



## **ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE PROCESADORA DE BOTELLAS PLÁSTICAS PET RECICLADAS PARA LA OBTENCIÓN DE FIBRA DE POLIÉSTER**

**LENIN ORLANDO GUERRA VACA**

Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

**MAGÍSTER EN DISEÑO MECÁNICO**

Riobamba-Ecuador

JUNIO 2021

**©2021, Lenin Orlando Guerra Vaca**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.



## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

### CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE PROCESADORA DE BOTELLAS PLÁSTICAS PET RECICLADAS PARA LA OBTENCIÓN DE FIBRA DE POLIÉSTER”, de responsabilidad del Sr Lenin Orlando Guerra Vaca ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

Ing. Luis Eduardo Hidalgo Almeida; PhD

**PRESIDENTE**

\_\_\_\_\_

FIRMA

Ing. Javier Enrique Orna Chávez; Mag

**DIRECTOR**

\_\_\_\_\_

FIRMA

Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba; Mag

**MIEMBRO**

\_\_\_\_\_

FIRMA

Ing. Carlos Oswaldo Serrano Aguiar; Mag

**MIEMBRO**

\_\_\_\_\_

FIRMA

Riobamba, mayo del 2021

## **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, Lenin Orlando Guerra Vaca, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Lenin Orlando Guerra Vaca  
0401693270

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Lenin Orlando Guerra Vaca, declaro que el presente Trabajo de titulación modalidad proyectos de investigación y Desarrollo, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación de Maestría.

---

Lenin Orlando Guerra Vaca  
0401693270

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios a mis padres y a mi esposa por su apoyo incondicional.

A mi tutor y asesores por su guía en el desarrollo de este trabajo.

Lenin Guerra

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que incluyen este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

Lenin Guerra

## CONTENIDO

	Paginas
RESUMEN.....	xviii
SUMMARY.....	xix
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Planteamiento del problema.....</b>	<b>1</b>
<i>1.1.1 Situación problemática.....</i>	<i>1</i>
<i>1.1.2 Formulación del problema.....</i>	<i>2</i>
<i>1.1.3 Preguntas o directrices específicas.....</i>	<i>2</i>
<b>1.2 Justificación de la investigación.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Objetivos.....</b>	<b>4</b>
<i>1.3.1 Objetivo general.....</i>	<i>4</i>
<i>1.3.2 Objetivos específicos.....</i>	<i>4</i>
<b>1.4 Hipótesis.....</b>	<b>4</b>
<i>1.4.1 Hipótesis general.....</i>	<i>4</i>
<i>1.4.2 Hipótesis específicas.....</i>	<i>4</i>
<i>1.4.3 Identificación de variables.....</i>	<i>5</i>
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>6</b>
<b>2 MARCO DE REFERENCIA.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Antecedentes del problema.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Bases teóricas.....</b>	<b>7</b>
<i>2.2.1 Concepto del Pet.....</i>	<i>7</i>
<i>2.2.1.1 Características y propiedades del Pet.....</i>	<i>8</i>
<i>2.2.1.2 Principales usos del Pet.....</i>	<i>9</i>
<i>2.2.2 Fibra de poliéster.....</i>	<i>10</i>
<i>2.2.2.1 Descripción del proceso de producción de fibras.....</i>	<i>10</i>
<i>2.2.2.2 Degradación térmica del Pet durante el procesamiento en fibra.....</i>	<i>11</i>
<i>2.2.2.3 Filamentos de fibra de poliéster.....</i>	<i>11</i>
<i>2.2.2.4 Tecnologías en obtención de fibras de poliéster.....</i>	<i>12</i>
<i>2.2.2.5 Usos y aplicaciones de la fibra de poliéster.....</i>	<i>15</i>



2.2.3	<i>Pet en fibra de poliéster</i> .....	16
2.2.4	<i>Hilado centrifugo</i> .....	16
2.2.4.1	<i>Tipos de equipos de centrifugación</i> .....	17
2.2.4.2	<i>Ventajas y desventajas de la centrifugación</i> .....	18
2.2.4.3	<i>Partes de la centrifugadora</i> .....	19
2.2.4.4	<i>Características de diseño para la máquina centrifugadora</i> .....	19
<b>CAPÍTULO III</b> .....		21
<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	21
<b>3.1</b>	<b>Identificación de la necesidad del cliente</b> .....	21
<b>3.1.1</b>	<b>Obtener información de las necesidades del cliente</b> .....	21
3.1.1.1	<i>Población de estudio</i> .....	21
3.1.1.2	<i>Unidad de analisis</i> .....	21
3.1.1.3	<i>Selección de la muestra</i> .....	22
3.1.1.4	<i>Tamaño de la muestra</i> .....	22
3.1.1.5	<i>Técnica de recolección de datos</i> .....	23
<b>3.1.2</b>	<b>Definición del alcance</b> .....	26
<b>3.1.3</b>	<b>Técnicas para identificar requisitos funcionales y no funcionales</b> .....	26
3.1.3.1	<i>Identificación de requerimientos funcionales</i> .....	26
3.1.3.2	<i>Identificación de requerimientos no funcionales</i> .....	26
<b>3.2</b>	<b>Despliegue de la función de calidad (QFD)</b> .....	27
<b>3.3</b>	<b>Características técnicas del equipo</b> .....	30
<b>3.4</b>	<b>Diseño conceptual de equipos</b> .....	30
<b>3.4.1</b>	<b>Equipos de transformación de polímeros en fibras</b> .....	30
<b>3.4.2</b>	<b>Formulación de alternativas</b> .....	30
3.4.2.1	<i>Análisis de alternativas</i> .....	31
3.4.2.2	<i>Metodología de evaluación y resultados</i> .....	33
<b>3.5</b>	<b>Parametros de diseño</b> .....	35
<b>3.6</b>	<b>Descripción del proceso de producción</b> .....	35
<b>3.6.1</b>	<b>Etapa 1</b> .....	35
<b>3.6.2</b>	<b>Etapa 2</b> .....	36
<b>3.6.3</b>	<b>Etapa 3</b> .....	39
<b>3.7</b>	<b>Elementos de diseño</b> .....	40
<b>3.7.1</b>	<b>Unidad de alimentación de solución</b> .....	40
3.7.1.1	<i>Diseño termico del contenedor de Pet</i> .....	40
3.7.1.2	<i>Determinación de energía a utilizar en el proceso</i> .....	40
3.7.1.3	<i>Dimensiones del cilindro</i> .....	41

3.7.1.4	<i>Masa de plástico Pet a fundir.</i>	42
3.7.1.5	<i>Áreas de transferencia de calor.</i>	42
3.7.1.6	<i>Calor de fusión.</i>	46
3.7.1.7	<i>Calor perdido total.</i>	47
3.7.1.8	<i>Energía necesaria.</i>	56
3.7.1.9	<i>Cantidad de resistencias requerida para el proceso.</i>	56
3.7.1.10	<i>Aislamiento termico.</i>	56
<b>3.7.2</b>	<b><i>Unidad de rotación de potencia.</i></b>	<b>60</b>
3.7.2.1	<i>Potencia del motor.</i>	60
<b>3.7.3</b>	<b><i>Unidad de hilatura.</i></b>	<b>62</b>
3.7.3.1	<i>Condiciones operacionales.</i>	62
<b>3.7.4</b>	<b><i>Estructura de soporte.</i></b>	<b>66</b>
<b>CAPÍTULO IV</b>		<b>68</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>	<b>68</b>
<b>4.1</b>	<b>Resultados</b>	<b>68</b>
<b>4.1.1</b>	<b><i>Geometria de la fibra.</i></b>	<b>68</b>
4.1.1.1	<i>Efecto de la viscosidad del polimero.</i>	68
4.1.1.2	<i>Efecto de la temperatura de procesamiento.</i>	69
4.1.1.3	<i>Efecto de la velocidad de rotacion.</i>	70
4.1.1.4	<i>Morfologia de la fibra.</i>	75
<b>4.1.2</b>	<b><i>Orientacion molecular de la fibra.</i></b>	<b>76</b>
<b>4.1.3</b>	<b><i>Prpiedades de la fibra.</i></b>	<b>77</b>
4.1.3.1	<i>Propiedades fisicas.</i>	77
4.1.3.2	<i>Propiedades termicas.</i>	80
4.1.3.3	<i>Propiedades mecanicas.</i>	80
<b>4.2</b>	<b>Discusiones</b>	<b>80</b>
<b>4.2.1</b>	<b><i>Analisis del proceso de hilatura.</i></b>	<b>80</b>
<b>4.2.2</b>	<b><i>Caracteristicas de la fibra obtenida.</i></b>	<b>81</b>
<b>CAPÍTULO V</b>		<b>82</b>
<b>5</b>	<b>PROPUESTA</b>	<b>82</b>
<b>5.1</b>	<b>Estudios experimentales.</b>	<b>82</b>
5.1.1	<i>Material.</i>	82
5.1.2	<i>Producción de fibra.</i>	82
<b>5.2</b>	<b>Analisis económico.</b>	<b>83</b>
5.2.1	<i>Costos.</i>	83

5.2.1.1	<i>Costos de inversión.</i>	83
5.2.1.2	<i>Costos de mantenimiento.</i>	85
5.2.1.3	<i>Costos de energía eléctrica.</i>	86
5.2.2	<b><i>Beneficios.</i></b>	86
5.2.2.1	<i>Venta de fibra de Pet.</i>	86
5.2.3	<b><i>Valor residual.</i></b>	87
5.2.3.1	<i>Depreciación.</i>	88
5.2.4	<b><i>Evaluación financiera</i></b>	89
5.2.4.1	<i>Flujo de caja interno.</i>	90
5.2.4.2	<i>Valor actual neto (VAN).</i>	90
5.2.4.3	<i>Tasa interna de retorno (TIR).</i>	91
<b>CONCLUSIONES.</b>		93
<b>RECOMENDACIONES.</b>		94
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-3</b>	Técnicas de recolección de información. ....	24
<b>Tabla 2-3</b>	Criterios de evaluación.....	33
<b>Tabla 3-3</b>	Ponderación, criterios de evaluación.....	34
<b>Tabla 4-3</b>	Propiedades de aire.....	51
<b>Tabla 5-3</b>	Inercias del eje conductor.....	60
<b>Tabla 1-4</b>	Diámetros de las fibras y condiciones de procesamiento .....	74
<b>Tabla 2-4</b>	Propiedades mecánicas de fibras de Pet .....	80
<b>Tabla 3-4</b>	Condiciones de procesamiento y propiedades resultantes de las fibras de Pet.....	81
<b>Tabla 1-5</b>	Costos de materiales.....	83
<b>Tabla 2-5</b>	Costos de maquinaria.....	84
<b>Tabla 3-5</b>	Costos de servicios.....	84
<b>Tabla 4-5</b>	Costos de mano de obra .....	85
<b>Tabla 5-5</b>	Costos de diseño.....	85
<b>Tabla 6-5</b>	Costos de mantenimiento.....	86
<b>Tabla 7-5</b>	Costos de demanda de energía eléctrica.....	86
<b>Tabla 8-5</b>	Ventas de fibra de Pet.....	87
<b>Tabla 9-5</b>	Depreciación del equipo.....	89
<b>Tabla 10-5</b>	Costo total de inversión.....	89
<b>Tabla 11-5</b>	Costos de producción anual.....	90

<b>Tabla 12-5</b>	Beneficio anual neto.....	90
<b>Tabla 13-5</b>	Cálculo del VAN.....	91
<b>Tabla 14-5</b>	Cálculo del TIR.....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2</b>	Nomenclatura del tereftalato de polietileno Pet.....	7
<b>Figura 2-2</b>	Código de identificación del Pet.....	8
<b>Figura 3-2</b>	Fibra de poliéster.....	12
<b>Figura 4-2</b>	Proceso de hilatura en seco.....	13
<b>Figura 5-2</b>	Proceso de hilatura húmeda.....	13
<b>Figura 6-2</b>	Esquema de producción de fibras de hilado por fusión.....	14
<b>Figura 7-2</b>	Ensamble del sistema de electrohilado.....	15
<b>Figura 8-2</b>	Equipo de transformación de Pet en filamento.....	16
<b>Figura 9-2</b>	Esquema del proceso de centrifugado para producción de fibras.....	17
<b>Figura 10-2</b>	Centrifugación de cabezal para producción.....	18
<b>Figura 11-2</b>	Proceso de centrifugado para producción de fibras utilizado en la industria de la fibra de vidrio.....	18
<b>Figura 12-2</b>	Ilustración esquemática del equipo de hilatura centrífugo.....	19
<b>Figura 1-3</b>	Metodología de identificación de las necesidades del cliente. ....	21
<b>Figura 2-3</b>	Casa de la calidad.....	28
<b>Figura 3-3</b>	Hilera para formar la fibra de poliéster (Spinneret).....	31
<b>Figura 4-3</b>	Mecanismo de formación de fibras centrífugo.....	32
<b>Figura 5-3</b>	Clasificación de botellas recicladas.....	36
<b>Figura 6-3</b>	Molienda de envases.....	37
<b>Figura 7-3</b>	Trituradora de Pet interior de molino para plásticos.....	38
<b>Figura 8-3</b>	Criba de molino.....	39
<b>Figura 9-3</b>	Hojuelas de Pet.....	39

<b>Figura 10-3</b>	Hilado de fibras de Pet.....	40
<b>Figura 11-3</b>	Dimensiones de contenedor.....	42
<b>Figura 12-3</b>	Área horizontal inferior de convección y radiación.....	43
<b>Figura 13-3</b>	Área de convección y radiación inferior.....	43
<b>Figura 14-3</b>	Área de convección y radiación superior.....	44
<b>Figura 15-3</b>	Área horizontal de convección y radiación.....	44
<b>Figura 16-3</b>	Área vertical de convección, conducción y radiación.....	45
<b>Figura 17-3</b>	Área vertical de conducción.....	45
<b>Figura 18-3</b>	Área vertical de convección, conducción y radiación.....	46
<b>Figura 19-3</b>	Esquema de balance de energía. ....	58
<b>Figura 20-3</b>	Esquema de balance de energía hacia el ambiente.....	59
<b>Figura 21-3</b>	Mecanismo de formación de fibras.....	62
<b>Figura 22-3</b>	Esquema del giro rotativo por chorro rotativo.....	63
<b>Figura 23-3</b>	Cabezal giratorio.....	65
<b>Figura 24-3</b>	Separación de boquilla de cabezal giratorio.....	65
<b>Figura 25-3</b>	Distancia del colector. ....	66
<b>Figura 26-3</b>	Estructuras de equipos de fundición e hilatura.....	67
<b>Figura 27-3</b>	Sección de estructuras.....	67
<b>Figura 1-4</b>	Viscosidad de Pet a diferentes temperaturas y velocidades angulares.....	69
<b>Figura 2-4</b>	Geometrías de fibra y perfiles de temperatura a diferentes temperaturas de procesamiento: (a) 220 °C, (b) 240 °C y (c) 260 °C.....	70
<b>Figura 3-4</b>	Diámetros de fibra de Pet a diferentes: a) temperaturas, b) distancias de colector y c) velocidades de rotación.....	71
<b>Figura 4-4</b>	Diámetros de fibra de Pet a diferentes a) temperaturas, b) apertura de boquilla y c) velocidades de rotación.....	72

<b>Figura 5-4</b>	Diámetros de fibra de Pet a diferentes a) temperaturas, b) distancia de colector y c) apertura de boquilla .....	74
<b>Figura 6-4</b>	Fotografías SEM de fibras.....	76
<b>Figura 7-4</b>	Diámetros fibra de Pet.....	77
<b>Figura 8-4</b>	Longitud de fibra.....	78
<b>Figura 9-4</b>	Rizado de fibra.....	78
<b>Figura 1-5</b>	Diagrama de flujo de caja.....	90



## ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A.** Propiedades de aislante térmico.
- Anexo B.** Planos.
- Anexo C.** Registro fotográfico de construcción de equipos.
- Anexo D.** Registro fotográfico pruebas iniciales.
- Anexo E.** Características técnicas de máquina picadora.
- Anexo F.** Manual de operación de las máquinas.
- Anexo G.** Manual de mantenimiento del prototipo.
- Anexo H.** Propiedades del Pet y de fibras de poliéster
- Anexo I.** Coeficiente de emisividad de materiales.
- Anexo J.** Matriz de puntuación.

## RESUMEN

El presente estudio se realizó con el fin de hacer una contribución práctica en la reutilización de botellas plásticas de PET, mediante el desarrollo de un equipo por hilado centrífugo, dado que una de las líneas de producción del PET es la textil, se trabajó en la creación de un prototipo para la formación de fibras de poliéster. El hilado centrífugo es un método alternativo para producir fibras a partir de PET a alta velocidad y bajo costo, en el hilado centrífugo la fuerza generada por la alta velocidad de rotación empuja el fluido a través de los agujeros del cabezal giratorio, mientras el fluido es expulsado, se somete a un proceso de estiramiento debido a la fuerza de fricción del aire seguido de una rápida solidificación. El desarrollo del prototipo busca beneficiar a las diferentes asociaciones de recicladores, particulares, municipales y empresas de la industria plástica de la ciudad de Riobamba, que debido a limitaciones tecnológicas en la actualidad es solo recolectivo. De ahí que la construcción del prototipo no sólo reduce focos contaminantes por este material, sino que otorga beneficios socio-económico y ecológicos de la localidad. Las fibras de poliéster que se produjeron son discontinuas, que es de forma voluminosa utilizada en el relleno de edredones o almohadas y la fabricación de colchas o prendas de vestir. Las fibras producidas fueron de diámetros de (10-200)  $\mu\text{m}$  bastante uniformes y de superficies lisas, a partir de temperatura de procesamiento de 260 °C y velocidades de 2700 rpm. El hilado centrífugo es simple y permite la fabricación rápida de fibras para diversas aplicaciones, este estudio ofrece una descripción técnica y de detalle del proceso de hilado centrífugo como método de producción de fibras. Se recomienda ejecutar el mantenimiento preventivo de acuerdo al manual de mantenimiento del prototipo, principalmente en las partes móviles ya que son las más críticas debido a la alta velocidad que son sometidos.

**Palabras clave:** HILADO CENTRÍFUGO, CABEZAL GIRATORIO, FIBRAS SINTÉTICAS, TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET), POLÍMEROS

LUIS  
ALBERTO  
CAMINOS  
VARGAS

Firmado digitalmente por  
LUIS ALBERTO CAMINOS  
VARGAS  
Nombre de reconocimiento  
(DN): c=EC, l=RIOBAMBA,  
serialNumber=0602766974,  
o=LUIS ALBERTO CAMINOS  
VARGAS  
Fecha: 2021.04.19 13:00:02  
+05'00'



0046-DBRAI-UPT-IPEC-2021

## **ABSTRACT**

The present study was carried out in order to make a practical contribution to the reuse of PET plastic bottles, through the development of centrifugal spinning equipment, given that one of the Pet's production lines is textile, we worked on the creation of a prototype for the formation of polyester fibers. Centrifugal spinning is an alternative method to produce fibers from Pet at high speed and low cost, in centrifugal spinning the force generated by the high speed of rotation pushes the fluid through the holes of the rotating head, while the fluid is ejected, it undergoes a stretching process due to the frictional force of the air followed by rapid solidification. The development of the prototype seeks to benefit the different associations of recyclers, individuals, municipalities and companies of the plastic industry of the city of Riobamba, which due to technological limitations at present is only collective. Hence, the construction of the prototype not only reduces sources of pollutants by this material, but also provides socio-economic and ecological benefits to the town. The polyester fibers that were produced are discontinuous, which is bulky in shape used in the filling of quilts or pillows and the manufacture of bedspreads or garments. The fibers produced had fairly uniform diameters of (10-200)  $\mu\text{m}$  and smooth surfaces, starting at a processing temperature of 260 ° C and speeds of 2700 rpm. Centrifugal spinning is simple and allows the rapid manufacture of fibers for various applications, this study provides a detailed and technical description of the centrifugal spinning process as a method of fiber production. It is recommended to carry out preventive maintenance according to the prototype maintenance manual, mainly on the moving parts since they are the most critical due to the high speed they are subjected to.

**Keywords:** CENTRIFUGAL SPINNING, ROTATING HEAD, SYNTHETIC FIBERS, PET, POLYMERS.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del problema

#### 1.1.1. Situación problemática

En el planeta ya casi no existe lugar limpio según el último estudio de Naciones Unidas Para el Medio Ambiente en 2016, el cual indica que hay basura incluso en los casquetes polares, los océanos profundos y las montañas más altas. La población mundial no deja de crecer tampoco los residuos que produce. “En los últimos años se ha constatado una intensificación progresiva de generación de residuos sólidos urbanos que en 2017 alcanzó un volumen de casi 541000 toneladas al día, si se sigue a este ritmo la estimación es que para 2050 se produzca 670000 toneladas cada día” (Banco Mundial, 2018).

Los envases plásticos son uno de los tipos más comunes de desechos sólidos. En la actualidad es difícil prescindir de los mismos, por su utilidad como por la importancia económica que tienen. Lo cual se ve reflejado en los índices de crecimiento de la industria del plástico que, desde principios del siglo pasado, supera a casi todas las actividades industriales. Los envases plásticos se utilizan, para envasar, conservar y distribuir bebidas y alimentos, entre otros productos (López, 2016). Es así que en 2016 se vendieron alrededor de 480.000 millones de botellas de plástico en todo el mundo, es decir, un millón de botellas por minuto (BBC Mundo, 2017). Su uso cada vez más creciente se debe a las características de los plásticos, debido a que son livianos, de fácil manipulación y de bajo costo (López, 2016).

A pesar de su indiscutible utilidad en la vida cotidiana, una vez que los plásticos se han utilizado se convierten en residuos que forman parte de los residuos sólidos urbanos (RSU) (López, 2016) que son generados en grandes cantidades, uno de los aspectos negativos que presentan los envases plásticos es su lenta degradación misma que puede ser de hasta 450 años periodo durante el cual pueden permanecer inalterables. Además del problema que presentan los envases plásticos como residuos, es que se trata de un tipo de material con una densidad muy baja. Lo que para su uso y aplicación es una ventaja, se convierte en un problema cuando éste pasa a ser residuo, ya que se trata de un tipo de residuo que pesa muy poco, pero ocupa un volumen considerable, originando problemas de contaminación (López, 2016).

En la actualidad reciclamos el 59,7 % de los envases de plástico en el mundo. Los mismos son transportados por los buques de recogida hasta las plantas de producción en China, Estados Unidos y México quienes son los mayores compradores de materiales plásticos reciclados en el mundo, de ahí que China venía adquiriendo un 50% de los residuos mundiales de plástico para

convertirlos en resinas con la que se fabrican desde botellas hasta tuberías según. Es así que muchos de los plásticos por llegar sucios o mal clasificados requieren de tratamiento extra por lo tanto son demasiado caros para el reciclaje. Por ello, en 2013 el país asiático lanzó la operación valla verde para mejorar la calidad de la basura que importaba. La primera medida fue restringir la importación de plásticos de baja calidad. La presión sobre estos materiales ha aumentado en la actualidad en todos los países del mundo, con la decisión de China, ya que, si no se encuentra una alternativa, es decir, un país que sustituya a China y se convierta en el nuevo “Vertedero del Mundo” los problemas generados por estos desechos será incalculable (López, 2016).

Uno de los mayores problemas que presentan ciudades como Riobamba, es la contaminación por residuos sólidos, que provienen del post-consumo de plásticos, cauchos, textiles, metales, papel y materia orgánica etc. En base a información obtenida del Ministerio de Ambiente a través del Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos PNGIDS ECUADOR, en los 221 Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM) para el 2017, se generó un aproximado de 4,1 millones de toneladas métricas de residuos, de los cuales el 61,4% son orgánicos, papel/cartón 9,4%, plástico 11%, vidrio 2,6%, chatarra 2,2%, y otros 13,3% (Ministerio del ambiente y agua, 2017). Según el (GADM Riobamba, 2019) los residuos plásticos tienen una participación del 10,82%, dentro del total de 160 toneladas día de desechos generados.

### ***1.1.2. Formulación del problema***

¿Falta de desarrollo de equipos para transformar envases plásticos Pet post-consumo, en fibra de poliéster?

### ***1.1.3. Preguntas o directrices específicas***

¿Qué beneficios se obtendrán del aprovechamiento y procesamiento en fibra de poliéster de los envases de plástico Pet post-consumo?

¿Se obtendrá un producto aceptable en base a los parámetros establecidos de elaboración de fibra de poliéster para la industria textil?

## **1.2. Justificación de la investigación**

A causa de la necesidad de seguir utilizando materiales plásticos como fuente de materia prima (López, 2016), este trabajo permite proponer un tipo de solución a una parte de los residuos, una vez que estos han cumplido con su objetivo comercial, desarrollando así una nueva concepción de un prototipo para la obtención de fibra de poliéster mediante la aplicación de la técnica de centrifugado siendo este muy novedoso tanto por su método de aplicación como por su costo de

producción el cual se busca dar con este tipo de tecnologías el cual incorpora un proceso diferente en la transformación de Pet en fibras.

Es así que nuevos procesos de transformación de Pet en fibras de poliéster permiten que estas se usen en la industria textil para la producción de fibras de confección (es muy utilizado en mezclas de diversos porcentajes con el algodón) (López, 2016), como alfombras, rellenos de edredones o almohadas y para ser transformados en muchos nuevos productos.

Actualmente el mercado de tejidos con fibras de poliéster es amplio y está en continuo crecimiento en nuestro país, de ahí que un análisis de la demanda (López, 2016), de equipos que permitan transformar envases Pet en fibra de poliéster, permite visualizar grandes oportunidades de inserción de este tipo de equipos y tecnologías, cuya finalidad es recuperar y reutilizar los envases plásticos Pet post-consumo incorporándolos a un nuevo ciclo productivo. Teniendo en cuenta que en las provincias de Chimborazo y Tungurahua se encuentran aglomeradas una gran parte de las industrias que consumen fibras de poliéster (Huacho, 2015).

En Ecuador se produjeron al menos 4'139.512 toneladas año de residuos en el 2016, de los cuales 11% fue plástico (Ministerio del ambiente y agua, 2017). Nadie se pregunta cuál es el destino que tienen (López, 2016). Cada vez nuevas iniciativas hacen viable el reciclado del plástico y botellas Pet luego de su uso. Actualmente, existe una variedad de tecnologías desarrolladas para la reutilización de plásticos Pet reciclados, estas abarcan los distintos tipos (López, 2016), de extrusoras, inyectoras, hiladoras, etc., donde la posibilidad de crear estas fibras de poliéster tiene el problema de ser tecnologías muy costosas comparadas con las demás de la industria textil por tal motivo no son competitivos económicamente. Otros estudios muestran el desarrollo de aplicaciones de técnicas capaces de producir fibra de poliéster a bajo costo y que son una alternativa para pequeños y medianos emprendimientos. Es así que en México (López, 2016) ya existe una propuesta de producción de fibra de poliéster mediante la aplicación de la tecnología de centrifugado donde este tipo de máquina permite convertir los envases plásticos Pet en fibra poliéster para producir materias primas para la industria textil. Estos aportes relacionados con las posibles transformaciones que se le pueden dar al plástico y botellas Pet para reducir costos en las materias primas en el sector industrial y a la vez tratar de reducir y reutilizar este plástico y sus diferentes impactos en el medio ambiente.

La contribución práctica de este proyecto es dar una alternativa para la reutilización de las botellas plásticas Pet, ya que procesar Pet es reintegrar este polímero en un nuevo ciclo productivo como materia prima. Dado que una de las líneas de producción del Pet es la textil, se trabajará en la elaboración de fibras (López, 2016), mediante la creación de un equipo para su obtención. De ahí una posición para el uso de botellas plásticas Pet post-consumo se ve planteada en la construcción de un prototipo de procesadora de estos envases para producir fibra de poliéster, que otorgará

beneficios económicos y ecológicos, lo cual servirá para hacer frente a la falta de desarrollo de equipos y tecnologías que permitan transformar envases plásticos Pet en fibra de poliéster.

El presente proyecto tiene como contribución teórica aportar al conocimiento existente sobre el desarrollo de nuevas tecnologías y equipos para la fabricación de filamentos de poliéster a partir de envases Pet post-consumo, mediante el diseño y construcción de un prototipo de procesadora de botellas plásticas Pet, se busca la construcción colectiva del conocimiento alrededor del desarrollado diferentes tecnologías que recuperan y reutilizan los envases plásticos de bebidas. Por otra parte, (López, 2016) señala que “En lo que respecta al comercio de productos ecológicos” el aprovechamiento del Pet post-consumo para la fabricación de fibra de poliéster como material de relleno ha ganado terreno en el mundo de la industria textil”.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo general***

Diseñar y construir un prototipo de procesadora de botellas plásticas Pet recicladas para obtener fibra de poliéster.

#### ***1.3.2. Objetivos específicos:***

Determinar las especificaciones técnicas del prototipo, y diseñar los componentes mecánicos.

Construir y armar el prototipo.

Evaluar el desempeño del prototipo a través de un protocolo de pruebas definido para este propósito.

Formular un manual de operación, mantenimiento y seguridad del prototipo.

### **1.4. Hipótesis.**

#### ***1.4.1. Hipótesis general.***

¿El diseño y construcción del prototipo si procesa envases Pet y si obtiene fibra de poliéster?

#### ***1.4.2. Hipótesis específicas:***

¿Las especificaciones técnicas del producto si determinaran un diseño adecuado de los componentes mecánicos del prototipo?

¿Si se lograra construir y armar el prototipo propuesto para este fin?

¿Al evaluar el desempeño del prototipo a través de un protocolo de pruebas si permitirá obtener un producto aceptable en base a calidad de fibras de poliéster?

¿El generar un manual de operación, mantenimiento y seguridad del prototipo si permitirá garantizar su correcto desempeño y funcionamiento?

**1.4.3. Identificación de variables:**

Variable independiente: Diseño y construcción del prototipo para el procesamiento de botellas plásticas Pet recicladas.

Variable dependiente: Producción de fibra de poliéster de buena calidad y bajo costo.



## CAPÍTULO II

### 2. MARCO DE REFERENCIA

#### 2.1. Antecedentes del problema

La primera aplicación industrial del Tereftalato de Polietileno (Pet) fue la textil, durante la Segunda Guerra Mundial en 1946, para remplazar a fibras naturales. Fue utilizado para fabricar fibras sintéticas, principalmente poliéster en sustitución de algunas materias como algodón o lino, ya sea como filamento continuo o como fibra cortada (López, 2016), el Pet encabeza a los polímeros textiles. Se emplea para la producción de fibras de confección de varios tipos de ropa de poliéster, alfombras, fibras para bolsas de dormir, abrigos, autopartes, correas industriales etc. (López, 2016)

La industria del plástico lleva 102 años en el mercado. Donde sus primeros 50 años correspondieron a la investigación y la implementación de los descubrimientos realizados, los siguientes 20 años en la difusión de información y aprovechamiento de ellos y los últimos 20 años en optimizar el uso de los mismos (López, 2016).

En la actualidad el consumo global del Pet se calcula en 12 millones de toneladas con un crecimiento anual de 6% (HILOSVD, 2018). De ahí el 50% del Pet que se consume en el mundo se recicla (Parres F, 2015). La situación de las botellas plásticas Pet y su impacto en el ambiente lleva décadas, muchos países están preocupados por el efecto de estos polímeros en la actualidad es así que se han implementado políticas al respecto de este tema.

En Riobamba existe un grave problema, causado por la creciente generación y acumulación de residuos sólidos urbanos (RSU). La falta de espacios para depositarla y un deficiente manejo para reducirla y optimizarla, está ocasionando contaminación del medio ambiente en la ciudad. En el ámbito político, social y ambiental, existe una gran preocupación por los desechos sólidos, que generan las ciudades lo que provoca que las mismas estén inundadas por sus propios desechos como resultado de políticas y prácticas inadecuadas de control, mitigación y manejo de este tipo de desecho.

