



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**“DISEÑO DE UNA MÁQUINA FIBRADORA PARA PLÁSTICOS DE  
POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD”**

Propuesta Tecnológica presentada previo a la obtención del Título de Ingenieros en  
Electromecánica

**Autores:**

Toapanta Cahahuishca Diego Geovanny

Villacís Toapanta Kevin Ariel

**Tutor:**

Ing. M.Sc. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera

**LATACUNGA – ECUADOR**

Marzo 2022



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Toapanta Cajahuishca Diego Geovanny y Villacis Toapanta Kevin Ariel declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica **“DISEÑO DE UNA MÁQUINA FIBRADORA PARA PLÁSTICOS DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD”**, siendo el Ing. M.sc. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, Marzo 2022

Toapanta Cajahuishca Diego Geovanny  
C.I. 1805532551

Villacis Toapanta Kevin Ariel  
C.I. 0502883887



## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Propuesta Tecnológica sobre el título:

**“DISEÑO DE UNA MÁQUINA FIBRADORA PRA PLÁSTICOS DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD”**, de Toapanta Cajahuishca Diego Geovanny, Villacis Toapanta Kevin Ariel, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Marzo 2022

Ing. Msc. Raúl Reinoso Peñaherrera

C.C. 050215089-9

Tutor



## AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de Ciencias De La Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Toapanta Cajahuishca Diego Geovanny, Villacis Toapanta Kevin Ariel con el título de Proyecto de titulación: **“DISEÑO DE UNA MÁQUINA FIBRADORA PARA PLÁSTICOS DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, marzo 2022

Para constancia firman:

**Lector 1 (Presidente)**

Nombre: Ing. Héctor Laurencio  
CC: 1758367252

**Lector 2**

Nombre: Ing. MsC. Paulina Freire  
CC: 0502056229

**Lector 3**

Nombre: Ing. Jefferson Porras  
CC: 0502150899



## AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Mediante el presente documento, pongo en consideración que los Srs estudiantes: Toapanta Cajahuishca Diego Geovanny portador de la cedula de ciudadanía 180553255-1 y Villacis Toapanta Kevin Ariel portador de la cedula de ciudadanía 050288388-7, estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi de la carrera de Ingeniería Electromecánica, realizaron el diseño e implementación de su proyecto tecnológico bajo el nombre de **“DISEÑO DE UNA MÁQUINA FIBRADORA PRA PLÁSTICOS DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD”** trabajo que fue desarrollado de manera satisfactoria logrando obtener resultados positivos.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al interesado hacer uso del presente documento en cuanto estime conveniente mientras se encuentre dentro del marco legal.

Latacunga, Marzo 2022

Ing. Msc. Raúl Reinoso Peñaherrera

C.C. 050215089-9

## **AGRADECIMIENTO**

Al terminar una etapa maravillosa de mi vida deseo extender un profundo agradecimiento, a todos quienes hicieron posible cumplir esta meta, aquellos que con su apoyo incondicional en todo momento fueron mi soporte, inspiración y fortaleza. Esta mención de manera especial para Dios, mis padres, mis abuelos, mi esposa y mi hijo. Muchas gracias a todos ustedes por demostrarme que “Vivir con el apoyo de los nuestros, nos hace más libres y sentirnos más felices”.

Mi sincera gratitud a la Universidad Técnica de Cotopaxi, Carrera de Electromecánica, por haberme permitido formarme en ella, mi agradecimiento especial al tutor de mi tesis, Ing. Raúl Reinoso, gracias por su guía que motivaron la investigación y a todos los docentes quienes con sus enseñanzas y apoyo incondicional constituyen la base de mi vida profesional.

Gracias a todos.

***Diego Geovanny***

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, doy gracias a Dios por permitirme culminar un objetivo fundamental en la vida, agradezco a mi familia y amigos quienes me han apoyado incondicionalmente con sus palabras de aliento y sus buenos consejos.

Agradezco infinitamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi, que, gracias a sus excelentes docentes, hemos adquirido un gran conocimiento y nos han formado como unos buenos profesionales para la patria.

Un especial agradecimiento al Ing. Héctor Raúl Reinoso quien con su guía nos ha sabido orientar para poder culminar este proyecto.

*Kevin Ariel*

## **DEDICATORIA**

Lleno de mucha alegría, dedico esta tesis, a cada uno de mis seres queridos, por siempre estar para mí en todo momento.

A mis padres José y Martha, quienes me dieron la vida, educación, consejos, apoyo moral y económico y han sido mis pilares fundamentales en mi vida para poder darme la mejor herencia que me pudieron dejar.

A mi esposa Nicol y a mi hijo Dylan, personas que iluminan mi vida, creyeron en mí a pesar de pasar momentos difíciles con su apoyo alcance una meta, a través de su amor, y paciencia

A la memoria de mi abuelito Ángel, quién me animó en este campo de estudio y me acompañó en este proceso, lo mantendré conmigo el resto de mi vida fruto de nobles enseñanzas, valores y virtudes.

A todas las personas quienes nos han apoyado y han hecho que el presente trabajo se concluya con éxito de manera especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos, el triunfo también es suyo.

***Diego Geovanny***

## **DEDICATORIA**

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño a mis amados padres Augusto y Rosa, por su sacrificio y esfuerzo, por darme una carrera para mi futuro y por creer en mi capacidad para lograr mis metas. Aunque el camino ha sido lleno de obstáculos y momentos difíciles, siempre han estado para apoyarme y darme aliento para continuar.

A mi amado hijo Samael por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día, y así poder darle todo lo mejor para su futuro.

A mis hermanos y cuñada quienes con sus palabras de aliento y sus consejos me han sabido motivar para alcanzar mis metas planteadas.

***Kevin Ariel***

## INDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	i
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN .....	ii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	iii
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
DEDICATORIA.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
INDICE GENERAL .....	ix
INDICE DE TABLAS .....	xv
RESUMEN .....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
1. INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
2.1. EL PROBLEMA.....	2
2.1.1. Situación problemática .....	2
2.1.2. Formulación del problema.....	3
2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	3
2.3. BENEFICIARIOS: .....	4
2.4. JUSTIFICACIÓN .....	4
2.5. PREGUNTA CIENTÍFICA.....	4
2.6. OBJETIVOS .....	4
2.6.1. General: .....	4
2.6.2. Específicos:.....	4
2.6.3. Tareas por objetivos planteados .....	5
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	6

3.1.	Introducción .....	6
3.2.	Antecedentes .....	7
3.3.	Industria del plástico .....	7
3.3.1.	Materiales termoplásticos .....	8
3.3.2.	Material PET (polietileno tereftalato) .....	8
3.3.3.	El Polietileno de baja densidad.....	9
3.3.4.	Gránulos de PET.....	10
3.3.5.	Procesos de fabricación de materiales termoplásticos.....	10
3.4.	Proceso de centrifugado (principio de funcionamiento).....	11
3.4.1.	Procesos de fabricación para el fibrado del plástico.....	12
3.5.	Alternativas de máquinas para la producción de las fibras de plástico extrusión – centrifugadora.....	13
3.5.1.	Extrusoras de pistón. ....	13
3.5.2.	Extrusoras de rodillos .....	13
3.5.3.	Extrusora de tornillo. ....	13
3.6.	Mecanismos de operación y materiales de máquinas fibradoras de plásticos .....	14
3.6.1.	Tornillo extrusor .....	14
3.6.2.	Cilindro.....	14
3.6.3.	Garganta de alimentación .....	15
3.6.4.	La tolva.....	15
3.6.5.	Motor Eléctrico.....	15
3.6.6.	Motorreductor.....	15
3.6.7.	Resistencias eléctricas tipo abrazadera.....	16
3.6.8.	Disco con resistencias eléctricas.....	16
3.6.9.	Termocupla.....	16
3.6.10.	Plato contenedor .....	16
3.7.	Sistema mecánico .....	16

3.8.	Sistemas térmicos para máquinas fibradoras de plásticos .....	17
3.8.1.	Sistemas de transmisión de calor por conducción .....	17
3.8.2.	Sistema de control térmico PID.....	17
3.9.	Sistemas eléctricos y de control de máquinas fibradoras de plásticos.....	18
3.9.1.	Sistema eléctrico.....	19
3.9.2.	Elementos eléctricos de protección .....	19
3.10.	Manufactura y tecnología de fabricación.....	19
3.10.1.	Herramientas CAD .....	19
3.10.2.	Herramientas CAE.....	20
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
4.1.	Métodos .....	21
4.2.	Conceptualización del modelo.....	23
4.3.	Operacionalización de las variables.....	23
4.4.	Alcance del proyecto .....	23
4.5.	Definición de requisitos .....	24
4.5.1.	Estructura funcional de la máquina fibradora.....	24
4.5.2.	Conceptualización del modelo.....	25
4.5.3.	Dimensionamiento y simulación del sistema .....	27
4.6.	Dimensionamiento y simulación del sistema.....	27
4.7.	Parámetros del sistema mecánico de la fibradora.....	27
4.7.1.	Parámetros para el dimensionamiento del árbol de transmisión .....	27
4.7.2.	Plato contenedor .....	29
4.7.3.	Materiales de distribución .....	29
4.8.	Parámetros para el diseño del sistema térmico. ....	31
4.8.1.	Transferencia de calor .....	32
4.9.	Parámetros para el sistema de eléctrico y de control .....	33
4.9.1.	Selección del motor eléctrico .....	33

4.9.2.	Criterio para el control de velocidad .....	35
4.10.	Protecciones eléctricas .....	35
4.10.1.	Dimensionamiento de los conductores .....	36
4.11.	Diseño del control de temperatura .....	36
4.11.1.	Selección del instrumento de medición .....	38
4.11.2.	Control de temperatura .....	39
4.12.	Manufactura y tecnología de fabricación.....	40
5	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	40
5.1.	Selección de alternativas para construcción de la máquina .....	40
5.2.	Diseño de detalle.....	41
5.2.1.	Resultados de los parámetros de los componentes del sistema mecánico.....	41
5.2.2.	Sistema de distribución.....	43
5.2.3.	Resultados de los parámetros de los componentes del sistema térmico.....	44
5.2.4.	Análisis eléctrico .....	48
5.3.	Validación mediante el método de contacto. ....	56
5.4.	Manufactura y tecnología de fabricación.....	56
5.5.	Presupuesto .....	59
5.6.	Impactos (Técnicos, sociales, ambientales o económicos).....	60
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	61
6.1.	Conclusiones.....	61
6.2.	Recomendaciones .....	62
7	BIBLIOGRAFÍA .....	63
8	ANEXOS .....	67
9	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO .....	84
	PLANOS PARA LA CONSTRUCCION DE LA MÁQUINA .....	90

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> Diagrama de Ishikawa.....	3
<b>Figura 3. 1</b> Proceso de reciclado mecánico [5].....	6
<b>Figura 3. 2</b> Usos del PET reciclado. Adaptado de [5].....	6
<b>Figura 3. 3</b> Clasificación de los polímeros. [8] .....	8
<b>Figura 3. 4</b> Características del PET [20] .....	9
<b>Figura 3. 5</b> Gránulos de PET .....	10
<b>Figura 3. 6</b> Procesos de transformación del termoplástico.....	11
<b>Figura 3. 7</b> Proceso de centrifugado .....	12
<b>Figura 3. 8</b> Dispositivo hilador.....	13
<b>Figura 3. 9</b> Tornillo extrusor [19].....	14
<b>Figura 3. 10</b> Cilíndrico de calefacción-tornillo [19].....	14
<b>Figura 3. 11</b> Garganta de alimentación [19].....	15
<b>Figura 3. 12</b> Motorreductor .....	15
<b>Figura 3. 13</b> Resistencia eléctrica tipo abrazadera .....	16
<b>Figura 3. 14</b> Transferencia de calor por conducción .....	17
<b>Figura 3. 15</b> Sistema de control PID .....	18
<b>Figura 3. 16</b> Kit Pirómetro Digital Control De Temperatura SSR40A .....	18
<b>Figura 4. 1</b> Estructura funcional .....	21
<b>Figura 4. 2</b> Diagrama de flujo del proceso de centrifugación .....	22
<b>Figura 4. 3</b> Estructura de procesos de la máquina fibradora .....	24
<b>Figura 4. 4</b> Aplicación de metodología Poka Yoke en la construcción de la máquina fibradora .....	25
<b>Figura 4. 5</b> Codo de acero inoxidable.....	30
<b>Figura 4. 6</b> Tubo de acero inoxidable.....	30
<b>Figura 4. 7</b> Reducción de 1 ½ pulgadas a 1 pulgada, en material de acero inoxidable.....	31
<b>Figura 4. 8</b> Control en lazo cerrado del sistema post extrusión.....	39
<b>Figura 4. 9</b> Control en lazo cerrado del sistema disco contenedor.....	39
<b>Figura 4. 10</b> Circuito de control y fuerza de temperatura.....	40
<b>Figura 5. 1</b> Plato contenedor.....	43
<b>Figura 5. 2</b> Codo de acero inoxidable.....	44
<b>Figura 5. 3</b> Conexión de tubos y codo.....	44
<b>Figura 5. 4</b> Acople tipo reducción de 1 ½ a 1 pulg. ....	44

<b>Figura 5. 5</b>	Perfil de temperaturas y resistencias del sistema post extrusor .....	45
<b>Figura 5. 6</b>	Perfil de temperaturas y resistencias del sistema disco contenedor.....	47
<b>Figura 5. 7</b>	Motor eléctrico 0,5 hp.....	50
<b>Figura 5. 8</b>	Diseño del control de velocidad.....	50
<b>Figura 5. 9</b>	Guardamotor .....	51
<b>Figura 5. 10</b>	Interruptor termomagnético para el sistema post extrusor.....	52
<b>Figura 5. 11</b>	Interruptor termomagnético para el sistema disco contenedor .....	53
<b>Figura 5. 12</b>	Tabla de conductores .....	53
<b>Figura 5. 13</b>	Diseño del circuito eléctrico de control .....	55
<b>Figura 5. 14</b>	Conexión entre la máquina extrusora y la fibradora. ....	56
<b>Figura 5. 15</b>	Máquina extrusora-fibradora.....	57

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2. 1</b>	Sistema de actividades por objetivos.....	5
<b>Tabla 4. 1</b>	Matriz de Pugh para selección de alternativas y relevancia .....	21
<b>Tabla 4. 2</b>	Partes de las zonas .....	22
<b>Tabla 4. 3</b>	Operacionalización de las variables. ....	23
<b>Tabla 4. 4</b>	Valoración de componentes por método de contacto.....	26
<b>Tabla 4. 5</b>	Identificación de movimientos por fase mediante método de valor fijo. ....	26
<b>Tabla 4. 6</b>	Identificación de error y alternativa por fase mediante método secuencia de desempeño .....	26
<b>Tabla 4. 7</b>	Características del PET.....	31
<b>Tabla 4. 8</b>	Comparación entre equipos de control .....	37
<b>Tabla 4. 9</b>	Comparación entre instrumentos de temperatura .....	38
<b>Tabla 5. 1</b>	Matriz Pugh de relevancia en base a los criterios.....	41
<b>Tabla 5. 2</b>	Datos del sistema Post extrusión del PET .....	45
<b>Tabla 5. 3</b>	Datos para las pérdidas por conducción .....	46
<b>Tabla 5. 4</b>	Datos del sistema disco contenedor del PET.....	47
<b>Tabla 5. 5</b>	Datos para pérdidas por conducción.....	47
<b>Tabla 5. 6</b>	Selección del control de velocidad .....	50
<b>Tabla 5. 7</b>	Características de las corrientes eléctricas de los elementos.....	53
<b>Tabla 5. 8</b>	Método de contacto en los componentes de la máquina fibradora.....	56
<b>Tabla 5. 9</b>	Resultados obtenidos en las pruebas de campo realizadas .....	58
<b>Tabla 5. 10</b>	Costos Directos.....	59
<b>Tabla 5. 11</b>	Costos Indirectos .....	59
<b>Tabla 5. 12</b>	Resumen total de costos. ....	59



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

### FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

#### TITULO: “DISEÑO DE UNA MÁQUINA FIBRADORA PARA PLÁSTICOS DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD”

#### **Autores:**

Toapanta Cajahuishca Diego Geovanny

Villacis Toapanta Kevin Ariel

#### **RESUMEN**

El presente estudio permite establecer el procedimiento de fabricación de un accesorio fibrador que fue adaptado a un equipo de extrusión con características de prueba para materiales plásticos tipo LDPE, como una alternativa de fabricación en escalas de pequeñas producciones especialmente en proyección con materiales reciclados. El desarrollo de la propuesta ha sido direccionada bajo el principio básico de los pasos de diseño (determinación de la estructura funcional, alcance, conceptualización, diseño dimensional, diseño en detalle, planificación de la tecnología de fabricación), la cual ha sido posible desarrollarla con la ayuda de diversos métodos (experimental, sistémico, de cálculo y otros) y técnicas (Pugh, encuestas, entrevistas, otros) que han facilitado la consolidación en la toma de decisiones a través de las diversas valoraciones cuantitativas y cualitativas en obtener la ingeniería así como el equipo en su forma tangible. Algunos de los resultados más relevantes constituyen el acople adecuado para la conexión entre la máquina extrusora y la máquina fibradora, de esta última se realizó en este estudio el dimensionamiento de cada una de las piezas que conformarían parte de la maquinaria y se plantearon los cálculos de los sistemas de control mecánico, térmico, eléctrico y de control a fin de garantizar una alta confiabilidad en el momento de la implementación. Además se relevante mencionar que experimentalmente la variable temperatura se mantiene en rangos entre 270°C y 315°C, y en el disco entre 315°C a 350°C, temperaturas que permiten sostener el estado líquido del material plástico, además el uso del dimmer como una alternativa para la variación de la velocidad en motores monofásicos permite que la velocidad de giro del motor se encuentre en rangos variables y sea posible la experimentación de la velocidad y espesor de la fibra que se propone se analice en próximos trabajos.

**Palabras clave:** Fibradora, centrifugadora, denier, fibra sintética.



## TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

### FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

#### TITLE: “DESIGN OF A LOW-DENSITY POLYETHYLENE PLASTICS FIBERING MACHINE”

#### Authors:

Toapanta Cajahuishca Diego Geovanny

Villacis Toapanta Kevin Ariel

#### ABSTRACT

The present study allows to establish the manufacturing procedure of a fibrous accessory that was adapted to an extrusion equipment with test characteristics for LDPE type plastic materials, as a manufacturing alternative in small production scales, especially in projection with recycled materials. The development of the proposal has been directed under the basic principle of the design steps (determination of the functional structure, scope, conceptualization, dimensional design, detailed design, planning of the manufacturing technology), which has been possible to develop with the help of various methods (experimental, systemic, calculation and others) and techniques (Pugh, surveys, interviews, others) that have facilitated the consolidation in the decision making through the various quantitative and qualitative assessments in obtaining the engineering as well as the equipment in its tangible form. Some of the most relevant results constitute the adequate coupling for the connection between the extruder machine and the fibrating machine, of this last one the dimensioning of each one of the pieces that would conform part of the machinery was carried out in this study and the calculations of the mechanical, thermal, electrical and control systems were proposed in order to guarantee a high reliability at the moment of the implementation. It is also relevant to mention that experimentally the temperature variable is maintained in ranges between 270°C and 315°C, and in the disk between 315°C to 350°C, temperatures that allow to sustain the liquid state of the plastic material, also the use of the dimmer as an alternative for the variation of the speed in single-phase motors allows that the speed of rotation of the motor is in variable ranges and the experimentation of the speed and thickness of the fiber is possible, which is proposed to be analyzed in future works.

**Key words:** Spinning machine, centrifuge, denier, synthetic fiber.

## *AVAL DE TRADUCCIÓN*

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del trabajo de titulación cuyo título versa: **“DISEÑO DE UNA MÁQUINA FIBRADORA PARA PLÁSTICOS DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD”** presentado por: **Toapanta Cajahuishca Diego Geovanny y Villacis Toapanta Kevin Ariel**, estudiantes de la Carrera de **Ingeniería Electromecánica** perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas** lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, 23 marzo del 2022

Atentamente,



Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes

**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC**  
**CI: 0502666514**

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Título:** Diseño de una Máquina Fibradora para Plásticos de Polietileno de Baja Densidad.

**Tipo de proyecto:** Propuesta Tecnológica

**Fecha de inicio:** Octubre 2021

**Fecha de finalización:** Marzo 2022

**Lugar de ejecución:** Universidad Técnica de Cotopaxi, Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Parroquia San Felipe.

**Facultad que auspicia:** Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

**Carrera que auspicia:** Ingeniería en Electromecánica

### Equipo de trabajo

#### Tutor

Nombres: Héctor Raúl

Apellidos: Reinoso Peñaherrera

Cedula de identidad: 0502150899

Correo electrónico: [hector.reinoso@utc.edu.ec](mailto:hector.reinoso@utc.edu.ec)

#### Coordinador 1:

Nombre: Toapanta Cajahuishca Diego Geovanny

Cédula de Ciudadanía: 1805532551

Correo electrónico: [diego.toapanta2551@utc.edu.ec](mailto:diego.toapanta2551@utc.edu.ec)

Dirección: Parroquia San Andrés, Píllaro, Tungurahua.

#### Coordinador 2:

Nombre: Villacis Toapanta Kevin Ariel

Cédula de Ciudadanía: 0502883887

Correo electrónico: [kevin.villacis3887@utc.edu.ec](mailto:kevin.villacis3887@utc.edu.ec)

Dirección: Parroquia Panzaleo, Salcedo, Cotopaxi

**Línea de investigación:** Procesos industriales.

**Sub línea de investigación de la Carrera:** El proyecto de investigación se acoge a la sub línea de investigación: diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

## **2. INTRODUCCIÓN**

### **2.1. EL PROBLEMA**

Actualmente en nuestro país, la incorporación del plástico en la vida cotidiana es un problema grave, debido a que el material no es biodegradable, por ello el reciclaje se ha convertido en la columna principal para el proceso de reutilización de botellas plásticas. Las botellas de Tereftalato de Polietileno mejor conocido como PET son de gran uso en el proceso de reciclaje, debido al impacto negativo que produciría si fuera incinerado [1]. Esto, a su vez, lleva a buscar alternativas para la transformación de plásticos reciclados de baja densidad, que permitan obtener fibra para distintos usos comerciales, entre los que podemos mencionar fibra sintética para uso textil, empaçados, envases o como sustitutos.

#### **2.1.1. Situación problemática**

Es fundamental mencionar que nuestro país el Ecuador todavía no cuenta con una amplia producción de máquinas recicladoras, y que si bien han existido algunos procesos de información sobre el reciclaje, aún se requiere una mayor difusión por parte de instituciones privadas y del gobierno [2]. Sin embargo, si se identifican centro de acopio para el almacenamiento de materia prima reciclada, por mencionar algunos de los que se encuentran en las principales ciudades se tiene: Graham, Alfaro Ayala Federico Santiago, Enkador en Quito y Fibrnac en Guayaquil.

Las máquinas que se aplican para el reciclaje, extrusión, soplado y otros procesos de utilización de botellas de PET, son generalmente manipuladas en el ámbito tipo industrial y de gran envergadura, como por ejemplo aquellas que se utiliza en la planta Enkador en filamentos sintéticos destinados a uso textil [3], teniendo desde el año 2012 actividades en la planta Recypet, con lo que se vinculó en el negocio de resinas plásticas producidas por medio del reciclaje. Sin embargo, no se ha encontrado información válida respecto a la utilización de máquinas artesanales que generen fibras sintéticas en el Ecuador, si bien existen máquinas extrusoras o trituradoras que tienen algunas características similares, aquellas que están orientadas a la elaboración de fibras sintéticas.

Los usos diversos del PET reciclado van por ejemplo desde, prendas de vestir, fabricación de envases, empaquetados entre otros [1].

De acuerdo con datos del Ministerio del Ambiente (MAE), en el Ecuador el incremento de recolección de botellas se produce como resultado de la aplicación del Impuesto Redimible, que establece un valor de \$ 0,02 por botella plástica, teniendo un aumento de 30% a 80% entre

los años 2011 a 2012 [4]. Entonces se identifica que el reciclaje de botellas en el país tiene un crecimiento elevado, debido a que esta práctica genera ingresos económicos, por ello es preciso implementar alternativas tecnológicas que permitan el aprovechamiento de la materia prima mediante procesos de transformación para plástico de manera local y nacional. [2].

Considerando lo expuesto, surgió la necesidad de ejecutar un proyecto para reutilizar botellas plásticas de baja densidad, que serán destinadas a nuevos procesos industriales, con el propósito de disminuir el impacto ambiental producida por dicho residuo, y también lograr una mejora calidad de vida.

### Matriz Causa - Efecto

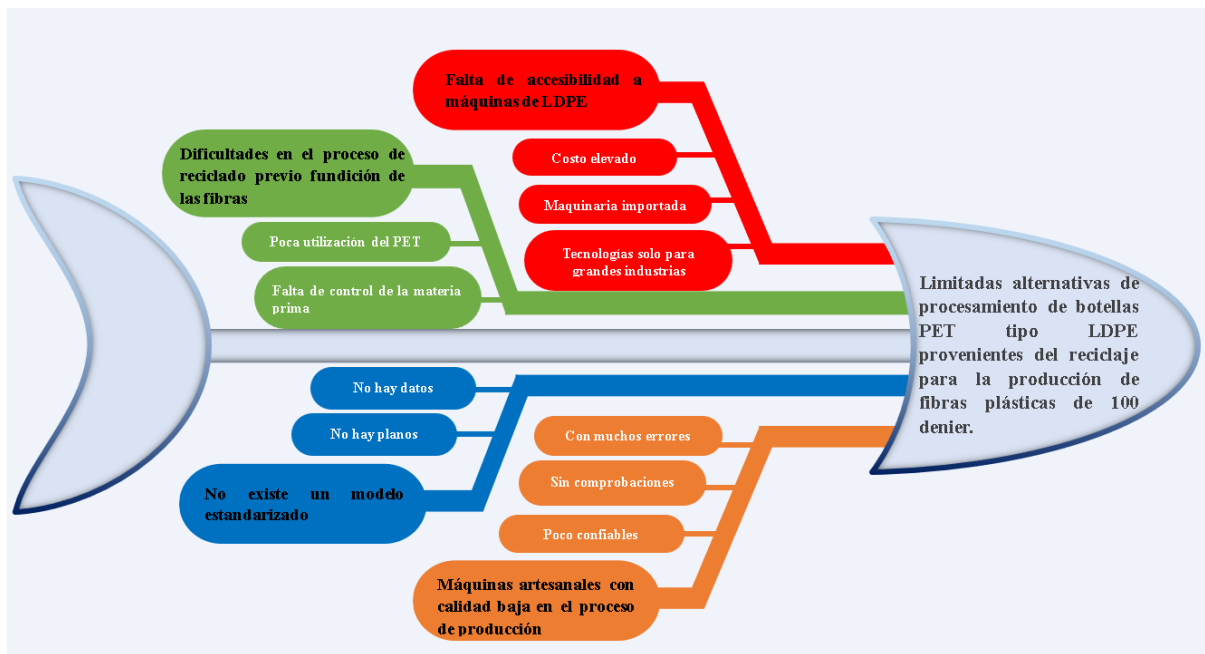


Figura 2.1 Diagrama de Ishikawa

#### 2.1.2. Formulación del problema

Limitadas alternativas de procesamiento de materiales tipo LDPE para la producción de fibras plásticas.

