

OBTENCIÓN DE FIBRA TEXTIL A PARTIR DEL RECICLADO DEL PLÁSTICO (PET)

ALEJANDRO FORERO VILLARRAGA

Proyecto Integral de Grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO

Director

Jaime Eduardo Arturo Calvache

Ingeniero Químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA INGENIERÍA QUÍMICA

BOGOTÁ D.C.

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

Jaime Eduardo Arturo Calvache
Director de tesis

Juan Andrés Sandoval Herrera
Jurado 1

Dany José Cárdenas Romay
Jurado 2

Bogotá D.C, febrero 2022

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector de Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Consejo Institucional

Dr. LUIS JAIME GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretario General

Dr. JOSÉ LUIS MACÍAS RODRÍGUEZ

Decana de Facultad de Ingenierías

Dra. NALINY PATRICIA GUERRA PRIETO

Director del Departamento de Ingeniería Química

Ing. NUBIA LILIANA BECERRA

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a la Universidad de América, a sus directivos y docentes, que me transmitieron sus conocimientos y experiencia profesional, que son las bases que soportarán mi trascorrir laboral.

A mis padres por darme la oportunidad de tener un crecimiento académico y personal durante todo mi periodo como estudiante en la universidad y durante toda mi vida, convirtiéndose en ejemplos a seguir.

Finalmente quiero agradecer a todos mi familiares y amigos que han hecho parte de mi desarrollo, con su apoyo incondicional, consejos, experiencias compartidas y con su plena disposición de ayuda hacia mí.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
1. GENERALIDADES Y MARCO CONCEPTUAL	15
1.1 Identificación del problema	15
1.2 Justificación del proyecto	16
1.3 Fibra textil	16
1.3.1 <i>Tipos de fibra textil</i>	20
1.3.1 Reciclaje	21
1.4 PET	25
1.4.1 <i>Tipos de PET</i>	25
1.4.2 <i>Propiedades del PET</i>	26
1.4.3 <i>Aplicaciones del PET</i>	27
1.4.4 <i>Identificación del PET</i>	28
2. FASES DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE FIBRA TEXTIL A PARTIR DE PET RECICLADO	29
2.1 El PET en la fibra textil	29
2.2 Descripción del proceso	29
2.2.1 <i>Clasificación</i>	30
2.2.2 <i>Triturado</i>	33
2.2.3 <i>Lavado</i>	34
2.2.4 <i>Secado</i>	35
2.2.5 <i>Extrusión</i>	36
2.2.6 <i>Bobinado</i>	37
2.3 Diagrama de bloques	38
2.4 Diagrama PFD	40
2.5 Balance de masa	41
2.6 Balance de energía	49
3. PRUEBAS FISICOQUÍMICAS A LA FIBRA DE POLIÉSTER	52
3.1 Pruebas a la fibra de poliéster	52
3.2 Prueba de pH	52
3.3 Peso por m ²	55
3.4 Humedad relativa	58
4. ANÁLISIS DE PRODUCCIÓN DE FIBRA TEXTIL EN ECO PLÁSTICOS GR	62
4.1 Disponibilidad de la materia prima	62
4.2 Identificación de equipos	63
4.3 Matriz de decisión	68
4.4 Consumo energético	73

4.5 Aportes del trabajo a la empresa Eco Plásticos GR	72
5. CONCLUSIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	82
ANEXOS	87

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Exportaciones colombianas de textiles	18
Figura 2. Importaciones Colombianas de textiles	19
Figura 3. <i>Proceso del reciclaje químico</i>	22
Figura 4. Proceso del reciclaje mecánico	23
Figura 5. Molécula del Tereftalato de polietileno	24
Figura 6. Proceso de producción de tereftalato de polietileno	25
Figura 7. Identificación del PET	28
Figura 8. Proceso de identificación	31
Figura 9. Botellas antes del retirado de tapas y etiquetas	32
Figura 10. Botellas después de retirar tapas y etiquetas	33
Figura 11. Escamas de PET luego de triturado	34
Figura 12. Escamas de PET luego de triturado y lavado	35
Figura 13. Esquema extrusor	36
Figura 14. Fibra de poliéster	37
Figura 15. proceso de bobinado	38
Figura 16. Diagrama de bloques	39
Figura 17. Diagrama de flujo	40
Figura 18. Balance de masa de la clasificación	45
Figura 19. Balance de masa triturado	46
Figura 20. Balance de masa lavado	47
Figura 21. Balance de masa secado	48
Figura 22. Balance de masa extrusión	49
Figura 23. Calentamiento vaso precipitado	53
Figura 24. Fibra en el vaso precipitado com agua	54
Figura 25. pH en la fibra	55
Figura 26. Peso de la fibra em la balanza analítica	56
Figura 27. Fibra textil en el proceso de secado	59
Figura 28. Banda transportadora	64

Figura 29. Trituradora	65
Figura 30. Tina de lavado	66
Figura 31 Secado de deshumidificación	67
Figura 32. Extrusora	68
Figura 33. Reciclaje mecánico	90
Figura 34. Identificación de etiquetas	94
Figura 35. Identificación de plásticos	94
Figura 36. Identificación de lavado	95
Figura 37. Identificación de secador	95
Figura 38. Proceso triturador	96
Figura 39. Proceso triturador	96
Figura 40. Proceso tina de lavado	97
Figura 41. Proceso en secador	97
Figura 42. Proceso pesaje	98
Figura 43. Proceso selección	98
Figura 44. Prueba peso m2	99
Figura 45. Calentamiento de agua para prueba de pH	99
Figura 46. Prueba de pH acuosa	100
Figura 47. Prueba de pH acuosa	100

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. <i>Exportaciones colombianas de textiles</i>	18
Tabla 2. <i>Importaciones colombianas de textiles</i>	20
Tabla 3. <i>Diagrama PFD</i>	40
Tabla 4. <i>Balance de masa</i>	41
Tabla 5. <i>Participación del PET en la producción</i>	41
Tabla 6. <i>PET recibido durante el mes de noviembre</i>	42
Tabla 7. <i>PET recibido durante el mes de diciembre</i>	43
Tabla 8. <i>Peso por m² ensayo 1</i>	56
Tabla 9. <i>Peso por m² ensayo 1</i>	57
Tabla 10. <i>Dato del peso de las fibras</i>	59
Tabla 11. <i>Peso inicial y final de las muestras</i>	60
Tabla 12. <i>Porcentaje de humedad</i>	61
Tabla 13. <i>Tabla comparativa banda transportadora</i>	69
Tabla 14. <i>Matriz de decisión de bandas transportadoras</i>	69
Tabla 15. <i>Tabla comparativa de la trituradora</i>	70
Tabla 16. <i>Matriz de decisión de trituradora</i>	70
Tabla 17. <i>Tabla comparativa de lavado</i>	71
Tabla 18. <i>Matriz de decisión de lavado</i>	71
Tabla 19. <i>Tabla comparativa del secado</i>	71
Tabla 20. <i>Matriz de decisión de secado</i>	72
Tabla 21. <i>Tabla comparativa de la extrusión</i>	72
Tabla 22. <i>Matriz de decisión de extrusión</i>	73
Tabla 23. <i>Costos totales de energía</i>	76
Tabla 24. <i>Estimación costos de equipos</i>	77
Tabla 25. <i>Estimación salarial de los operarios</i>	77
Tabla 26. <i>Costos</i>	79
Tabla 27. <i>Ingresos adicionales</i>	79
Tabla 28. <i>pH en la fibra de poliéster</i>	91
Tabla 29. <i>Humedad relativa de la fibra de poliéster</i>	92

Tabla 30. pH de la fibra de poliéster	92
Tabla 31. Peso por m2 ensayo 1	92
Tabla 32. Peso por m2 ensayo 1	93
Tabla 33. Datos de humedad	93
Tabla 34. Capacitación	102

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Guia de laboratório	90
Anexo 2. Fotos em planta	94
Anexo 3. Fotos laboratório	99
Anexo 4. Muestra de cálculos balance de masa	100
Anexo 5. Capacitación a la empresa Eco Plásticos GR S.AS	104
Anexo 5. Recomendaciones	105

RESUMEN

En el siguiente trabajo se describe el proceso de transformación del PET para obtener fibra textil, con el propósito de crear conciencia sobre la importancia que tiene el reciclaje de plásticos de un solo uso para disminuir su impacto ambiental, teniendo en cuenta que este material es desechado indiscriminadamente en los diferentes componentes de nuestro ecosistema, generando mayor contaminación por su alto tiempo de descomposición.

Se presenta un análisis de fuentes bibliográficas para determinar las propiedades físicas de nuestra materia prima. Se investigó cómo este material es reutilizado en diferentes tipos de productos que están siendo aprovechados por las industrias, entre ellas la empresa Eco Plásticos GR S.A.S, en la cual se analizó el proceso durante los meses de noviembre y diciembre de 2022, desde la recepción del material hasta la elaboración de la fibra textil, obteniendo datos necesarios para efectuar los balances tanto de masa como de energía que el proceso requiere.

Los resultados demuestran que el 97% del material recibido es aprovechado, así mismo se evidencia que las pruebas fisicoquímicas realizadas están dentro de los parámetros que rigen la industria para su comercialización. La estadística registrada en los 49 días de seguimiento, con una producción media de 60,5 kg diarios y 35,1 de desviación estándar, también indica que la maquinaria con la que cuenta la empresa no está trabajando al máximo de su capacidad, la cuál es de 100 kg al día. Por lo tanto, la empresa modelo tiene la posibilidad de incrementar su productividad.

Palabras clave: Tereftalato de polietileno, fibra textil, propiedades físicas, impacto ambiental.

INTRODUCCIÓN

Los plásticos de un solo uso como el PET Tereftalato de polietileno están presentes en la vida diaria de las comunidades, principalmente en forma de envases de alimentos y bebidas y por su inadecuada disposición post consumo terminan contaminando nuestro medio ambiente. Siendo este material tan común, es indispensable entender cuáles son los segundos usos que se pueden obtener de su reciclaje e impactar positivamente esta problemática.

Esta investigación permite conocer el proceso de transformación del PET reciclado y así mismo, evidenciarlo en la práctica dentro de la empresa Eco Plásticos GR S.A.S, validando sus alternativas de producción, analizando el impacto económico y situando al empresario en la toma de decisiones y la optimización de recursos.

En este proyecto se abordaron los objetivos de desarrollo sostenible, los cuales son: acción por el clima, vida submarina y vida de ecosistemas terrestres, orientando a la empresa a reducir el impacto medioambiental que las botellas de PET generan en nuestros ecosistemas.

OBJETIVOS

Objetivo General

Establecer el proceso de obtención de fibra textil con base en tereftalato de polietileno (PET) reciclado.

Objetivos Específicos

- Caracterizar las fases que se llevan a cabo en el proceso de obtención de la fibra textil con base en PET reciclado.
- Determinar la materia prima que va a ingresar al proceso.
- Producir fibra textil con base en tereftalato de polietileno (PET) reciclado.
- Evaluar las pruebas fisicoquímicas a la fibra de poliéster.

1. GENERALIDADES Y MARCO CONCEPTUAL

En el siguiente capítulo se exponen los elementos que sustentan la investigación, incluyendo las bases teóricas del proceso de transformación del plástico y sus características principales.

1.1 Identificación del problema

El principal problema medio ambiental en estos tiempos es la contaminación por residuos plásticos los cuales pueden durar hasta 400 años para descomponerse [1]. En Colombia se producen anualmente 24 kg de desechos plásticos por persona [2]. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia ha determinado que el país genera aproximadamente 1.4 millones de toneladas de plásticos al año, del que tan solo se recicla el 20%. El 80% restante termina acumulado en los rellenos sanitarios o son arrojados en los valles, montañas y los ríos [2]. El tema es alarmante según la directora de la ONG Greenpeace en Colombia, Silvia Gómez, quien indica que, del total del plástico desechado por cada habitante en Colombia, el 56% es de un solo uso, como pitillos, cubiertos, tapas y envases de jugos [29].

El efecto que generan los envases desechados al medio ambiente debe ser contrarrestado con una correcta disposición de ellos. Una de las alternativas es la apuesta de los sectores público y privado por una economía circular entorno a los plásticos, haciendo que estos sean fabricados con mayor durabilidad y con materiales reciclados y reciclables. Entre los plásticos que son reciclables se resalta el PET que, gracias a su transparencia y alta resistencia, es utilizado principalmente para envasar agua, refrescos y otros productos alimenticios. Adicionalmente, por efectos de la pandemia de COVID-19, se generó una alta demanda de guantes, tapabocas y gafas protectoras de plástico, con lo cual más material llegó a contaminar distintas zonas de todo el país.

Según la Asamblea de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente realizada en 2019 se estima que para el año 2050 habrá cerca de 12.000 millones de toneladas de desechos plásticos en ambientes naturales. [1]

Como consecuencia, el volumen de residuos plásticos crece constantemente, haciendo necesario el desarrollo de diferentes procesos de reciclaje, optimizándolos para obtener materias primas que ayuden a la elaboración de nuevos productos, valorización energética y contar con una economía circular sostenible que ayude al medio ambiente.

1.2 Justificación del proyecto

La contaminación creciente que produce la disposición inadecuada de los desechos plásticos post consumo en nuestro medio ambiente, el bajo porcentaje de recuperación de este producto en Colombia (se recicla menos del 20%) [2] y el desconocimiento generalizado de los segundos usos que se pueden obtener a partir del material, generan la presente investigación, con el fin de conocer y entender el proceso de obtención de fibra textil a partir del reciclado del plástico PET, que a su vez permita sensibilizar a la comunidad sobre su impacto y así mismo valorizar los productos que se pueden crear a partir de este insumo.

De la misma forma, es importante tener una mayor visibilidad del ciclo del plástico PET y la obtención de la fibra textil, para apoyar a la empresa en el mejoramiento de sus procesos a mediano y largo plazo.

1.3 Fibra textil

Es el conjunto de filamentos o hebras utilizados para formar hilos a través de un proceso de hilado o implementando otros procesos físicos o químicos, que sirven para la fabricación de numerosos tipos de tejidos, prendas de vestir y diferentes artículos domésticos e industriales. Su característica principal es que la longitud es superior al diámetro [30].

Para que la fibra pueda ser comercializada debe cumplir una serie de características como son: Finura (grosor o diámetro de las fibras), longitud, color, brillo, elasticidad (fuerza necesaria para llevar a la fibra a su punto de ruptura) y resistencia al calor, luz, solventes y bacterias [33].

Al ser un insumo que es la base del material textil, se convierte en parte fundamental de nuestro día a día, ya que satisface un gran abanico de necesidades como lo son abrigar, calentar o incluso como un adorno personal y por lo tanto pertenece a un mercado bastante apetecido en todo el mundo. [32]

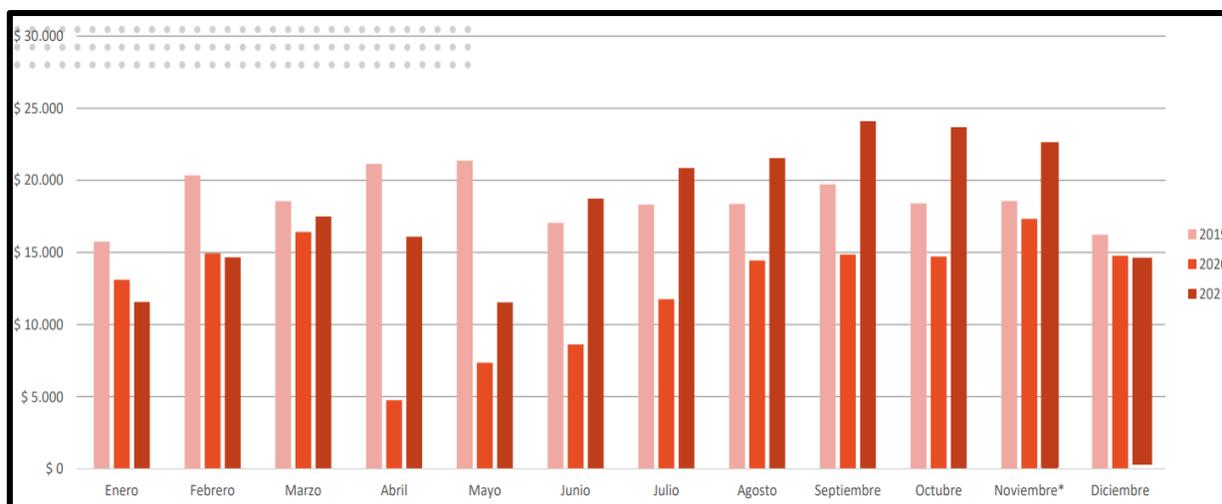
En Colombia, según Inexmoda (Instituto Nacional de Exportaciones de Moda y Consumo), la industria textil mantiene una gran demanda en cualquier época del año debido al uso diario que le dan las personas, registrando un consumo en moda cercano a los COP\$27,7 billones en el año 2021 [38], mostrando un crecimiento de 21% respecto al 2020. Así mismo, este sector representa el 9,4% del PIB industrial, empleando alrededor de 600 mil personas [36].