De ahí que el reciclaje y aprovechamiento del Pet, se está proyectando como parte fundamental del boom ambiental que se vive actualmente y con esto, se está convirtiendo en una de las mayores oportunidades de negocios para toda la industria del plástico. El Pet puede ser recuperado y reciclado para obtener productos, como las fibras de poliéster, que sirven para la fabricación de ropa y demás elementos en la industria textil (HILOSVD, 2018)

El análisis de varios estudios técnicos permitirá proponer y analizar las diversas opciones tecnológicas para diseñar, construir, probar y optimizar los diferentes equipos que se requieren en

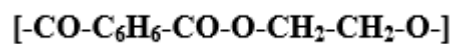
este estudio, lo que nos permitirá ver la factibilidad técnica económica de los mismos. Este análisis identifica los equipos, los materiales, las materias primas y los recursos necesarios para el desarrollo de la investigación y, por consiguiente, nos permite conocer los costos de inversión y operación necesarios, como el capital de trabajo que se necesita (López, 2016), para el aprovechamiento del Pet post-consumo en la industria textil hacia el cual estamos orientados.

En la actualidad varias industrias del mundo y de Ecuador impulsan al reciclaje e industrialización de plásticos, principalmente en las etapas de recolección y procesamiento de botellas plásticas flexibles de Pet, mismas que con un tratamiento adecuado, llegan a convertirse en materias primas por consiguiente reduciendo la afectación al medio ambiente (López, 2016). En Ecuador menos del 50% de envases plásticos Pet se recolecta, es por ello que este insumo actualmente desperdiciado, puede convertirse en múltiples materiales como fibra de poliéster, de utilidad en el sector industrial y doméstico (Secretaría Técnica Planifica Ecuador, 2017).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Concepto del Pet**

Según, (López, 2016). “El tereftalato de polietileno Pet es un poliéster termoplástico y se produce a partir de dos compuestos principalmente: ácido tereftálico y etilenglicol, aunque también puede obtenerse también utilizando dimetil tereftalato en lugar de ácido tereftálico, los cuales al polimerizar en presencia de tereftálico, catalizadores y aditivos producen los distintos tipos de Pet”. La figura muestra la nomenclatura del tereftalato de polietileno Pet.



**Figura 1-2.** Nomenclatura del tereftalato de polietileno Pet.  
**Fuente:** (Patin J, 2018).

De ahí que el Pet es un material caracterizado por su gran ligereza, resistencia mecánica a la compresión y a las caídas, alto grado de transparencia y brillo, conserva el sabor y aroma de los alimentos, es una barrera contra los gases (Freire & Hurtado, 2011), es 100% reciclable y se identifica con el número uno, o las siglas Pet, rodeado por tres flechas en el fondo de los envases fabricados con este material (Freire & Hurtado, 2011), según el sistema de identificación SPI. En la Figura 2.2 se muestra la codificación del Pet, en resumen, es un plástico de alta calidad con posibilidad de ser reutilizable.



**Figura 2-2.** Código de identificación del Pet  
**Fuente:** (Patin J, 2018).

### *2.2.1.1. Características y propiedades del Pet*

El tereftalato de polietileno Pet, en general cuenta con las siguientes características y propiedades que lo diferencian de los demás polímeros (López, 2016):

- **Orientación.-** Nos permite lograr propiedades mecánicas y de barrera con optimización de espesores (López, 2016).
- **Cristalización.-** Permite lograr resistencia térmica para utilizar bandejas termoformadas en hornos a elevadas temperaturas de cocción (López, 2016).
- **Esterilización.-** El Pet resiste esterilización química con óxido de etileno y radiación gamma (López, 2016).
- **Transparencia.-** La claridad y transparencia obtenida con este material, es su estado natural (sin colorantes) es muy alta, obteniéndose un elevado brillo. No obstante, puede ser coloreado con pigmentos de colores adecuados sin ningún inconveniente (López, 2016).
- **Peso.-** El Pet es más ligero en referencia con otros polímeros (López, 2016).
- **Resistencia química.-** El Pet es resistente a multitud de agentes químicos agresivos los cuales no son soportados por otros materiales (López, 2016).
- **Degradación Térmica.-** La temperatura soportable por el Pet sin deformación, ni degradación, aventaja a la de otros materiales, ya que este material se extrusiona a temperaturas superiores a 250°C, siendo su punto de fusión de 260°C (López, 2016).

- Conformidad sanitaria.- El Pet supera a multitud de materiales en cuanto a calidad sanitaria por sus excelentes cualidades en la conservación del producto (López, 2016).
- Reciclado y recuperación.- El Pet puede ser fácilmente reciclado, principalmente por el proceso mecánico y ser nuevamente útil (López, 2016).

Las características y propiedades físicas del Pet y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material haya alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de aplicaciones, especialmente en la producción de botellas, bandejas, flejes y láminas.

### *2.2.1.2. Principales usos del Pet*

Cada vez nuevos campos de aplicación del Pet se están abriendo, entre sus aplicaciones más importantes se tenemos:

**Fibras.** - Es utilizado para fabricar fibras sintéticas, en sustitución de algunos materiales como algodón o lino. Pet encabeza a los polímeros textiles, de manufacturarse con él tejidos industriales de sustentación para cauchos, lonas, bandas y otros artículos. Además, su resistencia química permite aplicarla (Paz, 2016). en cerdas de brochas para pintura y cepillos industriales. Actualmente muchas industrias utilizan botellas de Pet recicladas para la elaboración de alfombras, como resumen de sus múltiples usos.

**Envases y empaque.** – Es fuertemente utilizado para la fabricación de botellas, ya que ofrece características favorables en cuanto a resistencia contra agentes químicos, gran transparencia, ligereza, menores costos de fabricación y comodidad en su manejo, lo cual conlleva un beneficio añadido para el consumidor final. Aunque comúnmente se asocia con el embotellado de las bebidas gaseosas, el Pet tiene infinidad de usos dentro del sector de fabricación de envases (López, 2016).

**Industria mecánica.** - Se utiliza en la fabricación de repuestos que necesitan superficies duras, planas y buena estabilidad dimensional. Como engranajes, levas, cojinetes, pistones y en bastidores de bombas que soportan elevadas fuerzas de impacto. Los compuestos reforzados de Pet (PRFV) son usados para fabricar componentes para automóviles (Freire & Hurtado, 2011).

**En el sector electrónico.** - Debido a sus propiedades ignífugas, dieléctricas, térmicas y estabilidad dimensional, permite que sea empleado en este sector o en otro tipo de piezas técnicas como cojinetes, cerraduras, pudiéndose encontrar reforzado con fibra de vidrio o sin reforzar. Como en este sector se requiere varios tipos de películas ultradelgadas la manejabilidad del Pet

permite la creación de estas piezas. Por ejemplo, los capacitores tienen una fina película de Pet que se emplea para telecomunicaciones (Freire & González, 2013).

**Pet de grado film.** – Es utilizado en aplicaciones para la fabricación de film, como películas fotográficas, de rayos X y de audio (López, 2016).

**Otros usos.** - Tubos, perfiles, paredes, piezas inyectadas, fibras, textiles, marcos, construcción (López, 2016).

### **2.2.2. Fibra de poliéster**

Las fibras de poliéster, principalmente las de Pet, son las fibras sintéticas que se producen en mayor volumen en el mundo (Amrein, 2012), no son caras y se producen de derivados del petróleo y ofreciendo múltiples propiedades como: son fuertes, ligeras, se tiñen fácilmente, son resistentes a las arrugas y tienen propiedades de fácil cuidado. Estas fibras son muy versátiles y se fabrican tanto en filamento continuo como en fibra cortada, con distintas secciones transversales y se emplean solas o mezcladas con otras fibras (Amrein, 2012).

Este tipo de fibra se utiliza mucho en la industria textil para la elaboración de indumentaria, en la fabricación de ropa y en muchas aplicaciones industriales. Cuando se trata de prendas de vestir, se utilizan como multifilamento y como fibra discontinua sola o mezclada con otras fibras, en el hogar, se utilizan para cortinas, tapicería, decoración, alfombras y como fibra de relleno en almohadas, sacos de dormir, colchas, también se encuentran como microfibras en prendas deportivas. Actualmente en el campo industrial tiene aplicaciones en neumáticos, velas de barcos, redes, cuerdas, cables, hilos de coser, en los cinturones de seguridad de vehículos, filtros (Amrein, 2012), entre otros.

#### **2.2.2.1. Descripción del proceso de producción de fibras**

El proceso de generación de las fibras sintéticas comienza por la materia prima fundida. En este momento se puede dar el color deseado y agregar ciertas enzimas que dan determinadas características, como suavidad, rigidez entre otras. Luego viene el proceso de hilatura donde se hace pasar el líquido de poliéster por medio de hileras para formar las fibras. Las hileras son una especie de colador muy fino donde entra la mezcla en estado líquido y sale para solidificarse. Las hileras tienen muchos agujeros muy pequeños. Donde al extrudir el líquido este sale en filamentos del diámetro de los agujeros que esta tenga. A la salida de la misma las fibras se solidifican, dependiendo qué tipo de hilatura se esté practicando. En este proceso se puede determinar el tipo de superficie según las especificaciones deseadas (Saldrian, 2014).

#### *2.2.2.2. Degradación térmica del Pet durante el procesamiento en fibra*

Se debe tener presente que las propiedades del Pet sea este virgen o reciclado se degradan y se inicia por reacciones que rompen las cadenas moleculares. La degradación térmica es uno de los tipos de descomposición de los plásticos incluido el Pet (Saldrian, 2014), que se presenta cuando el polímero es expuesto a temperaturas elevadas, que ocasionan en la estructura del material, en presencia de calor. La degradación térmica de los materiales poliméricos es un importante, para en base a ella desarrollar el método de procesamiento del polímero.

El control de la degradación requiere la comprensión de muchos fenómenos diferentes, incluidos los mecanismos químicos, la influencia de la morfología del polímero, las complejidades de la química de oxidación y los efectos de los estabilizadores, rellenos y otros aditivos.

La degradación térmica de polímeros es la descomposición química que presentan, debido a la ruptura de enlaces moleculares, como resultado de la aplicación de calor (Duke, Rodríguez & López, 2013). Se generan cambios a nivel de la estructura química y de las propiedades físicas como consecuencia de que los productos resultantes tienen una estructura molecular diferente y más simple que el producto original.

Estos cambios implican la fragmentación del enlace en la columna vertebral de las moléculas de polímero, lo que conduce a la formación de materiales con características diferentes y generalmente menores que las del polímero inicial (Amrein, 2012). La degradación térmica de los polímeros es el deterioro molecular cuando los polímeros a temperaturas elevadas comienzan a separarse (fragmentación molecular) y reaccionan entre sí, sin la participación simultánea de otro compuesto (Amrein, 2012).

La degradación térmica de los polímeros es un fenómeno importante que debe considerarse al desarrollar las tecnologías para el procesamiento de polímeros, la aplicación de polímeros a altas temperaturas, el reciclaje de los polímeros y la comprensión del mecanismo de descomposición térmica para producir materiales poliméricos de manera segura (Pielichowski & Njuguna, 2008)

#### *2.2.2.3. Filamentos de fibra de poliéster*

Winfield y Dickson junto con los inventores W.K. Birtwhistle y C.G.Ritchie crearon la primera fibra de poliéster llamada Terylene en 1941, fabricada por primera vez por Imperial Chemical Industries o ICI. Las fibras de poliéster se obtienen por polimerización de monómeros a base de ácido tereftálico y glicol etilénico. Las fibras son redondas de sección transversal con superficie lisa las cuales se emplean para hacer uniformes, pantalones deportivos, camisas, blusas, suéteres, calcetines, ropa etc (Mondragón, 2002).

Las fibras de poliéster pueden ser empleadas en forma de filamento continuo o discontinuo. Las cortadas han encontrado gran aplicación mezcladas con las naturales (algodón, lana, lino) las artificiales (rayón viscoso, acetato y triacetato) y las sintéticas (acrílicas) (Mondragón, 2002) empleándose para la fabricación de tejidos para camisería, pantalones, faldas, trajes completos, ropa de cama y mesa (Blogger, 2013). En la Figura 3-2 se muestra la fibra de poliéster.



**Figura 3-2.** Fibra de poliéster.  
**Fuente:** Lenin Guerra, 2021

#### *2.2.2.4. Tecnologías en obtención de fibras de poliéster*

La mayoría de las fibras sintéticas son creados por extrusión, que en resumen es obligar a un fluido espeso y viscoso a través de los pequeños orificios de un dispositivo llamado hilera para formar filamentos de polímero semisólido. Tecnologías recientes se han desarrollado para producir fibras, a continuación, se describen (Blogspot, 2012).

##### **Hilado en solución**

Este método es utilizado cuando el polímero deseado no forma una masa fundida estable, estos polímeros son disueltos en una solución para hacerlos líquidos en lugar de fundirlos, las dos formas principales de hilado en solución son: seco y húmedo (Blogspot, 2012).

##### **Hilado en seco**

El hilado en seco se utiliza también para sustancias formadores de fibras en solución, la solidificación se consigue mediante la evaporación del disolvente en una corriente de aire o gas inerte. Los filamentos no entran en contacto con un líquido de precipitación, lo que elimina la necesidad de secado y facilitar la recuperación de disolventes. Este proceso puede ser utilizado

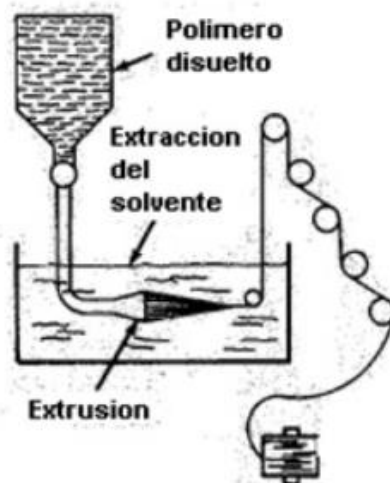
para la producción de fibras de acetato, triacetato, acrílico, modacrílicas, PBI (Polibenzimidazol), spandex y Vinyon (policloruro de vinilo) (Blogspot, 2012).



**Figura 4-2.** Proceso de hilatura en seco.  
Fuente: (Parker, 2014).

### Hilado en húmedo

Es el proceso de hilado más antiguo. Se utiliza para sustancias formadoras de fibras que han sido disueltos en un disolvente (Blogspot, 2012). Donde las hileras están sumergidas en un baño químico y los filamentos que emergen precipitan de la solución y se solidifican. Como la solución es extruida directamente en el líquido de precipitación, de ahí este proceso de fabricación se llama hilado en húmedo.



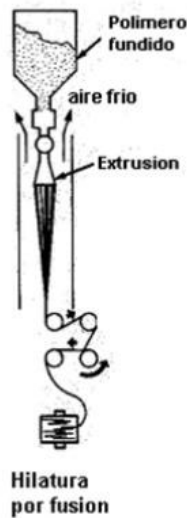
**Figura 5-2.** Proceso de hilatura en húmeda.  
Fuente: (Parker, 2014).



## Hilado por fusión

El hilado por fusión se usa para polímeros que pueden fundirse fácilmente. En este proceso, se extruye una masa fundida viscosa de polímero a través de una hilera que contiene varios agujeros en una cámara, donde se dirige una ráfaga de aire frío o gas sobre la superficie de las fibras que salen de la hilera (Blogspot, 2012).

El hilado por fusión es el método preferido para fabricar fibras poliméricas y se usa ampliamente en la industria textil. La hilatura por fusión se muestra en la Figura 6-2.



**Figura 6-2.** Esquema de producción de fibras de hilado por fusión.

Fuente: (Parker, 2014).

## Hilado en gel

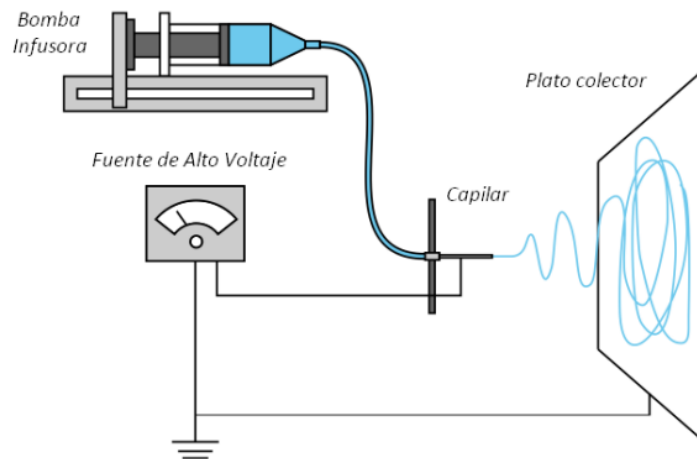
El hilado en gel es un proceso especial utilizado para obtener fibras especiales con alta resistencia u otras propiedades. Donde el polímero no se encuentra verdaderamente en un estado líquido durante la extrusión. Las cadenas de polímero no están completamente separadas como lo estarían en una verdadera solución, sino que están unidas entre sí en diversos puntos en forma de cristal líquido. Esto produce fuertes fuerzas de atracción entre las cadenas poliméricas en los filamentos resultantes que pueden aumentar significativamente la resistencia a la tracción de las fibras. Además, los cristales líquidos se alinean a lo largo del eje de la fibra por las fuerzas de cizallamiento durante la extrusión. Los filamentos emergen con un grado inusualmente alto de orientación, mejorando aún más la fuerza (Blogspot, 2012).

## Electrohilado

La técnica consiste en hacer girar soluciones de polímero a través de altos campos eléctricos, se basa en aplicar suficientes fuerzas eléctricas que superen las fuerzas de la tensión superficial en

la solución de polímero cargado, de esta forma a un voltaje determinado, finos chorros de solución son expulsados desde el capilar hasta el plato colector. Posteriormente el chorro se mueve en la dirección del campo eléctrico, elongándose de acuerdo a las fuerzas externas e internas y experimentando inestabilidad en algunas ocasiones (Duke, Rodríguez & López, 2013). El disolvente se evapora y los segmentos de fibras son depositados al azar en un sustrato.

La Figura 7-2, se muestra el esquema de electrohilado, el cual consta de un capilar a través del cual debe ser expulsada la solución polimérica (aguja, cono, etc); una fuente de alto voltaje que posee dos electrodos los cuales deben conectarse uno al lugar de salida de la solución y otro directamente al plato colector (lamina de metal conductor, mandril rotativo, etc) donde se depositarán las fibras posterior a la evaporación del disolvente. La técnica puede ser desarrollada de forma horizontal o vertical según se desee (Duke, Rodríguez & López, 2013)



**Figura 7-2.** Ensamble del sistema de electrohilado.  
**Fuente:** (Duke, Rodríguez & López, 2013).

#### 2.2.2.5. Usos y aplicaciones de la fibra de poliéster

Las fibras de poliéster son 50% cristalinas y el ángulo de sus moléculas puede variar, sus propiedades son muy sensibles a los procesos termodinámicos. Básicamente el poliéster, a través de modificaciones químicas y físicas, puede ser adaptado hacia el uso final que se le va a dar (Blogger, 2013):

- Fibras para ropa, textiles, para el hogar o simplemente filamentos o hilos. Este tipo de fibra es de amplio uso en prendas de vestir y deportivas, ya sea sola o mezclada con otras fibras, son muy resistentes y con un precio relativamente bajo, según su mezcla emplea para la fabricación de tejidos para camisería, pantalones, faldas, hilos, trajes completos, ropa de cama y mesa, cortinas delgadas (Blogger, 2013), orientadas a artículos que no cambien mucho de forma como ropa interior o para ropa exterior ya que tienen que mostrar alta estabilidad y forma consistente.

- Las resinas de poliéster (termoestables) son usadas también como matriz para la construcción de equipos, tuberías anticorrosivas, fabricación de pinturas (Blogger, 2013).
- Se usa en la fabricación de fibras recubrimientos de láminas (Blogger, 2013).

### 2.2.3. *Pet en fibra de poliéster*

Existen diferentes procesos de transformación de Pet en fibras de poliéster, que permiten que estas se usen como relleno de colchones o almohadas, hasta como fibras de alta calidad para la confección en la industria textil, lo nuevo en la propuesta de este proceso es que a la fibra resultante mediante centrifugado se le podrá dar uso en la industria textil para la fabricación de productos de características ligeras (López, 2016); como edredones, rellenos para almohadas entre otros.

Según información obtenida en una nota de un diario local de la ciudad de Aguascalientes, México (López, 2016); el Instituto Tecnológico de Aguascalientes de la ciudad de Aguascalientes, establece que; una vez recolectado, clasificado, lavado, secado y triturado en Pet, se obtiene hojuelas de este material que luego es fundido (López, 2016); para que a través de un sistema de centrifugado se produzca el proceso de hilatura, donde se transforma el Pet en filamento, es decir, en la fibra textil” (López, 2016).



**Figura 8-2.** Equipo de transformación de Pet en filamento.

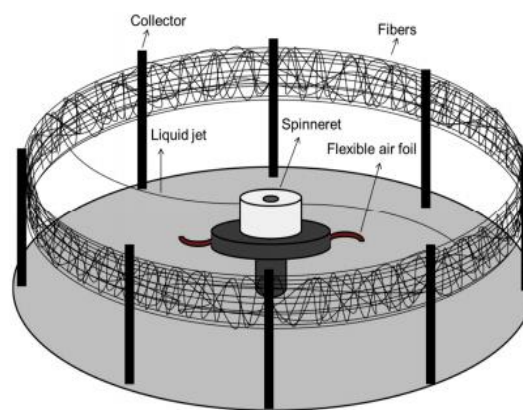
Fuente: (Cardoso, 2016).

### 2.2.4. *Hilado centrifugo*

La centrifugación de resinas es un método alternativo para producir fibras a partir de diversos materiales a alta velocidad y bajo costo. En la centrifugación, el fluido se coloca en un cabezal giratorio, cuando la velocidad de rotación alcanza un valor crítico, la fuerza centrífuga supera la

tensión superficial del fluido para expulsar un chorro de líquido desde el cabezal giratorio, donde el chorro se somete a un proceso de estiramiento y finalmente se deposita en el colector, formando fibras solidificadas, el hilado centrífugo es simple y permite la fabricación rápida de fibras para diversas aplicaciones (Zhanga, X & Lua, Y, 2014).

La hilatura centrífuga se ha utilizado ampliamente en la industria de la fibra de vidrio para la fabricación de fibras a escala industrial, el uso de la hilatura centrífuga para producir fibras de polímero, especialmente las fibras de Pet, es relativamente nuevo (Zhanga, X & Lua, Y, 2014).



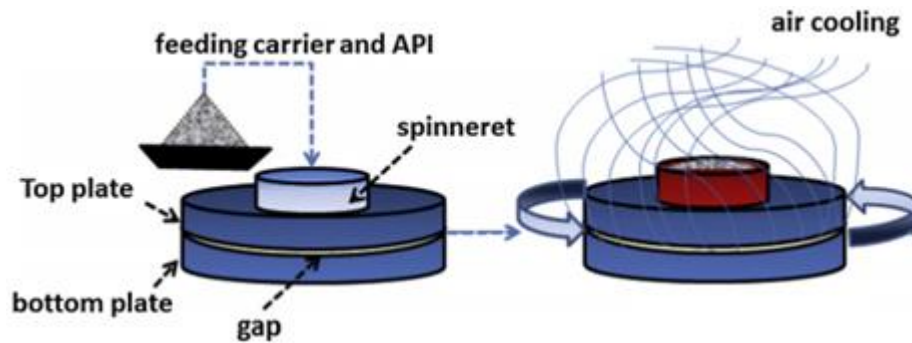
**Figura 9-2.** Esquema del proceso de centrifugado para producción de fibras.

Fuente: ((Zhanga & Lua, 2014).

#### 2.2.4.1. Tipos de equipos de centrifugación

##### **Centrifuga de cabezal**

Se caracteriza por tener un cabezal que gira alrededor de un eje por la fuerza centrífuga, una capa anular de líquido de espesor fijo se sostiene contra la pared, a causa de que esta fuerza es bastante grande comparada con la de la gravedad, la superficie del líquido se encuentra esencialmente paralela al eje de rotación, independientemente de la orientación de la unidad. Las fases densas se hunden hacia afuera y las fases menos densas se levantan hacia adentro. Las partículas pesadas se acumulan sobre la pared y deben retirarse continua y periódicamente (Batson E & Taibe O, 2012).



**Figura 10-2.** Centrifugación de cabezal para producción de fibras.  
Fuente: ((Zhanga & Lua, 2014).

### Centrifugación de filtro

La configuración de la hilera está hecha de un tubo con una serie de orificios a lo largo de su longitud. Estas operan como el tambor de rotación de una lavadora doméstica, donde el material fundido se vierte en el cilindro giratorio que posee miles de agujeros a los lados, como una rejilla fina, la acción giratoria envía el fluido hacia afuera por la fuerza centrífuga a través de los hoyos y los separa en delgados hilos, a medida que estos salen del cilindro se solidifican.



**Figura 11-2.** Proceso de centrifugado para producción de fibras utilizado en la industria de la fibra de vidrio.  
Fuente: ((Batson E & Taife O, 2012).

#### 2.2.4.2. Ventajas y desventajas de la centrifugación

##### Ventajas

Como un prometedor método de producción de fibras, la hilatura centrífuga tiene las siguientes ventajas:

- Alta productividad.
- Permite obtener fibras largas y discontinuas.
- No necesita de alto voltaje para su producción.

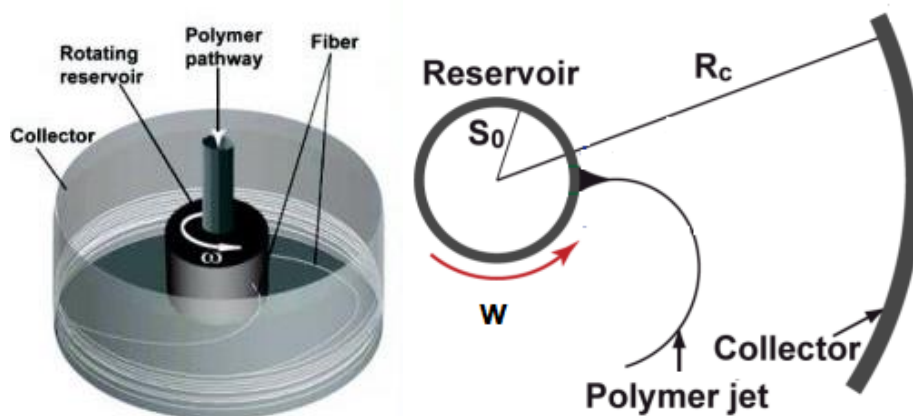
- Bajo costo de producción.
- Ecológico.

### Desventajas

- Requiere de altas temperaturas.
- Inestabilidad de chorro.
- Limitaciones de procesamiento de ciertos polímeros, degradación térmica de polímeros.
- Típicamente solo se pueden procesar polímeros de bajo peso molecular.

#### 2.2.4.3. Partes de la centrifugadora

El equipo de hilatura por método centrífugo se compone de varios componentes, que incluyen: a) una unidad de alimentación de solución, b) una unidad de rotación de potencia, c) una unidad de hilatura y d) una unidad de recolección, como se muestra en la Figura 12-2.



**Figura 12-2.** Ilustración esquemática del equipo de hilatura centrífugo.  
Fuente: ((Mellado et al, 2011).

#### 2.2.4.4. Características de diseño para la máquina centrifugadora

Las fibras de poliéster se fabrican por varios métodos. El utilizado depende de la forma que tendrá el poliéster acabado. De esta forma, la fibra de poliéster que se producirá es la de relleno, que es de forma voluminosa utilizada en la fabricación de colchas, almohadas y prendas de vestir exteriores. Para cumplir con este fin, la máquina debe tener las siguientes características de diseño:

- **Capacidad.**

La máquina tiene que poseer la capacidad de producir 20 kg/h.

- **Costo de inversión.**

El costo es un factor a considerar que no puede ser elevado y debe oscilar entre \$2200 y \$2700.

- **Transportable.**

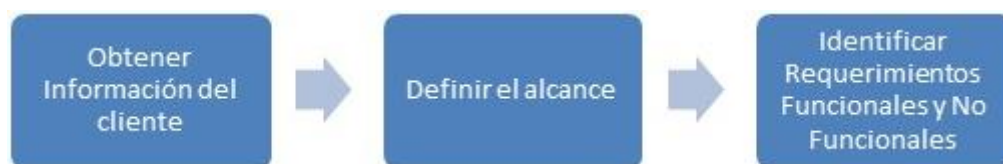
La máquina debe tener las medidas y peso adecuados para que pueda ser desplazada a cualquier lugar donde la necesite el productor y no sobrepasar un tamaño de 1.5 m.

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Identificación de las necesidades del cliente

Se enfoca en describir las necesidades del cliente, entonces es lógico que para recabarlos haya que obtener la información de primera mano. Esto es, mediante entrevistas con el cliente u obteniendo la documentación que describa la manera que el cliente desea como funcione (sites.google, <https://sites.google.com/site/metodologiareq/capitulo-iel>) prototipo de producción de fibras. La identificación de las necesidades del cliente nos permitirá es obtener un producto aceptable en base a los parámetros establecidos de elaboración de fibra de plástico en la industria textil. La metodología empleada para la correcta identificación de necesidades de los clientes, se muestra en la Figura 1-3.



**Figura 1-3.** Metodología de identificación de las necesidades del cliente.

Fuente: (sites.google, <https://sites.google.com/site/metodologiareq/capitulo-i>).

##### 3.1.1. *Obtener información de las necesidades del cliente*

Antes de comenzar la el desarrollo del prototipo debe identificarse qué necesita el cliente saber lo que quieren y por qué. Una buena investigación al cliente nos ayudara a encontrar lograr un producto final aceptable en base a parámetros de servicio y calidad.

###### 3.1.1.1. *Población de estudio*

La población de estudio está compuesta por las diferentes asociaciones, comercializadoras y empresas de la industria plástica de la ciudad de Riobamba. En forma perceptiva se ha determinado que hay entre 8 y 10 comercializadoras de residuos sólidos.

###### 3.1.1.2. *Unidad de análisis*

La unidad de análisis identificada para la investigación es la obtención de fibra de poliéster a partir de botellas de plástico reciclado Pet, que sea de calidad aceptable en base a parámetros de la industria textil de bajo costo y tiempo para su producción. Los elementos en los que recae la obtención de información y que deben de ser definidos para efectos de obtener la información son



las diferentes asociaciones de recicladores, centros de reciclado particular y municipal de Riobamba, y empresas de la industria plástica y afines.

### 3.1.1.3. Selección de la muestra

Para el presente estudio se ha escogido como muestra a las diferentes asociaciones de recicladores, centros de reciclado particular y municipal de la ciudad, y empresas de la industria plástica y afines, comercializadoras de residuos sólidos (plásticos), unas formales reconocidas legalmente, tanto con patente municipal, como con número de registro único de contribuyentes (RUC), donde se elaborará el diagnóstico investigativo.

### 3.1.1.4. Tamaño de la muestra

Para determinar el tamaño de la muestra que se utiliza en la investigación se ha aplicado un muestreo no probabilístico, de juicio, con el criterio de seleccionar aquellas comercializadoras que compran residuos sólidos (plásticos) y que son reconocidas legalmente en la ciudad de Riobamba. En un recorrido se determinó que cumplen estas condiciones 8 comercializadoras, aplicaremos la siguiente fórmula para determinar el tamaño de la muestra ser analizado:

$$n = \frac{k^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{(e^2 \cdot (N - 1)) + k^2 \cdot p \cdot q}$$

Dónde:

k= Constante para definir el nivel de confianza de la muestra, el valor de k dependerá del nivel que se pretenda dar, en nuestro caso el nivel de confianza es del 95 %, por lo que k= 1.96

p= Es la proporción de individuos que poseen las características de estudio, en nuestro caso es del 80 %.

q= Es la proporción de individuos que no poseen las características de estudio, y se define como 1 – p.

N= Es el número total de la población.

e= Es el error muestral deseado y se mide en porcentaje, 5 %

$$n = \frac{1.96^2 * 0.8 * 0.2 * 8}{(0.05^2 * (8 - 1)) + (1.96^2 * 0.8 * 0.2)}$$

$$n = 7,7785$$

$$n = 8$$

#### *3.1.1.5. Técnica de recolección de datos*

En la Tabla 1-3. se muestran las técnicas de recolección de información para el desarrollo del proyecto; mediante charlas, encuestas, observaciones, entrevistas y grupos de discusión o focales que se pueden emplear durante el desarrollo de la investigación.

