantiza un entorno óptimo para el desarrollo de las larvas. El control preciso de estos parámetros es esencial para garantizar la salud y el crecimiento adecuado de las larvas, al mismo tiempo que se maximiza la eficiencia del proceso.

## **1.5 Justificación del problema**

La justificación para abordar este problema es múltiple y de gran relevancia. En primer lugar, la gestión sostenible de RSO es un imperativo en el contexto actual, ya que el aumento de la población y la generación de residuos per cápita generan una creciente presión en los sistemas tradicionales de manejo de residuos, como los vertederos y rellenos sanitarios, que presentan impactos ambientales negativos.

El campus Gustavo Galindo de ESPOL se enfrenta a una oportunidad significativa de transformar sus RSO en recursos valiosos, como las larvas de moscas soldado negro y un fertilizante nutritivo. Estos productos pueden ser utilizados en diversas aplicaciones, desde la

alimentación para la ganadería y acuicultura hasta la producción de biodiesel, lo que representa un potencial económico importante.

La bioconversión de RSO a través de larvas de moscas soldado negro proporciona una solución sostenible para la gestión de residuos. Al mejorar el proceso de cría de larvas y contar con una herramienta para controlar la humedad de los RSO, el campus Gustavo Galindo de ESPOL puede liderar a nivel nacional en la implementación de esta tecnología, promoviendo así una economía más sostenible a nivel comunitario y contribuyendo al desarrollo de industrias emergentes.

El control de la humedad por medio de la extracción de lixiviados de manera eficiente son elementos esenciales para la viabilidad y el éxito de este enfoque sostenible. La extracción manual de lixiviados plantea problemas logísticos y de salud, lo que subraya la necesidad de una solución automatizada y efectiva. La justificación radica en la urgente necesidad de mejorar la gestión de RSO en el campus de la ESPOL y aprovechar su potencial económico y ambiental.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo general**

Diseñar un sistema de centrifugado con el fin de separar lixiviados de RSO para tratarlos utilizando larvas de mosca soldado-negra, utilizando los principios de diseño mecánico, selección de elementos y normas para el tratamiento de residuos.

### **1.6.2 Objetivos específicos**

1. Cuantificar y caracterizar de manera experimental los residuos que se generan en el campus Gustavo Galindo utilizando normas de manejo de residuos para determinar la capacidad mínima que debería de tener el sistema.



2. Diseñar la estructura del sistema de centrifugado, sistema de transmisión de potencia y seleccionar los elementos mecánicos del equipo, mediante la corroboración de cálculos teóricos.
3. Análisis de amortiguamiento en el sistema por medio de la simulación de los efectos que generan las vibraciones en el equipo centrifugado.

## **1.7 Marco teórico**

### **1.7.1 Residuo solido**

Los residuos sólidos abarcan todos los desechos que no son líquidos y se originan como resultado de la actividad humana, así como los escombros producidos por un desastre. Estos desechos pueden comprender varios elementos, como la basura doméstica, que incluye cenizas, materiales de embalaje y sobras de comida, junto con desechos fecales humanos. Además, se incluyen materiales de construcción, electrodomésticos y otros elementos generados como consecuencia de un desastre. También se consideran otros materiales sólidos, como piedras y ramas acumuladas por el desastre, así como desechos específicos como los hospitalarios y los tóxicos de la industria, los cuales requieren un tratamiento especializado, (Andrade Velásquez Lorena Belén, 2018).

### **1.7.2 Clasificación de residuos sólidos**

Según el tipo de material, los desechos se pueden clasificar en dos categorías principales:

- **Orgánicos:** Estos desechos son degradados por acción biológica y se descomponen con el tiempo, integrándose al suelo. Ejemplos incluyen los residuos de animales y plantas. Dentro de esta categoría, se encuentran los desechos biodegradables putrescibles, como los residuos de jardinería, animales muertos, restos de alimentos

y residuos agrícolas. Además, están los materiales residuales que anteriormente formaron parte de un ser vivo o derivan de procesos de transformación de combustibles fósiles, (FEDOMA, 2013; Xinia Alvarado, 2005).

- **Inorgánicos:** Estos desechos están compuestos por materiales no biodegradables que no se descomponen y provienen de materia inerte, como metales, plásticos, latas, vidrio, hierro, materiales sintéticos, cartón, cerámica, papel, madera, cuero y textiles (Xinia Alvarado, 2005).

### **1.7.3 Disposición final**

Es una técnica que busca desechar adecuadamente la basura según las condiciones del entorno. Su principal objetivo es minimizar el impacto social y ambiental. En Ecuador, la gestión de residuos sólidos implica la participación de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD), quienes se encargan de recolectar y desechar los residuos. A nivel local, se implementa la separación en la fuente en algunos municipios para recuperar materiales reciclables. La producción per cápita de residuos sólidos en Ecuador es de aproximadamente 0.52 kg por habitante al día, (Guillermo Soriano Idrovo, Ángel Ramírez, y Alicia Alfonsina Punin Valdivieso et al., 2020).

### **1.7.4 Reciclaje**

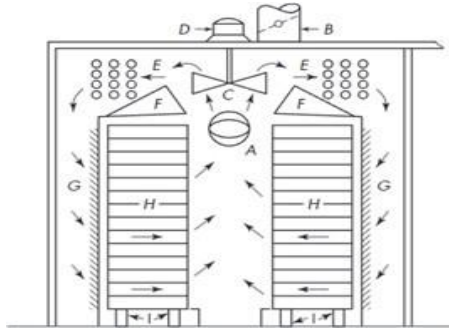
Este proceso implica la recolección, separación, clasificación y almacenamiento de ciertos materiales presentes en los desechos sólidos, con el propósito de utilizarlos como materia prima en el ciclo de producción, ya sea en el mismo sector donde se generaron o en otro diferente, a través de su industrialización, (FEDOMA, 2013).

### **1.7.5 Secadores para solidos**

En los laboratorios de investigación dedicados al tratamiento de diversos sólidos, se utilizan equipos especializados para controlar y eliminar líquidos de diversas formas. La finalidad de esta acción variará según el tipo de investigación que se esté llevando a cabo. Por ejemplo, para el área de compostaje, se emplean equipos diseñados para reducir al máximo la humedad de los residuos. Posteriormente, estos residuos se entierran en áreas denominadas granjas donde la biodiversidad del entorno contribuye a su bioconversión, (Delgado Arroyo et al., 2019).

### **1.7.6 Energía requerida para el secado**

La energía requerida para el proceso de secado es fundamental y se utiliza una variedad de mecanismos para llevarlo a cabo. Uno de estos mecanismos es el secador de bandejas como se muestra en la Figura 1, que se vale de gases calientes circulantes por bandejas dispuestas en espacios cerrados de manera continua, (Víctor Andrés Paucar Guerrero, 2018). Este proceso implica una transferencia sincrónica de materia y calor, donde la energía térmica del gas caliente se transfiere a los sólidos a secar. Esta transferencia de calor se rige por los principios de conducción, convección y radiación. La conducción se produce mediante la propagación de energía entre partículas, yendo de las más energéticas a las menos energéticas, sin implicar la transferencia de masa y a través de una interacción directa. Por otro lado, la convección implica la propagación de energía generada por el movimiento molecular aleatorio y el movimiento macroscópico, donde interactúan una superficie sólida y un fluido en movimiento con temperaturas diferentes. Finalmente, la radiación ocurre cuando la energía emitida por un cuerpo con temperatura finita se propaga a través de ondas electromagnéticas, (Diana Maya & Jaime Lobo, 2015).

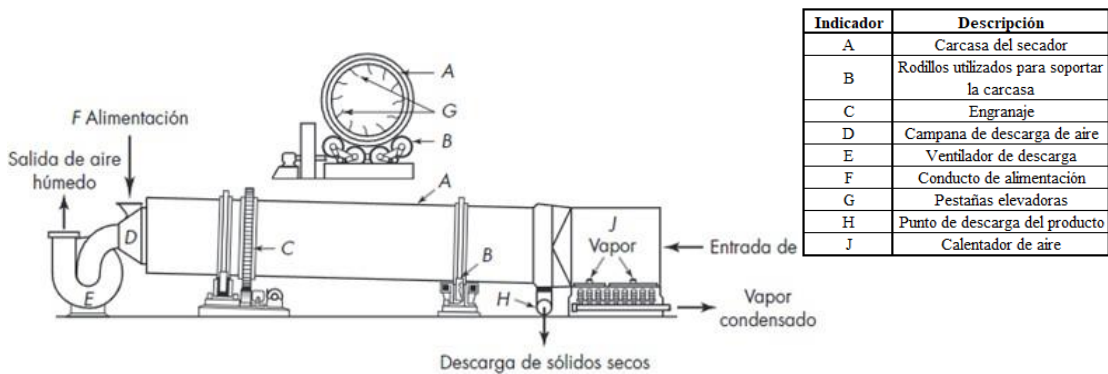


Indicador	Descripción
A	Reposición del aire fresco
B	Conducto de descarga
C	Ventilador
D	Motor
E	Calentadores
F	Distribuidor
G	Placas deflectoras
H	Bastidores
I	Ruedas

**Figura 1. Secador de bandejas.**

Fuente: (OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA et al., 2007)

Los secadores rotatorios como se puede apreciar en la Figura 2, están constituidos en cilindros inclinados que giran para transportar el material húmedo, mientras que los gases calientes fluyen en dirección opuesta al movimiento del material. Los principales factores que influyen en este proceso son el tamaño de las partículas que ingresan, la inclinación del cilindro y la velocidad de desplazamiento del material húmedo (Mortier et al., 2014).



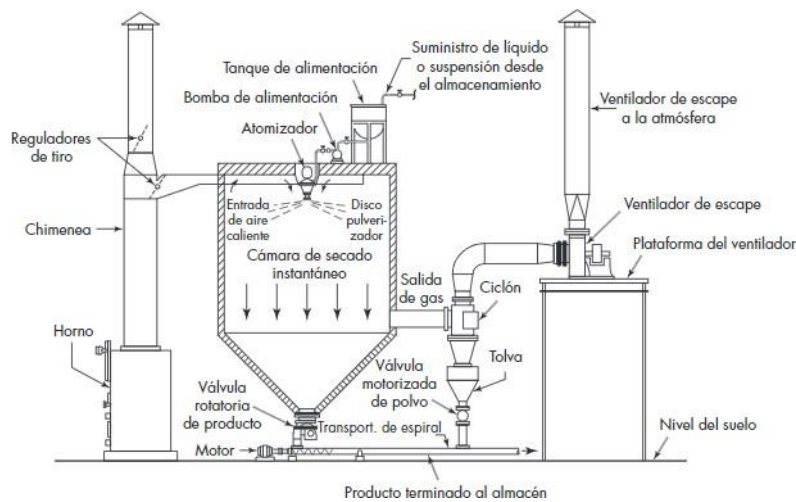
Indicador	Descripción
A	Carcasa del secador
B	Rodillos utilizados para soportar la carcasa
C	Engranaje
D	Campana de descarga de aire
E	Ventilador de descarga
F	Conducto de alimentación
G	Pestañas elevadoras
H	Punto de descarga del producto
J	Calentador de aire

**Figura 2. El secador rotatorio calentado con aire en contracorriente.**

Fuente: (OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA et al., 2007)

El secado por pulverización implica el uso de un disolvente que se evapora, dejando partículas secas, como se puede observar en la Figura 3. Este proceso consta de tres etapas

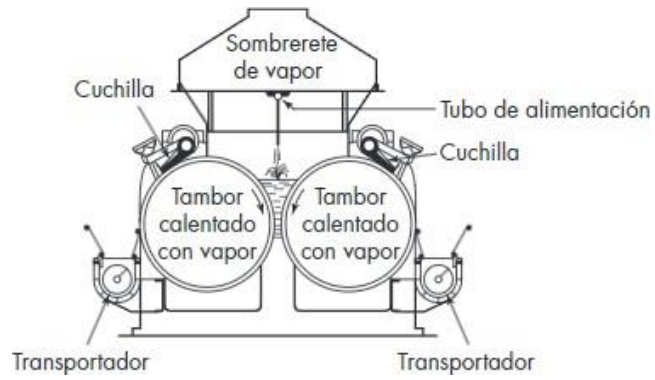
principales: la pulverización del fluido, el contacto del fluido pulverizado con el medio secante y la separación del producto seco. Las partes esenciales de estos secadores incluyen la cámara de desecación, el calentador de aire, el ventilador, el separador de polvo, el separador húmedo y la bomba de alta presión, (Wikström et al., 2023).



**Figura 3. Secador de pulverización que utiliza un flujo en paralelo.**

Fuente: (OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA et al., 2007)

Los secadores de rodillo o tambor, como se puede observar en la *Figura 4*, funcionan girando para eliminar mecánicamente películas de líquido y, simultáneamente, permiten la evaporación del disolvente gracias al flujo de gases calientes. Estos secadores son especialmente útiles para materiales sensibles al calor, ya que el corto tiempo de exposición entre las películas y el flujo de calor garantiza la obtención de una materia sólida seca con una apariencia similar a escamas, (Gómez et al., 2017).



**Figura 4. Secador con dos tambores que recibe la alimentación en su centro.**

Fuente: (OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA et al., 2007)

## **Capítulo 2**

## **2.1 Metodología.**

En el primer capítulo, se introdujo la problemática que se abordará, la cual implica brindar una tecnología que permita a diversos laboratorios y empresas tener control sobre la humedad de los RSO. El propósito es diseñar una máquina que facilite la separación de los lixiviados, con el fin de facilitar los métodos de investigación y fomentar el desarrollo de nuevas alternativas para la gestión de estos RSO.

Para llevar a cabo este proceso, se realizará un análisis exhaustivo de las alternativas disponibles, evaluando criterios importantes como la seguridad, el diseño y la viabilidad económica. Posteriormente, se establecerán los requisitos de diseño en función de las necesidades identificadas. Esto nos permitirá determinar los componentes necesarios para establecer un diseño de forma que nos brinde una visión amplia de los desafíos a abordar en la fase de diseño detallado.

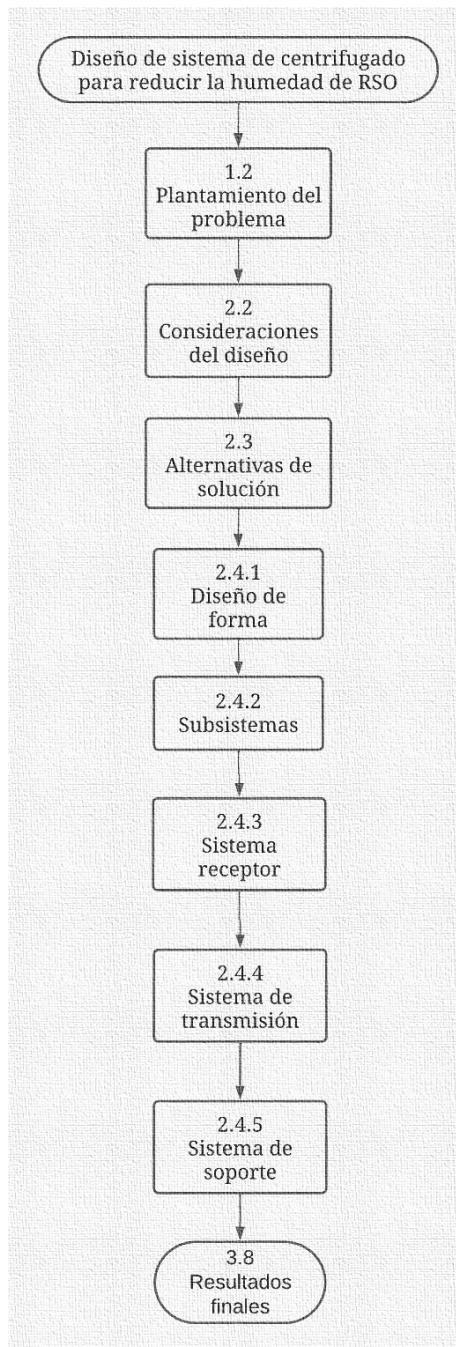
Para facilitar el proceso de diseño detallado, se recomienda agrupar las diversas partes que conforman el diseño de forma, generando subsistemas que permitan un mayor control sobre el sistema general. Para cada subsistema definido, se realizará un análisis de viabilidad para determinar su factibilidad y viabilidad de fabricación.

En cada etapa del proceso de diseño de los subsistemas, se aplicarán los conocimientos de ingeniería pertinentes para justificar las decisiones tomadas en cada componente. Estas justificaciones pueden basarse en fundamentos teóricos o en herramientas de asistencia por computadora.

Finalmente, se consolidará el resultado como un único diseño detallado, integrando la información establecida en pasos anteriores. Se mencionarán los alcances del diseño, las limitaciones, se incluirán planos e información adicional relevante suministrada al diseño.



Para una mejor comprensión de los pasos a seguir, se sugiere revisar la *Figura 5*, la cual presenta cada sección del documento para facilitar su búsqueda.



**Figura 5, Diagrama de flujo para diseño.**

Modificado: (Diseño en ingeniería mecánica, Shingley Joseph, n.d.)

## **2.2 Consideraciones del diseño**

La capacidad del equipo dependerá de la cantidad de residuos que se desee entregar al día. Se propone diseñar el equipo bajo una capacidad 60 kg de RSO, para fundamentar que se contará con esta cantidad de RSO en el campus se realizará un trabajo de pesaje e identificación de residuos en los puntos de más generación de RSO dentro del campus siendo estos bares, quioscos y comedores.

La humedad elevada en los RSO puede suponer un riesgo en el proceso de digestión de las larvas, ya que la alta cantidad de líquidos supone la presencia de hongos en los residuos. Los encargados del criadero de larvas aseguraron que el proceso de digestión se optimiza cuando se reduce la humedad de los RSO aproximadamente al 60%.

El sistema busca reducir la humedad lo cual supone una separación parcial o total de los líquidos presentes en los residuos (lixiviados), debido a los posibles riesgos de corrosión se propone diseñar el sistema empleando acero inoxidable de esta forma asegurando la longevidad de la máquina. No obstante, este material es considerablemente costoso por lo cual se propone simplificar parcialmente la capacidad del sistema, así disminuyendo las dimensiones del equipo, reduciéndolo a 20 kg, de forma que al emplear 3 ciclos de operación se llegue a los 60 kg.

## **2.3 Alternativas de solución**

La reducción de la humedad supone la reducción de los líquidos presentes en los RSO (lixiviados) para esto en los laboratorios químicos se consideraron diversas alternativas, como secadores de bandejas, secadores rotatorios, secado por pulverización y secadores de rodillo. Para cumplir los objetivos principales se propone diseñar un sistema mecánico que permita la remoción de lixiviados de los RSO para así reducir su humedad.

Se considera la reducción parcial del lixiviado de los RSO por esto se considera que la alternativa más económica sería una variante de las secadoras de rodillos, sin embargo, existen tres principales variantes que son:

1. Reducción por medio del calor empleando gas
2. Reducción por medio de la centrifugación
3. Reducción por medio de calor empleando resistencias eléctricas

### **Matriz de decisión**

Para seleccionar una alternativa correctamente se empleará el método de matrices de decisión donde se compararán las 3 opciones y serán calificadas en distintos parámetros de interés, los parámetros que para selección son: Seguridad, Costos, Mantenimiento, Maniobrabilidad y Funcionalidad.

- Seguridad: Proteger la integridad del operador al trabajar con la máquina, a mayor seguridad mayor puntaje.
- Costos: El valor del equipo y sus costos de instalación, priorizamos el más económico como el mejor puntuado.
- Mantenimiento: La disponibilidad de los componentes en el mercado para facilitar el mantenimiento preventivo.
- Maniobrabilidad: La facilidad de operación y manejo para el usuario
- Funcionalidad: El desempeño del equipo en la separación de los lixiviados y los RSO

Para la valoración de selección de alternativas a cada parámetro se le asignará un valor X de entre 0 a 100% (de forma que la suma de dichas X complete el 100%), los parámetros X con más importancia para la selección tendrán porcentajes más altos. Además, se le dará valores a Y del 1 al 10, donde 10 es mejor puntuado y 1 es peor puntuado, esta ponderación Y compara las

alternativas con respecto a un parámetro específico. En la ecuación 1 se aprecia como los valores de X y Y de cada parámetro se multiplican y suman para dar la valoración de selección, la alternativa con la valoración mayor puntuada será la seleccionada.

$$\begin{aligned} & (X_{Seguridad} * Y_{Seguridad}) + (X_{Costo} * Y_{Costo}) + (X_{Mantenimiento} * Y_{Mantenimiento}) + \\ & (X_{Maniobrabilidad} * Y_{Maniobrabilidad}) + (X_{Funcionalidad} * Y_{Funcionalidad}) = \\ & \text{Valoración de selección} \quad (1) \end{aligned}$$

### **Matriz de decisión alternativas de solución**

Para las alternativas del equipo de separación de lixiviado se priorizará el costo de implementación y la funcionalidad por sobre los demás aspectos, dando así las siguientes ponderaciones de aspectos: Seguridad 15%, Costo 30%, Mantenimiento 20%, Maniobrabilidad 5% y Funcionalidad 30%.