También es importante tener en cuenta el impacto de la industria textil en las exportaciones colombianas, que según EAE Business School, durante el año 2021 acumularon cerca de USD 810 millones, con un crecimiento del 41% respecto al 2020 [37].

Respecto a las importaciones del sector textil alcanzaron USD 2.534 millones, reflejando un incremento de 27% comparado con 2020.

Figura 1.

Exportaciones colombianas de textiles



Nota. La gráfica representa la exportación textil mes a mes de los últimos 3 años en Colombia, se puede evidenciar un crecimiento en el año 2021 del 2% con respecto al 2019, esta gráfica ayuda a comprender la importancia que tiene la industria textil en el país. Tomado de INEXMODA. “Informe del sector diciembre 2021. <https://www.inexmoda.org.co/informe-del-sector-diciembre-2021/> (accessed Sep. 18, 2022).

Respecto a los países a los cuales Colombia realiza sus principales exportaciones de fibra textil encontramos los siguientes.

Tabla 1.

Exportaciones colombianas de textiles.

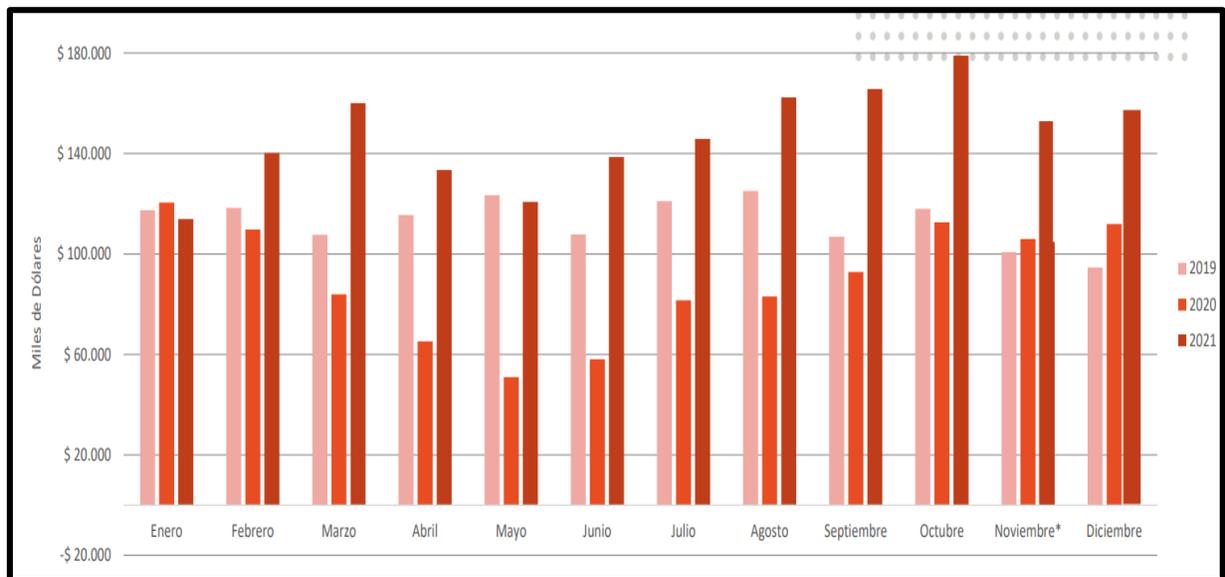
Destinos	Porcentajes
Ecuador	32%
México	23%
Estados Unidos	15%
Brasil	15%
Perú	8%
Costa Rica	4%

Chile	3%
TOTAL	100%

Nota. La tabla muestra los países a los cuales Colombia les exporta la fibra textil, con su respectivo porcentaje, podemos evidenciar que Ecuador es el país al cual Colombia le vende más fibras. Tomado de INEXMODA. “Informe del sector diciembre 2021 -”. <https://www.inexmoda.org.co/informe-del-sector-diciembre-2021/> (accessed Sep. 18, 2022).

Figura 2.

Importaciones Colombianas de textiles



Nota. La gráfica representa las importaciones textiles mes a mes de los últimos 3 años en Colombia, se evidencia un crecimiento en el año 2021 del 31% con respecto al 2019. Tomado de INEXMODA. “Informe del sector diciembre 2021 -”. <https://www.inexmoda.org.co/informe-del-sector-diciembre-2021/> (accessed Sep. 18, 2022).

Tabla 2.

Importaciones colombianas de textiles.

Origen	Porcentajes
China	57%
India	18%
Brasil	7%
Estados Unidos	6%
Vietnam	4%
México	4%
Perú	4%
TOTAL	100%

Nota. La tabla muestra los países de los cuales Colombia le importa la fibra textil, con su respectivo porcentaje, podemos evidenciar que China es el país al cual Colombia le importa más fibras. INEXMODA. “Informe del sector diciembre 2021 -. <https://www.inexmoda.org.co/informe-del-sector-diciembre-2021/> (accessed Sep. 18, 2022).

1.3.1 Tipos de fibra textil

Las fibras textiles se pueden clasificar en tres categorías: sintéticas, naturales y artificiales.

Las fibras textiles sintéticas son elaboradas a partir de productos derivados del petróleo [34]. Tanto la materia prima como la elaboración del filamento son artificiales, lo cual permite modificar sus propiedades físicas y químicas, mejorando características básicas como su alta resistencia y gran durabilidad. Así mismo, al no requerir de un cuidado especial, ofrece gran variedad de posibilidades de usos dentro de la confección [5]. Ejemplos: Poliéster, fibra acrílica, elastano y poliamida.

Las fibras naturales, como su nombre lo indica, las facilita la naturaleza y pueden ser de origen vegetal las cuales se forman de celulosa [35]. Aquí encontramos el algodón, el lino y el esparto, que son las tres más importantes en la industria textil. Las fibras de origen mineral u orgánicas no son tan utilizadas en la industria, la fibra de vidrio y el amianto son las más conocidas. En este grupo también tenemos fibras que provienen de los animales, estas tienen la particularidad de ser fáciles de teñir e hilar; las más conocidas son la lana, la seda y los pelos sacados de varios animales [5].

Por último, tenemos las fibras artificiales, las cuales son tomadas de las mismas fibras naturales, pero manufacturándolas y alterándolas para poder tener filamentos más resistentes y largos, se pueden dividir de la siguiente manera: Celulósicas, proteínicas y algínicas [5].

1.4 Reciclaje

Es un proceso que busca manipular los residuos a través de una transformación amigable con el medio ambiente, para ser utilizados en la fabricación de nuevos productos o de materiales que puedan llegar a ser aprovechados en algún proceso de producción y de esta forma reutilizar material potencialmente rentable y ayudar a la reducción de desechos [6].

El reciclaje va de la mano con preservar y cuidar el medioambiente, no solo en el ahora, sino también para el bienestar de generaciones futuras. El reciclaje conlleva una numerosa cantidad de beneficios como por ejemplo poder evitar la explotación de recursos naturales, prever por la salud de animales, reducir la contaminación en mares, valles y ríos, no utilizar nuevas materias primas para fabricación y permitir el ahorro de energía [6].

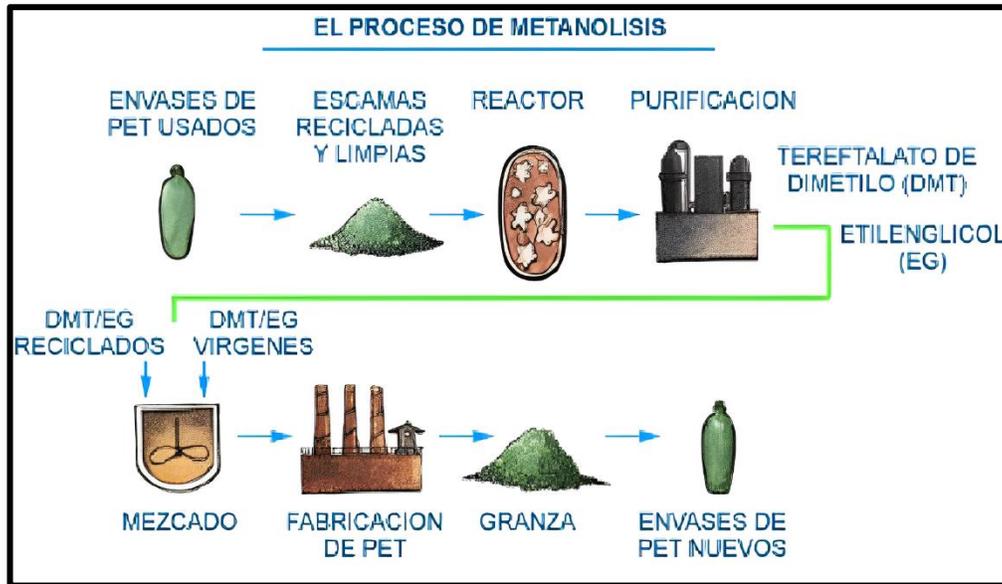
Tipos de reciclaje:

- **Reciclaje Químico:** Es un proceso con el cual se descomponen los polímeros para obtener monómeros a través de Despolimerización Térmica (aportes de calor), Disolución, Solvolisis (aplicación de disolventes) o reactivos químicos [39]. En la mayoría de los casos este reciclaje es considerado como un complemento del reciclaje mecánico, ya que tiene la capacidad de resolver sus restricciones como la

necesidad de disponer grandes cantidades de residuos plásticos limpios, separados y homogéneos, para así poder garantizar un producto final de alta calidad [40].

Figura 3.

Proceso del reciclaje químico.

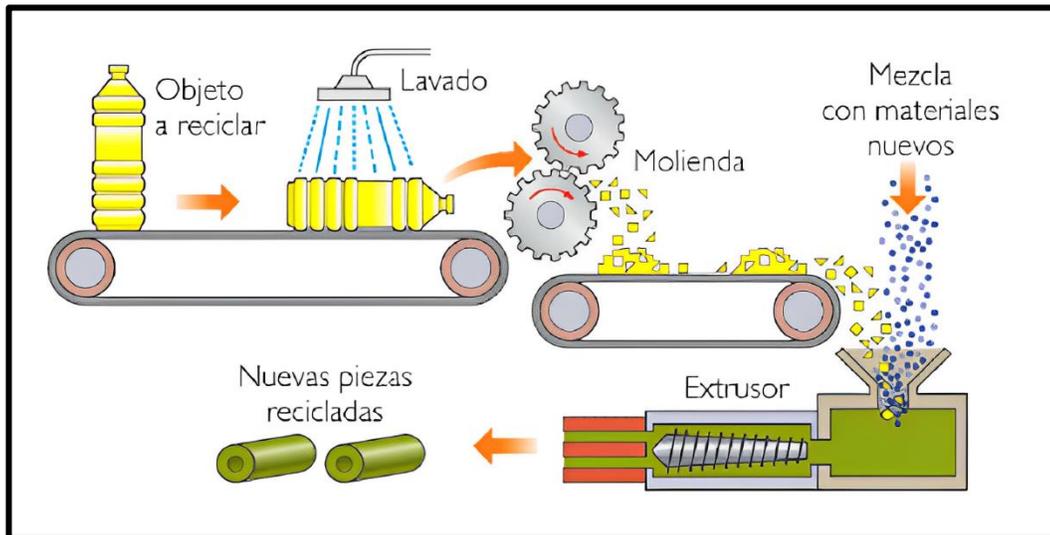


Nota. La figura representa el proceso por el cual se hace el reciclaje químico del PET para la elaboración de nuevos envases. Tomado de C. López, M. Lic, M. Daniel, and Llaneza, “Reciclado del plástico [PET*] para la obtención de fibra textil.” http://www.edutecne.utn.edu.ar/trabajo_final/reciclado_PET.pdf.

- **Reciclaje Mecánico:** Consiste en realizar una separación de la materia prima para alimentar un proceso físico que consiste en fraccionar el material, aplicarle calor y presión y finalmente darle una nueva forma [41]. En este proceso es indispensable realizar una adecuada selección para evitar la mezcla de diferentes materiales y garantizar la ausencia de partículas nocivas que afecten las propiedades físicas del producto. Este tipo de proceso no puede ser aplicado para todos los plásticos, únicamente puede aplicarse en los termoplásticos que se funden al ser llevados a altas temperaturas hasta superar el punto de fusión [7].

Figura 4.

Proceso del reciclaje mecánico.



Nota. La figura representa el proceso por el cual se hace el reciclaje mecánico del PET para la elaboración de fibra textil. Tomado de C. López, M. Lic, M. Daniel, and Llaneza, “Reciclado del plástico [PET*] para la obtención de fibra textil.” http://www.edutecne.utn.edu.ar/trabajo_final/reciclado_PET.pdf.

En el proceso del reciclaje mecánico el PET sufre una disminución importante en sus propiedades mecánicas, reológicas y térmicas, esto se da por el aumento de pasos en el proceso [8].

1.5 PET

El polietilenotereftalato o tereftalato de polietileno, conocido como PET por sus siglas en inglés, es un polímero plástico con características especiales como ser un material termoplástico y con alto grado de cristalinidad que a temperaturas altas se vuelve flexible y permite su fácil manipulación y transformación. Es un polímero lineal que se obtiene después de polimerizar el ácido tereftálico y el etilenglicol. [9]

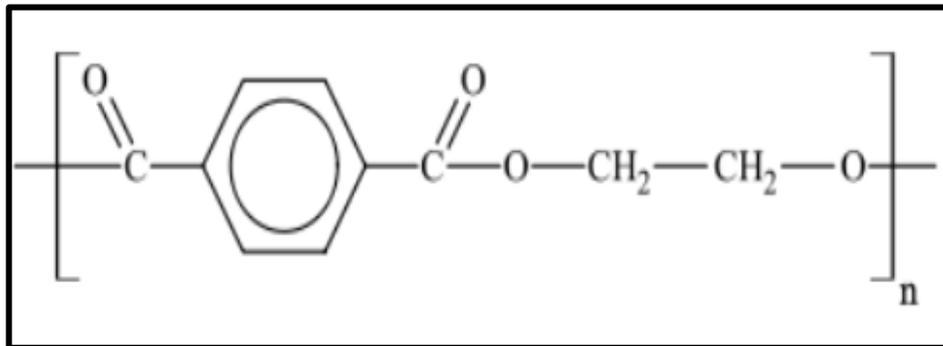
El PET está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire.

Por sus propiedades físicas es un material utilizado en la producción de láminas, botellas, envases para alimentos, textiles y también para la fabricación de materiales multicapa en aplicaciones que no son de envasado [32].

Entre todos los polímeros comúnmente utilizados para el envasado de alimentos y bebidas, el tereftalato de polietileno (PET) es el más adecuado, ya que este plástico en comparación con los demás, sobresale por su alta estabilidad fisicoquímica y buenas propiedades de barrera, sin olvidar sus grandes propiedades térmicas y mecánicas como son la resistencia a la corrosión, al desgaste y a las altas temperaturas, por lo cual se utiliza también para la producción de refuerzos plásticos [10].

Figura 5.

Molécula del Tereftalato de polietileno.