**Tabla 1-3.** Técnicas de recolección de información.

<b>Técnica</b>	<b>Descripción.</b>
Charlas	Las charlas son mecanismos con los cuales se puede involucrar a un grupo es un tema específico, orientando discusiones moderadas para determinar algunas ideas previas, para determinar puntos de vista, opiniones, y para dar o generalizar alguna información que la fuente quiera transmitir al grupo o viceversa. Las charlas dadas a los estudiantes se encaminaron a orientar sobre el quehacer diario del reciclaje como un instrumento o mecanismo para el cuidado del entorno.
Encuestas	Las encuestas son mecanismos de recolección de datos e informaciones que se aplican a personas, grupos o una muestra de individuos que es solo una porción de la población y cuya finalidad es obtener la mayor cantidad de datos en un tiempo corto con preguntas que orientan la investigación a un fin particular. Las encuestas aplicadas a los integrantes de la muestra de esta propuesta buscaban determinar algunos datos personales para caracterizar la muestra, luego se orientaron hacia el conocimiento de las cualidades de la fibra y del reciclaje en particular y de la forma de ver esta actividad y a sus actores.
Observaciones de campo	Las observaciones conducen a una mejor comprensión del caso. El plan de observación se va perfilando mediante los temas a tratar. Durante la observación se registran los acontecimientos para ofrecer una descripción para el análisis y el informe final. Deja que la ocasión cuente su historia, la situación, el problema, la resolución o la irresolución del problema. Permite analizar informaciones no textuales, como comportamientos, gestos y otro tipo de información que no es perceptible de manera oral o escrita. Para esta propuesta de aula se realizó un observador de campo, en el que se recogieron datos importantes para el análisis de la información, especialmente sobre los comportamientos y opiniones de la muestra seleccionada.
Entrevistas	Se emplea para recolectar información verbal, a través de preguntas que propone el analista. Quienes responden pueden ser los elegidos de una muestra. El analista puede entrevistar al personal en forma individual o en grupos. Es la técnica más significativa y productiva de que dispone el analista para recabar datos. En otras palabras, la entrevista es un intercambio de información que se efectúa cara a cara. Es un canal de comunicación entre el analista y su muestra y sirve para obtener información acerca de las necesidades y la manera de satisfacerlas. Por otra parte, la entrevista ofrece al analista una excelente oportunidad para establecer una corriente de simpatía con

Realizado por: Lenin Guerra, 2021

	el personal o los individuos de la muestra, lo cual es fundamental para el desarrollo de la propuesta. Para esta propuesta la entrevista se realizó al final de la aplicación.
Grupo Focal	La técnica de los grupos focales es una reunión con modalidad de entrevista grupal abierta y estructurada, en donde se procura que un grupo de individuos seleccionados por los investigadores discutan y elaboren, desde la experiencia personal, una temática o hecho social que es objeto de investigación, por ejemplo, una detección de necesidades de capacitación. Si se logra generar un ambiente adecuado y se controlan las variables necesarias, se obtiene información valiosa tanto del contexto, relaciones y actores directamente involucrados en la temática en estudio.

Se realiza la recolección de datos por medio de entrevistas como instrumento primario. Los datos de la muestra indican que la transformación de envases de Pet reciclados en fibras a través de distintos procesos permite dar un valor agregado a esta parte de residuos, además de restituir su valor económico, pasando de ser una actividad recolectiva a productiva que favorecerá especialmente a pequeños recicladores.

### **3.1.2. Definición del alcance**

El alcance de la investigación detalla la problemática de las limitaciones tecnológicas en el proceso de recuperación de envases plástico Pet reciclado en la ciudad de Riobamba, el cual se realiza actualmente de forma recolectiva. De ahí que la creación de una máquina que produzca fibra a partir de envases de Pet permitirá restituir su valor económico además de disminuir los daños al ambiente en la ciudad de Riobamba

Esta restitución debe favorecer a los pequeños recicladores generando un mayor beneficio económico para las familias sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos, es por ello que este insumo de plástico actualmente desperdiciado, puede convertirse en múltiples materiales como hilo plástico, de utilidad en el sector industrial y doméstico.

### **3.1.3. Técnicas para identificar requisitos funcionales y no funcionales**

Ya que los requerimientos de sistemas de producción de fibras se clasifican en funcionales y no funcionales, se deben tener en cuenta las siguientes técnicas para la identificación correcta.

#### **3.1.3.1. Identificación de Requerimientos funcionales**

Los requerimientos funcionales son declaraciones de los servicios que proveerá el sistema, de la manera en que éste reaccionará a entradas particulares.

Muchos de los problemas de la ingeniería textil provienen de la imprecisión en la especificación de requerimientos. Para un desarrollador de sistemas es natural dar interpretaciones de un requerimiento ambiguo con el fin de simplificar su implementación. Sin embargo, a menudo no es lo que el cliente desea. Se tienen que estipular nuevos requerimientos y se deben hacer cambios al sistema, retrasando la entrega de éste e incrementando el costo.

#### **3.1.3.2. Identificación de Requerimientos no funcionales**

Son aquellos requerimientos que no se refieren directamente a las funciones específicas que entrega el equipo, sino a las propiedades emergentes de éste como la fiabilidad, la respuesta en el tiempo y la capacidad de procesamiento.

Los requerimientos no funcionales, surgen de la necesidad del usuario, debido a las restricciones en el presupuesto, a las políticas de la organización o a factores externos como los reglamentos de seguridad, las políticas de privacidad, entre otros.

Estos diferentes tipos de requerimientos se clasifican de acuerdo con sus implicaciones.

- *Requerimientos del producto.* Especifican el comportamiento del producto; como los requerimientos de desempeño en la rapidez de ejecución del equipo; los de fiabilidad que fijan la tasa de fallas para que el producto sea aceptable; los de portabilidad y los de usabilidad.
- *Requerimientos organizacionales.* Se derivan de las políticas y procedimientos existentes en la organización del cliente: estándares en los procesos que deben utilizarse; requerimientos de implementación como el método de diseño a utilizar, y los requerimientos de entrega que especifican cuándo se entregará el producto y su documentación.
- *Requerimientos externos.* Se derivan de los factores externos al sistema y de su proceso de desarrollo. Incluyen los requerimientos de interoperabilidad que definen la manera en que el sistema interactúa con los otros sistemas del prototipo. Estos últimos son impuestos al sistema para asegurar que será aceptado por el usuario.

### **3.2. Despliegue de la función de calidad (QFD)**

El análisis QFD, ver Figura 2-3 nos permite trasladar o transformar los deseos del cliente en especificaciones técnicas correctas, que ayuden a proceder al diseño de un producto que satisfaga las necesidades del cliente.

Muy positiva ⊙  
 Positiva ○  
 Negativa +  
 Muy negativa ✕

Factor de incidencia

Fuerte = 9 ⊙  
 Media = 3 ○  
 Baja = 1 ▽

Factor de venta

Fuerte = 1.5 ●  
 Posible = 1.2 ●  
 Ninguno = 1

								A	B	C	E	F	G	H	I		
		Consumo de energía	No generar calor excesivo	Capacidad de producción	Materiales resistentes	Diseño y selección de equipos y elementos adecuados	Mantenimiento	Peso de prototipo	Dimensiones del prototipo adecuada para la actividad	Importancia	Alternativa B	Alternativa A	Objetivo	Índice de mejora	Factor de venta	Ponderación	Ponderación %
DESEMPEÑO	Facil de operar		○					○		3	3	3	4	1.3	●	4.8	10.1
	Ventaja mecánica	▽		○						3	2	2	4	2		6	13
	Eficiencia			⊙						4	3	3	4	1.3	●	8	16.8
	Eficacia			○						4	3	4	4	1.3		5.3	11.2
TAMAÑO	Tamaño							○	⊙	2	3	1	3	1	●	2.4	5.0
MANTENEABILIDAD	Durabilidad				⊙	○				3	3	3	4	1.3		4	8.4
	Facil limpieza						⊙		▽	3	2	2	3	1.5		4.5	9.5
	Facil consecución de repuestos					⊙	○			2	3	3	3	1		2	4.2
SEGURIDAD	Riesgo al operario		⊙		○				○	3	2	3	2	1		3	6.3
COSTOS	Economico	▽		○						5	4	2	4	1	●	7.5	15.8
																48	100

Alternativa A

3	2	4	3	4	3	2	3
---	---	---	---	---	---	---	---

Alternativa B

4	2	3	3	4	4	4	4
---	---	---	---	---	---	---	---

Incidencia

14	41	45	45	30	47	22	35	278
----	----	----	----	----	----	----	----	-----

Incidencia %

4.9	14.9	16.0	16.2	10.8	16.8	7.8	13	100
-----	------	------	------	------	------	-----	----	-----

**Figura 2-3.** Casa de la calidad.  
**Realizado por:** Lenin Guerra, 2021

Mediante el análisis del QFD se puede observar que el cómo a realizar y mejorar es el diseño y selección de equipos y elementos adecuados para el funcionamiento del nuevo prototipo.



### **3.3. Características técnicas del equipo**

En esta sección se tratarán y expondrán alguno de los requerimientos del usuario sobre el problema presentado y cómo la ingeniería transforma esos requerimientos a especificaciones técnicas teniendo a las dos partes conformes y con sus expectativas cumplidas (sites.google, <https://sites.google.com/site/metodologiareq/capitulo-i>)

Características técnicas del prototipo son:

*Material:* Acero A36 parte estructural, Acero inoxidable AISI 304 calibre 12 el colector

*Capacidad procesamiento:* 20 kg/h

*Sistema de volteo:* Manual

*Alimentación:* 110/220 V

*Transportable*

### **3.4. Diseño conceptual de equipos**

La proyección de los equipos para producir fibras, tiene su sustento en la determinación de los siguientes factores:

1. Equipo de hilatura.
2. Necesidad o demanda de envases a procesar.

#### ***3.4.1. Equipos de transformación de polímeros en fibras***

Existen variedad de equipos y sistemas de transformación de polímeros entre ellos el Pet en fibras, que serán analizados en sus características básicas, y que su estudio, diseño, proyección, construcción, funcionamiento están relacionados con las ciencias de la ingeniería mecánica.

#### ***3.4.2. Formulación de alternativas***

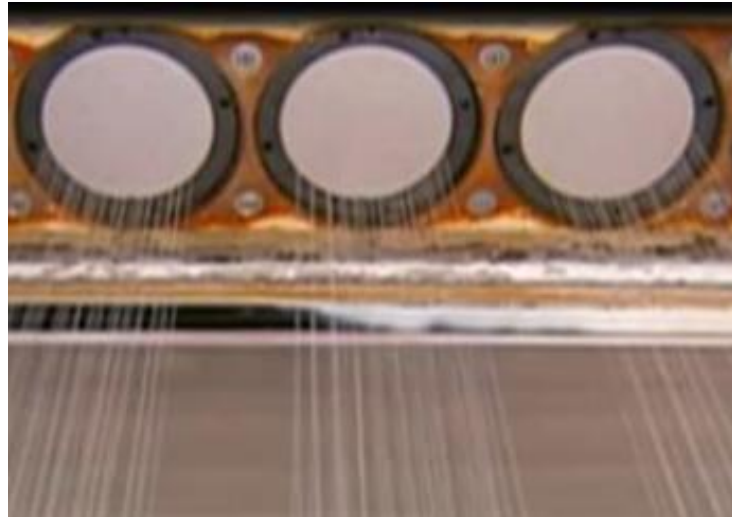
Para la formulación de alternativas, se realiza una investigación de los diferentes equipos, existentes en el mercado, conociendo los requerimientos del cliente y a través de ello proponer un prototipo que brinde los beneficios en eficiencia y calidad. En fábricas y talleres donde se construyen estos equipos, su costo es elevado de acuerdo a las características especificadas, es por esto que se plantean dos alternativas, de entre las cuales se escogerá la que cumpla con los parámetros de funcionamiento establecidos por el cliente.

El procedimiento a seguir, es observar las diferencias de las alternativas planteadas a través de sus ventajas y desventajas, luego realizar un cuadro comparativo entre éstas y proceder a escoger la mejor, de acuerdo al tipo de funcionalidad que desempeña cada equipo.

### 3.4.2.1. Análisis de alternativas

De acuerdo a una variedad de combinaciones de equipos y aparatos empleados para la obtención de fibras, se tienen las siguientes alternativas, de equipos de formación de fibras (hilatura).

#### **Alternativa 1. (Hilatura por extrusión)**



**Figura 3-3.** Hilera para formar la fibra de poliéster (Spinneret).  
**Fuente:** (Tecnología de los Plásticos, 2012).

#### **Funcionamiento**

El proceso de producción de fibras empieza por la materia prima fundida. El proceso de hilatura, consiste en forzar o bombear la solución de hilatura a través de los pequeños orificios de una hilera para formar la fibra. Las hileras son una especie de colador muy fino donde entra la mezcla en estado líquido y sale para solidificarse.

#### **Ventajas**

Algunas ventajas que diferencian este proceso son:

- Se puede aplicar en una gran variedad de formas, especialmente con extrusión en caliente.
- Tiene la destreza y soltura para originar secciones transversales de suma complejidad con materiales que son frágiles y rompibles.
- Puede ser aplicado a materiales como LDPE, PVC entre otros.
- No genera desperdicios.
- No genera residuos tóxicos, ni ruidos molestos en su funcionamiento, es amigable con el medio ambiente.

#### **Desventajas**

- Una desventaja es la geometría de la sección transversal que debe ser la misma largo de toda la parte.
- Elevado costo.

### **Alternativa 2. (Hilatura por centrifugación)**



**Figura 4-3.** Mecanismo de formación de fibras centrifugo.

**Realizado por:** Lenin Guerra, 2021

### **Funcionamiento**

Una vez recolectado, clasificado, lavado, secado y triturado el Pet, se obtiene hojuelas de este material que luego es fundido para que a través de un sistema de centrifugado se produzca el proceso de hilatura, donde se transforma el Pet en filamento, es decir, en la fibra textil.

### **Ventajas**

Algunas ventajas que diferencian este proceso son:

- Es muy versátil, ya que ocupa un lugar reducido en su conjunto.
- Es económica comparada con otras tecnologías existentes en el mercado.
- Bajo costo de construcción, mantenimiento, costo de operación.

### **Desventajas**

- Este proceso no puede ser aplicado a otros materiales poliméricos, como LDPE, PVC entre otros.

### 3.4.2.2. Metodología de evaluación y resultados

En esta etapa se procede a evaluar las alternativas de solución planteadas con el fin de reducir las opciones de solución a uno del producto, el cual posteriormente se evaluará para llegar al concepto solución.

#### **Criterios de evaluación**

Según (Guerra, 2014), las necesidades de operarios y clientes, se generan diversos criterios de evaluación, los cuales tienen mucho peso sobre la puntuación final de una alternativa. Los criterios de evaluación que se implementaran son los siguientes, como se muestra en la Tabla 2-3.

**Tabla 2-3.** Criterios de evaluación.

<b>Criterios de evaluación.</b>	
1. Desempeño.	1. Fácil de operar.
	2. Ventaja mecánica.
	3. Eficacia.
	4. Eficiencia.
2. Tamaño.	5. Tamaño.
3. Mantenebilidad.	6. Durabilidad.
	7. Fácil limpieza.
	8. Fácil consecución de repuestos.
4. Seguridad.	9. Riesgo al operario.
5. Costos.	10. Económico.

**Fuente:** (Guerra, 2012)

**Realizado por:** Lenin Guerra, 2021

La selección de los criterios de evaluación se hace a partir de las necesidades expresadas por los requerimientos técnicos del proyecto y el beneficio de la industria.

#### **Descripción de los criterios**

- *Fácil de operar.* Se refiere a que sea sencilla la manipulación del equipo, teniendo en cuenta la fuerza humana y de propulsión inherentes al proceso (Guerra, 2014).
- *Ventaja mecánica.* Se refiere a minimizar el esfuerzo humano y el gasto de energía de la fuente motriz del proceso (Guerra, 2014).
- *Eficacia.* Se refiere a la capacidad con la que cuenta un dispositivo para realizar un determinado trabajo (Guerra, 2014).
- *Eficiencia.* Se refiere a la relación entre lo producido y lo invertido, es decir, hace referencia a las pérdidas de energía generadas por un dispositivo (Guerra, 2014).

- *Tamaño.* Se plantea que entre mayor tamaño posea una alternativa, la calificación obtenida será menor (Guerra, 2014).
- *Durabilidad.* Indica el tiempo en operación que requiere una alternativa de solución para ser reemplazada por no cumplir adecuadamente su función (Guerra, 2014).
- *Fácil limpieza.* La limpieza debe ser sencilla; se califica este criterio dependiendo de la facilidad con que se pueda acceder al elemento de interés y teniendo en cuenta si se requiere desmontaje (Guerra, 2014).
- *Fácil consecución de repuestos.* Es importante conseguir un elemento que ha fallado, de manera fácil, ya que de esto depende la continuidad en el funcionamiento del equipo (Guerra, 2014).
- *Riesgo al operario.* La seguridad en el equipo es muy importante para garantizar el bienestar del operario (Guerra, 2014).
- *Económico.* El valor económico de la alternativa de solución se asume como criterio de evaluación, debido a que se busca un equipo que cumpla todas las funciones al menor costo posible (Guerra, 2014).

### **Criterios de evaluación**

La selección de los criterios de evaluación se hace a partir de las necesidades expresadas por los requerimientos técnicos del proyecto y el beneficio de la industria.

**Tabla 3-3.** Ponderación, criterios de evaluación

1. Tamaño.
2. Mantenebilidad.
3. Eficacia.
4. Eficiencia.
5. Costos de fabricación

**Fuente:** (Guerra, 2012)

**Realizado por:** Lenin Guerra, 2021

### **Calificación resultados**

Se utiliza la puntuación obtenida de la matriz de puntuación ver ANEXO J.

### **Resultados**

En base a los datos obtenidos en el cuadro comparativo la mejor alternativa para este caso es la alternativa A2, con un porcentaje del 70.5 %, de la puntuación total otorgada.

### **3.5. Parámetros de diseño**

Para el diseño del prototipo es necesario tener los lineamientos a seguir durante el desarrollo del proceso de producción de la fibra, con la finalidad de generar pautas acordes con los objetivos, estos lineamientos están basados en:

- Personal, referido al operario de la máquina.
- Condiciones de operación, referido a capacidad de producción.
- Conducta del proceso, referido a calidad del producto.

### **3.6. Descripción del proceso de producción**

El proceso de producción es el procedimiento técnico que se utiliza en el proyecto (López, 2016) para generar fibras a partir de envases Pet reciclados. El proceso se dividió en tres fases, la primera fase se enfoca en el tratamiento de la materia prima y las siguientes en la preparación y fabricación del Pet reciclado para la obtención de fibra.

El proceso experimental inicia con el reciclaje de 1000 botellas de Pet de agua y bebidas carbonatadas. Las botellas se clasificaron, se trituraron, transformándose en 20 Kg de Pet triturado, en promedio 20 a 23 g de hojuelas por botella.

A continuación, se describen las diferentes etapas del proceso de producción de fibras de Pet reciclado.

#### **3.6.1. Etapa 1**

Las botellas son recolectadas y recicladas, es la etapa destinada a la realización de las siguientes tareas:

- Recepción y descarga de los envases de los proveedores.
- Verificar que las botellas sean de Pet y no de otro material como PP, PEBD, PEAD, etc (López, 2016).
- Verificar que las botellas no estén sucias con aceites, pinturas, etc.
- Las botellas no estén llenas de agua u otros líquidos (López, 2016)
- Las botellas sean de material uniforme Pet cristal (incoloro) (López, 2016).

En las Figura 5-3 a), b) muestra la actividad de clasificación de botellas Pet recicladas.



a)



b)

**Figura 5-3.** Clasificación de botellas recicladas a) y b).  
Realizado por: Lenin Guerra, 2021

### 3.6.2. *Etapa 2*

En esta etapa se transforman las botellas en escamas, aquí participa el equipo para este trabajo, el mismo se seleccionó porque se encuentra disponible en el mercado local además de adecuarse a la cantidad y calidad de Pet a triturar, el equipo seleccionado es apropiado para procesar plásticos como Pet, LDPE, PVC, etc. Está equipado con cuchillas rotatorias y fijas, hechas de acero con manganeso para mayor duración. Su función es reducir las botellas de Pet en hojuelas de (8-12 mm). En el ANEXO E, se encuentran las características técnicas de la máquina picadora seleccionada para este fin.

En este paso, las botellas seleccionadas son introducidas en la garganta del molino, el cual tritura la botella hasta obtener escamas. Posteriormente pasan a través de una criba metálica y caen dentro del contenedor, sus características son:

- Dimensiones: 1.2 x 1.0 x 0.75 mts.
- Dimensiones de apertura: 0.65 x .40 mts.
- Peso: 40 kg.
- Potencia del motor: 3 hp = 14.914 kw.
- Capacidad: 50 kg de plásticos por hora.
- Costo: \$ 1100.00

Este equipo es de capacidad pequeña a comparación de otros equipos, y de fácil mantenimiento. Las Figuras 6-3 a), b) y c) se muestra la actividad de picado de las botellas Pet recicladas.



a)



b)

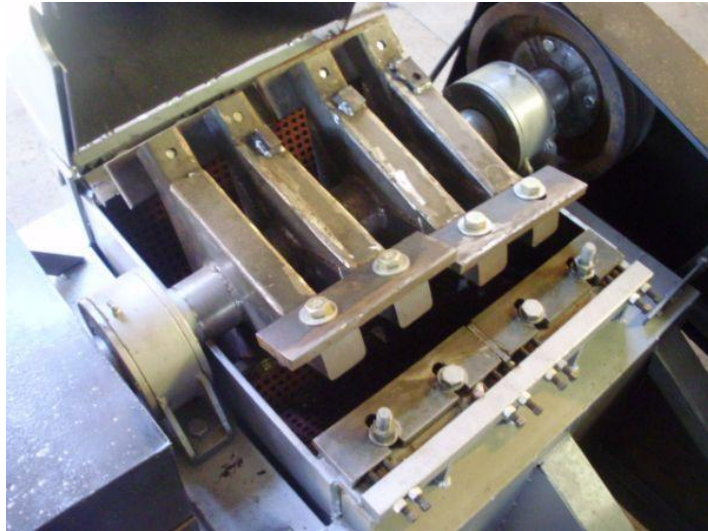




c)

**Figura 6-3.** Molienda de envases a), b) y c).

Realizado por: Lenin Guerra, 2021



**Figura 7-3.** Trituradora de Pet interior de molino para plásticos.

Realizado por: Lenin Guerra, 2021



**Figura 8-3.** Criba de molino.  
Realizado por: Lenin Guerra, 2021

El tamaño de las hojuelas está dado por el diámetro de los orificios de la criba como se muestra en la Figura 8-3, en las Figuras 9-3 se muestra el producto final de escamas de Pet obtenidas.



**Figura 9-3.** Hojuelas de Pet.  
Realizado por: Lenin Guerra, 2021

### 3.6.3. *Etapa 3*

Etapa del proceso de hilado, donde las fibras son obtenidas por la centrifugación de la solución polimérica, donde la solución es expulsada del cabezal giratorio, el chorro polimérico se somete a un proceso de estiramiento y se enfría y endurece al hacer contacto con el aire y finalmente se deposita en el colector, formando fibras solidificadas.



**Figura 10-3.** Hilado de fibras de Pet.  
**Realizado por:** Lenin Guerra, 2021

### 3.7. Elementos de diseño

#### 3.7.1. *Unidad de alimentación de solución*

Dicho sistema incluye la fase de preparación y abastecimiento del material fundido. El conjunto comienza por el almacenamiento y preparación de una cantidad de material molido en resina que se lleva dentro del cilindro contenedor, el cual incluye la instalación de una unidad de generación de calor, para su posterior traslado a la siguiente unidad, y llevar el material desde el contenedor al cabezal, mediante un sistema de transporte por canal.

##### 3.7.1.1. *Diseño térmico del contenedor de Pet*

El diseño térmico del sistema se basará en los datos obtenidos para obtener un eficiente sistema de fusión de plástico por las resistencias eléctricas. Para una correcta toma de decisiones se realizaron pruebas que permitieron conocer datos importantes para el desarrollo del diseño térmico del sistema, como son:

- Tiempos de fusión del plástico.
- Aislante térmico (tipo y espesor).
- Energía necesaria para fundir el polímero.
- Posición de las resistencias eléctricas.
- Pérdidas de energía con el ambiente.

##### 3.7.1.2. *Determinación de energía a utilizar en el proceso*

La masa de polímero requiere cierta cantidad de energía calorífica para elevar su temperatura hasta un punto tal que permita su procesamiento. El calor necesario se lo genera por medio de

resistencias eléctricas colocadas de tal forma que se aproveche al máximo la energía entregada. La cantidad de energía se calcula con la siguiente ecuación (Maldonado & Vega, 2010):

$$Q_f = m * c_p * (T_f - T_i)$$

También se calculan las pérdidas de calor con el ambiente, y así conocer la potencia y la resistencia que deberán tener los calefactores para fundir al plástico y compensar las pérdidas por convección y radiación calculadas, por lo tanto, el proceso tiene el siguiente balance energético:

$$P = Q_f + Q_c + Q_r$$

Dónde:

P= Potencia requerida de las resistencias, (W)

Qc= Calor perdido por convección, (W)

Qr= Calor perdido por radiación, (W)

Qf= Calor necesario para fundir el plástico, (W)

### 3.7.1.3. Dimensiones del cilindro

Volumen del cilindro.

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

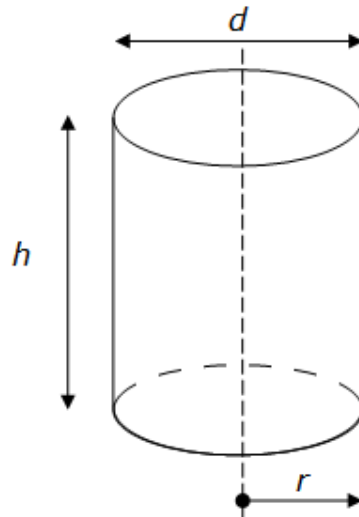
Dónde:

d= 20 cm

h= 28,5 cm

$$V = \pi * 0.10^2 * 0.285$$

$$V = 0.00895 \text{ m}^3$$



**Figura 11-3.** Dimensiones de contenedor.  
Realizado por: Lenin Guerra, 2021

#### 3.7.1.4. Masa de plástico Pet a fundir

La masa de Pet a fundir está determinada por la ecuación (Maldonado & Vega, 2010):

$$m = \rho * V$$

Dónde:

$\rho$ = Densidad de Pet, ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

V= Volumen de Pet a fundir, ( $\text{m}^3$ )

$$m = 0.17 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 0.0087 \text{ m}^3 * \frac{(100 \text{ cm})^3}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ lb}}{453.592 \text{ g}}$$

$$m = 3.26 \text{ lb} = 1.47 \text{ kg}$$

Dónde la masa a fundir es de 1.47 kg, con este dato se realizará el cálculo del calor de fusión para toda esa masa y así conocer el flujo de energía necesario para llevar al material hasta su punto de fusión en cierto tiempo. La masa representa alrededor del 10% de todo el material empleado en esta investigación.

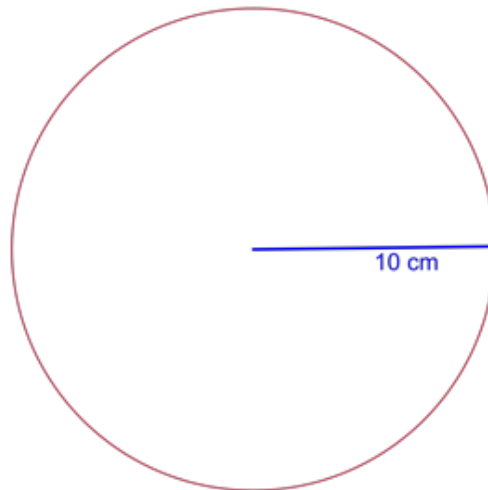
#### 3.7.1.5. Áreas de transferencia de calor

El recipiente posee tres áreas de transferencia de calor mismas que son sus paredes horizontales superior e inferior, por otro lado, la pared vertical es en estas áreas es donde va a existir el flujo de calor hacia el plástico.

Las áreas a tomar en cuenta para calcular las pérdidas serán las que están expuestas al ambiente y así obtendremos la energía entregada a los alrededores por convección y radiación (Maldonado & Vega, 2010).

### Áreas horizontales de convección y conducción

#### Área 1



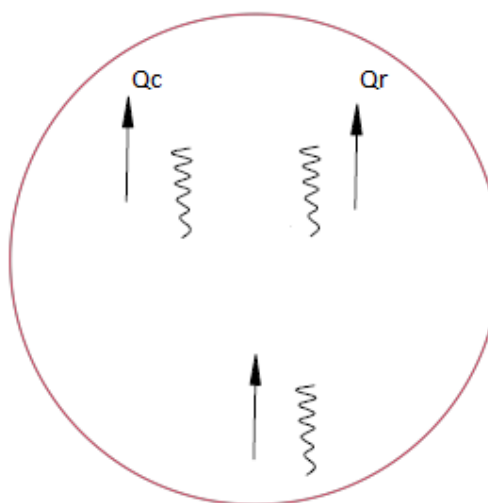
**Figura 12-3.** Área horizontal inferior de convección y radiación.