### 2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

330000 Ciencias Tecnológicas / 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas / 330607 Motores Eléctricos.

Dentro de las Ciencias Tecnológicas se encuentra la ingeniería y la tecnología eléctricas, mediante los motores eléctricos será posible realizar el proceso de control y alimentación de la máquina.

### **2.3. BENEFICIARIOS:**

#### **Beneficiarios directos:**

Diego Toapanta (estudiante)

Kevin Villacis (estudiante)

#### **Beneficiarios indirectos:**

Personas naturales o empresas destinadas al reciclaje y tratamiento de PET.

### **2.4.JUSTIFICACIÓN**

La propuesta se centra en el diseño e implementación de una máquina fibradora de polietileno de baja densidad, orientado a la reutilización de plástico en el sector industrial, estableciendo una alternativa de bajo costo que permita obtener hilo o filamento sintético de manera rápida y continua, bajo determinados parámetros técnicos. Tiene importancia debido al impacto que puede generar el uso de este tipo de máquinas en procesos industriales o en emprendimientos que aprovechen la producción de fibra sintéticas a partir de material reciclado.

### **2.5. PREGUNTA CIENTÍFICA**

¿Cuál es el diagrama funcional para el procesamiento de materiales plásticos en la producción de fibra?

¿Cuáles son las propiedades físicas químicas de los materiales LDPE?

¿Cuáles son las temperaturas y velocidad angulares a las que el sistema se debe ajustar para la producción de fibra sintética?

### **2.6.OBJETIVOS**

#### **2.6.1. General:**

Construir un prototipo de máquina fibradora para la obtención de fibra sintética de 100 denier a partir de polietileno de baja densidad LDPE.

#### **2.6.2. Específicos:**

- Compilar información de fuentes bibliográficas para conocer el principio de funcionamiento de la máquina.
- Dimensionar una máquina fibradora y la tecnología de construcción para el procesamiento del polietileno de baja densidad.
- Validar a través de un prototipo el proceso de transformación del polietileno de baja densidad a fibra.

### 2.6.3. Tareas por objetivos planteados

Para un adecuado seguimiento de los objetivos en la tabla 2.1, se indican las actividades propuestas a desarrollar:

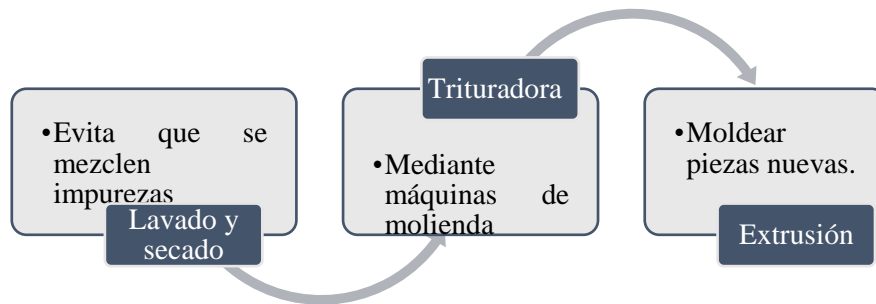
**Tabla 2. 1** Sistema de actividades por objetivos

Objetivo	Actividad	Resultado	Medio Verificación
Compilar información de fuentes bibliográficas para conocer el principio de funcionamiento de la máquina.	Búsqueda de proceso de transformación de la materia prima en fibra.	Selección de proceso de transformación de la materia prima	Proceso definido de transformación de Polietileno.
	Determinar las variables implicadas en el proceso de fibración de polietileno de baja densidad	Identificar las variables para la transformación de la materia prima	Tablas de variables dependientes e independientes
	Investigación de parámetros de los elementos a utilizar en el diseño de la máquina.	Selección de parámetros de entrada y salida (I/O) en el proceso de la maquina fibradora	Especificaciones técnicas de material I/O
Dimensionar una máquina fibradora y la tecnología de construcción para el procesamiento del polietileno de baja densidad.	Revisión de los elementos que conformarían partes de la máquina	Identificación de los elementos de la máquina	Listado de materiales que conforman la máquina, que incluye tipo de material y dimensiones.
	Revisión del tipo de materiales a utilizar en la fabricación	Selección de los materiales que conforman los elementos de la máquina	
	Análisis de las medidas apropiadas para cada componente de la máquina	Dimensionamiento de los elementos de la máquina	
Validar a través de un prototipo el proceso de transformación del polietileno de baja densidad a fibra	Revisión de tecnologías de fabricación y análisis de diseño de máquinas	Selección de la tecnología adecuada para el propósito de la máquina	Tecnología de fabricación y diseño de CAD/CAE
	Construcción de prototipo de máquina fibradora.	Prototipo de máquina fibradora e identificación de los procesos.	Prototipo de máquina fibradora.
	Ajustar los parámetros de variables como: temperatura y velocidad de giro del contenedor .	Obtención de fibra sintética.	Pruebas de campo

### 3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

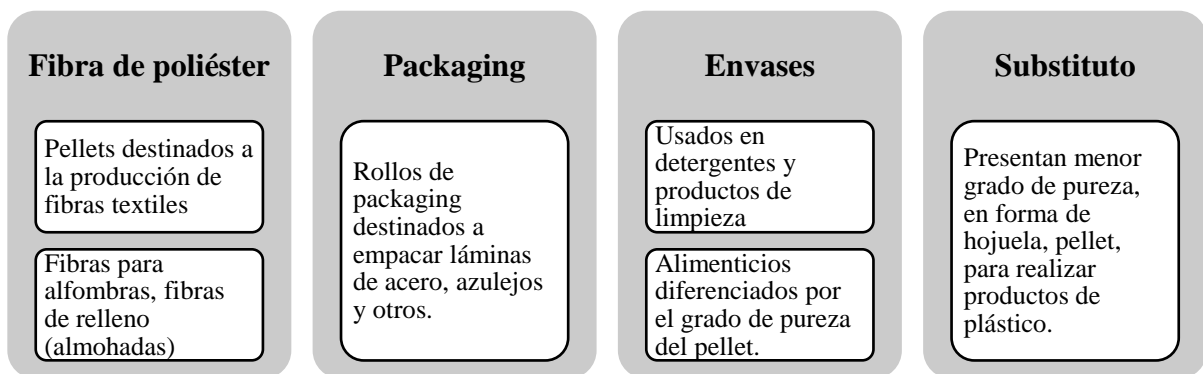
#### 3.1. Introducción

La importancia de realizar reciclaje es uno de los factores de relevancia para la integración de materia prima en procesos productivos, que inicia desde la adecuada selección de las botellas plásticas para ser molidas o trituradas. Las hojuelas de PET derivadas se transforman en fibra corta, que puede usarse para la fabricación de textil, todo ello se describe a continuación:



**Figura 3. 1** Proceso de reciclado mecánico [5]

Para esta investigación se seleccionó el reciclaje mecánico, debido a las condiciones y características que permiten el desarrollo de la máquina fibradora, además, debe considerarse el uso posterior que se dará al PET reciclado que podría ser en las siguientes áreas como se muestra en la figura:



**Figura 3. 2** Usos del PET reciclado. Adaptado de [5]

Por lo investigado, se determina para el presente estudio, el posterior uso del PET reciclado para fibras de poliéster. Debido a que la mayor cantidad de fibras sintéticas fueron creadas por extrusión, que implica filtrar un fluido espeso y viscoso obtenido del plástico fundido a través de orificios muy pequeños de una hilera para crear filamentos finos de polímero semisólido. Las máquinas extrusoras tienen una gran demanda debido a sus diversas aplicaciones industriales, sin embargo, el precio de cada una de las mismas es muy elevada, por tanto, las pequeñas industrias no tienen la económica suficiente para adquirir una máquina.

Debido a esta circunstancia de alto costo de las máquinas se propone una alternativa económica para la obtención de fibra sintética mediante la fuerza centrífuga, básicamente consiste en diseñar una máquina fibradora, a partir de una extrusora, posteriormente se acopla a un sistema de transmisión de potencia, que permitirá la obtención del filamento de polietileno que se consigue mediante centrifugado a gran velocidad de giro al material líquido del PET derretido que podrá salir por los orificios del envase contenedor.

### **3.2. Antecedentes**

Dentro de los trabajos relacionados que se han investigado se encuentra información relevante respecto a estudios como, por ejemplo:

Se identificó un diseño de una máquina mecatrónica, que realiza el reciclaje de botellas de PET, por medio de calefacción y fricción a través de un husillo hasta lograr la fundición [6].

Así también otra de las investigaciones consideradas es el diseño y construcción de una máquina peletizadora de polietileno de baja densidad LDPE de 25 kg/h, dentro de la que se menciona una de las conclusiones es que, gracias al movimiento entre tornillo y cilindro, el material se mezcla y se calienta, esto respecto a la parte de los elementos térmicos, además en el sistema de transmisión de potencia, que disminuye tanto velocidad como RPM con el fin de dar mayor torque que permita su peletización [7].

Y además también se ha revisado información respecto a una investigación sobre la elaboración de una máquina centrifugadora para conseguir ejes cilíndricos de aluminio, dentro de la que sobre todo se analizó los principios de funcionamiento de la fundición centrífuga, entre los principales factores a considerar constan: la temperatura de colada, composición del material, y el materia prima del molde, además de los tres tipos de fundición centrífuga que son: fundición centrífuga real, fundición semicentrífuga y el centrifugado.

Otra investigación analizada fue la construcción de un extrusor horizontal de tornillo sencillo para polietileno de baja densidad, cuyo propósito estuvo basado en difundir el diseño, los procesos de construcción y las pruebas ejecutadas para obtener la máquina extrusora que recibía polietileno de baja densidad en forma de pellets y entregaba como resultado del material trabajado una barra en forma circular.

### **3.3. Industria del plástico**

Según diversos autores, los polímeros representan cadenas enlazadas mediante la conformación de unidades producidas por enlaces covalentes, los que se van repitiendo y

formándose [8], los polímeros son un tipo de partículas de macromolécula, estas moléculas se combinan entre sí por medio de una reacción de polimerización y formar el monómero, entonces al unirse estas moléculas originan una estructura de constitución repetitiva en el polímero [9].

### Clasificación de materiales poliméricos

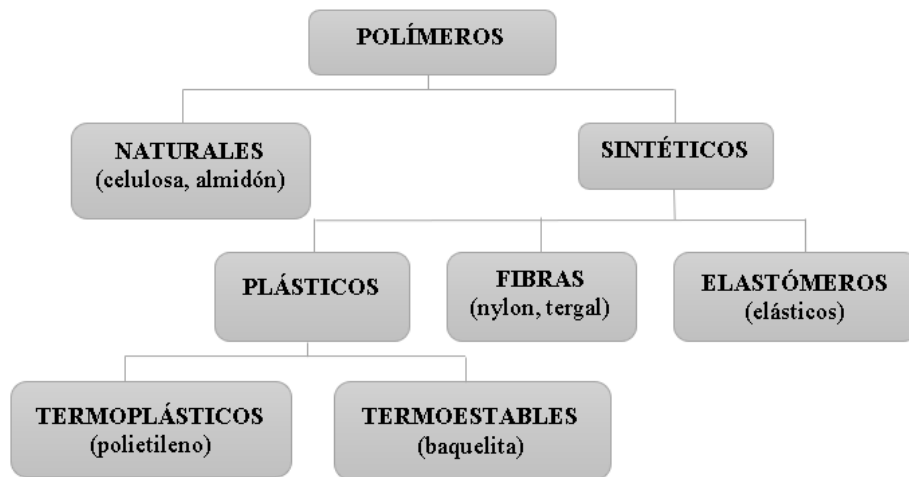


Figura 3. 3 Clasificación de los polímeros. [8]

#### 3.3.1. Materiales termoplásticos

Entre las características que los polímeros termoplásticos destacan es que, al calentarse pasan de estado sólido a estado líquido viscoso, y al enfriarse recuperan su condición de sólido, este proceso se lo puede realizar en diversas ocasiones sin que el polímero sufra alteraciones gracias a macromoléculas lineales. [10]. Con base en estas características:

- Capacidad de fluir como líquido viscoso al calentarse o recalentarse.
- Disponen de fuerzas débiles de Van Der Waals entre cadenas.
- Se posicionan relativamente al azar en las cadenas adyacentes.

Se puede concluir que es posible que los termoplásticos se puedan derretir y reconformar.

#### 3.3.2. Material PET (polietileno tereftalato)

De acuerdo con datos del 2014, la demanda de envases de PET globalmente estaba aproximadamente por los 48 mil millones de dólares, con un consumo total de 16 millones de toneladas [11], además de un incremento anual de 4.6% hasta 2019, lo que implica aproximadamente 20 millones de toneladas y un monto aproximado de 60 mil millones de

dólares, así también se identifican características beneficiosas del PET para el reciclaje como buena capacidad de formar fibras, convirtiéndose en elemento útil nuevamente.

El PET se desarrolló por primera vez en el siglo XX, conocido como una fibra derivada de productos de petróleo con aire y agua, teniendo las primeras experiencias gracias a la empresa estadounidense Du Pont por el año de 1926, una década después se convertiría en la fibra de poliéster. [12]

PET (polietileno tereftalato) es obtenido por un proceso de polimerización, siendo un polímero lineal con características de cristalinidad y se comporta como un termoplástico, siendo adaptable a procesos de extrusión, inyección, termoformado entre otros. Gracias a sus propiedades físicas se ha difundido su mayor uso en varias aplicaciones como en fibras textiles, envases, producción de botellas, láminas, entre otros tipos de utilización [13].

### 3.3.3. El Polietileno de baja densidad

Este tipo de polímero se obtiene por polimerización del etileno a altas presiones por el mecanismo de radicales libres [14]. La materia prima virgen de polietileno LDPE es un material flexible de color transparente natural con una resistencia alta al impacto que puede ser procesado por métodos de manufactura empleados para los termoplásticos.

En las siguientes figuras se identifican las principales características del PET:

PROPIEDADES	Metodos de ensayo ISO/IEC	Unidades	Valores	PROPIEDADES MECANICAS A 23°C			
Color		Natural	BU/Ne	Ensayo de tracción			
Densidad	1183	g/cm <sup>3</sup>	1,39	-esfuerzo de tension para fluencia	527	MPa	90
Absorcion de agua:				-elongacion a la rotura			15
despues de estar 24/96 h sumergido en agua a 23°C	62	mg	jun-13	-modulo de elasticidad			3.700
hasta la saturacion en aire a 23°C / 50% HR	62	%	0,07/0,16	Ensayo de compresion			
hasta la saturacion en aire a 23°C		%	0,25	-esfuerzo al 1/2/5% de deformación	604	MPa	26/51/103
		%	0,5	Ensayo de fluencia a traccion			
<b>PROPIEDADES TERMICAS</b>				-esfuerzo necesario para producir un 1% de deformación las 1.000h	899	Mpa	26
Temperatura de Fusion		°C	255	Resistencia al impacto Charpy-sin entalla	179/1eU	kJ/m2	≥50
Conductividad termica a 23°C		W/(K-m)	0,29	Resistencia al impacto Charpy-con entalla	179/1eU	kJ/m2	2
Coefficiente de dilatacion termica lineal:				Resistencia al impacto Izod- con entalla	180/2A	kJ/m2	2
-Valor medio entre 23 y 60 °C		m/(m-K)	60-10 <sup>-6</sup>	Dureza con bola	2039-1	N/mm2	170
-Valor medio entre 23 y 100°C		m/(m-K)	80-10 <sup>-6</sup>	Dureza Rockwell	2039-2		M96
Temperatura por deformacion por carga:				<b>PROPIEDADES ELECTRICAS A 23°C</b>			
-por metodo A: 1,8MPa	75	°C	75	Resistencia dielectrica	60243	KV/mm	22
Temperatura maxima de servicio en aire:				Resistividad volumetrica	60093	Ω-cm	>10 <sup>15</sup>
-en periodos cortos		°C	160	Resistividad superficial		Ω	>10 <sup>15</sup>
-en continuo: durante 5.000/20.000 h		°C	115/100	Permeabilidad relativa	-a 100 Hz	60250	3,4
Temperatura minima de servicio			-20		-a 1 Hz	60250	3,2
Infiamabilidad							
-Indice de oxigeno	4589	%	25				
(con respecto a la clasificacion UL 94 (para 3/6 mm de espeso)			HB/HB				

a) Propiedades térmicas

b) Propiedades Mecánicas

Figura 3. 4 Características del PET [20]

Dependiendo de la naturaleza de la cadena, cuyas ramificaciones laterales a lo largo del esqueleto del polímero rompe las interacciones entre cadenas adyacentes, con lo que se reduce la resistencia a la tracción, la rigidez, punto de fusión y varían de las propiedades del polietileno

#### **3.3.4. Gránulos de PET**

Uno de los principales objetivos del reciclaje es transformar los envases post consumo en nueva materia prima como un producto final en forma de pallets con una apariencia transparente y brillante, el granulo se encuentra en un estado amorfo debido a su baja viscosidad y peso molecular.

Para realizar la transformación de un gránulo de estado amorfo a estado cristalino se necesita ingresar el material a un proceso de secado por reactores con aire ventilado, este procedimiento se lo realiza con exactos controles de las variables como la temperatura, la cual no debe excederse para provocar la fusión del material.

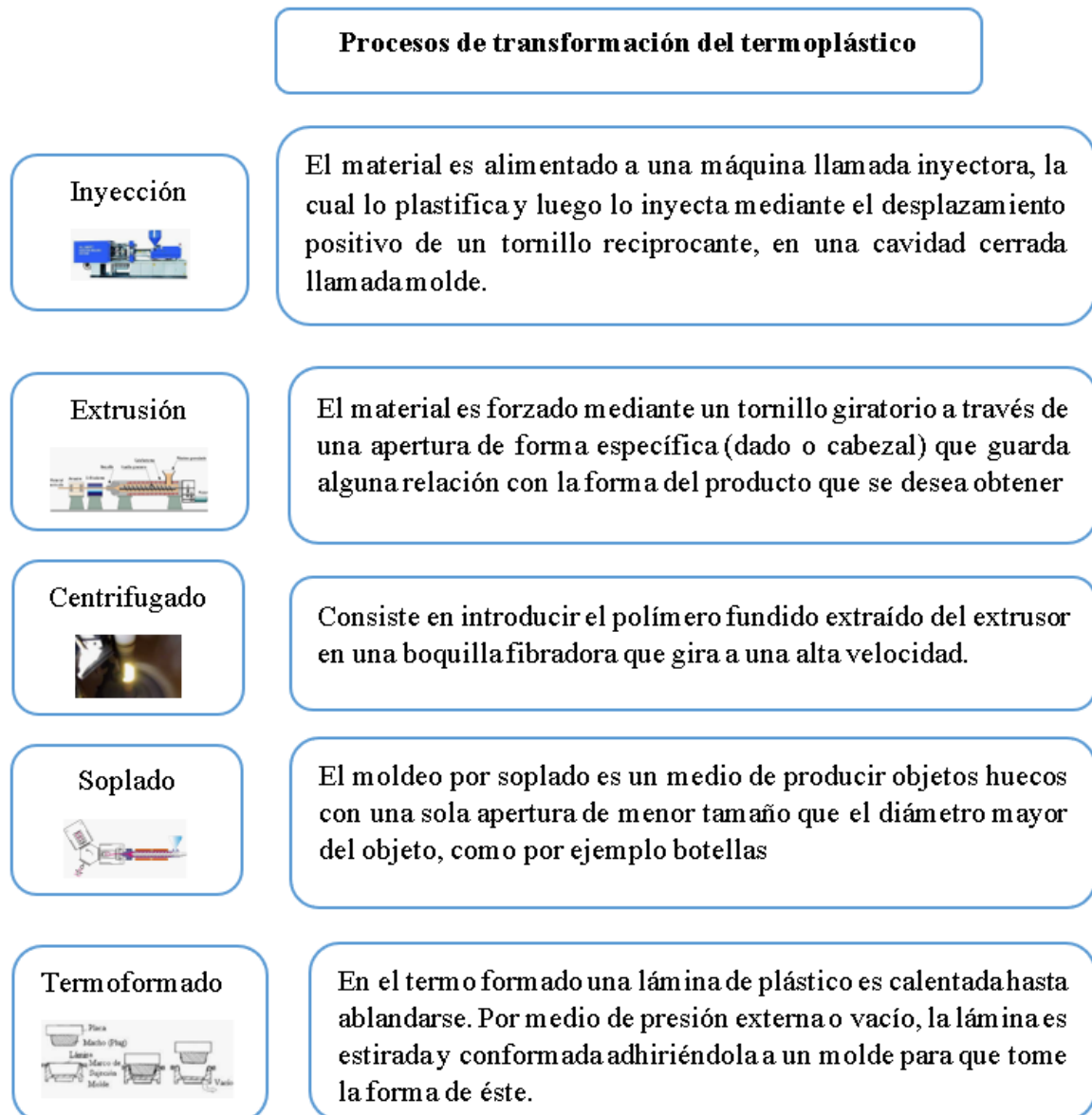


**Figura 3. 5** Gránulos de PET

#### **3.3.5. Procesos de fabricación de materiales termoplásticos**

Entre las características de los termoplásticos se encuentra la facilidad de reciclado, debido a que tienen la capacidad de derretirse y de reformarse, esto debido a la carencia de enlaces en sus cadenas adyacentes.

Para la transformación de los plásticos existen procesos de manufactura como: inyección, extrusión, centrifugado, soplado, entre otros. Cada proceso es utilizado dependiendo el tipo de plástico que se desee emplear para procesarlo.

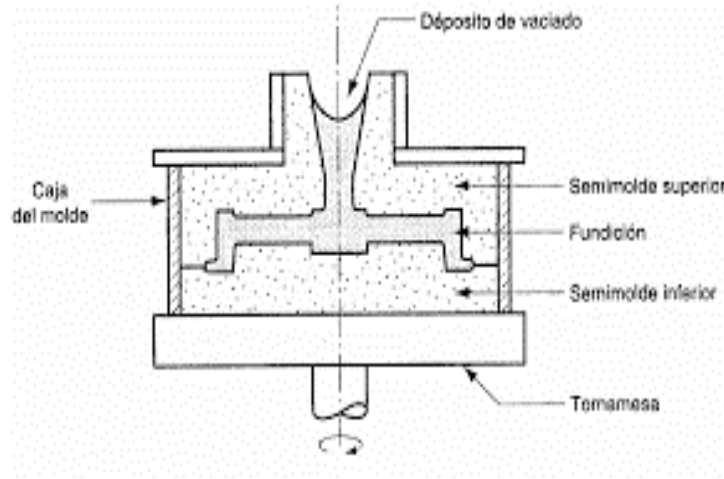


**Figura 3. 6** Procesos de transformación del termoplástico

### 3.4. Proceso de centrifugado (principio de funcionamiento)

A la separación o concentración de partículas suspendidas en un líquido que gira entorno a un contenedor o envase haciendo uso de diferentes velocidades de desplazamiento del material que se encuentra en la parte interior se le conoce como centrifugación [15] El proceso de centrifugado involucra la acción de la fuerza centrífuga ocasionada por un motor reductor y un molde que gira en un eje horizontal o vertical. El material también fundido entra al molde, el cual está rotando con respecto a un eje y se proyecta a una presión definida sobre las paredes del molde por la acción de la fuerza centrífuga del sistema.

Los termoplásticos son reversibles y al fundirse se vuelven líquidos de alta viscosidad, al enfriarse se solidifican para producir de acuerdo con su estructura, sólidos que son elásticos, dúctiles, tenaces o frágiles. Las temperaturas de fusión van de 100 a 300°C [16].



**Figura 3. 7** Proceso de centrifugado

#### **3.4.1. Procesos de fabricación para el fibrado del plástico**

Para el diseño y construcción de la máquina fibradora se considera la parte extrusora que es aquella en la que se obtiene en material en una primera etapa de calentamiento progresivo, para luego llegar a la zona del calentamiento de la fibradora, caer en el contenedor y finalmente llegar a proceso de centrifugado.

La extrusión es un proceso que consiste en la compresión por fuerza y calor a través de un husillo que comprime el material y que posteriormente emerge por una sección transversal que determina su forma de salida, pudiendo ser por una boquilla, orificios u otros. Entonces, se puede referir a la extrusión como la transformación de materia prima fundida que es empujada y expulsada por una boquilla o forma deseada para generar un producto de expulsión constante y longitud indefinida. El rango de operación de las extrusoras está entre los 10 y 500 rpm, además de alcanzar caudales aproximados de 200 kg/h del material fundido.

Las partes de una extrusora constan de un sistema de alimentación de la materia prima, sistema térmico que permita la plastificación, sistema de presurización y por último, el mecanismo para la expulsión del material [17].

En el caso particular de pretender producir fibras delgadas, el mecanismo de salida generalmente es un dispositivo hilador, que consiste en una lámina perforada con pequeños orificios.



**Figura 3. 8** Dispositivo hilador

El funcionamiento del dispositivo es ayudado por la fuerza de gravedad, por lo que se debe armar la máquina de tal manera que el hilador conste con sus orificios de salida orientados hacia la parte baja, permitiendo la caída de los filamentos, los cuales se enfrían y solidifican para su posterior recolección y almacenamiento.

### **3.5. Alternativas de máquinas para la producción de las fibras de plástico extrusión – centrifugadora.**

#### **3.5.1. Extrusoras de pistón.**

Este tipo de máquina posee un cilindro con elementos de calefacción, el procedimiento inicia con la carga de materia prima en la tolva, donde luego el material es plastificado y mediante la fuerza de presión de salida accionada por un pistón activado por presión hidráulica o mecánica, es empujado para salir por la boquilla.

#### **3.5.2. Extrusoras de rodillos**

Esta extrusora utiliza dos rodillos horizontales con ejes paralelos, los mismos que giran en sentido opuesto y son calentados por fuera, el material a ser trabajado se inserta por la parte superior y cuando atraviesa a los rodillos reciben esfuerzos de cizalla, con lo que junto al calor hace que sean fundidos y posteriormente pasa por la boquilla de salida.

#### **3.5.3. Extrusora de tornillo.**

En esta extrusora se combina el uso de un motor que permita el giro de un tornillo que gira dentro de un cilindro calentado exteriormente y un variador de velocidad que regula la salida del material. La materia prima es vertida por medio de una tolva al interior del tornillo y avanza por la zona calentada hasta llegar a la boquilla de salida [18].

Para el diseño de la máquina fibradora centrífuga, es necesario analizar detalladamente todos los elementos involucrados en la máquina, además el diseño y la selección del tipo de extrusión, así como de los elementos mecánicos que permitirán el correcto funcionamiento del prototipo.

### 3.6. Mecanismos de operación y materiales de máquinas fibradoras de plásticos

El objetivo del diseño de elementos de máquinas es aplicar los conceptos, métodos, datos y metodologías de análisis de toma de decisiones necesarias para diseñar los elementos que comprenden una máquina, esto se encuentran con frecuencia en los sistemas mecánicos.