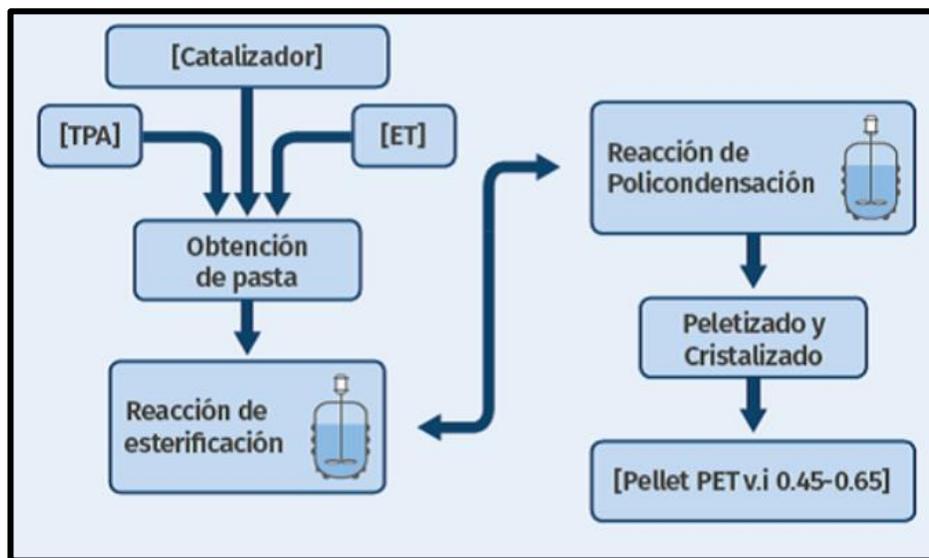
Nota. La figura representa la estructura química de la molécula Tereftalato de polietileno. Tomada de. Arapack,” Arapack, “¿Qué es el PET?. <https://www.arapack.com/faq/que-es-el-pet/> (accessed Sep. 19, 2022).

Existen varios procesos por los cuales se pueden llegar a producir el tereftalato de polietileno, la trans-esterificación entre el etilenglicol y dimetil tereftalato es uno de ellos, es el proceso más antiguo pero el menos utilizado hoy en día, dado que se obtiene metanol como subproducto y este puede generar una mayor cantidad de emisiones de compuestos orgánicos volátiles, lo que puede llevar a una consecuencia ambiental negativa [32].

El otro camino de producción consiste en la esterificación directa del ácido tereftálico (TPA) con el etilenglicol (EG), que genera como subproducto de eliminación el agua. Este método es el de mayor importancia y es el más utilizado industrialmente en la actualidad [42].

Figura 6.

Proceso de producción de tereftalato de polietileno a partir de ácido tereftálico y etilenglicol.



Nota. Esta figura representa el proceso de producción del Tereftalato de polietileno, a partir de Etilenglicol y ácido tereftálico. Tomado de H. Bisanti, “¿Cómo se fabrica una botella de plástico PET? [Paso a Paso] *BMI Machines*.. <https://www.bmimachines.com/paso-a-paso-como-se-fabrica-una-botella-de-pet/> (accessed Sep. 19, 2022).

1.5.1 Tipos de PET

Existen 3 tipos diferentes de tereftalato de polietileno que se explican a continuación.

APET: El tereftalato de polietileno amorfo se encuentra en forma cristalina cuando está en forma de pellet y se vuelve amorfo en el proceso de extrusión. Se usa

principalmente para alimentos que requieren visualización y por ello demanda de su alta transparencia, el rango de temperatura que maneja es de -40°C a 70°C y tiene alta resistencia al impacto [12].

RPET: PET reciclado.

CPET: El polietileno tereftalato cristalizado es un material opaco, transparente y menos rígido o más flexible, el CPET mantiene su forma a altas temperaturas, se precisa que este plástico puede ser utilizado dentro de un rango de temperatura de -40°C a 220°C [12].

1.5.2 Propiedades del PET

Características más relevantes:

- Resistencia al desgaste
- Facilidad al plegado
- Es transparente y cristalino, aunque permite colorantes
- Liviano
- Resistente a la alta corrosión y al desgaste
- Buen coeficiente de deslizamiento
- Buena resistencia química y térmica
- Es una buena barrera para el CO₂
- Aceptable barrera al O₂ y a la humedad
- Favorable para el contacto con productos alimenticios
- Apto para ser transformado mediante procesos de inyección, inyección-soplado, extrusión y termo formado
- Material 100% reciclable [9].

Gracias al cumplimiento de estas características y propiedades físicas, hacen que el PET sea tan comercializado para sus distintos usos y que se opte por tener un desarrollo relevante en su reutilización para la producción de diversos productos que son consumidos por las personas, entre ellos la fibra textil [9].

1.5.3 Aplicaciones del PET

El tereftalato de polietileno (PET) adquiere diariamente diferentes usos y aplicaciones por parte de las industrias. Al ser un material que se puede reciclar y reutilizar, sirve para el desarrollo de diferentes productos, a continuación, resaltaremos algunos productos fabricados a partir de este termoplástico reciclable [9].

- Envases
 - Aceite
 - Salsas
 - Agua mineral
 - Gaseosas
 - Productos para tratamiento agrícola
- Films
 - Films en láminas
 - Envases de alimentos
 - Blíster
 - Embalajes especiales
- Otras aplicaciones
 - Tubos
 - Textiles
 - Marcos
 - Ladrillos
 - Madera
 - Segmento electro-electrónico [43].

1.5.4 Identificación del PET

Para identificar el tereftalato de polietileno (PET) se utiliza un triángulo formado por 3 flechas sucesivas que rodean el número “1” o las siglas “PET”. Esta figura es conocida como triángulo de Mobius (símbolo universal del reciclaje) y simboliza e identifica el material con el que está hecho el envase [13].

Figura 7.

Identificación del PET



Nota. La figura representa la identificación del PET representada por el número uno encerrado por del triángulo de Mobius. Tomado de seguridad ChemicalSafetyFacts. Tipos de envases de plástico para alimentos. Disponible en: <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/tipos-de-envases-de-plastico-para-alimentos-y-seguridad-una-mirada-de-cerca/>

2. FASES DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE FIBRA TEXTIL A PARTIR DEL PET RECICLADO

En esta sección se establece la importancia que tiene el tereftalato de polietileno (PET) tanto en la fibra, como en la industria textil. También se lleva a cabo la caracterización del proceso desde el PET hasta el producto de interés con ayuda del diagrama de bloques y el diagrama PFD, por último, se realiza una breve descripción de cada uno de los procesos por los que pasa el tereftalato de polietileno hasta la fibra de poliéster.

2.1 PET en la fibra textil

Los diferentes usos que se le pueden dar al tereftalato de polietileno (PET) reciclado en una industria como es la de la moda, son una alternativa real que se está contemplando por corresponder a una economía circular sostenible. Es por ello que el PET reciclado juega un papel fundamental en la fabricación de ropa y accesorios por su repuesta positiva ante la contaminación y por su aporte al medio ambiente.

Los plásticos se dividen en dos grupos, unos son los termoestables los cuales pueden llegar a adquirir una estructura más blanda cuando se calientan, pero no pueden llegar a su estado líquido. Debido a esto no pueden volver a ser reprocesados. Por otro lado, tenemos a los termoplásticos, los cuales si pueden llegar a ablandarse y endurecerse nuevamente sin ningún problema [12].

2.2 Descripción del proceso

A continuación, detallaremos por etapas el proceso de fabricación que tiene la fibra de poliéster a partir de botellas transparentes de PET recicladas como lo son la clasificación, triturado, lavado, secado y por último la extrusión.

Cabe resaltar que este proceso fue elaborado con la colaboración de la empresa Eco Plásticos GR S.A.S, quienes facilitaron el ingreso a sus instalaciones y permitieron acceder a la información pertinente para efectuar los balances de masa y de energía, para obtener los datos de plantas más acertados.

Previamente, la materia prima es recolectada por parte de recicladores, quienes entregan las botellas de tereftalato de polietileno (PET) recicladas en las bodegas de la empresa para dar inicio al proceso.

2.2.1 Clasificación

En esta zona están ubicadas varias personas las cuales se encargan de inspeccionar visualmente las botellas, que se van desplazando sobre una banda transportadora, para quitarle las tapas, etiquetas de las botellas y poder separar la mayor cantidad de plásticos distintos al PET como los envases de PVC, PC, PEAD, PP y otro tipo de plásticos, esto se hace con el fin de salvaguardar la calidad del producto final. Hay que resaltar que esta etapa es primordial ya que acá es donde se eliminan plásticos que no pueden ser separados en la etapa de lavado por flotación.

En esta etapa de proceso se debe tener precaución con el PVC porque este tipo de plástico es considerado como uno de los peores contaminantes del material y puede llegar a dañar la fibra textil. El PVC provoca también oxidación de los equipos utilizados para este proceso debido a la corrosión que puede presentar durante el calentamiento.

Una forma de diferenciar el PET de otros tipos de plásticos es por medio del código de números asignados a cada uno de ellos impresos en las botellas.

Figura 8.

Proceso de clasificación



Nota. La figura representa el proceso de clasificación del PET. Fuente: Foro ambiental “El reciclado de PET en Argentina *Foro Ambiental*, 2022.

<https://www.foroambiental.net/archivo/noticias-ambientales/residuos/2078-el-reciclado-de-pet-en-argentina-un-negocio-que-termina-en-la-basura> (accessed Oct. 22, 2022).

Figura 9.

Botellas antes del retirado de tapas y etiquetas



Nota. La imagen representa las botellas antes del retirado de tapas y etiquetas.

Posteriormente, se procede a retirar las tapas y etiquetas que estas botellas puedan llegar, para no tener plásticos distintos al PET durante el proceso, esto se hace manualmente, y las botellas terminan como se ve en la siguiente imagen.

Figura 10.

*Botellas después de retirar
tapas y etiquetas*



Nota. La imagen representa las botellas después del retirado de tapas y etiquetas.

2.2.2 Triturado

Una vez clasificadas en seco las botellas recicladas, son ingresadas por la boquilla de una trituradora con el fin de reducir de tamaño las botellas recicladas. El tamaño final puede variar de una instalación a otra; sin embargo, habitualmente se debe obtener una escama con un tamaño menor de 12 mm y libre de polvo, para continuar con el proceso más adecuado para la producción de la fibra.

Al hacer el proceso de trituración a las botellas de PET reciclado, nos proporciona un material más homogéneo, tanto en tamaño como de forma, sin importar su tamaño o forma inicial.

Figura 11.

Escamas de PET luego del triturado



Nota. La imagen representa las botellas después del triturado.

2.2.3 Lavado

Una vez molidas las botellas, se vierten las escamas en una tina llena de agua con detergente. En el fondo de esta tina hay un tornillo sin fin el cual gira lentamente produciendo una circulación por bombeo y desborde. Eventualmente quedan residuos de plásticos distintos al PET como trozos de tapas y etiquetas, los cuales tienen una densidad inferior a la del agua y esto hace que floten. Por el contrario, las escamas del PET tienen una densidad mayor a la del agua y por lo tanto se van al fondo de la tina donde son transportados por el tornillo sin fin hacia una canastilla.

Los pedazos de tapas y etiquetas que flotan en el agua son arrastrados por paletas agitadoras, con el fin de ser desbordados, recuperados, lavados y secados, para así ser nuevamente aprovechados.

Figura 12

Escamas de PET luego del triturado y lavado



Nota. La imagen representa las botellas después del triturado y lavado.

2.2.4 Secado

Las escamas de PET posteriormente del lavado y antes de entrar al proceso de fundido e hilado, deben ser secados. Esta fase puede ser a vacío, empleando un secador a gas o un secador de deshumidificación el cual alcanza temperaturas entre 150°C y 180°C. Finalmente se procede con su almacenamiento y posterior extrusión.

En esta etapa es primordial la temperatura ya que tiene una influencia bastante importante en la velocidad de fusión de las moléculas de agua que están sobre el polímero. Entre más alta sea la temperatura, más rápido y completo será el secado del PET. Sin embargo, hay que tener especial cuidado con temperaturas muy altas ya que puede llegar a la degradación u oxidación del material, mientras que si las temperaturas son muy bajas el PET perderá su humedad muy lentamente.

Por otro lado, está el tiempo de secado que es fundamental, ya que las escamas de PET no se escurren inmediatamente, por lo tanto, el tiempo de esta actividad debe ser de aproximadamente una hora para garantizar que queden totalmente secas.

2.2.5 Extrusión

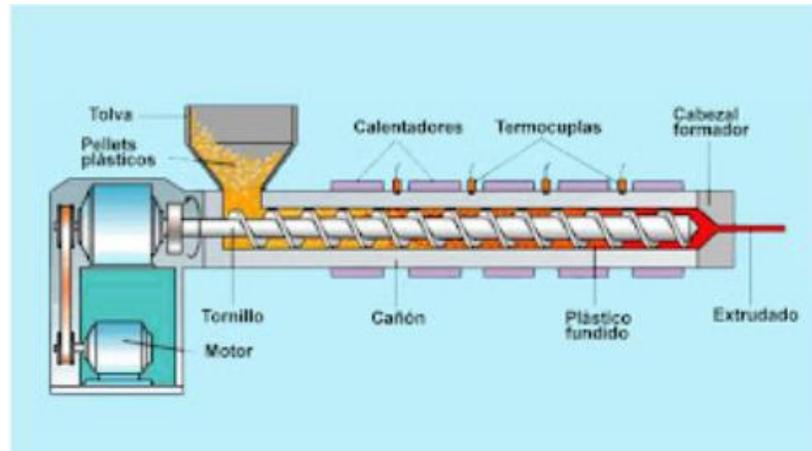
Luego de tener la escama limpia y seca se somete a un proceso de extrusión, el cual consiste en hacer pasar bajo presión un material termoplástico a través de un orificio, es decir, se funde y moldea el material para obtener la forma deseada del PET para su aplicación final.

Esta etapa es muy importante para el proceso, donde la hilatura pasa a través de unos orificios de tobera. Se eleva la temperatura hasta el punto de fusión del PET que es alrededor de los 250°C a 260°C. Las fibras al hacer contacto con el aire se enfrían y endurecen.

La extrusión presenta alta productividad y es el proceso más importante para poder obtener formas plásticas en volumen de producción. Su operación es sencilla, ya que una vez se establecen las condiciones, la operación puede seguir sin ningún tipo de problema.

Figura 13

Esquema de extrusor



Nota. La figura representa el proceso de extrusión que tiene la fibra textil posterior a su extrusión. Fuente: *Blogspot.com*.

EXTRUSIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS. <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html> (accessed Nov. 08, 2022).

Al pasar por un sistema de extrusión, las escamas de PET son fundidas a altas temperaturas y se transforman en fibra textil como se muestra a continuación:

Figura 14.

Fibra de poliéster



Nota. La imagen representa la fibra textil hecha con botellas de PET reciclada.

2.2.6 Bobinado

Las fibras resultantes de la extrusión pasan alrededor de unos rodillos que lo conducen a un compartimiento, donde el aire lo zarandea para así poder enredar los filamentos y que puedan quedar unidos.

El bobinado tiene como objetivo de enrollar los filamentos que se han formado en el extrusor, sobre un molde macho que puede llegar a ser cilíndrico o mandril. El bobinado de la fibra textil está bien automatizado, en donde las tensiones de las fibras pueden ser controladas para así evitar la ruptura de la fibra [7].

Figura 15.

Proceso de bobinado



Nota. La figura representa el proceso de bobinado que tiene la fibra textil posterior a su extrusión. Fuente: Intorsa,” *Intorsa.es*, 2021.Sollutia.com, “¿Que es el bobinado textil y como lo hacemos? <https://www.intorsa.es/es/noticias/6/que-es-el-bobinado-textil-y-como-lo-hacemos-en-intorsa.html> (accessed Oct. 22, 2022)

2.3 Diagrama de Bloques (BFD)

En la figura 9 se hace la representación gráfica del diagrama de bloques, también conocido como diagrama BFD del proceso de obtención de fibra textil a partir del tereftalato de polietileno (PET), se puede observar la secuencia que se lleva a cabo durante todo el proceso, desde la materia prima (PET) hasta el producto de interés (fibra de poliéster). La descripción de cada etapa del proceso de producción de fibra de poliéster a partir de PET reciclado se explica en la siguiente sección.