Realizado por: Lenin Guerra, 2021

$$A1 = \pi \times r^2$$

$$A1 = \pi \times 0.10^2$$

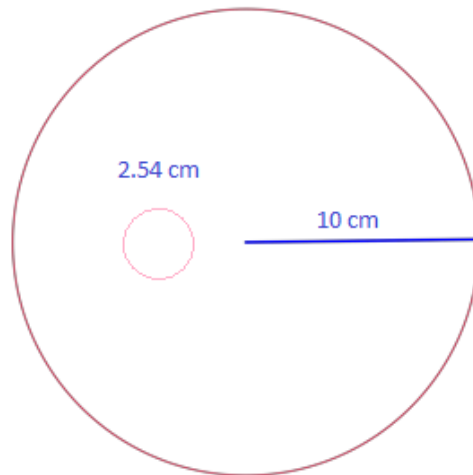
$$A1 = 0.0314 \text{ m}^2$$



**Figura 13-3.** Área de convección y radiación inferior.

Realizado por: Lenin Guerra, 2021

## Área 2

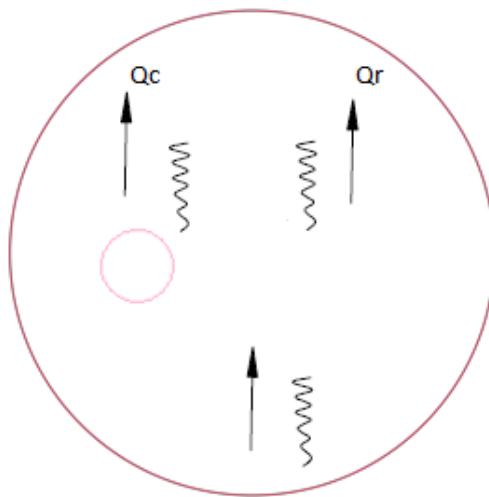


**Figura 14-3.** Área de convección y radiación superior.  
Realizado por: Lenin Guerra, 2021

$$A_2 = \pi \times r_1^2 - \pi \times r_2^2$$

$$A_2 = \pi \times 0.10^2 - \pi \times 0.0254^2$$

$$A_2 = 0.0293 \text{ m}^2$$



**Figura 15-3.** Área horizontal de convección y radiación.  
Realizado por: Lenin Guerra, 2021

## Área vertical de convección, conducción y radiación

## Área 3



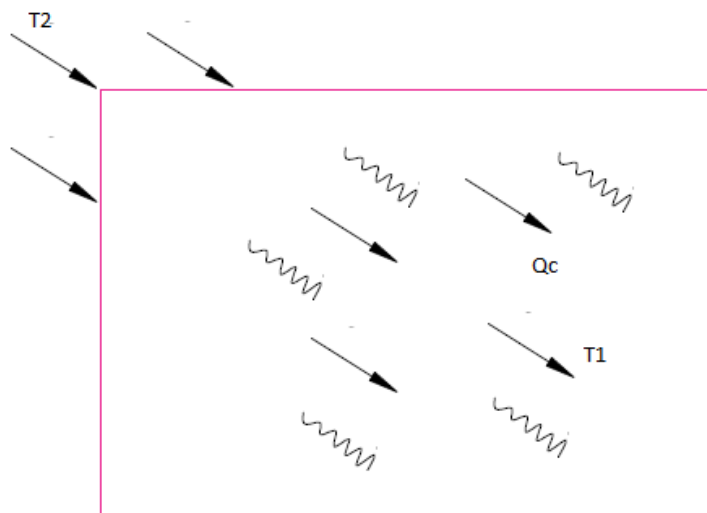
**Figura 16-3.** Área vertical de convección, conducción y radiación.  
 Realizado por: Lenin Guerra, 2021

$$A_{cv} = 2 \times \pi \times r \times h$$

$$A_{cv} = 2 \times \pi \times 0.10 \times 0.285$$

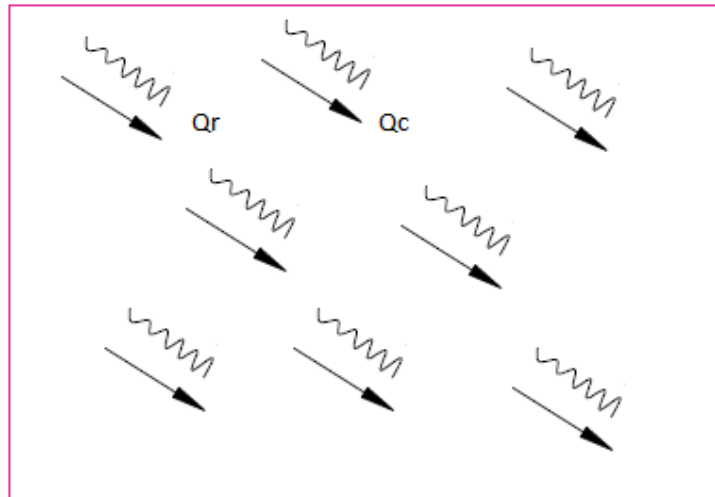
$$A_{cv} = 0.179 \text{ m}^2$$

En las Figuras 16-3, 17-3 se muestra las áreas verticales de conducción, convección y radiación.



**Figura 17-3.** Área vertical de conducción.  
 Realizado por: Lenin Guerra, 2021





**Figura 18-3.** Área vertical de convección, conducción y radiación.  
Realizado por: Lenin Guerra, 2021

### 3.7.1.6. Calor de fusión

Las resistencias eléctricas generan un flujo de energía hacia dos direcciones. Una de ellas es la que permite el aumento de temperatura del plástico hasta llevarlo a su punto de fusión, para la cual se tiene un control para mantener constante dicha temperatura, hasta lograr que todo el volumen se encuentre en el mismo estado. El otro flujo de calor se da hacia los alrededores, transfiriendo energía primero por conducción, hasta llegar a la superficie exterior, y desde la misma por convección y radiación al ambiente, generando pérdidas.

A continuación, se detalla el cálculo realizado para obtener el flujo de calor necesario para fundir el plástico en el tiempo deseado.

- **Masa de plástico.**

$$masa_{Pet} = 1.47 \text{ kg}$$

- **Calor específico del Pet.**

$$cp_{Pet} = 1200 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \times ^\circ\text{K}}$$

- **Temperatura de fusión del Pet.**

$$T_{fun} = 260 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- **Temperatura ambiente.**

$$T_{amb} = 16 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- **Calor teórico necesario para elevar la temperatura del Pet a su punto de fusión.**

$$Q_f = m_{\text{Pet}} \times c_{p\text{Pet}} \times (T_{\text{fun}} - T_{\text{amb}})$$

Dónde:

$Q_f$  = Calor necesario para elevar la temperatura.

$m$  = Masa de plástico.

$c_p$  = Calor específico del polímero.

$T_{\text{amb}}$  = Temperatura inicial.

$T_{\text{fun}}$  = Temperatura final.

$$Q_{\text{fun}} = 1.47 \text{ kg} \times 1200 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \times ^\circ\text{C}} \times (260 - 16) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{fun}} = 430,416 \times 10^3 \text{ Joules}$$

- **Tiempo propuesto para elevar la temperatura.**

$$t_f = 600 \text{ s} = 10 \text{ min}$$

- **Flujo de calor requerido hacia el plástico.**

$$Q_f = \frac{Q_{\text{fun}}}{t_f}$$

$$Q_f = \frac{430,416 \times 10^3 \text{ Joules}}{600 \text{ s}}$$

$$Q_f = 717.36 \text{ watts}$$

### 3.7.1.7. Calor perdido total.

Las pérdidas de calor en el sistema serán calculadas de acuerdo a las descritas anteriormente para los diferentes casos.

### **Pérdidas por convección**

#### **Cálculo del coeficiente de convección**

Para hallar el valor del coeficiente de convección se necesita considerar variables como:

- a) Propiedades del aire para el cálculo del coeficiente de convección.

v	Viscosidad Cinemática
k	Conductividad Térmica
$\alpha$	Difusividad Térmica
Pr	Número de Prandtl

**b) Número de Rayleigh.**

Variable que depende de ciertas propiedades del aire y del tipo de flujo, sea laminar o turbulento, y se lo calcula con la siguiente fórmula:

$$Ra = \frac{g \cdot B \cdot (T_1 - T_2) \cdot L^3}{v \cdot \alpha}$$

Para flujo laminar:  $Ra \leq 10^9$

Dónde:

$T_1$ = Temperatura de pared, (°K)

$T_2$ = Temperatura ambiente, (°K)

G= gravedad, (m<sup>2</sup>/s)

$v$ = Viscosidad cinemática, (m<sup>2</sup>/s)

$\alpha$ = Difusividad térmica, (m<sup>2</sup>/s)

$$B = \frac{1}{\left(\frac{T_1 - T_2}{2}\right)}, \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$$

Para placas verticales:

L: Alto de la placa, (m)

Para placas horizontales:

$$L = \frac{A_s}{P}$$

Dónde:

$A_s$ = Área de placa, (m)

P= Perímetro de la placa, (m)

**c) Número de Nusselt**

Para:  $Ra \leq 10^9$

$$\text{Nu} = 0.68 + \frac{0.67 \cdot \text{Ra}^{1/4}}{[1 + (0.492/\text{Pr})^{9/16}]^{4/9}}$$

**Coefficiente de convección:**

$$h = \frac{k}{L} \cdot \text{Nu} \quad \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

Dónde:

k= coeficiente de conductividad térmica del fluido

### **Cálculo de pérdidas por convección**

A continuación se obtienen las propiedades del aire para el cálculo del coeficiente de convección h.

#### **Propiedades del aire:**

- A 250 °K -23°C

$$\nu_1 = 11.44 \times 10^{-6}$$

$$k_1 = 22.3 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_1 = 15.9 \times 10^{-6}$$

$$\text{Pr}_1 = 0.72$$

- A 300 °K 27°C

$$\nu_2 = 15.89 \times 10^{-6}$$

$$k_2 = 26.3 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_2 = 22.5 \times 10^{-6}$$

$$\text{Pr}_2 = 0.707$$

- A 350 °K 77°C

$$\nu_3 = 20.92 \times 10^{-6}$$

$$k_3 = 30 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_3 = 29.9 \times 10^{-6}$$

$$Pr_3 = 0.7$$

**Temperatura exterior**

$$T_{ext} = 76 \text{ }^\circ\text{C}$$

**Temperatura media**

$$T_m = \frac{T_{ext} + T_{am}}{2}$$

$$T_m = \frac{T_{ext} + T_{am}}{2}$$

$$T_m = 321 \text{ }^\circ\text{K}$$

**Interpolación para obtener propiedades del aire a temperatura media ( $T_m$ )**

$$a = \frac{350 - 300}{350 - T_m}$$

$$v = v_3 - \left( \frac{v_3 - v_2}{a} \right)$$

$$v = 1.8 \times 10^{-5}$$

$$k = k_3 - \left( \frac{k_3 - k_2}{a} \right)$$

$$k = 0.028$$

$$\alpha = \alpha_3 - \left( \frac{\alpha_3 - \alpha_2}{a} \right)$$

$$\alpha = 2.561 \times 10^{-5}$$

$$Pr = Pr_3 - \left( \frac{Pr_3 - Pr_2}{a} \right)$$

$$Pr = 0.703$$

Datos obtenidos:

**Tabla 4-3.** Propiedades de aire.

$g$ (m <sup>2</sup> /s)	$k$ (W/m.°K)	$\alpha$ (m <sup>2</sup> /s)	$\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	Pr
9.8	0.028	$2.561 \times 10^{-5}$	$1.80 \times 10^{-5}$	0.703

Realizado por: Lenin Guerra, 2021

### Coefficiente de expansión

$$B = \frac{1}{T_m}$$

$$B = 3.115 \times 10^{-3} \frac{1}{^\circ\text{K}}$$

Se usarán las ecuaciones que se apliquen para convección libre, debido a que la transferencia de calor será al aire en condiciones ambiente.

- **Para la placa vertical**

$$L_v = 0.285 \text{ m}$$

Número de Rayleigh

$$Ra_{Lv} = \frac{g \cdot B \cdot (T_{ext} - T_{amb}) \cdot L_v^3}{\nu \cdot \alpha}$$

$$Ra_{Lv} = \frac{\left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \left(3.115 \times 10^{-3} \frac{1}{^\circ\text{K}}\right) (349.15 - 289.15)^\circ\text{K} (0.285)^3 \text{ m}^3}{\left(1.8 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right) \left(2.561 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right)}$$

$$Ra_{Lv} = 9.1978828 \times 10^7$$

Como  $Ra < 10^9$ , Número de Nusselt está dado por [28]:

$$Nu_{Lv} = 0.68 + \frac{0.67 Ra^{1/4}}{\left[1 + \left[\frac{0.492}{Pr}\right]^{9/16}\right]^{4/9}}$$

$$Nu_{Lv} = 0.68 + \frac{(0.67)(919.788 \times 10^5)^{1/4}}{\left[1 + \left[\frac{0.492}{0.703}\right]^{9/16}\right]^{4/9}}$$

$$Nu_{Lv} = 50.301$$

### Coefficiente de convección

$$h_v = \frac{k}{L_v} \times Nu_{L_v}$$

$$h_v = \frac{0.028 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}}{0.285 \text{ m}} \times 50.301$$

$$h_v = 4.94 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

- **Para la placa horizontal**

Área de la placa

$$A_s = \pi \times r^2$$

$$A_s = \pi \times 0.10^2$$

$$A_s = 0.0314 \text{ m}^2$$

Perímetro de la placa

$$P = 2 \times \pi \times r$$

$$P = 2 \times \pi \times 0.10$$

$$P = 0.628 \text{ m}$$

$$L_h = \frac{A_s}{P}$$

$$L_h = \frac{0.0314 \text{ m}^2}{0.628 \text{ m}}$$

$$L_h = 0.05 \text{ m}$$

Número de Rayleigh

$$Ra_{L_h} = \frac{g \cdot B \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{amb}}) \cdot L_h^3}{\nu \cdot \alpha}$$

$$Ra_{Lh} = \frac{\left(9.8 \frac{m}{s^2}\right) \left(3.115 \times 10^{-3} \frac{1}{^\circ K}\right) (349.15 - 289.15)^\circ K (0.05)^3 m^3}{\left(1.8 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}\right) \left(2.561 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}\right)}$$

$$Ra_{Lh} = 4.96664 \times 10^5$$

- **Superficie horizontal (Tapa y base)**

Como  $Ra < 10^7$ , Número de Nusselt está dado por:

$$Nu_{Lh} = 0.98 Ra_{Lh}^{1/3}$$

$$Nu_{Lh} = 0.98 \times (4.96664 \times 10^5)^{1/3}$$

$$Nu_{Lh} = 77.609$$

Coeficiente de convección.

$$h_{h1} = \frac{k}{Lh} \times Nu_{Lh}$$

$$h_{h1} = \frac{0.028 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}}{0.05 m} \times 77.609$$

$$h_{h1} = 43.461 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

**Cálculo del calor perdido por convección**

- Área vertical de convección.

$$L_v = 0.285 m$$

$$Acv = 0.3 \times L_v$$

$$Acv = 0.3 \times 0.285$$

$$Acv = 0.0855 m^2$$

$$Qc1 = Acv \times h_v \times (T_{ext} - T_{am})$$

$$Qc1 = (0.0855 m^2) \left(4.94 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}\right) (349.15 - 289.15)^\circ K$$

$$Qc1 = 25.342 W$$



- Área horizontal de convección.

$$A_{ch} = \pi \times r^2$$

$$A_{ch} = 0.0314 \text{ m}^2$$

En la tapa y base.

$$Q_{c2_{tapa}} = A_{ch} \times h_{h1} \times (T_{ext} - T_{am})$$

$$Q_{c2_{tapa}} = (0.0293 \text{ m}^2) \left( 43.461 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}} \right) (349.15 - 289.15)^\circ\text{K}$$

$$Q_{c2_{tapa}} = 76.404 \text{ W}$$

$$Q_{c2_{base}} = A_{ch} \times h_{h1} \times (T_{ext} - T_{am})$$

$$Q_{c2_{base}} = (0.0314 \text{ m}^2) \left( 43.461 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}} \right) (349.15 - 289.15)^\circ\text{K}$$

$$Q_{c2_{base}} = 81.881 \text{ W}$$

Teniendo en cuenta las dos paredes horizontales el calor perdido por convección es:

$$Q_{c2} = Q_{c2_{tapa}} + Q_{c2_{base}}$$

$$Q_{c2} = 76.404 + 81.881$$

$$Q_{c2} = 158.284 \text{ W}$$

El calor perdido total por convección es:

$$Q_c = Q_{c1} + Q_{c2}$$

$$Q_c = 25.342 + 158.284$$

$$Q_c = 183.626 \text{ W}$$

### **Pérdidas por radiación**

#### **Cálculo de pérdidas por radiación**

Emisividad del acero, ANEXO I.

$$\varepsilon_{ac} = 0.22$$

Coeficiente de Boltzman.

$$\sigma_{ac} = 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K^4}$$

En la placa vertical.

$$Q_{r1} = \epsilon_{ac} \times A_{cv} \times \sigma \times (T_{ext}^4 - T_{am}^4)$$

$$Q_{r1} = (0.22)(0.0855 \text{ m}^2)(5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K^4})(349.15^4 - 289.15^4)^\circ K^4$$

$$Q_{r1} = 8.394 \text{ W}$$

En las placas horizontales.

$$Q_{r2} = \epsilon_{ac} \times A_{ch} \times \sigma \times (T_{ext}^4 - T_{am}^4)$$

$$Q_{r2} = (0.22)(0.0314 \text{ m}^2)(5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K^4})(349.15^4 - 289.15^4)^\circ K^4$$

$$Q_{r2} = 3.082 \text{ W}$$

Calor total perdido por radiación.

$$Q_r = Q_{r1} + 2Q_{r2}$$

$$Q_r = 8.394 \text{ W} + 2(3.082 \text{ W})$$

$$Q_r = 14.559 \text{ W}$$

### **Cálculo del calor total perdido**

Las pérdidas totales de energía serán:

$$Q_{tp} = Q_c + Q_r$$

$$Q_{tp} = 183.626 + 14.559$$

$$Q_{tp} = 198.185 \text{ W}$$

### 3.7.1.8. Energía necesaria

Luego de calcular el calor necesario para fundir el plástico y las pérdidas se puede calcular la energía que deben generar las resistencias eléctricas para lograr la transferencia de calor deseada para el proceso.

$$P = Q_{tp} + Q_f$$

$$P = 198.185 + 717.361$$

$$P = 915.546 \text{ W}$$

### 3.7.1.9. Cantidad de resistencias requerida para el proceso

Las resistencias eléctricas tendrán una capacidad 500 w cada una, por lo tanto, determinaremos la cantidad de resistencia que necesitamos:

$$\text{Cantidad de resistencias} = \frac{915.546 \text{ W}}{500 \text{ W}}$$

$$\text{Cantidad de resistencias} = 1.83 \approx 2$$

El número de resistencias que emplearemos es dos, misma que generan la cantidad de energía necesaria para el proceso.

### 3.7.1.10. Aislante térmico

El aislante a utilizar, es la fibra cerámica, la cual será colocada alrededor de todo el cilindro y así reducir las pérdidas de calor por las paredes del contenedor, esto nos ayudará a fundir el polímero en el menor tiempo posible.

En el ANEXO A, se muestran las propiedades de aislante térmico a usar las cuales son:

- Temperatura de servicio: 1260 °C
- Bajo almacenamiento de calor.
- Alta resistencia a la tensión.
- Resistencia al choque térmico.
- Absorción del sonido.
- Fácil instalación.
- No contiene aglutinante.
- No contiene asbestos.
- No requiere tiempo de secado o de curado.

### **Cálculo del espesor de aislamiento**

El cálculo del espesor de fibra cerámica se lo realiza tomando en cuenta el área de la pared, ya que ésta tiene mayor transferencia de calor, por tener contacto directo con la resistencia, al igual que el área de la base del contenedor.

Al considerar una sola resistencia para el cálculo del aislamiento, los valores del balance de energía serán divididos para dos y así obtener un espesor más exacto como se ve en el cálculo siguiente:

Energía requerida para el proceso

$$P = 915 \text{ W}$$

Energía entregada por resistencia

$$\frac{P}{2} = 915 \text{ W}$$

Temperatura exterior

$$T_{\text{ext}} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Temperatura de fusión del Pet

$$T_{\text{fun}} = 260 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Temperatura Ambiente

$$T_{\text{amb}} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Temperatura de pared de resistencia

$$T_{r1} = 265 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Propiedades de la fibra cerámica

$$K_{\text{ais}} = 0,12 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$$

$$e_{\text{ais}} = 0,03 \text{ m}$$

Emisividad del acero

$$\varepsilon_{\text{ac}} = 0,22 \text{ m}$$

Coefficiente de Boltzman

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$$

Coefficiente transferencia de calor por radiación

$$hr = \varepsilon_{ac} \times \sigma \times (T_{ext}^4 - T_{am}^4)$$

$$hr = (0.22)(5.67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4})(353.15^4 - 289.15^4) \text{K}^4$$

$$hr = 106,82 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

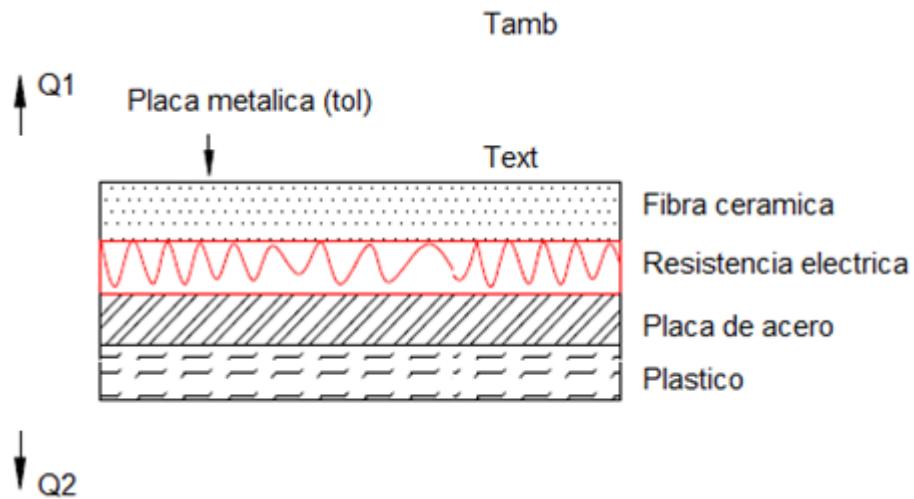
Área de transferencia de calor

$$At = 0,20 \text{ m}^2$$

Coefficiente de convección

$$h = 0,20 \text{ W}^\circ\text{K}/\text{m}^2$$

Balance de flujo de energía considerando una resistencia.



**Figura 19-3.** Esquema de balance de energía.

Realizado por: Lenin Guerra, 2021

$$\frac{P}{2} = Q_1 + Q_2$$

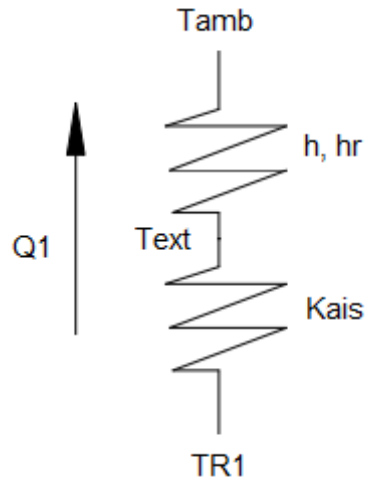
Dónde:

$$\frac{P}{2} = \text{Potencia generada por una resistencia; [W]}$$

$Q_1$  = Equivale 50% del flujo de calor perdido hacia el ambiente; [W]

$Q_2$  = Equivale 50% del flujo de calor hacia el material plástico; [W]

Utilizando analogía eléctrica de  $Q_1$ , tenemos:



**Figura 20-3.** Esquema de balance de energía hacia el ambiente.

Realizado por: Lenin Guerra, 2021

El balance de flujo de energía hacia el ambiente  $Q_1$ , está dado por la ecuación (Maldonado & Vega, 2010):

$$Q_1 = \frac{T_{r1} - T_{amb}}{\frac{L_{ais}}{K_{ais} \times At} + \frac{1}{h \times At + hr \times At}}$$

Calor de fusión requerido.

$$Q_f = 915.546 \text{ W}$$

$$Q_2 = \frac{Q_f}{2}$$

$$Q_2 = 457,77 \text{ W}$$

Reemplazando en el balance de flujo de energía tenemos:

$$\frac{P}{2} = \frac{T_{r1} - T_{am}}{\frac{L_{ais}}{K_{ais} \times At} + \frac{1}{h \times At + hr \times At}} + Q_2$$

De dónde despejamos el espesor del aislamiento requerido:

$$L_{\text{ais}} = K_{\text{ais}} \times At \left( \frac{T_{r1} - T_{am}}{\frac{P}{2} - Q_2} - \frac{1}{h \times At + hr \times At} \right)$$

$$L_{\text{ais}} = 0,12 \frac{W}{m^{\circ}K} \times 0,20 m^2 \left( \frac{(538,15 - 289,15)^{\circ}K}{\left(\frac{500}{2} - 457,77\right) W} - \frac{1}{(0,20 \frac{W}{m^2 K}) \times (0,20 m^2) + (106,82 \frac{W}{m^2}) \times (0,20 m^2)} \right)$$

$$L_{\text{ais}} = 0.014 m$$

### 3.7.2. Unidad de rotación de potencia

En el sistema generador de potencia se determinarán los siguientes aspectos que componen la unidad.

#### 3.7.2.1. Potencia del motor

Los cálculos de inercias de cada sección se determinaron con el programa SolidWorks y se describen en la Tabla 5-3.

Dónde:

Ine<sub>1</sub> = Inercia de los componentes del eje conductor

Iner<sub>T</sub> = Inercia total de los elementos a rotar

**Tabla 5-3.** Inercias del eje conductor.

Elemento	Material	Cantidad	Masa (kg)	Inercia parcial (kg.m2)	Inercia total (kg.m2)
Cabezal de giro	Aluminio	1	0.195	0.0989664	0.0989664
			<b>0.195</b>		<b>0.098</b>

Realizado por: Lenin Guerra, 2021

Revoluciones del eje conductor.

$$n_1 = 1800 \text{ rpm}$$

Inercia total de cuerpo que actúan sobre el eje conductor

$$Ine_1 = 0.098 \text{ Kg.m}^2$$

La inercia efectiva se determina de la siguiente forma:

$$I_{e_1} = I_{n_1} \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2 \text{ (Kg. m}^2\text{)}$$

Dónde:

$$\frac{n_2}{n_1} = 1$$

$$I_{e_1} = 1.164 * \left( \frac{1800}{1800} \right)^2 = 1.164 \text{ Kg. m}^2$$

La inercia efectiva total es la suma de todas las inercias:

$$I_{n_T} = I_{e_1} = 1.164 \text{ (Kg. m}^2\text{)}$$

El motor debe vencer la inercia efectiva total de todos los cuerpos en un tiempo estimado para alcanzar las revoluciones necesarias para la producción de filamentos.

$T_i = 60$  seg

Aceleración angular requerida:

$$\alpha_{motor} = \frac{\left( n_1 * \frac{2\pi}{60} \right)}{T_i} \text{ (rad/s}^2\text{)}$$

$$\alpha_{motor} = \frac{\left( 1800 * \frac{2\pi \text{ rad}}{60} \right)}{(60 \text{ s})} = 3.141 \text{ rad/s}^2$$

Torque requerido:

$$\text{Torque} = I_{n_T} * \alpha_{motor} \text{ (N. m)}$$

$$\text{Torque} = (1.164 \text{ Kg. m}^2)(3.141 \text{ rad/s}^2) = 3.656 \text{ N. m}$$

Potencia requerida:

$$P_r = \text{Torque} * \left( n_1 * \frac{2\pi}{60} \right) \text{ (W)}$$

$$P_r = (3.656 \text{ N. m}) * \left( 1800 * \frac{2\pi}{60} \right) = 689.139 \text{ W}$$

Dónde:

$$P_r = \frac{P_r}{746}$$



$$P_r = \frac{689.139}{746} = 0.923 \text{ Hp}$$

Se requiere un motor con una potencia mínima de 1.00 Hp.

### 3.7.3. Unidad de hilatura

La unidad de hilatura es el contenedor donde se vierte el Pet fundido el cual envía la resina hacia afuera a través de su superficie produciendo delgados hilos de poliéster, como se muestra en la Figura 21-3. La unidad consta de varias partes las principales son la placa inferior que tiene una cavidad cóncava configurada para recibir el material y una placa superior configurada para cubrir y encerrar la cavidad cóncava de modo que exista un espacio entre las dos placas. Además, que la unidad, consta con bobinas eléctricas de calentamiento para asegurar que el polímero este fundido.



**Figura 21-3.** Mecanismo de formación de fibras.  
Realizado por: Lenin Guerra, 2021

#### 3.7.3.1. Condiciones operacionales

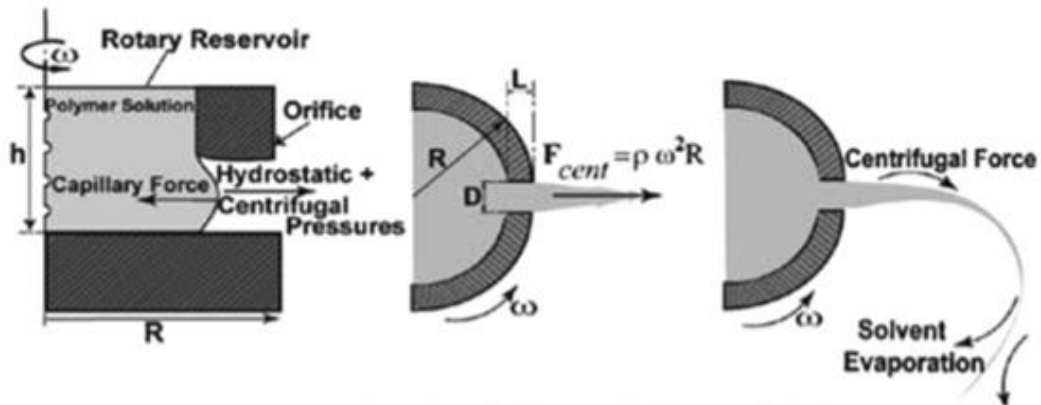
Las condiciones operativas que influyen en la estructura de las fibras producidas por este método son velocidad de rotación, diámetro del cabezal giratorio, separación o diámetro de la boquilla, y distancia del colector y boquilla, a continuación, analizaremos y determinaremos las mismas.

#### **Velocidad de rotación**

En la literatura, la velocidad de rotación utilizada para el centrifugado de fibras de polímeros varía de 1.000 a 4.000 rpm (Zhanga & Lua, 2014). La velocidad de rotación del cabezal giratorio se considera uno de las condiciones operativas más importantes para el procesamiento de la fibra ya

que determina la fuerza centrífuga y de fricción del aire, siendo estas fuerzas las de estiramiento y alargamiento durante el proceso hilado centrífugo.

En la Figura 22-3, se muestra el chorro rotativo para la formación de fibras, una mayor velocidad de rotación del cabezal giratorio proporciona una mayor velocidad de rotación del chorro después de una cierta distancia de recorrido. Por lo tanto, la fuerza centrífuga y la fuerza de fricción del aire aplicada sobre el chorro de líquido aumentan, lo que conduce a una mayor elongación del chorro de líquido y la reducción del diámetro de la fibra (Zhanga & Lua, 2014).



**Figura 22-3.** Esquema del giro rotativo por chorro rotativo.

Fuente: (Zhanga & Lua, 2014)

Realizado por: Lenin Guerra, 2021

- **Fuerza centrífuga**

En el hilado centrífugo el material se expulsa del orificio cuando la fuerza centrífuga es mayor que la tensión superficial del polímero fundido utilizado (Zhanga & Lua, 2014). La fuerza centrífuga que actúa sobre el fluido giratorio está dada por:

$$F_{centri} = \frac{m * w^2 * D}{2} \text{ (N)}$$

Dónde:

m= Masa del fluido.

W= Velocidad de rotación del cabezal giratorio.

D= Diámetro del cabeza giratorio.

$$F_{centri} = \frac{(0.105 \text{ Kg}) * (188.49 \text{ rad/s})^2 * (0.125 \text{ m})}{2}$$

$$F_{centri} = 233.16 \text{ N}$$

- **Fuerza de fricción**

La fuerza de fricción aplicada sobre el chorro se calcula mediante la ecuación:

$$F_{fri} = \frac{\pi C \rho A w^2 D^2}{2} \quad (N)$$

Dónde:

C= Coeficiente de arrastre numérico.

$\rho$ = Densidad del aire; 1.225 kg/m<sup>3</sup>

A= Área de la sección transversal del chorro; 0.000628 m<sup>2</sup>

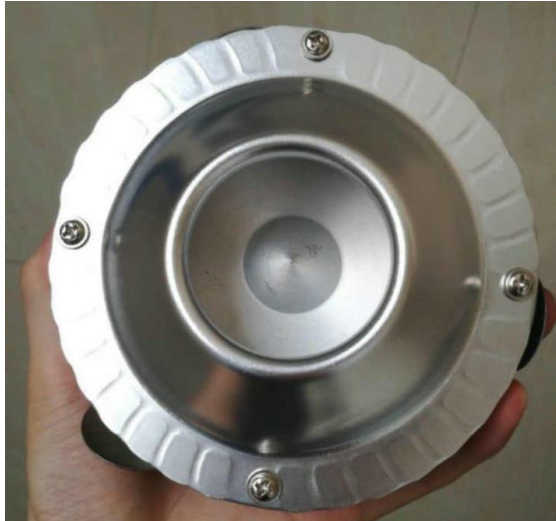
D= Diámetro de la trayectoria del chorro; 50 cm

$$F_{fri} = \frac{(3.14)(0.233)(1.38 \text{ kg/m}^3)(0.000628 \text{ m}^2)(188.49 \text{ rad/s})^2(0.5 \text{ m})^2}{2}$$

$$F_{fri} = 2.817 \text{ N}$$

### **Diámetro del cabezal giratorio**

El diámetro de la cabeza giratoria es D= 125 mm, mismo que ha sido determinado para que las fibras cumplan con las especificaciones planteadas en el proyecto. El diámetro es otro parámetro crucial para determinar la estructura de las fibras. De acuerdo con la ecuación de la fuerza centrífuga, cuando la velocidad de rotación es constante, la fuerza centrífuga aumenta a medida que aumenta el diámetro del cabezal giratorio. En consecuencia, es más fácil expulsar el chorro de líquido de un cabezal giratorio que tiene un diámetro mayor. Un diámetro de cabeza giratoria más grande también es beneficioso para formar fibras más delgadas al ejercer un mayor estiramiento y alargamiento del chorro de líquido. Sin embargo, en la práctica, el diámetro máximo del cabezal giratorio a menudo está limitado por la capacidad del motor de alcanzar una alta velocidad. Cuando el diámetro del cabezal giratorio es demasiado grande, es difícil que el motor de alta velocidad mantenga una rotación equilibrada.