#### 3.6.1. Tornillo extrusor

Constituye el dispositivo de traslado del material, así como del calentamiento y fundición del mismo, por lo tanto, se diseñan los parámetros más relevantes que son su longitud, diámetro, ángulo del filete y el paso de rosca [19].

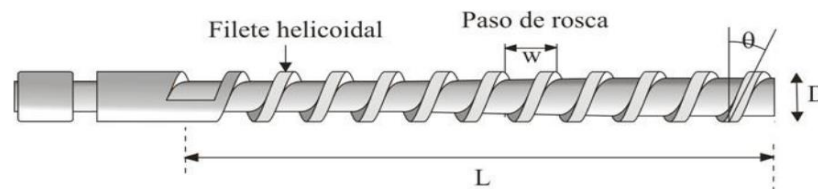


Figura 3. 9 Tornillo extrusor [19]

#### 3.6.2. Cilindro

El cilindro que cubre el tornillo cumple con la función de transferencia de calor a la zona interna, por medio de resistencias eléctricas tipo abrazadera que cubren su longitud y que permiten la fundición del material manteniendo una homogeneidad en la salida de la materia prima.

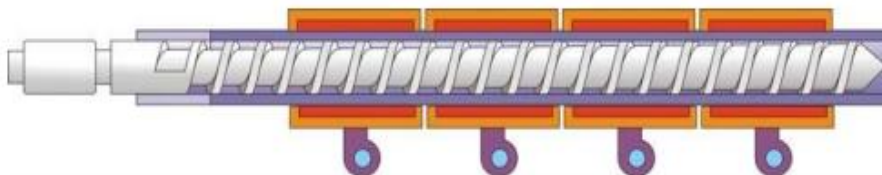
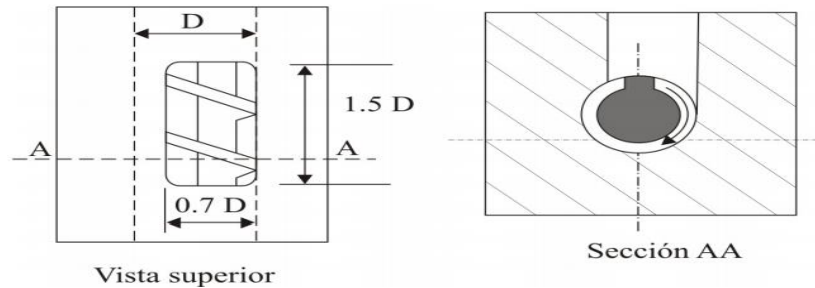


Figura 3. 10 Cilíndrico de calefacción-tornillo [19]

### 3.6.3. Garganta de alimentación

Es dispositivo es aquel que vincula la tolva con el tornillo, siendo la abertura por la que se inserta el material a ser extruido y fundido, sus dimensiones generalmente oscilan entre una longitud de 1.5 veces el diámetro del cilindro y una anchura de 0.7 veces el mismo.



**Figura 3. 11** Garganta de alimentación [19]

### 3.6.4. La tolva

Es el elemento por el cual se introduce el material dentro de la máquina, por supuesto debe ser acoplada con la garganta de alimentación y la boquilla de entrada, a fin de que proporcionen una constante y adecuada alimentación de la materia prima.

### 3.6.5. Motor Eléctrico

El motor eléctrico se encarga de proveer la energía de alimentación al tornillo, para que pueda ejecutar el transporte, de preferencia se utilizan motores de corriente continua DC, por su rango de velocidades de giro y control de velocidad [20].

### 3.6.6. Motorreductor

Este equipo tiene como principal función realizar la reducción de velocidad del motor, adecuando a las necesidades de la máquina, controlando de manera efectiva las revoluciones las revoluciones por minuto necesarias para que del plato contenedor pueda salir el material por los orificios correspondientes.



**Figura 3. 12** Motorreductor

### **3.6.7. Resistencias eléctricas tipo abrazadera**

Este dispositivo convierte energía eléctrica en calor, entonces cada resistencia tiene en su interior un elemento calentador, por lo que la corriente eléctrica que fluye a través de un resistor convierte la energía eléctrica en energía calorífica. Finalmente estas resistencias permiten una conexión por cables, que permiten conectar a los pirómetros. [21]



**Figura 3. 13** Resistencia eléctrica tipo abrazadera

### **3.6.8. Disco con resistencias eléctricas**

El disco calentador del plato contenedor es aquel responsable de transmitir la energía de calor necesaria al material de PET que cae dentro del plato contenedor. Por lo tanto, también consta de resistencias eléctricas que permitan esta transferencia.

### **3.6.9. Termocupla**

Dentro de los tipos de termocupla se identifican las Tipo J (Fe - CuNi) conocida como la termocupla hierro - Constantán. El hierro es el conductor positivo, mientras que para el conductor negativo se recurre a una aleación de 55 % de cobre y 45 % de níquel (constantán).

### **3.6.10. Plato contenedor**

El plato contenedor de PET en estado entre viscoso a semi líquido es aquel en el que se almacenan el material que ha pasado por el proceso de calentamiento de la extrusora y de los tubos y disco térmicamente acondicionados con resistencias eléctricas.

## **3.7. Sistema mecánico**

Para iniciar el diseño de la máquina, es necesario centrarse en la selección de los componentes mecánicos. Es por ello que es de importancia analizar detalladamente todas las partes involucradas en la máquina, en este caso el sistema de alimentación, transporte y circulación de materia prima.

Para el presente estudio se consideran como las principales partes mecánicas de la máquina fibradora, al eje y al plato contenedor, los mismos que deben cumplir con características como la resistencia de materiales, dimensiones, durabilidad, entre otras que permiten la elaboración de un componente mecánico único para el funcionamiento de la máquina.

### 3.8. Sistemas térmicos para máquinas fibradoras de plásticos

La temperatura sin duda juega un rol crucial en la máquina fibradora, en virtud que se debe identificar la cantidad de energía térmica que se debe suministrar para que el material logre alcanzar un estado líquido, sin llegar a quemarse y para eso el calentamiento del material debe ser incrementado gradualmente y de manera constante, a fin de alcanzar el propósito de llegar al contenedor en las condiciones necesarias para que pueda ser centrifugado [22].

#### 3.8.1. Sistemas de transmisión de calor por conducción

A la transmisión de calor por contacto directo se le conoce como conducción, debido a que pasan de un material a otro cuando estos se unen y se fundamenta en la Ley de Fourier, estableciendo que la velocidad de transferencia de calor por medio de un cuerpo es proporcional al gradiente de temperatura que este posee. [23].

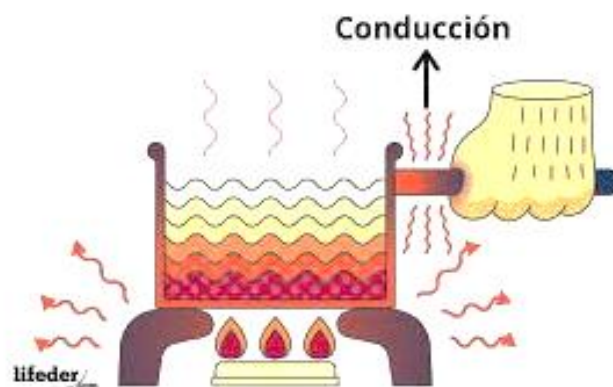
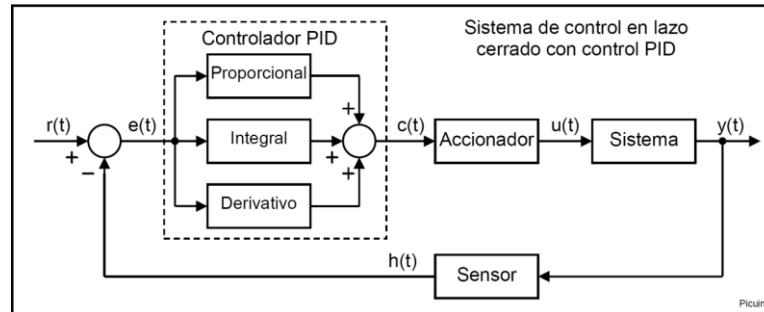


Figura 3. 14 Transferencia de calor por conducción

#### 3.8.2. Sistema de control térmico PID

Además, se aplicaría el controlador Proporcional Integral Derivativo PID que es uno de los controles de mayor difusión en la industria, por su fácil sintonía y robustez en los diferentes procesos existentes. Su uso está definido para que una variable física pueda fijar un punto de operación específico, denominado también como (set point) [24].

En tanto que un controlador PID, realiza la inspección de un sistema de lazo cerrado, con el propósito de alcanzar el estado de salida esperado. Las componentes de este controlador son las acciones proporcional, integral y derivativa [25].



**Figura 3. 15** Sistema de control PID

### 3.8.2.1. Control de temperatura pirómetro

El pirómetro es usado para el control de temperatura en el panel del tablero de control, que utiliza un sensor termopar o RTD Pt100 y que esencialmente ejecuta la función de encendido / apagado o también el tipo de control de un sistema PID. También ocupa un termopar, un controlador de temperatura y requiere un relevador de estado sólido para desempeñar correctamente el manejo de corriente [26].



**Figura 3. 16** Kit Pirómetro Digital Control De Temperatura SSR40A

## 3.9. Sistemas eléctricos y de control de máquinas fibradoras de plásticos

En esta fase se inicia con el diseño, construcción y cableado de todos los elementos que constituyen el sistema de control de la máquina fibradora. Para ello es necesario analizar los dispositivos de protección y de encendido y apagado de las líneas eléctricas.

### **3.9.1. Sistema eléctrico**

El sistema eléctrico está compuesto por los elementos que tiene la función de encender y apagar las líneas eléctricas y la protección contra sobrecargas y cortocircuitos, además suministrar la energía a todos los dispositivos del gabinete.

### **3.9.2. Elementos eléctricos de protección**

Los elementos de protección son requisitos fundamentales en la construcción y funcionamiento de cualquier máquina, entre los peligros que se deben contrarrestar constan las sobrecargas de voltaje, los cortos circuitos, incremento de temperatura entre otros. Por lo tanto, se propone 2 tipos de protecciones específicas.

1. **Protección contra contactos directos e indirectos:** Mediante la colocación de interruptores diferenciales complementados con la toma de la tierra y su ubicación.
2. **Protección contra sobre cargas y cortocircuito.** Ante este riesgo se hace uso de fusibles y los interruptores magnetotérmicos [27].

### **3.10. Manufactura y tecnología de fabricación**

En la manufactura del plástico es importante diferenciar el tipo de polímero que se va procesar, pues existen diferentes formas de manufacturarlo, en el caso de los termoplásticos son producidos por procesos de inyección, extrusión, soplado, termoformado, es por eso que se ha identificado a la extrusión con fundición por centrifugado. En esta investigación se aplica el mecanizado más empleado a nivel industrial que es el torneado.

Las elaboraciones de las piezas deben ejecutarse mediante el uso de maquinaria de precisión puesto que los componentes de la máquina fibrodora requieren obtener el dimensionamiento diseñado a fin de alcanzar los objetivos que se propusieron para el funcionamiento.

#### **3.10.1. Herramientas CAD**

El uso de herramientas de diseño conocidas por sus siglas en inglés como Computer Aided Design o Diseño Asistido por Ordenador (CAD), representan una ayuda relevante al momento de realizar un proyecto de creación de maquinaria o de modificación de máquinas existentes, en razón que mediante el uso de software se puede simular las formas, tamaños, dimensiones, material y otras características de cada componente que posibilitan una representación gráfica de la idea que se propuso plasmar, en definitiva con estas herramientas se consigue un ahorro en la implementación y una ventaja de optimización de tiempo, debido a que previamente se

ejecutan pruebas en los diseños, para reducir el número de pruebas físicas que demanda mayor costo de operación.

### **3.10.2. Herramientas CAE**

Las conocidas como herramientas de ingeniería conocidas como Computer Aided Engineering o Ingeniería asistida por computador CAE, permiten avanzar una etapa más allá del diseño, debido a que se cuenta con simulación de análisis de ingeniería, en los que se puede valorar características de un conjunto de componentes, se puede también revisar el comportamiento de la estructura o en este caso de estudio de la máquina fibradora, una revisión del ensamble de piezas diseñadas, así como una simulación de los controles PID que fueron aplicados en la construcción de la máquina.

Una de las mejores alternativas de software para la elaboración de máquinas es el de Autodesk, denominado Inventor Professional 2020, mediante el que se puede realizar diversos tipos de diseños e implementar con el uso de equipos de precisión.

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

En virtud que toda investigación requiere guiarse por una metodología para el desarrollo de estudio, y que marque la forma como se alcanzan los objetivos propuestos, entonces debido a las características del proyecto se aplicará una metodología cuantitativa, específicamente en validar el diseño de una máquina fibradora para plásticos de polietileno de baja densidad.

El estudio contempla hipótesis correlacionales que se derivan de las variables: independiente que se refiere a las fibras sintéticas y la dependiente que guarda relación producción de fibras, en las que se comprueben los planteamientos de cálculos matemáticos de diseños, aplicados mediante investigación con diseño experimental en la que precisamente se pondrá a prueba la construcción de la máquina con el propósito de establecer esa correlación entre las variables.

Es esta sección se debe marca la forma de seleccionar las mejores alternativas para cada uno de los procesos o subprocesos existentes, mediante la tabla de matriz de Pugh, en la que se identifiquen con valoración de:

Criterio superior al comparado = 1

Criterio tiene el mismo peso = 0.5

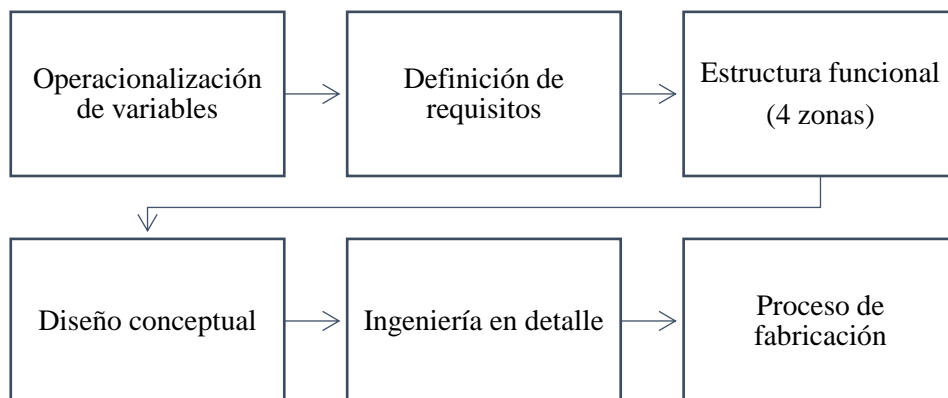
Criterio es inferior al comparado = 0

**Tabla 4. 1** Matriz de Pugh para selección de alternativas y relevancia

	<b>Criterio</b>	<b>Criterio</b>	<b>Criterio</b>	<b>Criterio</b>	$\Sigma +1$	<b>Grado de relevancia</b>
<b>Criterio</b>						<b>0%</b>
<b>Criterio</b>						<b>0%</b>
<b>Criterio</b>						<b>0%</b>
<b>Criterio</b>						<b>0%</b>
<b>Total</b>					<b>0</b>	<b>0%</b>

#### 4.1. Métodos

La investigación se fundamenta en la elaboración de una máquina fibradora que a partir de PET reciclado se obtengan fibras sintéticas, la misma consta de al menos cuatro zonas (alimentación, extrusión, centrifugado y solidificación), para lo que se realiza una revisión de diversos diseños, identificación de materiales y análisis de costos para su implementación, debido a que el propósito es entregar una máquina a costo accesible que permita tanto el reciclaje de PET como la optimización de uso de las fibras sintéticas que se obtengan del procesamiento.



**Figura 4. 1** Estructura funcional

Por lo tanto, es fundamental conocer las variables de la problemática de investigación, estableciendo la operacionalización de las variables y su alcance. La estructura funcional contempla cuatro zonas que son:

- a) Alimentación.
- b) Extrusión
- c) Centrifugación
- d) Solidificación

**Tabla 4. 2** Partes de las zonas

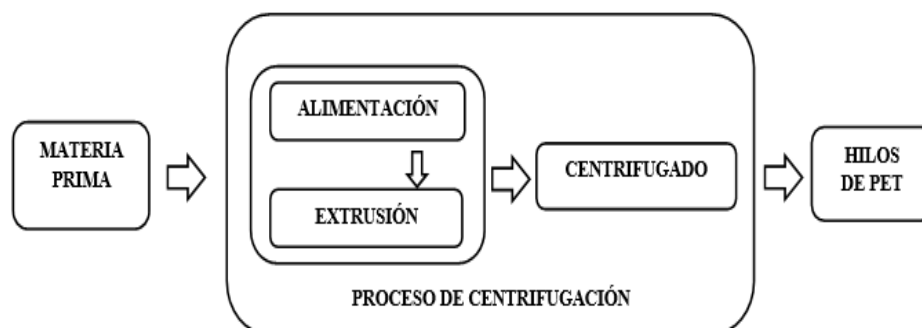
Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Tolva	Resistencias eléctricas abrazadera	Disco con Resistencias	Recolección de la salida del material por los orificios
Unión mecánica	Tornillo	Plato contenedor	
Pallets	Cilindro	Eje	
	Boquilla	Motorreductor	

#### 4.1.1. Análisis del flujo de producción

El flujo de producción comprende las etapas que sigue la materia prima hasta alcanzar el producto final, garantizando el trabajo de producción y el adecuado uso de materiales directos. Para la operación es necesario denotar las zonas de producción como:

- 1. Zona de alimentación:** Se sitúa en el inicio de la extrusora. La materia prima ingresa a esta zona y desempeña con la función de trasladar el polímero a la siguiente zona.
- 2. Zona de extrusión:** La principal función en esta zona es fundir la materia y trasportar a la zona de centrifugación.
- 3. Zona de centrifugación:** En esta etapa el polímero fundido extraído del extrusor cae desde una boquilla al plato contenedor para poder centrifugar y el material calentado empieza a salir por los orificios realizados.
- 4. Zona de solidificación:** La obtención del filamento de PET se logra por centrifugación a alta velocidad lo que hace que se desaloje el aire que pudiera haberse introducido y que el líquido adopte la forma del molde.

#### Diagrama de flujo del proceso



**Figura 4. 2** Diagrama de flujo del proceso de centrifugación

## 4.2. Conceptualización del modelo

De acuerdo con [28] El proceso de diseño enmarca algunas actividades que permiten definir la condición de idea acción, durante este proceso se adecuan y articulan correctamente todas las variables que podrían tener injerencia en el producto.

El diseño de una máquina híbrida es una combinación de los procesos de extrusión y centrifugación; es un diseño experimental que pretende obtener fibra sintética a partir de material reciclado de tipo LDPE a un costo accesible.

## 4.3. Operacionalización de las variables

Se detallan en la tabla.

**Tabla 4. 3** Operacionalización de las variables.

<b>Tipo de Variable</b>	<b>Definición</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Instrumento de medición</b>
<b>Independiente</b>	Centrifugación	Velocidad de giro del plato contenedor	RPM	Tacómetro
<b>Dependiente</b>	Producción	Longitud de la fibra	Metros	Cinta métrica
		Peso de la fibra	Gramos	Balanza

## 4.4. Alcance del proyecto

El diseño de la máquina fibradora esta direccionada a un interés de experimentación, con el propósito de validar métodos y procesos de transformación del plástico PET reciclado(hojuelas). El diseño está dimensionado para una aplicación industrial. Con el conocimiento de los diferentes procesos que se le dan al PET se pretende impulsar el concepto de reutilizar las botellas plásticas, desde el reciclaje, acopio, lavado, triturado y transformación.

El proyecto se basa en la ideología de promover nuevas tecnologías direccionadas al medio ambiente, añadiéndole un valor agregado a las botellas plásticas después del respectivo tratamiento, esto representa la creación de un emprendimiento industrial que mejorara las oportunidades y la calidad de vida de los recicladores.

Para la obtención de la fibra sintética que pueda utilizarse en la industria textil, de acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 1144, la que establece los principios y las unidades recomendadas del Sistema Tex, que es aplicable a todas las clases de fibras textiles. [29]. Es importante mencionar también que un Tex equivale a 0.1111 Denier de acuerdo con la INEN 2017 [30] y que una fibra de poliéster de 1 denier, tiene un diámetro de alrededor de 10 micrómetros [31]. Se debe considerar que 1 denier equivale a 1 gramo por 9.000 metros y que 1 denier es aproximadamente 10 micrómetros.

#### 4.5. Definición de requisitos

Para la definición de los requisitos es necesario identificar que se ha realizado una investigación documental con relevante información de fuentes válidas como artículos científicos, tesis y documentación técnica, respecto a las partes y funcionamiento de máquinas similares, así también el uso de herramientas tecnológicas de simulación, lo que finalmente se orienta a una aplicación de campo, aspecto en el que se pone a prueba el diseño propuesto y se valida su utilización.

#### Bosquejo:

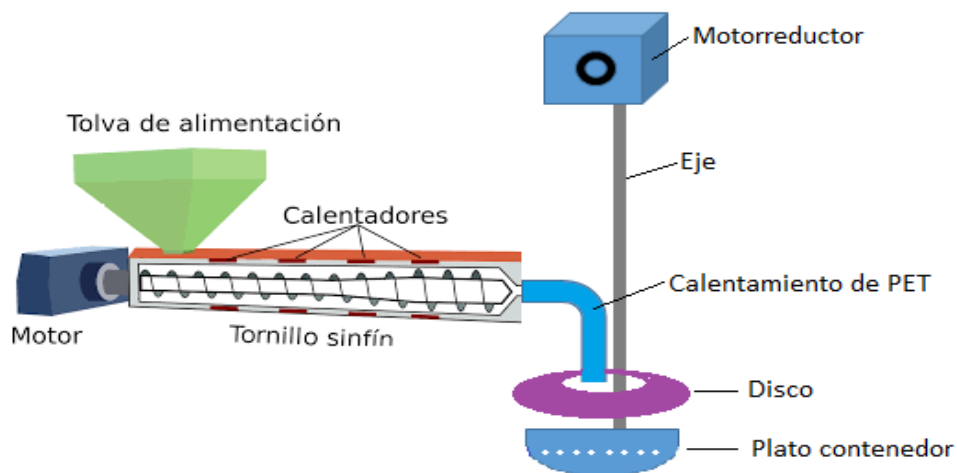


Figura 4.1 Bosquejo de la máquina fibradora

#### 4.5.1. Estructura funcional de la máquina fibradora

La estructura del sistema se basa en el análisis de la fuente de ingreso que se recibe por parte de la extrusora, siendo el PET en forma de tubo de alrededor de 6 milímetros de diámetros, pasa por el proceso de calentamiento por tubos de acero inoxidable para luego de llegar a la zona caliente del disco, caer en el plato contenedor, el cual mediante la rotación centrifuga permite que el PET fundido que se encuentra girando dentro del plato, salga en forma de fibras por los orificios del contenedor. A continuación, en la figura se muestra un esquema de los procesos que se ejecutarían:

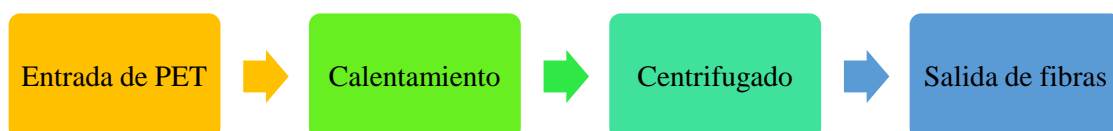
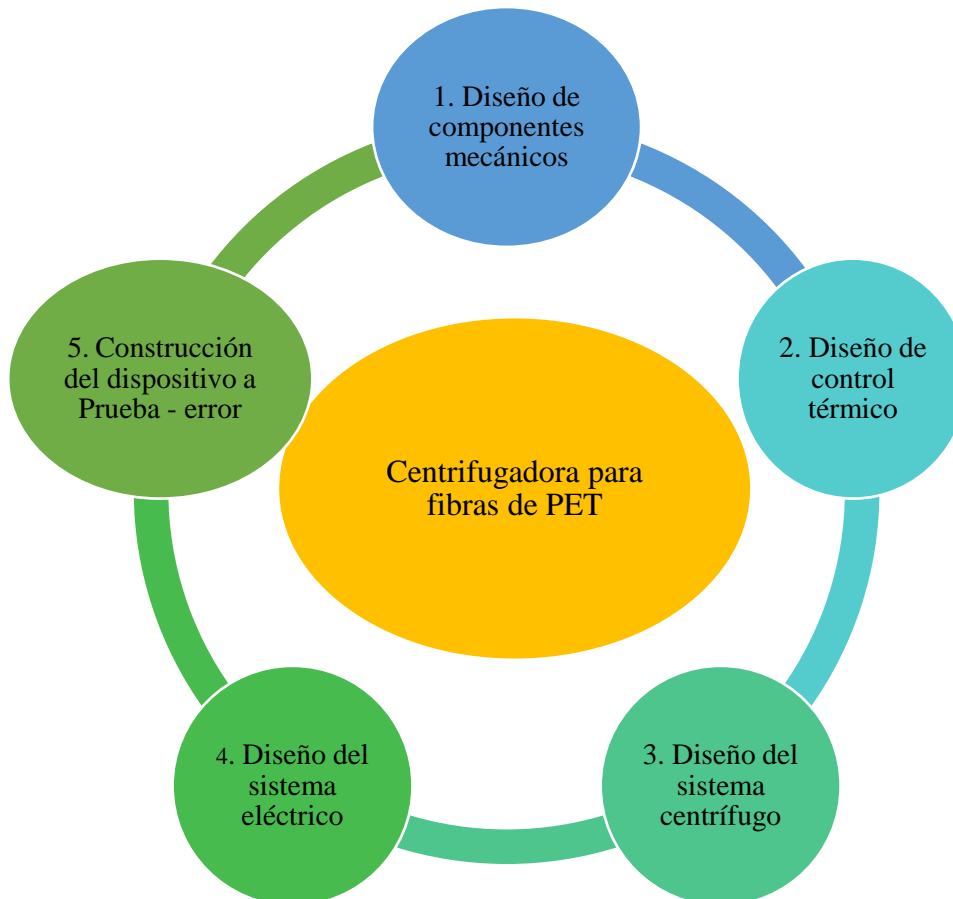


Figura 4.3 Estructura de procesos de la máquina fibradora

#### 4.5.2. Conceptualización del modelo

Para cada una de las etapas se realizó una revisión de las alternativas de solución, aplicando la metodología Poka Yoke, que es una técnica de mejora continua dedicada a evitar equivocaciones en cualquier proceso de producción y logístico. Los subprocesos que se aplicaron para la construcción de la máquina centrifugadora son los que se muestran en el gráfico:



**Figura 4. 4** Aplicación de metodología Poka Yoke en la construcción de la máquina fibradora

Aplicar Poka Yoke implica aplicar 3 métodos:

##### 4.5.2.1. Métodos de contacto

Para nuestro caso, en cada una de los procesos se aplicó este método de contacto, se realizó una validación de funcionalidad de cada componente previo a la construcción, en la que se comprobó si “pasa – no pasa”, y si no cumplía con las propiedades o características físicas. Para la aplicación de este método se generó una tabla en la que se procedió con la valoración de cada uno de los elementos utilizados para la construcción.