Como ya se ha mencionado, el tereftalato de polietileno (PET) es una muy buena variante para distintos usos a nivel industrial. Sin embargo, es utilizado principalmente como materia prima en la industria textil y de embalaje. Los desechos que se obtienen de los plásticos de un solo uso se separan de otras basuras como metales y otros tipos

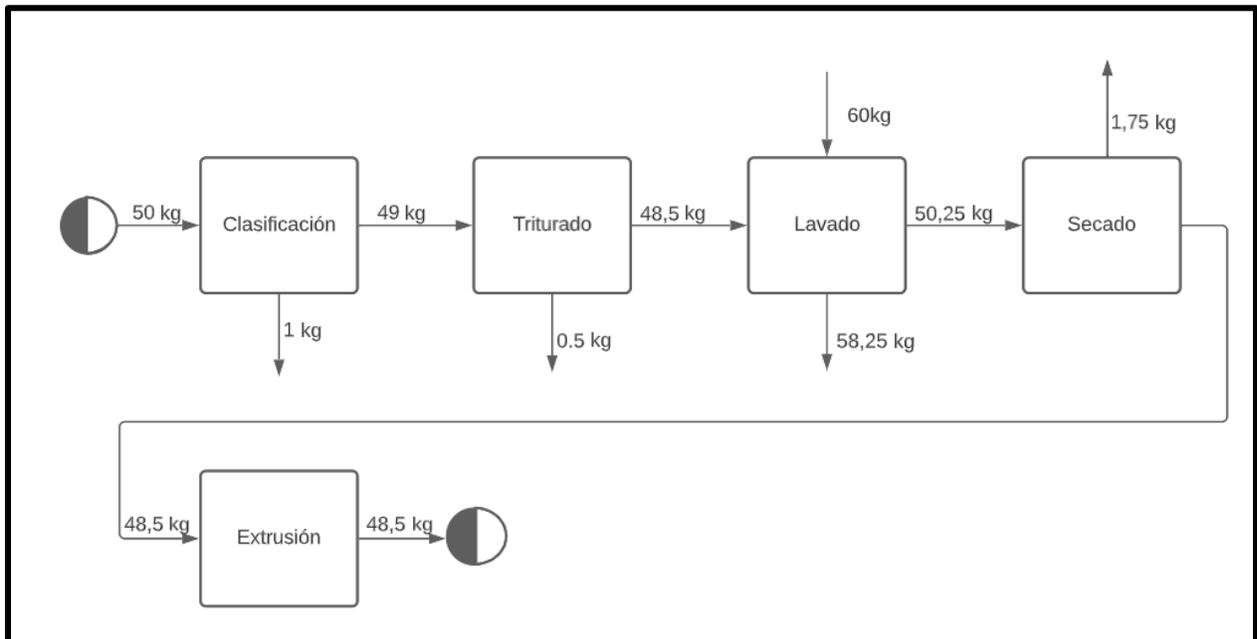
de plásticos que pueden afectar la materia prima, también se le retiran tanto las etiquetas como las tapas y son clasificadas por colores.

Luego de haber clasificado las botellas por colores, los plásticos son sometidos a una serie de procesos para obtener las escamas de PET, como lo son el triturado, lavado y secado, los cuales son indispensables para no tener imperfecciones o daños al momento de la elaboración de fibra textil.

Las fibras de PET se obtienen mediante un proceso de hilado por fusión a partir de las escamas anteriormente mencionadas por medio de un extrusor, el cual se encarga de calentar el PET hasta su punto de fusión, para así tener el hilo. Estas fibras de PET ya han sido anteriormente utilizadas en productos textiles secundarios como alfombras, materiales aislantes y más. [15]

Figura 16.

Diagrama de bloques



Nota. La figura representa el diagrama de bloques del proceso de obtención de fibra textil a partir del PET.

2.4 Diagrama PFD

Tabla 3.

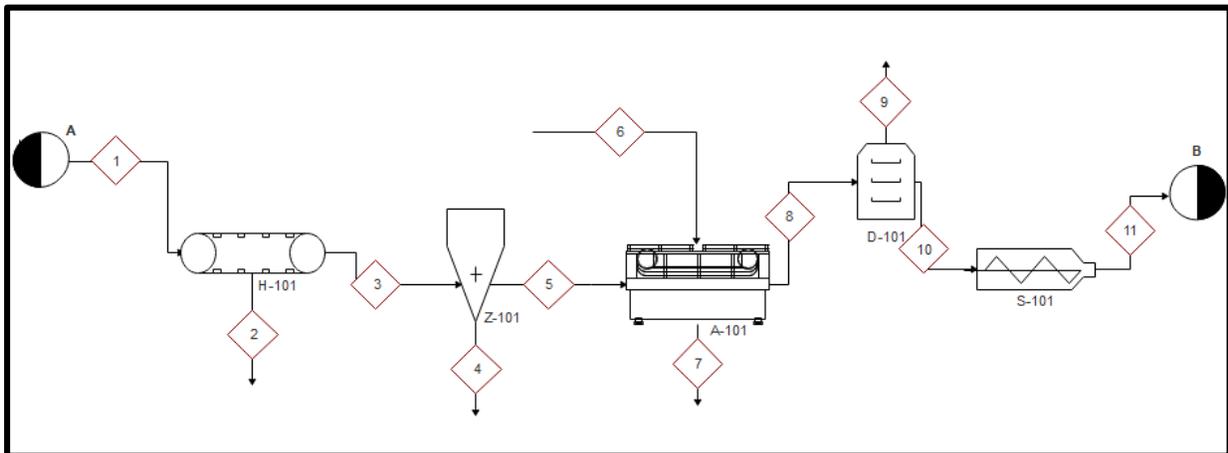
Tabla de nombramiento de equipos.

H-101 BANDA TRANSPORTADORA	Z-101 TRITURADORA	A-101 TINA DE LAVADO
D-101 SECADOR	S-101 EXTRUSORA	

Nota. En esta tabla se nombran los equipos que están presentes en el proceso de producción de fibra textil a partir del tereftalato de polietileno.

Figura 17.

Diagrama de flujo



Nota: La figura representa el diagrama de flujo del proceso de obtención de fibra textil a partir del PET, la nomenclatura de los equipos se realizó con base en norma ISO 9001.



PET



FIBRA TEXTIL

Tabla 4.*Balance de masa*

Corrientes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Flujo másico (kg/día)	50	1	49	0,5	48,5	60	58,25	50,25	1,75	48,5	48,5
PET	50	0	49	0	48,5	0	0	48,5	0	48,5	48,5
Agua	0	0	0	0	0	59,4	57,7	1,75	0	0	0
Detergente	0	0	0	0	0	0,6	0,58	0	0	0	0
Vapor de agua	0	0	0	0	0	0	0	0	1,75	0	0
Merma	0	1	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0

Nota: En la siguiente tabla se muestra el balance de masa, de cada una de las corrientes del diagrama PFD.

2.5 Balance de masa

En esta sección se desarrolla el balance de masa de cada una de las etapas del proceso de producción de fibra textil a partir de botellas de PET recicladas, con el fin de tener unos cálculos más aproximados y verídicos para el proceso, los valores iniciales se tuvieron en cuenta de datos de planta, de la empresa Eco plásticos GR SAS.

Se hizo un seguimiento de 2 meses (noviembre y diciembre) a la empresa, del material recolectado día a día, para así poder evaluar la cantidad de materia prima diaria que se pueda procesar. Según las estadísticas el 10% del plástico recibido en la empresa corresponde a PET cristalino.

Tabla 5.*Participación del PET en la producción*

Plástico	Noviembre (kg)	Diciembre (kg)	Total
PET	1438	1528	3000
Plástico Recibido	20306	18800	39106
Participación	7,28%	8,08%	7,60%

Nota. En esta tabla se puede observar la participación porcentual del PET frente al total de todos los plásticos recibidos en la empresa Eco Plásticos GR S.A.S.

A continuación, se muestra la cantidad diaria de PET que recibe Eco Plásticos GR S.A.S.

Tabla 6.

PET recibido durante el mes de noviembre 2022

Días	kg/día
1	63
2	89,7
3	45,4
4	56,5
5	62
8	73,4
9	65,5
10	132,5
11	62,3
12	24
15	132,7
16	112,5
17	53,2
18	47,8
19	48,5
21	24
22	78,5

23	61,5
24	38,6
25	85,5
26	73
28	11
29	38
30	49,5
Total	1528,6

Nota. En la tabla 6 se evidencia la cantidad de plástico PET que ingresó a la empresa diariamente durante el mes de noviembre, para un total de 1528 kg, lo que quiere decir que se recibió un promedio diario de 50 kg.

Tabla 7.

PET recibido durante el mes de diciembre 2022

Días	kg/día
1	0,5
2	46
3	37,5
5	73
6	39,5
7	105,5
9	35,5
10	97

12	41,4
13	65
14	59,7
15	18
16	23,3
17	85,5
19	76,8
20	74
21	86,9
22	49,9
23	41
24	7,5
26	8
27	189
28	55,5
29	49,5
30	73
Total	1438,5

Nota. En la tabla 7 se evidencia la cantidad de plástico PET que ingresó a la empresa diariamente en el mes de diciembre, para un total de 1438,5 kg, lo que quiere decir que se recibió un promedio diario de 50 kg.

Al hacer el seguimiento de los meses noviembre y diciembre, de la cantidad de materia prima ingresada por día, se tiene la siguiente varianza y desviación estándar.

$$\bar{X} = 60,55$$

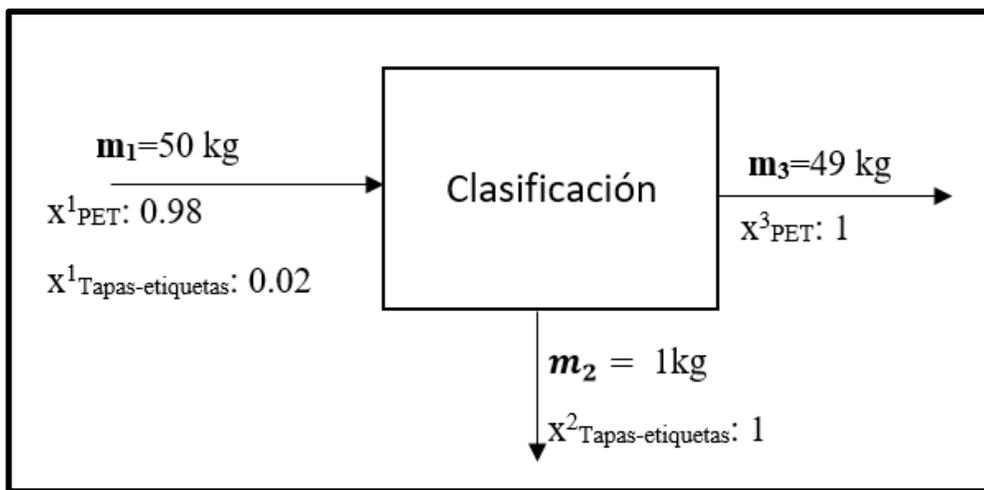
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N}} = 35,12$$

Sección Clasificación

En esta sección se clasifican las botellas de PET por colores, con el fin de separarla de otros tipos de plásticos. También se retiran las tapas y etiquetas de los envases. Se toma un valor inicial de 50 kg/día, resaltando que esta cifra, como también las siguientes, son datos seleccionados de planta de la empresa Eco Plásticos GR SAS, partiendo de la materia prima que se procesa diariamente.

Figura 18.

Balance de masa de la clasificación



Nota. La figura representa el balance de masa de la clasificación de botellas PET para la producción de fibra textil.

Cálculos

$$m_1 = 50 \text{ kg}$$

Cálculo corriente m_3

$$m_3 = \frac{x_{PET}^1 * m_1}{x_{PET}^3}$$

$$m_3 = 0.98 * 50 \text{ kg} = 49 \text{ kg}$$

Cantidad de masa por compuesto de la corriente m_3

$$x_{PET}^3 = 49 \text{ kg} * 1 = 49 \text{ kg}$$

Calculo corriente m_2

$$m_2 = m_1 - m_3$$

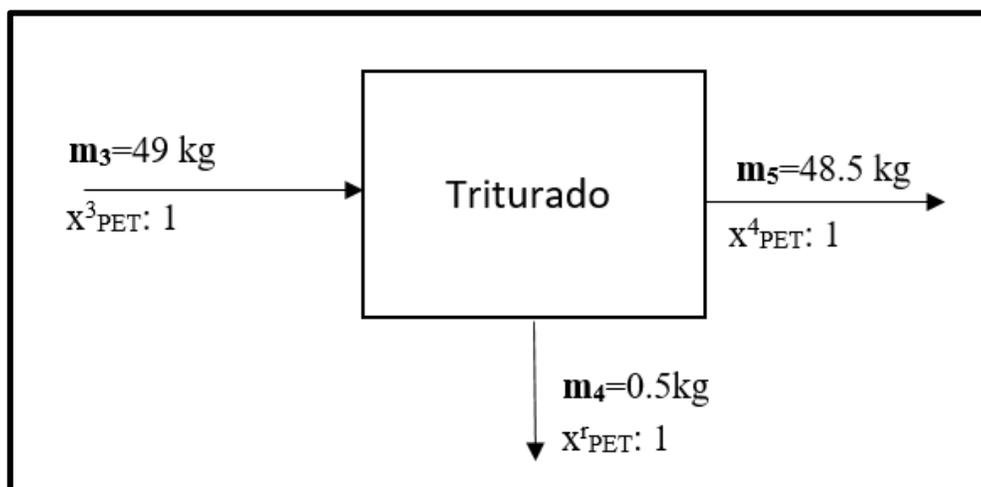
$$m_2 = 50 \text{ kg} - 49 \text{ kg} = 1 \text{ kg}$$

Sección de triturado

En esta sección las botellas de PET reciclado pasan por una trituradora, con el objetivo de reducir el tamaño de las botellas dejándolas en escamas de PET, con un tamaño entre los 10 mm y 12 mm.

Figura 19.

Balance de masa triturado



Nota. La figura representa el balance de masa del triturado de las botellas PET para el proceso de producción de fibra textil.

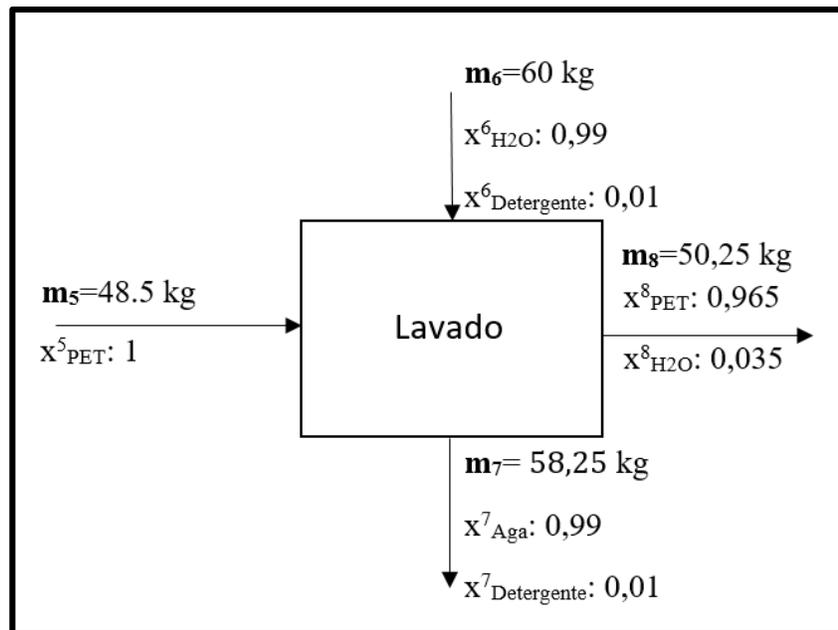
Sección Lavado

En esta sección, las escamas de PET son lavadas por una tina de lavado, esto se hace por 2 objetivos, el primero es lavar las escamas y el segundo es separar por densidades el plástico que se pudo llegar a retener, el PET por tener una densidad mayor a la del agua se hundirá, mientras que los otros plásticos flotarán.

La cantidad de agua para el lavado de las escamas de PET depende del tipo de maquinaria que cuente cada empresa, como también la cantidad que tengan para su lavado, en este caso Eco Plásticos GR S.A.S cuenta con una tina de lavado con una capacidad máxima de 1 m^3 , es por ello se escoge una base de 60 kg de agua, para 48,5 kg de PET triturado.

Figura 20.

Balance de masa del lavado



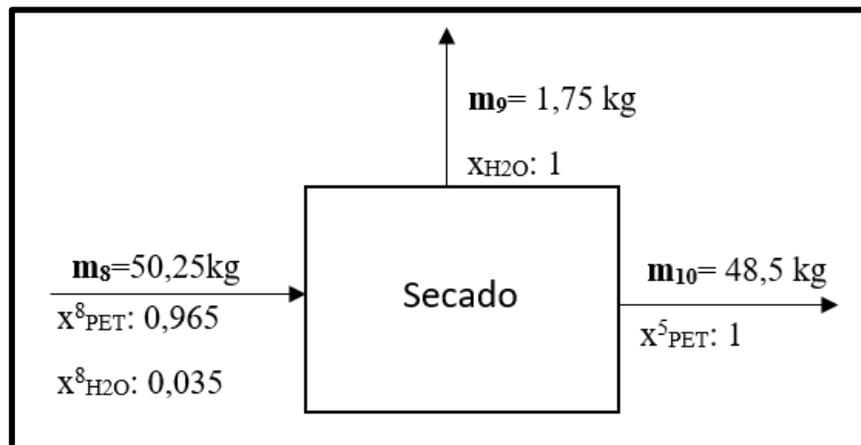
Nota. La figura representa el balance de masa del lavado de las botellas PET para el proceso de producción de fibra textil.