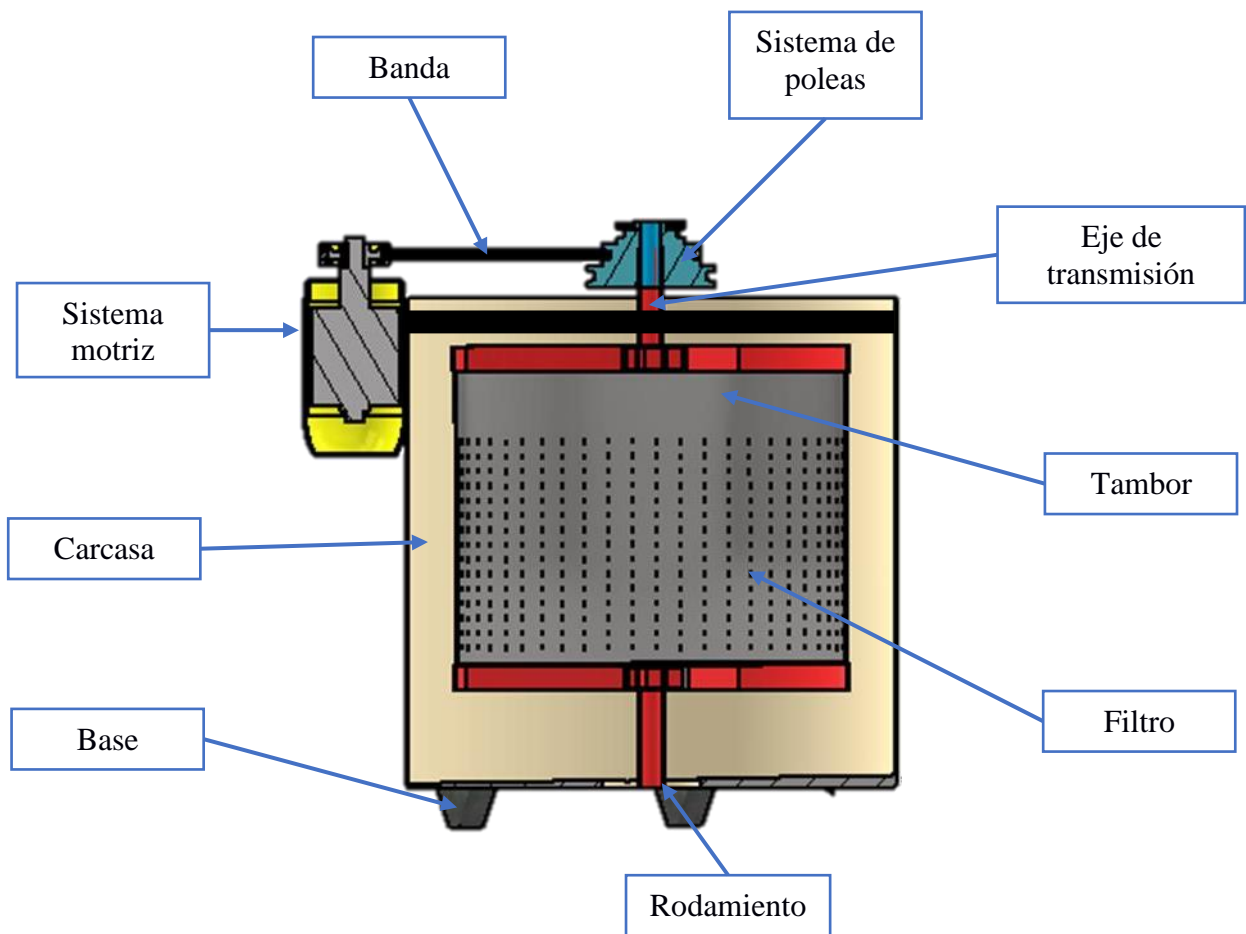
En el *Apéndice A* se aprecia la *Tabla 6* correspondiente a la matriz de decisión para la selección de alternativas de la propuesta de solución. En esta matriz se aprecia que la alternativa de un equipo de centrifugado es la mayor puntuada por lo que será el sistema para diseñar.

## **2.4 Diseño del equipo de centrifugado**

### **2.4.1 Diseño de forma**

El bosquejo propuesto para un sistema mecánico de centrifugado se aprecia en la *Figura 6*, en el bosquejo se aprecia los componentes más importantes del equipo mecánico, este diseño de forma debe ser validado por métodos de selección de componentes para establecer que

elementos lo conformarán.



**Figura 6, Diseño de forma.**

Fuente: (Elaboración propia en INVENTOR 2022)

#### **2.4.2 Subsistemas**

Observando el diseño de forma podemos establecer 3 subsistemas de suma importancia para el diseño como se puede apreciar seccionado en la *Figura 7*, a los cuales mediante el método de matrices de decisión se determinará la alternativa óptima para el diseño final.

## Sistema receptor

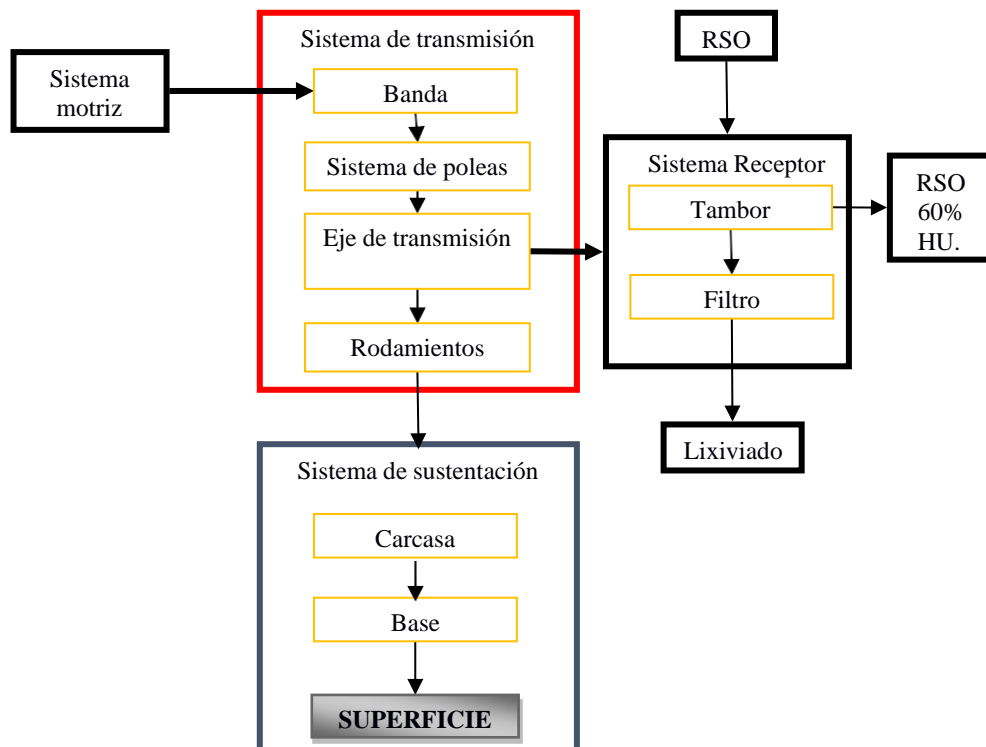
En este sistema se incluyen los componentes que almacenarán los residuos para su tratamiento, incluye el tambor y su debido componente de filtrado.

## Sistema de transmisión

Incluye todo lo que corresponde a bandas, poleas y el eje de transmisión.

## Sistema de soporte

La estructura externa y base del equipo.



**Figura 7, Diagrama de flujo de sistema.**

Fuente: (Elaboración propia)

Para asegurar que los residuos salen al 60% de humedad se puede emplear un sensor DHT22 para medir la humedad de los RSO antes de ingresar y al salir de la centrifuga, sin embargo, este sensor no se implementó por las complicaciones de colocarlo en el tambor.

### **2.4.3 Sistema receptor**

#### **Tambor**

Para el tambor, elemento esencial para el proceso de separación de RSO, se priorizarán los parámetros de costo y funcionalidad por sobre los demás dándole a estos porcentajes más altos de forma que los porcentajes de X para la ecuación 1 serán: Seguridad 10%, Costo 35%, Mantenimiento 20%, Maniobrabilidad 10% y Funcionalidad 25%.

En la *Tabla 7*, ubicada en el *Apéndice A*, se aprecia la comparación entre las 3 propuestas para el tambor: tambor con ranuras helicoidales, tambor malla de acero inoxidable, plancha perforada de acero inoxidable, de las cuales resultó ganadora la plancha perforada de acero inoxidable.

#### **Filtro**

En lo que corresponde al filtro se priorizarán los aspectos de costo y funcionalidad ya que se busca la efectividad en la retención de los residuos más pequeños, por lo cual los porcentajes para la ecuación 1 serán: Seguridad 10%, Costo 30%, Mantenimiento 10%, Maniobrabilidad 10% y Funcionalidad 40%.

En la *Tabla 8* ubicada en el *Apéndice A* se aprecia la matriz de decisión para el elemento de filtrado en la cual encontramos las siguientes alternativas: malla de nylon, malla electrosoldada de acero inoxidable y malla metálica galvanizada. De entre las cuales la malla de Nylon resultó ganadora.

## Propiedades del material

Considerando que el eje de transmisión de la centrifugadora experimentará cargas tanto de compresión como de torsión, y se empleará el material AISI 304, cuyas propiedades mecánicas encontramos en la *Tabla 13* situada en el *Apéndice C*, para su construcción.

$$S_y = 276 \text{ [MPa]} \quad (2)$$

$$S_{ut} = 568 \text{ [MPa]} \quad (3)$$

## Capacidad del tambor

Para la determinación de las dimensiones del tambor debemos definir su capacidad, teniendo en cuenta que los residuos que entrarán al equipo contendrán lixiviados en cierto porcentaje y al tener dicho liquido en consideración tendremos que la masa que ingresa:

$$m_{total} = m_{RSO} + m_{Lixiviados} \quad (4)$$

## Dimensiones del tambor

Como se aprecia en la *Tabla 3*, el material del tambor será de acero inoxidable y para la fabricación del tambor se contemplará adquirir una plancha perforada de este, el material en cuestión es algo costoso por lo que no se puede sobredimensionar tanto el tambor.

El tambor fue definido como uno cilíndrico por lo que su volumen será reflejado por la siguiente relación

$$Volumen_{tambor} = \frac{\pi}{4} * (D^2) * (H) \quad (5)$$



El tambor albergará los RSO, y tras el proceso de centrifugado removerá los lixiviados de estos, por lo que podremos definir los volúmenes de estos factores:

$$V_{RSO} = \frac{m_{RSO}}{\rho_{RSO}} \quad (6)$$

$$V_{lixiviado} = \frac{m_{lixiviado}}{\rho_{lixiviado}} \quad (7)$$

La suma de estos volúmenes debe ser igual a la del volumen ingresado al tambor, por lo que:

$$V_{total\ de\ llenado} = V_{RSO} + V_{lixiviado} \quad (8)$$

Este volumen de ingreso nos permitirá establecer una relación de volumen entre el tambor y los RSO entrantes la cual será denominada relación de llenado

$$\%llenado = \frac{V_{total\ de\ llenado}}{V_{tambor}} * 100\% \quad (9)$$

Para el diseño de lavadoras se recomienda que esta relación de llenado no debe ser mayor al 70% ya que, si no hará falta un tambor más grande y por ende cambiar las dimensiones de todo el diseño, para el equipo de centrifugado nos basaremos en dicho criterio.

Finalmente, debemos definir la longitud de la plancha de acero que conformará el tambor, esta vendrá dada por la siguiente formula:

$$L = \pi * D \quad (10)$$

#### **2.4.4 Sistema de transmisión**

##### **Mecanismo de transmisión de potencia**

El sistema de transmisión de potencia es esencial para el funcionamiento rotativo del tambor, y las opciones de diseño incluyen diferentes tipos de ejes y mecanismos como poleas y

correas, engranajes, entre otros. Esta elección impacta directamente en aspectos clave como eficiencia operativa, seguridad y mantenimiento. En esta categoría, los parámetros de mayor relevancia son el mantenimiento y la funcionalidad, con la siguiente distribución de porcentajes para la ecuación 1: Seguridad 10%, Costo 20%, Mantenimiento 30%, Maniobrabilidad 10%, y Funcionalidad 30%. En la *Tabla 10* del *Apéndice A* se muestra la matriz de decisión para este componente, donde el sistema de poleas variables fue el resultado ganador.

### **Eje de transmisión**

En el sistema de centrifugado el eje de transmisión sirve como guía de los RSO que se moverán dentro del equipo, los parámetros de costo y mantenimiento se priorizarán entre los demás dando la distribución de porcentajes para la ecuación 1 como: Seguridad 10%, Costo 40%, Mantenimiento 30%, Maniobrabilidad 10% y Funcionalidad 10%.

En la *Tabla 9* ubicada en el *Apéndice A* se observa la matriz de decisión correspondiente a este componente con las alternativas a comparar siendo: eje circular constante y paso constante, eje circular variable y paso constante y eje circular constante con paso variable, de las cuales la elegida resultó: eje circular constante y paso constante.

### **Factores de modificación**

- **Factor de modificación de condición de superficies**

Este factor está representado por la expresión matemática como:

$$k_a = a \cdot S_{ut}^b \quad (11)$$

Donde los valores a y b dependerán de la calidad del acabado y estarán definidas en:

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	Sut [kpsi]	Sut [MPa]	
Esmerilado	1,34	1,58	Esmerilado
Maquinado o laminado en frio	2,70	4,51	Maquinado o laminado en frio
Laminado en caliente	14,40	57,70	Laminado en caliente

**Tabla 1, Coeficientes de modificación de condición para superficies.**

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2011)

- **Factor de modificación por tamaño**

Dado que el eje estará sometido a cargas axiales, no habrá efectos significativos derivados del tamaño, lo que implica que el factor de modificación de tamaño no será relevante.

$$k_b = 1 \quad (12)$$

- **Factor de modificación de carga**

El eje está sometido a fuerzas de flexión y torsión, y dado que se trata de cargas de torsión combinadas

$$k_c = 1 \quad (13)$$

- **Factor de modificación de temperatura**

Se calcula que la temperatura de operación se encuentra dentro de las condiciones ambientales normales, por lo tanto

$$k_d = 1 \quad (14)$$

- **Factor de confiabilidad**

Se trabajará bajo una confiabilidad del 90%, dando como resultado:

$$k_e = 0.897 \quad (15)$$

- **Factores de modificación varios**

En este contexto, se asumirán como insignificantes los efectos no mencionados previamente en el diseño, resultando en un factor de corrección de otros.

$$k_f = 1 \quad (16)$$

- **Límite de resistencia a la fatiga**

Para el análisis de resistencia mecánica se considera el punto crítico del límite de resistencia a la fatiga

$$S_f = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (17)$$

Los factores de modificación mencionados previamente modificarán la resistencia a la fatiga, para este proyecto se trabajará considerando los siguientes valores para cada factor:

Factor de modificación	Valor
$k_a$	0.84
$k_b$	1
$k_c$	1
$k_d$	1
$k_e$	0.897
$k_f$	1

**Tabla 2, Factores de modificación para la resistencia a la fatiga.**

### **Inercia del sistema y de los RSO**

Es importante conocer la inercia de los elementos que van a rotar, ya que con esto podemos seleccionar el motor apropiado cuya potencia pueda vencer dicha inercia, la inercia total de dichos elementos será

$$I_{total} = I_{tambor} + I_{eje} + I_{filtro} + I_{RSO} \quad (18)$$

La inercia de los RSO puede ser determinada asumiendo que al iniciar el ciclo de centrifugado los residuos se acumularán en las paredes del tambor de tal forma que pueden ser considerados como un cilindro hueco para el cual su inercia es:

$$I_{Cilindro\ Hueco} = m_{Cilindro} * R_{cilindro}^2 \quad (19)$$

$$I_{RSO} = m_{RSO}R^2 \quad (20)$$

El radio R deberá ser consistente con el radio que tendrá el tambor, las inercias del tambor y del eje pueden ser calculadas mediante software de diseño como inventor.

### **Potencia del motor**

Para dar paso a la centrifugación se requiere romper la inercia de los elementos que van a estar en rotación, en este caso serán los RSO, el tambor y el eje, conociendo esta inercia total se procederá a escoger un motor eléctrico adecuado para trabajar esa potencia bajo los rpm establecidos.

La ecuación de la potencia está dada por:

$$P = T\omega \quad (21)$$

Sabiendo que:

$$T = I_{total}\alpha \quad (22)$$

$$\alpha = \frac{m}{s} \quad (23)$$

Tendremos la Potencia en función de la inercia, la velocidad angular y el tiempo:

$$P = (I_{total}a)m = \frac{I_{total}m^2}{t} \quad (24)$$

Esta potencia debe ser convertida a HP (caballos de fuerza) para facilitar encontrar el motor apropiado en el mercado

$$P_{HP} = P_{wats} * \frac{0.00134102 HP}{1 wat} \quad (25)$$

Conociendo la potencia y los rpm podremos seleccionar el motor eléctrico apropiado para el sistema empleando los catálogos comerciales para motores.

## Poleas

### Relación de transmisión

Se define como la proporción entre la velocidad de rotación de la rueda conducida y la velocidad de rotación de la rueda motriz, influenciada por las dimensiones relativas de las ruedas, y se formula mediante la siguiente ecuación:

$$mv = \frac{D_{out}}{D_{in}} = \frac{m_{out}}{m_{in}} \quad (26)$$

La distancia máxima y mínima presentada en una configuración de poleas está definida por la relación entre sus diámetros y se expresa como:

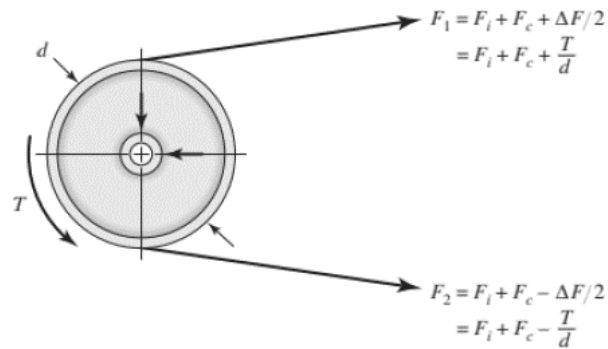
$$C_{max} = 1,5(D_{motriz} + D_{polea}) \quad (27)$$

$$C_{min} = 0,7(D_{motriz} + D_{polea}) \quad (28)$$

### Selección de bandas

La *Figura 8* ilustra el comportamiento de las fuerzas en la banda mediante un diagrama de cuerpo libre. En este diagrama, un extremo de la banda se considera tenso, mientras que el

otro se considera holgado. Estas fuerzas son responsables de generar la fuerza neta sobre la banda, la cual induce el par de torsión en la polea y, simultáneamente, actúan como fuerzas flexionaste en el sistema de transmisión.



**Figura 8, Diagrama de tensiones en polea.**

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2007)

$$P = w * Torque \rightarrow Torque = \frac{P}{w} \quad (29)$$

$$Tension \rightarrow T = \frac{Torque}{r} \quad (30)$$

$$T = \frac{P}{w * r} \quad (31)$$

### Tensiones de banda

El torque corregido ecuación 32 nos para encontrar las tensiones que están la *Figura 8*

, estas tensiones son conocidas como tensión ajustada ecuación 33 y holgada ecuación 34:

$$T = \frac{63025 H_{nom} K_s n_d}{n} \quad (32)$$

$$F_2 = (F_1)_a - \frac{T}{d} \quad (33)$$

$$(F_1)_a = b F_a C_p C_v \quad (34)$$

Puntos de interés también será la fuerza inicial ecuación 35 y el coeficiente de fricción de la banda y polea ecuación 36.

$$F_i = \frac{(F_1)_a + F_2}{2} - F_c \quad (35)$$

$$f' = \frac{1}{\theta_d} \ln \left( \frac{(F_1)_a - F_c}{F_2 - F_c} \right) \quad (36)$$

### Eje de transmisión

La obtención del diámetro de eje dependiendo de la carga se da mediante la ecuación 37.

$$d = \left[ \frac{32 * N}{\pi} * \left( \sqrt{\left( \frac{K * M}{S_f} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{T}{S_{ut}} \right)^2} \right) \right]^{1/3} \quad (37)$$

El factor  $K_t$  corresponde al factor de concentración de esfuerzos, además dentro de la ecuación encontramos: el momento máximo, el torque, el factor de seguridad, el esfuerzo corregido y el esfuerzo último.

### Rodamientos

Para determinar una carga equivalente que nos permite considerar las diversas reacciones que el rodamiento deberá soportar cuando sea situado en su eje:

$$P = VXR + YT \quad (38)$$

La ecuación de corrección de carga nos permite sobre dimensionar la carga equivalente con la intención de tratar de prolongar una vida útil del rodamiento.

$$C = P \left( \frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (39)$$



Existe una relación entre la carga tangencial y el valor de carga dimensionada por catálogo del rodamiento seleccionado conocido como  $e$ , esta nos permite confirmar que el rodamiento seleccionado no sufrirá falla bajo las reacciones.

$$\frac{T}{C_0} = e \quad (40)$$

#### 2.4.5 Sistema de soporte

##### Carcasa y base

La estructura externa del sistema servirá tanto como base y recubrimiento, por lo que es crucial que el material sea resistente y fácil de encontrar en el mercado. Priorizaremos los parámetros de costo y seguridad, con los siguientes porcentajes para la ( $X_{Seguridad} * Y_{Seguridad}$ ) + ( $X_{Costo} * Y_{Costo}$ ) + ( $X_{Mantenimiento} * Y_{Mantenimiento}$ ) + ( $X_{Maniobrabilidad} * Y_{Maniobrabilidad}$ ) + ( $X_{Funcionalidad} * Y_{Funcionalidad}$ ) = **Valoración de selección** (1 1: Seguridad 25%, Costo 25%, Mantenimiento 20%, Maniobrabilidad 10%, y Funcionalidad 20%.

En la *Tabla 11* colocada en el *Apéndice A* se aprecia la matriz de decisión para seleccionar el material del cual se va a fabricar la carcasa y base del equipo, cuyas alternativas son: acero galvanizado, acero de grado alimenticio y acero inoxidable, siendo la ganadora acero inoxidable.

##### Fórmulas para sistema de soporte

Para la carcasa que cubre al tambor tendremos un ángulo de inclinación que se ve reflejado por la ecuación 41, donde R es el radio del tambor.

$$H = R \tan a \quad (41)$$

##### Selección final

Las tablas a continuación muestran los resultados del proceso de selección.

En la *Tabla 3* se observan los resultados de selección para los componentes principales del sistema receptor.

Sistema receptor	
Componente	Alternativa ganadora
Tambor	Plancha de acero inoxidable perforada y rolada
Filtro	Malla de filtración nylon

**Tabla 3, Resultados selección sistema receptor.**

En la *Tabla 4* se observan los resultados de selección para los componentes del sistema de transmisión.

Sistema de transmisión	
Componente	Componente
Eje de transmisión de potencia	Eje de transmisión de potencia
Mecanismo de transmisión de potencia	Mecanismo de transmisión de potencia

**Tabla 4, Resultados selección sistema de transmisión.**

En la *Tabla 5* se observan los resultados de selección para los componentes principales del sistema de soporte.

Sistema de soporte	
Componente	Alternativa ganadora
Carcasa y base	Acero inoxidable

**Tabla 5, Resultados selección sistema de soporte.**

#### 2.4.6 Amortiguamiento

La ecuación 42 es una ecuación diferencial lineal de segundo orden que describe el comportamiento de un oscilador amortiguado y forzado.

Ecuación general:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = 0 \quad (42)$$

Donde:

$m$  representa la masa del sistema

$c$  es el coeficiente de amortiguamiento

$k$  es la constante del resorte

$x(t)$  es la posición del oscilador en función del tiempo  $t$ .

Esta ecuación es fundamental en la física y la ingeniería, ya que se utiliza para modelar una amplia variedad de sistemas oscilatorios, desde oscilaciones mecánicas en sistemas de suspensión de automóviles hasta vibraciones en estructuras de edificios.