**Tabla 4. 4** Valoración de componentes por método de contacto

Nro.	Componente	Características o propiedades	Valoración
			Pasa / No pasa

#### 4.5.2.2. Métodos de valor fijo o número constante

En el caso de la máquina centrifugadora se ha realizado el seguimiento al ensamble de partes mecánicas, así como posteriormente al acople con los sistemas térmico, centrífugo y eléctrico, lo que en principio fueron probados de manera individual para luego formar parte del conjunto, en ambos casos se realizó la inspección del número de movimientos. De manera similar al método anterior se realizó una tabla, pero esta contiene la cantidad de movimientos desarrollado en cada fase o sistema de la construcción de la máquina fibradora

**Tabla 4. 5** Identificación de movimientos por fase mediante método de valor fijo.

Nro.	Fase o sistema	Descripción	Movimientos

#### 4.5.2.3. Métodos de paso-movimiento o de secuencia de desempeño

Para la máquina centrifugadora es prioritario la secuencialidad, en virtud que se tienen sistemas que deben funcionar de acuerdo con un orden para que el resultado obtenido sea el apropiado. Por supuesto, en cada uno se debe identificar los errores producidos y buscar alternativa de solución, en este también se realizó una tabla con los datos obtenidos.

**Tabla 4. 6** Identificación de error y alternativa por fase mediante método secuencia de desempeño

Nro.	Fase o sistema	Error	Alternativa

### **4.5.3. Dimensionamiento y simulación del sistema**

Los componentes de la máquina extrusora utilizados, no son mencionados debido a que corresponden al estudio de Shingón y Uvillus [32], y a partir de esta máquina se tiene un punto de partida para la construcción de la máquina centrífuga.

### **4.6. Dimensionamiento y simulación del sistema**

Previo a la implementación de cualquier tipo de máquina, es necesario elaborar un diseño de las dimensiones que esta tendrá, lo que nos permite definir las medidas de los elementos constitutivos bajo un criterio ingenieril, asegurando una mejor eficiencia en su construcción.

### **4.7. Parámetros del sistema mecánico de la fibradora**

Los componentes mecánicos de la máquina requieren una revisión de las dimensiones con las que se van construir, para lo que es necesario diseñar previamente y con base en estas medidas poder determinar su acople, funcionalidad y correcciones de ser necesarias, previo a la elaboración de las piezas que conforman parte de la estructura de la máquina fibradora.

#### **4.7.1. Parámetros para el dimensionamiento del árbol de transmisión**

Es necesario determinar los siguientes parámetros para determinar el diámetro mínimo del árbol de distribución.

##### **4.7.1.1. Velocidad lineal**

$$v = \omega \cdot r \quad (4.1)$$

Dónde:

v: velocidad lineal [m/s]

$\omega$ : velocidad angular [rad/s]

r: radio del disco contenedor [m]

##### **4.7.1.2. Aceleración lineal**

$$a = \frac{v}{t} \quad (4.2)$$

Dónde:

a: aceleración lineal [m/s<sup>2</sup>]

v: velocidad lineal [m/s]

t: tiempo [s]

#### 4.7.1.3. Fuerza

$$F = m \cdot a \quad (4.3)$$

Dónde:

F: Fuerza [N]

m: masa [kg]

a: aceleración lineal [m/s<sup>2</sup>]

#### 4.7.1.4. Cálculo del torque en el eje

$$T = F \cdot d \quad (4.4)$$

Dónde:

T: Torque [N.mm]

F: Fuerza [N]

d: distancia [mm]

#### 4.7.1.5. Dimensión del árbol de transmisión

$$D = \left[ \frac{32 N}{\pi} \cdot \sqrt{\left(\frac{kt M}{Sn}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{sy}\right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (4.5)$$

Dónde:

D: diámetro mínimo del árbol de transmisión [mm]

kt: Factor de concentración de esfuerzos

Sn: Resistencia a la fatiga

N: Factor de seguridad

M: Momento flector

T: Torque (par torsión) [N.mm]

Sy = resistencia a la fluencia [N.mm<sup>2</sup>]

#### 4.7.2. Plato contenedor

Este plato tendrá unas dimensiones de radio que logre contener alrededor de 4 kg de material de PET en estado viscoso, para el diseño de las dimensiones se considera que su ancho debe ser similar al del disco, partiendo de esa cantidad de masa que almacenaría, se prevé que tendrá una forma similar a la cilíndrica, entonces para sus dimensiones se calcularía desde el valor de masa. Aplicando la fórmula:

Densidad del PET = 1350 kg/m<sup>3</sup>

En el que se aplicaría la fórmula de densidad:

$$\delta = \frac{m}{V_{pc}} \quad (4.6)$$

$$V_{pc} = \pi r_{pc}^2 h \quad (4.7)$$

Dónde:

$V_{pc}$  =Volumen del plato contenedor

$r_{pc}^2$  = radio del plato contenedor

h = altura de plato contenedor

#### 4.7.3. Materiales de distribución

A continuación se detalla los materiales utilizados para la distribución del material.

##### 4.7.3.1. Codo de unión con la salida de la extrusor

Para este elemento se debe revisar la salida del cilindro de la extrusora, en el que consta de acuerdo con [32], en un diámetro de 38,38 mm, por lo tanto, el codo debe tener estas medidas para poder acoplarse de manera adecuada y que el material continúe su trayectoria hacia la salida del PET. Adicional, en la parte de salida debe conectarse con un nuevo tubo de las mismas dimensiones y que contenga las resistencias eléctricas tipo abrazadera para que el material se mantenga y aumente su temperatura.

Respecto al ángulo del codo, lo más apropiado es que pueda tener la mayor velocidad por lo que colocando de manera vertical se logra conseguir este efecto, es decir el codo mantendrá un ángulo de inclinación de 90° hacia abajo, en relación a la dirección horizontal de salida del PET por la extrusora.



**Figura 4. 5** Codo de acero inoxidable

#### **4.7.3.2. Tubo de conexión y salida del PET**

El tubo debe cumplir con la función de transportar de manera vertical el PET y calentarlo para que continúe su salida hasta caer en el plato contenedor. Para este dimensionamiento se han considerado la altura de la mesa en la que se apoya la extrusora, el desplazamiento que tendrá el material, entonces deberá tener una distancia superior al 50% de la altura de la mesa.



**Figura 4. 6** Tubo de acero inoxidable

#### **4.7.3.3. Reductor de acero inoxidable**

Este acople permitirá la salida del material procurando mantener el calor y reduciendo la apertura inicial de 38,38 mm de diámetro, para que pueda tener una apropiada caída en el plato contenedor.



**Figura 4. 7** Reducción de 1 ½ pulgadas a 1 pulgada, en material de acero inoxidable

#### 4.8. Parámetros para el diseño del sistema térmico.

Para desarrollar el dimensionamiento térmico de la máquina fibradora, es necesario conocer las características físicas del material plástico que se va a utilizar.

**Tabla 4. 7** Características del PET

Nombre	PET
Fase en STP	Sólido
Densidad	1350 kg / m <sup>3</sup>
Resistencia a la tracción	150 MPa
Límite de elasticidad	40 MPa
Módulo de Young	9 GPa
Dureza Brinell	20 BHN
Punto de fusión	267 ° C
Conductividad térmica	0,3 W / m°K
Capacidad calorífica	1250 J / kg°K

En la zona de fundición del plástico de la máquina fibradora se tiene que considerar una cantidad de calor mínima para cumplir con su proceso, para lo cual se emplea la ecuación (4.8).

$$Q_1 = \frac{m \cdot C_p \cdot (T_f - T_o)}{t} \quad (4.8)$$

Donde:

Q<sub>util</sub>= Cantidad de calor [kW]

m= masa de la carga [kg]

C<sub>p</sub>= Calor específico [J/kg °K]

T<sub>f</sub>= Temperatura final (°K)

T<sub>o</sub>= Temperatura inicial (°K)

t = Tiempo [s]

Del mismo modo para el disco contenedor de material plástico es necesario determinar la cantidad mínima de calor que necesita el PET para el proceso de obtención de fibras sintéticas, por lo tanto, se puede utilizar la ecuación (4.8)

#### 4.8.1. Transferencia de calor

La transferencia de calor se presenta cuando existe una diferencia de temperatura entre dos elementos, la transmisión del calor da inicio con el elemento que presenta mayor temperatura hacia el o los elementos con menor temperatura.

Generalmente en máquinas extrusoras la transferencia de calor en el cilindro se da mediante la conducción; estas pérdidas pueden generarse por diversos factores y su cálculo se puede determinar para paredes cilíndricas por medio de las siguientes ecuaciones.

##### 4.8.1.1. Transferencia de calor por conducción

Las pérdidas por transferencia de calor a través de la conducción en paredes planas se determinan por la expresión 4.9, mientras que para formas cilíndricas se utiliza la expresión 4.10

$$Q_{p\ cond} = \frac{T1 - T2}{\left(\frac{e_{placa}}{k_{cub\ metal} \cdot A_{placa}}\right)} \quad (4.9)$$

Dónde:

$Q_{p\ cond}$  = Pérdida por conducción [W]

T1 = Temperatura de la resistencia [°K]

T2 = Temperatura de la placa [°K]

$K_{acero}$  = Conductividad térmica del acero [W/m.°K]

$e_{placa}$  = Espesor de la placa [m]

$A_{placa}$  = Área de la placa [m<sup>2</sup>]

$$Q_{p\ cond} = 2\pi \cdot L \cdot k \cdot \frac{\Delta T}{\ln(r_2/r_1)} \quad (4.10)$$

Dónde:

$Q_{p\ cond}$  = Pérdida de calor [W]

L = espesor del cilindro [m]

k = Conductividad térmica [W/m · °C]

$\Delta T$  = Variación de temperatura [°C]

$r_1$  = radio menor del cilindro [m]

$r_2$  = radio mayor del cilindro [m]

#### **4.9. Parámetros para el sistema de eléctrico y de control**

Se realiza una selección de protecciones eléctricas con su respectivo dimensionamiento del conductor para el motor eléctrico, sistema post extrusión, sistema disco contenedor y elementos de maniobra y/o control, estableciendo confiabilidad en el proceso de elaboración de fibras plásticas.

##### **4.9.1. Selección del motor eléctrico**

La máquina fibradora debe tener incluido una máquina rotatoria que permita el movimiento mecánico del material plástico, para realizar el cálculo de la potencia requerida en el sistema, es necesario determinar los siguientes parámetros.

- Velocidad lineal (Ver ecuación 4.1)
- Aceleración lineal (Ver ecuación 4.2)
- Fuerza de aceleración lineal (Ver ecuación 4.3)

##### **4.9.1.1. Aceleración angular**

$$\alpha = \frac{\omega}{t} \quad (4.11)$$

Dónde:

$\alpha$ : aceleración angular [rad/s<sup>2</sup>]

$\omega$ : velocidad angular [rad/s]

t: tiempo [s]

##### **4.9.1.2. Inercia del disco contenedor**

$$I_{disco\ cont} = m \cdot r^2 \quad (4.12)$$

Dónde:

$I_{disc\ cont}$ : Inercia del disco [kg m<sup>2</sup>]

m: masa [kg]

r: radio del disco contenedor [m]

#### 4.9.1.3. Toque de aceleración

$$T_{acel} = I_{disco\ cont} \cdot \alpha \quad (4.13)$$

Dónde:

$T_{acel}$ : Torque de aceleración [N.m]

$I_{disc\ cont}$ : Inercia del disco [kg m<sup>2</sup>]

$\alpha$ : aceleración angular [rad/s<sup>2</sup>]

#### 4.9.1.4. Selección del motor eléctrico

$$P_{max} = (F_{acel.} + F_{fricc.} + F_{lev.}) \cdot V_{max} + (T_{acel.} + T_{fricc.} + T_{lev.}) \cdot \omega_{max} \quad (4.14)$$

Dónde:

$P_{max}$ : Potencia máxima [W]

$F_{acel}$ : Fuerza de aceleración [N]

$F_{fricc}$ : Fuerza de fricción [N]

$F_{lev}$ : Fuerza de levantamiento [N]

v: velocidad lineal [m/s]

$T_{acel}$ : Torque de aceleración [N.m]

$T_{fricc}$ : Torque de fricción [N.m]

$T_{lev}$ : Torque de levantamiento [N.m]

$\omega$ : velocidad angular [rad/s]

#### 4.9.2. Criterio para el control de velocidad

Es necesario realizar un control de velocidad en el motor eléctrico de la máquina fibradora, con la finalidad de aumento los kg de fibras en la salida del sistema disco contenedor. Considerando que la carga es un motor monofásico, se puede realizar un pequeño circuito electrónico considerando los siguientes parámetros.

- Cantidad de corriente de la carga
- Filtros para picos transitorios de alto voltaje
- Selección del potenciómetro

#### 4.10. Protecciones eléctricas

Para determinar el tipo de protecciones eléctricas que se debe utilizar; es necesario conocer el trabajo que cada actuador o dispositivo va a realizar con la finalidad de anular las fallas eléctricas producidas por cortocircuitos o sobrecargas y generando calidad, seguridad, capacidad y funcionamiento del sistema eléctrico.

Según la normativa NEC 15 Instalaciones Electromecánicas existen varias especificaciones que deben cumplir las protecciones eléctricas, a continuación, se detallan las principales:

- Tensión de operación (V)
- Capacidad de corriente de operación (A)
- Curva característica de disparo
- Capacidad de corriente de cortocircuito (kA)

Para su selección es necesario determinar la corriente eléctrica del elemento o de los elementos que se desean proteger, para cargas inductivas en sistemas monofásicos se aplica la expresión (4.15):

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} \cdot f s b \quad (4.15)$$

Dónde:

I = Corriente de protección [A]

P = Potencia del elemento [W]

U = Tensión de alimentación [V]

Cos  $\varphi$  = factor de potencia

fsb = factor de sobrecarga (1,15)

Para cargas resistivas y de control se utiliza la siguiente expresión (4.16)

$$I = \frac{P}{V} \cdot fsb \quad (4.16)$$

Dónde:

I = Corriente de protección [A]

P = Potencia del elemento [W]

V = Tensión de alimentación [V]

fsb = factor de sobrecarga (1,15)

#### **4.10.1. Dimensionamiento de los conductores**

Para realizar el dimensionamiento de los conductores se puede determinar de distintas maneras como son: caída de tensión, ampacidad, y corriente de cortocircuito, adicional se puede utilizar 2 métodos de los 3 mencionados para su comprobación, en la siguiente expresión (4.17) se puede determinar la expresión matemática utilizada para el método de caída de tensión.

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{\Delta U \cdot k} \quad (4.17)$$

Dónde::

S = Sección del conductor [mm<sup>2</sup>]

L = longitud [m]

I = corriente eléctrica [A]

Cos  $\varphi$  = factor de potencia

k = conductividad del conductor [m/ $\Omega$ . mm<sup>2</sup>]

$\Delta U$  = Caída de tensión máxima [V]



#### **4.11. Diseño del control de temperatura**

Para realizar el control de temperatura en el sistema de post extrusión y el sistema disco contenedor de la máquina fibradora de plástico es necesario la implementación de un equipo

electrónico que reciba las señales analógicas de temperatura generando una orden lógica determinando un control específico.

Para la selección del equipo de control se consideran los siguientes: PLC y Controlador de Temperatura. En la siguiente tabla se pueden observar las características técnicas principales de cada uno.

**Tabla 4. 8** Comparación entre equipos de control

Equipo electrónico		
	<b>Controlador de temperatura</b>	<b>PLC</b>
<b>Tensión de alimentación</b>	115 – 230 Vac	115 – 230 Vac
<b>Software</b>	Establecimiento de valores sin software	Programación con software
<b>Visualización de temperatura</b>	Mediante display incorporado	Adquiriendo una pantalla HMI
<b>Tipo de sensores de temperatura compatibles</b>	Termocupla y PT100 compatibles directamente	Termocupla y PT100 compatibles solamente utilizando un módulo de acondicionamiento de señal.
<b>Tipo de control de temperatura</b>	On/Off y PID	On/Off y PID
<b>Proceso de elaboración de fibras</b>	Adecuado	Sobredimensionado
<b>Dimensión</b>	72 x 90 x 55 mm	90 x 100 x 75 mm
<b>Peso</b>	120 gr	435 gr

De acuerdo con la tabla comparativa de los equipos electrónicos, se selecciona el “Controlador de Temperatura CH702”, al presentarse un proceso pequeño de elaboración de fibras, este controlador presenta mayor cantidad de ventajas técnicas y económicas.



Para ejecutar el control, fue necesario utilizar un módulo digital de control de temperatura (pirómetro), que tiene una entrada para ingresar la señal que proviene de la termocupla, a la

salida se conecta los relés SSR que son necesarios para accionar el calefactor(resistencias) adicional tiene el modo de control ON-OFF y PID. En el **ANEXO III**, se visualiza las especificaciones del controlador de temperatura.

#### 4.11.1. Selección del instrumento de medición

En la actualidad hay una gran cantidad de formas para realizar la medición de temperatura con diferentes tipos de sensores, en la industria del plástico se puede considerar dos tipos de sensores de mayor utilización en procesos térmicos estos son: detector de temperatura por resistencia y los termopares. En la siguiente tabla se presentan las características de estos dos tipos de sensores de temperatura.

**Tabla 4. 9** Comparación entre instrumentos de temperatura

Tipo de sensor de temperatura	 <b>RTD</b>	 <b>Termopar</b>
Tipos	Pt100 y Pt1000	K, J, E, T
Variable eléctrica de salida	Resistencia eléctrica ( $\Omega$ )	Tensión (mV)
Rango general de temperatura	-100 a 600 °C	-200 a 1500 °C
Linealidad	Excelente	Buena
Exactitud típica	$\pm 0,1$ °C a 0 °C hasta $\pm 1,3$ °C a 600 °C	$\pm 2,2$ °C a 0 °C hasta $\pm 10$ °C a 1200 °C
Velocidad de respuesta	Más lenta	Más rápida
Ventajas	Mejor exactitud y estabilidad	Mayor rango de medida
Sensibilidad	Moderada	Baja
Alimentación	Requerida	No requerida

Dadas las características de cada uno de los sensores de temperatura, se selecciona el termopar tipo “K” por tener un rango de medida mayor, por tener una velocidad rápida de respuesta y ser de bajo costo en su adquisición e implementación, en el **ANEXO IV** se visualiza las especificaciones y selección de la termocupla.

#### 4.11.2. Control de temperatura

Es necesario realizar el control de temperatura para los dos sistemas de la máquina fibradora; el primero es el sistema post extrusión cuya temperatura debe permanecer en 260 °C y el segundo es el sistema disco contenedor que debe permanecer a un temperatura de 360 °C, mediante la configuración del “Controlador de Temperatura CH702” es posible desarrollar un control en lazo cerrado PID, añadiendo en la salida del controlador un relé de estado sólido SSC para la activación de las resistencias eléctricas dependiendo del set point de temperatura.

##### Sistema post extrusión (Set Point: 260 °C)

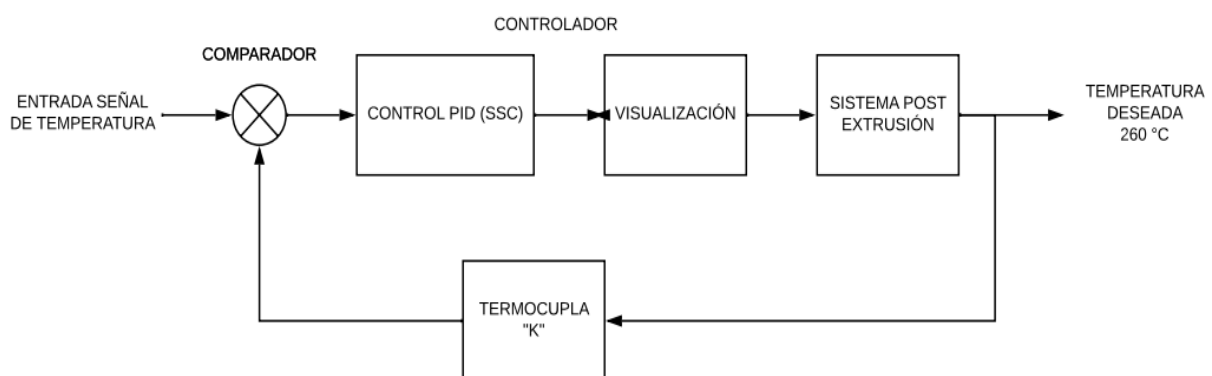


Figura 4. 8 Control en lazo cerrado del sistema post extrusión

##### Sistema disco contenedor (Set Point: 360 °C)

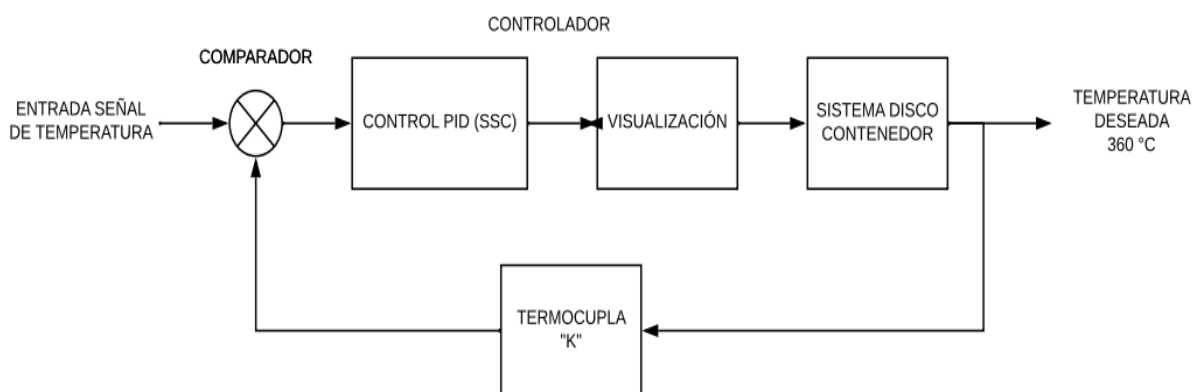
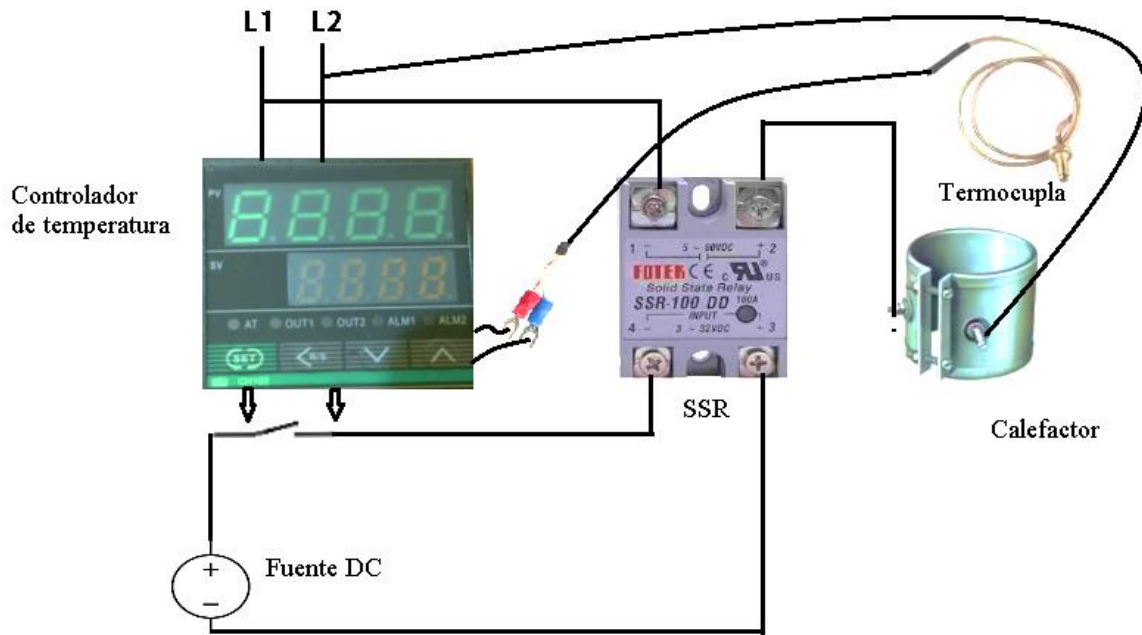


Figura 4. 9 Control en lazo cerrado del sistema disco contenedor

Además, se debe conectar los controladores de temperatura con los relés de estado sólido y estos relés a los calefactores. La figura 4.10 muestra el diagrama del circuito de control y de alimentación a los calefactores.



**Figura 4. 10** Circuito de control y fuerza de temperatura

#### **4.12. Manufactura y tecnología de fabricación**

Respecto a la manufactura y tecnología de fabricación de los elementos en principio se procede con los diseños de cada uno de los elementos realizados en el software inventor, para posteriormente llevarlos a su construcción en un lugar apropiado para la elaboración mecanizada de los elementos trabajados en acero inoxidable, aluminio y otros metales utilizados para el proyecto.

Al terminar el proceso de diseño se procederá a la construcción de la máquina fibradora que funcionará por fuerza centrífuga, a la vez estará conectada a un sistema de transmisión de potencia con ayuda de un eje que contiene poleas y catalinas o a su vez por un motorreductor, que se encargarán de la transmisión del movimiento rotacional, todo esto se apoyará en ángulos para poder soportar todos los componentes mecánicos y eléctricos.

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

#### **5.1. Selección de alternativas para construcción de la máquina**

Una vez identificada la metodología de trabajo de la presente investigación se procedió con la ejecución y para ello se estableció la matriz de pugh como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 5. 1** Matriz Pugh de relevancia en base a los criterios

	Costo	Tiempo	Diseño	Ensamblaje	$\sum_{+1}$	Grado de relevancia
<b>Costo</b>	0	1	1	1	4	<b>40%</b>
<b>Tiempo</b>	1	0	1	0	3	<b>30%</b>
<b>Diseño</b>	0	0	0	0.5	1.5	<b>15%</b>
<b>Ensamblaje</b>	0	0	0.5	0	1.5	<b>15%</b>
<b>Total</b>					<b>10</b>	<b>100%</b>

Esta tabla se aplicó para la toma de decisiones de cada uno de los elementos que disponen los procesos de armado de la máquina.

## 5.2. Diseño de detalle

A continuación se presentan los cálculos para el dimensionamiento de los sistemas mecánico, térmico, eléctrico y de control de la máquina fibroadaptadora

### 5.2.1. Resultados de los parámetros de los componentes del sistema mecánico.

#### 5.2.1.1 Dimensionamiento del árbol de transmisión

Para realizar la dimensión del árbol de transmisión se considera que la velocidad de trabajo es de 250 rev/min, y que la masa que comprende el material PET y el disco contenedor es de 14 kg.