Sección Secado

En esta sección de secado, las escamas que anteriormente fueron lavadas, pasan a un proceso de secado para poder retirarle toda la humedad y posteriormente poder pasar por la extrusora.

Figura 21.

Balance de masa del secado.



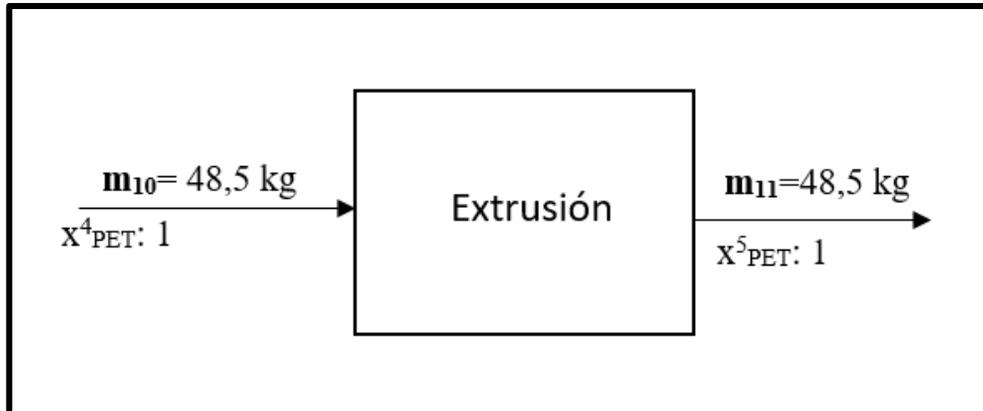
Nota. La figura representa el balance de masa del secado de las escamas de PET para el proceso de producción de fibra textil.

Sección Extrusión

En esta sección las escamas previamente secadas, pasan a un proceso de extrusión, la temperatura se eleva hasta el punto de fusión del PET con el fin de derretirlo y convertirlo en fibra de poliéster, para posteriormente poder ser comercializado.

Figura 22.

Balance de masa de la extrusión.



Nota. La figura representa el balance de masa de la extrusión de las botellas PET para el proceso de producción de fibra textil.

2.6 Balance de energía

En esta sección se desarrolla el balance de energía de cada una de las etapas que lo requieren (Trituradora, secador, extrusora), en el proceso de producción de fibra textil a partir de botellas de PET recicladas.

Triturado

Para el balance de energía del triturado, se tuvieron en cuenta los valores suministrados por la empresa Eco Plásticos GR S.A.S. Se considera el consumo energético aproximado de 3,2 kJ/kg de PET triturado.

$$m_3=48,5 \text{ kg}$$

$$m \text{ de PET a triturar} = m_3 = 48,5 \text{ kg}$$

Con el valor de 3,2 kJ/kg por cada kg de PET triturado se calcula la cantidad de energía necesaria.

$$Q = \frac{3,2 \text{ kJ}}{\text{kg}} * 48,5 \text{ kg} = 155,2 \text{ kJ}$$

$$Q = 155,2 \text{ kJ} = 0,043 \text{ kW} * \text{ hora}$$

$$Q = 0,34 \text{ kW/día}$$

Secado

Para el balance de energía del secado como se mencionó anteriormente se tuvo en cuenta los valores dados por la empresa Eco Plásticos GR S.A.S. Se considera el consumo energético aproximado de 4,5 kJ/kg de agua evaporada.

$$M_5 = 9,4 \text{ kg}$$

$$m \text{ de agua a evaporar} = \frac{H_{inicial} - H_{final}}{100 - H_{final}} * m_5$$

Donde

H-Inicial: Humedad inicial de las escamas de PET

H-Final: Humedad final de las escamas de PET

M₅: Masa que entra al secador

Datos que se toman del balance de masa.

$$m \text{ de agua a evaporar} = \frac{3,5 - 0}{100 - 0} * 50,25 \text{ kg} = 1,75 \text{ kg de agua a evaporar}$$

Con los 4 kJ/kg de agua evaporada se calcula la cantidad de energía que se suministra al secador.

$$Q = \frac{4,5 \text{ kJ}}{\text{kg}} * 1,75 \text{ kg/día} = 7,91 \text{ kJ/día}$$

$$Q = 7,91 \text{ kJ} = 0,0021 \text{ kW} * \text{hora}$$

$$Q = 0,016 \text{ kW/día}$$

Extrusión

Para el balance de energía del extrusor, como se ha mencionado se tuvieron en cuenta los valores aportados por la empresa Eco Plásticos GR S.A.S. Se considera el consumo energético aproximado de 0,14 kWh/kg.

$$m_6 = 48 \text{ kg}$$

$$m \text{ de PET a extruir} = m_6 = 48 \text{ kg}$$

Con los 0,14 kWh/kg de consumo del extrusor se calcula la cantidad de energía que se requiere.

$$Q = \frac{0,14 \text{ kWh}}{\text{kg}} * 48,5 \text{ kg} = 6,79 \text{ kWh}$$

$$Q = 53,76 \text{ kWh/día}$$

3. PRUEBAS FISICOQUÍMICAS A LA FIBRA DE POLIÉSTER

En esta sección se explican los 3 tipos de pruebas (pH de la fibra, peso por m² y humedad relativa) que se le realizaron a la fibra de poliéster elaborada a partir del tereftalato de polietileno (PET). Luego se muestran los resultados obtenidos en el laboratorio en cada una de las tres pruebas, con el fin de evidenciar la calidad del producto final.

3.1 Pruebas a la fibra de poliéster

Las empresas fabricantes de textiles, ya sea que utilicen fibras de algodón, lino, lana, seda o en esta ocasión de poliéster, emplean cada día mayor tecnología y métodos más sofisticados para obtener el mejor producto. La durabilidad y calidad de cada prenda se ve impactada por las cualidades de la materia prima, siendo sometidas a la elección correcta de tintes y colorantes y a los diferentes procesos de producción [27].

Las empresas textiles dado a su alto crecimiento deben tener un conocimiento o idea exacta de todos los componentes que puedan llegar a integrar sus productos, de lo contrario, pueden sufrir un gran retraso o pérdida en su producción por no cumplir con los parámetros requeridos para su comercialización.

Existen características tanto físicas como químicas de los tejidos que afectan la funcionalidad en la prenda que va a ser confeccionada, ya que también pueden llegar a influir en otros procesos como de corte y cosido en la cadena de producción, por eso es de vital importancia las pruebas que se puedan realizar a las fibras, para asegurar el bienestar de los consumidores y también ofrecer un producto de alta calidad en el mercado [28].

3.2 Prueba de pH

Los productos textiles como fibras, hilados o tejidos pasan por diferentes procesos tanto físicos como químicos antes de ser comercializados al público, es por ello que los valores de pH en las fibras textiles son de suma importancia, porque son indicadores que pueden llegar a afectar la salud de las personas.

El valor de pH en las fibras textiles se identifica para comprobar el contenido de ácidos que pueden quedar en los tejidos aumentando el riesgo de hacer contacto directo

con la piel. Para que el pH de la fibra no llegue a afectar la piel de las personas, el indicador debe estar entre una acidez débil o neutralidad [26].

Esta prueba fue realizada mediante la normativa TS EN ISO 3071 textil-determinación de pH en extracto acuoso.

La medición comienza con calentar agua destilada hasta su punto de ebullición (100 °C), como se muestra en la imagen.

Figura 23.

Calentamiento vaso precipitado



Nota. En la imagen 22 se puede observar el calentamiento del agua destilada hasta su punto de ebullición.

Luego de que el agua llegue a su punto de ebullición, se toma una muestra de la fibra y se agrega al agua destilada durante 10 minutos como se muestra en la imagen.

Figura 24.

Fibra en el vaso precipitado con agua



Nota. En la imagen 23 se observa la fibra inmersa en el agua destilada.

Una vez pasado los 10 minutos de reposo, se retira la fibra y se procede hacer la medición de pH.

Figura 25.

pH de la fibra



Nota. En la imagen 8 se puede observar el pH de la fibra.

Para esta prueba se realizaron 2 ensayos con fibras obtenidas de los procesos de producción del 16 de noviembre y del 5 de diciembre. Según los resultados obtenidos, se puede observar un pH de 6 en ambas pruebas. Según el laboratorio *Science Laboratory & Certification*, los productos textiles que entran en contacto directo con la piel de los consumidores, deben tener un pH entre 4 y 9, rango que se basa en la normativa TS EN ISO 3071 textil- [45] determinación de pH en extracto acuoso, para no generar afectaciones directas a la piel de las personas. Por lo anterior, la fibra elaborada está entre los estándares de pH recomendados para su comercialización [26].

3.3 Prueba de peso por m²

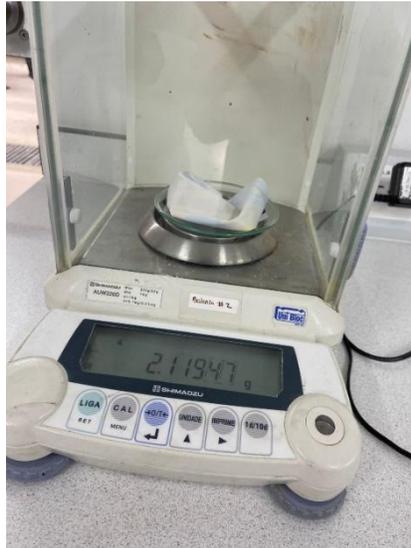
El gramaje de las fibras textiles es el peso en gramos por metro cuadrado de tela. A través de esta medición se puede establecer el grosor, la cantidad de hilos, el tramado y la urdimbre del tejido. Otras propiedades que se pueden evidenciar con esta prueba son dureza, brillo, calidad, estabilidad, resistencia contra impactos, desgaste, plano y elasticidad.

Por lo general es un tipo de control que en muchas ocasiones o empresas es omitido, pero es una medida de bastante importancia en la industria textil, porque juega un papel fundamental a la hora que el consumidor elija su ropa, como por ejemplo la diferencia entre una camiseta de verano a una de invierno, no tendrían el mismo gramaje, ya que la de invierno al tener que abrigar más tendría un mayor grosor, como también un mayor gramaje por m^2 de tela.

Para efectuar la prueba, se empiezan a pesar las 4 muestras de tela que se tienen, cada una con una medida de $0.025 m^2$, con el fin de promediar los pesos de las muestras.

Figura 26.

Peso de la fibra en la balanza analítica



Nota. En la imagen 9 se puede observar el peso que arroja la balanza analítica de la tela.

Tabla 8.

Peso por m^2 ensayo 1

Muestra	g/m^2
1	2,12
2	2,10

3	2,11
4	2,10
Total	2,11

Nota. La tabla representa el peso de tela de cada muestra por cada 0.025 m².

A Continuación, se muestra la desviación estándar de los datos de la tabla 8.

$$\bar{X} = 2,11$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N}} = 0,0095$$

Tabla 9.

Peso por m² ensayo 2

Muestra	g/m²
1	2,11
2	2,09
3	2,12
4	2,11
Total	2,10

$$\% \text{ error} = \frac{2,11 - 2,10}{2,11} * 100$$

$$\% \text{ error} = 0,47\%$$

Nota. La tabla representa el peso de tela de cada muestra por cada 0.025 m².

A Continuación, se muestra la desviación estándar de los datos de la tabla 9.

$$\bar{X} = 2,10$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N}} = 0,012$$

Se realizaron 2 ensayos para esta prueba para obtener el porcentaje de error. La tela tuvo una media de 2,11 g/m² para el estudio 1 y de 2,10 g/m² para el 2, obteniendo así un porcentaje de error de 0,47%, lo que quiere decir que las diferencias en cuanto al peso en las 2 tomas de las 5 telas es mínima. La cantidad de hilo o gramaje no son variables que influyan en la calidad de la tela, solamente un control hilos que se le hace al producto [44].

3.4 Humedad relativa

El rendimiento tanto de absorción como de disipación de humedad de la tela de la ropa es un valor sumamente importante dado que el cuerpo humano descarga constantemente agua y serosidades al exterior y se busca que las prendas textiles mantengan una comodidad hacia el cuerpo humano de los clientes.

La fibra textil fue introducida en un secador como se observa en la imagen 10 calibrado a 100 °C durante una hora con el fin de eliminar restos de humedad que esta pueda presentar.

Figura 27.

Fibra textil en el proceso de secado



Nota. En la imagen se puede observar el proceso de secado del textil para retirarle la humedad y seguir con la prueba.

La tela se pasa a un vidrio reloj, se procede a llevar el vidrio reloj con la tela a una balanza analítica dando como resultado los pesos que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 10.

Dato del peso de las fibras

Muestra	Peso (g)
1	2,12
2	2,10
3	2,11
4	2,10

Nota. Se pueden observar los datos obtenidos de las muestras de telas una vez salen del secador.

A Continuación, se muestra la desviación estándar de los datos de la tabla 10.

$$\bar{X} = 2,10$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N}} = 0,0095$$

El proceso de secado de la fibra se llevó a 100°C durante una hora, para luego ser pesada y determinar su peso en seco. La siguiente tabla representa los pesos obtenidos de la prueba.

Tabla 11.

Peso inicial y final de las muestras

Peso en gramos		
Muestra	Inicial	Final
1	2,125	2,117
2	2,111	2,102
3	2,115	2,106
4	2,10	2,09

Nota. En la tabla se puede observar el peso de la fibra tanto con la humedad, como ya una vez pasado por el secador para retirarle la misma.

Una vez determinado los pesos finales se calcula el porcentaje de humedad que contiene la fibra.

$$\%H = \left(\frac{(\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco})}{\text{Peso húmedo}} \right) * 100$$

Tabla 12.

Porcentaje de humedad

Muestra	% de humedad
1	0,37
2	0,40
3	0,38
4	0,38

Nota. La tabla representa el porcentaje de humedad de cada una de las muestras de fibra.

A Continuación, se muestra la desviación estándar de los datos de la tabla 11.

$$\bar{X} = 2,10$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N}} = 0,013$$

Los promedios de humedad de las muestras seleccionadas para esta prueba corresponden al 0,38% del peso de la fibra. Los resultados obtenidos y presentados corresponden a una fibra determinada elaborada con PET reciclado, que cumple con las condiciones de normatividad ISO 3801 la cual indica que la cantidad aprobada de humedad para la fibra de poliéster es de 0,4%, por lo cual se evidencia que los valores son muy cercanos a este parámetro [44].

4. ANALISIS DE PRODUCCIÓN DE FIBRA EN ECOPLASTICOS GR S.A.S

En este capítulo se determina la disponibilidad de materia prima que se solicita para el proceso y los diferentes tipos de plásticos que hay. Luego se hará la identificación de cada equipo que se requiere en el proceso de producción de fibra textil en base al PET reciclado y el consumo energético de cada uno de ellos.

4.1 Disponibilidad de materia prima

La materia prima que solicita el proceso de producción de fibra textil, son las botellas de PET recicladas, que una vez son recolectadas, clasificadas y limpias pueden ser utilizadas en distintas industrias para diversos bienes y servicios que este nos puede llegar a ofrecer. El PET es utilizado principalmente en textiles de varios tipos de ropa de poliéster, alfombras, fibras para bolsas de dormir, autopartes, correas industriales y para nuevas botellas de plástico.

Clasificaciones:

- Embalaje
- Láminas y films
- Correas
- Resina industrial
- Fibras

El PET encabeza la industria textil ya sea como filamento continuo o fibra cortada, es muy común que sea mezclado con porcentajes de algodón o para rellenos de almohadas, lonas, bandas transportadoras y otros diferentes tipos de artículos que podemos encontrar en distintas industrias.

Las botellas recicladas transparentes de PET se identifican con facilidad por ser utilizadas en el mercado como envases de alimentos aptos para el consumo humano como bebidas saborizadas, aguas, aguas con gas y gaseosas, entre otras.

Otra manera de identificar la materia prima que va a ingresar a nuestro proceso (botellas PET) es de acuerdo con símbolos que estas contienen y corresponde a flechas representativas del ciclo de reciclaje con un número 1 en su interior.

En la empresa Eco Plásticos GR S.A.S se reciben un promedio de 650 kg diarios de material plástico aproximadamente, de los cuales 50 kg corresponden a PET de donde se extrae finalmente la fibra textil. El proceso de selección es manual y no cuentan con banda transportadora, por lo tanto, es dispendioso y demorado, desaprovechando la capacidad de la maquinaria existente, la cual queda inactiva por varios días al mes. Así mismo, el sobre cupo de materia prima en bodega impide una mayor recepción diaria de material, impactando la capacidad de producción de la planta.