La ecuación 43 describe un movimiento armónico amortiguado, donde los términos involucrados:

$$x(t) = Ae^{-Qt} \cos(m_d t) \quad (43)$$

Donde:

$x(t)$  representa la posición de un objeto en función del tiempo.

$A$  es la amplitud máxima de la oscilación. Indica la máxima distancia desde la posición de equilibrio.

$e^{-\beta t}$  es el término de amortiguamiento exponencial, donde  $\beta$  es la constante de amortiguamiento. Este término describe cómo la amplitud de la oscilación disminuye con el tiempo debido al amortiguamiento.

$\cos(\omega_d t)$  es una función coseno que modela el componente oscilatorio del movimiento.  $\omega_d$  es la frecuencia angular del movimiento amortiguado, que depende de la frecuencia natural del sistema y la constante de amortiguamiento.

## **Capítulo 3**

### 3.1 Resultados y análisis

### 3.2 Sistema receptor

#### 3.2.1 Cantidad de Residuos producida en el campus

La cantidad de RSO generados en la ESPOL se detalla en la *Tabla 12* ubicada en el *Apéndice B*, sin embargo, de dicha cantidad producida se procesa 60 kg para el uso para los fines de bioconversión por larvas de moscas.

#### 3.2.2 Volumen del tambor

Como podemos observar en la  $Volumen_{tambor} = \frac{\pi}{4} * (D^2) * (H)$

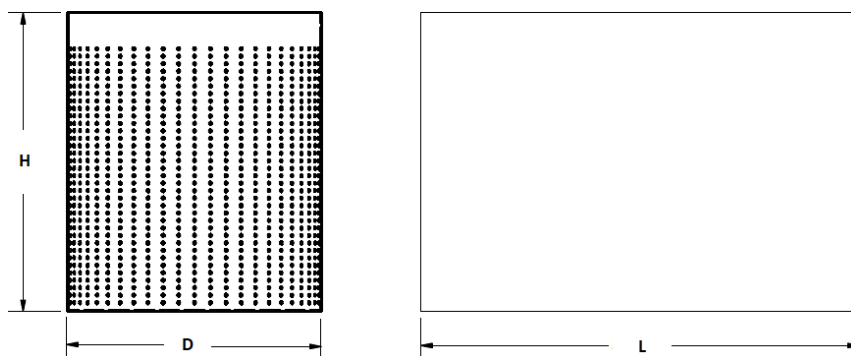
$(5Volumen_{tambor} = \frac{\pi}{4} * (D^2) * (H))$  (5 el volumen del tambor cilíndrico

dependerá de la altura y del radio, los valores que asignamos para estos son un diámetro de 51 cm y una altura de 60 cm, estas dimensiones corresponden a los recipientes empleados para el proceso de pesaje de RSO.

Por lo que aplicar estos valores tendremos un volumen de

$$V_{tambor} = \frac{\pi}{4} (0.51)^2(0.60) = 0.12 [m^3]$$

En la *Figura 9* se muestra un tambor cilíndrico hecho con una plancha de acero inoxidable y como definir las dimensiones requeridas para su fabricación:



### Figura 9, Plancha a rolar.

$$L = \pi * D = 1.60[m]$$

#### 3.2.3 Volumen de RSO

Obtener el volumen para los RSO será complicado debido a que los residuos no están compuestos de un solo elemento o material por esto se asumirá una densidad de  $300 \text{ kg/m}^3$  basada en la bibliografía. En cuanto a los lixiviados, se consideran como un líquido no viscoso y se manejan con la densidad del agua, que es de  $1000 \text{ kg/m}^3$ . De modo que empleando la ecuación 10.

$$V_{RSO} = \frac{20[kg]}{300 \left[\frac{kg}{m^3}\right]} = 0,067[m^3]$$

#### 3.2.4 Relación de llenado

Con los datos de volumen obtenidos en las secciones anteriores y empleando la ecuación 13 podemos apreciar la relación de llenado.

$$\%_{llenado} = \frac{0.067 [m^3]}{0.12[m^3]} * 100\% \rightarrow \%_{llenado} = 57\%$$

Esta relación de llenado cumple con ser menor a 70%, por lo que quedará espacio libre en el tambor al ser llenado, esto ayudará a que los residuos se distribuyan a las paredes del tambor durante la centrifugación, (Gómez et al., 2017).

### 3.3 Sistema de transmisión

#### 3.3.1 Inercia del sistema

Para que el tambor empiece a rotar el motor debe vencer la inercia de los elementos que van a girar, para esto es necesario conocer la inercia de giro total, que encontramos en la

ecuación 18 la inercia del filtro al ser sumamente pequeña en comparación a las demás será despreciada:

$$I_{tambor} + I_{eje} = 1.282 [kg * m^2]$$

No obstante, la inercia de los RSO será determinada mediante la ecuación 20 dando como resultado

$$I_{RSO} = m_{RSO}R^2 \rightarrow I_{RSO} = (21) * \left(\frac{0.255^2}{1000}\right) = 1.36 [kg * m^2]$$

Dando la Inercia de giro total

$$I_{total} = (1.282) + 1.36 = 2.642 [kg * m^2]$$

### 3.3.2 Potencia del motor

Se aplica la ecuación 24, donde se considera que la velocidad de centrifugado para un sistema de 20-35 kg con radio no mayor a un metro debe estar dentro del rango de 300 a 1500 rpm. Para este diseño específico, se utilizará un motor que pueda entregar un máximo de 600 rpm, (Diego Mauricio Maldonado Bernabé, 2010). La velocidad angular, medida en rpm, debe ser convertida a radianes por segundo para asegurar la uniformidad de las unidades. Utilizando la conversión adecuada, obtenemos 62.83 [rad/s]. En cuanto al tiempo de estabilidad del cuerpo rotatorio se encuentra entre los 8 y 12 segundos. Esto nos permite establecer que, para el modelo propuesto de 20 kg, se considera un tiempo aproximado de 10 segundos (Diego Mauricio Maldonado Bernabé, 2010).

$$P = (I_{total}\alpha)\omega = \frac{I_{total}\omega^2}{t} = \frac{2.642 * (62.83)^2}{10} = 1043.02 [watts]$$

Esta potencia en caballos de fuerza es:



$$P_{diseño} = watts * \frac{1 HP}{745.7 watts} = 1.4[HP]$$

Para la potencia del motor a seleccionar se empleó un factor de seguridad de 1.07 para asegurar un margen de operación por encima de lo requerido.

$$P_{motor} = P * \eta = 1.4 * 1.07 = 1.5[HP]$$

- **Selección de motor**

En la *Tabla 23* colocada en el *Apéndice F* se aprecia el catálogo de motores eléctricos SIEMENS, del cual se seleccionó el motor 1LE1001-1AD5. Se eligió un motor con una potencia y revoluciones mayor a los establecidos para asegurarnos que el sistema trabaje con normalidad si se llega a cargar un poco más de los 20 Kg establecidos.

### 3.3.3 Selección de polea y banda

#### Selección de Polea

Para la selección polea se definir primeramente el factor de servicio, en la *Tabla 14*, ubicada en el *Apéndice D*, se detalla los parámetros y los distintos factores de servicio. Considerando que el funcionamiento del sistema es similar al de las máquinas de lavandería por ser un equipo de centrifugación y bajo servicio intermitente se selecciona un factor de servicio de 1.1.

Con el factor de servicio, la potencia de diseño y los rpm del eje se puede aplicar la *Tabla 16*, ubicada en el *Apéndice E*, para identificar en que dominio de poleas se va a trabajar.

Teniendo en cuenta que la potencia de diseño será:

$$P_{diseño} = P_{motor} * Factor\ de\ servicio = (1.5 HP) * (1.1) = 1.65 HP$$

Además, los RPM del eje son 1440, por lo cual la polea entra en la zona de bandas A.

En la *Tabla 15*, se puede estimar el diámetro mínimo recomendado, para esto se requiere conocer los Hp. Para este caso el diámetro motriz dará 2.5 [in].

### **Diámetros de poleas**

Empleando la ecuación 26 se podrán establecer las relaciones necesarias para encontrar los diámetros de las poleas, para esto se considera la velocidad angular definida en la selección del motor:

$$|mv_1 = \frac{695}{600} = 1,16 \mid |mv_2 = \frac{695}{450} = 1.54 \mid |mv_3 = \frac{695}{300} = 2.32|$$

De forma que los diámetros D1, D2 y D3 de las poleas serán 6[in], 8[in] y 12[in] respectivamente.

### **Distancia entre centros**

Una vez definidos los diámetros se encontrará la distancia máxima y mínima entre los centros mediante las ecuaciones 27 y 28, y los valores obtenidos en la sección previa se obtienen las distancias entre centros que se detallan en la *Tabla 20* en el *Apéndice E*.

La distancia entre centros máxima es de 21.75 in, en la *Tabla 18*, ubicada en el *Apéndice E*, correspondiente al catálogo de poleas se puede observar como a razón de velocidad de 4.87 y una distancia entre centros de 22.5 in tendremos las siguientes características para la selección de banda:

$$Largo \ de \ banda = 75 \ [in]$$

$$Potencia \ de \ banda = 1.87 \ [Hp * banda]$$

$$Factor \ de \ corrección = 0.95$$

$$\# \text{ de bandas} = \frac{\text{Potencia de diseño}}{\text{Potencia corregida}} = \frac{1.4}{(1.87) * (0.95)} = 0.788 \approx 1$$

Con estas características se puede realizar la selección de la polea que acaba siendo: 1 A 1905 P (Martin, 2023).

### 3.3.4 Diseño de eje

#### Balance de fuerzas

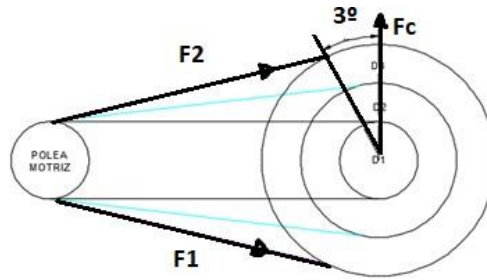
Por medio de la definición del torque en función de la potencia en las ecuaciones 29 y 30 podemos encontrar el valor de la tensión en ambas poleas. En la *Figura 10* se aprecia el diagrama de cuerpo libre para las tensiones de la banda.

$$r = \frac{P_{motor}}{\omega} = \frac{1117.5 \text{ [watts]}}{72.78 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right]} = 15.35 \text{ [Nm]} = 135.59 \text{ [lbf in]}$$

#### Tensiones de banda

Las cargas en una banda por las poleas incluyen una tensión y una compresión debido al movimiento angular entre ellas. Para determinar estas tensiones, usaremos la ecuación de la *Figura 8* que se encuentra en el capítulo 2.

Calculando una fuerza equivalente para las tensiones generadas por la banda:



**Figura 10, Diagrama de cuerpo libre de tensiones de banda.**

Fuente: (Elaboración propia)

El ángulo mayor de contacto será 3 grados por lo que se puede observar en la *Figura 10* donde está la representación del sistema de poleas. En el *Apéndice E* se encuentran las *Tabla 19*, *Tabla 21* y *Tabla 23* de donde se seleccionaron los factores para resolver las ecuaciones:  $32T =$

$$\frac{63025H_{nom}K_s n_d}{n} \quad (32, 33) \quad F_2 = (F_1)_a - \frac{2T}{d} \quad (33 \text{ y } 34)$$

$$34(F_1)_a = bF_a C_p C_v \quad (34)$$

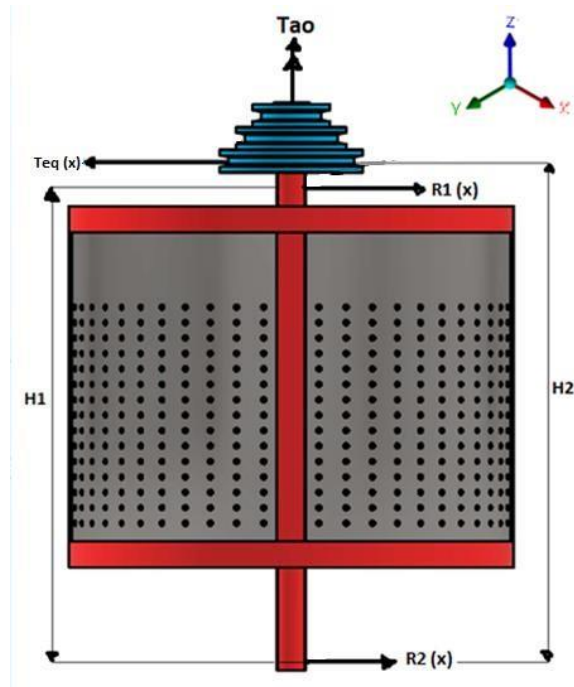
$$\theta_d = 3^\circ$$

$$\gamma = 0.037 \left[ \frac{lbf}{in^3} \right], \quad f = 0.8, \quad F_a = 60 \left[ \frac{lbf}{in} \right], \quad C_p = 0.73, \quad C_v = 1$$

En la

*Figura 11* se muestra el diagrama de cuerpo libre del eje de transmisión, incluyéndolas fuerzas de reacción con los rodamientos y las tensiones. Con este diagrama y aplicando un análisis de fuerzas estático, podemos calcular el valor de las reacciones. Estos valores nos ayudarán a generar un diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores para identificar los puntos críticos. La información obtenida nos permitirá calcular el diámetro del eje necesario y determinar el tipo de rodamiento a utilizar.

$$T_{eq} = 46.56[lbf] = 207.11[N]$$



**Figura 11, Diagrama de cuerpo libre de tambor.**

Fuente: (Elaboración propia)

Como es un árbol de transmisión encontraremos dos planos de interés para el estudio los cuales nos ayudarán a determinar la magnitud requerida en el sistema para el plano XZ tendremos:

$$\sum M_2 = 0$$

$$r + T_{eq}H_2 - R_{1x}H_1 = 0$$

$$r + T_{eq}H_2 = R_{1x}H_1$$

$$R_{1x} = \frac{r + (T_{1x} + T_{2x})H_2}{H_1}$$

$$R_{1x} = \frac{15.35 + (207.11) \left( \frac{850.80}{1000} \right)}{\left( \frac{750.80}{1000} \right)} = 255.19[N]$$

$$\sum F_x = 0$$

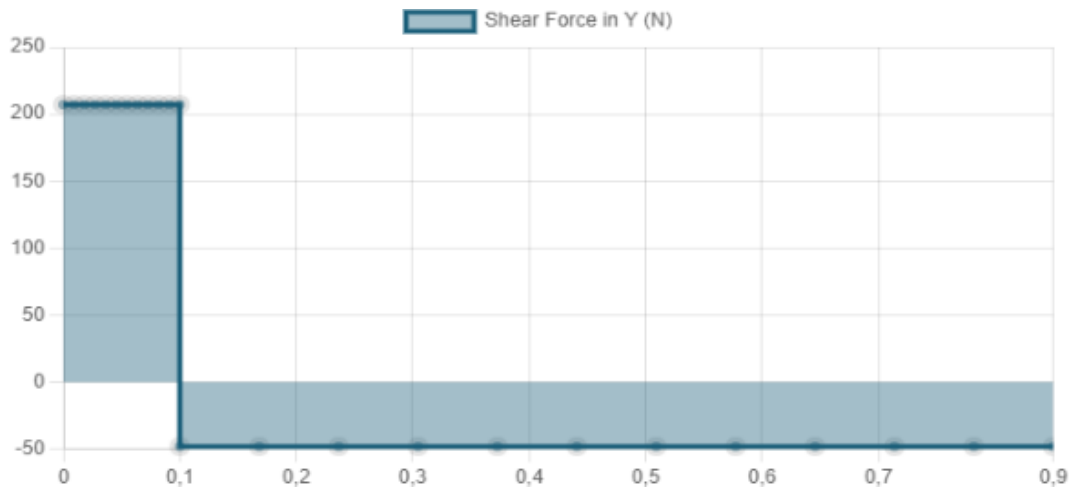
$$-T_{eq} + R_{1x} + R_{2x} = 0$$

$$R_{2x} = T_{eq} - R_{1x}$$

$$R_{2x} = 255.19 - 207.11 = 48.08[N]$$

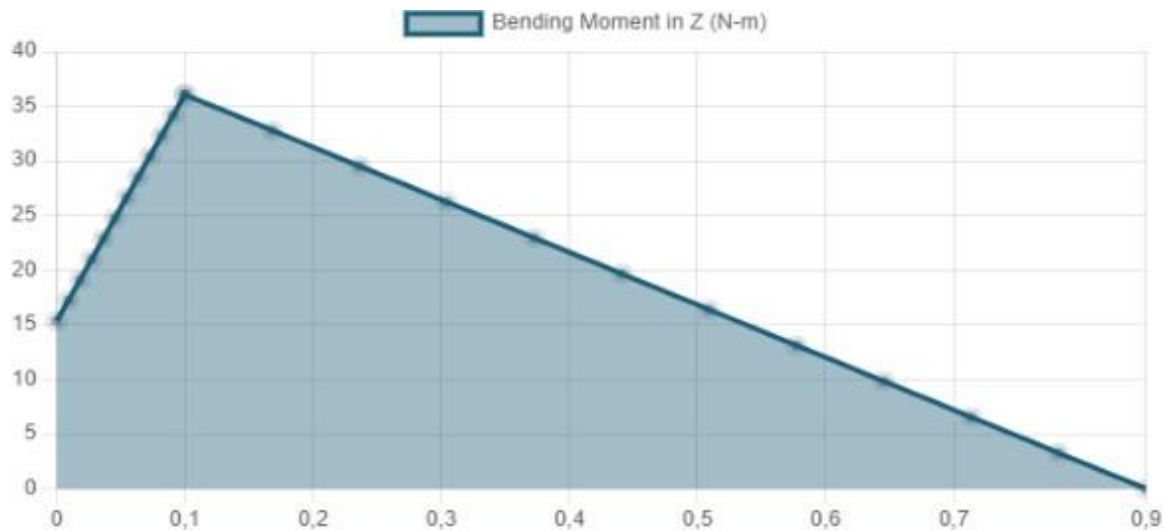
### **Diagrama de fuerza cortante y momento flector**

Los diagramas de fuerza cortante y momento flector describen el comportamiento de las fuerzas y los momentos a lo largo del eje respectivamente, conociendo las fuerzas que actúan sobre este podemos graficar dichos diagramas. En la *Figura 12*, donde se puede observar que existe una fuerza inicial que es la ejercida por las tensiones de la polea, también en la *Figura 13*, podemos observar los máximos momentos ejercidos por el eje, este se encuentra en la parte inferior debido a que es el brazo de palanca más grande que dispone el eje con respecto a las aplicaciones de las tensiones.



**Figura 12, Diagrama de cortante para el eje.**

El momento máximo que se aprecia en la *Figura 13*, correspondiente al diagrama de momento cortante.



**Figura 13, Diagrama de momento flector para el eje.**

### Diámetro del eje

El diámetro del eje se calcula mediante la ecuación 37, tomando en cuenta lo siguiente:

Torque por motor:

$$r = \frac{P_{motor}}{\omega} = \frac{1117.5 \text{ [watts]}}{72.78 \left[ \frac{rad}{s} \right]} = 15.35 [Nm]$$

Momento máximo, que se observa en la Figura 13 de momento flector:

$$M = 36.061 [Nm]$$

En la ecuación 2 tenemos el valor de  $S_y$ , mientras que los factores de modificación se enlistan en la Tabla 2, Factores de modificación para la resistencia a la fatiga. y en la ecuación 17.

$$S_f = (0.84)(1)(1)(1)(0.897)(1)(0.5 * 568) = 213.988 [Mpa]$$

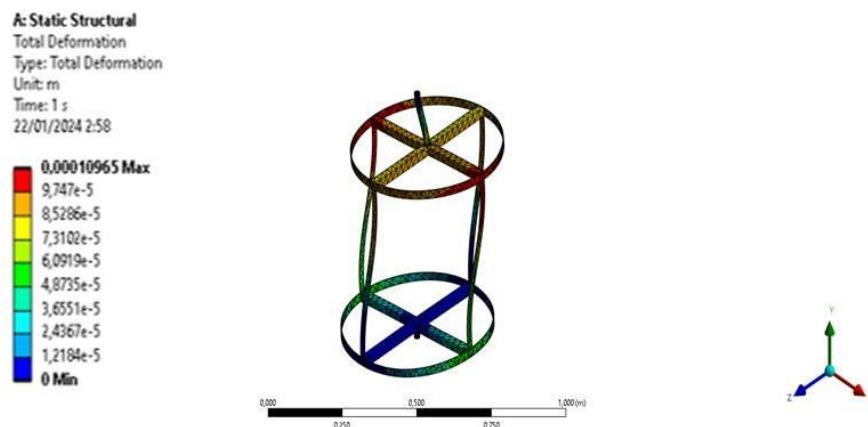


Se empleará un factor de seguridad de 2 y un factor de concentración de esfuerzos de 2 dando como resultado:

$$d = 19.02 [mm] = 0.75[in] = \frac{3}{4} [in]$$

Con lo anteriormente planeado se realizó una simulación por medio de ANSYS 2023 con un numero de 50000 elementos, simulando las cargas estudiadas para observar las concentraciones de esfuerzos y las deformaciones máximas.

Al terminar el estudio asistido por computadora, que se observa en la *Figura 14*, obtuvimos una deformación máxima de 0.00010965 [m] (0.1 mm), lo cual para aplicaciones prácticas es sobresaliente y aceptable.



**Figura 14, Ensayo de deformación en ANSYS.**

Fuente: (Elaboración propia)

Con respecto a los esfuerzos máximos estos se encuentran en la parte superior del eje donde se encuentra las cargas generadas por el motor y la banda. En la *Figura 15* se puede apreciar cómo actúan los esfuerzos, este esfuerzo tuvo como valor máximo de 4250 [Pa]

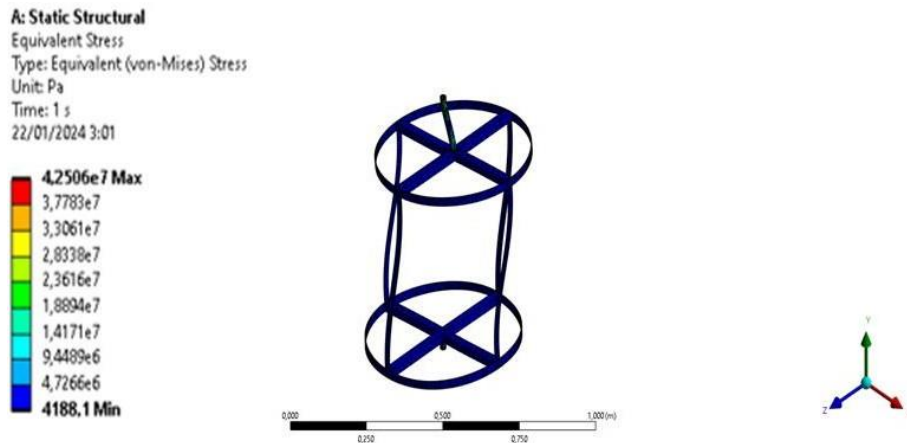


Figura 15, Ensayo de esfuerzos en ANSYS.