**Figura 23-3.** Cabezal giratorio.  
Realizado por: Lenin Guerra, 2021

### **Separación de la boquilla**

Es importante ajustar la separación de la boquilla ya que es otro medio para controlar la estructura de fibra. En este enfoque, el rendimiento de masa del chorro de líquido se ajusta para alterar la estructura de la fibra. El uso de una boquilla con una separación más pequeña restringe el rendimiento de masa y, por lo tanto, produce fibras más finas. La Figura 24-3 muestra diferentes separaciones de la boquilla. Cuando se cambia la separación de la boquilla el diámetro de la fibra disminuye o aumenta, lo que sugiere la importancia de elegir una separación adecuada en base a las especificaciones de las fibras deseadas.



**Figura 24-3.** Separación de boquilla de cabezal giratorio.  
Realizado por: Lenin Guerra, 2021

### **Distancia del colector**

La distancia entre cabezal y colector tiene una influencia directa en el tiempo de vuelo del chorro del líquido. Cuando se usa una solución como fluido giratorio, se requiere una distancia mínima entre la boquilla y el colector para que el chorro de líquido pueda tener el tiempo suficiente para evaporar la mayor parte del disolvente antes de llegar al colector. Además, dada una mayor distancia entre la boquilla y el colector, el chorro de líquido debe recorrer un curso alargado, lo que es favorable para reducir el diámetro de la fibra.

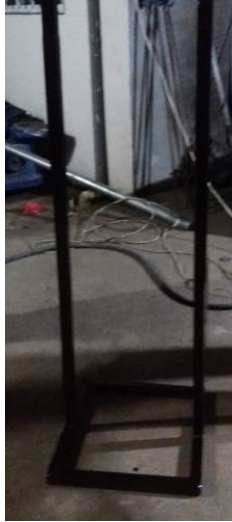
Sin embargo, en comparación con otras condiciones operativas, la distancia de la boquilla y colector que influyen en el diámetro de la fibra son menos significativas. Las Figura 25-3, muestra imágenes la distancia del colector a la boquilla. Cuando la distancia del colector a la boquilla aumenta, el diámetro de la fibra exhibe un cambio insignificante de ahí que esta distancia tiene una influencia insignificante en el diámetro de la fibra (Zhang & Lua, 2014).



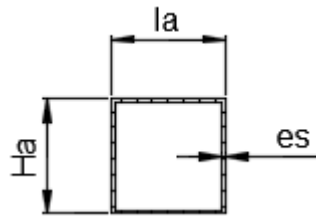
**Figura 25-3.** Distancia del colector.  
Realizado por: Lenin Guerra, 2021

#### **3.7.4. Estructura de soporte**

Todo mecanismo debe tener una estructura donde se soporte todas las piezas que la conforman esta debe actuar como un sistema óseo que le da la rigidez, estabilidad y la distribución homogénea de las energías que se producen a través del proceso de funcionamiento del mismo. Esta estructura se diseñó para soportar todos los componentes del equipo de formación de fibra y al mismo tiempo unir todas las piezas en un mismo conjunto, la Figura 26-3 muestra el diseño de la estructura que soporta todo el mecanismo de transmisión de velocidad y el giratorio, en ANEXO B se muestran planos de detalle de estructuras de los equipos.



**Figura 26-3.** Estructuras de equipos de fundición e hilatura.  
Realizado por: Lenin Guerra, 2021



**Figura 27-3.** Sección de estructuras.  
Realizado por: Lenin Guerra, 2021

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1. Resultados

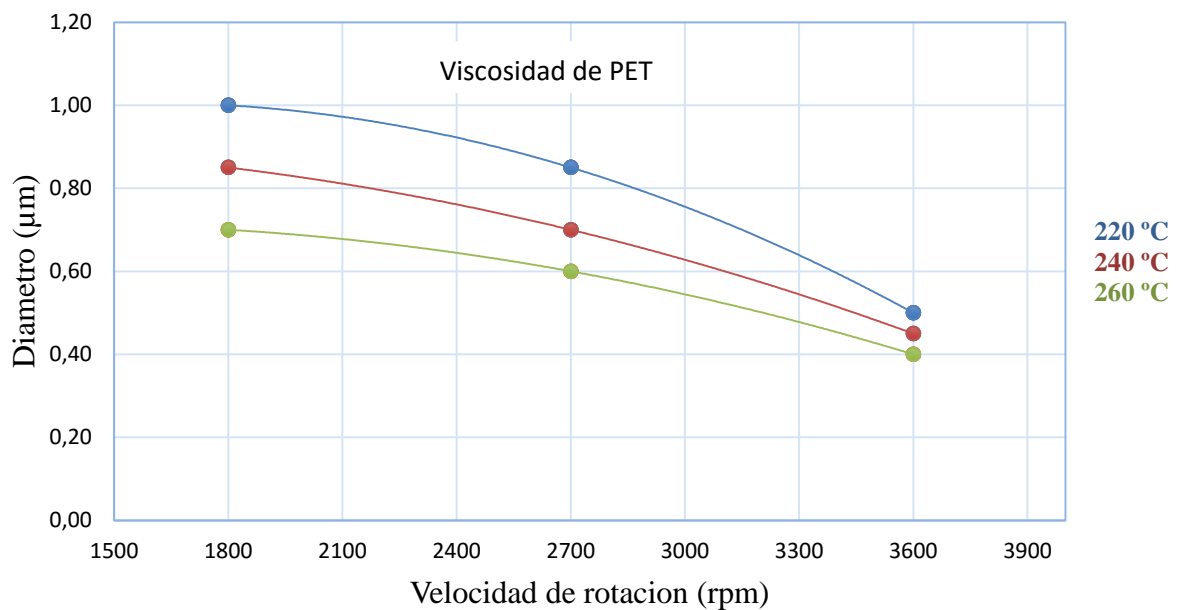
La preparación de fibras centrifugadas, permite el hilado de fibras de Pet por hilatura centrífuga, para ello el equipo fue equipado con un regulador de velocidad y un control de temperatura, la temperatura óptima del proceso fue determinada cuidadosamente sobre la base de los valores de temperatura de fusión ( $T_m$ ) y degradación ( $T_{deg}$ ) de la materia prima empleada para evitar la degradación del material, ver (ANEXO 8) propiedades térmicas del Pet.

Se produjeron fibras discontinuas a partir de Pet. Las fibras resultantes fueron recolectadas y caracterizadas para determinar su geometría, orientación y demás propiedades físicas. A continuación, se presentan los resultados de esta caracterización, la relación entre las condiciones de procesamiento de la fibra, además se evaluarán las propiedades obtenidas.

##### 4.1.1. Geometría de la fibra

###### 4.1.1.1. Efecto de la viscosidad del polímero

La viscosidad se considera el factor principal en el procesamiento de polímeros porque indica las propiedades de flujo del polímero, donde la temperatura de procesamiento juega un papel importante en la viscosidad del polímero. En este estudio el Pet es sometido a diferentes condiciones para su procesamiento, donde la viscosidad del polímero se varió modificando la temperatura y manteniendo todas las demás condiciones iguales. Los resultados de la experimentación se muestran en la Figura 1-4. Como era de esperar, el diámetro final de la fibra aumenta con el aumento de viscosidad del polímero. Además, se puede observar que la viscosidad no aumenta durante la hilatura. Esto se debe a que la viscosidad se estableció en un valor alto una vez que la fibra se enfría por debajo de la temperatura de solidificación. Esta transición puede asegurar que la fibra no se atenuará después de la solidificación.



**Figura 1-4.** Viscosidad de Pet a diferentes temperaturas y velocidades angulares.  
 Realizado por: Lenin Guerra

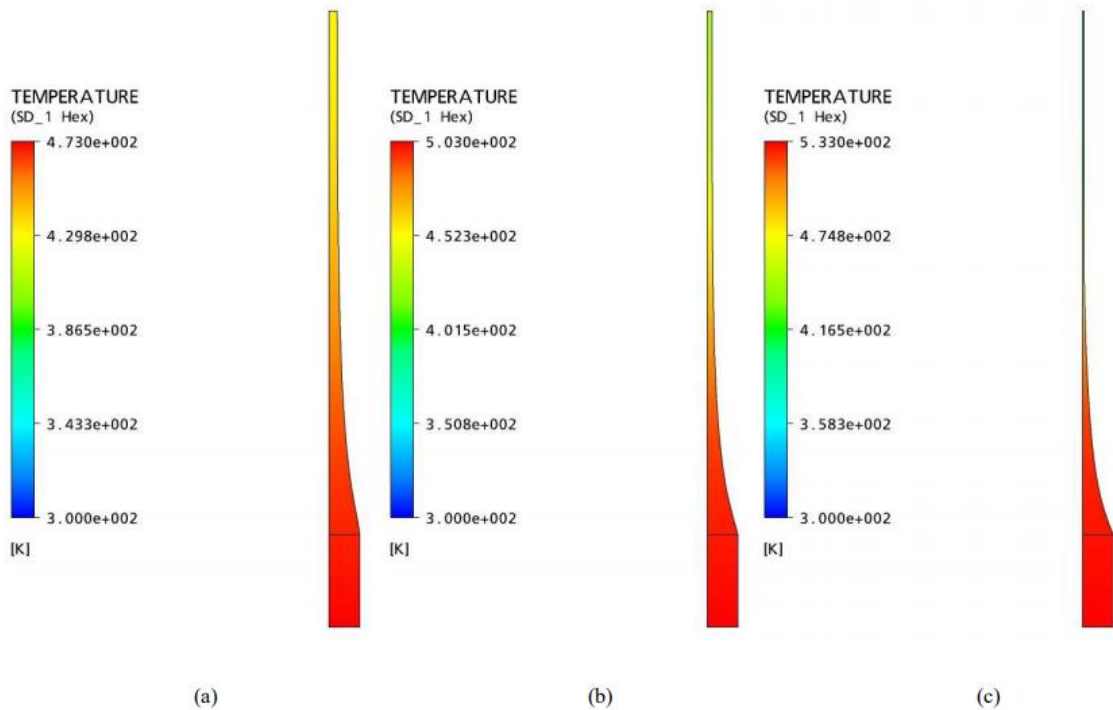
#### 4.1.1.2. Efecto de la temperatura de procesamiento

La temperatura de procesamiento juega un papel importante en este proceso de obtención de fibras, ya que afecta no solo a la viscosidad del polímero sino también a la transferencia de calor entre el polímero y aire. Se realizaron simulaciones con tres procesos a diferentes temperaturas: 220°, 240° y 260°. Las geometrías de las fibras resultantes a diferentes temperaturas se muestran en la Figura 2-4.

Con el aumento de la temperatura de procesamiento, el diámetro de la fibra se vuelve más pequeño. Esto se debe a que una temperatura más alta da como resultado una viscosidad de fusión que hace que el polímero se derrita más fácilmente para ser atenuado bajo el arrastre del aire. Además, la temperatura de procesamiento más alta también proporciona más tiempo para atenuación antes de que solidifique el polímero fundido.

Es interesante señalar que el mecanismo de atenuación de la fibra en este proceso es totalmente diferente a la de la hilatura por fusión convencional, en la que el diámetro de la fibra o bien disminuye gradualmente a lo largo de la línea de hilado o se forma un cuello en algún lugar a lo largo de la hilatura. Sin embargo, en nuestro proceso, la atenuación tuvo lugar a una distancia muy corta sobre el colector. Más allá de esa distancia, el polímero fundido ya está enfriado y se vuelve sólido.





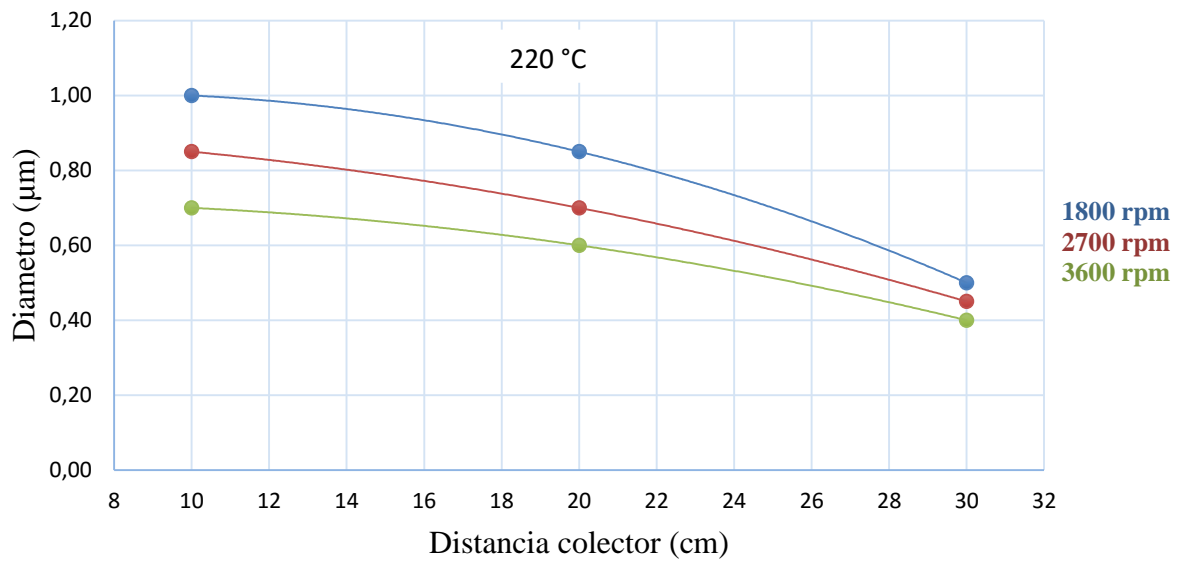
**Figura 2-4.** Geometrías de fibra y perfiles de temperatura a diferentes temperaturas de procesamiento: (a) 220 °C, (b) 240 °C y (c) 260 °C.

Realizado por: Lenin Guerra

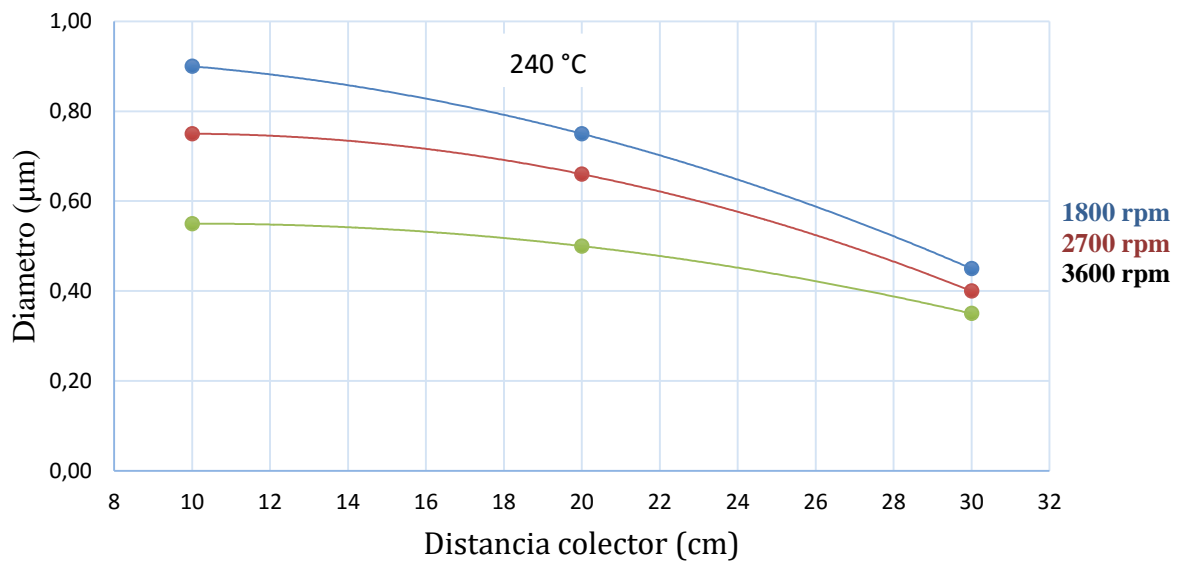
#### 4.1.1.3. Efecto de la velocidad de rotación

Como se había indicado en la literatura, la velocidad de rotación del cabezal giratorio es una de las condiciones operativas más importantes para el procesamiento de la fibra ya que determina la fuerza centrífuga y de fricción del aire, siendo estas fuerzas las de estiramiento y alargamiento durante el proceso hilado centrífugo.

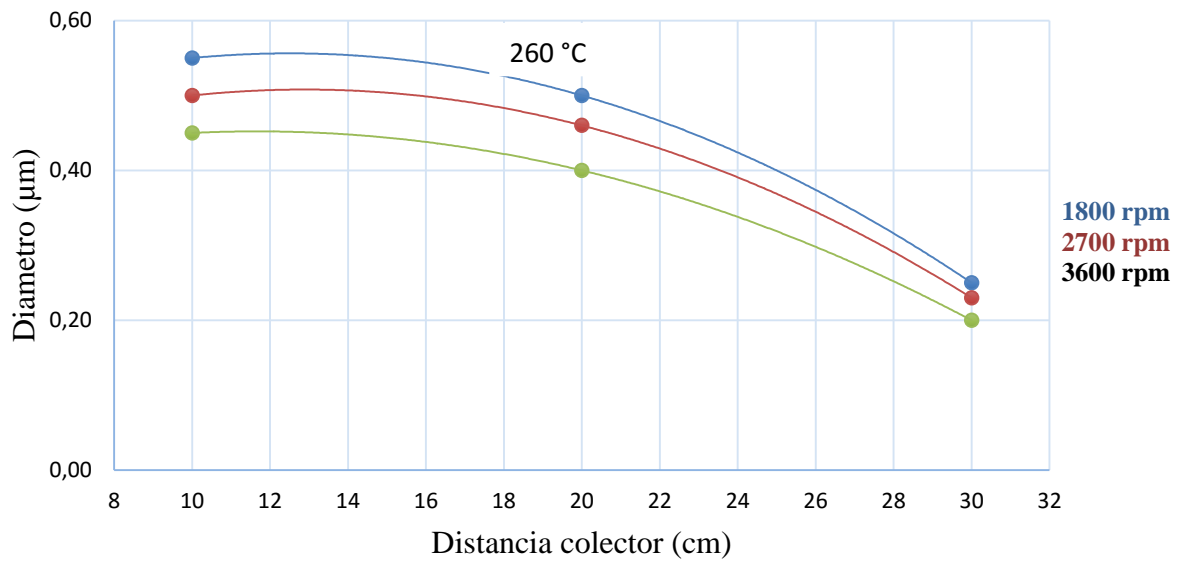
Las Figuras 3-4 a), b), c) y la 40 a), b), c) muestran los diámetros de las fibras para las diferentes velocidades en el procesamiento de las fibras, una mayor velocidad de rotación del cabezal proporciona una mayor velocidad de rotación del chorro lo que conduce a una mayor elongación del chorro de líquido y por ende una reducción en el diámetro de la fibra.



a)



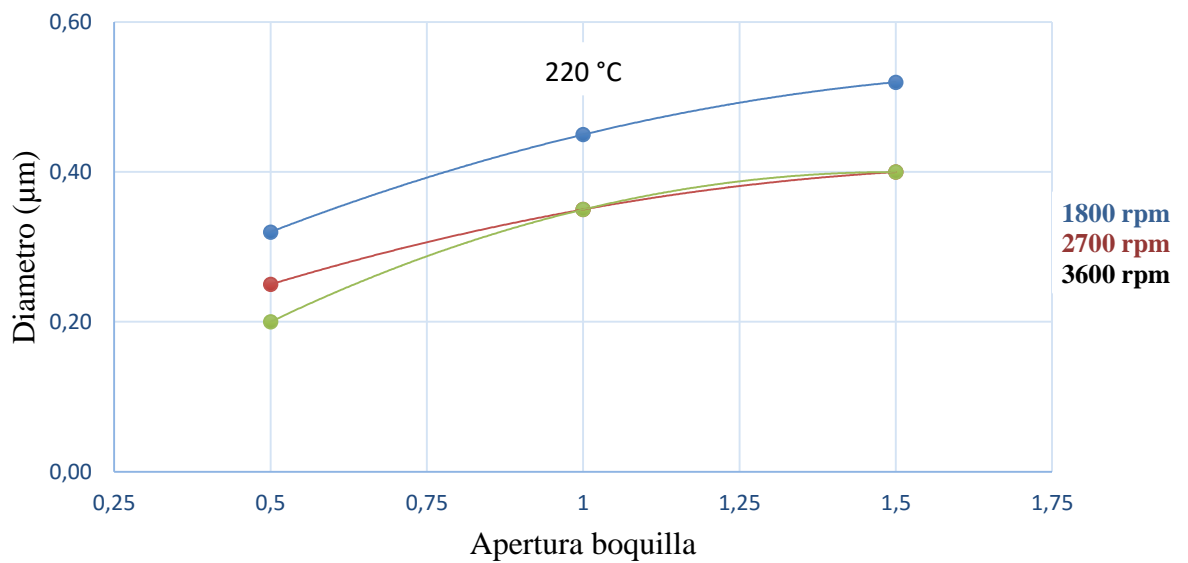
b)



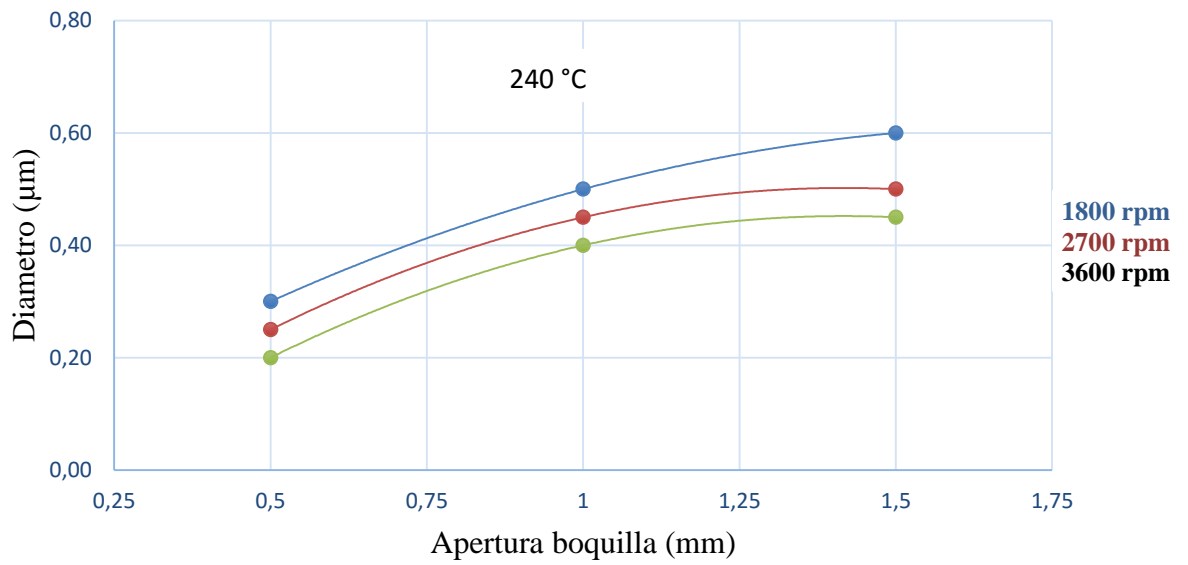
c)

**Figura 3-4.** Diámetros de fibra de Pet a diferentes a) temperaturas, b) distancias de colector y c) velocidades de rotación.

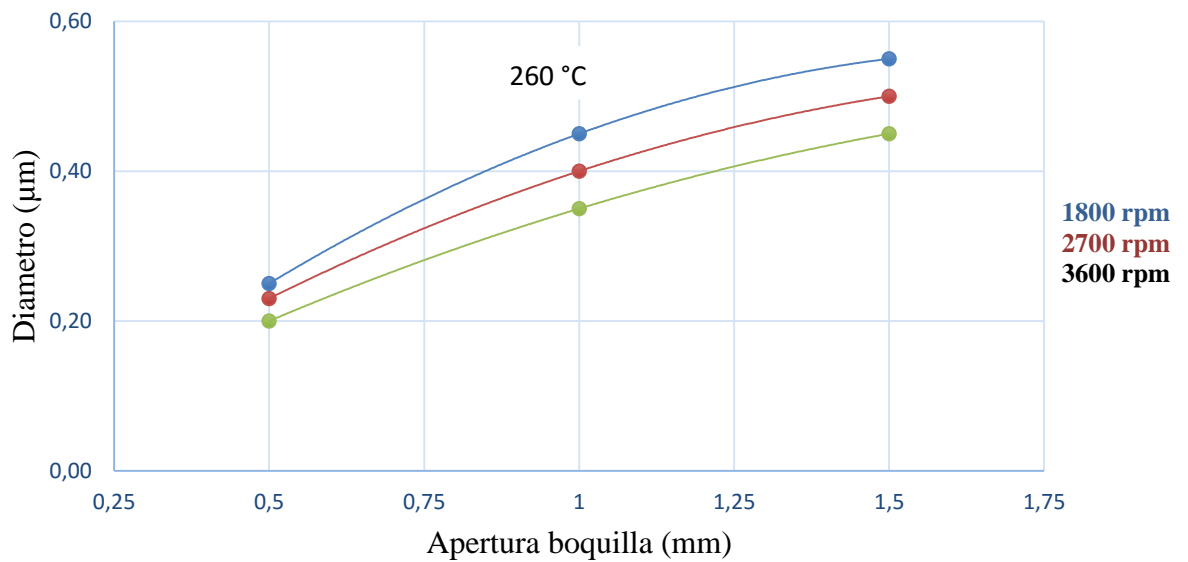
Realizado por: Lenin Guerra



a)



b)



c)

**Figura 4-4.** Diámetros de fibra de Pet a diferentes a) temperaturas, b) apertura de boquilla y c) velocidades de rotación.

**Realizado por:** Lenin Guerra

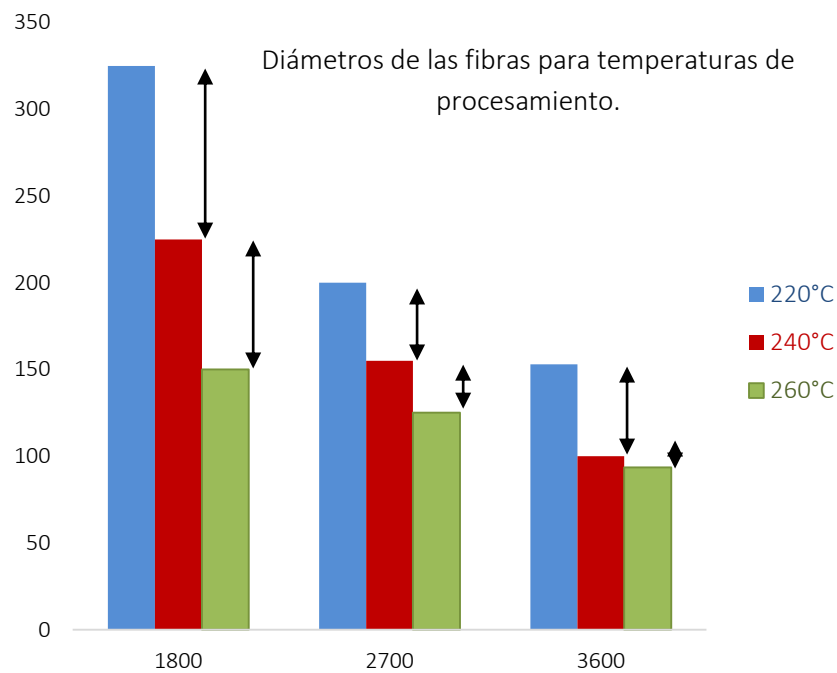
En la Tabla 1-4 se resume los diámetros de las fibras obtenidas en las diferentes condiciones de procesamiento establecidas para este estudio.

**Tabla 1-4.** Diámetros de las fibras y condiciones de procesamiento.

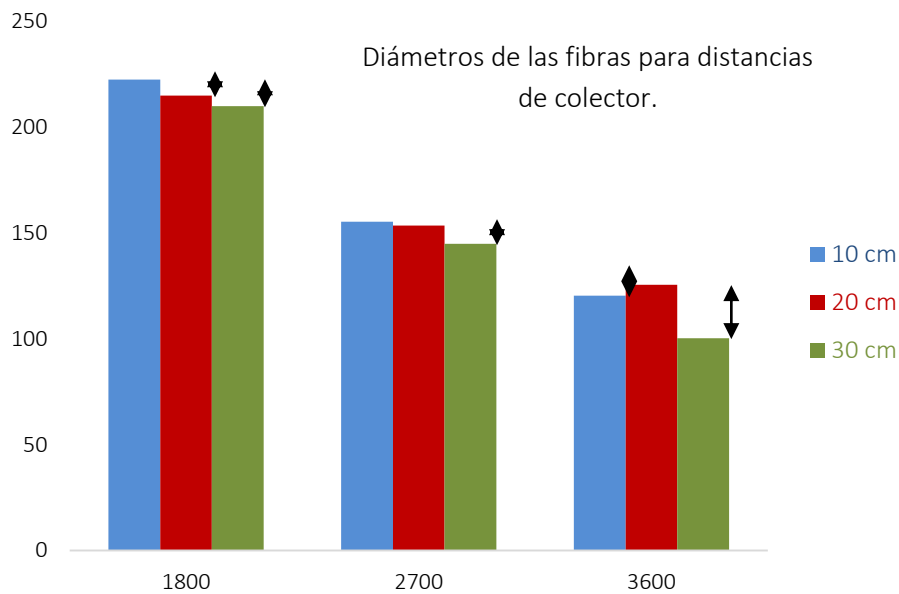
Rango de diámetro de fibra (μm)	Velocidad de rotación (rpm)	Distancia colector (cm)	Temperatura de procesamiento (°C)	Apertura de boquilla (mm)
325,5 ~ 225,50	1800	10	220	1,0
225,50 ~ 150,25	2700			
150,25 ~ 120,50	3600			
200,50 ~ 155,40	1800	20	240	0,75
155,40 ~ 125,50	2700			
125,50 ~ 75,25	3600			
153,5 ~ 100,25	1800	30	260	0,50
100,25 ~ 93,50	2700			
93,50 ~ 46,30	3600			

Realizado por: Lenin Guerra

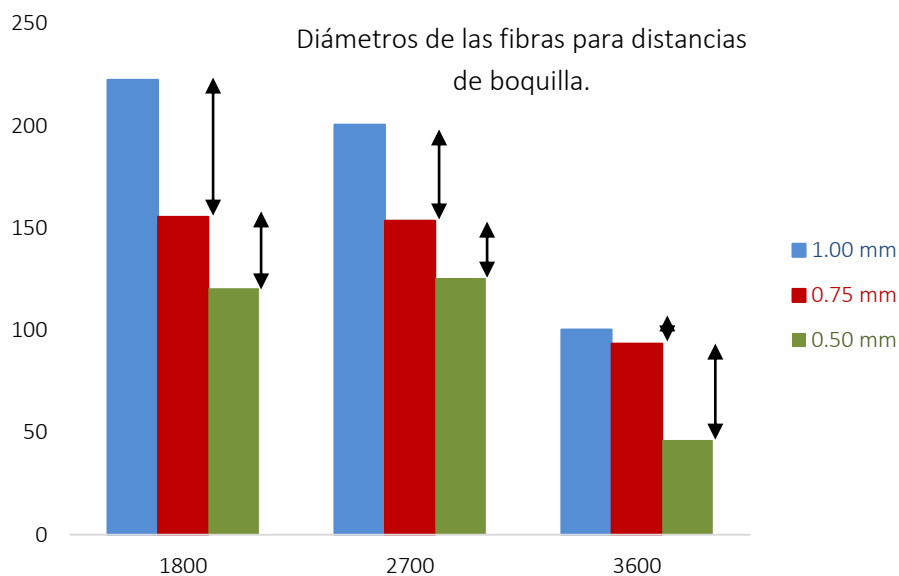
En las Figuras 5-4 a), b) y c) se muestra las diferencias en los diámetros de las fibras obtenidas en diferentes condiciones de procesamiento establecidas.



a)



b)



c)

**Figura 5-4.** Diámetros de fibra de Pet a diferentes: a) temperaturas, b) distancia de colector y c) apertura de boquilla.