##### 5.2.1.1.1. Velocidad lineal

En donde (4.1):

- Velocidad angular: 250 rev/min = 26,18 rad/s
- Radio del disco contenedor: 0,21 m

$$v = 26,18 \frac{rad}{s} \cdot 0,21 m$$

$$v = 5,49 m/s$$

##### 5.2.1.1.2. Aceleración lineal

En donde (4.2):

- Velocidad lineal: 5,49 m/s
- Tiempo: 2 s

$$a = \frac{5,49 \text{ m/s}}{2 \text{ s}}$$

$$a = 2,75 \text{ m/s}^2$$

#### 5.2.1.1.3. Fuerza

En donde (4.3):

- Masa del PET: 4 kg
- Masa del disco: 10 kg
- Aceleración lineal: 2,75 m/s<sup>2</sup>

$$F_{\text{acel}} = 14 \text{ kg} \cdot 2,75 \text{ m/s}^2$$

$$F_{\text{acel}} = 38,48 \text{ N}$$

#### 5.2.1.1.4. Torque

En donde (4.4):

- Fuerza: 38,48 N
- Distancia: 600 mm

$$T = 38,48 \text{ N} \cdot 600 \text{ cm}$$

$$T = 23088 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

#### 5.2.1.1.5. Dimensión del árbol de transmisión

En donde (4.5):

- Factor de concentración de esfuerzos = 0 (no existen secciones con diámetros diferentes en el eje, por lo tanto, la resistencia a la fatiga y el momento se anulan.)
- Factor de seguridad = 5, determinado en un caso considerable.
- Torsión: 23088 N.mm
- Límite de fluencia del Acero 1018: 235 N/mm<sup>2</sup>

$$D = \left[ \frac{32 \cdot 5}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{3}{4} \left( \frac{23088 \text{ N} \cdot \text{mm}}{235 \text{ N/mm}^2} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 16,30 \text{ mm}$$

Se establece que el diámetro mínimo del árbol de transmisión debe ser de 16,30 mm, pero como recomendación se puede considerar un diámetro mayor como un factor de seguridad siendo de 22 mm de diámetro comercial en acero AISI 1018. En el **ANEXO I.1** se puede verificar el informe de tensión que va a soportar el árbol de transmisión.

### 5.2.1.2. Volumen del plato contenedor

Las dimensiones del plato contenedor son de radio circular exterior de 260mm, radio intermedio de 210mm y de radio inferior de 160mm, con el que se realizó un chaflan redondeando la figura y dejando hueca la parte vacía la parte superior, que posteriormente se procedió a soldar para poder recubrir y dar la forma de un contenedor, el mismo que tiene una altura de 79mm. Además, orificios de 2mm con una separación de 30mm alrededor de todo el plato por donde se pretende que salga el material en forma de fibra.



**Figura 5. 1** Plato contenedor

El volumen del contenedor es un recipiente de forma circular viene dada por:

$$V = A (\text{área de la parte circular}) * h$$

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = \pi * (0,013)^2 * (0,079)$$

$$V = 0,00419 \text{ m}^3$$

## 5.2.2. Sistema de distribución

### 5.2.2.1. Codo de unión con la salida de la extrusora

Las dimensiones del codo son de 1 ½ pulgadas lo que corresponde a 38 mm de diámetro, el material es de acero inoxidable y tiene una terminación roscada para poder empatar con el tubo de salida de la extrusora, como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 5. 2** Codo de acero inoxidable

#### **5.2.2.2. Tubo de conexión y salida del PET**

Los tubos se realizaron a igual dimensiones de diámetro que el codo, es decir a 1 ½ pulg, también se incorporó la terminación roscada y su dimensión de largo es de 200 mm, al unir estos dos elementos quedan de como se muestra en la figura:



**Figura 5. 3** Conexión de tubos y codo

#### **5.2.2.3. Acople para salida de acero inoxidable**

El acople tiene la dimensión de 1 ½ pulg. en la parte de enlace con el tubo y en la salida tiene una dimensión del diámetro de 1 pulg, su longitud es de 30 mm



**Figura 5. 4** Acople tipo reducción de 1 ½ a 1 pulg.

#### **5.2.3. Resultados de los parámetros de los componentes del sistema térmico.**

El sistema térmico de la máquina fibradora de plástico se subdivide en dos partes:

- Sistema post extrusión
- Sistema disco contenedor

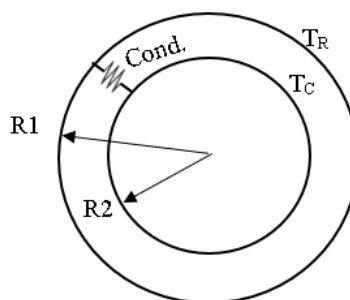
### 5.2.3.1. Sistema Post extrusión

Para determinar la cantidad de calor necesaria para el sistema post extrusión, se conoce que la extrusora tiene una capacidad de 8 kg/h y el calor específico del PET es de 1250 J/kg·K, los datos adicionales se detallan en la siguiente tabla.

**Tabla 5. 2** Datos del sistema Post extrusión del PET

Parámetro	Valor
Masa	8 kg
Calor específico del PET	1250 J/g.K
Temperatura inicial	188 °C = 461 °K
Temperatura final	260 °C = 533 °K
Tiempo	25 min = 1500 s
<b>Cantidad de calor</b>	
$Q = \frac{8 \text{ kg} \cdot 1250 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°K}} \cdot (533 \text{ °K} - 461 \text{ °K})}{1500 \text{ s}}$	
$Q = 480 \text{ W}$	

Para determinar la cantidad de calor que se pierde por su transferencia, se realiza un análisis mediante la conducción y convección, como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 5. 5** Perfil de temperaturas y resistencias del sistema post extrusor

- $T_R$  = Temperatura de la resistencia
- $T_P$  = Temperatura del cilindro
- $T_I$  = Temperatura interior del cilindro

#### 5.2.3.1.1. Cálculo de las pérdidas por conducción

Se utiliza la ecuación 4.10, con los siguientes parámetros; que se utilizara para determinar las pérdidas por conducción.

**Tabla 5. 3** Datos para las pérdidas por conducción

<b>Parámetros</b>	<b>Valores</b>
Temperatura de la resistencia	360°C = 633 °K
Temperatura del cilindro	352 °C = 625 °K
Espesor de la pared	0,0025 m
Conductividad térmica del acero inoxidable	51,20 W/m.K
Radio exterior	0,0381 m
Radio interior	0,0356 m

$$Q_{cond} = 2\pi \cdot 0,0025 \cdot 16,3 \frac{W}{m K} \cdot \frac{633 K - 631 K}{\ln (0,0381/0,0356)}$$

$$Q_{cond} = 94,8 W$$

#### 5.2.3.1.2. Selección de las resistencias

Para la selección de las resistencias es necesario realizar la sumatoria del calor necesario para fundir PET más las pérdidas totales.

$$Q_{total} = Q + Q_{pérdidas}$$

$$Q_{total} = 480W + 94,8 W$$

$$Q_{total} = 574,8 W \approx 600 W$$

Por lo tanto, se seleccionan 3 resistencias eléctricas de tipo abrazadera de 200 W cada una, para cubrir con la cantidad de calor en el sistema de post extrusión.

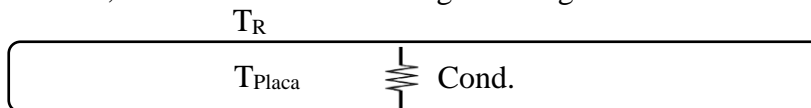
#### 5.2.3.2. Sistema disco contenedor

Para determinar la cantidad de calor necesaria para el sistema disco contenedor, se conoce que la masa que debe ingresar es de 4 kg, elevando una temperatura de 260 °C a 360 °C en un tiempo de 4 minutos, se detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 5. 4** Datos del sistema disco contenedor del PET

Parámetro	Valor
Masa	4 kg
Calor específico del PET	1250 J/g.K
Temperatura inicial	260 °C = 533 °K
Temperatura final	360 °C = 633 °K
Tiempo	4 min = 240 s
<b>Cantidad de calor</b>	
$Q = \frac{4 \text{ kg} \cdot 1250 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°K}} \cdot (633 \text{ °K} - 533 \text{ °K})}{240 \text{ s}}$ $Q = 2083,33 \text{ W}$	

Para determinar la cantidad de calor que se pierde por su transferencia, se realiza un análisis mediante la conducción , como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 5. 6** Perfil de temperaturas y resistencias del sistema disco contenedor

- $T_R$  = Temperatura de la resistencia
- $T_{Placa}$  = Temperatura de la placa (disco contenedor)

### 5.2.3.2.1. Cálculo de las pérdidas por conducción

**Tabla 5. 5** Datos para pérdidas por conducción

Parámetro	Valor
Temperatura de la resistencia	360 °C = 633 °K
Temperatura de la placa	352 °C = 631 °K
Espesor de la placa	0,02 m
Conductividad térmica del acero	25 W/m.K
Área de la placa (disco contenedor)	0,1225 m <sup>2</sup>

$$Q_{p\ cond} = \frac{633\ K - 631\ K}{\left( \frac{0,02\ m}{25\ \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \cdot 0,1225\ m^2} \right)}$$

$$Q_{p\ cond} = 306,25\ W$$

### 5.2.3.2.2. Selección de la resistencia

Para la selección de las resistencias es necesario realizar la sumatoria del calor necesario para fundir PET más las pérdidas totales.

$$Q_{total} = Q + Q_{pérdidas}$$

$$Q_{total} = 2083,33\ W + 306,25\ W$$

$$Q_{total} = 2389,58\ W \approx 2400\ W$$

Por lo tanto, se selecciona 1 resistencia eléctrica de tipo redonda de 2400 W, para cubrir con la cantidad de calor en el sistema disco contenedor

## 5.2.4. Análisis eléctrico

### 5.2.4.1. Selección del motor eléctrico

Para la selección del motor eléctrico, se consideran que las fuerzas de fricción y levantamiento son nulas, por lo tanto, los torques de fricción y levantamiento se desprecian.

#### 5.2.4.1.1. Fuerza de aceleración

Para determinar el cálculo de la fuerza de aceleración es necesario considerar que la velocidad de trabajo es de 250 rev/min y el tiempo que se demora en salir la fibra del disco contenedor es de 2 segundos, por lo tanto, se realizan las siguientes ecuaciones:

#### 5.2.4.1.2. Aceleración angular

En donde (4.11):

- Velocidad angular: 2250 rev/min = 26,18 rad/s
- Tiempo: 2 s

$$\alpha = \frac{26,18\ rad/s}{2\ s}$$

$$\alpha = 13,09 \text{ rad/s}^2$$

#### 5.2.4.1.3. Inercia del disco contenedor

En donde (4.12):

- Masa del PET: 4 kg
- Masa del disco: 10 kg
- Aceleración angular: 5,23 m/s<sup>2</sup>

$$I_{disco \ cont} = 14 \text{ kg} \cdot (0,21 \text{ m})^2$$

$$I_{disco \ cont} = 0,6174 \text{ kg m}^2$$

#### 5.2.4.1.4. Toque de aceleración

En donde (4.13):

- Aceleración angular: 13,09 rad/s<sup>2</sup>
- Inercia del disco contenedor: 0,6174 kg m<sup>2</sup>

$$T_{acel} = 0,6174 \text{ kg m}^2 \cdot 13,09 \text{ rad/s}^2$$

$$T_{acel} = 8,08 \text{ N.m}$$

#### 5.2.4.2. Selección del motor eléctrico

En donde (4.14):

- Fuerza aceleración: 38,48 N
- Velocidad lineal: 5,49 m/s
- Torque de aceleración: 8,08 N.m
- Aceleración angular: 13,09 rad/s<sup>2</sup>

$$P_{max} = (39,48 \text{ N}) \cdot 5,49 \frac{\text{m}}{\text{s}} + (8,08 \text{ N.m}) \cdot 13,09 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$P_{max} = 317,37 \text{ W}$$

Por medio de los diferentes cálculos y de manera comercial se debe seleccionar un motor eléctrico de 0,5 HP equivalente a 373 W






**Figura 5. 7** Motor eléctrico 0,5 hp

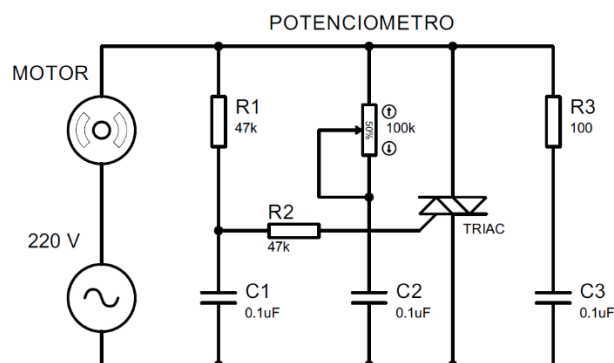
En el **ANEXO V** se presenta las Especificaciones técnicas y selección del del motor eléctrico.

### 5.2.4.3. Diseño del control de velocidad

Bajo los siguientes criterios, se selecciona los componentes electrónicos.

**Tabla 5. 6** Selección del control de velocidad

Criterios	Descripción	Ilustración
Cantidad de corriente de la carga	El motor eléctrico de 0,5 HP tiene un consumo de 2,14 A, por lo tanto, el TRIAC que se selecciona es de 4 A.	
Filtros para picos transitorios de alto voltaje	Para la anulación de filtros se utilizan condensadores cerámicos del tipo 104.	
Selección del potenciómetro	De manera comercial y para obtener una regulación amplia de la velocidad se selecciona de 100 kΩ	



**Figura 5. 8** Diseño del control de velocidad

Para poder variar la velocidad del motor se utilizó un circuito electrónico dimmer el cual nos permite controlar la intensidad del motor monofásico.

### 5.2.5. Selección de las protecciones eléctricas

Para la selección de la protección eléctrica del motor se debe tomar en cuenta el valor del consumo de la corriente eléctrica, para lo cual se utiliza la ecuación (4.15).

En donde:

- Potencia del motor eléctrico = 0,5 HP = 373 W
- Tensión de alimentación = 220 Vac
- Rendimiento del motor eléctrico = 0,96
- factor de potencia = 0,95
- factor de sobrecarga = 1,15

$$I_m = \frac{373 \text{ W}}{220 \text{ Vac} \cdot 0,96 \cdot 0,95} \cdot 1,15$$

$$I_m = 2,14 \text{ A}$$

La corriente de protección del motor es de 2,14A, por lo tanto, se selecciona de manera comercial un guardamotor que presenta un rango de protección entre 5,5 – 8 A.



Figura 5. 9 Guardamotor

#### 5.2.5.1. Protección del sistema post extrusión

Para la protección del sistema post extrusión es necesario considerar que se seleccionaron 3 resistencias eléctricas de 200 W cada, por lo tanto, se aplica la expresión (4.16).

En donde:

- Potencia total del sistema post extrusión = 600 W

- Tensión de alimentación = 220 Vac
- factor de sobrecarga = 1,15

$$I_{post\ extrusión} = \frac{600\ W}{220\ Vac} \cdot 1,15$$

$$I_{post\ extrusión} = 3,14\ A$$

La corriente de protección del sistema post extrusión es de 3,14 A, por lo tanto, se selecciona de manera comercial un interruptor termomagnético de 2 polos de 6 A de riel Din para ser colocado en el tablero eléctrico.



**Figura 5. 10** Interruptor termomagnético para el sistema post extrusor

#### 5.2.5.2. Protección del sistema disco contenedor

Para la protección del sistema disco contenedor es necesario considerar que en el proceso térmico se seleccionó una resistencia eléctrica de 2400 W, por lo tanto, se aplica la expresión (4.16).

En donde:

- Potencia total del sistema disco – contenedor = 2400 W
- Tensión de alimentación = 220 Vac
- factor de sobrecarga = 1,15

$$I_{disco} = \frac{2400\ W}{220\ Vac} \cdot 1,15$$

$$I_{disco} = 12,54\ A$$

La corriente de protección del sistema disco – contenedor es de 12,54 A, por lo tanto, se selecciona de manera comercial un interruptor termomagnético de 2 polos de 20A de riel Din para ser colocado en el tablero eléctrico.



**Figura 5. 11** Interruptor termomagnético para el sistema disco contenedor

### 5.2.5.3. Dimensionamiento de los conductores

Para realizar el dimensionamiento de los conductores eléctricos se considerará el cálculo de la sección del conductor mediante la expresión (4.17) y será verificado con el parámetro de la corriente eléctrica. En la siguiente tabla se presenta el valor de la corriente eléctrica de cada uno de los elementos y sistemas para una posterior selección del calibre del conductor eléctrico.

**Tabla 5. 7** Características de las corrientes eléctricas de los elementos

Elemento/Sistema	Cantidad de corriente
Motor	2,14 A
Sistema post extrusión	3,14 A
Sistema disco contenedor	12,54 A



#### ESPECIFICACIONES TECNICAS

Todos los conductores fabricados por ELECTROCABLES C.A. cumplen con holgura las especificaciones establecidas en las normas de fabricación existentes para cada tipo y que son las siguientes:

Aislante de Material termoplástico, PVC 600 V. - 90 °C  
 Chaqueta de Nylon

Calibre AWG ó MCM	Sección mm <sup>2</sup>	FORMACION No. de Hilos por diámetro en mm.	ESPESOR AISLAM. mm	ESPESOR CHAQUETA mm	DIAM. EXTERIOR mm	PESO TOTAL Kg/Km	Capacidad de corriente		TIPO CABLE	Altern. de embal.
							Para 1 cond. al aire libre Amp.	Para 3 cond. en conduit Amp.		
20	0.519	1 x 0.813	0.38	0.10	1.77	7.07	15	10	TFN	A,B
18	0.823	1 x 1,02	0.38	0.10	1.98	10.94	15	10	TFN	A,B
16	1.31	1 x 1,29	0.38	0.10	2.25	16.48	20	15	TFN	A,B
14	2.08	1 x 1,63	0.38	0.10	2.59	23.17	35	25	THHN	A,B
12	3.31	1 x 2,05	0.38	0.10	3.01	34.16	40	30	THHN	A,C
10	5.26	1 x 2,59	0.51	0.10	3.81	55.04	55	40	THHN	A,D
8	8.34	1 x 3,26	0.76	0.13	5.04	91.22	80	55	THHN	A,B

**Figura 5. 12** Tabla de conductores

### 5.2.5.3.1. Dimensionamiento del calibre para motor eléctrico

Aplicando la expresión (4.18) de tiene:

- Longitud = 5 m
- Corriente eléctrica = 2,14 A
- $\cos \varphi = 0,95$
- $\gamma =$  conductividad del conductor = 56 m/ $\Omega \cdot \text{mm}^2$
- $\Delta U =$  Caída de tensión máxima 3% = 6,6 V

$$S = \frac{2 \cdot 4 \text{ m} \cdot 2,14 \text{ A} \cdot 0,95}{56 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot 6,6 \text{ V}}$$

$$S = 0,0439 \text{ mm}^2$$

Se determina que no existe mayor distancia entre el tablero de control y el motor eléctrico, por lo tanto, su mínima selección del calibre es de 0,0439 mm<sup>2</sup> de sección equivalente a 20 AWG, pero al utilizar motores eléctricos la selección del cable debe ser mínimo en 12 AWG, para lo cual se selecciona esta última que es del tipo THHN con una capacidad de corriente de 30 A.

### 5.2.5.3.2. Dimensionamiento del calibre para el sistema post extrusión

Aplicando la expresión (4.17) de tiene:

- Longitud = 6 m
- Corriente eléctrica = 3,14 A
- $\cos \varphi = 1$
- $\gamma =$  conductividad del conductor = 56 m/ $\Omega \cdot \text{mm}^2$
- $\Delta U =$  Caída de tensión máxima 3% = 6,6 V

$$S = \frac{2 \cdot 6 \text{ m} \cdot 3,14 \text{ A} \cdot 1}{56 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot 6,6 \text{ V}}$$

$$S = 0,1019 \text{ mm}^2$$

Se determina que no existe mayor distancia entre el tablero de control y el sistema post extrusor, por lo tanto, su mínima selección del calibre es de 0,1019 mm<sup>2</sup> de sección equivalente a 18 AWG, considerando que su utilización es para un proceso térmico se selecciona el calibre 12 AWG con recubrimiento para elevadas temperaturas con una capacidad de corriente de 30 A.

### 5.2.5.3.3. Dimensionamiento del calibre para el sistema disco contenedor

Aplicando la expresión (4.17) de tiene:

- Longitud = 6 m
- Corriente eléctrica = 3,14 A
- $\cos \varphi = 1$
- $\gamma =$  conductividad del conductor =  $56 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$
- $\Delta U =$  Caída de tensión máxima 3% = 6,6 V

$$S = \frac{2 \cdot 6 \text{ m} \cdot 3,14 \text{ A} \cdot 1}{56 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot 6,6 \text{ V}}$$

$$S = 0,1019 \text{ mm}^2$$

Se determina que no existe mayor distancia entre el tablero de control y el sistema post extrusor, por lo tanto, su mínima selección del calibre es de  $0,1019 \text{ mm}^2$  de sección equivalente a 18 AWG, considerando que su utilización es para un proceso térmico se selecciona el calibre 12 AWG con recubrimiento para elevadas temperaturas con una capacidad de corriente de 30 A.

### 5.2.5.4. Diseños del circuito eléctrico

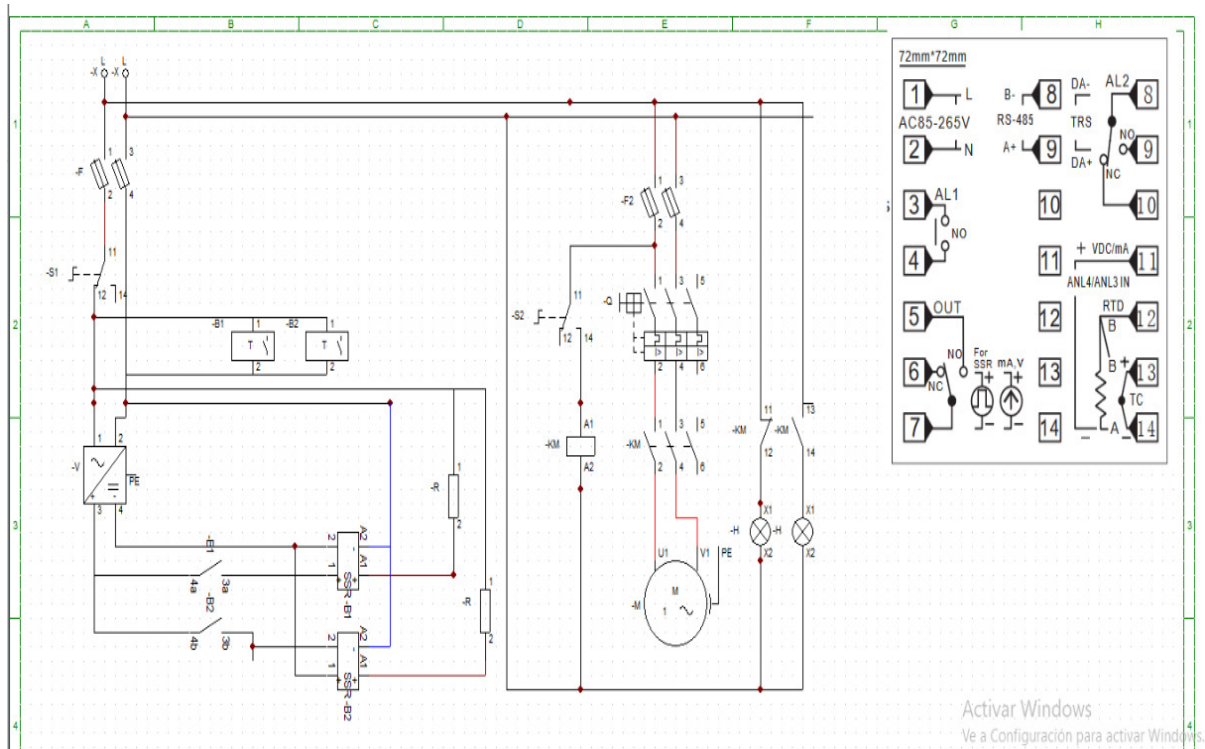


Figura 5. 13 Diseño del circuito eléctrico de control

### 5.3. Validación mediante el método de contacto.

Tabla 5. 8 Método de contacto en los componentes de la máquina fibradora

Nro.	Componente	Características o propiedades	Valoración Pasa / No pasa
1	Codo	Acero inoxidable 1 ½ pulg, 90°	Pasa
2	Tubo	Acero inoxidable 1 ½ pulg, 20 cm, posición horizontal	No pasa
3	Tubo	Acero inoxidable 1 ½ pulg, 20 cm, posición vertical	Pasa
4	Acople	Acero inoxidable 1 ½ pulg a 1 pulg	Pasa
5	Motorreductor	Potencia 1/2 Hp, 230RPM	Pasa
6	Eje	Acero AISI1018, diámetro 30mm	Pasa
7	Disco	Acero A36, diámetro 300mm, orificio rectangular de 100mm y radio 30mm	Pasa
8	Plato contenedor	Aluminio, diámetro 300mm	Pasa
9	Bastidor	Altura 300mm, largo 600 mm, ancho 250mm	Pasa
10	Resistencias	Diámetro 38 mm, largo 40 mm	Pasa
11	Caja plástica	400x300x180 mm	Pasa
12	Elementos del tablero de control	Pirómetros, botones de encendido, apagado, de emergencia, etc.	Pasa

### 5.4. Manufactura y tecnología de fabricación

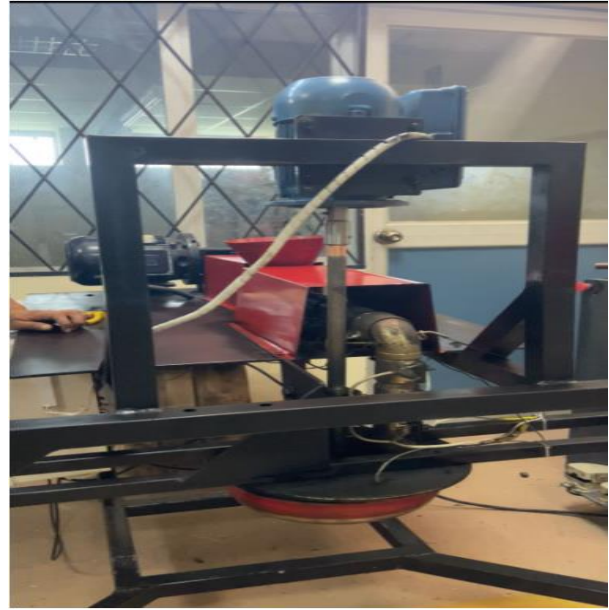
Fase de pruebas y comprobación de los elementos diseñados.



Figura 5. 14 Conexión entre la máquina extrusora y la fibradora.



a) Fibradora conexión motorreductor







b) Fibradora conexión motor directo

**Figura 5. 15** Máquina extrusora-fibradora

A continuación, se presenta los filamentos obtenidos en las pruebas realizadas resumidos en la tabla 5,9. Donde se partió desde el análisis de un modelo de máquina extrusora existente y los resultados obtenidos son relacionados a la experimentación y validar el proceso de centrifugación para poder obtener material en forma de fibra sintética a base de polietileno de baja densidad que será direccionada al ámbito textil para diversos usos comerciales.