Fuente: (Elaboración propia)

## Selección de rodamiento

### Cálculos de carga equivalente

Retomando la ecuación 38 en adición a *Tabla 24*, ubicada en el *Apéndice G*, se puede definir los valores de X y Y para el correspondiente cálculo.

$$\frac{T}{R} < e$$

Recordando que por los calculos anteriores que las reacciones son  $R_{1x} = R = 255.19[N]$  y  $T_{eq} = T = 207.11[N]$ , entonces  $e = 0.18$ , pero este valor no se encuentra en la *Tabla 24*, Factores para rodamiento rígido de bola. disponible por lo que se procede a selección el e mas cercano entonces se sabe que  $X = 0.56$  y asumiendo que  $Y = 1$ .

$$P = 1.5(0.56)(207.11) + 2.25(255.19) = 322.54[N]$$

Definimos que el diámetro del eje que sería el diámetro mínimo de  $\frac{3}{4} [in]$  y que la vida util ( $L_d$ ) sera de 10000 horas según la recomendación de diseño de SKF para maquinas

industriales que vemos en la *Tabla 25* ubicada en el *Apéndice G*. Mediante la ecuación 39 podemos calcular carga corregida para selección según la vida útil estimada:

$$C = P \left( \frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}} = 322.54 \left( \frac{10000[h] \left( 600 \left[ \frac{rev}{min} \right] \right) \left( \frac{60[min]}{1[h]} \right)}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 2294.48[N]$$

El valor de k dependerá del tipo de rodamiento como para este caso se está seleccionando rodamiento de bola, el valor es 3

### Selección de rodamiento

Según los cálculos realizados se recomienda seleccionar el rodamiento YET204-012 sus especificaciones están en la *Tabla 26, Apéndice G*, que cumple con el requerimiento encontrados el cual es:

$$C = 2294.48[N] < C_{permisible}$$

También se puede calcular el verdadero valor de e, en este caso como se puede observar el valor es menor a lo esperado dando como resultado un valor mejor para Y y una fuerza corregida menor a la inicial, por ende se puede omitir esta iteración y definir el rodamiento inicial.

$$\frac{T}{C_0} = \frac{207.11}{12700} = 0.02$$

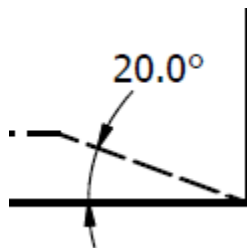
## 3.4 Sistema de soporte

### 3.4.1 Diseño de carcasa

Para la evacuación de todo lixiviado extraído se presente realizar una sección de desalojo, para esto se calcula una pendiente facilitando que el lixiviado fluya hasta la salida requerida, en este caso se considera que la pendiente será de 20° visto en la *Figura 16*.

Usando de referencia la *Figura 9*, tendremos que la plancha de la carcasa será similar a la del tambor, solo que sus dimensiones serán distintas, empleando las ecuaciones 14 y 41 tendremos el largo y la altura de la plancha.

$$L = \pi * D = (\pi) * (1.02) \rightarrow L = 3.204[m]$$
$$H = \frac{0.51}{2} \tan(20^\circ) = 0.093[m]$$



**Figura 16, Ángulo de pendiente.**

### **3.5 Análisis de resistencia de las bases**

El peso calculado del sistema es de  $W = 902.52[N]$ , si para las bases se selecciona tubo cuadrado de una pulgada con 2 milímetros de espesor tendremos un esfuerzo de  $\sigma = 306.97[MPa]$ , si en total existen 4 apoyos para la base este esfuerzo se divide para esos 4 apoyos dando un esfuerzo unitario de  $\sigma_1 = 76.74[MPa]$ , con este análisis podemos observar que  $\sigma_1 < S_y$  concluyendo que los soportes aguantaran toda la estructura del sistema.

### **3.6 Panel de control**

Se considero realizar un panel de control para controlar el tiempo de encendido del equipo e incorpora un sensor como sonda para poder medir el porcentaje de humedad, en el apéndice H se da una explicación más detallada de este.

### 3.7 Análisis de vibraciones

Considerando que el cuerpo entero presentara fuertes vibraciones antes de llegar a su estado de equilibrio se consideró simular la amortiguación y comportamiento del sistema con 4 amortiguamientos por medio de caucho comercial sabiendo que el coeficiente de amortiguamiento del caucho es de 0.2, podemos encontrar en la ecuación 42 el comportamiento del sistema para poder observar si el sistema logra estabilizarse en un tiempo optimo representado en la 43.

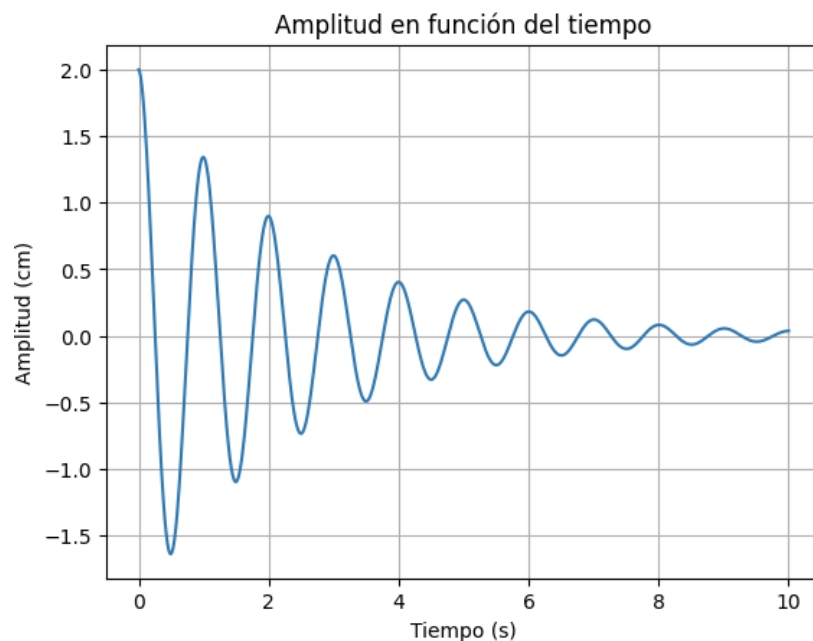


Figura 17, Simulación de amortiguamiento en función del tiempo

Fuente: (Elaboración propia)

### 3.8 Resultados del proceso de diseño

En la *Tabla 27* que se encuentra en el *Apéndice H* se enlistan los resultados obtenidos y seleccionados de los parámetros del diseño.

### **3.9 Cotización/Análisis económico**

En la sección de apéndices se detalla la cotización para el diseño y fabricación del proyecto.

## **Capítulo 4**

#### **4.1 Conclusiones y recomendaciones**

La finalidad de diseñar este equipo de centrifugado es para agilizar el proceso de la separación de lixiviados y asegurar una eficiente reducción de humedad en los RSO logrando un pronto desprendimiento de los líquidos lixiviados y los RSO resultantes pueden destinarse a futuros tratamientos para su reutilización o transformación en procesos de bioconversión de materia orgánica.

El método de bioconversión para el cual se destinarán los RSO en este proyecto será para fungir de sustento alimenticio para el proceso de larvas.

Las ventajas que tiene el sistema de centrifugado por sobre el método de extracción de lixiviados más comúnmente empleado, que es el de pozos de relleno sanitario, son su manejo sencillo y mayor eficiencia en sus tiempos de operación.

La capacidad de la máquina está limitada a 20 Kg de RSO. Para tratar volúmenes mayores, se requeriría utilizar el equipo en ciclos adicionales. Además, es importante tener en cuenta que los RSO pueden variar en volumen debido a la diversidad de materiales presentes, como plásticos, botellas, restos de comida, etc. Algunos de estos elementos podrían ser demasiado grandes para ser procesados en el tambor.

Después de analizar las vibraciones, se identificó que el mecanismo necesita incorporar un sistema de amortiguación para mitigar las oscilaciones y los problemas derivados, tales como vibraciones no deseadas y ruido. En respuesta a esto, se sugiere la instalación de cauchos de amortiguación en las patas del mecanismo para su ajuste y regulación.



## 4.2 Conclusiones

El propósito fundamental del proyecto es realizar la separación de lixiviados de los RSO para disminuir la humedad mediante el proceso de centrifugación. El sistema de rotación induce las revoluciones que genera el motor hacía el tambor cilíndrico que contiene los desechos, mediante la fuerza centrípeta y el sistema de filtrado el líquido se desprenderá por los orificios del tambor así reduciendo la humedad en los residuos.

El material seleccionado para el diseño y fabricación del equipo es el acero inoxidable 304, este material fue escogido por su alta resistencia a la corrosión la cual será necesaria al estar trabajando con líquidos que pueden llegar a dañar el mecanismo.

El tambor fue fabricado con una malla perforada con perforaciones de 5 mm, además, el tambor está revestido con una malla de nylon que actúa como filtrado para evitar que los residuos más pequeños pasen con el lixiviado.

Se ha desarrollado un eje de transmisión con un diámetro de 19 mm y una longitud de 85 cm para facilitar la transmisión del movimiento rotativo desde el motor hasta el tambor, permitiendo así la centrifugación. Este diseño se ha basado en los principios de la teoría de falla, teniendo en cuenta tanto el torque como el momento presente en el sistema. Se ha establecido un factor de seguridad de 2 para garantizar la fiabilidad del eje.

Para un análisis más exhaustivo del comportamiento de las cargas sobre el eje, se sugiere aplicar la ecuación del criterio de ED-Goodman. Este criterio considera los posibles fenómenos de falla por fatiga, utilizando el concepto de los esfuerzos de Von Mises. Este enfoque proporcionará una evaluación más completa de la resistencia del eje frente a las cargas operativas y ayudará a mejorar la confiabilidad y durabilidad del sistema.

Aunque en la obtención del diámetro del eje de transmisión se consideró como un eje recto, al momento de ingresar el factor de tamaño realizamos una configuración que nos permitió calcular el diámetro de forma más acertada, una confirmación de esto son los resultados de la simulación en ANSYS que nos permitió observar la formación y esfuerzos máximos, estos resultados son satisfactorios.

### **4.3 Recomendaciones**

- El operador debe llevar E.P.P (Equipo de Protección Personal) para evitar inconveniente y mantener su seguridad al maniobrar con los residuos que entran y salen del equipo.
- Al acabar cada ciclo revisar el filtro del tambor ya que algunas partículas pequeñas de residuos pueden permanecer allí, recomendable retirarlas antes de dar inicio al siguiente ciclo.
- Confirmar que el tambor del equipo esté completamente vacío antes de introducir la siguiente cantidad de residuos para el proceso de centrifugado.
- Después de completar un ciclo de extracción, se debe retirar los desechos del tambor y colocarlos en un contenedor adecuado para su posterior entrega al laboratorio, donde se procesan las larvas.
- Es posible utilizar software de análisis de elementos finitos como Ansys para obtener una comprensión más detallada del comportamiento de las cargas sobre el mecanismo.
- Este equipo fue diseñado para aplicaciones de investigación, si se desea adaptar a un nivel industrial se debe considerar que aumentarán las dimensiones

- considerablemente, a su vez que la potencia requerida para ejercer la rotación del tambor.
- Para optimizar la ergonomía del equipo, se puede aplicar un factor de seguridad a los demás componentes del sistema de transmisión, ya que para este diseño solo se tomó en cuenta un factor de seguridad para la selección del motor.
- Para llevar un mejor control de la cantidad de residuos en el equipo se puede implementar un sensor de peso dentro del tambor.
- Se sugiere implementar una cubierta para la banda, con el fin de evitar exponer este elemento.

## Referencia

- Andrade Velásquez Lorena Belén. (2018). *El reciclaje de desechos sólidos orgánicos y su incidencia en los derechos del Buen Vivir de los habitantes del sector Las Cuadras*. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Budynas, R., & Nisbett, J. (2007). *Mechanical Engineering Design*.
- Delgado Arroyo, M. del M., Mendoza López, K. L., González, M. I., Tadeo Lluch, J. L., Martín Sánchez, J. V., Delgado Arroyo, M. del M., Mendoza López, K. L., González, M. I., Tadeo Lluch, J. L., & Martín Sánchez, J. V. (2019). EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS AVÍCOLAS EMPLEANDO DIFERENTES MEZCLAS DE SUSTRATOS. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(4), 965–977. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.04.15>
- Diana Maya, & Jaime Lobo. (2015). *Diseño de un Equipo de Separación de Plásticos*.
- Diego Mauricio Maldonado Bernabé. (2010). *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*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.
- FEDOMA. (2013). *Plan de Manejo de Desechos Sólidos en la Gestión Ambiental Municipal*.
- Gómez, C., Puigdollers, B., Valls Noelia, B., & Grau, A. (2017). *Centrifugación industrial*.
- Guillermo Soriano Idrovo, Ángel Ramírez, & Alicia Alfonsina Punin Valdivieso. (2020). *Residuos / Sostenibilidad ESPOL. Sostenibilidad ESPOL*. <https://sostenibilidad.espol.edu.ec/residuos>

- Joseph Datsko. (1996). *Material properties and manufacturing processes*.  
<https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=35582>
- Julian C. Smith, & Peter Harriot. (2007). *Operaciones Unitarias En Ingeniería Química* (Pablo Eduardo Roig Vázquez, Ed.; Séptima edición). The McGraw-Hill.
- Lenin Moreno Garcés, P. DE, Proaño Andrade, P., & Augusto Petersen Rojas, S. (2020).  
*Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales*.
- Martin. (2023). *Catálogo de Poleas Martin*.
- Martin Sprocket. (2020). *Catálogo Martin Sprocket*.
- Mortier, S. T. F. C., Gernaey, K. V., De Beer, T., & Nopens, I. (2014). Analyzing drying unit performance in a continuous pharmaceutical manufacturing line by means of mass - Energy balances. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 86(3), 532–543. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2013.12.014>
- Nilson Emerson Liberato Soto. (2020). *Microorganismos eficientes y su efecto en el tratamiento de lixiviados generados en el proceso de compostaje en el centro ecoturístico de protección ambiental*.
- Shingley Joseph. (1994). *Diseño en ingeniería mecánica, Joseph E. Shingley*.
- SIEMENS. (2024). *Contenido Motores serie 1LF3*. [www.motores.siemens.com](http://www.motores.siemens.com)
- SKF. (2015). *Catálogo de Rodamientos*.
- Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, G. (2012).  
Revista internacional de contaminación ambiental. In *Revista internacional de contaminación ambiental* (Vol. 28). Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

Víctor Andrés Paucar Guerrero. (2018). *Diseño de un mecanismo de centrifugación para la mejora de productividad en el proceso de extracción de miel de abeja en la empresa API-Loja.*

Wikström, H., Martín de Juan, L., Rimmelgas, J., Meier, R., Altmeyer, A., Emanuele, D., Jormanainen, M., Juppo, A., & Tajarobi, P. (2023). Drying capacity of a continuous vibrated fluid bed dryer – Statistical and mechanistic model development. *International Journal of Pharmaceutics*, 645. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2023.123368>

Xinia Alvarado. (2005). *Manejo de Desechos Sólidos.*

## Apéndice A

### Proceso de selección de alternativas para reducción de humedad, filtro, eje de transmisión, transmisión de potencia y material de carcasa

Existen diversas alternativas para el proceso de secado como se puede apreciar en la *Tabla 6*. Una opción es el uso de resistencias eléctricas, las cuales se colocan a lo largo de la pared del tambor para generar calor y evaporar la humedad de los materiales. Otra alternativa es el secado por gas, que utiliza una pequeña llama y gas para calentar el contenido y eliminar la humedad. También está el secado por centrifugación, donde la rotación del tambor reduce los líquidos presentes en los materiales al expulsarlos por fuerza centrífuga. Cada método tiene sus propias ventajas y consideraciones, y la elección depende de las necesidades y condiciones específicas de cada aplicación.

Alternativa	Funcionalidad	Costo	Mantenimiento	Seguridad	Maniobrabilidad	Total
	0,30	0,3	0,2	0,15	0,05	
<b>Resistencias eléctricas</b>	1	5	6	8	6	4,3
<b>Por gas</b>	0	6	7	6	5	4,25
<b>Por centrifugación</b>	10	10	9	10	10	9,5

**Tabla 6, Matriz decisión sistema de reducción de humedad.**

Fuente: (Elaboración propia)

En la *Tabla 7* presenta tres alternativas para el diseño del tambor de secado. La primera opción es una estructura cilíndrica perforada para una evacuación eficiente de líquidos. La segunda es un tambor de malla de acero inoxidable, duradero y resistente a la corrosión. La tercera es un tambor con ranuras helicoidales para una salida gradual del líquido centrifugado, mejorando la eficiencia en la separación de líquidos y sólidos. Cada alternativa ofrece características específicas para diferentes requisitos y aplicaciones en el proceso de secado.

Alternativa	Funcionalidad	Costo	Mantenimiento	Seguridad	Maniobrabilidad	Total
	0,25	0,35	0,2	0,1	0,1	
<b>Estructura Cilíndrica con Perforaciones</b>	9	7	9	10	10	8,5
<b>Tambor de Malla de Acero Inoxidable</b>	4	8	7	7	7	6,6
<b>Tambor con Ranuras Helicoidales</b>	10	5	9	10	8	7,85

**Tabla 7, Matriz decisión tambor.**

Fuente: (Elaboración propia)

En la *Tabla 8* presenta opciones de mallas para aplicaciones específicas. La malla de Nylon destaca por su fácil lavado, aunque su resistencia es limitada. La malla electrosoldada de acero inoxidable ofrece flexibilidad y resistencia debido a sus barras de este material. Por su parte, la malla metálica galvanizada, protegida contra la corrosión, brinda mayor durabilidad en entornos desafiantes. La elección entre estas opciones depende de los requisitos y condiciones particulares de cada aplicación.

Alternativa	Funcionalidad	Costo	Mantenimiento	Maniobrabilidad	Seguridad	Total
	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	
<b>Malla de Nylon</b>	9	10	9	9	10	9,4
<b>Malla electrosoldada de acero inoxidable</b>	2	3	5	9	8	3,9
<b>Malla metálica galvanizada</b>	2	3	5	9	8	3,9

**Tabla 8, Matriz decisión filtro.**

Fuente: (Elaboración propia)



En la *Tabla 9* se presentan tres alternativas para el diseño de ejes. El eje de sección circular constante y paso constante destaca por su facilidad de construcción y mantenimiento, mientras que el eje de sección circular variable y paso constante ofrece mayor versatilidad y eficiencia. El eje de sección circular constante y paso variable se caracteriza por su sencillez constructiva, aunque puede tener una eficiencia ligeramente menor en ciclos prolongados. La elección dependerá de las necesidades específicas y las exigencias operativas del sistema.

Alternativa	Costo	Mantenimiento	Seguridad	Maniobrabilidad	Funcionalidad	Total
	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	
<b>Eje de sección circular constante y paso constante</b>	10	10	8	8	9	9,5
<b>Eje de sección circular variable y paso constante</b>	8	9	9	10	10	8,8
<b>Eje de sección circular constante y paso variable</b>	9	8	10	9	8	8,7

**Tabla 9, Matriz decisión eje de transmisión.**

Fuente: (Elaboración propia)

La *Tabla 10* muestra tres alternativas de transmisión de movimiento y potencia. La transmisión por engranajes usa engranajes, el sistema de poleas variables emplea poleas ajustables, y la transmisión por cadena usa una cadena entre un piñón en el motor y otro en el eje, común en la industria.

Alternativa	Funcionalidad	Mantenimiento	Costo	Maniobrabilidad	Seguridad	Total
	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	
Transmisión por Engranajes	10	6	6	9	7	7,6
Sistema de poleas variables	7	8	9	8	9	8
Transmisión por Cadena	8	7	6	7	9	7,3

**Tabla 10, Matriz decisión transmisión de potencia.**

Fuente: (Elaboración propia)

Se ofrecen tres alternativas de materiales en la *Tabla 11*. El acero galvanizado es acero reforzado con zinc, lo que mejora su resistencia a la corrosión. Por otro lado, el acero de grado alimenticio, con un bajo contenido de níquel, ofrece una mayor resistencia a la corrosión por ácidos, bases y cloruros. Finalmente, el acero inoxidable consiste en aleaciones de acero fortificadas con cromo para aumentar su resistencia a la corrosión.

Alternativa	Seguridad	Costo	Mantenimiento	Funcionalidad	Maniobrabilidad	Total
	0,25	0,25	0,2	0,2	0,1	
Acero galvanizado	7	7	6	9	8	7,3
Acero de grado alimenticio	10	8	6	10	10	8,7
Acero inoxidable	9	10	10	9	8	9,35

**Tabla 11, Matriz decisión material de carcasa.**

Fuente: (Elaboración propia)

## Apéndice B

### Resultado del levantamiento de información dentro del campus Gustavo Galindo sobre los RSO generados.

La *Tabla 12* muestra los resultados del estudio de diez días sobre los RSO en bares y comedores del campus Gustavo Galindo de la ESPOL.