4.2 Identificación de equipos

Se identificaron cada uno de los equipos que se requieren para cada etapa del proceso de producción de la fibra textil a partir del tereftalato de polietileno (PET) reciclado desde su clasificación hasta su extrusión [17].

Para documentar este trabajo, se tomaron como base los equipos con los que cuenta Eco Plásticos GR S.A.S, investigando en varias fuentes sus características principales como son sus dimensiones, consumo energético, capacidad de producción y precio, así como la materia prima que recibe y procesa la empresa. Para el caso de la banda transportadora con la que actualmente no cuenta la empresa, se consultó en el mercado un equipo que cumpla con los parámetros que requiere según su producción.

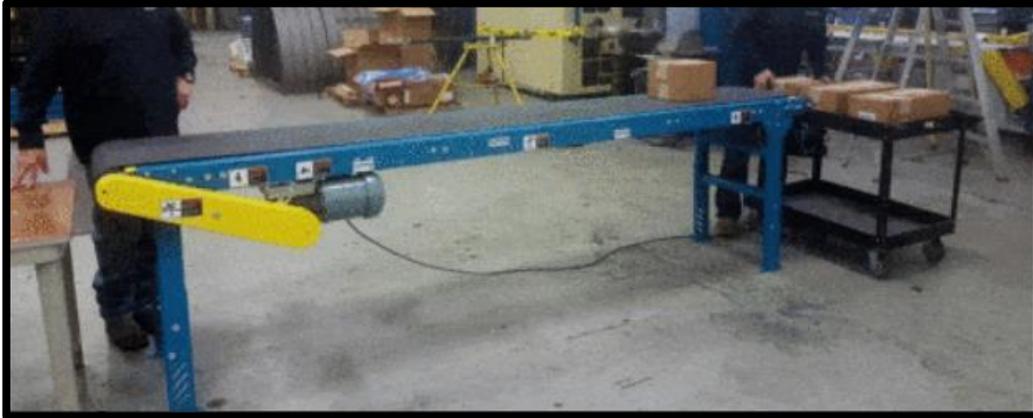
- **Clasificación**

Para la clasificación de las botellas se utiliza una banda transportadora, donde las botellas van pasando y los trabajadores clasifican las botellas tal cual lo requiere el proceso.

Para facilitar el proceso de selección de la materia prima, se requiere utilizar una banda transportadora.

Figura 28.

Banda transportadora



Nota. La figura representa la banda transportadora requerida para el proceso. Fuente: *Ultimation*, Cinta transportadora | 16 "An. X 11 'L | Correa de 12" W <https://www.ultimationinc.com/es/replacement-parts/cinta-transportadora-industrial/cinta-transportadora-16-pulgadas-de-ancho-x-11-pies-de-largo-finalidad/> (accessed Sep. 20, 2022).

- **Triturado**

Para el triturado se utiliza una trituradora con el fin de cumplir con la medida de las escamas de PET. Habitualmente se debe mantener un tamaño de escama menor a 12 mm.

Figura 29.

Trituradora



Nota. La figura representa la trituradora requerida para el proceso. Fuente: Alibaba.com," *Alibaba.com*, "Máquina De Granulado De Plástico,100% - Buy Plastic Pelletizer Machine,Recycling Plastic Pelletizer,Plastic Granule Machine Pelletizer Product <https://spanish.alibaba.com/p-detail/100-62017966032.html?spm=a2700.7724857.0.0.1d838eef9kJO6Y> (accessed Sep. 20, 2022).

- **Lavado**

En este proceso se utiliza una tina de lavado con el fin de separar los plásticos distintos al PET por diferencia de densidades.

Figura 30.

Tina de lavado



Nota. La figura representa una tina de lavado la cual se requiere para el proceso. Fuente: Tecnofer,” *Tecnofer*. “Tina de Lavado para Plástico.

<https://www.tecnofer.biz/es/maquinarias/tina-lavado/> (accessed Sep. 20, 2022).

- **Secado**

Para el secado de las escamas provenientes de las botellas de PET recicladas se utiliza un secado de deshumidificación previamente a su extrusión.

Figura 31.

Secado de deshumidificación



Nota. La figura representa el secado de deshumidificación para el proceso que se llevará a cabo. Fuente: - Made-in-china.com," *Made-in-china.com*. China Secador de deshumidificación de granule de plástico PET Fotos e Imágenes https://es.made-in-china.com/co_jmxiecheng/image_Pet-Plastic-Granule-Dehumidifying-Dryer_uoyiouinrg_2f1j00WaNkoeqRAMbV.html (accessed Sep. 20, 2022).

- **Extrusión**

Para el proceso de extrusión con el que se obtiene la fibra de poliéster se requiere de una máquina extrusora.

Figura 32.

Extrusora



Nota. La figura representa la extrusora necesaria para llevar a cabo el proceso. Fuente: Made-in-china.com," *Made-in-china.com*. China Pastilla de plástico que utiliza máquinas extrusionadoras de husillo doble Fotos e Imágenes -. 2540 (accessed Sep. 20, 2022).

4.3 Matriz de decisión

Se seleccionaron distintos tipos de equipos para cada uno de los procesos, con el fin de tener diferentes opciones, para la selección de los equipos que más se adecuan al proceso se tuvieron en cuenta factores como el precio, capacidad de producción, tamaño y por último el consumo que generan, se realizó por medio de la matriz Pugh para la toma de decisiones la cual se puntuó con los siguientes valores [45].

- +1 si es superior
- 0 si es igual
- -1 si es inferior

Para la matriz de decisión de la banda transportadoras se analizaron los equipos disponibles en el mercado que se ajustaran en precio, capacidad, tamaño y consumo de

energía acordes a las necesidades y presupuesto de la empresa. El modelo validado las bandas transportadoras fueron de la serie USB100B de ultimation [46].

Tabla 13.

Tabla comparativa de banda transportadora

Factores	USBS100B	USBS100B	USBS100B
Precio	10.930.000 COP\$	7.960.000 COP\$	20.600.000 COP\$
Capacidad de producción	100 kg	70 kg	100 kg
Tamaño	A: 0,4 m L: 3,35 m	A: 0,45 m L: 1,5 m	A: 0,4 m L: 4,8 m
Consumo energético	0,5 kW	0,5 kW	0,5 kW

Nota. La tabla corresponde a las especificaciones de cada banda transportadora evaluada para el proceso de selección. Datos tomados de: *Ultimation*, Jan. 25, 2023. "Cinta transportadora | 16 "An. X 11 'L | Correa de 12" W <https://www.ultimationinc.com/es/replacement-parts/cinta-transportadora-industrial/cinta-transportadora-16-pulgadas-de-ancho-x-11-pies-de-largo-finalidad/> (accessed Feb. 04, 2023).

Tabla 14.

Matriz de decisión de bandas transportadoras

Factores	USBS100B	USBS100B	USBS100B
Precio	0	0	-1
Capacidad de producción	+1	0	-1
Tamaño	0	-1	0
Consumo energético	0	0	0
Total	+1	-1	-2

Nota. La tabla representa la matriz de decisión para la banda transportadora, se puede observar que la maquina USB100B tipo 1 fue la que obtuvo un puntaje mayor en comparación con las otras, dado que se adapta a las necesidades de producción de la empresa.

Tabla 15.*Tabla comparativa de la trituradora.*

Factores	SP-60	SP-25	SP-100
Precio	6.000.000	100.000 COP\$	7.300.000
Capacidad de producción	60 kg	25 kg	100 kg
Tamaño	Al: 1,5 m	Al: 1,5 m	Al: 1,5 m
	L: 1,2 m	L: 1,2 m	L: 1,2 m
Consumo energético	1,1 kW	0,75 kW	1,5 kW

Nota. La tabla muestra las características principales de 3 diferentes tipos de trituradoras que sirven para el proceso. Datos sacados de *Alibaba.com*, 2019. “Máquina Para Reciclaje De Mascotas Biodegradable, De Plástico Pla/pbat, 100% Buy Plastic Pelletizer Machine, Recycling Plastic Pelletizer, Plastic Granule Machine Pelletizer Product on Alibaba.com,”. <https://spanish.alibaba.com/p-detail/100-62017966032.html?spm=a2700.7724857.0.0.1d838eef9kJ06Y> (accessed Feb. 04, 2023).

Tabla 16.*Matriz de decisión de trituradora*

Factores	SP-60	SP-25	SP-100
Precio	0	+1	0
Capacidad de producción	-1	-1	+1
Tamaño	0	-1	0
Consumo energético	-1	+1	0
Total	-2	0	+1

Nota. La tabla representa la matriz de decisión para la trituradora, se puede observar que la máquina SP-100 fue la que obtuvo un puntaje mayor en comparación con las otras, de acuerdo con las condiciones tanto de entrada como el consumo requerido para triturar la cantidad requerida.

Tabla 17.*Tabla comparativa del lavado.*

Factores	TL-A	TL-B	TL-C
Precio	15.000.000	18.000.000	23.000.000
Capacidad de producción	100	500	1000
Tamaño	A:1,4 L: 4,1	A:1,7 L: 6,1	A:2,4 L: 8,1
Consumo energético	6,6	14	28,5

Nota. En esta tabla se muestra las especificaciones de los 3 tipos de tina de lavado, para hacer la matriz de decisión. Datos sacados de: *Maquinaria industrial*. “Maquinaria industrial | Domenech Maquinaria,” *Domenech Maquinaria | Comprometidos con la excelencia*. <https://domenechmaquinaria.com/> (accessed Feb. 05, 2023).

Tabla 18.*Matriz de decisión del lavado*

Factores	TL-A	TL-B	TL-C
Precio	+1	0	-1
Capacidad de producción	+1	-1	0
Tamaño	0	+1	0
Consumo energético	0	-1	-1
Total	+2	-1	0

Nota. La tabla representa la matriz de decisión para la tina de lavado, se puede observar que la maquina TL-A fue la que obtuvo un puntaje mayor en comparación con las otras, por lo tanto, esta máquina ha sido tomada como la óptima para el proceso.

Tabla 19.*Tabla comparativa del secado.*

Factores	XCD-120L/80H	XCD-80L/50	XCD-40/30H
Precio	10.400.000	9.200.000 COP \$	6.480.000 COP \$
Capacidad de producción	120	80	40

Tamaño	A: 1,82 L: 1,1	A: 1,82 L: 1,1	A: 1,7 L: 1,1
Consumo energético	6 kW	4 kW	3 kW

Nota. La tabla representa las especificaciones de los equipos de secado. Datos tomados de: “Gránulo de plástico PET Secador de deshumidificación,” *Made-in-China.com*, 2013. https://es.made-in-china.com/co_jmxiecheng/product_Pet-Plastic-Granule-Dehumidifying-Dryer_uoyiouinrg.html (accessed Feb. 05, 2023).

Tabla 20.

Matriz de decisión del secado

Factores	XCD-120L/80H	XCD-80L/50	XCD-40/30H
Precio	-1	0	+1
Capacidad de producción	+1	-1	-1
Tamaño	+1	+1	-1
Consumo energético	0	-1	+1
Total	+1	-1	0

Nota. La tabla representa la matriz de decisión para el secador de deshumidificación, se puede observar que la maquina multifunción tipo XCD-120L/80H fue la que obtuvo un puntaje mayor en comparación con las otras, por lo tanto, esta máquina ha sido tomada como la óptima para el proceso.

Tabla 21.*Tabla comparativa de la extrusión.*

Factores	KTE-75A	SHJ-75B	KTE-50A
Precio	208.000.000 COP \$	69.400.000 COP \$	162.000.000 COP \$
Capacidad de producción	400	100	150
Tamaño	A: 1,5 m L: 5,5 m	A: 1,5 L: 4,5	A: 2 m L: 5 m
Consumo energético	130 kW	37 kW	45 kW

Nota. En la tabla 13 se puede observar las características de cada uno de los modelos de la extrusora. Datos tomados de: Alibaba.com,” *Alibaba.com*. “Extrusora De Granulación De Doble Tornillo Buen Precio, Línea De Extrusión De Máquina De Madera De Plástico Pp Pe - Buy Plastic Wood Machine,Plastic Pelletizing Line,Plastic Pelletizing Extruder Product. <https://spanish.alibaba.com/p-detail/Good-60848536037.html?spm=a2700.details.0.0.69215879Pm4dUf> (accessed Feb. 05, 2023).

Tabla 22.*Matriz de decisión extrusión*

Factores	KTE-75A	SHJ-75B	KTE-50A
Precio	+1	0	-1
Capacidad de producción	-1	+1	-1
Tamaño	-1	+1	0
Consumo energético	-1	+1	0
Total	-2	+3	-2

Nota. La tabla representa la matriz de decisión para la extrusión, se puede observar que la maquina SHJ-75B fue la que obtuvo un puntaje mayor en comparación con las otras, ya que cumple con los requerimientos de la empresa.

4.4 Consumo energético

Para el consumo energético se parte principalmente de la energía que genera cada equipo que se requiere en el proceso de producción de fibra textil con botellas recicladas de PET, estos datos salen de las fichas técnicas de los equipos, también se

evalúa el precio de la energía en COP\$/kWh en Bogotá que está alrededor de los COP\$723.08 /kWh [18], para tener un dato más preciso sobre el consumo de cada máquina, se tiene en cuenta también que en la empresa se realiza un proceso por lotes y cada proceso requiere un tiempo en específico, con una base de 50 kg/día.

Banda transportadora

Esta banda transportadora tiene las siguientes dimensiones: 0,41 m de ancho por 3,35 m de largo. Su velocidad puede ser ajustable para una mejor selección de la materia prima, está hecha de marco de acero, recubierta por pintura en polvo, su máxima carga es de 100 kg y tiene una potencia de 0,5 kW [19].

- Costo energía hora = $0,5 \text{ kW} * \text{COP}\$723.08 /\text{kWh}$

$$\text{Costo energía hora} = \text{COP}\$361,54 /\text{kWh}$$

- Costo energía día = $\text{COP}\$361,54 /\text{kWh} * 2 \text{ h}$

$$\text{Costo energía día} = \text{COP}\$723,08 /\text{kWdía}$$

- Costo energía mes = $\text{COP}\$723,08 /\text{kW día} * 24 \text{ días}$

$$\text{Costo energía mes} = \text{COP}\$17.354 /\text{kW mes}$$

Trituradora

La trituradora tiene una dimensión de 1,27 m de largo, 0,75 m de ancho y 1,51 m de alto, tiene una capacidad de 110 kg/h y tiene una potencia de 1,5 kW. [21]

- Costo energía hora = $1,5 \text{ kW} * \text{COP}\$723.08 /\text{kWh}$

$$\text{Costo energía hora} = \text{COP}\$1084,62 /\text{kWh}$$

- Costo energía día = $\text{COP}\$1084,62 /\text{kWh} * 0,8 \text{ h}$

$$\text{Costo energía día} = \text{COP}\$867,7 /\text{kWdía}$$

- Costo energía mes = $\text{COP}\$867,7 \text{ kW día} * 24 \text{ días}$

Costo energía mes = COP\$20824,7 /kW mes

Tina de lavado

La tina de lavado consta de unas dimensiones de 4,1 metros de largo, 0,9 metros de ancho y 1,4 metro de alto, consta de una potencia de 6,6 kW. [22]

- Costo energía hora = 6,6 kW * COP\$723.08 /kWh

Costo energía hora = COP\$4772,32 /kWh

- Costo energía día = COP\$4772,32 /kWh * 1,5 h

Costo energía día = COP\$7158,49 /kWdía

- Costo energía mes = COP\$7158,49 /kW día * 24 días

Costo energía mes = COP\$171803,8 /kW mes

Secador de deshumidificación

El secador de deshumidificación tiene unas medidas de 1,82 metros de alto, 1,1 metros de largo y 0,71 metros de ancho, tiene una potencia de 6 kW y una capacidad de 100 kg/h. [23]

- Costo energía hora = 6 kW * COP\$723.08 /kWh

Costo energía hora = COP\$4338,48 /kWh

- Costo energía día = COP\$4338,48 /kWh * 2 h

Costo energía día = COP\$8676,96 /kWdía

- Costo energía mes = COP\$8676,96 /kW día * 24 días

Costo energía mes = COP\$208247,04 /kW mes

Extrusora

La extrusora tiene un diámetro de 0,041 metros, una velocidad de 600 R/min, consta de una capacidad de producción de 100 – 160 kg/h y una potencia de 45 kW. [24]

- Costo energía hora = 37 kW * COP\$723.08 /kWh

Costo energía hora = COP\$26753,96 /kWh

- Costo energía día = COP\$26753,96 /kWh * 2 h

Costo energía día = COP\$53507,92 /kWdía

- Costo energía mes = COP\$53507,92 /kW día * 24 días

- Costo energía mes = COP\$1284190,08 /kW mes

Tabla 23.