**Tabla 5. 9** Resultados obtenidos en las pruebas de campo realizadas

TEMPERATURA °C				Tipo de material	Peso (g)	Velocidad de giro del plato (RPM)	Tiempo de producción (min)	RESULTADOS			
Extrusora		Fibradora						Longitud aprox (m)	Peso (g)	Evidencia	Comentarios
240	240	350	350	PET virgen	280	100%	30	10.96	8		En estas circunstancias se obtuvo la mejor cantidad tanto de longitud como de peso de fibra sintética con PET virgen.
240	240	350	350	PET virgen	280	50%	25	No se obtiene fibra	3		Bajo estos parámetros no se logra todavía obtener fibra sintética con PET virgen.
240	240	350	350	PET reciclado	280	100%	30	6.85	5		En estas circunstancias se obtuvo la mejor cantidad tanto de longitud como de peso de fibra sintética con PET reciclado.
240	240	350	350	PET reciclado	280	50%	25	No se obtiene fibra	69		Bajo estos parámetros no se logra todavía obtener fibra sintética con PET reciclado.

## 5.5. Presupuesto

Respecto a los costos del presente proyecto se han dividido en costos directos e indirectos, de acuerdo con las siguientes tablas.

**Tabla 5. 10** Costos Directos

<b>Costos directos</b>			
<b>Nro.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor</b>
1	Neplo Inox	1	\$ 16.07
2	Eje	1	\$ 30.00
3	Codo Inox	1	\$ 5.36
4	Reducción Inox	1	\$ 6.25
5	Unión Inox	1	\$ 4.96
6	Resistencia Disco	1	\$ 65.00
7	Resistencia Abrazadera	4	\$ 48.00
8	Plato contenedor	1	\$ 120.00
9	Motor	1	\$ 311.20
10	Tablero	1	\$ 486.85
	<b>Subtotal</b>		<b>\$ 1,093.69</b>
	<b>IVA</b>		<b>\$ 131.24</b>
	<b>Total</b>		<b>\$ 1,224.93</b>

**Tabla 5. 11** Costos Indirectos

<b>Costos indirectos</b>			
<b>Nro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor</b>
1	Mecanización_1	1	\$ 64.00
2	Mecanización_2	1	\$ 280.00
3	Mecanizado_3		\$ 40.00
4	Mano de obra	1	\$ 200.00
5	Diseño		\$ 150.00
6	Transporte		\$ 250.00
7	Admin proyect	1	\$ 200.00
	<b>Subtotal</b>		<b>\$ 1,184.00</b>
	<b>IVA</b>		<b>\$ 142.08</b>
	<b>Total</b>		<b>\$ 1,326.08</b>

**Tabla 5. 12** Resumen total de costos.

<b>Detalle</b>	<b>Valor</b>
Costos directos	\$ 1,224.93
Costos indirectos	\$ 1,326.08
<b>Total</b>	<b>\$ 2,551.01</b>

De acuerdo a los valores mostrados se establece un costo de la máquina fibradora en un monto de \$ 2551.01 dólares, por lo que si este tipo de maquinaria se pretende producir, debería considerarse dos aspectos, por una parte, el hecho de que a mayor volumen existe un mejor

precio en la adquisición de materiales, sin embargo, bajo la perspectiva de venta se debe incluir un monto de ganancia que bordearía el 30% del costo dando un total de \$3,316.3. Si se compara este tipo monto en relación a una cotización de la elaboración de este tipo de máquina cuyo monto es de \$8960 dólares, resulta una reducción en el valor de más del 50% del valor de referencia.

#### **5.6. Impactos (Técnicos, sociales, ambientales o económicos)**

El proyecto desarrollado conlleva un impacto técnico debido a que evidencia un registro de parámetros como temperatura, velocidad de motor reductor, dimensiones, cantidad de resistencias eléctricas transmisoras de calor, valores de los sensores de control, entre otros factores de la máquina fibradora con la que se logró obtener fibras sintéticas a partir de material PET reciclado, y esta documentación sirve para poder replicar o mejorar maquinaria similar.

En el ámbito social y económico la máquina tiene un impacto debido a su reducción de costo respecto a una maquinaria de tipo industrial y logra ser accesible ante la adquisición de un emprendimiento relacionado con la obtención de fibras sintéticas para diversos usos.

Con relación al contexto medioambiental la transformación de energía eléctrica en energía calórica para lograr obtener el PET líquido y a su vez el centrifugado mediante la rotación del contenedor, dan cuenta de energías limpias cuya afectación es mínima en comparación con otro tipo de energía contaminante, por lo que tiene un impacto positivo respecto al cuidado del medio ambiente.

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

Mediante la investigación bibliográfica se determinan las características y el principio de funcionamiento de la máquina fibradora, que da inicio en el proceso de extrusión con temperaturas aproximadas a 200 °C, dando paso al proceso de elaboración de fibras con temperaturas que rodean los 360 °C, la velocidad del motor fibrador puede variar dependiendo la capacidad de la maquinaria, generalmente en máquinas de pequeña producción la velocidad varía entre los 200 y 500 rev/min obteniendo una fibra sintética de 1 mm de diámetro.

Se desarrollaron los cálculos para la selección del motor fibrador que es de 0,5 HP y la selección del diámetro para el árbol de transmisión de 22 mm en acero AISI en función a la cantidad de masa de 4 kg de PET y velocidad de 250 rev/min; se dividió a la máquina fibradora en dos sistemas, el primero es el sistema post extrusión que necesita 600 W de calor para alcanzar los 260 °C y el segundo sistema denominado disco contenedor necesita 2400 W de calor para alcanzar la temperatura de 360 °C utilizando termocuplas tipo °K para cada sistema y un control PID a través de un equipo controlador CH702 mediante SSC.

Se determina que utilizando 280 gramos de PET virgen, al 100 % de la velocidad en un tiempo de 30 minutos se obtienen 8 gramos de fibras con una longitud promedio de 10,96 m, sin embargo la misma cantidad de gramos a un 50 % de la velocidad en el mismo tiempo no se logra obtener producción, por otra parte, utilizando PET reciclado (280 gramos) al 100 % de la velocidad en 30 minutos se obtienen 5 gramos de fibras con 6,85 m de longitud promedio, bajo los mismos parámetros reduciendo la velocidad en un 50 % no existe producción de fibra sintética.

## **6.2. Recomendaciones**

No es recomendable el uso de un motor reductor en el proceso de centrifugación debido a que el material obtenido es en pequeña cantidad, provocado por la baja velocidad de giro del mismo por ello es necesario buscar alternativas como implementar un sistema de transmisión de potencia con variador de frecuencia o un multiplicador de velocidad.

Para la elaboración de fibras sintéticas en otro tipo de materiales plásticos, se recomienda realizar pruebas preliminares de calibración del set point para la temperatura en los dos sistemas de la maquinaria, por lo que no toda materia prima tiene el mismo punto de fusión para el tratamiento de este proceso.

Se recomienda realizar un sistema de registro de datos, determinando la cantidad de material que ingresa a la tolva, frecuencia de carga de material, tiempo de calentamiento de la máquina extrusora, tiempo de calentamiento de la máquina fibradora, temperaturas, velocidad, entre otros parámetros.

Para obtener mayor rentabilidad en la fabricación de fibras plásticas, se recomienda utilizar materiales reciclados que son mayormente económicos en relación al material virgen, solamente debería pasar por un proceso de limpieza para la obtención de un buen producto final.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Gómez, DIAGNÓSTICO DEL IMPACTO DEL PLÁSTICO - BOTELLAS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE: UN ESTADO DEL ARTE, Bogota: UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, 2016.
- [2] M. Neira, L. Giler y J. Quevedo, «Maquina bio-recicladora de plástico pet: un emprendimiento viable. Caso Azogues – Ecuador,» *Telos*, vol. 22, n° 2, pp. 395-409, 2020.
- [3] ENKADOR, «<https://www.enkador.com>,» [En línea]. Available: <https://www.enkador.com/quality/>. [Último acceso: 09 2021].
- [4] Ministerio de Ambiente - Botellas PET, «[ambiente.gob.ec](http://ambiente.gob.ec),» 2012. [En línea]. Available: <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-incremento-la-recoleccion-de-botellas-pet-en-2012/>. [Último acceso: septiembre 2021].
- [5] C. López, Reciclado del plástico [PET] para la obtención de fibra textil, Santa Cruz: Universidad Tecnológica Nacional – U.T.N. – Argentina, 2016.
- [6] C. Naranjo, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA ELABORADORA DE HILO PET, Quito: UIDE, 2015.
- [7] . B. R. Cumbajin Arguero y M. A. Vásquez Lema, Artists, *diseño y construcción de una máquina peletizadora de polietileno de baja densidad LDPE de 25 kg/h*. [Art]. Universidad Politécnica Salesiana , 2013.
- [8] J. Newell, Ciencia de materiales. Aplicaciones en ingeniería, México: Alfaomega Grupo Editor, 2010.
- [9] F. López Carrasquero, FUNDAMENTOS DE LOS POLÍMEROS, Mérida, 2004.
- [10] J. A. Méndez, «POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS».
- [11] L. Álvarez, R. Arriaga y J. Pocasangre, «TRITUTADORA DE ENVASES PLASTICOS,» Universidad Don Bosco, San Salvador, 2019.
- [12] Petunivalle, «[petunivalle](http://petunivalle.com),» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/petunivalle/project-definition>. [Último acceso: 09 2021].
- [13] «Acoplásticos,» [En línea]. Available: <https://www.acoplasticos.org/index.php/mnu-pre/opm-bus-pref/36-opc-fag-pre4>.
- [14] Roymaplast, «CONCEPTO, ESTRUCTURA Y CLASIFICACIÓN DEL POLIETILENO,» 2013. [En línea].

- [15] «<http://www.ub.edu/>,» [En línea]. Available: [http://www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/centrifugacio\\_fonament.html](http://www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/centrifugacio_fonament.html). [Último acceso: 09 2021].
- [16] C. A. Santafe Guzman, Artist, *Máquina de fundición por centrifugado tipo vertical*. [Art]. Corporación Universitaria Autónoma de Occidente, 1997.
- [17] Universidad de Alicante, «[rua.ua.es](http://rua.ua.es/),» [En línea]. Available: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16897/1/TEMA\\_4\\_extrusion.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16897/1/TEMA_4_extrusion.pdf). [Último acceso: 09 2021].
- [18] M. Maldonado y C. Medina, Diseño y construcción de una extrusora con capacidad de 1 kg/h, diseño del proceso y diseño del producto para el reciclaje mecánico del PET, Sangolquí: ESPE, 2008.
- [19] Tecnológico Nacional de México, [En línea]. Available: [http://tiger.itc.mx/conacad/cargas/N9N8XEJ45F/69/areas/16892\\_A\\_1%20visita%20industrial](http://tiger.itc.mx/conacad/cargas/N9N8XEJ45F/69/areas/16892_A_1%20visita%20industrial). [Último acceso: 09 2021].
- [20] «Tecnología de los Plásticos,» 15 Marzo 2011. [En línea]. Available: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>.
- [21] Maxpol Heat SL, «<http://maxpolheaters.com/es/>,» 19 05 2019. [En línea]. Available: <http://maxpolheaters.com/blog-es/Resistencias-abrazadera-producci%C3%B3n-de-calor-60.html>.
- [22] B. S. Males Guallasamin, Artist, *Estudio del modelo y control actual de una máquina extrusora de P.V.C, diseño y simulación de un alternativa de control.* [Art]. Escuela Politecnica Nacional, 1999.
- [23] M. E. R. Raffino, «Transferencia de Calor,» 16 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://concepto.de/transferencia-de-calor/>.
- [24] S. Castaño, «MICROCONTROLADORES (PIC),» [En línea]. Available: <https://controlautomaticoeducacion.com/microcontroladores-pic/control-pid/>.
- [25] Picuino, «<https://www.picuino.com/>,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.picuino.com/es/control-pid.html>.
- [26] CEIV, «Pirómetros de Temperatura,» [En línea]. Available: <https://ceiv.com.mx/pirometros-de-temperatura/>.
- [27] E. A. Sanabria Betancur y J. D. Sánchez Ramos, Artists, *SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR TRIFÁSICO MEDIANTE UN VARIADOR DE FRECUENCIA Y SISTEMA SCADA*. [Art]. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, 2016.

- [28] H. Reinoso, M. Albarracín, F. Molina y J. Pino, Teoría básica del diseño, Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi, 2017.
- [29] INEN-1144, 09 2016. [En línea]. Available: [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_iso\\_1144.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_1144.pdf). [Último acceso: 09 2021].
- [30] INEN 207, «normalizacion.gob.ec,» 05 1990. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/207.pdf>. [Último acceso: 09 2021].
- [31] Definiciones, «Definiciones-de.com,» [En línea]. Available: <https://www.definiciones-de.com/Definicion/de/denier.php>. [Último acceso: septiembre 2021].
- [32] O. A. Shingón Collahuazo y G. J. Uvillus Tipan , Artists, *Construcción de una máquina extrusora para plástico*. [Art]. Universidad Técnica de Cotopaxi, 2019.
- [33] R. Hernández, C. Fernández y P. Baptista, Metodología de investigación científica, México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2014.
- [34] Blog Enkador, «<https://www.enkador.com>,» [En línea]. Available: <https://www.enkador.com/blog/costura-industrial/>. [Último acceso: 11 2021].
- [35] Ecoologic.com, «Reciclaje del PET,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.ecoologic.com/reciclaje-de-pet#:~:text=El%20PET%20puede%20ser%20reciclado,alimentarios%20como%20detergentes%20y%20productos>. [Último acceso: 15 06 2021].
- [36] Elaplast, «Elaplast.es,» [En línea]. Available: <http://www.elaplast.es/wp-content/uploads/pet.pdf>. [Último acceso: 09 2021].
- [37] C. A. Santafe Guzman, Artist, *Máquina de fundición por centrifugado tipo vertical*. [Art]. Corporación Universitaria Autónoma de Occidente, 1997.
- [38] M. D. Pacheco Utreras, Artist, *AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA DE ALGODÓN DE AZÚCAR*. [Art]. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL, 2018.
- [39] Interempresas, «Herramientas CAD/CAM/CAE y prototipado virtual y rápido para la obra pública,» 16 Octubre 2009. [En línea]. Available: <https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos/34772-Herramientas-CAD-CAM-CAE-y-prototipado-virtual-y-rapido-para-la-obra-publica.html>.
- [40] Interempresas, «Interempresas,» septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/312140-Produccion-Fibras-Hilaturas-PET-Ciclo-desperdicio-cero-gracias-componentes-adaptados.html>.
- [41] Tecnología de plástico, «Plastico.com,» septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.plastico.com/temas/America-Latina,-Casos-de-exito-en-reciclaje-de-PET+3084017?pagina=3>.

- [42] C. López, Reciclado del plástico [PET\*] para la obtención de fibra textil, Santa Cruz: Universidad Tecnológica Nacional - Argentina, 2016.
- [43] I. E. Roca Girón, Artist, *Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD)*. [Art]. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005.
- [44] «Tecnología de los Plásticos,» 22 Agosto 2012. [En línea]. Available: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/08/fibras-polimericas.html#:~:text=Una%20fibra%20polim%C3%A9rica%20es%20un,como%20se%20observa%20a%20continuaci%C3%B3n.&text=Esta%20interacci%C3%B3n%20es%20tan%20elevada,se%20deslizan%20una%20sobre%20otra>.
- [45] «El santuario de la Electronica,» 2011. [En línea]. Available: <https://elsanturariodelaelectronica.webnode.es/>.
- [46] A. Llanas, «Elementos de rodadura,» 16 Agosto 2016. [En línea].
- [47] S. Electric, «Arranque y protección de motores CA,» España, 2009.
- [48] E. Paguatian, «TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN-CONDUCCIÓN LINEAL EN MULTIPLES CAPAS,» 2016.
- [49] D. M. V. Martínez Paca y R. I. Quimbita Sinchiguano, Artists, *Diseño e implementación de una máquina amasadora de harina en el sector de Yugsiloma*. [Art]. Universidad Técnica de Cotopaxi, 2018.
- [50] AUTODESK, «knowledge.autodesk.com,» [En línea]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/es/search-result/caas/CloudHelp/cloudhelp/ESP/UHM-INVENTOR/files/compare-Inventor-AutoCAD-Fusion-360-html.html>. [Último acceso: 10 2021].
- [51] J. Ormaza , M. Neira, L. Giler y J. Quevedo, «Maquina bio-recicladora de plástico pet: un emprendimiento viable. Caso Azogues – Ecuador,» *TELOS*, vol. 22, n° 2, pp. 395-409, 2020.

## 8 ANEXOS

### ANEXO I: Especificaciones del material para el árbol de transmisión





### EJES ACERO DE TRANSMISIÓN

**Especificaciones Generales**  
 Norma: AISI 1018  
 Descripción: Es un acero de cementación no aleado principalmente utilizado para la elaboración de piezas pequeñas, exigidas al desgaste y donde la dureza del núcleo no es muy importante.

**Aplicaciones:** Levas, uniones, bujes, pines, pivotes, pernos grado 3

**Longitud:** 6 metros

COMPOSICIÓN QUÍMICA				
%C	%Si	%Mn	%P	%S
0 - 0,20	0 - 0,25	0 - 0,70	0 - 0,04	0 - 0,05

PROPIEDADES MECÁNICAS			
RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm <sup>2</sup> )	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm <sup>2</sup> )	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
410 - 520	235	20	143

DIMENSIONES
DIÁMETRO
3/8"
1/4"
5/8"
3/4"
7/8"
1"
1-1/4"
1-1/2"
1-3/4"
2"
2-1/4"
2-1/2"
2-3/4"
3"
4"
5"
6"



**ANEXO I.1** : informe de análisis de tensión

Archivo analizado:	EjePrincipal.ipt
Versión de Autodesk Inventor:	2022 (Build 260153000, 153)
Fecha de creación:	15/3/2022, 12:03
Autor del estudio:	Diego Toapanta
Resumen:	Análisis de carga

**Análisis estático: Eje**

**Objetivo general y configuración:**

Objetivo del diseño	Punto único
Tipo de estudio	Análisis estático
Fecha de la última modificación	15/3/2022, 11:57
Estado de modelo	Principal
Detectar y eliminar modos de cuerpo rígido	No

**Propiedades físicas**

Material	Acero AISI 1018 106 LC
Densidad	7,87 g/cm <sup>3</sup>
Masa	1,68743 kg
Área	41535,1 mm <sup>2</sup>
Volumen	214413 mm <sup>3</sup>
Centro de gravedad	x=283,582 mm y=-0,0606838 mm z=0 mm

Nota: los valores físicos pueden ser diferentes de los valores físicos utilizados por CEF indicados a continuación.

**Configuración de malla:**

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0.1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0.2
Factor de modificación	1.5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	Sí

**Material(es)**

Nombre	Acero AISI 1018 106 LC	
General	Densidad de masa	7,87 g/cm <sup>3</sup>

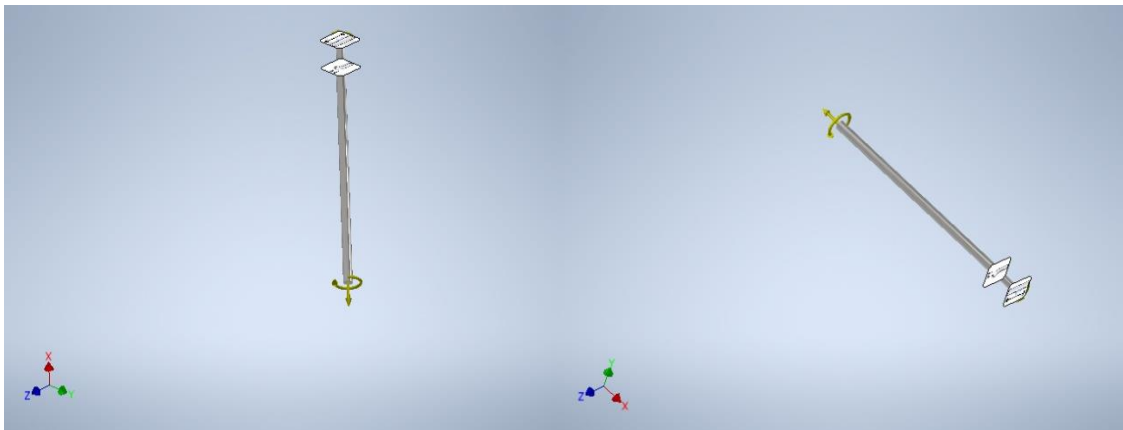
	Límite de elasticidad	250 MPa
	Resistencia máxima a tracción	354 MPa
Tensión	Módulo de Young	207 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,33 su
	Módulo cortante	77,8195 GPa
Nombre(s) de pieza	EjePrincipal.ipt	

Condiciones de funcionamiento

Momento:1

Tipo de carga	Momento
Magnitud	2070,000 N mm
Vector X	-2070,000 N mm
Vector Y	0,000 N mm
Vector Z	0,000 N mm

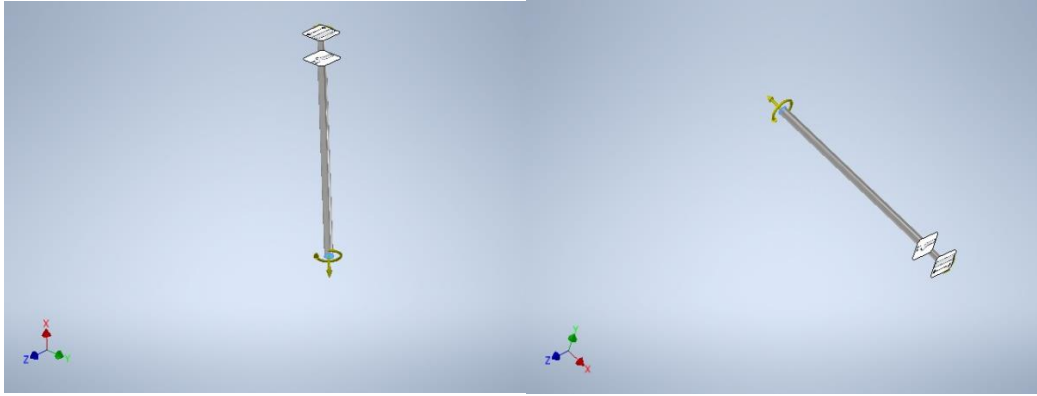
Cara(s) seleccionada(s)



Momento:2

Tipo de carga	Momento
Magnitud	2070,000 N mm
Vector X	2070,000 N mm
Vector Y	0,000 N mm
Vector Z	0,000 N mm

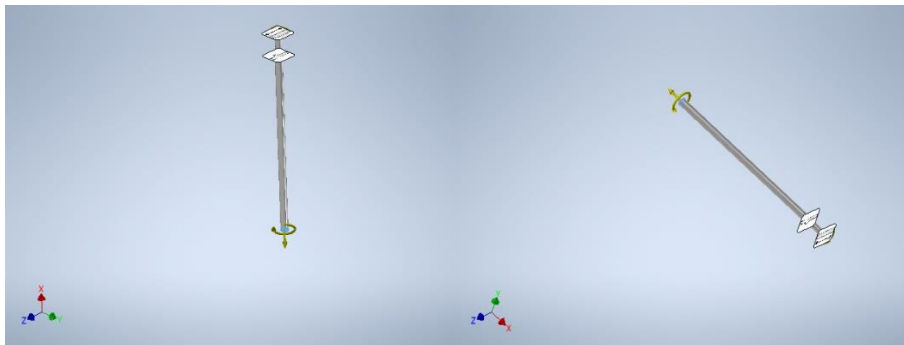
Cara(s) seleccionada(s)



Fuerza:1

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	49,000 N
Vector X	-49,000 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	0,000 N

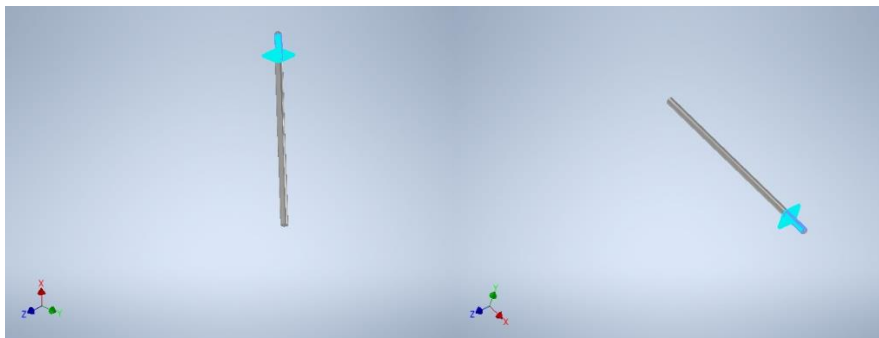
Cara(s) seleccionada(s)



Restricción fija:1

Tipo de restricción	Restricción fija
---------------------	------------------

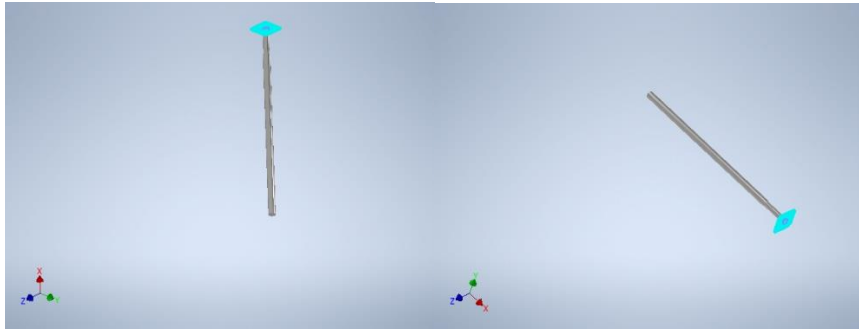
Cara(s) seleccionada(s)



Restricción sin fricción:1

Tipo de restricción	Restricción sin fricción
---------------------	--------------------------

Cara(s) seleccionada(s)



Resultados

Fuerza y pares de reacción en restricciones

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	85,08 N	83,9946 N	1,35204 N m	-1,25629 N m
		6,65095 N		0,459364 N m
		-11,8011 N		0,196809 N m
Restricción sin fricción:1	37,5234 N	-35,0032 N	1,24402 N m	1,24298 N m
		-6,55306 N		0,0498592 N m
		11,8255 N		-0,0101368 N m