Días de recolección	RSO totales [kg]	Lixiviados [kg]	Lixiviados [%]
1	433,910	24,781	5,711
2	482,255	56,757	11,769
3	548,460	7,997	1,458
4	551,590	18,840	3,416
5	453,950	17,700	3,899
6	436,100	7,893	1,810
7	683,390	13,101	1,917
8	454,070	43,759	9,637
9	480,270	13,255	2,760
10	421,950	7,481	1,773
Promedios			
Peso de basura [kg]		494,595	
Porcentaje de lixiviados [%]		4,415	

**Tabla 12, Levantamiento de información en el campo.**

Fuente: (Elaboración propia)

## Apéndice C

### Características mecánicas del material seleccionado

Número	Material	Condición	Resistencia (a la tensión)					
			Fluencia $S_y$ MPa (kpsi)	Última $S_u$ MPa (kpsi)	A la fractura, $\sigma_f$ MPa (kpsi)	Coefficiente $\sigma_0$ MPa (kpsi)	Resistencia a la deformación, exponente $m$	Resistencia a la fractura $\epsilon_f$
1018	Acero	Recocido	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1) <sup>f</sup>	620 (90.0)	0.25	1.05
1144	Acero	Recocido	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130) <sup>f</sup>	992 (144)	0.14	0.49
1212	Acero	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (106) <sup>f</sup>	758 (110)	0.24	0.85
1045	Acero	TyR 600°F	1520 (220)	1580 (230)	2380 (345)	1880 (273) <sup>f</sup>	0.041	0.81
4142	Acero	TyR 600°F	1720 (250)	1930 (210)	2340 (340)	1760 (255) <sup>f</sup>	0.048	0.43
303	Acero inoxidable Acero	Recocido	241 (35.0)	601 (87.3)	1520 (221) <sup>f</sup>	1410 (205)	0.51	1.16
304	Acero inoxidable Acero	Recocido	276 (40.0)	568 (82.4)	1600 (233) <sup>f</sup>	1270 (185)	0.45	1.67
2011	Aleación de aluminio	T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2) <sup>f</sup>	620 (90)	0.28	0.10
2024	Aleación de aluminio	T4	296 (43.0)	446 (64.8)	533 (77.3) <sup>f</sup>	689 (100)	0.15	0.18
7075	Aluminum aluminio	T6	542 (78.6)	593 (86.0)	706 (102) <sup>f</sup>	882 (128)	0.13	0.18

**Tabla 13, Propiedades mecánicas del acero inoxidable.**

Fuente: (Joseph Datsko, 1996)

## Apéndice D

### Proceso de selección de parámetros para componentes: Poleas y Potencia de Diseño

FACTORES DE SERVICIOS TÍPICOS						
TIPOS DE MÁQUINAS DE TRANSMISIÓN	TIPOS DE UNIDADES MOTRICES					
Los tipos de máquinas impulsadas aquí listadas son solo una muestra representativa. Seleccione el equipo que se aproxime más a su aplicación.  <b>SI SE UTILIZAN RUEDAS LOCAS, AÑADA LO SIGUIENTE AL FACTOR DESERVICIO:</b> Rueda Loca en el lado suelto (adentro) Ninguno Rueda Loca en el lado suelto (afuera) 0.1 Rueda Loca en el lado apretado (adentro) 0.1 Rueda Loca en el lado apretado (afuera) 0.2	<b>MOTORES ELÉCTRICOS:</b> AC Torque Normal Jaula de Ardilla y Síncrono AC Fase Dividida DC Devanado en Derivación  <b>Motors de Combustión Interna</b>			<b>MOTORES ELÉCTRICOS:</b> AC Alto Torque AC Hi-Fase Dividida AC Repulsión-Inducción AC Monofásico Devanado en Serie AC Anillo de Deslizamiento DC Devanado Compuesto		
	SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO	SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO
	Agitadores para Líquidos Sopladores y Aspiradoras Bombas centrífugas y Compresoras Ventiladores hasta 10 HP Transportadores de Trabajo Ligero	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2
Transportadores de Banda para arena, grano, etc. Amasadora Ventiladores de más de 10 HP Generadores Ejes de Línea Máquinas de Lavandería Máquinas-Herramientas Taladros, Prensa, Cortadores Máquinas de Imprenta Bombas Rotatorias de Desplazamiento Positivo Cribas Giratorias y Vibratorias	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Máquinas para Ladrillos Elevadores de Cangilones Excitadores Compresores de Pistones Transportadores (Rastras, Helicoidales, Tablillas) Molinos de Martillos Hidropulper Bombas de Pistones Sopladores de Desplazamiento Positivo Pulverizadores Máquinas para Madera y Sierras Maquinaria Textil	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Quebradoras (Giratorias-Mordaza-Rodillos) Molinos (Bolas, Rodillos) Grúas Calandrias de hule — Extrusoras — Molinos	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Equipo con Ahogador	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

**Tabla 14, Factores de servicio para poleas.**

Fuente:(Martin Sprocket, 2020)

**TABLA 4 — Diámetro Mínimo Recomendado para la Polea del Motor Eléctri**

Potencia del Motor	RPM del Motor					
	575	695	870	1160	1750	3450
0.50	2.50	2.50	2.50	—	—	—
0.75	3.00	2.50	2.50	2.50	—	—
1.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25	—
1.50	3.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25
2.00	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50	2.50
3.00	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50
5.00	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50
7.50	4.25	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00
10.00	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75	3.00
15.00	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75
20.00	8.25	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50
25.00	9.00	8.25	6.75	6.00	4.50	4.50*

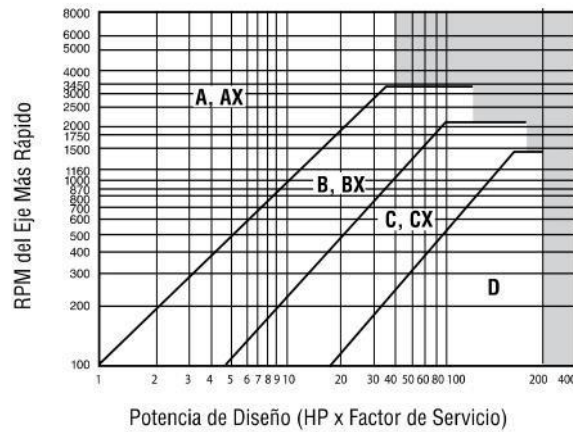
**Tabla 15, Diámetro mínimo recomendado para la polea del motor eléctrico.**

Fuente: (Martin Sprocket, 2020)

## Apéndice E

### Proceso de selección de parámetros para componentes: Bandas

**TABLA 3 — Bandas Convencionales**



**Tabla 16, Selección de bandas convencionales.**

Fuente: (Martin Sprocket, 2020)

Distancia Nominal entre Centros y Factor de Corrección por Longitud y Arco												Combinación de Poleas		Relación de Velocidad
Designación de Largo de Banda A/AX												Motriz D.P.	Impulsada D.P.	
55	60	66	75	80	85	90	96	105	112	120	128			
—	—	—	—	—	—	—	—	21.7	25.6	30.0	34.3	6.6	29.6	4.48
—	—	15.8	19.6	22.3	24.9	27.5	30.6	35.2	38.7	42.8	46.8	4.0	18.0	4.50
—	—	—	—	—	16.9	19.8	23.1	27.9	31.6	35.8	39.9	5.4	24.6	4.56
11.6	14.4	18.7	22.4	25.0	27.6	30.1	33.2	37.7	41.3	45.3	49.4	3.4	15.6	4.59
—	—	—	—	—	—	—	—	21.8	25.8	30.1	34.4	6.4	29.6	4.62
<b>0.76</b>	<b>0.83</b>	<b>0.90</b>	<b>0.94</b>	<b>0.97</b>	<b>0.99</b>	<b>1.01</b>	<b>1.04</b>	<b>1.07</b>	<b>1.09</b>	<b>1.11</b>	<b>1.13</b>			
—	—	13.8	17.8	20.5	23.2	25.8	28.9	33.6	37.2	41.2	45.3	4.2	19.6	4.67
12.5	15.2	19.5	23.1	25.7	28.2	30.8	33.8	38.4	41.9	46.0	50.0	3.2	15.0	4.69
—	—	—	—	—	17.0	19.9	23.2	28.1	31.8	35.9	40.1	5.2	24.6	4.73
—	—	15.9	19.8	22.4	25.0	27.6	30.7	35.3	38.9	42.9	47.0	3.8	18.0	4.74
—	—	—	—	—	—	—	—	21.9	25.9	30.3	34.6	6.2	29.6	4.77
<b>0.79</b>	<b>0.84</b>	<b>0.91</b>	<b>0.95</b>	<b>0.97</b>	<b>1.00</b>	<b>1.02</b>	<b>1.04</b>	<b>1.07</b>	<b>1.09</b>	<b>1.11</b>	<b>1.13</b>			
11.7	14.6	18.9	22.5	25.1	27.7	30.2	33.3	37.9	41.4	45.5	49.5	3.2	15.6	4.87
—	—	13.9	17.9	20.6	23.3	25.9	29.1	33.7	37.3	41.4	45.4	4.0	19.6	4.90
—	—	—	—	—	17.1	20.0	23.3	28.2	31.9	36.1	40.2	5.0	24.6	4.92
—	—	—	—	—	—	—	—	22.0	26.0	30.4	34.7	5.0	29.6	4.93
12.6	15.3	19.6	23.2	25.8	28.4	30.9	34.0	38.5	42.1	46.1	50.2	3.0	15.0	5.00

**Tabla 17, Catálogo de bandas de Martin Sproket.**

Fuente: (Martin Sprocket, 2020)

**Tabla 17-2**

Propiedades de algunos materiales de las bandas planas y redondas. (Diámetro =  $d$ , espesor =  $t$ , ancho =  $w$ )

Material	Especificación	Tamaño, pulg	Diámetro mínimo de la polea, pulg	Tensión permisible por ancho unitario a 600 pies/min, lbf/pulg	Peso específico, lbf/pulg <sup>3</sup>	Coefficiente de fricción	
Cuero	1 capa	$t = \frac{11}{64}$	3	30	0.035-0.045	0.4	
		$t = \frac{13}{64}$	$3\frac{1}{2}$	33	0.035-0.045	0.4	
	2 capas	$t = \frac{18}{64}$	$4\frac{1}{2}$	41	0.035-0.045	0.4	
		$t = \frac{20}{64}$	6 <sup>a</sup>	50	0.035-0.045	0.4	
		$t = \frac{23}{64}$	9 <sup>a</sup>	60	0.035-0.045	0.4	
Poliamida <sup>b</sup>	F-0 <sup>c</sup>	$t = 0.03$	0.60	10	0.035	0.5	
	F-1 <sup>c</sup>	$t = 0.05$	1.0	35	0.035	0.5	
	F-2 <sup>c</sup>	$t = 0.07$	2.4	60	0.051	0.5	
	A-2 <sup>c</sup>	$t = 0.11$	2.4	60	0.037	0.8	
	A-3 <sup>c</sup>	$t = 0.13$	4.3	100	0.042	0.8	
	A-4 <sup>c</sup>	$t = 0.20$	9.5	175	0.039	0.8	
Uretano <sup>d</sup>	Redonda	$t = 0.25$	13.5	275	0.039	0.8	
		$w = 0.50$	$t = 0.062$	Vea	5.2 <sup>e</sup>	0.038-0.045	0.7
		$w = 0.75$	$t = 0.078$	la tabla	9.8 <sup>e</sup>	0.038-0.045	0.7
	Redonda	$w = 1.25$	$t = 0.090$	17-3	18.9 <sup>e</sup>	0.038-0.045	0.7
		$d = \frac{1}{4}$		Vea	8.3 <sup>e</sup>	0.038-0.045	0.7
		$d = \frac{3}{4}$		la tabla	18.6 <sup>e</sup>	0.038-0.045	0.7
		$d = \frac{1}{2}$		17-3	33.0 <sup>e</sup>	0.038-0.045	0.7
		$d = \frac{3}{4}$		74.3 <sup>e</sup>	0.038-0.045	0.7	

**Tabla 18, Propiedades de algunos materiales de las bandas planas y redondas.**

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2007)

Estilo de la banda	Tamaño de la banda, pulg	Relación de la velocidad de la polea a la longitud de la banda, rev/(pie · min)		
		Hasta a 250	250 a 499	500 a 1 000
Plana	$0.50 \times 0.062$	0.38	0.44	0.50
	$0.75 \times 0.078$	0.50	0.63	0.75
	$1.25 \times 0.090$	0.50	0.63	0.75
Redonda	$\frac{1}{4}$	1.50	1.75	2.00
	$\frac{3}{8}$	2.25	2.62	3.00
	$\frac{1}{2}$	3.00	3.50	4.00
	$\frac{3}{4}$	5.00	6.00	7.00

**Tabla 19, Tamaños mínimos de poleas para bandas planas y redondas de uretano.**

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2007)



Parámetro	Valor [in]
$C_{maxD_1}$	12.75
$C_{maxD_2}$	15.75
$C_{maxD_3}$	21.75
$C_{minD_1}$	5.95
$C_{minD_2}$	7.35
$C_{minD_3}$	10.15

Tabla 20, resultados de centro de distancia entre centros.

Material	Diámetro de la polea menor, pulg						
	1.6 a 4	4.5 a 8	9 a 12.5	14 y 16	18 a 31.5	Más de 31.5	
Cuero	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	
Poliamida	F-0	0.95	1.0	1.0	1.0	1.0	
	F-1	0.70	0.92	0.95	1.0	1.0	
	F-2	0.73	0.86	0.96	1.0	1.0	
	A-2	0.73	0.86	0.96	1.0	1.0	
	A-3	—	0.70	0.87	0.94	0.96	1.0
	A-4	—	—	0.71	0.80	0.85	0.92
A-5	—	—	—	0.72	0.77	0.91	

Tabla 21, Factor de corrección de polea CP para bandas planas.

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2007)

Parámetro	Valor	Criterio
$\exp(f\phi)$	11.17	Valor constante para el cálculo de ángulo incidencia de la banda
$F_c$	$0.15[lbf] = 0.67[N]$	Fuerza centrípeta ejercida por la polea.
$(F_1)_a$	$87.60[lbf] = 389.66[N]$	Fuerza permisible
$T$	$69.83[lbf \cdot in]$	Torque con factor de diseño
$F_1$	$75.97[lbf]$	Fuerza ajustada
$F_2$	$29.41[lbf]$	Fuerza holgada
$f'$	0.53	Valor de fricción entre banda y polea. Cumple condición de $f' < f$

Tabla 22, Tensiones de banda.

## Apéndice F

### Selección de motor según potencia requerida

Selection and ordering data (continued)															Aluminum series 1LE1003		m <sub>M</sub> B3	J	
Operating values at rated power															Article No.	kg			kgm <sup>2</sup>
$P_{rated, 50 Hz}$	$P_{rated, 60 Hz}$	Frame size	$n_{rated, 50 Hz}$	$T_{rated, 50 Hz}$	Different IE class	$\eta_{rated, 50 Hz, 4/4}$	$\eta_{rated, 50 Hz, 3/4}$	$\eta_{rated, 50 Hz, 2/4}$	$\cos\phi_{rated, 50 Hz, 4/4}$	$I_{rated, 50 Hz, 400 V}$	$T_{F/ rated, 50 Hz}$	$I_{F/ rated, 50 Hz}$	$T_{P/ rated, 50 Hz}$	$L_{pFA, 50 Hz}$			$L_{WA, 50 Hz}$	1LE1003- <b>DB2</b>	
kW	kW	FS	rpm	Nm	%	%	%	%	A	°C	A	°C	dB(A)	dB(A)	1LE1003- <b>DB3</b>		kg	kgm <sup>2</sup>	
0.55	0.63	80 M	1440	3.6		80.8	81.1	79.3	0.78	1.26	2.1	5.9	3.1	53	64	1LE1003- <b>DB2</b>		11	0.0021
0.75	0.86	80 M	1450	4.9		82.5	82.3	79.9	0.75	1.75	2.7	7.1	3.9	53	64	1LE1003- <b>DB3</b>		14	0.0029
1.1	1.27	90 S	1440	7.3		84.1	84.7	83.4	0.78	2.4	2.9	6.9	3.6	56	68	1LE1003- <b>EB0</b>		16	0.0036
1.5	1.75	90 L	1445	9.9		85.3	86.0	85.2	0.8	3.15	2.9	7.3	3.5	60	68	1LE1003- <b>EB4</b>		19	0.0049
2.2	2.55	100 L	1465	14.3	IE2	86.7	87.3	86.4	0.83	4.4	2.1	7.6	3.6	60	72	1LE1003- <b>1AB4</b>		30	0.014
3	3.45	100 L	1460	20		87.7	88.4	88.2	0.83	5.9	2.3	7.3	3.7	60	72	1LE1003- <b>1AB5</b>		30	0.014
4	4.55	112 M	1460	26		88.6	89.2	88.6	0.82	7.9	2.4	7.1	3.7	58	70	1LE1003- <b>1BB2</b>		34	0.017
5.5	6.3	132 S	1470	36	IE2	89.6	90.1	89.5	0.84	10.5	2.1	7.2	3.4	64	76	1LE1003- <b>1CB0</b>		64	0.046
7.5	8.6	132 M	1470	49	IE2	90.4	91.1	90.8	0.84	14.3	2.4	7.4	3.5	64	76	1LE1003- <b>1CB2</b>		64	0.046
11	12.6	160 M	1475	71		91.4	91.9	91.4	0.84	20.5	2.2	6.8	3.2	65	77	1LE1003- <b>1DB2</b>		83	0.083
15	17.3	160 L	1475	97		92.1	92.3	91.5	0.82	28.5	2.5	8.5	3.8	65	77	1LE1003- <b>1DB4</b>		100	0.099
18.5	21.3	180 L	1470	143		93	93.6	93.6	0.83	41	2.3	6.8	3.3	68	75	1LE1003- <b>1EB2</b>		142	0.14
22	25.3	180 L	1470	195		93.6	94.0	93.8	0.79	59	3	8.2	3.8	67	74	1LE1003- <b>1EB4</b>		154	0.17
30	34.5	200 L	1470	195	IE2	93.6	94	93.7	0.84	55	2.6	7.3	3.1	65	72	1LE1003- <b>2AB5</b>		189	0.22

Tabla 23, Motores disponibles en el mercado siemens.

Fuente: (SIEMENS, 2024)

## Apéndice G

### Selección de rodamientos y lubricante para el sistema.

e	$T/C_0$	Y	e	$T/C_0$	Y
0.19	0.014	2.30	0.34	0.170	1.31
0.22	0.028	1.99	0.38	0.280	1.15
0.26	0.056	1.71	0.42	0.420	1.04
0.28	0.084	1.55	0.44	0.560	1.00
0.30	0.110	1.45			

Note:  $X = 0.56$  for all values of  $Y$ .

**Tabla 24, Factores para rodamiento rígido de bola.**

Fuente: (SKF, 2015)

Valores orientativos de la vida especificada de los diferentes tipos de máquinas	
Tipo de máquina	Vida especificada Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos: herramientas eléctricas portátiles, dispositivos de elevación en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3000 ... 8 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos donde se requiere una alta confiabilidad de funcionamiento: ascensores (elevadores), grúas para productos embalados o eslingas para tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre utilizadas al máximo: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, trituradoras giratorias	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizando plenamente sus capacidades: herramientas mecánicas, máquinas para carpintería, máquinas para la industria de la ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de impresión, separadores y centrifugadoras	20 000 ... 30 000
Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: unidades de engranajes para laminadoras, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Maquinaria para energía eólica, incluidos los rodamientos del eje principal, de orientación, de la caja de engranajes de cambio de paso, del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas de trenzado de cables, maquinaria de propulsión para buques de alta mar	60 000 ... 100 000
Maquinas eléctricas de gran tamaño, plantas de generación de energía, bombas para minas, ventiladores para minas, rodamientos para ejes en túnel para buques de alta mar	100 000 ... 200 000

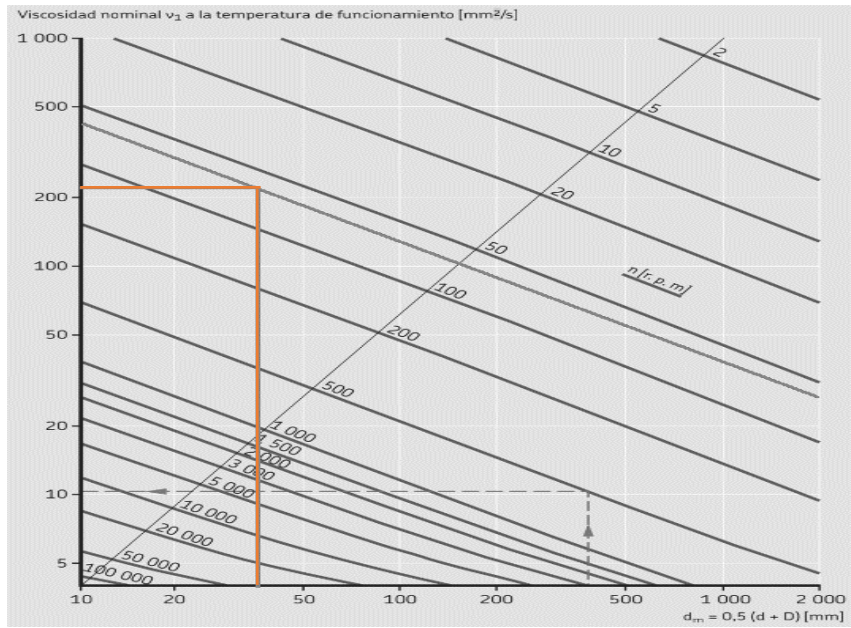
**Tabla 25, Valores de vida especifica de los rodamientos según su uso.**

Fuente: (SKF, 2015)

Dimensiones									Capacidad de carga		Carga límite de fatiga P <sub>u</sub>	Velocidad límite con tolerancia de eje h6	Masa	Designación
d	D	B	B <sub>1</sub>	C	d <sub>1</sub> =	d <sub>2</sub>	s <sub>1</sub>	r <sub>1,2</sub> min.	Capacidad de carga dinámica C	estática C <sub>0</sub>				
pulg./mm	mm								kN		kN	r. p. m.	kg	-
1/2 12,7	40	19,1	28,6	12	24,2	27,2	22,1	0,3	9,56	4,75	0,2	9 500	0,13	YET 203-008
3/4 19,05	47	21	30,5	14	28,2	32,4	23,5	0,6	12,7	6,55	0,28	8 500	0,17	► YET 204-012
	47	34,2	43,7	14	28,2	32,4	26,6	0,6	12,7	6,55	0,28	8 500	0,21	YEL 204-012-2F
1 25,4	52	21,5	31	15	33,7	37,4	23,5	0,6	14	7,8	0,335	7 000	0,19	► YET 205-100
	52	34,9	44,4	15	33,7	37,4	26,9	0,6	14	7,8	0,335	1 500	0,23	YELAG 205-100
	52	34,9	44,4	15	33,7	37,4	26,9	0,6	14	7,8	0,335	7 000	0,24	YEL 205-100-2F