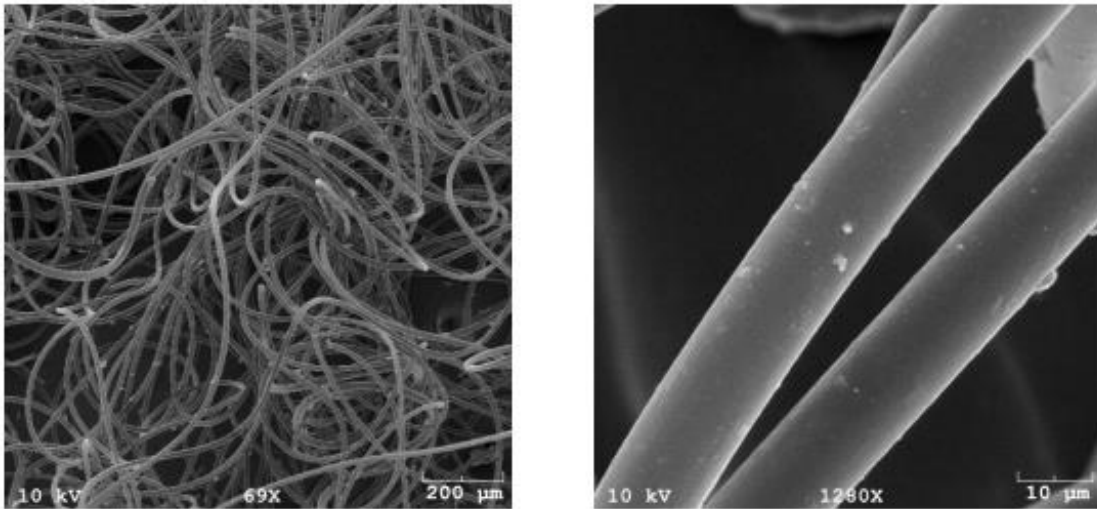
Realizado por: Lenin Guerra

En las figuras se puede ver que los diámetros resultantes de las fibras en función de los parámetros procesamiento.

#### 4.1.1.4. Morfología de la fibra

La Figura 6-4 muestra las imágenes de fibras producidas con diámetros de 200  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$ , de estas imágenes, se puede ver que los diámetros de las fibras resultantes son bastante uniformes y las superficies de las fibras también son lisas. El más pequeño de los tres, el 10  $\mu\text{m}$  de fibra, se

obtuvo a partir del Pet con una temperatura de procesamiento de 260 °C. Es importante tener en cuenta que todas estas fibras se produjeron solo con estiramiento por atenuación del aire.



**Figura 6-4.** Fotografías SEM de fibras.

**Fuente:** (Zhanga X & Lua Y, 2014)

**Realizado por:** Lenin Guerra

#### **4.1.2. Orientación molecular de la fibra**

La orientación molecular es una propiedad importante de la fibra, ya que se correlaciona con la cristalinidad y propiedades mecánicas de la fibra. En nuestro proceso, la fibra es atenuada por el arrastre de aire acompañado de enfriamiento por aire frío donde la orientación molecular se constituyó durante la atenuación. Para caracterizar la orientación molecular, se pueden utilizar dos métodos diferentes aplicando la difracción de rayos X o la espectroscopía de Raman. Cualquiera de estos métodos resulta eficaz técnica para caracterizar la orientación molecular de las fibras producidas en este estudio.

La morfología de las fibras es observada en un microscopio electrónico de barrido (SEM), señalar que es el método eficaz para caracterizar la morfología de los hilos del Pet. En las imágenes de la Figura 6-4 se muestran resultados del análisis morfológico obtenido por SEM de estructuras de Pet en el que se observa una morfología uniforme obtenidas por hilado centrifugo.

### 4.1.3. *Propiedades de la fibra*

#### 4.1.3.1. *Propiedades físicas*

Las fibras poseen excelentes propiedades físicas como la finura, longitud y el rizado, por otra parte, su elasticidad es buena, su color es fácilmente alterable, además las fibras poseen suavidad y brillo notable. A continuación, se analizan las propiedades físicas de las fibras obtenidas.

#### **Finura**

Cuando nos referimos a la finura de la fibra estamos hablando concretamente del diámetro de la fibra, que es el valor de la sección mayor del ovalo que forma su corte transversal, esta se mide en micrones (un micrón es la milésima parte de un milímetro). De ahí que cuanto menos diámetro posean las fibras de Pet, mayor valor comercial tendrán; ya que con éstas se podrán fabricar prendas de vestir y otras de excelente calidad y elevado precio.



**Figura 7-4.** Diámetros de fibra de Pet.

Realizado por: Lenin Guerra

#### **Longitud**

Esta depende de la temperatura y de la velocidad de rotación, la longitud de la fibra se mide tal como se obtiene sin forzarla, conservando su ondulación, se mide en centímetros, dato que interesa desde el punto de vista textil, la longitud se mide con una cinta o regla. Las longitudes de las fibras obtenidas varían en el mismo proceso, y están entre 100 a 200 milímetros.

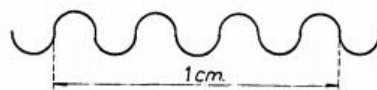




**Figura 8-4.** Longitud de fibra  
Realizado por: Lenin Guerra

### Rizado

El rizado se debe a la diferencia de estructuras entre la parte cortical y la corteza por las diferencias de tensiones entre ellas que produce el rizado, el rizado se mide por el número de ondulaciones por unidad de longitud (cm), o por la relación que existe entre la longitud de la fibra estirada solo lo suficiente para hacerla perder el rizado y la longitud sin estirar. El número de ondulaciones está en relación inversa a la finura de la fibra. Se obtienen fibras con ondulaciones regulares y otras con ondulaciones irregulares.



**Figura 9-4.** Rizado de fibra  
Realizado por: Lenin Guerra

## **Peso Específico**

El peso específico de la fibra es la cantidad de gramos que existe en un volumen, para el cálculo del peso específico se realizó la caracterización física enfocada en determinar la densidad de la fibra, con el fin de establecer relaciones entre densidad y propiedades específicas. El cual consistió en pesar una cantidad de fibra producida y calcular el volumen, las fibras se pesaron en una balanza analítica ADAM con capacidad de 180g y 0,0001 de precisión para determinar la masa. Mediante la ecuación se obtiene la densidad  $\rho$  de la fibra.

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ (g. cm}^3\text{)}$$

Dónde:

$\rho$ = Densidad; g/cm<sup>3</sup>

m= masa; g

V= Volumen; cm<sup>3</sup>

$$\rho = \frac{7,3813 \text{ g}}{6 \text{ cm}^3} = 1,23 \text{ (g. cm}^3\text{)}$$

La fibra posee un peso específico de valor 1,23 g/cm<sup>3</sup>.

## **Color**

Este es de color blanco marfil, color característico de la resina del Pet. El amarillento de la fibra se produce porque está expuesta a la intemperie que puede producir alcalinidad. Adicional las fibras pueden ser coloreadas de diferentes colores en tonos claros hasta negras.

## **Brillo**

Las fibras que se obtienen presentan buen brillo, donde el brillo de las fibras depende de las superficies obtenidas, las fibras que las escamas estén dispuestas planas, y sin bordes proyectados y formando un conjunto liso tendrán un buen brillo. Mientras que las fibras muy finas y rizadas son poco brillantes, las fibras gruesas, poco rizadas y con escamas aplanadas serán mucho más brillantes, la acción de temperaturas elevadas puede destruir la uniformidad de la escamosidad perjudicando al brillo.

## **Suavidad**

La fibra es suave tiene un tacto aterciopelado, esto se relaciona con la finura de la fibra y su rizado; mientras más fina y rizada más suavidad tienen las fibras.

#### 4.1.3.2. Propiedades térmicas

La fibra de Pet es mala conductora del calor por lo tanto es buena en conservarlo esto debido a su capacidad para admitir gran volumen de aire entre sus fibras otorgando una capacidad reguladora de la temperatura. La fibra al ser de gran luminosidad ayuda a que el volumen de aire que almacena sea mayor mejorando la conservación del calor del cuerpo.

#### 4.1.3.3. Propiedades mecánicas

##### **Resistencia**

La fibra de Pet posee una resistencia no muy elevada, del orden 1,0 a 1,8 g por denier, sin embargo, es suficiente para las aplicaciones para la que se la destina.

##### **Elasticidad**

Es la capacidad de extensión de la fibra al ser sometida a una carga y su aptitud para recuperar el estado inicial una vez que cesa esta carga. Morfológicamente la elasticidad se produce por el desplegado de las cadenas moleculares y la oposición de los enlaces transversales intercadenas.

Las fibras analizadas se estiran entre 8 y 10 % es decir, de la longitud de 100 mm que miden se extiende hasta 110 mm y luego al quitarle la carga causante de la deformación, vuelve a su longitud original de 100 mm, se ve que la fibra es totalmente elástica o que tiene 100% de elasticidad. Por el contrario, al retirar la carga se contrae la fibra volviendo a 120 mm, entonces se tiene un 80% de elasticidad.

En la Tabla 2-4 se muestra las propiedades mecánicas de las fibras. Este tipo de fibras son utilizadas tradicionalmente para relleno de prendas; sobre todo en la manufactura textil.

**Tabla 2-4.** Propiedades mecánicas de fibras de Pet.

<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>	
Resistencia (gr/denier)	1-,00 - 1,65
Elasticidad (%)	8 - 10

Realizado por: Lenin Guerra

## **4.2. Discusiones**

### **4.2.1. Análisis del proceso de hilatura**

Han sido estudiados los parámetros que influyen en los resultados de hilabilidad. A partir de los cuales, se ha procedido a determinar las óptimas características de las fibras a producir, partiendo del proceso de centrifugación aplicado.

En la Tabla 3-4 se establecen las condiciones de procesamiento resultantes para el proceso de hilatura centrífuga con las mejores propiedades resultantes de la fibra de Pet.

**Tabla 3-4.** Condiciones de procesamiento y propiedades resultantes de las fibras de Pet.

<b>Rango diámetro fibra (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Longitud fibra (cm)</b>	<b>Velocidad rotación (rpm)</b>	<b>Distancia colector (cm)</b>	<b>Temperatura procesamiento (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Apertura boquilla (mm)</b>
100,25 ~ 93,50	15 ~ 20	2700	30	260	0,50

Realizado por: Lenin Guerra

#### **4.2.2. Características de la fibra obtenida**

Con objeto de determinar una fibra de calidad en los distintos puntos del proceso, se procedió a tomar muestras de fibras, de dichas muestras se determinó que el diámetro y la longitud media de la fibra son las suficientes para las aplicaciones para la que se destinara la fibra.

## CAPÍTULO V

### 5. PROPUESTA

El presente capítulo muestra un análisis sobre los procesos, materiales y costos presentes en la construcción del prototipo para la producción de fibras.

#### 5.1. Estudios experimentales

##### 5.1.1. *Material*

Se seleccionó el tereftalato de polietileno Pet, para producir filamentos finos discontinuos. Se eligió el Pet como materia prima por su amplia variedad de aplicaciones y relativa facilidad para procesar a partir de la masa fundida. El mismo nos ofrece la oportunidad para el estudio de la producción de fibras de diámetro variable y otras propiedades. Además de brindarnos una ventana de temperatura de aproximadamente 40°C para realizar el estudio paramétrico en varias temperaturas de procesamiento. El Pet es ampliamente utilizado en la industria textil, el mismo fue elegido en este estudio para demostrar la aplicabilidad de este nuevo proceso para la producción de fibras a partir de este polímero.

##### 5.1.2. *Producción de fibra*

Con este diseño, se produjo una gran cantidad de fibras en diferentes condiciones, que se ven en las características de las fibras obtenidas.

En cada experimento, escamas de Pet se alimentaron al contenedor y calentadas a la temperatura deseada durante unos 10 minutos hasta lograr una masa fundida uniforme antes de pasar a la centrifugación. La velocidad del cabezal se fijó en un valor pequeño, la velocidad era cambiada de baja a alta en los diferentes niveles como lo establecido en diseño paramétrico a estudiar. Los mismos conjuntos de experimentos se repitieron entonces con las demás condiciones de procesamiento como temperatura de procesamiento, distancia de colector y apertura de la boquilla. Siguiendo el manual de operación de las máquinas de acuerdo al ANEXO F.

En nuestro estudio, el mayor objetivo fue investigar los efectos de las condiciones de procesamiento en el diámetro y longitud de las fibras resultantes.

## 5.2. Análisis económico

### 5.2.1. Costos

El análisis de económico se refiere a los materiales, servicios de fabricación y mano de obra que forman parte integral del prototipo desarrollado para efectuar la investigación.

#### 5.2.1.1. Costos de inversión

#### Costos de materiales

Se refiere al valor de los materiales que se encuentran físicamente y que forman parte del prototipo, los mismos se detallan en la siguiente Tabla 1-5.

**Tabla 1-5.** Costos de materiales.

Descripción	Cantidad	Unidad	Valor Unitario (USD)	Subtotal (USD)
Resistencias eléctricas	4	u	18	72,00
Fibra cerámica e=25.4 mm	2	m <sup>2</sup>	15	30,00
Plancha metálica de 3.0 mm	1	m <sup>2</sup>	10	10,00
Planchas de acero inoxidable AISI 304	3	m <sup>2</sup>	25	75,00
Plancha de tol de 1.0 mm	1	m <sup>2</sup>	10	10,00
Cabezal giratorio	1	u	95	95,00
Enchufe polarizado 3P 15A 220V	2	u	2.1	4,20
Motor 1 hp 3600 RPM	1	u	115	115,00
Tubo estructural cuadrado 20x20x2 mm	4	m	2.05	8,20
Tubo estructural cuadrado 40x40x2 mm	5	m	4.23	21,15
Tubo estructural rectangular 40x20x2 mm	2	m	4.25	8,50
Cable concéntrico 2x12	6	m	0.9	5,40
Gabinete metálico liviano 25*25*15	1	u	30	30,00
Regulador velocidad motor AC con pantalla	1	u	65	65,00
Pulsador industrial 2A	1	u	4	4,00
Relé auxiliar	1	u	6.8	6,80

Relé térmico	1	u	27.2	27,20
Termocupla tipo J	1	u	23.83	23,83
Contactador 32A/220V	1	u	28.54	28,54
Cable siliconado #14	12	m	3.2	38,40
Breaker 20A	1	u	5	5,00
Pintura esmalte negro	1	lt	3	3,00
Cinta aislante negra	2	u	1.5	3,00
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>689,22</b>

Realizado por: Lenin Guerra

### Costos de maquinaria

El costo de la maquinaria está dado por el valor de componentes principales y que forman del prototipo de hilatura los mismos se detallan en la Tabla 2-5.

**Tabla 2-5.** Costos de maquinaria.

Descripción	Cantidad	Unidad	Valor Unitario (USD)	Subtotal (USD)
Molino para picar plástico	1	u	1050,00	1050,00
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>1050,00</b>

Realizado por: Lenin Guerra

### Costos de servicios

Corresponde aquellos costos que constituyen el uso de equipos y máquinas herramientas que no se dispone en el taller, los cuales se detallan en la siguiente Tabla 3-5.

**Tabla 3-5.** Costos de servicios.

Descripción	Cantidad	Unidad	Valor Unitario (USD)	Subtotal (USD)
Torno	5	hora	15,00	75,00
Corte plasma	2	hora	15,00	30,00
Equipo soldadura TIG ac/dc	2	hora	25,00	50,00
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>155,00</b>

Realizado por: Lenin Guerra

### Costos de mano de obra

Es el costo del personal que realiza diferentes actividades en el proceso de construcción del prototipo, el mismo se detalla en la Tabla 4-5.

**Tabla 4-5.** Costo de mano de obra.

Descripción	Cantidad	Unidad	Valor Unitario (USD)	Subtotal (USD)
Mano de obra obrero	30	hora	2,00	60,00
Soldador	20	hora	3,00	60,00
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>120,00</b>

Realizado por: Lenin Guerra

### Costos de diseño

Son los costos que corresponden a los gastos en el proceso de diseño del prototipo y se detallan en la Tabla 5-5.

**Tabla 5-5.** Costos de diseño.

Descripción	Cantidad	Unidad	Valor Unitario (USD)	Subtotal (USD)
Responsable del proyecto (Costo de Ingeniería y de detalle)	25	hora	10,00	250,00
Planos generales y en detalle	20	u	5,00	100,00
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>350,00</b>

Realizado por: Lenin Guerra, 2021

El responsable del proyecto está a cargo de los costos de diseño, es decir se determina que este aportaría con la cantidad de 350,00 USD.

#### 5.2.1.2. Costos de mantenimiento

Los costos por mantenimiento a considerarse se detallan en la Tabla 6-5.



**Tabla 6-5.** Costos de mantenimiento.

<b>Descripción</b>	<b>Valor Unitario (USD)</b>	<b>Cantidad Anual</b>	<b>Subtotal (USD)</b>
Limpieza componentes	30,00	3	90,00
Mantenimiento de picador y motor	30,00	4	120,00
Mantenimiento del sistema eléctrico	25,00	4	100,00
Imprevistos	---	---	50,00
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>360,00</b>

Realizado por: Lenin Guerra, 2021

### 5.2.1.3. Costos de energía eléctrica

El monto por consumo de energía eléctrica se muestra en la Tabla 7-5.

**Tabla 7-5.** Costo de demanda de energía eléctrica.

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Total (USD)</b>
Potencia total.	kw	2,746	
Tiempo de utilización diaria, (Diario)	hr	8,00	
Tiempo de utilización diaria, (Mensual)	kw/día	243,00	
Costo eléctrico, según el pliego tarifario de EERSA [24]	USD/kw-hr	0,062	
Consumo energía.	USD	40,86	
<b>CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA ANUAL</b>			<b>490,32</b>

Realizado por: Lenin Guerra, 2021

### 5.2.2. Beneficios

Para evaluar los beneficios del proyecto, se consideran los siguientes ítems:

#### 5.2.2.1. Venta de fibra de Pet

En la Tabla 8-5. se muestran las ventas anuales de fibra de Pet.

**Tabla 8-5.** Ventas de fibra de Pet.

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Total (USD)</b>
Capacidad del equipo.	kg/hr	5,00	
Tiempo de utilización (Diario).	hr/día	8,00	
Producción, (Diario).	kg/día	40,00	
Producción de fibra, (Mensual).	kg/mes	960,00	
Producción total, (Anual).	kg/año	11520,00	
Precio comercial de fibra de Pet	USD/kg	2,00	
<b>VENTAS ANUALES</b>			<b>23040,00</b>

Realizado por: Lenin Guerra, 2021

### 5.2.3. Valor residual

Se ha determinado que la vida útil de la máquina, va a ser de 10 años debido a que está constituida de acero y otros materiales que tienen una elevada durabilidad, el cual se calcula de la siguiente manera:

$$V_{Rn} = Vi - (Vi \times \left[ \frac{n}{N} \right])$$

Dónde:

$V_{Rn}$  = Valor residual en el año “n”, en USD.

$V_i$  = Valor inicial del bien, en el año de su instalación en, en USD.

n = Año en que se calcula el valor residual, en años.

N = Vida útil del bien, en años.

Se considera un horizonte de vida útil para el proyecto de 5 años.

$V_i$  = 2014,22 USD

N = 10 años

n = 5 años

El valor residual, de la maquinaria y equipos que forma parte del proyecto, es:

$$V_{RN} = 2014,22 - (2014,22 \times \left[ \frac{5}{10} \right])$$

$V_{RN} = 1007,11$  USD

### 5.2.3.1. Depreciación

Para calcular la depreciación se debe tener en cuenta el valor residual del bien durante el uso en el proyecto, para lo cual se debe de reconocer y registrar su desgaste, debido a que se reduce sistemáticamente el valor del activo por su uso o caída en desuso por otros avances tecnológicos y el uso excesivo del mismo.

La depreciación por tasa constante nos permite calcular el desgaste por períodos la cual se calcula:

$$a_i = \emptyset \times V_{i-1}$$

Dónde:

$\emptyset$ = Tasa constante de depreciación.

$V_{i-1}$ = Valor del equipo al final del período i-1

La tasa constante de depreciación se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\emptyset = 1 - \sqrt[n]{\frac{V_{RN}}{V_O}}$$

Dónde:

n= Número de años máximo a depreciarse, en años

$V_O$ = Valor inicial del bien, en USD

$V_{Rn}$ = Valor residual del bien, en USD.

$$\emptyset = 1 - \sqrt[5]{\frac{1007,11}{2014,22}}$$

$$\emptyset = 0,129$$

Realizando el cálculo de la depreciación del equipo para los 5 años establecidos, en la Tabla 9.5 tenemos:

**Tabla 9-5.** Depreciación del equipo.

<b>Años</b>	$a_i$	$V_i$
0	---	2014,22
1	260,73	1753,49
2	226,20	1527,28
3	197,02	1330,25
4	171,60	1158,64
5	149,46	1009,17

Realizado por: Lenin Guerra, 2021

#### **5.2.4. Evaluación financiera**

La evaluación financiera nos permite verificar que tan rentable es la construcción del prototipo mediante el cálculo del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). Para realizar la evaluación financiera los costos del proyecto se deben agrupar según se detalla en las siguiente Tabla 10-5 y 11-5 costos de inversión y producción, Tabla 12-5 se detalla los beneficios.

**Tabla 10-5.** Costo total de inversión.

<b>Descripción</b>	<b>Valor (USD)</b>
Costo de materiales.	689,22
Costo de maquinaria.	1050,00
Costo de servicios.	155,00
Costo de mano de obra.	120,00
Costo de ingeniería y de detalle.	0,00
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>2014,22</b>

Realizado por: Lenin Guerra, 2021

En la Tabla 11-5 se obtiene el costo total de producción.

**Tabla 11-5.** Costos de producción anual.

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor (USD)	Valor anual (USD)
Costo de envase Pet reciclado.	USD/kg	11520	0,60	6912,00
Costo de operador.	USD/mes	2	400,00	9600,00
Costo de tarifario eléctrico.	USD/mes	1	40,86	490,32
Costo de mantenimiento.	USD/año	1	360,00	360,00
<b>COSTOS DE PRODUCCION</b>				<b>17362.32</b>

Realizado por: Lenin Guerra, 2021

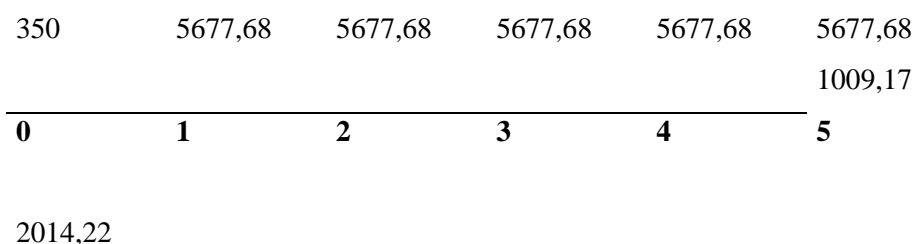
**Tabla 12-5.** Beneficio neto anual.

Ítem	Valor (USD)
Ventas.	23040,00
Costo de producción.	17362,32
<b>BENEFICIO NETO</b>	<b>5677,68</b>

Realizado por: Lenin Guerra, 2021

#### 5.2.4.1. Flujo de caja interno

Una vez conocidos los valores de inversión, egresos e ingresos del proyecto se desarrolla el flujo de caja, el cual se muestra en la Figura 1-5.



**Figura 1-5.** Diagrama de flujo de caja.

Realizado por: Lenin Guerra, 2021

#### 5.2.4.2. Valor actual neto (VAN)

El valor actual neto (VAN) es un criterio de inversión que mide los flujos de los ingresos y egresos que tendrá el proyecto, que nos permite conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión, el criterio de decisión es si el resultado es positivo el proyecto generara beneficios el proyecto es viable, para ello utilizamos la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{B_{Nt}}{(1+i)^t} - I_o$$

Dónde:

$B_{Nt}$ : Beneficio neto

$i$ : Es la tasa activa de interés, se considera que será del 10%

$n$ : Número de años

$I_0$ : Inversión inicial

La proyección de la máquina es a cinco años y la inflación para maquinarias tomada en cuenta para el proyecto produce un incremento del 10% anual y se detalla en la Tabla 13-5.

**Tabla 13-5.** Cálculo del VAN.

<b>Cálculo del VAN</b>				
<b>n</b>	<b><math>I_0</math></b>	<b><math>B_{Nt}</math></b>	<b><math>(1+i)^n</math></b>	<b><math>B_{Nt}/(1+i)^n</math></b>
0	2014,22	-2014,22	1,00	-2014,22
1		5677,68	1,10	5161,53
2		5677,68	1,21	4692,30
3		5677,68	1,33	4265,73
4		5677,68	1,46	3877,93
5		6686,85	1,61	4152,01
<b>VAN</b>	<b>20135,27</b>			

**Número de periodos:** 5  
**Tipo de periodo:** Anual  
**Tasa de descuento:** 0,10

**Realizado por:** Lenin Guerra, 2021

El resultado del VAN es mayor al de la inversión, por lo que el proyecto va a producir ganancias por encima de la rentabilidad exigida y es aceptable.

#### 5.2.4.3. Tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno es un indicador de rentabilidad de un proyecto, a mayor valor, mayor rentabilidad, y se refiere a la evaluación del proyecto en función de una tasa única de rendimiento por período, y se resume en el cálculo del VAN igualado a cero, y se calcula de la siguiente manera:

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_{Nt}}{(1+i)^t} - I_0 = 0$$

$$\text{VAN} = 0$$

Para determinar la TIR de este proyecto de inversión, tenemos que ir probando con distintos tipos de interés hasta que la suma financiera de todos los capitales sea cero, es decir, igualar el valor actual neto a cero.

**Tabla 14-5.** Cálculo del TIR.

<b>N</b>	<b>I<sub>o</sub></b>	<b>B<sub>Nt</sub></b>
0	2100	-2014,22
1		5677,68
2		5677,68
3		5677,68
4		5677,68
5		6686,85
<b>TIR</b>	<b>282%</b>	

Realizado por: Lenin Guerra, 2021

De acuerdo a la Tabla 14-5, el resultado del TIR es mayor que la tasa de descuento asumida del 20%, por lo que se concluye que el proyecto es rentable.

## CONCLUSIONES

- La investigación e implementación de este proyecto ofrece ventajas y beneficios al sector de gestión de desechos plásticos, y al usuario final, ya que mejoran la competitividad y la participación en mercados textiles locales para los recicladores, y los usuarios finales que obtienen ahorros económicos en el pago de productos de consumo de este tipo de fibra.
- Se ha demostrado que el hilado centrifugo es una técnica eficaz para la generación de fibras discontinuas con diámetros de fibra de variado tamaño mediante la rotación mecánica a alta velocidad de la solución polimérica de Pet, el hilado centrifugo, tiene varias ventajas en comparación con otros métodos de producción de fibras de este tipo.
- La aplicación de este proceso innovador dio como resultado fibras con excelentes características físicas, por esto se podría generarlo en gran cantidad previendo algunas variables que influyen en el proceso para poder mejorarlo.
- Los filamentos tendían a romperse en velocidades de rotación muy altas (3600 rpm) cuando la viscosidad de fusión fue relativamente baja. La viscosidad de fusión baja es causada por la alta temperatura de procesamiento del polímero.
- Una limitación bien conocida del proceso de centrifugado es el nivel de producción de fibra, que es mucho más bajo que el de la tecnología actual de hilado de fibras.



## RECOMENDACIONES

- El control de calidad debe estar presente a lo largo de todo el proceso para disminuir la variabilidad de cada estación. El control final se refiere a la medición de ciertas características de las fibras que son el producto final.
- Para el inicio del proceso de centrifugado, el Pet debe estar diluido completamente en el contenedor de manera de alcanzar una fundición completa del mismo, debe ser completa, para evitar taponamiento del cabezal durante el proceso de formación de fibras y lograr uniformidad en las mismas.
- El Pet es ampliamente utilizado en la industria textil, el mismo fue elegido en este estudio para demostrar la aplicabilidad de este nuevo proceso a otros tipos de polímeros. Para una mayor demostración, este proceso también puede ser aplicado con éxito a otros materiales como LDPE, PVC entre otros.
- Para tener en buenas condiciones de funcionamiento el equipo se debe ejecutar un mantenimiento preventivo de acuerdo al ANEXO G, manual de mantenimiento del prototipo, principalmente en las partes móviles ya que son las más críticas debido a la alta velocidad es sometido. La limpieza es de vital importancia debido a las impurezas que pueden ingresar en los componentes que son producidas por la fabricación de fibras de plástico.
- Con el desarrollo de la ciencia y tecnología, habrá más investigaciones del centrifugado giratorio sobre problemas y finalmente ser ampliamente utilizado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amrein, M. (2012). Estudio de la viabilidad del uso de una mezcla fenol/agua en el ensayo de solubilidad diferencial del poliéster (Universitat Politècnica de Catalunya). Recuperado de <https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/101506/TMAT1de1.pdf?sequence=1&i>
- Banco Mundial. (2018). Informe del Banco Mundial: Los desechos a nivel mundial crecerán un 70 % para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes. Recuperado de <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>
- Batson, E & Taipe, O. (2012). Diseño y construcción de una máquina centrífuga, con un mecanismo de giro de marcos de 180 grados, para la extracción de miel de abeja con capacidad de 20 kg/h (Escuela Superior Politécnica del Ejército). Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/5708>
- Blogger. (2013). Poliéster. Recuperado de <https://poliesterzei.blogspot.com/2013/02/usos-y-aplicaciones.html>
- Blogspot. (2012). Tecnología de los Plásticos. Recuperado de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/08/fibras-polimericas.html>
- Cardoso, Ch. (2016). Reciclado de botellas de plástico (Maquina de fibra) [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=cCgtn8tnVco>
- Duke, L, Rodríguez L & López L. (2013), Electrospinning: La era de las nanofibras. Revista Iberoamericana de Polímeros. 14 (1)
- Freire, D & Hurtado, A. (2011). Diseño y construcción de un sistema mecánico para embobinar fibras de Pet reciclado producidas por la extrusora del laboratorio de mecánica de materiales (Escuela Politécnica del Ejército). Recuperado de <https://docplayer.es/94818563-Escuela-politecnica-del-ejercito.html>
- Freire, L & González, C. (2013). Diseño y construcción de un equipo triturador de botellas plásticas tipo Pet (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). Recuperado de <https://docplayer.es/13060488-Escuela-superior-politecnica-de-chimborazo.html>
- GADM Riobamba informe. (21 de enero 2019). Manejo de residuos en la ciudad de Riobamba [Archivo de entrevista].