Costos totales de energía

Equipos	\$/kW mes
Banda transportadora	\$ 17.354
Trituradora	\$ 20.824,7
Tina de lavado	\$ 171.803,8
Secador de deshumidificación	\$ 208247,04
Extrusora	\$ 1.284.190,08
Total	\$ 1.702.418,82

Nota. La tabla representa el costo total de la energía de cada uno de los equipos para el proceso de producción de fibra textil a partir del reciclaje del PET.

Tabla 24.*Estimación de los costos de equipos*

Cantidad	Equipos	Precio x unidad	Precio total
1	Banda transportadora	COP \$ 10.000.000	COP \$ 10.000.000
1	Trituradora	COP \$ 7.300.000	COP \$ 7.300.000
1	Tina de lavado	COP \$ 15.000.000	COP \$ 15.000.000
1	Secador	COP \$ 10.400.000	COP \$ 10.400.000
1	Extrusora	COP \$ 69.400.000	COP \$ 69.400.000
Total			COP \$112.100.000

Nota: La tabla anterior ilustra el precio de cada una de las máquinas nuevas que se requiere para el proceso, en caso de la empresa Eco plásticos GR S.A.S solo se requiere la adquisición de la banda transportadora, ya que los equipos restantes ya se tienen para el proceso.

Tabla 25.*Estimación salarial de los operarios.*

Salario	COP\$ 1.160.000
Aux de transporte	COP\$ 140.606
Salud 8,5%	COP\$ 98.600

Seguridad social	ARL 2,436	COP\$ 28.257
	Pensión 12%	COP\$ 139.200
	Caja de compensación 4%	COP\$ 46.400
Costo mensual total por operario		COP\$ 1.613.603
Costo mensual total 3 operarios		COP\$ 4.839.189

Nota. En la tabla se evidencia el costo estimado que se debe pagar por empleado, teniendo en cuenta, salud, pensión, ARL, auxilio de transporte y caja de compensación. El valor por empleado es de COP\$1.613.603. Los contratos de los operarios se harán con las prestaciones sociales de ley (cesantías, prima, vacaciones, etc.). Es por ello que se le sugiere a la empresa realizar una provisión con la que se pueda hacer efectivo los pagos de estas prestaciones en los tiempos pertinentes.

En las siguientes ecuaciones se demuestra el desarrollo para determinar el valor en pesos colombianos de la seguridad social teniendo como base el salario mínimo del año 2023.

$$\text{Salud} = \text{COP\$}1.160.000 * 0,085 = \text{COP\$}98.600$$

$$\text{ARL} = \text{COP\$}1.160.000 * 0,024 = \text{COP\$}28.257$$

$$\text{Pensión} = \text{COP\$}1.160.000 * 0,12 = \text{COP\$}139.200$$

$$\text{Caja de compensación} = \text{COP\$}1.160.000 * 0,04 = \text{COP\$}46.400$$

Analizando los costos de la banda transportadora, el consumo de energía de la misma, la capacidad de producción y el volumen de materia prima recibida, tenemos:

Costo banda transportadora= COP\$10.930.000

Capacidad de producción= 100kg/h

Consumo energético= 0,5 kW

Precio de compra materia prima kg= COP\$1.000

Precio de venta fibra textil kg= COP\$5.000

$$\text{Consumo total} = 0,5 \text{ kW} * \text{COP\$723,08} = \text{COP\$361,54 kW/h}$$

Tabla 26.

Costos

Costos adicionales	Día	Mes
Consumo energía	COP\$723,08	COP\$17.354
Compra de materia prima	COP\$50.000	COP\$1.200.000
Total	COP\$50.723,08	COP\$1.217.354

Nota. La tabla representa los costos mensuales que la empresa tiene.

Tabla 27.

Ingresos adicionales

Ingresos adicionales	Día	Mes
Venta de fibra	COP\$250.000	COP\$6.000.000

Nota. La tabla representa la venta de fibra diarios y mensuales.

$$\text{ingresos} - \text{gastos} = \text{COP\$6.000.000} - \text{COP\$1.217.354} = \text{COP\$4.782.646}$$

$$\# \text{ meses} = \frac{\text{COP\$10.930.000}}{\text{COP\$4.782.646}} = 2,8$$

Según los ingresos, costos adicionales y el valor de la máquina, se evidencia que el costo de la banda transportadora se puede cubrir, con la producción adicional en 2,28 meses, teniendo en cuenta, que no se incurrirá en costos adicionales de nómina, bodegaje, ni otros gastos asociados a la producción, porque están cubiertos con el movimiento normal de la empresa.

4.5 Aportes del trabajo a la empresa Eco Plásticos GR S.A.S

Durante el periodo de seguimiento se dieron los siguientes aportes:

- Se realizó capacitación y sensibilización sobre la importancia del reciclaje del PET y su transformación en fibra textil que impacta el cuidado del medio ambiente y garantiza una mejor rentabilidad para la empresa.
- Se asesoró sobre el manejo estadístico para mejoramiento del control y seguimiento de la producción y su correspondiente beneficio económico.
- Se sugirieron alternativas de almacenamiento y distribución tanto de materia prima como de producto terminado, para el mejoramiento de espacios y aumento de la productividad, así como mejoras en el proceso de producción.
- Basándonos en los datos de producción se le planteó a la empresa la adquisición de una banda transportadora, que supla sus necesidades y con un precio asequible que no impacte las finanzas actuales de Eco Plásticos GR S.A.S.
- Se dio apoyo a la empresa para cumplir con los requisitos exigidos por la alcaldía de Bogotá, para presentarse a una convocatoria del programa de incentivos a través de la página web UAESP.

Finalmente quedó abierta la disponibilidad para apoyar cualquier requerimiento a mediano plazo, que se pueda suplir basado en este trabajo.

5. CONCLUSIONES

Se plasmó la caracterización de las fases requeridas para el proceso de producción de fibra textil a partir del PET reciclado, así mismo se realizaron los balances tanto de masa como de energía del proceso, donde se puede evidenciar que la máquina con mayor gasto de energía es la extrusora con un gasto diario de 37 kW, esto es debido a la potencia que esta máquina requiere para su extrusión. Se observó en el trabajo en planta la falta de la banda transportadora genera retrasos en la selección de la materia prima afectando la productividad.

Con la organización de las cifras de recepción de la materia prima, se logró formalizar estadística importante para conocer con exactitud las entradas y salidas del proceso y se pudo recomendar a la empresa mejoras en las fases de operación y alternativas para incrementar la productividad y rentabilidad del negocio.

Al realizar el proceso de obtención de fibra textil a partir del PET, se conocieron cada una de las fases por las cuales deben pasar las botellas de PET reciclado, evidenciando la simplicidad y rentabilidad del proceso y todos los beneficios para el medio ambiente, siendo un esquema de economía circular sostenible.

Se realizaron las pruebas fisicoquímicas básicas a la fibra textil, encontrando que los resultados se encuentran dentro de los rangos establecidos por la normatividad que rigen el mercado para la comercialización del producto. Esto se debe a que la materia prima cumple con las propiedades y características del PET, desde la creación del producto y a la correcta selección del material a procesar por parte de la empresa Eco Plásticos GR S.A.S.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Contaminación en Colombia puede desatar un tsunami plástico,” Elempaque.com, 2021. <https://www.elempaque.com/temas/Colombia-se-podria-enfrentar-a-un-tsunami-plastico+128876> (accessed Apr. 03, 2022). <https://www.elempaque.com/temas/Colombia-se-podria-enfrentar-a-un-tsunami-plastico+128876>
- [2] Semana, “Se requieren acciones urgentes para frenar la contaminación por plásticos, advierte la ONU,” Semana.com Últimas Noticias de Colombia y el Mundo, Mar. 17, 2021. <https://www.semana.com/sostenibilidad/articulo/se-requieren-acciones-urgentes-para-frenar-la-contaminacion-por-plasticos-advierte-la-onu/202136/> (accessed Apr. 03, 2022). <https://www.semana.com/sostenibilidad/articulo/se-requieren-acciones-urgentes-para-frenar-la-contaminacion-por-plasticos-advierte-la-onu/202136/>
- [3] “Informe del sector diciembre 2021 - INEXMODA,” INEXMODA, Feb. 07, 2022. <https://www.inexmoda.org.co/informe-del-sector-diciembre-2021/> (accessed Sep. 18, 2022).
- [4] J. A. Restrepo Morales and J. G. Vanegas López, “Internacionalización de las pymes: análisis de recursos y capacidades internas mediante lógica difusa,” *Contaduría y Administración*, vol. 60, no. 4, pp. 836–863, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.cya.2015.07.008.
- [5] “Fibras textiles: Los distintos tipos y sus características,” *Telas del pozo hogar*, Nov. 06, 2017. <https://www.telasdelpozohogar.com/fibras-textiles/> (accessed Aug. 30, 2022).
- [6] L. A. Lett, “Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular,” *Revista Argentina de Microbiología*, vol. 46, no. 1, pp. 1–2, Jan. 2014, doi: 10.1016/s0325-7541(14)70039-2.

- [7] C. López, M. Lic, M. Daniel, and Llana, “Reciclado del plástico [PET*] para la obtención de fibra textil.” [Online]. Available: http://www.edutecne.utn.edu.ar/trabajo_final/reciclado_PET.pdf
- [8] M. del M. C. López, A. I. Ares Pernas, M. J. Abad López, A. L. Latorre, J. M. López Vilariño, and M. V. González Rodríguez, “Assessing changes on poly(ethylene terephthalate) properties after recycling: Mechanical recycling in laboratory versus postconsumer recycled material,” *Materials Chemistry and Physics*, vol. 147, no. 3, pp. 884–894, Oct. 2014, doi: 10.1016/j.matchemphys.2014.06.034.
- [9] “Acerca del PET.” [Online]. Available: <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/15405/ANEXO%201-PET.pdf?sequence=2&isAllowed=y#:~:text=Resistencia%20esfuerzos%20permanentes%20y%20al>
- [10] E. Mendiburu-Valor et al., “Valorization of urban and marine PET waste by optimized chemical recycling,” *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 184, p. 106413, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.resconrec.2022.106413.
- [11] “MARO | Mapa Regional de Oportunidades,” Maro.com.co, 2022. <https://www.maro.com.co/apuesta-pdp/bienes/9> (accessed Sep. 19, 2022).
- [12] “PET cristalino vs. amorfo: Plastics Technology México,” Pt-mexico.com, 2022. <https://www.pt-mexico.com/banco-de-conocimiento/secado-de-plasticos/tipos-de-resinas/pet-cristalino-vs-amorfo> (accessed May 02, 2022).
- [13] Aristegui Maquinaria, “Identificación de los plásticos por sus códigos - Aristegui Maquinaria,” Aristegui Maquinaria, Apr. 12, 2019. <https://www.aristegui.info/identificacion-de-los-plasticos-por-sus-codigos/> (accessed May 07, 2022).
- [14] “OEcotextiles,” OEcotextiles, 2020. <https://oecotextiles.blog/> (accessed Sep. 19, 2022).

- [15] A. Telli and N. Özdil, "Effect of Recycled PET Fibers on the Performance Properties of Knitted Fabrics," *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, vol. 10, no. 2, p. 155892501501000, Jun. 2015, doi: 10.1177/155892501501000206.
- [16] "BALANCE DE MASAS BARRPLASTIC SAS." Accessed: Oct. 22, 2022. [Online]. Available: <https://www.crautonomia.gov.co/documentos/transformadoras/30-balances-2022013110305657554700.pdf>
- [17] "Conoce cuáles son y para qué sirven los códigos de identificación de los plásticos | SP Group," *SP Group*, Jul. 22, 2022. <https://www.spg-pack.com/blog/codigos-identificacion-plasticos/#:~:text=N%C3%BAmero%201%3A%20PET%20o%20PETE,sus%20grandes%20posibilidades%20de%20reciclaje>. (accessed Oct. 24, 2022).
- [18] "Tarifas de energía | Enel Colombia," *Enel.com.co*, 2022. <https://www.enel.com.co/es/personas/tarifas-energia-enel-distribucion.html> (accessed Oct. 31, 2022).
- [19] Cinta transportadora | 16 "An. X 11 'L | Correa de 12" W |...," *Ultimation*, Jul. 18, 2022. <https://www.ultimationinc.com/es/replacement-parts/cinta-transportadora-industrial/cinta-transportadora-16-pulgadas-de-ancho-x-11-pies-de-largo-finalidad/> (accessed Sep. 20, 2022).
- [20] "El cribado de alta capacidad de la criba de tambor giratorio de oro," *Made-in-China.com*, 2018. https://es.made-in-china.com/co_vibratingscreener/product_High-Screening-Capacity-Rotary-Drum-Sieve-for-Gold_enohynny.html (accessed Oct. 31, 2022).
- [21] "Máquina De Granulado De Plástico,100% - Buy Plastic Pelletizer Machine,Recycling Plastic Pelletizer,Plastic Granule Machine Pelletizer Product on Alibaba.com," *Alibaba.com*, 2019. <https://spanish.alibaba.com/p-detail/100-62017966032.html?spm=a2700.7724857.0.0.1d838eef9kJO6Y> (accessed Sep. 20, 2022).

- [22]“Tina de Lavado para Plástico | Tecnofer,” *Tecnofer*, Jun. 15, 2022.
<https://www.tecnofer.biz/es/maquinarias/tina-lavado/> (accessed Sep. 20, 2022).
- [23]“China Secador de deshumidificación de granule de plástico PET Fotos e Imágenes - Made-in-china.com,” *Made-in-china.com*, 2017. https://es.made-in-china.com/co_jmxiecheng/image_Pet-Plastic-Granule-Dehumidifying-Dryer_uoyiouinrg_2f1j00WaNkoeqRAMbV.html (accessed Sep. 20, 2022).
- [24]“China Pastilla de plástico que utiliza máquinas extrusora de husillo doble Fotos e Imágenes - Made-in-china.com,” *Made-in-china.com*, 2017.
https://es.made-in-china.com/co_njkairong/image_Plastic-Pellet-Making-Used-Twin-Screw-Extruder-Machines_eerrogerg_2f1j00EMsltCvBZabS.html (accessed Sep. 20, 2022).
- [25]“Proceso de bobinado de bobina de hilo textil maquinaria Winder,” *Made-in-China.com*, 2017. https://es.made-in-china.com/co_shqipang/product_Textile-Winding-Process-Yarn-Bobbin-Winder-Machinery_riyryoug.html (accessed Oct. 31, 2022).
- [26] Denetim, “valor de pH,” *Denetim.com*, 2020.
<https://www.denetim.com/es/laboratuvar/tekstil-kimyasal-testler/ph-degeri/> (accessed Nov. 19, 2022).
- [27] “Pruebas de textiles,” *Qima.es*, 2022. <https://www.qima.es/testing/textile-fabric-quality-control> (accessed Nov. 20, 2022).
- [28] “Propiedades del tejido para construir mi producto I - Slowfashionnext,” *Slowfashionnext*, May 19, 2017.
<https://slowfashionnext.com/blog/propiedades-del-tejido-construir-producto-i/> (accessed Nov. 21, 2022).
- [29] Greenpeace, “Datos sobre la producción de plásticos | Greenpeace España,” *Greenpeace España*, 2017. <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos->

en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/ (accessed Feb. 06, 2023).