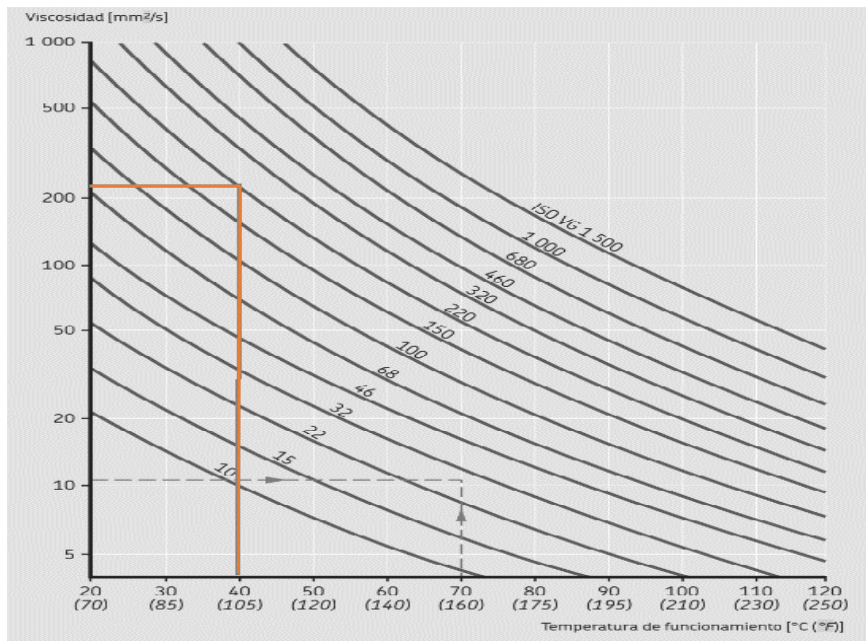
**Tabla 26, Catalogo de rodamientos de bola.**

Fuente: (SKF, 2015)



**Gráfica 1, Viscosidad nominal vs diámetro**

Fuente: (SKF, 2015)



**Gráfica 2, viscosidad vs temperatura**

Fuente: (SKF, 2015)

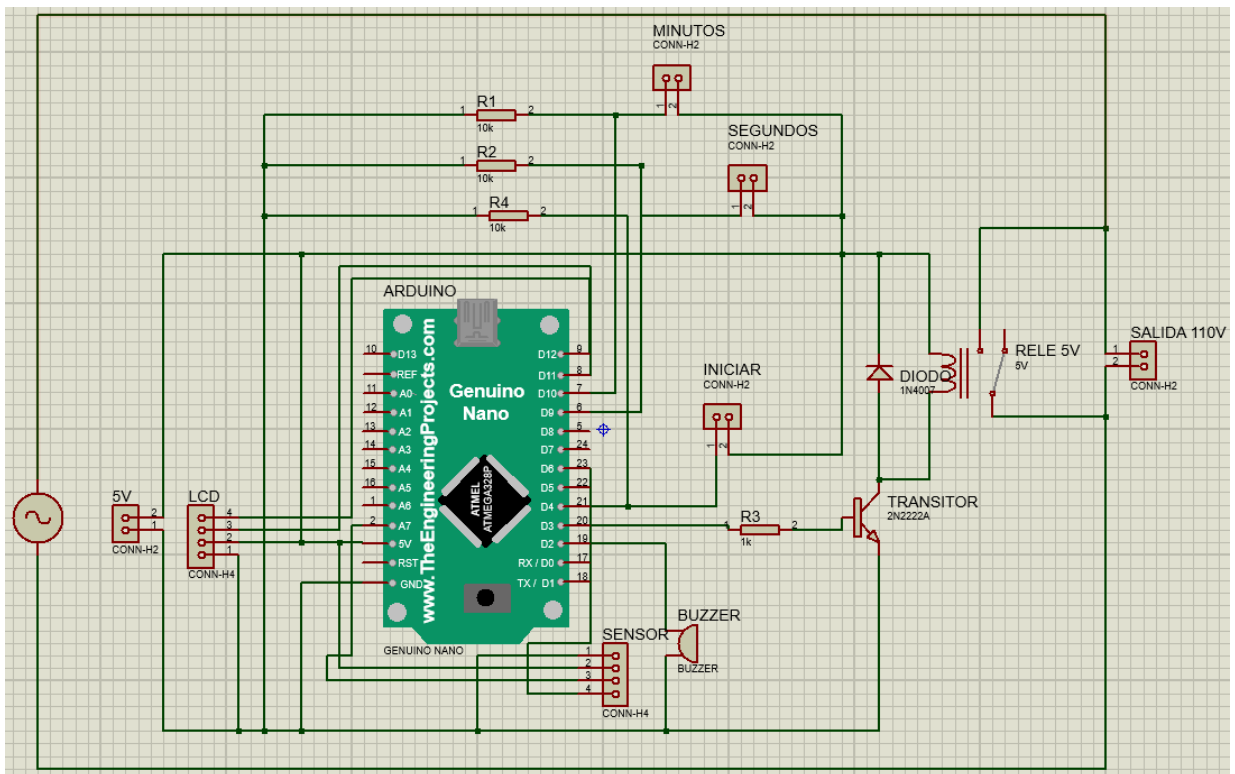
## Apéndice H

### Proceso de diseño de placa PCB del panel de control

#### Panel de control

Se busca controlar el tiempo de encendido del sistema, emplear una sonda con sensor de humedad al contacto y un botón de emergencia para evitar accidentes.

Para la parte del circuito nos haremos valido por arduino nano para poder programar y controlar la información, como se observa en la *Figura 18*.



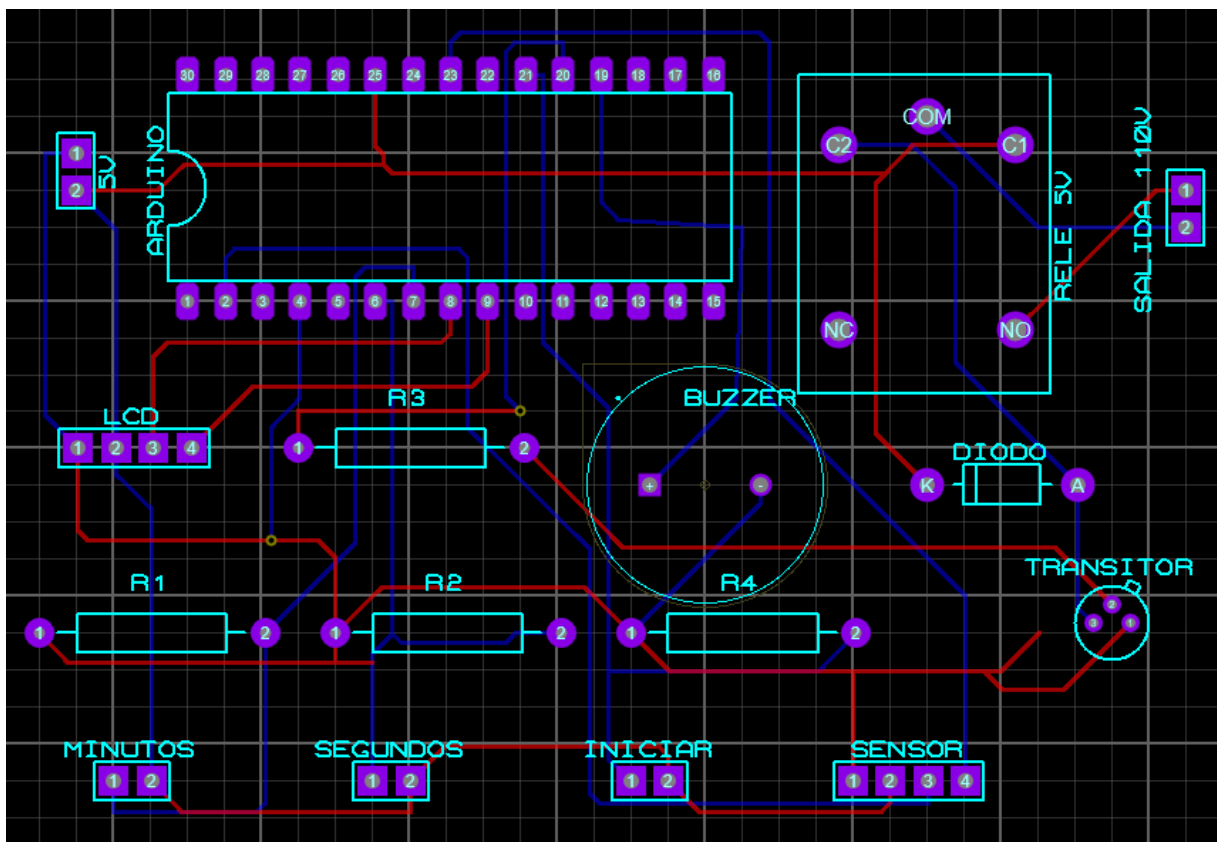
**Figura 18, Circuito del panel de control.**

Fuente: (Elaboración propia)



En el circuito podemos observar como dispone de una entrada de fuente a 5v, un relay para control de corriente alterna, entradas para botones minutos, segundos e iniciar. Tambien dispone la entrada para el sensor de humedad y un buzzer para emitir sonidos.

El circuito anterior se lo deberia implementar en una placa PCB para optimizar espacio y tener una confiabilidad en la interaccion de los diversos componentes, para esto se propone la siguiente configuración que se observa en la *Figura 19*.



**Figura 19, Placa PCB para el circuito.**

Fuente: (Elaboración propia)

La placa final (dimensiones 83x58 [mm]) con los diversos componentes fisicos quedaria como se ilustra en la *Figura 20*, para entener la programacion del arduino nano se recomienda revisar el codigo de programacion que encontrara en apéndices .

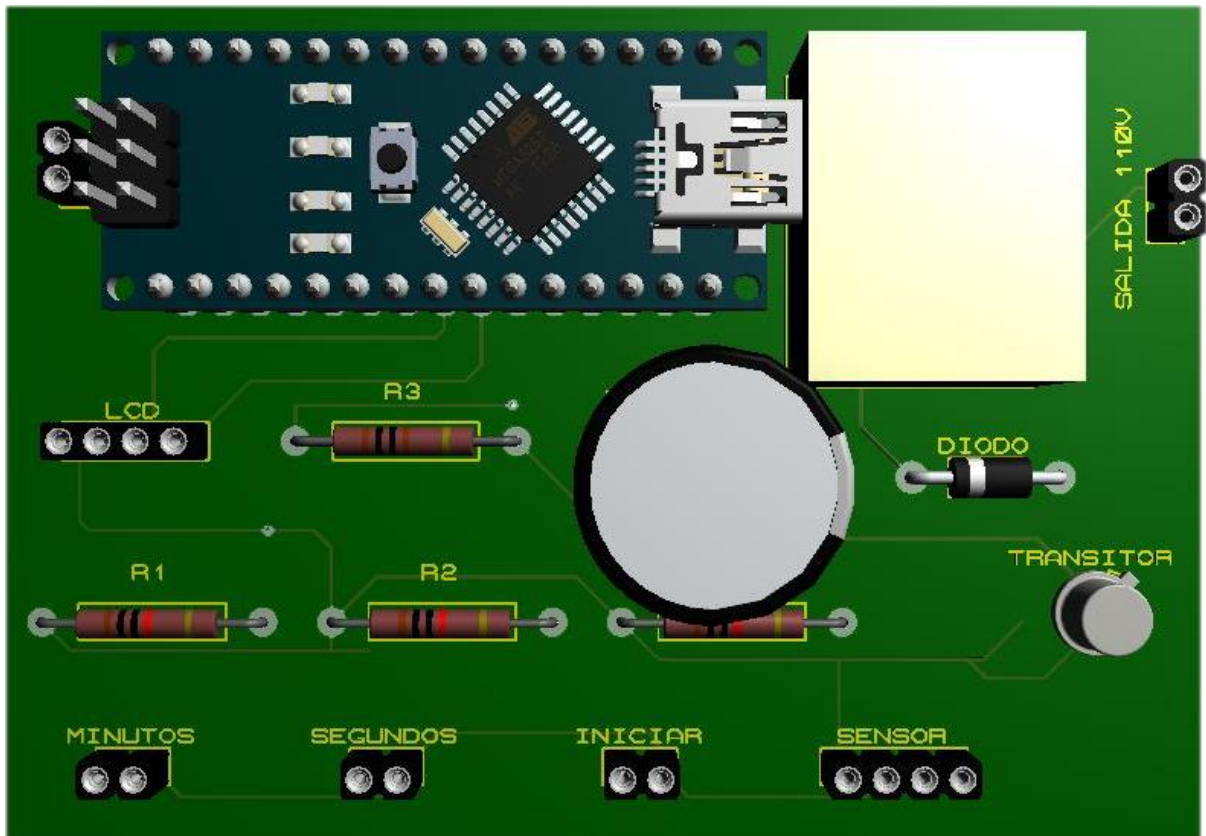


Figura 20, PCB ensamblada con sus respectivos componentes.

Fuente: (Elaboración propia)



## Apéndice I

### Resultados de componentes y dimensiones del diseño

<b>Resultados parámetros de diseño</b>			
<b>Material</b>		<b>Acero inoxidable 304</b>	
Símbolo	Variable	Valor	Unidad
$W_{mecanismo\ de\ giro}$	Peso del mecanismo	51.18	N
$I_{mecanismo\ de\ giro}$	Inercia del mecanismo de giro	2.642	Kg m <sup>2</sup>
$D_{tambor}$	Diametro del tambor	102	cm
$H_{tambor}$	Altura del tambor	60	cm
$t_{tambor}$	Espesor del tambor	2	mm
$W_{tambor}$	Peso del tambor	51.18	N
$w$	Velocidad de rotacion del sistema	945	Rpm
$T$	Torque del sistema	15.35	Nm
$P$	Potencia del motor	1.5	Hp
$D_{eje}$	Diámetro eje de transmisión	¾	In
$D_{polea\ conductora}$	Diámetro de polea conductora	2.5	In
$D_{polea\ conducida}$	Diámetro de polea conducida	12	In
$L_p$	Longitud de la banda	75	In

**Tabla 27, Resultados parámetros de diseño**

Fuente: (Elaboración propia)

## Apéndice J

### Análisis de costo de fabricación del sistema

#### Materiales

Para la fabricación del tambor se requiere una plancha de acero inoxidable perforada, mientras que, para la carcasa se requiere una plancha lisa de acero inoxidable. En la *Tabla 28* se enlistan los precios recaudados de diversas metalúrgicas.

Proveedor	Tipo de plancha	Area de plancha [m <sup>2</sup> ]	Espesor [mm]	Precio unitario de plancha [\$]	Cantidad	Precio total
Aceros Catbol	Lisa	1.22 x 2.44	1.5	144.45	2	288.9
INGACEROS	Lisa	1.22 x 2.44	2	159.60	2	319.2
ACERIMALLAS	Perforada	1.22 x 2.44	1.9	288.39	1	288.39

**Tabla 28, Cotización planchas de acero inoxidable.**

#### Costo de diseño

El diseño de este proyecto fue hecho por medio del software de Inventor, mientras que las simulaciones de deformación y esfuerzos se realizaron por el programa ANSYS. Para el costo de diseño se tomó en cuenta cuanto cobrará un diseñador al día que corresponde alrededor de \$35/día, si el diseño se realizó en un lapso de 6 días y las simulaciones en 1, el pago por el diseñador será de \$245.

Para este proyecto se utilizó el software de Inventor, un software CAD 3D que permite crear diseños de sistemas mecánicos mediante el ensamble de sus piezas individuales. Se empleó la licencia estudiantil ya que este trabajo es de índole académica, sin embargo, para futuras

aplicaciones o modificaciones se requerirá adquirir la licencia profesional que tiene un costo de \$275 mensuales. Para el diseño del sistema se empleó el software durante 3 semanas por lo que se considerará un mes de licencia.

### **Mano de obra**

En esta parte se detallará el desglose de los gastos relacionados con la mano de obra destinada a la producción del equipo de centrifugado. Se estima que la elaboración de este equipo puede concluir en un lapso de 10 días hábiles, abarcando diversas tareas como soldadura, mecanizado y otras labores adicionales, los precios son listados en la *Tabla 29*.

<b>Actividad</b>	<b>Costo por día [\$]</b>	<b>Duración [Días]</b>	<b>Costo total [\$]</b>
Trabajos de soldadura	50	10	450
Trabajados de mecanizado	45	10	400
Trabajos extras	25	10	150
<b>Total</b>			1000

**Tabla 29, Costos de mano de obra.**

### **Costo total del proyecto**

En la Tabla 30 se muestra el costo final de fabricación de este proyecto, la sección de consumibles se contempla lo gastado en anillos, tuercas y pernos, en el circuito de control se contemplan los elementos electrónicos integrados en este en adición del cableado.

<b>Razón</b>	<b>Costo [\$]</b>
Materiales para fabricación (planchas de acero)	577.29
Varilla de acero inoxidable, Diámetro $\frac{3}{4}$ in	65.00
Rodamiento 61804	37.50
Motor 1 hp, 750 rpm	250.00
Polea 2 3V 235 JA	59.04

Costo de diseño	245.00
Costo de mano de obra	1000.00
Consumibles	25.00
Elementos del circuito de control	110.00
<b>Total</b>	<b>2368.83</b>

**Tabla 30, Costos totales del proyecto.**

## Apéndice K

### Códigos de programación empleados durante el desarrollo

#### Código para graficas de fuerzas cortante y momento Flector (Python)

```
import numpy as np

from scipy.integrate import cumtrapz

from scipy.signal import argrelextrema

import matplotlib.pyplot as plt

# Ingresamos los datos iniciales

l = 0.8508 # longitud, m

q = -2551913 # valor de las tensiones, N

H1 = 0.7508

x = np.linspace(0, l, 100000) # creamos la coordenada x desde 0 a l

# Definimos los valores de carga para la fuerza cortante

q1 = 207.11 # Valor de carga hasta cierto punto

q2 = 48.08 # Valor de carga después de cierto punto

# Calculamos la fuerza cortante (V) con las variaciones

V = np.piecewise(x, [x <= l-H1, (x > l-H1) & (x <= l)], [q, q+q1])
```

```

# Gráfico para la Fuerza Cortante

plt.figure(figsize=(10, 6))

plt.fill_between(x, 0, V, color='green', alpha=0.3, label='Área bajo la curva (Fuerza
Cortante)')

plt.plot(x, V, label='Fuerza Cortante', color='green', linestyle='--')

# Añadimos etiquetas para los máximos y mínimos relativos en la Fuerza Cortante

maxima_indices_V = argrelextrema(V, np.greater)

minima_indices_V = argrelextrema(V, np.less)

for i in maxima_indices_V[0]:

    plt.text(x[i], V[i], f'Max: {V[i]:.2f}', color='red', ha='center', va='bottom')

for i in minima_indices_V[0]:

    plt.text(x[i], V[i], f'Min: {V[i]:.2f}', color='blue', ha='center', va='top')

plt.xlabel('Longitud de eje (m)')

plt.ylabel('Fuerza Cortante (N)')

plt.title('Diagrama de Fuerza Cortante')

plt.axhline(0, color='black', linewidth=0.8, linestyle='--', label='Eje cero')

plt.legend()

plt.grid(True)

plt.show()

```

## Código para graficas de amortiguamiento de vibración (Python)

```
import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

def centrifuga(amplitud_inicial, tiempo_total, masa, amortiguamiento):

    # Parámetros del sistema

    k = 4 * np.pi**2 * masa # Constante de resorte

    omega_0 = np.sqrt(k / masa) # Frecuencia angular natural

    beta = amortiguamiento # Coeficiente de amortiguamiento

    omega_d = np.sqrt(omega_0**2 - beta**2) # Frecuencia angular amortiguada

    t = np.linspace(0, tiempo_total, num=1000) # Vector de tiempo

    # Ecuación de movimiento amortiguado

    x = amplitud_inicial * np.exp(-beta * t) * np.cos(omega_d * t)

    return t, x
```

## Código para Control de panel (Arduino)

```
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); // Inicializa la pantalla LCD en los pines
correspondientes

int startButton = 7; // Pin para el botón de iniciar

int pauseButton = 6; // Pin para el botón de pausar

int secondsButton = 8; // Pin para el botón de segundos

int relayPin = 9; // Pin para controlar el relé

int buzzerPin = 10; // Pin para controlar el buzzer

int sensorButton = 13; // Pin para el botón de sensor de humedad

int humiditySensorPin = A0; // Pin para el sensor de humedad

bool counting = false; // Variable para el estado del conteo

unsigned long startTime = 0; // Variable para almacenar el tiempo de inicio

unsigned long elapsedTime = 0; // Variable para almacenar el tiempo transcurrido

int selectedSeconds = 0; // Variable para almacenar los segundos seleccionados

bool relayState = false; // Variable para almacenar el estado del relé
```



```
void setup() {  
  
  lcd.begin(16, 2); // Inicializa la pantalla LCD con 16 columnas y 2 filas  
  
  pinMode(startButton, INPUT_PULLUP); // Configura el pin del botón de iniciar como  
  entrada con resistencia pull-up  
  
  pinMode(pauseButton, INPUT_PULLUP); // Configura el pin del botón de pausar como  
  entrada con resistencia pull-up  
  
  pinMode(secondsButton, INPUT_PULLUP); // Configura el pin del botón de segundos  
  como entrada con resistencia pull-up  
  
  pinMode(relayPin, OUTPUT); // Configura el pin del relé como salida  
  
  pinMode(buzzerPin, OUTPUT); // Configura el pin del buzzer como salida  
  
  pinMode(sensorButton, INPUT_PULLUP); // Configura el pin del botón de sensor como  
  entrada con resistencia pull-up  
  
}
```

```
void loop() {  
  
  // Verifica si se presiona el botón de sensor  
  
  if (digitalRead(sensorButton) == LOW) {  
  
    lcd.setCursor(0, 1); // Establece la posición del cursor en la segunda fila de la pantalla LCD  
  
    lcd.print("Humedad = "); // Imprime el texto "Humedad = "  
  
    int humidity = map(analogRead(humiditySensorPin), 0, 1023, 0, 100); // Lee el valor de  
humedad del sensor  
  
    lcd.print(humidity); // Imprime el valor de humedad  
  
    lcd.print("%"); // Imprime el símbolo de porcentaje }  
  
  // Verifica si se presiona el botón de segundos  
  
  if (digitalRead(secondsButton) == LOW) {  
  
    delay(200); // Pequeña pausa para evitar el rebote del botón  
  
    selectedSeconds += 20; // Incrementa los segundos seleccionados en 20 segundos  
  
    // Limita los segundos seleccionados a un máximo de 60 segundos  
  
    if (selectedSeconds > 60) {  
  
      selectedSeconds = 60;  
  
    }  
  
  }  
  
}
```

```

lcd.setCursor(0, 1); // Establece la posición del cursor en la segunda fila de la pantalla LCD

lcd.print("Segundos:  "); // Imprime el texto "Segundos: "

lcd.setCursor(10, 1); // Establece la posición del cursor para imprimir los segundos
seleccionados

lcd.print(selectedSeconds); // Imprime los segundos seleccionados
}

// Verifica si se presiona el botón de iniciar

if (digitalRead(startButton) == LOW && !counting) {

    counting = true; // Cambia el estado del conteo a verdadero

    startTime = millis(); // Guarda el tiempo de inicio

    // Ajusta el tiempo de inicio restando los segundos seleccionados

    startTime -= selectedSeconds * 1000;

    digitalWrite(relayPin, HIGH); // Activa el relé

    relayState = true; // Actualiza el estado del relé

}