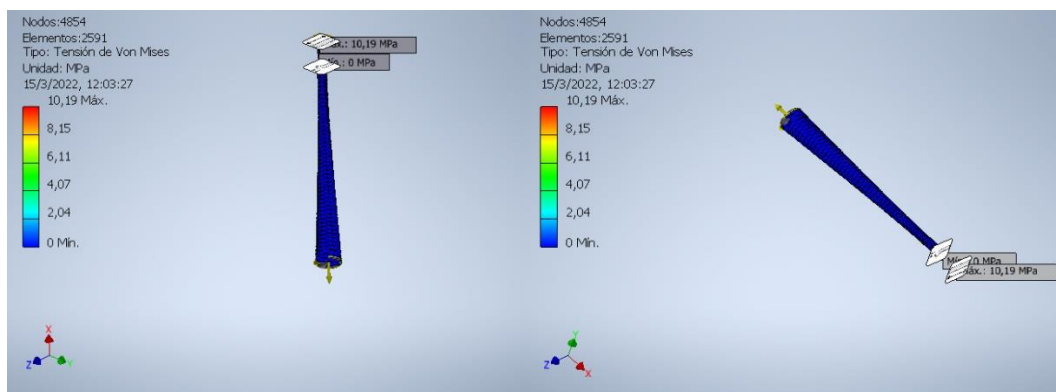
Resumen de resultados

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	214413 mm <sup>3</sup>	
Masa	1,68743 kg	
Tensión de Von Mises	0,000476654 MPa	10,1864 MPa
Primera tensión principal	-1,59407 MPa	8,37588 MPa
Tercera tensión principal	-9,61882 MPa	1,21151 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,0065348 mm
Coefficiente de seguridad	15 su	15 su
Tensión XX	-5,28878 MPa	4,11796 MPa
Tensión XY	-3,58892 MPa	3,15758 MPa
Tensión XZ	-2,85096 MPa	2,89339 MPa

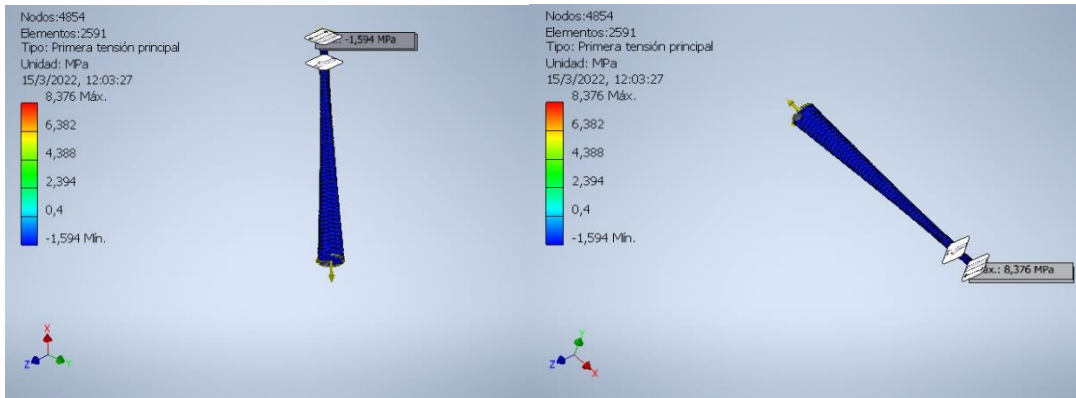
Tensión YY	-6,67607 MPa	7,84642 MPa
Tensión YZ	-4,72846 MPa	4,06027 MPa
Tensión ZZ	-6,55257 MPa	5,74047 MPa
Desplazamiento X	-0,000322642 mm	0,00000692547 mm
Desplazamiento Y	-0,00648271 mm	0,00650156 mm
Desplazamiento Z	-0,00652686 mm	0,0064598 mm
Deformación equivalente	0,00000000205868 su	0,000043687 su
Primera deformación principal	0,00000000144209 su	0,0000382567 su
Tercera deformación principal	-0,0000400403 su	-0,0000000013133 su
Deformación XX	-0,0000180672 su	0,0000143803 su
Deformación XY	-0,0000230592 su	0,0000202878 su
Deformación XZ	-0,0000183178 su	0,0000185904 su
Deformación YY	-0,0000283357 su	0,0000325263 su
Deformación YZ	-0,0000303809 su	0,0000260877 su
Deformación ZZ	-0,0000281877 su	0,0000290519 su