- [30] “Fibras textiles: tipos y características- Escuela Europea Versailles,” *Escuela Europea Versailles*, Sep. 12, 2022. <https://escuelaversailles.com/fibras-textiles-tipos-caracteristicas/> (accessed Feb. 06, 2023).
- [31] comunicaciones, “Fibra textil: su origen,” *Lafayette Sports*, Jul. 31, 2019. <https://www.lafayettesports.com.co/noticias/confeccion-deportiva/fibra-textil-su-origen/> (accessed Feb. 06, 2023).
- [32] “bolsas Lightweight Hip Bag AOP StanleyStella,” *Teefactory.es*, 2020. <https://teefactory.es/sostenibilidad/poliester-reciclado> (accessed Feb. 06, 2023).
- [33] instituto, “CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS TEXTILES,” *Instituto Textil Nacional*, 2020. <https://www.institutotextilnacional.com/2020/08/12/caracteristicas-de-las-fibras-textiles/> (accessed Feb. 06, 2023).
- [33]“CLASIFICACIÓN DE FIBRAS.” Available: https://calvosealing.com/wp-content/uploads/docES_clasificacion_de_fibras.pdf
- [35] P. Lafayette, “Fibras sintéticas vs naturales: los dos extremos del hilo,” *Lafayette*, Jul. 12, 2017. <https://lafayette.com/fibras-sinteticas-vs-naturales-los-dos-extremos-del-hilo/> (accessed Feb. 06, 2023).
- [36]Cristina Estrada Rudas, “Consumo de moda en Colombia cerró ventas por \$27,7 billones el año pasado,” *Diario La República*, Mar. 07, 2022. <https://www.larepublica.co/empresas/consumo-de-moda-en-colombia-cerro-ventas-por-27-7-billones-el-ano-pasado-3316367> (accessed Feb. 06, 2023).
- [37]R. Davis, “Textiles y Confecciones en Colombia Cifras, panorama y tendencias | Textiles Panamericanos,” *Textilespanamericanos.com*, May 25, 2022. <https://textilespanamericanos.com/textiles-panamericanos/2022/05/textiles-en-colombia/> (accessed Feb. 06, 2023).
- [38] “Industria de la moda,” *Invierta en Colombia*, 2019. <https://investincolombia.com.co/es/sectores/manufacturas/industria-de-la-moda> (accessed Feb. 06, 2023).

- [39]C. Novillo, "Tipos de reciclaje," *ecologiaverde.com*, Oct. 07, 2019. <https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-reciclaje-2168.html> (accessed Feb. 06, 2023).
- [40]Sollutia.com, "Reciclaje químico | CEDEX," *Cedexmateriales.es*, 2013. <https://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/37/residuos-plasticos/gestion-del-residuo/valorizacion-material/250/reciclaje-quimico.html> (accessed Feb. 06, 2023).
- [41]Sollutia.com, "Reciclaje mecánico | CEDEX," *Cedexmateriales.es*, 2013. <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/37/residuos-plasticos/gestion-del-residuo/valorizacion-material/249/reciclaje-mecanico.html> (accessed Feb. 06, 2023).
- [42] Sistema, "¿Qué es el PET?," *Acoplasticos.org*, 2022. <https://www.acoplasticos.org/index.php/mnu-pre/opm-bus-pref/36-opc-fag-pre4> (accessed Feb. 06, 2023).
- [43]"Tereftalato de polietileno: ¿Qué es?, Usos y Propiedades," *Envaselia.com*, 2018. <https://www.ensavelia.com/blog/tereftalato-de-polietileno-id12.htm> (accessed Feb. 06, 2023).
- [44]F. Mejia-Azcarate, "Programa de Textilización - Ciencias Textiles," *Blogspot.com*, 2017. <https://programadetextilizacion.blogspot.com/2017/05/capitulo-12a-aseguramiento-de-calidad.html> (accessed Feb. 06, 2023).
- [45] Denetim, "valor de pH," *Denetim.com*, 2020. <https://www.denetim.com/es/laboratuvar/tekstil-kimyasal-testler/ph-degeri/> (accessed Feb. 06, 2023).
- [46] Raúl Sejzer, "La Matriz de Pugh para la toma de decisiones," *Blogspot.com*, Feb. 10, 2023. <http://ctcalidad.blogspot.com/2016/10/la-matriz-de-pugh-para-la-toma-de.html> (accessed Feb. 10, 2023).
- [47] "Cinta transportadora | 16 "An. X 11 'L | Correa de 12" W |...," *Ultimation*, Jan. 25, 2023. <https://www.ultimationinc.com/es/replacement-parts/cinta-transportadora->

industrial/cinta-transportadora-16-pulgadas-de-ancho-x-11-pies-de-largo-finalidad/
(accessed Feb. 10, 2023).

ANEXOS

ANEXO 1

GUÍA DE LABORATORIO

Protocolo para pruebas fisicoquímicas de fibra textil.

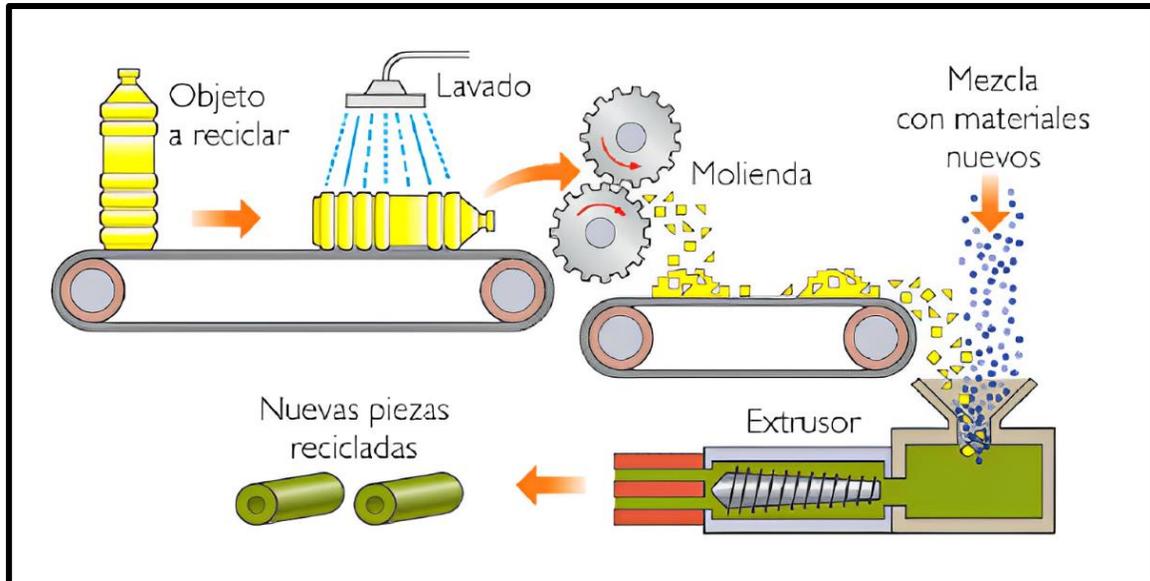
Se le llama fibra textil al conjunto de filamentos o hebras utilizados para formar hilos ya sea mediante un hilado u otros procesos físicos o químicos. Para que la fibra textil pueda ser comercializada esta debe cumplir una serie de condiciones como: Finura, longitud, color, brillo, elasticidad y resistencia al calor, la luz y solventes.

La industria textil sobresale a otras industrias gracias a la cantidad de mano de obra que esta presenta a lo largo de todo el mundo, además de ello la industria requiere de equipos livianos los cuales pueden instalarse con facilidad en cualquier lugar para minimizar costos por hombre de trabajo.

El reciclaje mecánico es un proceso físico el cual consiste fundamentalmente en aplicar calor y presión sobre el material para poder darles una nueva forma. Este tipo de proceso no puede ser aplicado para todos los plásticos, únicamente solo puede aplicarse en los termoplásticos que se funden a ser llevado a altas temperaturas hasta superar el punto de fusión.

Gráfico 33.

Reciclaje mecánico



Nota. La figura representa el proceso por el cual se hace el reciclaje mecánico del PET para la elaboración de fibra textil. Tomado de C. López, M. Lic, M. Daniel, and Llaneza, “Reciclado del plástico [PET*] para la obtención de fibra textil.” http://www.edutecne.utn.edu.ar/trabajo_final/reciclado_PET.pdf.

Para el proceso de las pruebas fisicoquímicas a desarrollar, se tuvo en cuenta algunos de los experimentos más comunes e importantes en la industria textil, para que una prenda o fibra de poliéster hecha a base de PET reciclado, pueda salir al mercado sin ningún tipo de problema, esto se hace con el fin de evaluar en qué condiciones está el producto que se desarrolló por la parte experimental del proyecto de grado correspondiente.

Se realizarán 4 tipos de pruebas distintas a la fibra de poliéster elaborada, las cuales se nombran a continuación.

- pH
- Combustión
- Peso por m²
- Humedad relativa

Descripción del proceso

Tabla 28.

pH de la fibra de poliéster

pH de la fibra de poliéster	
Reactivos	Procedimiento
<ul style="list-style-type: none">● Fibra de poliéster● Agua	<ul style="list-style-type: none">● Pesar 3g de la muestra● Se miden 250 ml de agua destilada● Se lleva a punto de ebullición y se introduce la muestra por 10 minutos● Se enfría a temperatura ambiente y se retira la muestra● Se hace la lectura de pH
Materiales <ul style="list-style-type: none">● Vidrio de reloj● Vasos de precipitación● Termómetro● Varilla de agitación● Probeta● Pinzas● Cintas pH● Mechero	

Nota. La tabla muestra los implementos requeridos para la realización de la prueba.

Tabla 29.

Humedad relativa de la fibra de poliéster

Humedad relativa de la fibra de poliéster	
Reactivos	Procedimiento
<ul style="list-style-type: none">● Fibra de poliéster	<ul style="list-style-type: none">● Se pesa la muestra● Se lleva a secar por 10-15 minutos● Se vuelve a pesar
Materiales <ul style="list-style-type: none">● Vidrio de reloj● Balanza analítica	

<ul style="list-style-type: none"> • Pinzas • Secador 	<ul style="list-style-type: none"> • Se sacan los valores correspondientes para los respectivos cálculos.
---	--

Nota. La tabla muestra los implementos requeridos para la realización de la prueba.

Tabla de datos

Tabla 30.

pH de la fibra de poliéster.

Tipo de fibra	pH
Fibra de poliéster	6

Nota. La tabla muestra el resultado de pH dado en la prueba.

Tabla 31.

Peso por m² ensayo 1

Muestra	Peso (g)
1.	2,12
2.	2,10
3.	2,11
4.	2,10

Nota. La tabla muestra el resultado de peso por m² ensayo 1

Tabla 32.

Peso por m² ensayo 2

Muestra	Peso (g)
1.	2,11
2.	2,09
3.	2,12
4.	2,11

Nota. La tabla muestra el resultado de peso por m² ensayo 2

Tabla 33.

Datos de humedad

Condiciones	Peso (g)
Fibra de poliéster Húmeda	2,125
Fibra de poliéster seca	2,11

Nota. La tabla muestra el resultado de humedad.

ANEXO 2
FOTOS EN PLANTA

Figura 34.

Identificación de etiquetas



Nota. En la figura se puede observar la identificación de etiquetas.

Figura 35.

Identificación de plásticos



Nota. En la figura se puede observar la identificación de plásticos.

Figura 36.

Identificación tina de lavado



Nota. En la figura se puede observar la identificación tina de lavado.

Figura 37.

Identificación secador.



Nota. En la figura se puede observar la identificación secador.

Figura 38.

Proceso en trituradora



Nota. En la figura se puede identificar el proceso en la trituradora.

Figura 39.

Proceso en trituradora



Nota. En la figura se puede identificar el proceso en la trituradora.

Figura 40.

Proceso en la tina de lavado



Nota. En la figura se puede identificar el proceso en la tina de lavado

Figura 41.

Proceso en el secador



Nota. En la figura se puede identificar el proceso en el secador.

Figura 42.

Proceso en el pesaje



Nota. En la figura se puede identificar el proceso en el pesaje.

Figura 43.

Proceso de selección



Nota. En la figura se puede identificar el proceso de selección.

ANEXO 3

Fotos laboratorio

Figura 44.

Prueba peso m^2



Nota. En la figura se puede identificar la prueba peso m^2 .

Figura 45.

Calentamiento de agua para prueba de pH.



Nota. En la figura se puede identificar la prueba peso m^2 .

Figura 46.

Prueba de pH acuosa.



Nota. En la figura se puede identificar la prueba de pH acuosa.

Figura 47.

Prueba de pH acuosa.



Nota. En la figura se puede identificar la prueba de pH acuosa.

ANEXO 4
MUESTRA DE CÁLCULOS BALANCE DE MASA

Clasificación

Cálculos

$$m_1 = 50 \text{ kg}$$

Cálculo corriente m_3

$$m_3 = \frac{x_{PET}^1 * m_1}{x_{PET}^3}$$

$$m_3 = 0.98 * 50 \text{ kg} = 49 \text{ kg}$$

Cantidad de masa por compuesto de la corriente m_2

$$x_{PET}^3 = 49 \text{ kg} * 1 = 49 \text{ kg}$$

Calculo corriente m_2

$$m_2 = m_1 - m_3$$

$$m_2 = 50 \text{ kg} - 49 \text{ kg} = 1 \text{ kg}$$

Triturado

Cálculos

$$m_3 = 49 \text{ kg}$$

Cálculo corriente m_4

$$m_3 = m_4 + m_5$$

$$m_5 = 49 - 0.5 \text{ kg}$$

$$m_5 = 48.5 \text{ kg}$$

Cantidad de masa por compuesto de la corriente m_3

$$m_{PET}^3 = 48.5 \text{ kg} * 1 = 48.5 \text{ kg}$$

Lavado

Cálculos

$$m_5 = 48.5 \text{ kg}$$

Cálculo corriente m_8

$$m_5 + m_6 = m_8 + m_7$$

$$x_{PET}^5 * m_5 = x_{PET}^8 * m_8$$

$$m_8 = \frac{x_{PET}^5 * m_5}{x_{PET}^8}$$

$$m_8 = \frac{1 * 48.5 \text{ kg}}{0.965} = 50.25 \text{ kg}$$

Cantidad de masa por compuesto de la corriente m_8

$$m_{PET}^8 = 50.25 \text{ kg} * 0.965 = 48.5 \text{ kg}$$

$$m_{H_2O}^8 = 50.25 \text{ kg} * 0.035 = 1.75 \text{ kg}$$

Cálculo corriente m_7

$$m_7 = m_6 + m_5 - m_8$$

$$m_7 = 58.25 \text{ kg}$$

Cantidad de masa por compuesto de la corriente m_7

$$m_{H_2O}^7 = 58.25 \text{ kg} * 0.99 = 57.7 \text{ kg}$$

$$m_{Detergente}^7 = 58.25 \text{ kg} * 0.01 = 0.58 \text{ kg}$$

Secado

Cálculos

$$m_8 = 50.25 \text{ kg}$$

Cálculo corriente m_{10}

$$m_8 = m_9 + m_{10}$$

$$x_{PET}^8 * m_8 = x_{PET}^{10} * m_{10}$$

$$m_{10} = \frac{x_{PET}^8 * m_8}{x_{PET}^{10}}$$

$$m_{10} = 0,965 * 50,25 \text{ kg} = 48,5 \text{ kg}$$

Cálculo corriente m_9

$$m_9 = m_8 - m_{10}$$

$$m_9 = 1,75 \text{ kg}$$

Extrusión

Ecuaciones

$$m_{10} = m_{11}$$

$$m_{11} = 48 \text{ kg}$$

ANEXO 5
CAPACITACIÓN A LA EMPRESA ECO PLÁSTICOS GR S.A.S

Tabla 34.

Capacitación



CAPACITACION IMPORTANCIA DEL RECICLAJE DEL PET Y SU TRANSFORMACION EN FIBRA TEXTIL	
ASISTENTES	CARGO
Karoll Bonilla	Gestora de proyectos
Laura Acuña	Gestora de redes
Diego Rico	Molinero
Angela González	Asistente administrativo
Brayan González	Representante legal
Fabricio Torres	Contador
CAPACITADOR	Alejandro Forero Villarraga

Nota. *En la tabla se muestra las personas presentes en la capacitación realizada.*

ANEXO 6

RECOMENDACIONES

Se sugiere a la empresa Eco Plásticos GR S.A.S mantener actualizada la estadística de recepción y transformación de la materia prima y de la salida del producto final, para garantizar un correcto seguimiento a la productividad.

Incrementar el porcentaje de recepción y transformación de plástico PET, teniendo en cuenta que es más rentable para la empresa.

Se sugiere que la empresa realice periódicamente pruebas de calidad a la fibra textil, como la prueba de pH, peso por m², humedad relativa, estiramiento y resistencia de duración, para tener certeza de la calidad de la fibra textil.

Se recomienda realizar un análisis de costo beneficio en la empresa, de la ampliación para la infraestructura para que los equipos existentes puedan producir al 100%, así mismo revisar la viabilidad de la compra de la banda transportadora.

Realizar capacitaciones paródicas al personal de planta, así como a los recicladores que hacen parte de la cadena de producción.