```

```
// Verifica si se presiona el botón de pausar

if (digitalRead(pauseButton) == LOW && counting) {

    counting = false; // Cambia el estado del conteo a falso

    elapsedTime = 0; // Reinicia el tiempo transcurrido

    selectedSeconds = 0; // Reinicia los segundos seleccionados

    lcd.clear(); // Limpia la pantalla LCD

    lcd.setCursor(0, 0); // Establece la posición del cursor en la primera fila de la pantalla LCD

    lcd.print("Seleccione tiempo"); // Muestra un mensaje para seleccionar el tiempo

    digitalWrite(relayPin, LOW); // Desactiva el relé

    relayState = false; // Actualiza el estado del relé

}
```

```
// Si el conteo está activo, calcula el tiempo transcurrido y muestra en la pantalla LCD

if (counting) {

    elapsedTime = millis() - startTime; // Calcula el tiempo transcurrido

    int remainingSeconds = (selectedSeconds * 1000 - elapsedTime) / 1000; // Calcula los
segundos restantes

    lcd.setCursor(0, 0); // Establece la posición del cursor en la primera fila de la pantalla LCD

    lcd.print("Tiempo restante: "); // Imprime el texto "Tiempo restante: "

    lcd.print(remainingSeconds); // Imprime los segundos restantes

    lcd.print(" seg "); // Imprime "seg" y espacios para borrar el contenido anterior
```

```
// Verifica si el tiempo ha llegado a cero y detiene el conteo

if (remainingSeconds <= 0) {

    counting = false; // Cambia el estado del conteo a falso

    lcd.clear(); // Limpia la pantalla LCD

    lcd.print("Tiempo agotado"); // Muestra un mensaje de tiempo agotado

    digitalWrite(relayPin, LOW); // Desactiva el relé

    relayState = false; // Actualiza el estado del relé

}

else {

    digitalWrite(relayPin, HIGH); // Activa el relé mientras el temporizador está en marcha

    relayState = true; // Actualiza el estado del relé

}

}
```

```
// Si el relé se apaga, activa el buzzer durante 3 segundos

if (!relayState) {

    digitalWrite(buzzerPin, HIGH); // Enciende el buzzer

    delay(3000); // Espera 3 segundos

    digitalWrite(buzzerPin, LOW); // Apaga el buzzer

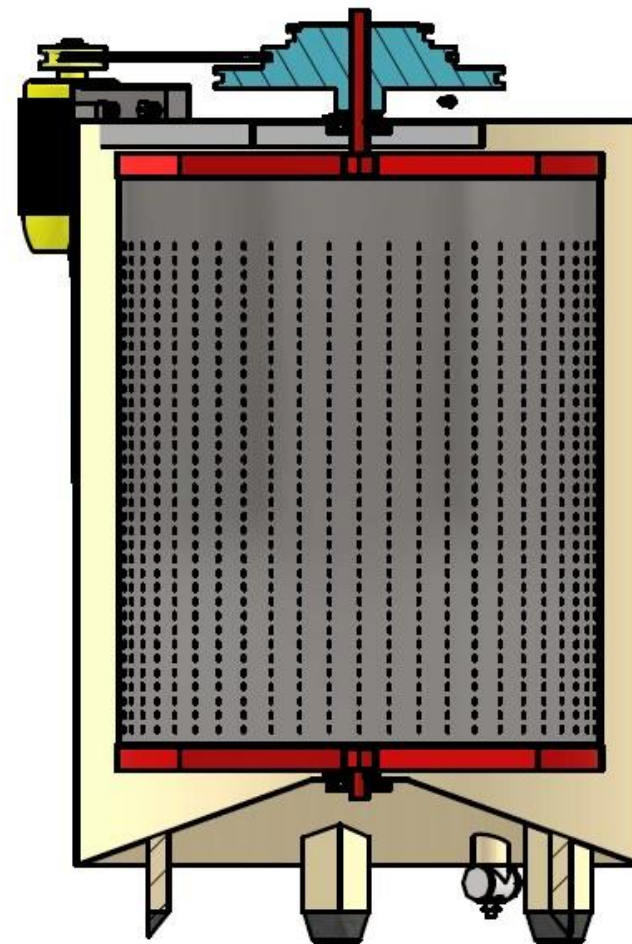
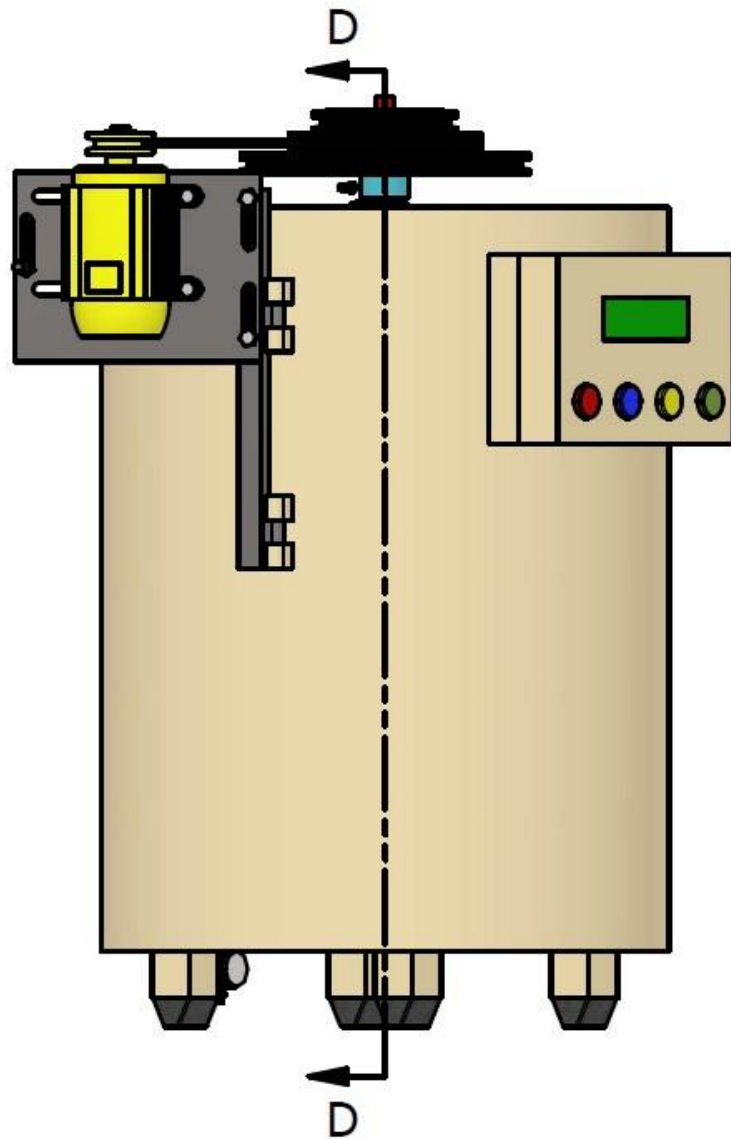
}

delay(100); // Pequeña pausa para estabilidad

}
```

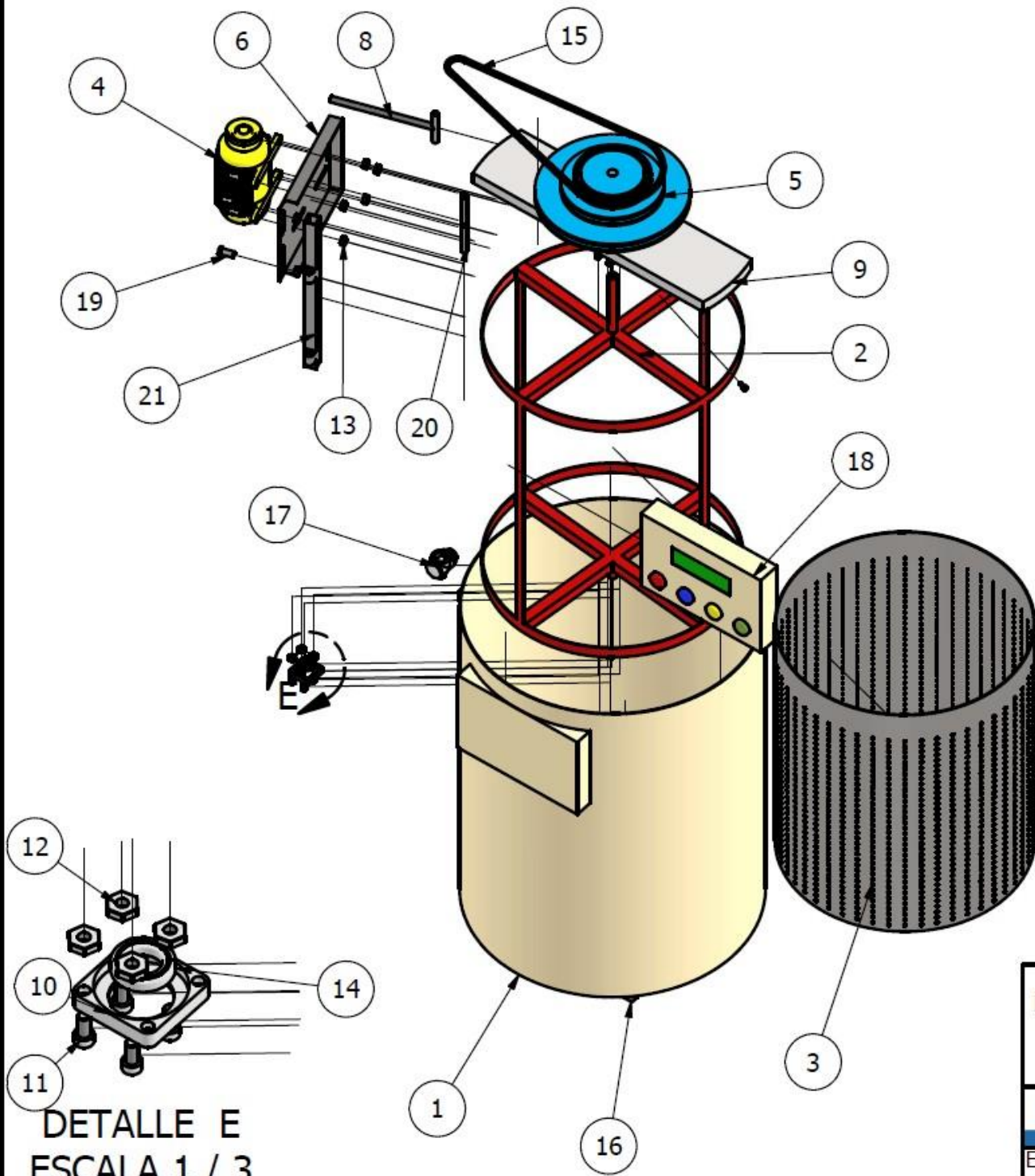
## **Planos**





SECCIÓN D-D  
ESCALA 1 / 8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		TUTOR	J. AMAYA
		ALUMNO	W. OLIVARES E. GARCÍA
<small>Facultad de Ingeniería en          Mecánica y          Ciencias de la Producción</small> <b>espól</b> Esc: 1 / 8 II TÉRMINO		FECHA	16/11/2023
		PARALELO	5
Diseño de sistema de separación de lixiviados por centrifugado  CORTE MEDIO DE SISTEMA DE CENTRIFUGADO		LÁMINA	1

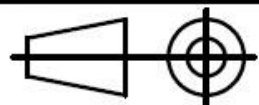


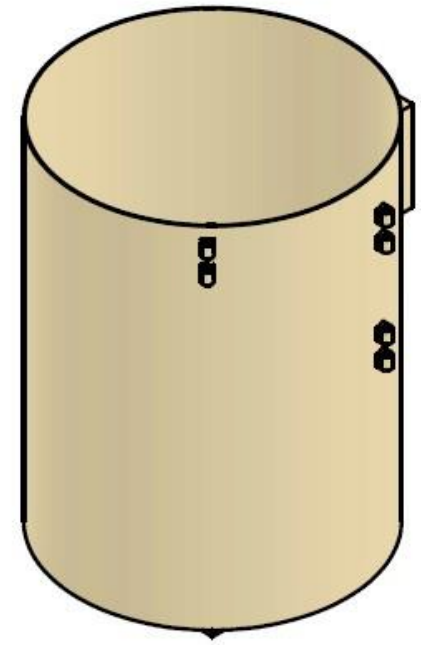
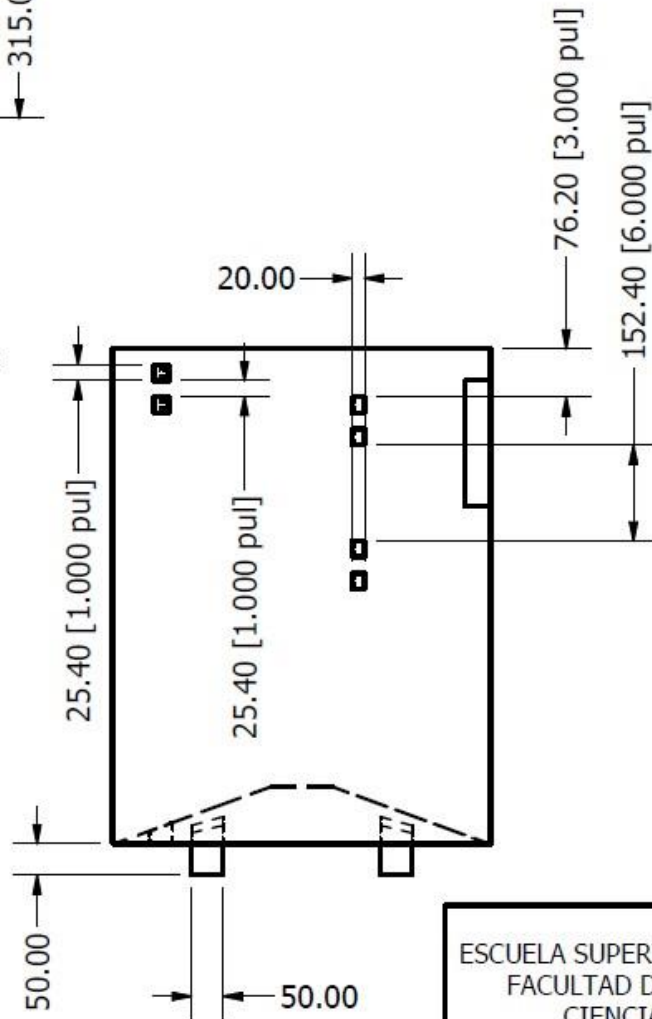
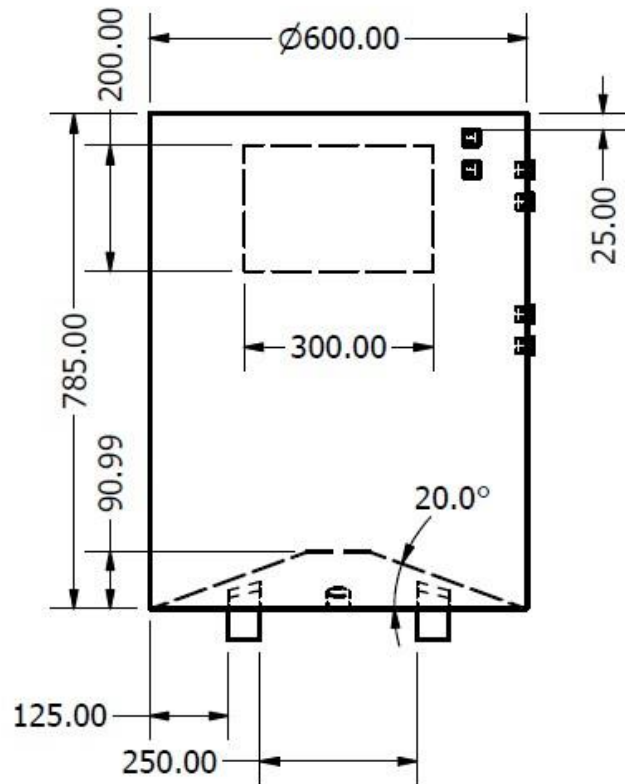
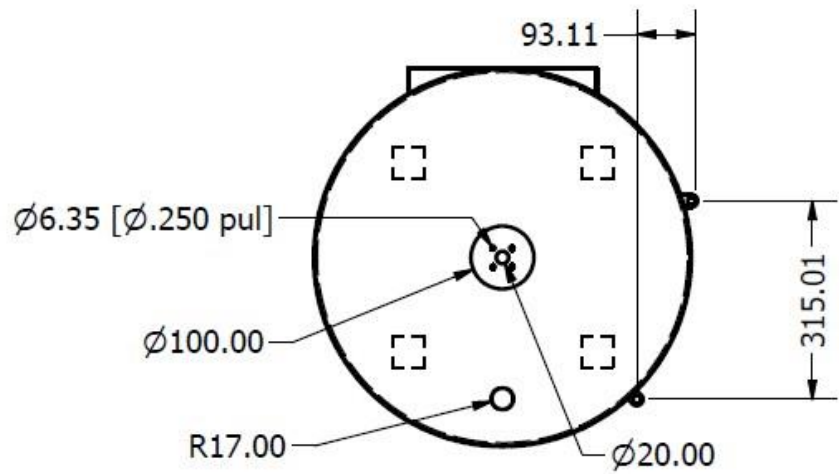
LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Carcasa
2	1	Eje de transmisión
3	1	Tambor
4	1	Motor
5	1	Polea para transmisión
6	1	Base para motor
8	1	Perno para ajustar base
9	1	Base para rodamiento y eje
10	2	Soporte para rodamiento
11	9	Perno Allen de 1.4in
12	8	Tuerca de 1/4in
13	8	Tuerca de 1/2in
14	2	Rodamiento YET204-012
15	1	Banda
16	4	Caucho de amortiguación comercial
17	1	Válvula de bola 1in
18	1	Panel de Control
19	6	Perno hexa de 1.2in
20	2	Pasador de bisagras
21	1	Bisagra para motor

DETALLE E  
ESCALA 1 / 3

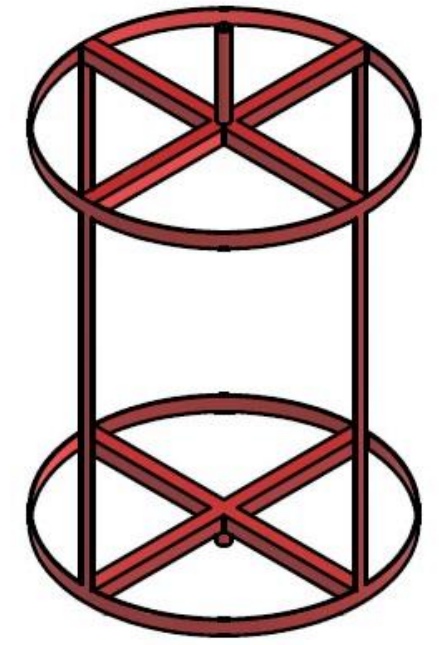
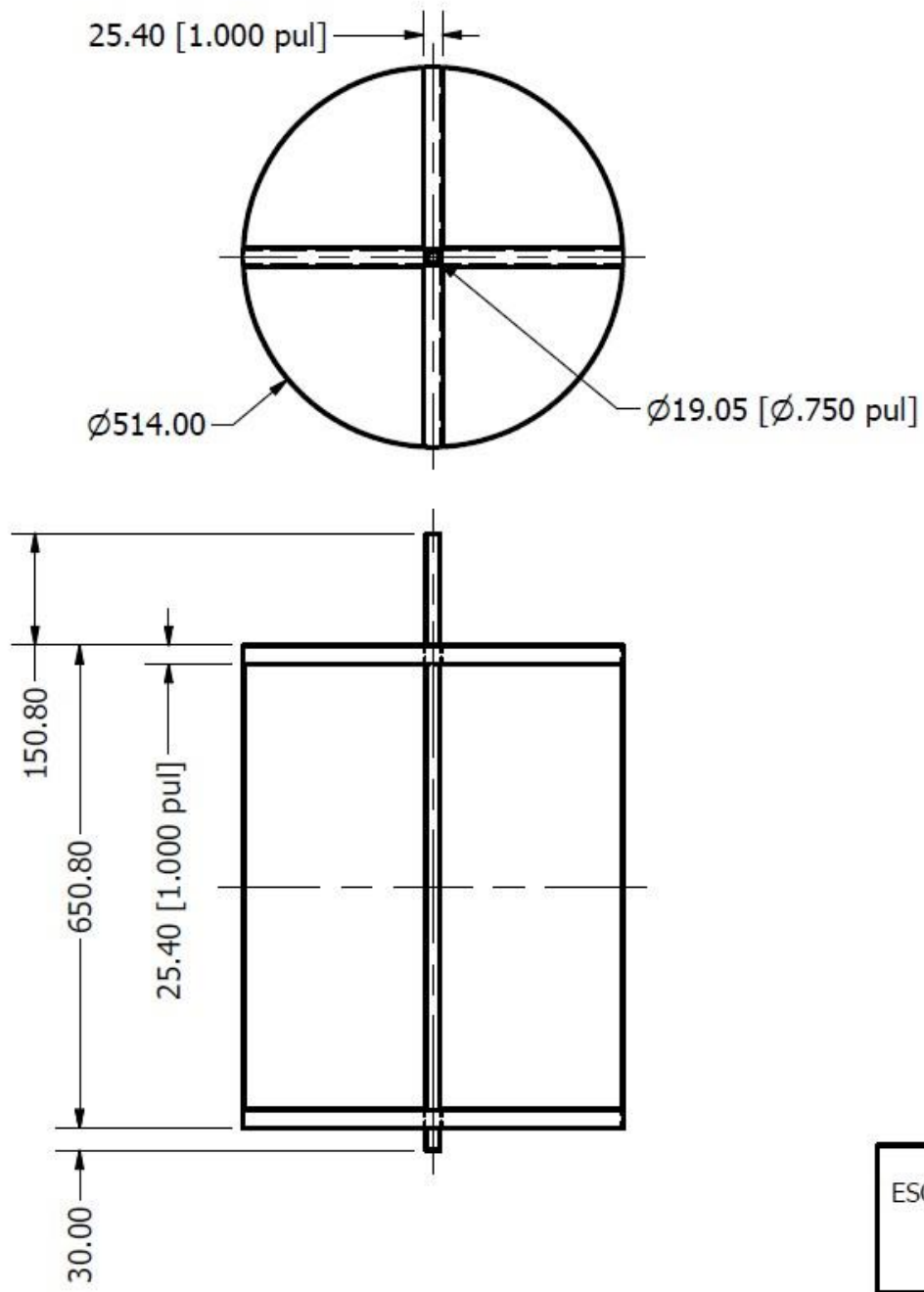
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN	TUTOR	J. AMAYA
	ALUMNO	W. OLIVARES E. GARCÍA
	FECHA	16/11/2023
	PARALELO	5
Diseño de sistema de separación de lixiviados por centrifugado  ESC: 1 / 12 II TÉRMINO	LÁMINA	2
	VISTA EXPLOSIVA DE SISTEMA	