Figuras

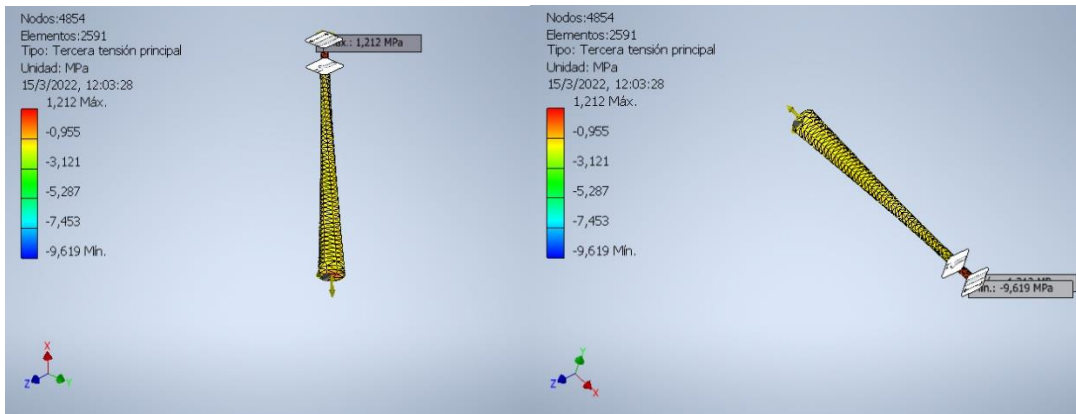
Tensión de Von Mises



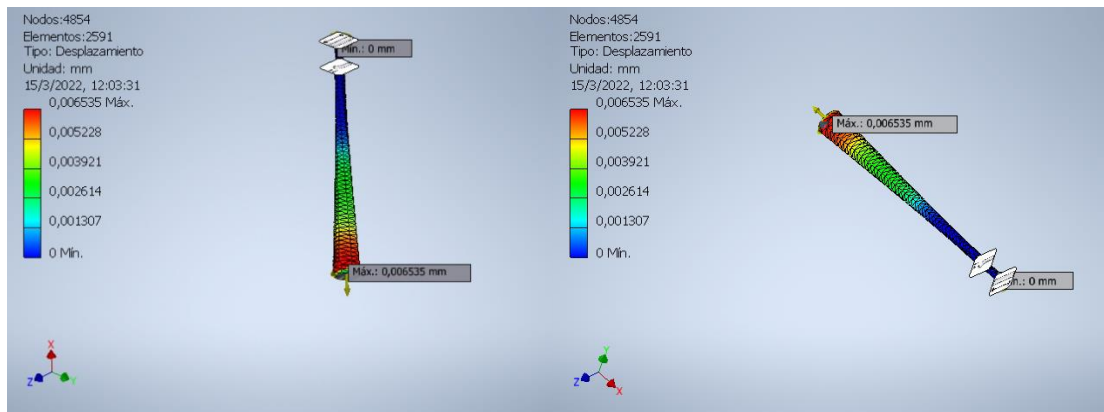
Primera tensión principal



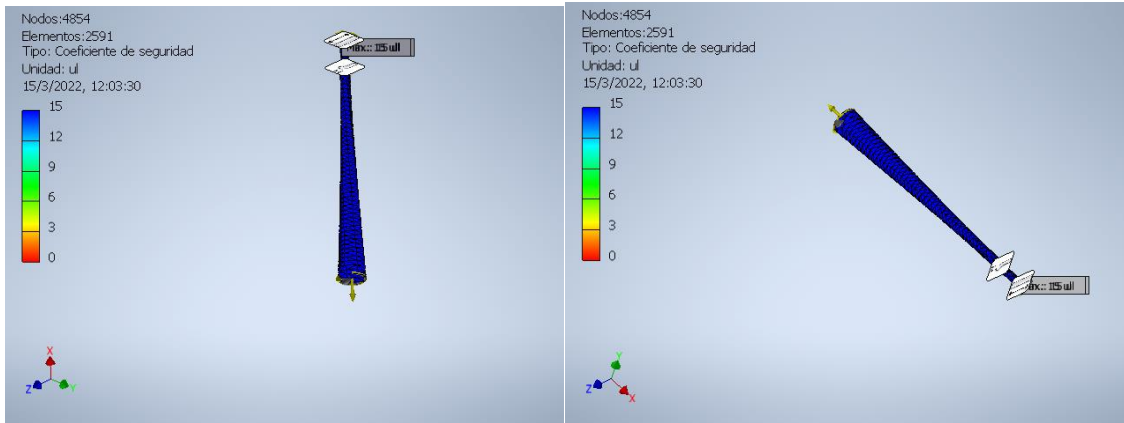
Tercera tensión principal



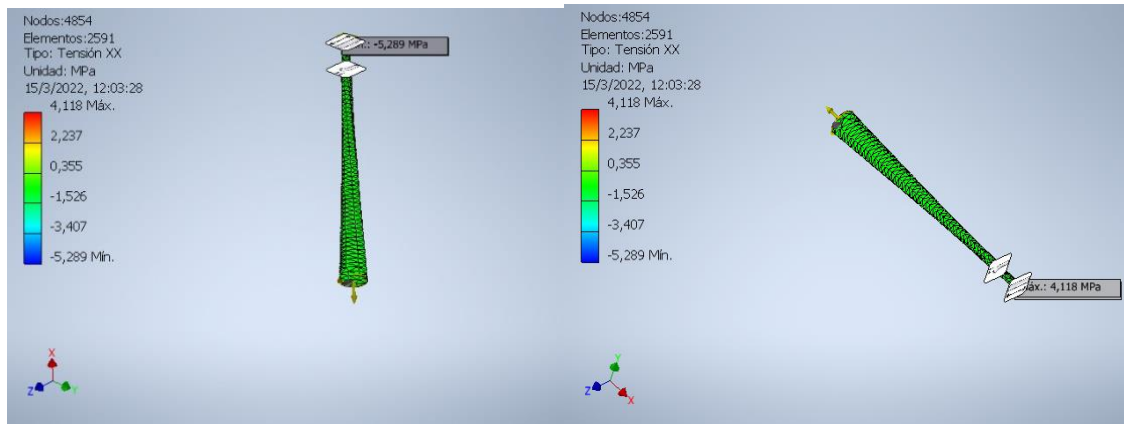
Desplazamiento



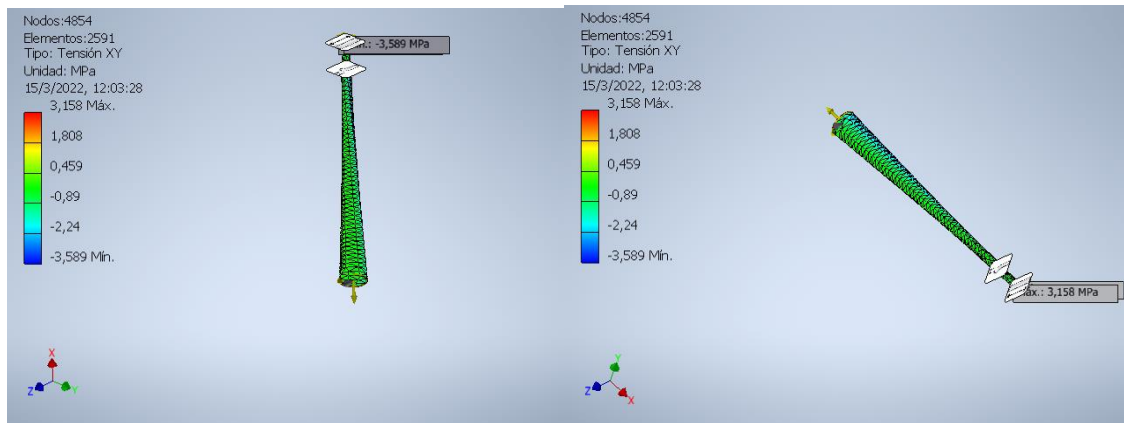
Coefficiente de seguridad



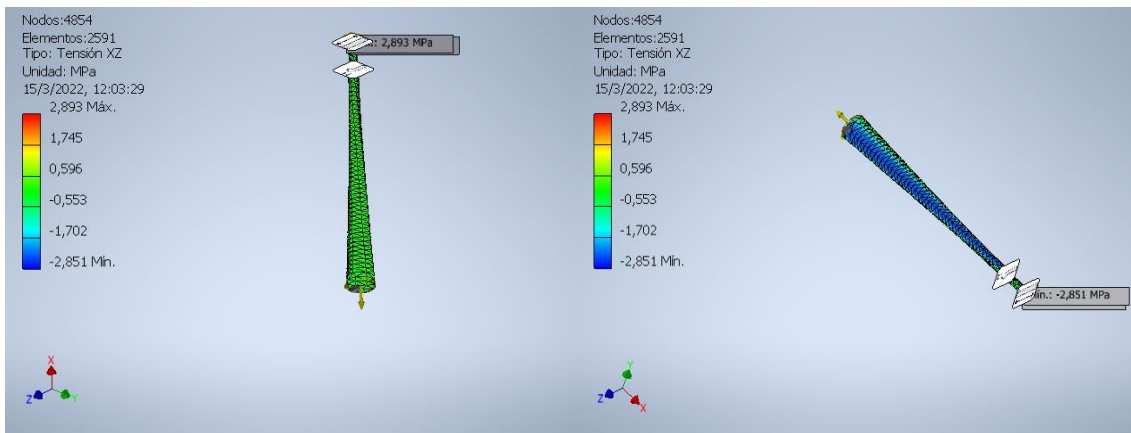
Tensión XX



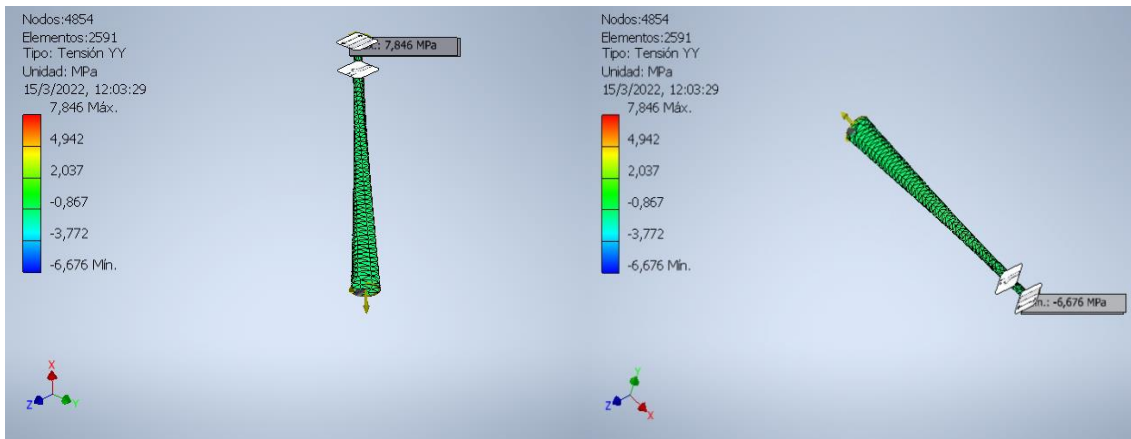
Tensión XY



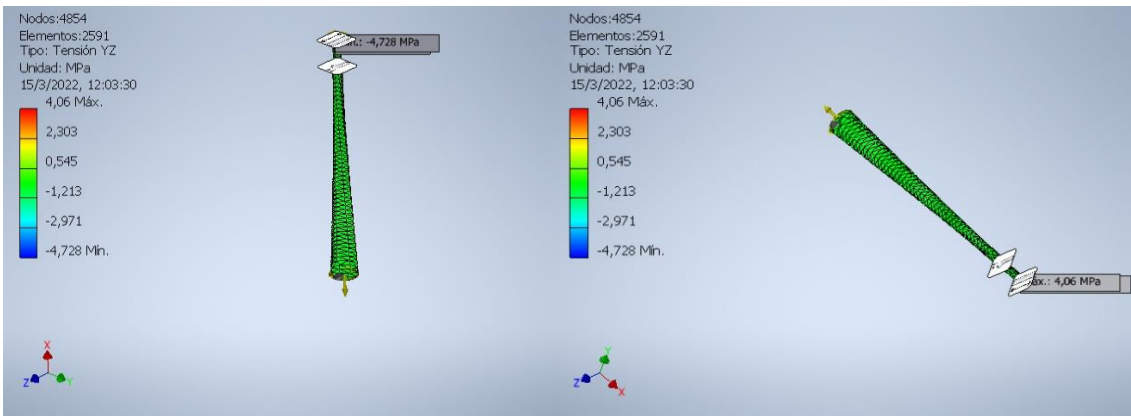
Tensión XZ



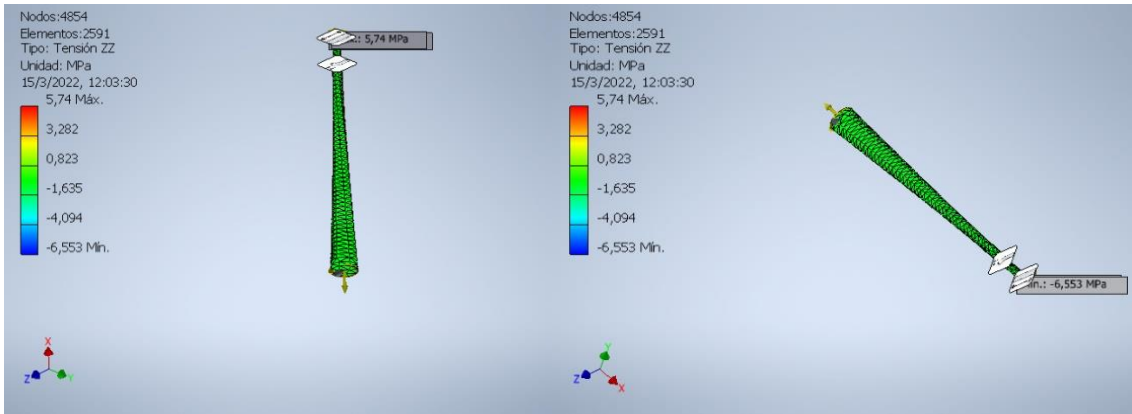
Tensión YY



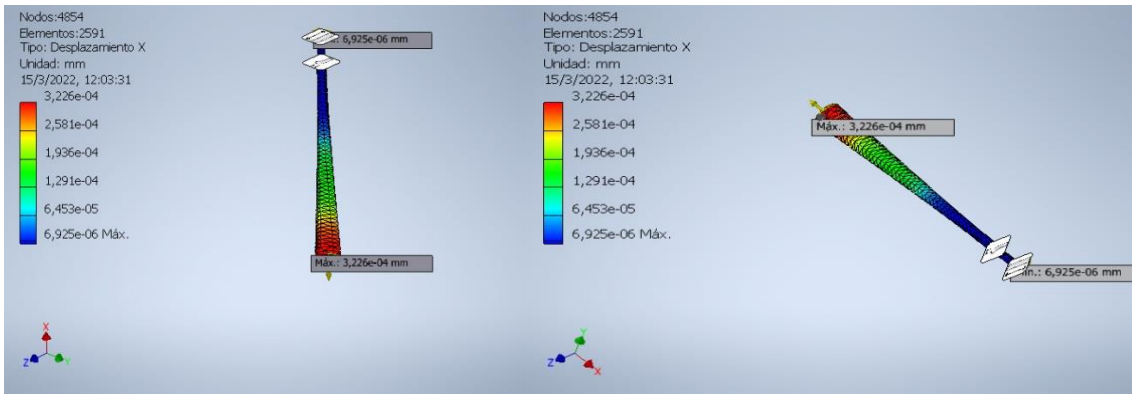
Tensión YZ



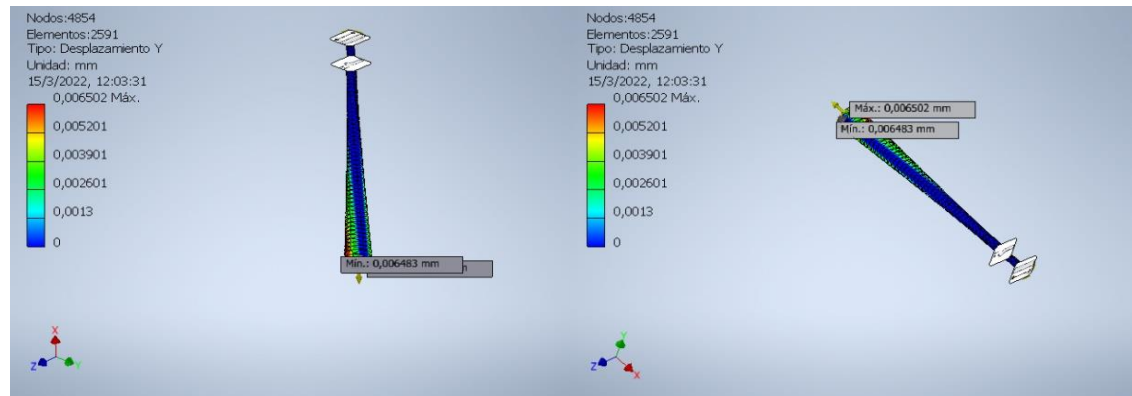
Tensión ZZ



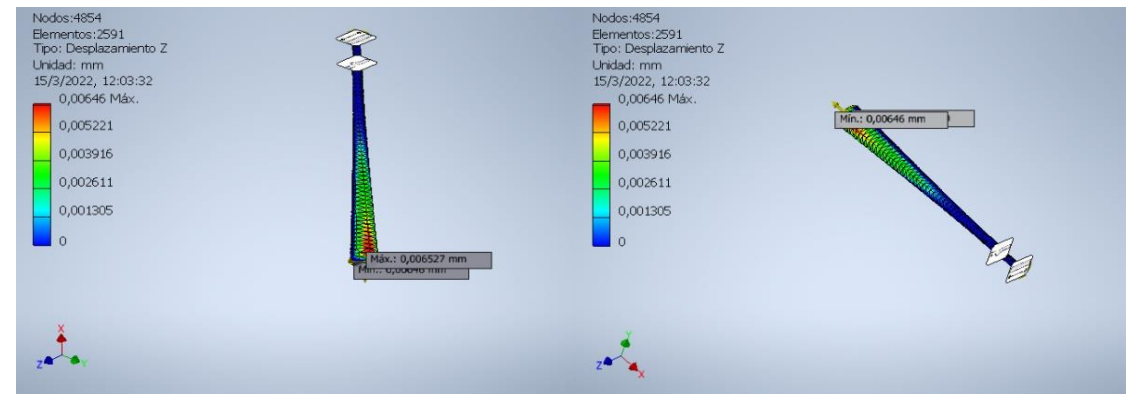
Desplazamiento X



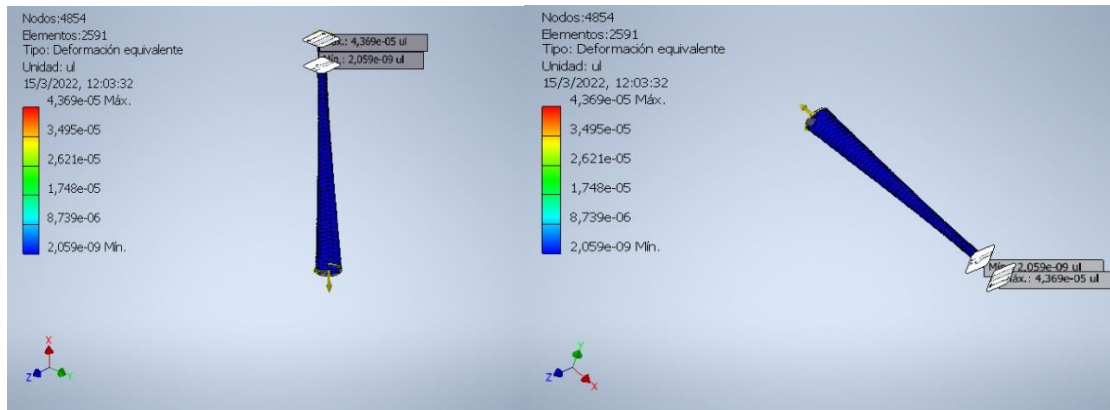
Desplazamiento Y



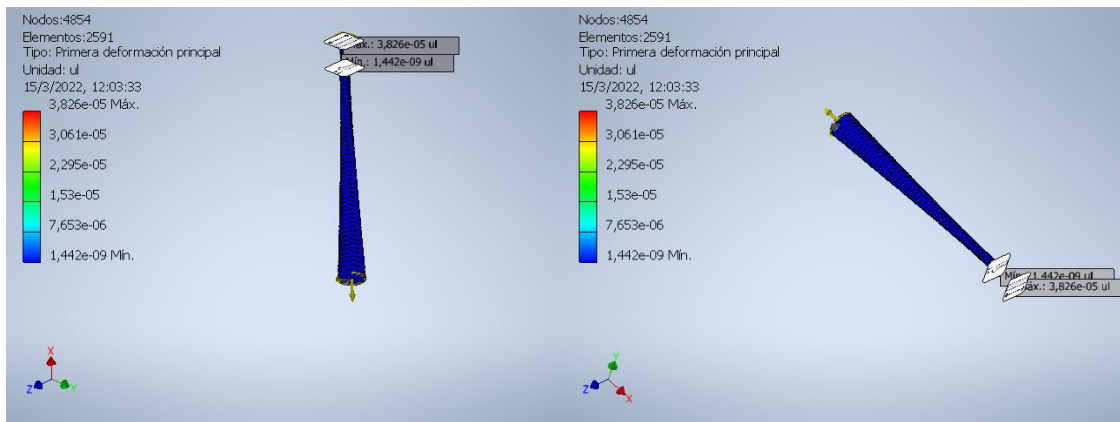
Desplazamiento Z



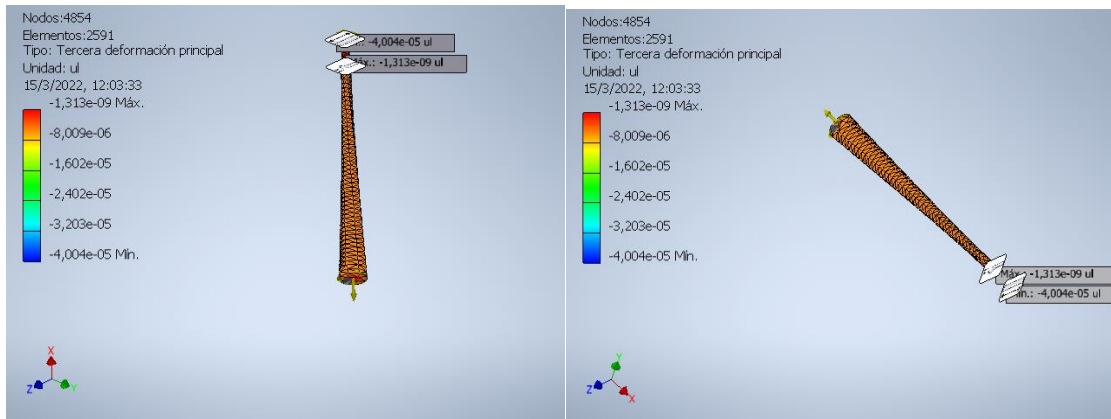
### Deformación equivalente



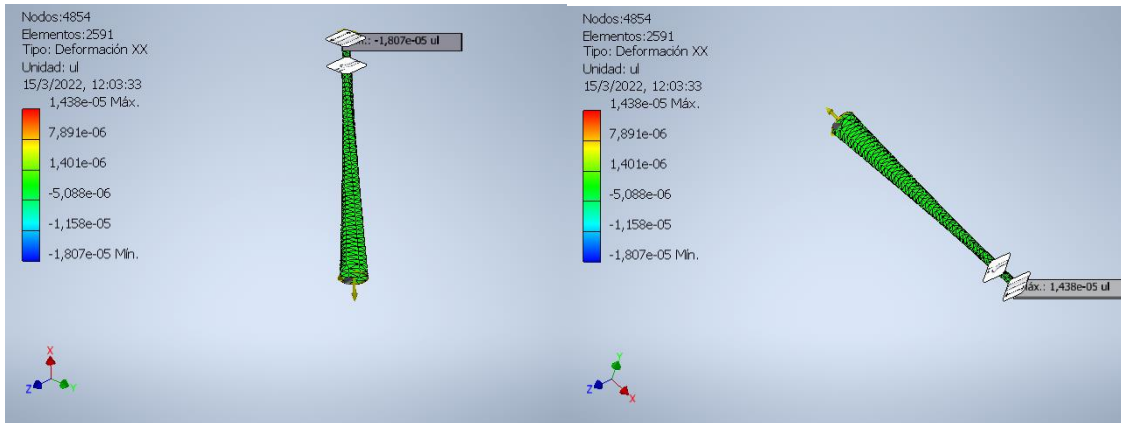
### Primera deformación principal



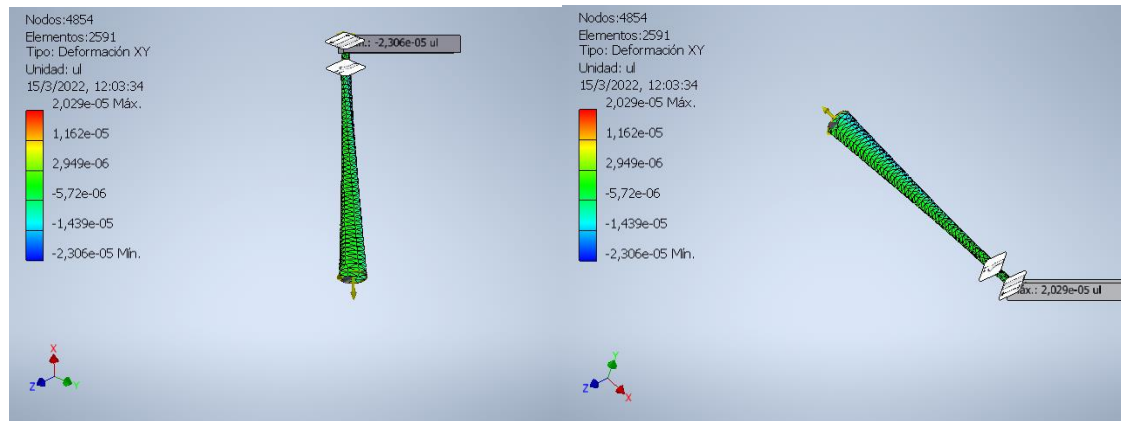
### Tercera deformación principal



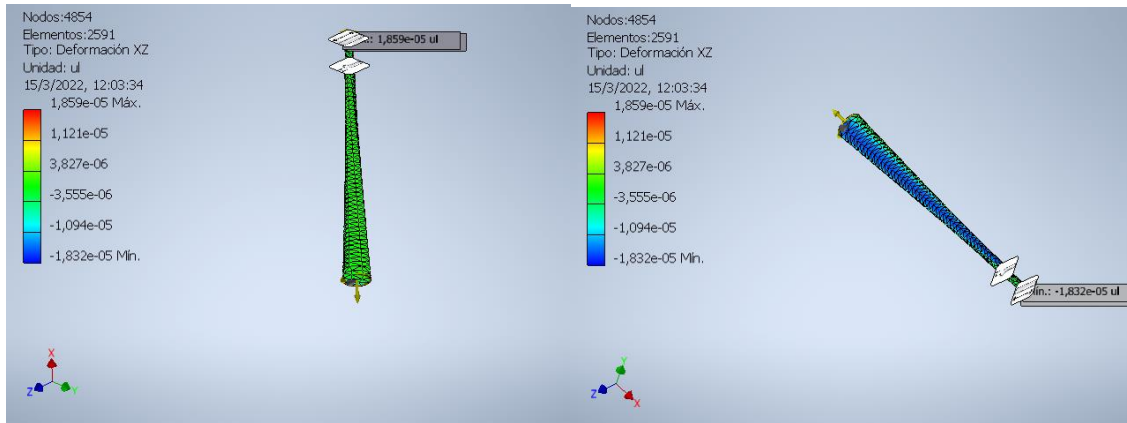
### Deformación XX



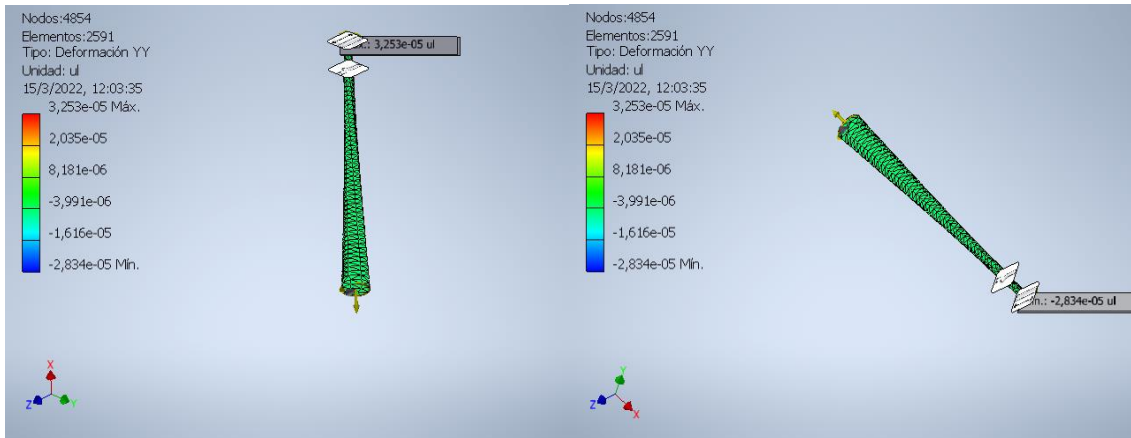
Deformación XY



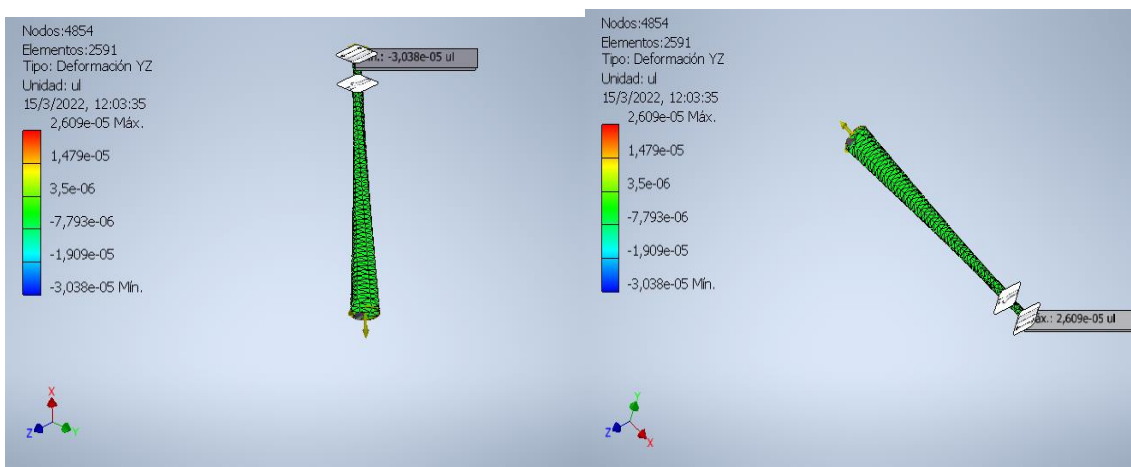
Deformación XZ



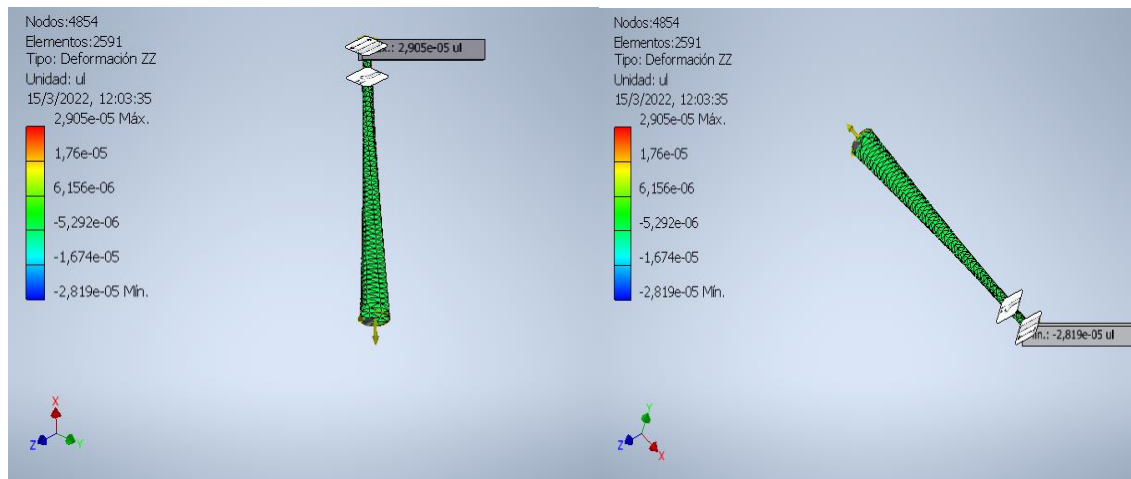
Deformación YY



Deformación YZ



Deformación ZZ



## ANEXO II: Especificaciones del material usado para la estructura

### Acero al carbono estructural de acuerdo al estándar **ASME/ASTM A 36/A 36M**

#### Uso:

Este grado se utiliza principalmente apernado, atornillado, o soldados en la construcción de puentes y edificios, y para propósitos estructurales en general.

#### Composición química acero A36

	Hasta 3/4 in.	Sobre 3/4 in. hasta 1-1/2 in.	Sobre 1-1/2 in. hasta 2-1/2 in.	Sobre 2-1/2 hasta 4 in.	Sobre 4 in.
Carbono	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganeso	--	.80/1.20	.85/1.20	.85/1.20	.85/1.20
Fósforo	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Azufre	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicio	.40 máx.	.40 máx.	.15/.40	.15/.40	.15/.40
Cobre mín % cuando se especifica de acero de cobre	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

\* Nota: Por cada reducción de 0,01% por debajo del máximo especificado de carbono, un aumento del 0,06% de manganeso por encima de la cantidad máxima prevista será permitido, hasta el máximo de 1,35%.

#### Propiedades mecánicas acero A36

Resistencia a la tracción:	58,000 - 80,000 psi [400-550 MPa]
Mín. Punto de fluencia:	36,000 psi [250 MPa]
Elongación en 8":	20% mín
Elongación en 2":	23% mín

## ANEXO III: Especificaciones técnicas de controlador de temperatura



MATERIAL ELÉCTRICO - MECÁNICO  
NEUMÁTICO - MAQUINARIA

### INSTRUMENTACION Y CONTROL

Controlador de temperatura

Adajusa  
30/10/2018 V1.02



#### Especificaciones:

- Fabricante/Proveedor: **Denor**
- Referencia: **CH702 (C100)**
- Tensión de trabajo: 100 a 240Vac.
- Consumo de potencia: 5VA.
- Dimensiones: **72x72mm.**
- Indicación: Mediante 2 líneas de displays led de 7 segmentos, rojos y verdes.
- Sensores de temperatura de entradas:
  - Termopares: K, J, T, E, N, R, B, U, L, TXX
  - RTD platina: Pt100, jPt100.
- Precisión de visualización de medida: 0,1%.
- Métodos de control: PID, ON/OFF, manual.
- Tipo de Salida: Relé 250Vac 5A.
- Tasa de muestreo: 0,5 segundos.

## ANEXO IV: Especificaciones de la termocupla



		BNX	Cobre
* Estos materiales de termocuplas están listados como típicos comercialmente disponibles en la actualidad y su listado no implica ningún respaldo de este estándar.			

Temperatura superior límite recomendada para termocuplas protegidas

TEMPERATURA LÍMITE SUPERIOR PARA DISTINTOS CALIBRES DE ELEMENTOS (AWG), deg. C (deg. F)					
Termocupla tipo	Calibre No. 8 (3,25 mm., 0,128 in.)	Calibre No. 14 (1,63 mm., 0,064 in.)	Calibre No. 20 (0,81 mm., 0,032 in.)	Calibre No. 24 (0,51 mm., 0,020 in.)	Calibre No. 28 (0,33 mm., 0,013 in.)
T		370 (700)	260 (500)	200 (400)	200 (400)
J	760 (1400)	590 (1100)	480 (900)	370 (700)	370 (700)
E	870 (1600)	650 (1200)	540 (1000)	430 (800)	430 (800)
K	1260 (2300)	1090 (2000)	980 (1800)	870 (1600)	870 (1600)
R & S				1480 (2700)	
B				1700 (3100)	

Límites de error para termocuplas

Termocupla tipo	Rango de temperatura, °C	Límite de error	
		Estándar (cualquiera superior)	Especial (cualquiera superior)
T	0-350	+/- 1°C or +/- 0,75%	+/- 0,5°C or 0,4%
J	0-750	+/- 2,2°C or +/- 0,75%	+/- 1,1°C or 0,4%
E	0-900	+/- 1,7°C or +/- 0,5%	+/- 1°C or +/- 0,4%
K	0-1250	+/- 2,2°C or +/- 0,75%	+/- 1,1°C or +/- 0,4%
R & S	0-1450	+/- 1,5°C or +/- 0,25%	+/- 0,6°C or +/- 0,1%
B	800-1700	+/- 0,5%	---

# ANEXO V: Especificaciones del motor eléctrico

## W22 Motor Eléctrico Monofásico

### Características

- Altos torques de arranque
- Apto para condiciones de suministro de energía doméstica y rural
- Producto puede ser fabricado especial para atender a las más variadas aplicaciones de la industria

#### Estándar

- Potencia: 0,12 hasta 11 kW
- Polaridad: 2, 4 y 6
- Carcasas: 63 hasta 132M/L
- Tensión: 220/440 V
- Frecuencia: 50 y 60 Hz
- Grado de protección: IP55
- Plan de pintura: 207A
- Material de la carcasa: Hierro gris
- Forma constructiva: B3E

B34E (motores para bombas JM/JF)

- Método de refrigeración: Totalmente cerrado con ventilación exterior
- Puesta a tierra: Un puesta a tierra dentro de la caja de conexiones
- Material del ventilador: Polipropileno
- Material del eje: Acero SAE 1040/45
- Material da placa: Acero inoxidable
- Color: Azul RAL 5009
- Clase de aislamiento: F
- Factor de servicio:

50 Hz: 1.00  
60 Hz: 1.15 (2 y 4 polos)  
1.00 (6 polos)

#### Opcionales

- Tensión: 230/460 V
- Clase de aislamiento: H
- Grado de protección: IP56 y por encima
- Protección térmica
- Otras formas constructivas / posiciones de caja de conexión
- Eje en acero inoxidable
- Caja de conexiones reducida (Carcasas 90L y 100L)\*

\*Bajo consulta

#### Aplicaciones

- Ventiladores y Sopladores
- Secaderos de grano
- Bombas centrifugas
- Compresores
- Lavadoras de alta presión
- Silos de descarga y taladros
- Transportadores / manejo de materiales
- Máquinas rectificadoras

### W22 Monofásico - Con condensador permanente - 60 Hz








Potencia		Carcasa	Par nominal Tn (kgfm)	Corriente con rotor trabado I/Tn	Par con rotor trabado T/Tn	Par Máximo Tb/Tn	Momento de inercia J (kgm²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)	Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	RPM	% de la potencia nominal						Corriente nominal In (A)	
												Rendimiento			Factor de potencia				
kW	HP											50	75	100	50	75	100	220 V	440 V
<b>II Polos</b>																			
0,09	0,12	63	0,025	4,8	0,60	3,1	0,0002	11	9,0	50	3500	30,2	39,9	47,0	0,87	0,89	0,93	0,936	0,468
0,12	0,16	63	0,033	4,7	0,65	3,1	0,0002	9	9,3	50	3505	31,4	41,5	49,2	0,93	0,94	0,96	1,15	0,575
0,18	0,25	63	0,050	4,9	0,50	3,0	0,0002	6	9,6	50	3505	37,5	48,2	55,6	0,76	0,84	0,88	1,67	0,835
0,25	0,33	63	0,070	4,4	0,50	2,5	0,0002	6	9,8	50	3480	42,2	53,1	60,2	0,91	0,92	0,95	1,99	0,995
0,37	0,5	71	0,106	4,0	0,55	2,25	0,0005	14	10,8	60	3415	45,5	55,6	61,3	0,94	0,96	0,99	2,74	1,37
0,55	0,75	71	0,157	4,2	0,45	2,2	0,0006	11	11,8	60	3410	53,6	62,8	67,2	0,94	0,97	0,99	3,76	1,88
0,75	1	80	0,212	4,1	0,45	2,1	0,0009	18	16,4	65	3450	59,4	68,8	73,2	0,96	0,98	0,99	4,70	2,35
1,1	1,5	90S	0,310	5,2	0,30	2,2	0,0022	8	24,0	69	3455	70,0	77,0	79,2	0,94	0,96	0,97	6,51	3,26
1,5	2	90L	0,428	5,2	0,30	2,15	0,0023	13	26,5	69	3410	76,7	81,3	81,9	0,95	0,97	0,97	8,58	4,29
2,2	3	90L	0,623	6,0	0,45	2,3	0,0027	6	28,0	69	3440	73,0	79,0	81,5	0,97	0,98	0,99	12,4	6,20
<b>Carcasas opcionales</b>																			
0,75	1	71	0,216	3,9	0,6	2,1	0,0006	6	11,8	60	3385	54,0	63,7	68,6	0,94	0,96	0,99	5,02	2,51
<b>IV Polos</b>																			
0,09	0,12	63	0,051	3,7	0,90	2,7	0,0006	41	9,0	47	1720	30,2	40,4	47,7	0,86	0,90	0,93	0,922	0,461
0,12	0,16	63	0,069	3,3	0,65	2,0	0,0006	29	9,0	47	1690	35,3	45,5	52,3	0,84	0,89	0,93	1,12	0,560
0,18	0,25	63*	0,104	3,6	0,75	2,2	0,0007	19	9,5	47	1690	35,7	46,3	53,5	0,87	0,92	0,95	1,61	0,805
0,25	0,33	71	0,142	3,2	0,65	2,0	0,0008	15	11,4	55	1720	39,0	50,0	58,0	0,94	0,96	0,97	2,02	1,01
<b>0,37</b>	<b>0,5</b>	<b>71</b>	<b>0,212</b>	<b>3,5</b>	<b>0,70</b>	<b>1,8</b>	<b>0,0009</b>	<b>28</b>	<b>13,4</b>	<b>55</b>	<b>1700</b>	<b>51,0</b>	<b>62,0</b>	<b>68,0</b>	<b>0,89</b>	<b>0,93</b>	<b>0,95</b>	<b>2,61</b>	<b>1,31</b>
0,55	0,75	80	0,313	3,9	0,40	1,9	0,0029	12	16,5	55	1710	54,2	63,4	67,4	0,95	0,93	0,96	3,86	1,93
0,75	1	80	0,430	3,7	0,45	1,9	0,0029	11	16,8	55	1700	57,1	66,4	70,3	0,92	0,94	0,97	5,00	2,50
1,1	1,5	90S	0,630	4,8	0,45	2,05	0,0055	20	24,8	58	1700	64,3	72,1	75,1	0,97	0,98	0,98	6,79	3,40
1,5	2	90L	0,864	4,4	0,45	1,9	0,0066	17	27,7	58	1690	66,2	73,8	76,2	0,99	0,99	0,99	9,04	4,52
<b>Carcasas opcionales</b>																			
0,25	0,33	63	0,148	3,4	0,60	1,8	0,0007	31	10,2	47	1650	49,7	59,6	64,5	0,86	0,91	0,94	1,87	0,935
0,37	0,5	80	0,208	4,2	0,55	2,25	0,0025	10	15,8	55	1730	45,4	56,3	62,7	0,93	0,95	0,97	2,77	1,39
0,55	0,75	71*	0,321	3,7	0,45	1,7	0,0009	22	12,2	55	1670	51,5	63,0	69,1	0,90	0,94	0,96	3,77	1,89
<b>VI Polos</b>																			
0,09	0,12	63	0,078	2,5	0,70	2,0	0,0007	6	9,5	47	1120	35,0	45,0	50,0	0,85	0,88	0,89	0,920	0,460
0,12	0,16	71	0,107	2,5	1,1	2,0	0,0008	6	11,8	55	1090	28,0	37,5	44,0	0,91	0,93	0,94	1,30	0,650
0,18	0,25	71	0,182	2,5	0,75	2,0	0,0009	6	12,7	55	1080	27,0	35,0	43,0	0,84	0,70	0,75	2,54	1,27
0,25	0,33	71	0,230	2,5	0,70	1,7	0,0009	6	12,7	55	1060	39,0	49,0	53,0	0,74	0,80	0,86	2,50	1,25
0,37	0,5	80	0,318	3,7	0,45	1,7	0,0024	6	14,7	55	1135	49,0	59,5	64,5	0,81	0,88	0,91	2,87	1,44
0,55	0,75	80	0,491	3,0	0,60	1,7	0,0032	6	16,7	55	1090	51,0	60,0	64,0	0,83	0,90	0,94	4,20	2,10

## 9 MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Este manual está diseñado para reducir y evitar accidentes que se podrían ocasionar por el mal manejo del equipo implementando medidas de seguridad importantes para la operación de dicho equipo. Cabe recalcar que esta operación se realizará después de la parte de extracción que es un proceso previo.

### COMPONENTES MAQUINA FIBRADORA

- SISTEMA MECÁNICO

Componentes	Ilustración
Codo	
Tubo	
Acople	
Eje	
Disco	
Plato contenedor	
Bastidor	

- **SISTEMA ELÉCTRICO**

Resistencias de abrazaderas	
Contactador 1KW 8 AMP Siemens bobina 220 voltios	
Relés estado sólido	
Termocuplas tipo K	
Pirómetros control de temperatura 220 Volt	
Selector 3 posiciones	
Luz piloto verde	
Luz piloto roja	
Caja plástica 400x300x180 mm	
Guardamotor 5,5-8 Amp	
Breaker 2 polos 20 Amp	
Breaker 2 polos 6 Amp	
Paro de emergencia	

### **NORMAS DE SEGURIDAD PARA LA OPERACIÓN DEL EQUIPO**

Se debe tomar en cuenta, antes de utilizar esta maquinaria, que la fibradora trabaja con temperaturas que superan los + 200°C y por este motivo es muy importante vigilar las normas de seguridad que a continuación se describirán

## USO DE GUANTES DE CARNAZA TIPO SOLDADOR

Uso: El uso de este tipo de equipos esta dirigida a operaciones de trabajos pesados con riesgos mecánicos, en este caso se pretende evitar los riesgos de quemadura debido a la manipulación de la maquinaria.

Limpieza y mantenimiento: La limpieza del equipo de protección se realiza con un trapo húmedo y jabón

Ejemplo de tareas: Soldadura, manejo de alambres, protección para manejo de máquinas.

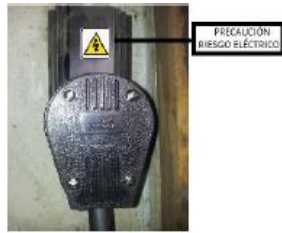


### Factores de riesgo

Factor de riesgo	Definición	Ejemplos	
<b>Riesgo mecánico</b>	Factores que pueden dar lugar a una lesión por la acción mecánica de elementos de máquinas, herramientas, piezas a trabajar o materiales proyectados, sólidos o fluidos.	Peligros	Riesgos
		Rodamientos	Atrapamiento entre objetos
		Engranajes	Atrapamiento entre objetos
		Calefactores	Quemaduras graves
		Pisos regulares	Torceduras
		Altura	Caídas
<b>Riesgo físico</b>	Son todos los factores ambientales que dependen de las propiedades físicas de los cuerpos que pueden generar lesión a las personas	Superficies calientes	Quemaduras
		Ruido superior a 85db	Problemas auditivos
<b>Riesgo ergonómico</b>	Factores que pueden provocar algún evento adverso provocado por malas posturas o estaciones de trabajo inadecuadas	Posiciones forzadas	Problemas musculares
		Sobresfuerzos	Problemas lumbares
		Cargas superiores a 25 kg	Problemas lumbares

## PROCEDIMIENTOS DE ENCENDIDO, OPERACIÓN Y APAGADO

1. Alimentar la máquina a 220v trifásico.

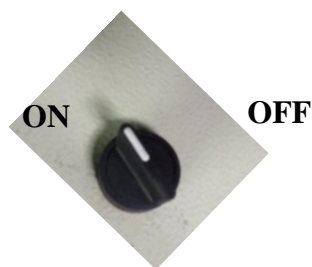


2. Se programan los valores de temperatura que alcanza las resistencias eléctricas  
Pirómetro 1. 310°C – 360°C en el tubo  
Pirómetro 2. 310°C – 360°C en el plato



**Nota:** El valor de las resistencias puede variar dependiendo el tipo de material que se desee obtener en el contenedor. El proceso se debe repetir para la extrusora.

3. Encender la maquina colocando el selector en posición horizontal **on**



4. Esperar a que la temperatura alcance los valores estándar un tiempo aproximado de 20 a 30 minutos

## OPERACIÓN DE LA MÁQUINA

1. Cargar el material PET en la tolva de la extrusora



2. Revisar la conexión de la salida de la extrusora con el codo



3. Verificar la salida del material PET por el tubo



4. Confirmar que el material caiga al plato contenedor
5. Observar el cambio físico del material de viscoso a líquido.
6. Alimentar el motor y variar la velocidad en un rango de 200 a 500 rev/min
7. Verificar la salida de las fibras del plato

### **PROCEDIMIENTO PARA EL APAGADO DE LA MÁQUINA**

1. Verificar que no exista material en el interior del cilindro
2. Verificar que no exista material en el plato contenedor
3. Apagar el sistema de motor reductor
4. Apagar la maquina ubicando el selector en posición vertical **off**
5. Des energizar la máquina para evitar todo tipo de accidente

### **MANTENIMIENTO AL TABLERO ELÉCTRICO**

1. Cada mes

2. Verificar que los bornes de conexión se encuentren conectados correctamente para evitar puntos calientes.
3. Verificar que los instrumentos del tablero se encuentren en perfectas condiciones.

### **MANTENIMIENTO AL MOTOR**

1. Realizar su respectiva limpieza cada mes
2. Revisar el nivel de aceite del motor reductor cada dos semanas
3. Revisar engranes y piñones cada año
4. Cambiar el aceite del motor reductor cada 1000 horas de trabajo

# **PLANOS PARA LA CONSTRUCCION DE LA MÁQUINA**