- Guerra L. (2014). Diseño de un sistema de hidrobombeo para la industria lechera FLORALP S.A (Escuela Superior Politecnica de Chimborazo). Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2350>
- HILOSVD. (2018). Feria de las ciencias. Obtención de fibras de poliéster a partir de botellas de Pet. Recuperado de [https://www.feriadelasciencias.unam.mx/antiores/feria23/feria232\\_01\\_obtencion\\_de\\_fibras\\_de\\_poliester\\_a\\_partir\\_de\\_botel.pdf](https://www.feriadelasciencias.unam.mx/antiores/feria23/feria232_01_obtencion_de_fibras_de_poliester_a_partir_de_botel.pdf)
- Huacho, H. (2015). Estudio socio económico de las comercializadoras de desechos sólidos y su manipulación en la ciudad de Riobamba julio-diciembre del 2010: propuesta alternativa (Universidad Nacional de Chimborazo)
- López, C. (2016). Reciclado del plástico [PET\*] para la obtención de fibra textil (Universidad Tecnológica Nacional – U.T.N. – Argentina). Recuperado de [http://www.edutecne.utn.edu.ar/trabajo\\_final/reciclado\\_PET.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/trabajo_final/reciclado_PET.pdf)
- Maldonado, F & Vega, F. (2010). Diseño y construcción de un equipo de moldeo por termopresión de desechos plásticos, capacidad 2700 cm<sup>3</sup> (Escuela Politecnica del Ejercito).
- Mellado P, McIlwee H, Badrossamay M, Goss J, Mahadevan L y Parker K. (2011). A simple model for nanofiber formation by rotary jet-spinning. Applied Physics Letters. [https://doi: 10.1063/1.3662015](https://doi.org/10.1063/1.3662015)
- Ministerio del ambiente y agua. (2017). Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos – PNGIDS ECUADOR. Recuperado de <https://www.ambiente.gob.ec/programa-pngi>
- Mondragón, J. (2002). Fibras textiles fibras naturales. Recuperado de <https://docplayer.es/8986649-Fibras-textiles-fibras-naturales.html>
- Secretaría Técnica Planifica Ecuador. (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Trabajo presentado por la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, Senplades, Quito, Ecuador.
- Patín, J. (2018). Plan de negocios para la creación de una empresa de elaboración textil en base al plástico Pet en el cantón Guaranda de la provincia Bolívar. (Universidad católica de Santiago de Guayaquil)
- Parker, D. (2014). Procesos de hilandería. Recuperado de <https://slideplayer.com/slide/101851/>

Pielichowski, K & Njuguna, J. (2008), Thermal Degradation of Polymeric Materials. Recuperado de:

[https://www.researchgate.net/publication/259214585\\_Thermal\\_Degradation\\_Of\\_Polymeric\\_Materials](https://www.researchgate.net/publication/259214585_Thermal_Degradation_Of_Polymeric_Materials)

Saldian, M. (2014), Fibras poliéster para uso textil producidas con botellas recicladas en Uruguay (Escuela Universitaria Centro de Diseño. FARQ - UdelaR). Recuperado de [https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/4754/1/EUCD-Saldain\\_Eugenia.pdf](https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/4754/1/EUCD-Saldain_Eugenia.pdf)

Sites.google. Recuperado de <https://sites.google.com/site/metodologiareq/capitulo-i>

Zhanga, X & Lua, Y. (2014). Centrifugal Spinning: An Alternative Approach to Fabricate Nanofibers at High Speed and Low Cost. Polymer Reviews. [https:// doi: 10.1080/15583724.2014.935858](https://doi.org/10.1080/15583724.2014.935858)

## **ANEXOS**

## ANEXO A: PROPIEDADES DE AISLANTE TÉRMICO

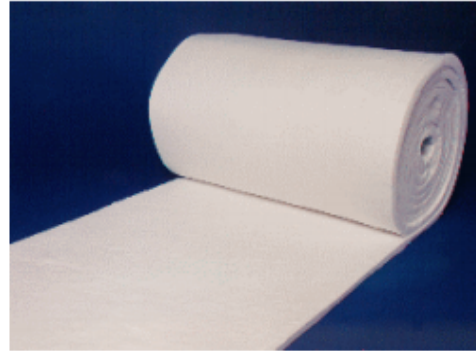
**Producto : MANTA CERAMICA**

**INFORMACION  
TECNICA**

### DESCRIPCION

- Disponibles para entrega inmediata con diversas combinaciones de dimensiones y densidades.
- Baja conductividad térmica y energía térmica almacenada.
- Elevada resistencia a los choques térmicos y ataques químicos.
- Buenas características acústicas y de protección contra-fuego.
- Alta flexibilidad, facilitando cortes e instalación.

La manta es producida a partir de sílice y alúmina de alto grado de pureza. Resultando fibras refractarias totalmente inorgánicas, densificadas y entrelazadas para garantizar buena resistencia mecánica al manipuleo durante la instalación.



### PROPIEDADES FISICAS

Color .....	Blanco
Densidad(kg/m <sup>3</sup> ).....	64-192
Espesor .....	3-51
Temperatura Máxima de Uso (°C).....	1100
Uso Límite .....	1260
Punto de Fusión (°C) .....	1760
Diámetro de las Fibras (μ,medio) .....	2,8
Largo de Fibras (cm,medio).....	10-25

### COMPOSICION QUIMICA TIPICA

(% peso, después de quemado)

Alúmina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) .....	47
Sílice (SiO <sub>2</sub> ) .....	53
Otros .....	trazos

### PROPIEDADES QUIMICAS

Los productos de fibra cerámica poseen excelente resistencia a los ataques químicos,exceptuando los ácidos fluorhídrico y fosfórico y los álcalis fuertes (ej. Na<sub>2</sub>O,K<sub>2</sub>O). La manta no es afectada por el aceite o el agua. Sus propiedades térmicas y físicas son restauradas al secarse.

### RESISTIVIDAD TERMICA (R)

El valor de la resistividad térmica de la fibra cerámica es definido como la inversa de la conductividad térmica multiplicada por el espesor (mm). El valor de R a 21°C según la norma ASTM C518-76 para 25mm y 96kg/m<sup>3</sup> es 0,163/mm.

### PROPIEDADES TERMICAS

Activar Window

Temperatura media, 8 pcf	BTU.in/ft <sup>2</sup> . h. <sup>o</sup> F	W/mK	Temperatura media, 4 pcf	BTU.in/ft <sup>2</sup> . h. <sup>o</sup> F	W/mK
500°F (260°C)	0.44	0.06	500°F (260°C)	0.54	0.08
1000°F (538°C)	0.87	0.12	1000°F (538°C)	1.29	0.19
1500°F (816°C)	1.45	0.21	1500°F (816°C)	2.30	0.33
1800°F (982°C)	1.83	0.26	1800°F (982°C)	2.96	0.43
2000°F (1093°C)	2.09	0.30	2000°F (1093°C)	--	--
Temperatura media, 6 pcf					
500°F (260°C)	0.47	0.07			
1000°F (538°C)	1.01	0.15			
1500°F (816°C)	1.73	0.25			
1800°F (982°C)	2.19	0.32			
2000°F (1093°C)	--	--			

### APLICACIONES TÍPICAS

- Revestimientos de hornos
- Intercambiadores de calor
- Turbinas a gas
- Estufas y hornos de laboratorio
- Craqueadores catalíticos
- Reparación de hornos
- Sellado y revestimientos de puertas de hornos
- Filtros para altas temperaturas
- Sellado de hornos de recocido de bobinas
- Sellado de tapa de horno pozo y calentadores
- Tratamientos Térmicos

### PROTECCION CONTRA-FUEGO

(UL723/ASTM E-84)

Desarrollo de humo.....	0
Contribución como combustible.....	0
Propagación de llama.....	0

### DIMENSIONES PATRONES

La manta cerámica es fabricada en los siguientes espesores y dimensiones:  
 Rollo patrón.....7620 x 610mm  
 Espesores.....6, 13, 25, 38 y 51 mm  
 Densidades (kg/m<sup>3</sup>)....64, 96, 128, 160 y 192  
 Observaciones: Existen otras combinaciones de densidades y espesores. Consulte por otras opciones

### ORIENTACION PARA APLICACIÓN EN CAPAS

Aplicación en techo (anclajes/m <sup>2</sup> ).....	19
Aplicación en paredes (anclajes/m <sup>2</sup> ).....	12

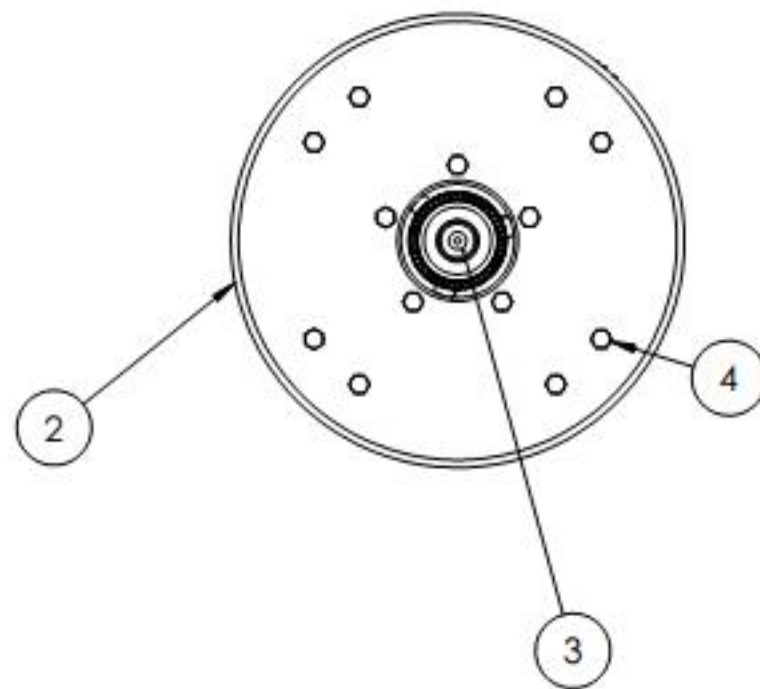
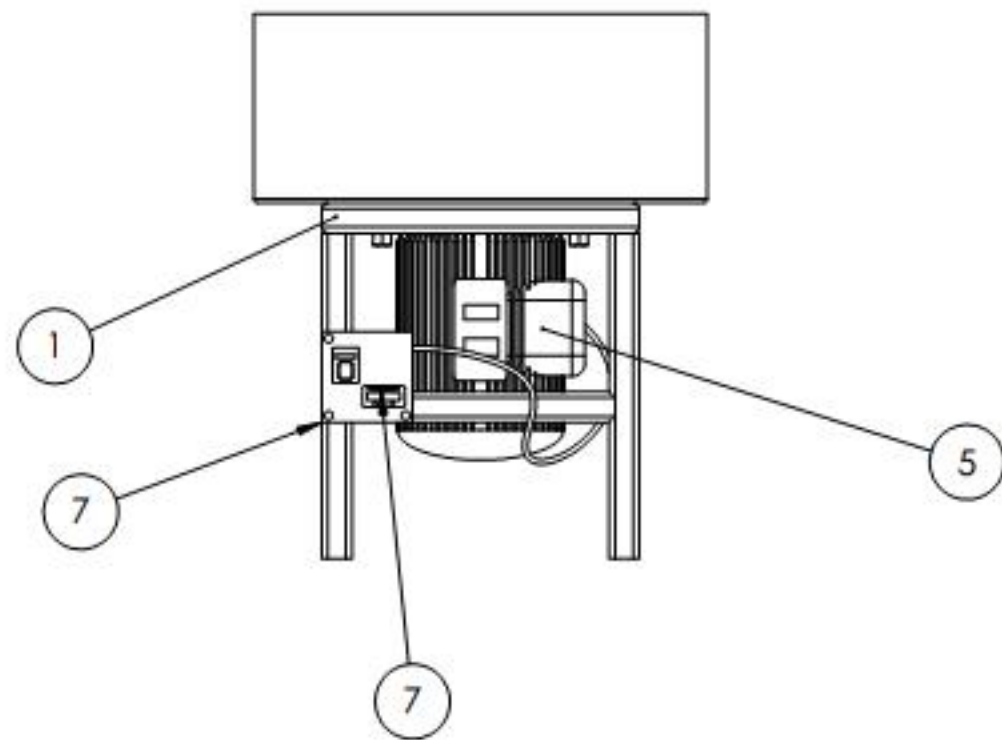
### Observaciones

1. Producto fabricado bajo licencia de Thermal Ceramics Inc., EE.UU.
2. Los valores indicados son típicos y no deben considerarse como especificados o garantizados.
3. Ver hoja de aplicación del producto.

Fuente: (Manta KAOWOOL HP 1260.doc, 2021)

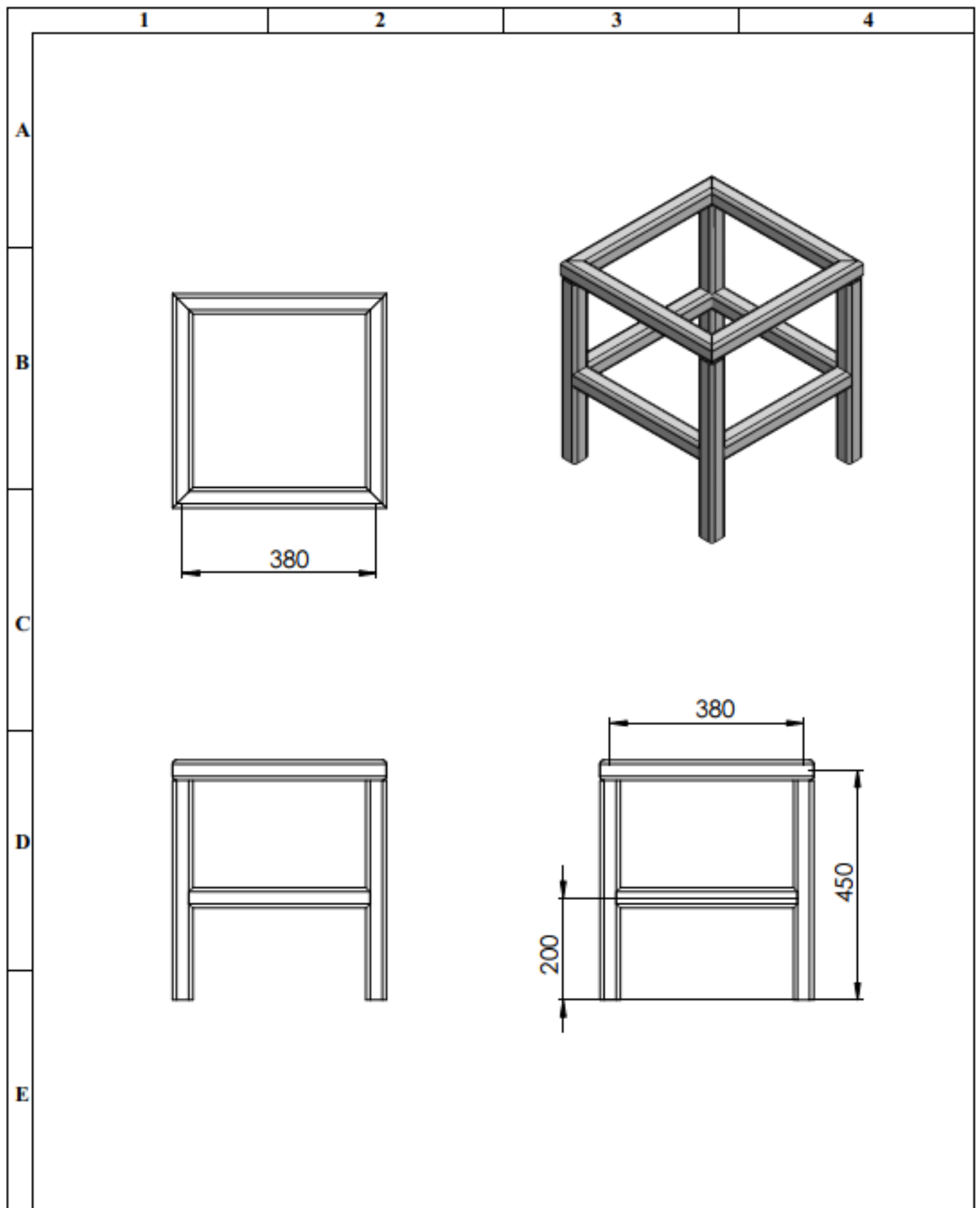
## **ANEXO B: PLANOS**



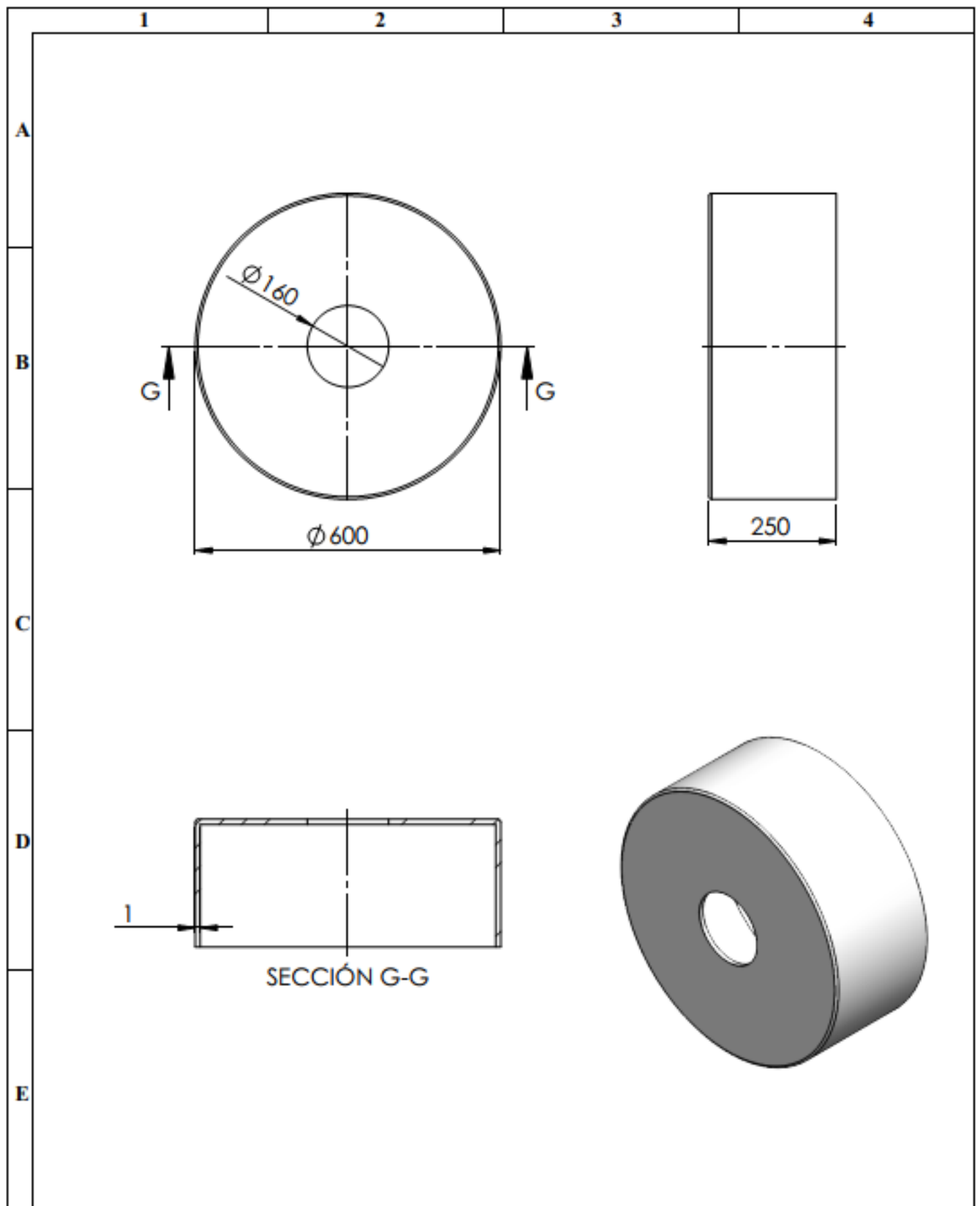


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Soporte colector	Acero carbono	1
2	Cilindro	Acero inoxidable	1
3	Cabezal	Aluminio	1
4	Perno - M12 x 25	Acero carbono	13
5	Motor		1
6	Placa tablero		1
7	Regulador de velocidad		1

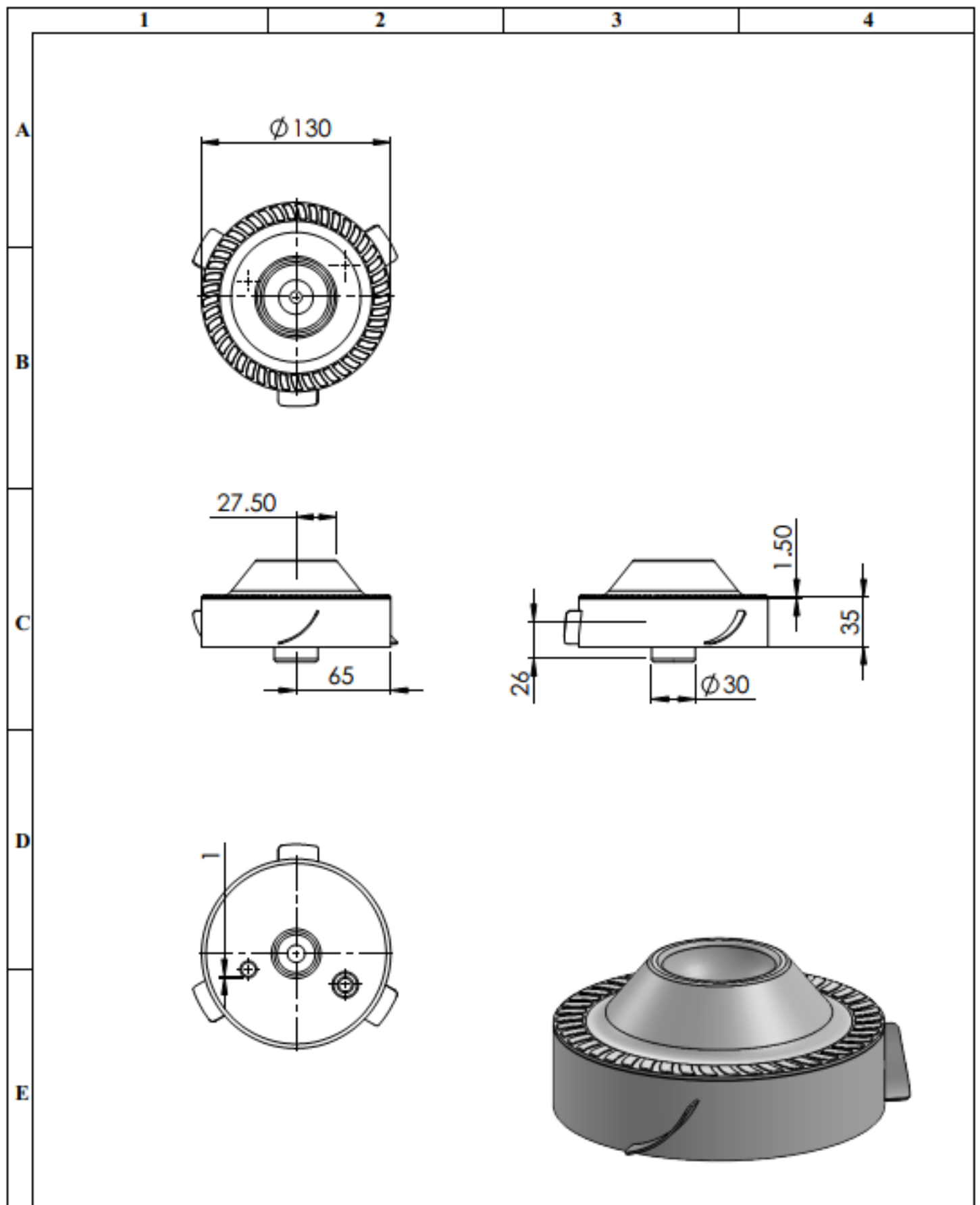
N.º Lámina: 1 de 8		N.º Hojas: 8		Sustitución:		Codificación:		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
Email: leninogv@hotmail.com Teléfonos: 0980016908				Denominación:  Lista de piezas • colector							
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: Acero				ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y I.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Proyectó	Ing. Lenin Guerra		02/02/2021								
Dibujó	Ing. Lenin Guerra		02/02/2021								
Revisó	Ing. Javier Orma		02/02/2021								
Aprobó	Ing. Javier Orma		02/02/2021	Nombre de archivo: Colector							



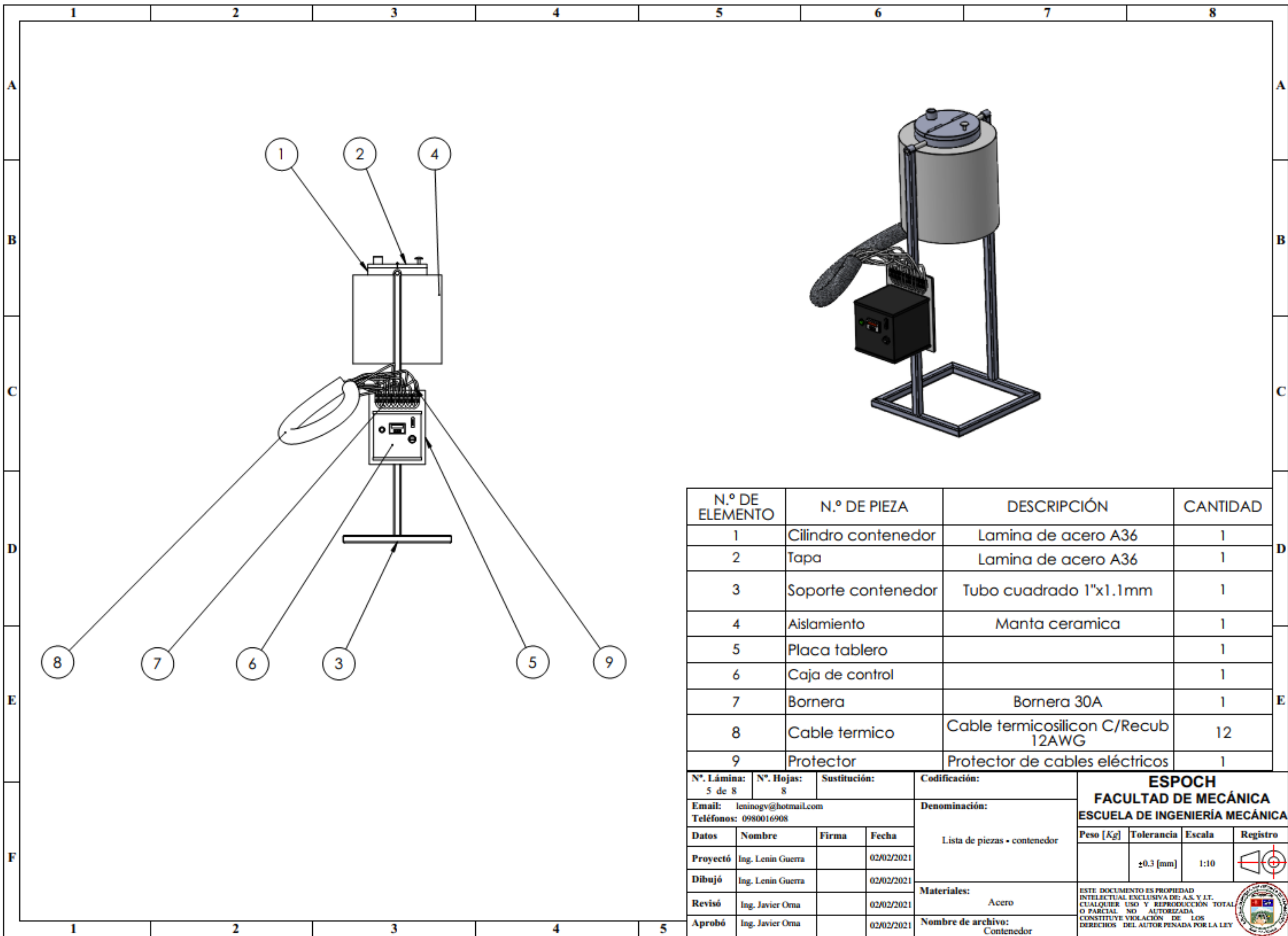
N°. Lámina: 2 de 8		N°. Hojas: 8		Sustitución:		Codificación:		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
Email: leninogv@hotmail.com Teléfonos: 0980016908						Denominación:  Soporte colector					
Datos	Nombre	Firma	Fecha					Tolerancia		Escala	
Proyectó	Ing. Lenin Guerra		02/02/2021					±0.3 [mm]		1:10	
Dibujó	Ing. Lenin Guerra		02/02/2021	Materiales:		Acero		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y I.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Revisó	Ing. Javier Orma		02/02/2021	Nombre de archivo:		Soporte					
Aprobó	Ing. Javier Orma		02/02/2021								



N°. Lámina: 3 de 8		N°. Hojas: 8		Sustitución:		Codificación:		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
Email: leninogv@hotmail.com Teléfonos: 0980016908						Denominación:  Cilindro						Peso [Kg]	
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: Acero inoxidable				Tolerancia		Escala			
Proyectó	Ing. Lenin Guerra		02/02/2021					±0.3 [mm]		1:10			
Dibujó	Ing. Lenin Guerra		02/02/2021	Nombre de archivo: Soporte				ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y I.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Revisó	Ing. Javier Orma		02/02/2021										
Aprobó	Ing. Javier Orma		02/02/2021										

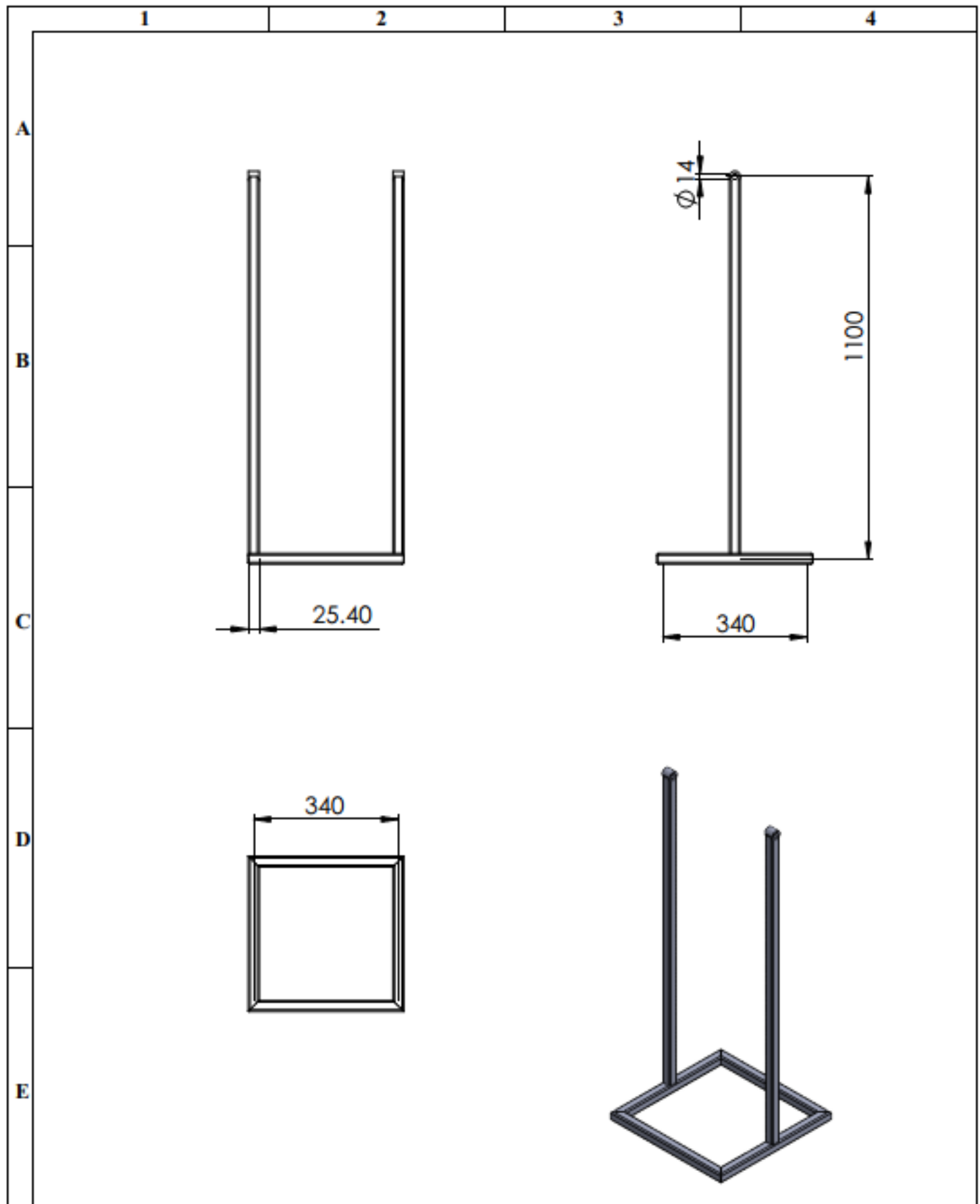


N°. Lámina: 4 de 8		N°. Hojas: 8		Sustitución:		Codificación:		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
Email: leninogv@hotmail.com Teléfonos: 0980016908						Denominación:  Cabezal						Peso [Kg]		Tolerancia	
Datos	Nombre	Firma	Fecha							±0.3 [mm]		1:3.5			
Proyectó	Ing. Lenin Guerra		02/02/2021												
Dibujó	Ing. Lenin Guerra		02/02/2021												
Revisó	Ing. Javier Orma		02/02/2021	Materiales: Aluminio											
Aprobó	Ing. Javier Orma		02/02/2021	Nombre de archivo: Cabezal										<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y I.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small>	