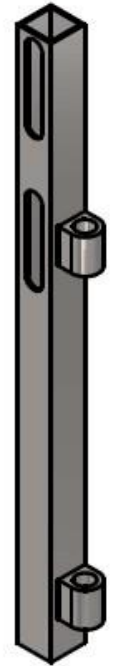
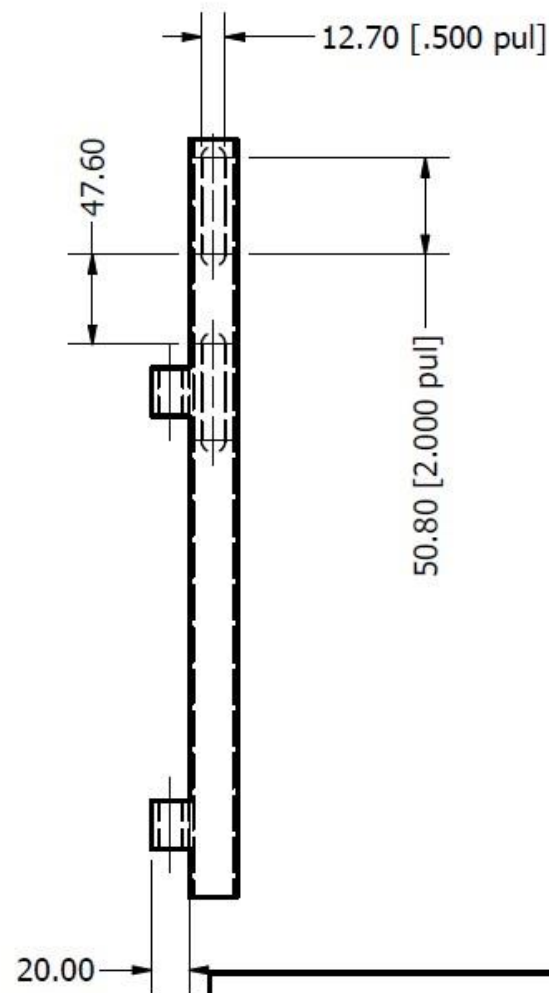
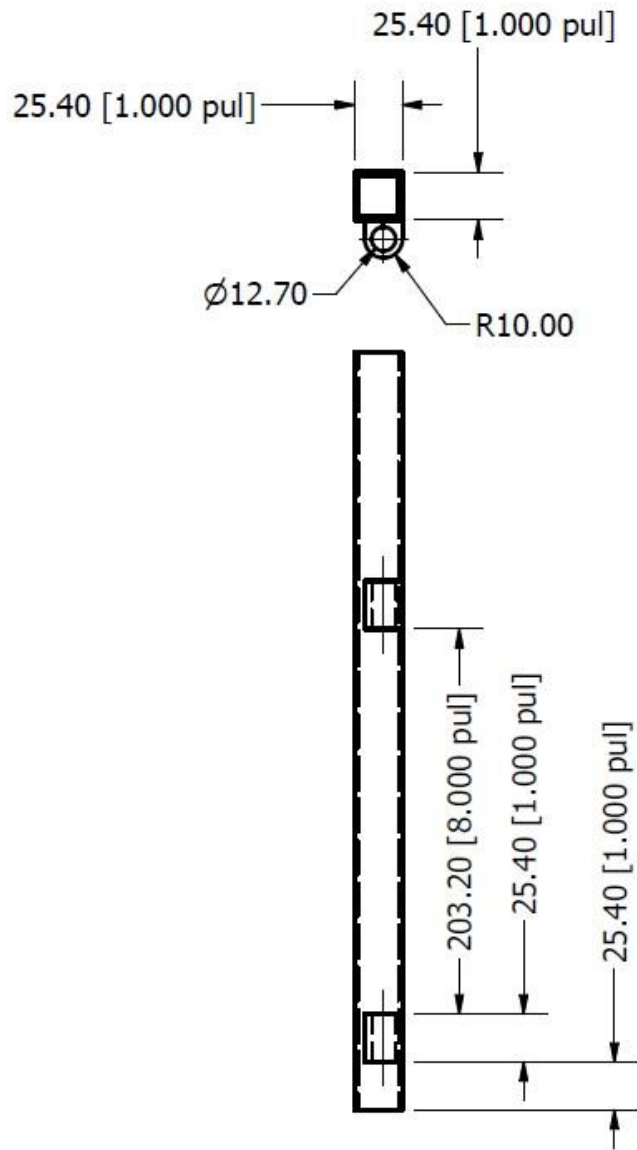


ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		TUTOR	J. AMAYA
		ALUMNO	W. OLVARES E. GARCÍA
		FECHA	16/11/2023
		PARALELO	5
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción 		LÁMINA	3
		Esc: 1 / 12	
Diseño de sistema de separación de lixiviados por centrifugado			
II TÉRMINO			
CARCASA DEL SISTEMA			

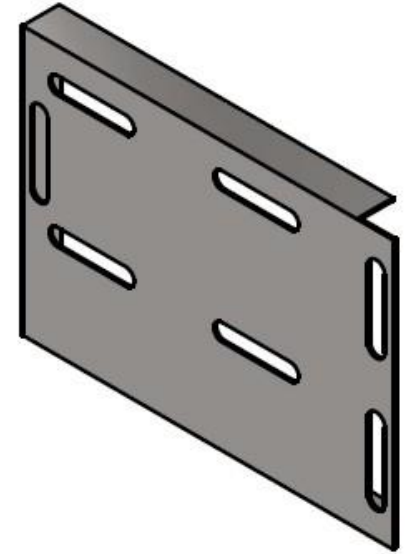
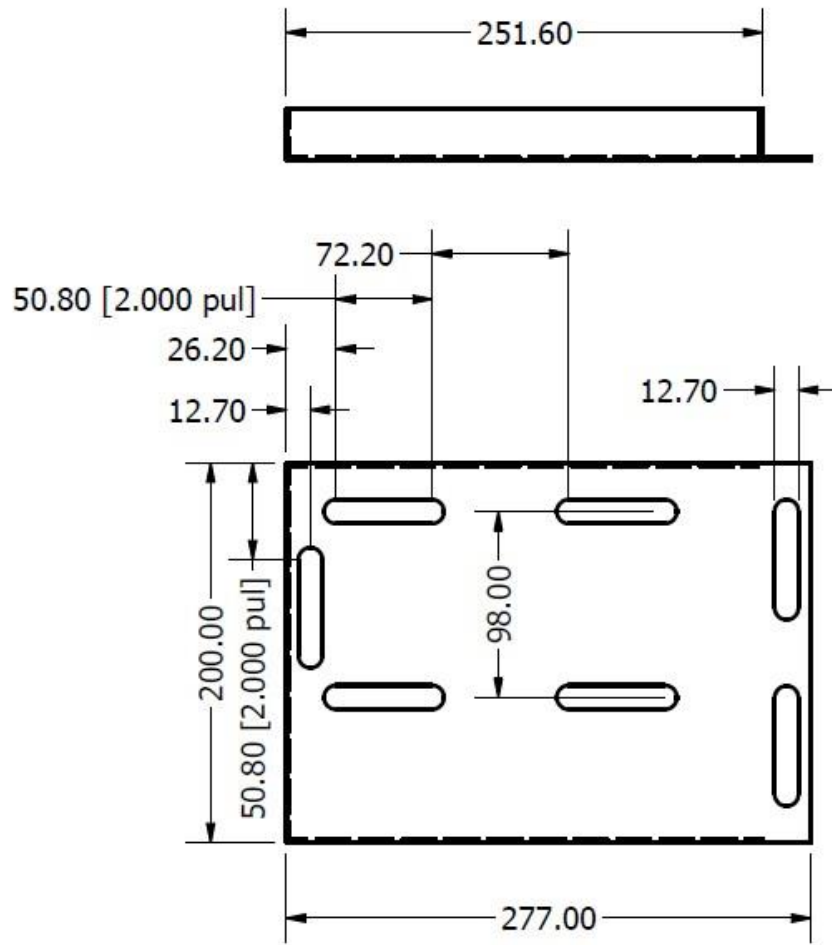



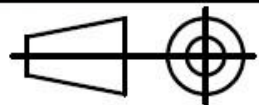


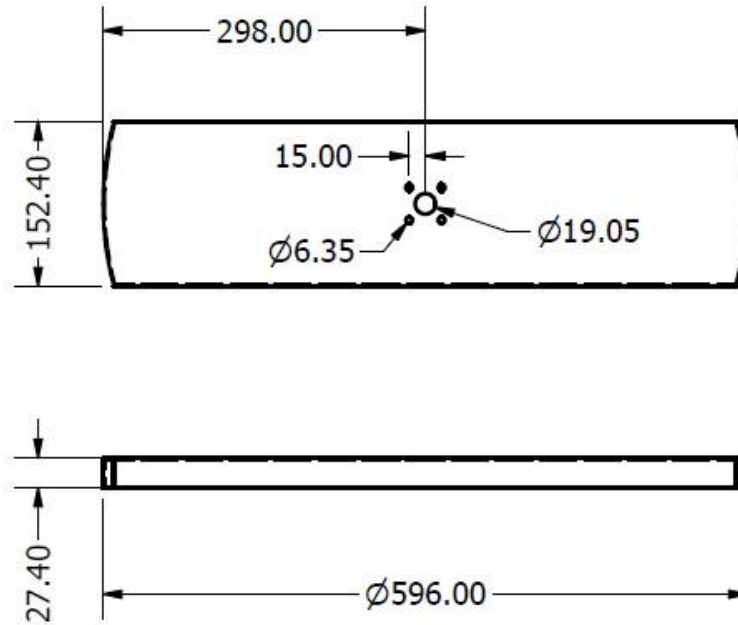
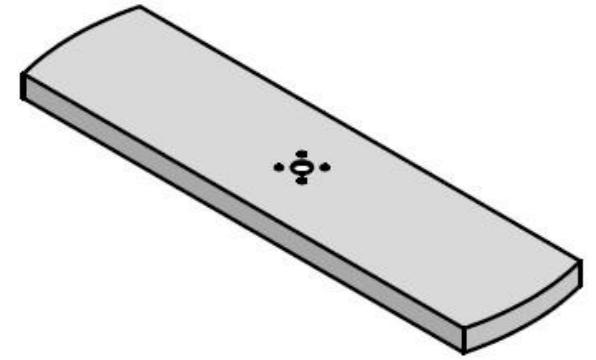
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN	TUTOR	J. AMAYA	
	ALUMNO	W. OLIVARES E. GARCÍA	
	FECHA	16/11/2023	
	PARALELO	5	
<small>Facultad de Ingeniería en          Mecánica y          Ciencias de          la Producción</small> <b>espol</b> Esc: 1 / 10 II TÉRMINO	Diseño de sistema de separación de lixiviados por centrifugado	LÁMINA	4
	EJE DE TRANSMISIÓN		



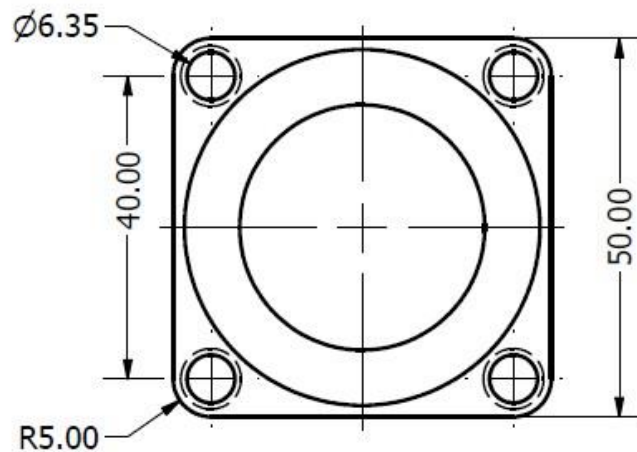
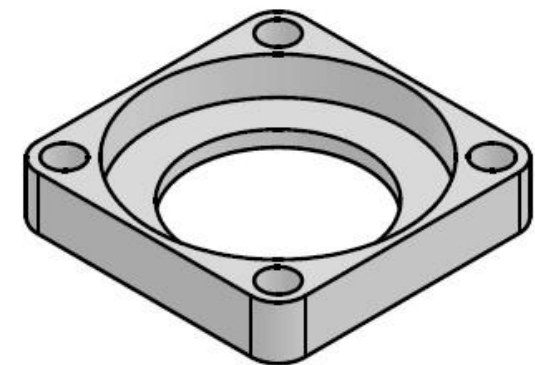
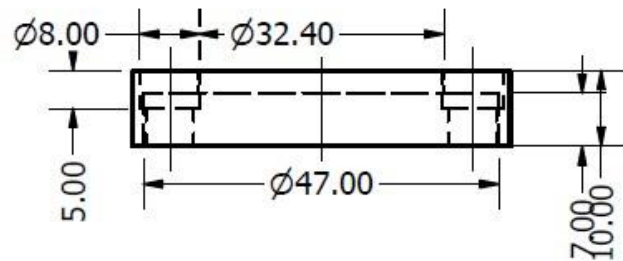
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN	TUTOR	J. AMAYA	
	ALUMNO	W. OLIVARES E. GARCÍA	
	FECHA	04/01/2024	
	PARALELO	5	
<small>Facultad de Ingeniería en          Mecánica y          Ciencias de          la Producción</small> 	Diseño de sistema de separación de lixiviados por centrifugado	LÁMINA	5
Esc: 1 / 4 II TÉRMINO	BISAGRA PARA BASE DE MOTOR		



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		TUTOR	J. AMAYA	
		ALUMNO	W. OLIVARES E. GARCÍA	
		FECHA	11/01/2024	
		PARALELO	5	
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción 		Diseño de sistema de separación de lixiviados por centrifugado	LÁMINA	6
Esc: 1 / 4 II TÉRMINO		BASE PARA MOTOR		

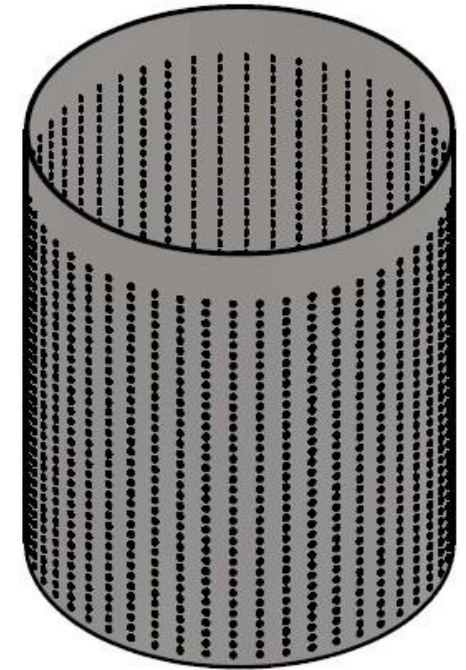
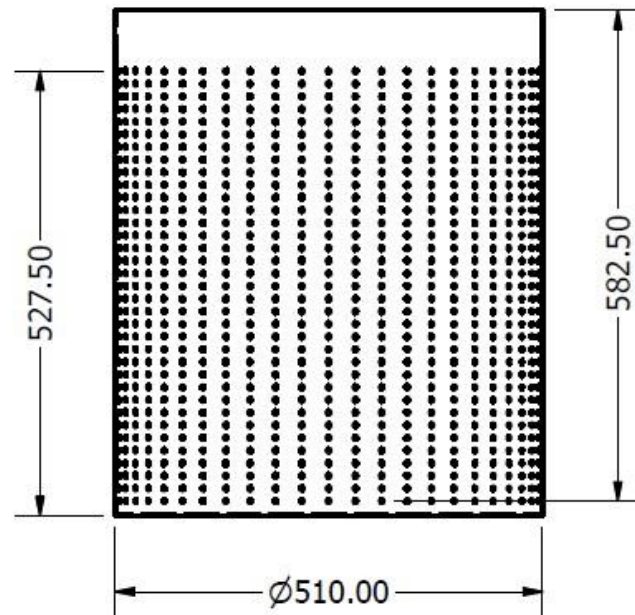


ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN	TUTOR	J. AMAYA	
	ALUMNO	W. OLIVARES E. GARCÍA	
	FECHA	19/01/2024	
	PARALELO	5	
<small>Facultad de Ingeniería en          Mecánica y          Ciencias de          la Producción</small> <b>espol</b> Esc: 1 / 7 II TÉRMINO	Diseño de sistema de separación de lixiviados por centrifugado	LÁMINA	7
	SOPORTE PARA EJE Y RODAMIENTO		



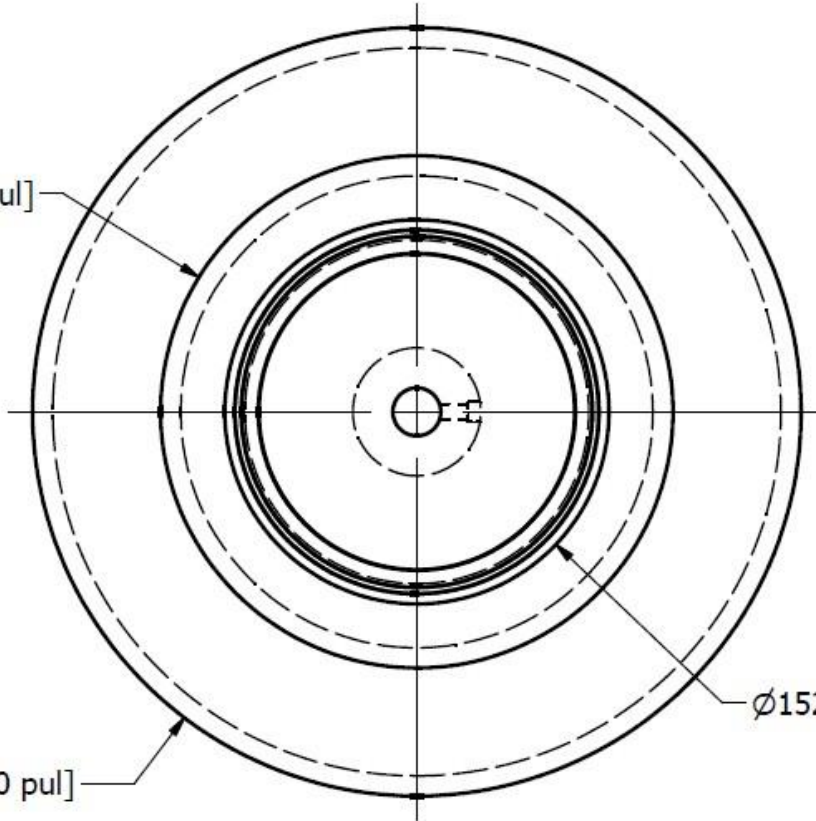
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		TUTOR	J. AMAYA
		ALUMNO	W. OLIVARES E. GARCÍA
		FECHA	19/01/2024
		PARALELO	5
		LÁMINA	8
		Diseño de sistema de separación de lixiviados por centrifugado	
Esc: 1:1 II TÉRMINO		CAJONERA PARA RODAMIENTO	





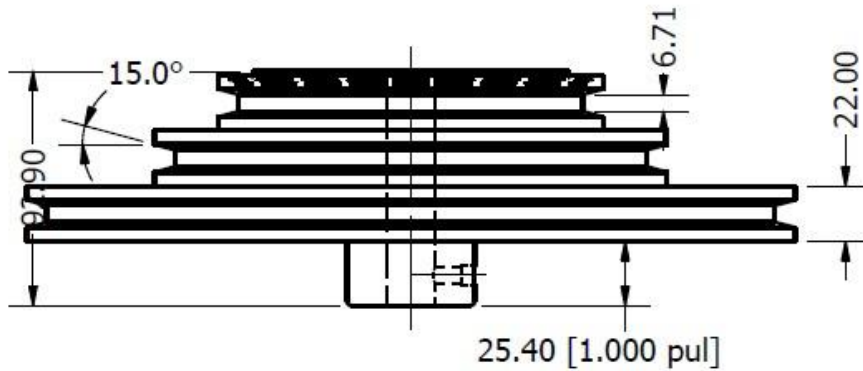
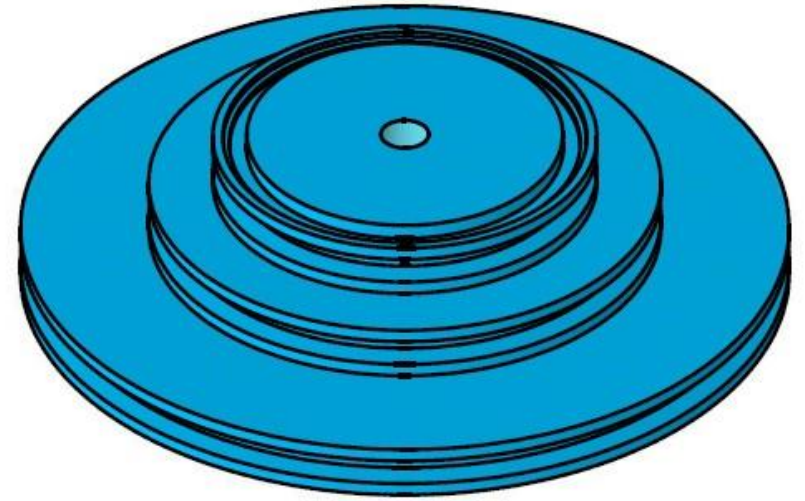
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		TUTOR	J. AMAYA	
		ALUMNO	W. OLIVARES E. GARCÍA	
		FECHA	05/11/2023	
		PARALELO	5	
<small>Facultad de Ingeniería en          Mecánica y          Ciencias de          la Producción</small> <b>espol</b> Esc: 1 / 9 II TÉRMINO		Diseño de sistema de separación de lixiviados por centrifugado	LÁMINA	9
		TAMBOR DE CENTRIFUGADORA		

Ø203.20 [Ø8.000 pul]



Ø152.40 [Ø6.000 pul]

Ø304.80 [Ø12.000 pul]



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN	TUTOR	J. AMAYA
	ALUMNO	W. OLIVARES E. GARCÍA
	FECHA	04/12/2023
	PARALELO	5
<small>Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción</small> 	Diseño de sistema de separación de lixiviados por centrifugado	
	LÁMINA 10	
Esc: 1 / 3 II TÉRMINO	SISTEMA DE POLEAS	