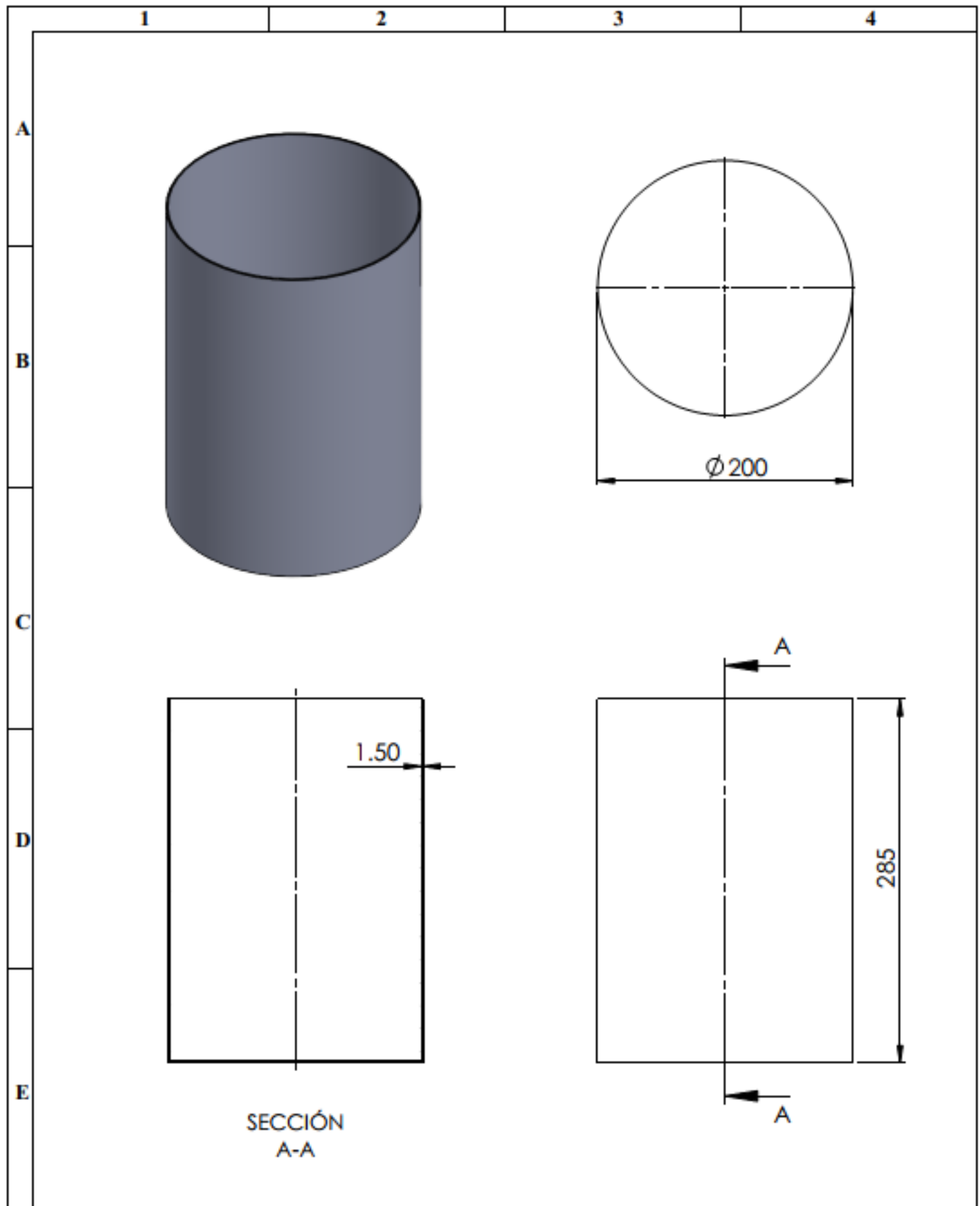


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Cilindro contenedor	Lamina de acero A36	1
2	Tapa	Lamina de acero A36	1
3	Soporte contenedor	Tubo cuadrado 1"x1.1mm	1
4	Aislamiento	Manta ceramica	1
5	Placa tablero		1
6	Caja de control		1
7	Bornera	Bornera 30A	1
8	Cable termico	Cable termicosilicon C/Recub 12AWG	12
9	Protector	Protector de cables eléctricos	1

N.º Lámina: 5 de 8		N.º Hojas: 8		Sustitución:		Codificación:		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
Email: leninogv@hotmail.com				Denominación:							
Teléfonos: 0980016908				Lista de piezas - contenedor				Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Datos	Nombre	Firma	Fecha					±0.3 [mm] 1:10 			
Proyectó	Ing. Lenin Guerra		02/02/2021								
Dibujó	Ing. Lenin Guerra		02/02/2021								
Revisó	Ing. Javier Orma		02/02/2021								
Aprobó	Ing. Javier Orma		02/02/2021	Materiales: Acero				ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y LT. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
				Nombre de archivo: Contenedor							

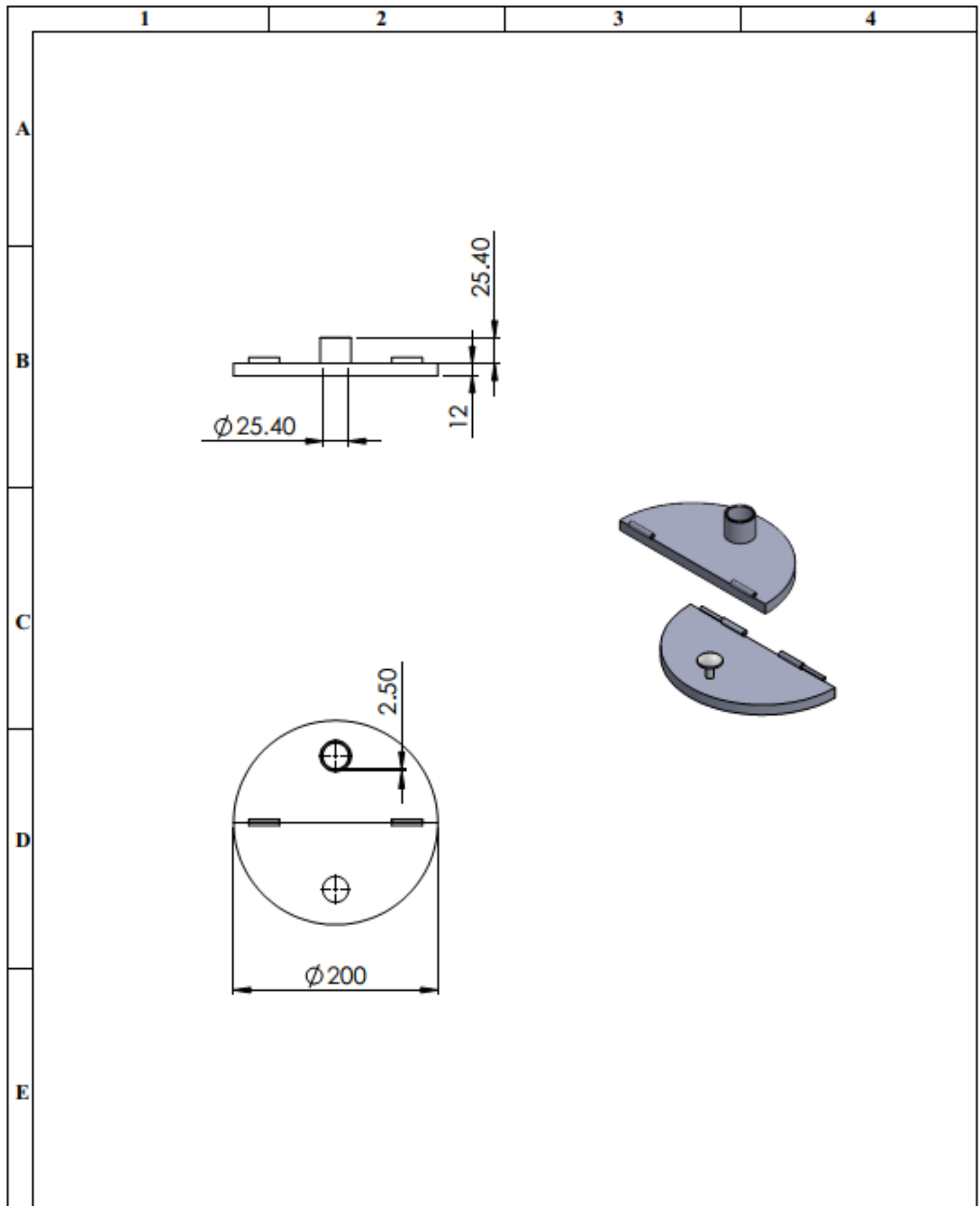


N°. Lámina: 6 de 8		N°. Hojas: 8		Sustitución:		Codificación:		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
Email: leninogv@hotmail.com Teléfonos: 0980016908						Denominación:  Soporte contenedor						Peso [Kg]		Tolerancia	
<b>Datos</b>	<b>Nombre</b>	<b>Firma</b>	<b>Fecha</b>							±0.3 [mm]		1:10			
<b>Proyectó</b>	Ing. Lenin Guerra		02/02/2021												
<b>Dibujó</b>	Ing. Lenin Guerra		02/02/2021												
<b>Revisó</b>	Ing. Javier Orma		02/02/2021	<b>Materiales:</b> Acero				ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y LT. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY							
<b>Aprobó</b>	Ing. Javier Orma		02/02/2021	<b>Nombre de archivo:</b> Soporte											



N°. Lámina: 7 de 8		N°. Hojas: 8		Sustitución:		Codificación:		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
Email: leninogv@hotmail.com Teléfonos: 0980016908						Denominación:  Contenedor						Peso [Kg]		Tolerancia	
<b>Datos</b>		<b>Nombre</b>		<b>Firma</b>		<b>Fecha</b>				±0.3 [mm]		1:4			
<b>Proyectó</b>		Ing. Lenin Guerra				02/02/2021									
<b>Dibujó</b>		Ing. Lenin Guerra				02/02/2021									
<b>Revisó</b>		Ing. Javier Orma				02/02/2021		<b>Materiales:</b> Acero							
<b>Aprobó</b>		Ing. Javier Orma				02/02/2021		<b>Nombre de archivo:</b> Contenedor							
										ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y LT. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					





N°. Lámina: 8 de 8	N°. Hojas: 8	Sustitución:	Codificación:	<b>ESPOCH</b>			
Email: leninogv@hotmail.com Teléfonos: 0980016908			Denominación:	<b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>			
			Tapa contenedor	<b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Proyectó	Ing. Lenin Guerra		02/02/2021		±0.3 [mm]	1:3.5	
Dibujó	Ing. Lenin Guerra		02/02/2021	ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y L.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Revisó	Ing. Javier Orma		02/02/2021				
Aprobó	Ing. Javier Orma		02/02/2021				
			Materiales:	Acero			
			Nombre de archivo:	Tapa			





**ANEXO C: REGISTRO FOTOGRÁFICO DE CONSTRUCCIÓN DE EQUIPOS.**



Contenedor metalico



Resistencia electricas



Aislamiento de resistencias



Soporte



Conexiones eléctricas



Caja de control



Equipo de fundición



Armado de colector



Motor



Colector



Cabezal rotativo



Regulador de velocidad



Equipo de formación de fibra

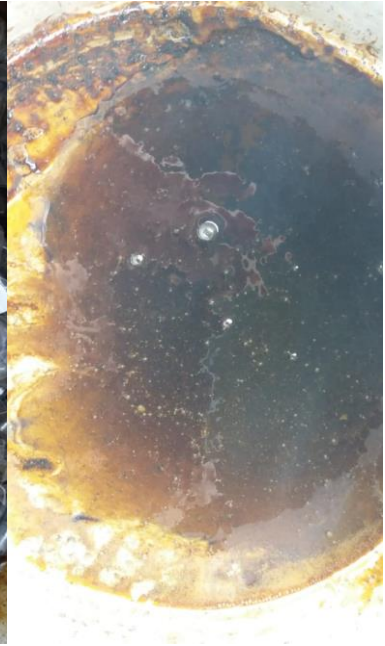
**ANEXO D: REGISTRO FOTOGRÁFICO PRUEBAS INICIALES**



Molienda de Pet



Fundicion de Pet



Masa fundida de Pet



Encendido de equipo de formación de fibras.



Formación de fibras.

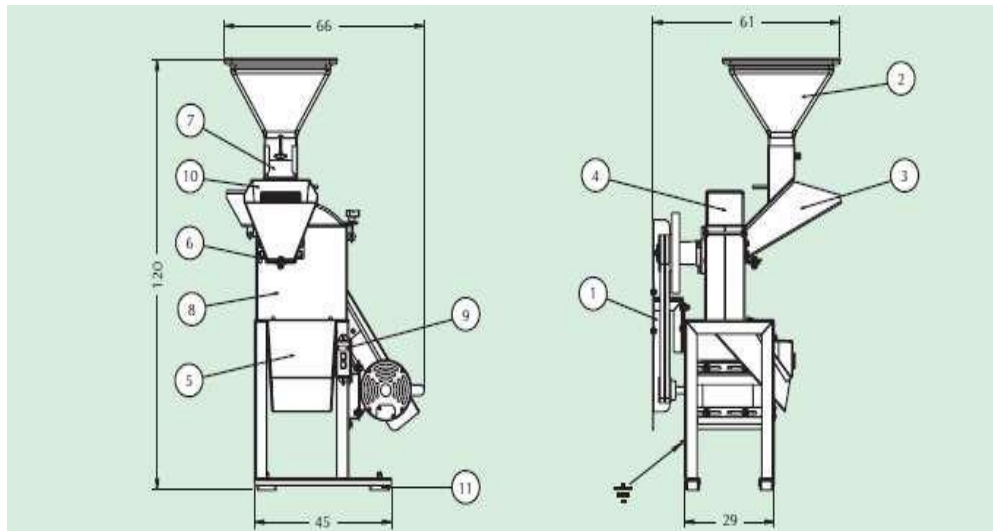


Caracterización de fibras.



## ANEXO E: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE MÁQUINA PICADORA

Componentes principales de máquina picadora.



- |     |                                    |     |                                  |
|-----|------------------------------------|-----|----------------------------------|
| 1.  | <i>Protección de correa</i>        | 2.  | <i>Embudo de los granos</i>      |
| 3.  | <i>Embudo del verde</i>            | 4.  | <i>Tapa de cierre</i>            |
| 5.  | <i>Salida inferior</i>             | 6.  | <i>Contracuchilla</i>            |
| 7.  | <i>Cajón para ajuste de granos</i> | 8.  | <i>Cuerpo</i>                    |
| 9.  | <i>Llave interruptora</i>          | 10. | <i>Tapa del embudo del verde</i> |
| 11. | <i>Amortiguadores de caucho</i>    |     |                                  |

## Características Técnicas

Modelo	Potencia (cv)	Tensión (V)	Rotación (rpm)		Tipo
			50 Hz	60 Hz	
TRP 40	1 - 1,25 - 1,5	110/220	3000	3600	Monofásico
TRF 60	1,25 - 1,5	110/220	3000	3600	Monofásico
		220/380			Trifásico
TRF 70	1,25 - 1,5	110/220	3000	3600	Monofásico
		220/380			Trifásico
TRF 80	1,25 - 1,5	110/220	3000	3600	Monofásico
		220/380			Trifásico
TRF 80M	1,25 - 1,5	110/220	3000	3600	Monofásico
		220/380			Trifásico
TRF 90	1,5 - 2	110/220	3000	3600	Monofásico
		220/380			Trifásico
TRF 300	2	110/220	3000	3600	Monofásico
	2 - 3	220/380			Trifásico
TRF 300F	2	110/220	3000	3600	Monofásico
	2 - 3	220/380			Trifásico
TRF 400	2	110/220	3000	3600	Monofásico
	2 - 3	220/380			Trifásico
TRF 400F	2	110/220	3000	3600	Monofásico
	2 - 3	220/380			Trifásico
Límites de condiciones ambientales:			Temperatura: 40°C Humedad relativa del aire: 80%		

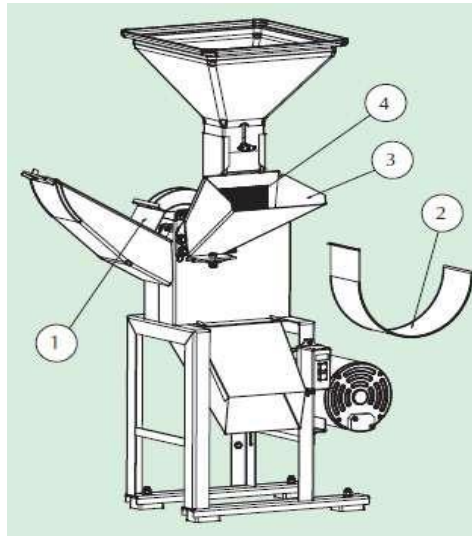
## Características de Producción

Modelo	Tamiz (mm)					
	0,8	2	3	5	12	Lisa
	Material producido (kg/h)					
	Harina	Quirera fina	Quirera fina	Quirera gruesa	"Rolão"	Ración verde
TRP 40	-	-	-	-	-	-
TRF 60	-	30/60	80/100	130/180	130/230	500/900
TRF 70	10/15	-	80/100	130/180	130/230	
TRF 80						
TRF 80M	30/60	-	130/250	250/500	150/250	500/900
TRF 90						
TRF 300						
TRF 300F	50/80	-	150/300	300/650	200/450	600/1000
TRF 400						
TRF 400F	60/90	-	170/330	330/700	250/500	800/1200

- Notas: 1) "Rolão" = Resultado de la trituración de la espiga de maíz con paja.  
 2) Las cantidades indicadas arriba son solamente valores de referencia, pudiendo variar de acuerdo con la humedad del producto y condiciones de trabajo.  
 3) El TRF 60 no posee tamiz de 0,8 mm.

## ANEXO F: MANUAL DE OPERACIÓN DE LAS MÁQUINAS

### OPERACIÓN DE MOLINO PICADOR.



#### Medidas de seguridad.

- Usar calzado y ropa adecuada, gafas, guantes y protector auricular, mientras esté utilizando el equipo.
- Si el equipamiento comienza a vibrar, apáguelo y desconéctelo de la red eléctrica inmediatamente, verifique pronto la causa de esta vibración, pues esta indica que el equipamiento necesita de ajustes o reparaciones.
- Verifique el estado de los cables de alimentación.
- No operar el picador con la tapa abierta o sin protección de la correa.

#### Verificaciones.

Antes de poner el picador en operación se debe verificar:

- Que no haya herramientas u objetos sobre el motor o sobre el equipamiento, principalmente dentro del ingreso.
- Que no hay nada trancando el motor.
- Que el sentido de rotación sea el correcto.
- Que no haya personas u objetos próximos a las poleas y correas.
- Que la tapa del triturador esté correctamente cerrada.

NOTA: Si el equipamiento está debidamente preparado accione el motor, aguarde hasta alcanzar la rotación máxima e inicie el trabajo.

**Funcionamiento de la máquina picadora.** Para operar con productos plásticos (envases), se recomienda:

- Retirar la tapa de salida (1)
- Retirar la tapa del embudo de ingreso (4)
- Colocar tamiz apropiado (2), pues la salida será por la parte inferior del picador.
- Los envases plásticos son colocados en el embudo (3), de donde es encaminado para ser procesado, saliendo por la parte inferior del picador.

## **OPERACIÓN DE CONTENEDOR Y FIBRADOR.**

### **Medidas de seguridad y preparación del material**

- Para iniciar el proceso de centrifugación se necesita que el operador se encuentre con los elementos de seguridad necesarios gafas, overol y guantes. Los elementos nombrados evitarán quemaduras en extremidades al manipular el sistema ya que este funciona con temperaturas de hasta 260° C y daños en el rostro, principalmente en la visión, por salpicadura de plástico fundido.
- Se recomienda seleccionar y pesar el plástico molido que se va a fundir, la masa que se pesa para depositar en el molde es solo experimental ya que no se tiene un dato de la cantidad de material que se tiene que colocar para obtener cierto volumen de plástico fundido.
- Para obtener las fibras de plástico reciclado en buenas condiciones se coloca vaselina de petróleo en las paredes del colector, esta ayuda a desmoldar la fibra con mayor facilidad, ya que el plástico tiende a adherirse al metal.

### **Funcionamiento del Sistema**

- Verificando que el breaker este apagado se conecta el enchufe a una toma de 220 V
- Colocar el breaker y el interruptor de botón en “ON”, en ese instante se enciende el foco de funcionamiento y el pirómetro digital. La temperatura mostrada debe ser la temperatura ambiente, 18°C a 20 °C aproximadamente.
- Las resistencias requieren cierto tiempo de estabilización para que comiencen a transferir energía con el flujo necesario. El tiempo recomendado por el fabricante es de 5 a 10 minutos de pre-calentamiento en una temperatura de 100 °C para tener un flujo constante de 500 W por resistencia eléctrica, antes de comenzar el proceso.
- Para iniciar el pre-calentamiento se coloca el selector del pirómetro en 100 °C, inmediatamente se encienden las resistencias hasta la temperatura marcada, hasta estabilizar la temperatura durante un tiempo determinado, así hasta alcanzar la temperatura deseada que es de 260°C.
- Se hace el vaciado de la masa en fibrador, el mismo debe estar en velocidad indicada para su procesamiento
- Hacer el vaciado permanente de la fibra obtenida en colector de manera de permitir que las fibras se atenúen libremente.

## **ANEXO G: MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL PROTOTIPO**

En el presente manual se desarrollará y resaltará la importancia de las acciones de mantenimiento más comunes en función de cada sección del prototipo. Asimismo, se darán recomendaciones prácticas para el efectivo cumplimiento de este manual de mantenimiento.

### **ACCIONES DE MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA PICADORA.**

El mantenimiento preventivo se dirige a la prevención de averías y defectos. Las actividades diarias incluyen chequeos del equipo, controles de precisión, hacer una revisión total o parcial en momentos específicos.

- Limpieza de la máquina cada día, tras usarla, para llevar a cabo la limpieza, extraiga el tamiz de la picadora. Elimine los trozos sueltos y las hojuelas y limpie la parte interna de la máquina con todo y eje, esto contribuirá al mantenimiento de la máquina alargando su vida útil.
- La tensión de la correa trapezoidal debe comprobarse tras las primeras horas de funcionamiento y tensarse si es necesario. Las correas trapezoidales deben comprobarse una vez por semana y sólo deben reemplazarse en conjunto.
- El afilado de las cuchillas, al afilar hay que tener de retirar la misma cantidad de material en cada cuchilla, para no perjudicar el balance del conjunto del eje y causar consecuentemente, vibraciones. Las cuchillas deberán ser sustituidas siempre que no posibiliten más un perfecto afilado.
- Por ser un equipamiento que sufre constantes vibraciones, promovidas por los impactos de los productos triturados o picados, la tendencia natural es que, con el paso del tiempo, los tornillos se aflojen. Por eso, debe verificarlos periódicamente y, caso necesario, hacer el reaprieto de los tornillos flojos.

En la utilización del equipo picador pueden ocurrir situaciones o problemas, para los cuales le presentamos, a seguir, algunas orientaciones que se muestran en la Tabla.

Problema	Causa Probable	Solución
<b>Embuchamiento de la Máquina</b>	Alimentación demasiada. Debido a eso, el motor no mantiene la rotación necesaria y el producto se acumula dentro de la máquina (persistiendo el uso, el motor podrá quemarse por sobrecarga).	Apague el equipo y aguarde hasta que el motor pare por completo. Abra la tapa, limpie el exceso de producto dentro de la máquina, cierre la tapa, encienda el motor, aguarde hasta que llegue a la rotación máxima y empiece el trabajo de nuevo, controlando la alimentación de la máquina, de manera que no demande más que la capacidad que el motor pueda soportar.
<b>Baja Producción</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 - Alimentación insuficiente de la máquina.</li> <li>2 - Rotación de la máquina más baja que la especificada.</li> <li>3 - Producto húmedo.</li> <li>4 - Reglaje de la máquina incompatible con el producto utilizado.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 - Controle la alimentación de manera que sea continua, pero no demasiada, para no causar embuchamiento.</li> <li>2 - Verifique si el motor adquirido para instalar la máquina (equipos vendidos sin motor) corresponde a lo solicitado (ver etiqueta adhesiva en la máquina). En el caso de que la rotación sea más baja que la especificada, los martillos demorarán más para triturar el producto y con eso la producción es reducida.</li> <li>3 - Se debe triturar únicamente productos secos. Si los productos están húmedos, las perforaciones de las cribas se obstruirán.</li> <li>4 - Se debe verificar si la criba utilizada es adecuada al producto a ser obtenido.</li> </ol>
<b>Corte Irregular del Producto</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 - Falta de filo en las cuchillas.</li> <li>2 - Contracuchilla raída o fuera de reglaje.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 - Afile las cuchillas conforme indicado en el ítem Mantenimiento - Cuchillas (pág. 31).</li> <li>2 - Proceda conforme indicado en el ítem Mantenimiento - Contracuchilla (pág. 30).</li> </ol>
<b>Deficiencia al Moler Productos Secos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 - Martillos raídos o dañados.</li> <li>2 - Martillos bloqueados.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 - Cambie los lados de los martillos o sustitúyalos por nuevos, procediendo conforme el ítem Mantenimiento - Martillos (pág. 31).</li> <li>2 - Limpie la máquina siempre que termine de picar productos verdes, principalmente antes de paros prolongados.</li> </ol>
<b>Dificultad de Puesta en Marcha del Motor</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 - Exceso de productos dentro de la máquina.</li> <li>2 - Caída de tensión en la corriente eléctrica.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 - Al terminar los trabajos, deje siempre la máquina en marcha hasta la salida total de los productos.</li> <li>2 - Verifique las condiciones de la corriente eléctrica (electricista).</li> </ol>



## **ACCIONES DE MANTENIMIENTO DEL CONTENEDOR Y FIBRADOR.**

### **Parte eléctrica.**

Las acciones de mantenimiento están orientadas a:

- Destapar la caja de control y verificar que no existan impurezas dentro de ella, se realiza la limpieza con aire o manualmente. Si fuese necesario hay que desarmar el sistema de la caja de control se debe ser precavido antes de desconectar algún elemento y con ayuda del plano de conexiones eléctricas.
- Verificar el estado de los cables al interior de la caja de control para evitar fallos del sistema o corto circuitos. Lo mismo se debe realizar con los cables externos que conectan las resistencias, con el cable de poder de 220V y su enchufe.
- Revisar el aislamiento de las conexiones que se encuentren más cercanas entre sí, ya que pueden unirse, para evitar corto circuitos es importante.

### **Parte mecánica.**

Las acciones de mantenimiento en la parte mecánica están orientadas a:

- Evitar restos plásticos ya pueden entrar dentro de los componentes, por lo que se necesita limpiarlos frecuentemente.

NOTA. Antes de realizar una acción de mantenimiento se debe verificar que el equipo se encuentre apagado y la pared del contenedor se encuentre a temperatura ambiente para evitar quemaduras. En la caja de control se encuentra el mando eléctrico del equipo por lo tanto este debe encontrarse en óptimas condiciones por lo que se recomienda.

## ANEXO H: PROPIEDADES DEL PET Y DE FIBRAS DE POLIESTER

Propiedades del Pet.

Propiedad	Valor
Viscosidad Intrínseca	0,81 ± 0,02 dl/g
Contenido de Acetaldehído	< 1 ppm
Contenido de humedad	≤ 0,2 %
Temperatura de fusión	245±2 °C
Densidad	1,41 g/cm <sup>3</sup>

Propiedades de fibras de poliéster.

### *Densidad y gravedad específica\**

Fibras	Densidad (g/cc)
<b>Fibras artificiales</b>	
Acetato	1.32
Acrílico	1.17-1.18
Aramid	1.38-1.44
Fluorocarburo	2.2
Vidrio	2.49-2.73
Modaerílico	1.30-1.37
Novoloid	1.25
Nylon	1.14
Nylon Qiana	1.03
Olefina	0.91
Poliéster	1.22 o 1.38
Rayón	1.50-1.52
Saran	1.70
Spandex	1.20-1.22
Vinyon	1.33-1.35

### *Recuperación elástica*

<i>Fibra</i>	<i>% de recuperación de un estiramiento de 2 a 5%</i>
<b>Fibras artificiales</b>	
Acetato	58
Acrílico	92
Modacrílico	88
Nylon	100
Olefina	95
Poliéster	97
Rayón	54
Spándex	99

### *Resistencia a la abrasión*

Nylon	Excelente
Olefina	↓ a ↓ Mala
Poliéster	
Spandex	
Lino	
Acrílicos	
Algodón	
Seda	
Lana*	
Rayón	
Acetato	
Vidrio	Mala

\*Varía según el grueso de la fibra

Fuente: (<https://es.slideshare.net/Nicolas1964/fibras-textiles-e-hilatura>)

## ANEXO I: COEFICIENTE DE EMISIVIDAD DE MATERIALES

Coeficiente de emisividad de diversos materiales	
Metales	$\epsilon$
Aluminio	0,05
Acero	0,06 – 0,25
Cobre	0,015 – 0,025
No metales	$\epsilon$
Madera	0,91
Papel	0,90
Ladrillo	0,90

Fuente: <https://www.tecnol.es/diccionario-tecnico/>

**ANEXO J: MATRIZ DE PUNTUACIÓN**

<b>CRITERIOS DE EVALUACIÓN</b>		<b>FACTORES</b>	<b>PESO</b>	<b>ALTERNATIVA A</b>	<b>ALTERNATIVA B</b>	<b>OBJETIVO</b>
<b>1. DESEMPEÑO</b>	<i>1. Fácil de operar</i>		3	3	3	4
	<i>2. Ventaja mecánica</i>		3	2	2	4
	<i>3. Eficiencia</i>		4	3	3	5
	<i>4. Eficacia</i>		4	4	3	4
<b>2. TAMAÑO</b>	<i>5. Tamaño</i>		2	1	3	3
<b>3. MANTENIBILIDAD</b>	<i>6. Durabilidad</i>		3	3	3	4
	<i>7. Fácil limpieza</i>		3	2	2	3
	<i>8. Fácil consecución de repuestos</i>		2	3	3	3
<b>4. SEGURIDAD</b>	<i>9. Riesgo al operario</i>		3	3	2	4
<b>5. COSTOS</b>	<i>10. Económico</i>		5	2	4	5
<b>Total puntuación</b>				<b>85</b>	<b>92</b>	<b>130</b>
<b>Porcentaje alcanzado</b>				<b>65.4%</b>	<b>70.5%</b>	<b>100%</b>

Realizado por: Lenin Guerra, 2021



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE  
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 03 / 06 / 2021

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> <i>Lenin Orlando Guerra Vaca</i>
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<i>Instituto de Posgrado y Educación Continua</i>
<b>Título a optar:</b> <i>Magister en Diseño Mecánico</i>
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.



0046-DBRAI-UPT-IPEC-2021