



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

*La Universidad Católica de Loja*

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y  
NATURALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**Aprovechamiento de fibra de caña en la elaboración de  
un material compuesto con polietileno de alta densidad  
reciclado**

Trabajo de integración curricular previo a la obtención del título de:

**INGENIERA INDUSTRIAL**

**Autora:** Jaramillo Martínez, Adriana Nicol

**Director:** Inga Lafebre, Jorge Daniel

LOJA

2022



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

2022

## **Aprobación del director del Trabajo de Integración Curricular**

Loja, 16 de noviembre de 2022

Magister

Oswaldo Rafael Tandazo Tandazo

**Director de la carrera de Ingeniería Industrial**

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Integración Curricular denominado: Aprovechamiento de fibra de caña en la elaboración de un material compuesto con polietileno de alta densidad realizado por Adriana Nicol Jaramillo Martínez ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la Universidad, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

Ph.D. Jorge Daniel Inga Lafebre

C.I.: 1104336704

Correo electrónico: [jdinga@utpl.edu.ec](mailto:jdinga@utpl.edu.ec)

### **Declaración de autoría y cesión de derechos**

“Yo, Jaramillo Martínez Adriana Nicol, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente:

Ser autor(a) del Trabajo de Titulación denominado: Aprovechamiento de fibra de caña en la elaboración de un material compuesto con polietileno de alta densidad reciclado, de la carrera de Ingeniería Industrial, específicamente de los contenidos comprendidos en: Introducción, Capítulo 1. Marco Teórico, Capítulo 2. Metodología, Capítulo 3. Análisis y Discusión de Resultados, Capítulo 4. Conclusiones y Recomendaciones Capítulo 5, siendo Ph.D. Jorge Daniel Inga Lafebre, director del presente trabajo; también declaro que la presente investigación no vulnera derechos de terceros ni utiliza fraudulentamente obras preexistentes. Además, ratifico que las ideas, criterios, opiniones, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad. Eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones judiciales o administrativas, en relación a la propiedad intelectual de este trabajo.

Que la presente obra, producto de mis actividades académicas y de investigación, forma parte del patrimonio de la Universidad Técnica Particular de Loja, de conformidad con el artículo 20, literal j), de la Ley Orgánica de Educación Superior; y, artículo 91 del Estatuto Orgánico de la UTP, que establece: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”, en tal virtud, cedo a favor de la Universidad Técnica Particular de Loja la titularidad de los derechos patrimoniales que me corresponden en calidad de autor/a, de forma incondicional, completa, exclusiva y por todo el tiempo de su vigencia.

La Universidad Técnica Particular de Loja queda facultada para ingresar el presente trabajo al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para

su difusión pública, en cumplimiento del artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

f.....

Autor: Adriana Nicol Jaramillo Martínez

Cédula: 1105800377

Correo electrónico: [anjaramillo@utpl.edu.ec](mailto:anjaramillo@utpl.edu.ec)

## **Dedicatoria**

Ustedes han sido siempre el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio. Siempre han sido mis mejores guías de vida. Gracias por educarme con valores. Hoy cuando concluyo mis estudios, les dedico a ustedes este logro amado padres, como una meta más conquistada. Orgullosa de haberlos elegido mis padres y que estén a mi lado en este momento tan importante.

A mis hermanos por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. Gracias por su apoyo y confianza.

Y a toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

## **Agradecimiento**

A la Universidad Técnica Particular de Loja por darme la oportunidad de adquirir diversos conocimientos y lograr ser la profesional que alguna vez soñé.

A Dios por darme sabiduría, salud y por haber puesto en mi camino a las personas que me ayudaron a conseguir unos de mis logros más anhelados.

A mis padres Julio y Mónica que más allá del apoyo económico que me brindaron para estudiar en la UTPL, siempre estuvieron para mí con una palabra de aliento, confiando plenamente en mí y en lo capaz que llegue a ser. Son mis pilares fundamentales y todo lo que soy como persona y profesional se lo debo a ustedes. A Katherine y Hans por ser mi puesta a tierra, mi apoyo incondicional siendo eso una razón más para superarme como profesional, persona ser un ejemplo y su orgullo.

A mi director de Trabajo de Titulación Ph.D. Jorge Daniel Inga Lafebre por su esfuerzo, paciencia y dedicación por haberme compartido su conocimiento y guiarme durante todo este proceso, que quizás no fue fácil, pero siempre estuvo presente ayudándome y resolviendo mis dudas.

Y a mis amigos, compañeros y futuros colegas por el tiempo compartido en aula, las risas y por dejar tan bonitos recuerdos en lo que fue esta aventura de convertirnos en Ing. Industriales.

## Índice de contenidos

<b>Carátula</b>	
<b>Aprobación del director del Trabajo de Integración Curricular</b>	II
<b>Declaración de autoría y cesión de derechos</b>	III
<b>Dedicatoria</b>	V
<b>Agradecimiento</b>	VI
<b>Índice de contenidos</b>	VII
<b>Resumen</b>	1
<b>Abstract</b>	2
<b>Capítulo uno</b>	3
<b>Introducción</b>	3
<b>Capítulo dos</b>	7
<b>Marco teórico</b>	7
<b>2.1. Polímeros</b>	7
<b>2.1.1 Historia de los polímeros</b>	7
<b>2.1.2 Clasificación de los polímeros</b>	10
<b>2.1.2.1. Polietileno de alta densidad (PEAD)</b>	11
<b>2.1.2.2. Propiedades del Polietileno de alta densidad (PEAD)</b>	12
<b>2.1.3 Reciclado de polímeros</b>	13
<b>2.1.4 Procesamiento de polímeros</b>	15
<b>2.1.4.1 Extrusión</b>	15
<b>2.1.4.1.1. Extrusora</b>	16
Zona del martillo sin fin	16
<b>2.1.4.2 Moldeo por compresión</b>	17
<b>2.1.4.2.1. Termo prensa</b>	17
<b>2.2 Fibras naturales</b>	17
<b>2.2.1. Propiedades de las fibras</b>	19
<b>2.3 Materiales compuestos</b>	20
<b>2.3.1. Antecedentes</b>	21
<b>2.3.2. Mecánica de materiales compuestos</b>	23
<b>2.3.3. Procesamiento de materiales compuestos</b>	25
<b>2.4 Aplicaciones</b>	25
<b>Capítulo tres</b>	28
<b>Metodología</b>	28

<b>3.1. Tratamiento de la fibra de caña</b> .....	28
<b>3.2 Tratamiento del polímero</b> .....	29
<b>3.3 Composiciones polímero-fibra</b> .....	29
<b>3.4 Extrusión de materiales.</b> .....	30
<b>3.5 Termo - prensado del material</b> .....	30
<b>Capítulo cuatro</b> .....	32
<b>Análisis y discusión de resultados</b> .....	32
<b>4.1 Discusión de Resultados</b> .....	36
<b>Conclusiones</b> .....	40
<b>Recomendaciones</b> .....	41
<b>Referencias</b> .....	42

## Resumen

En la actualidad el refuerzo de polímeros con fibras vegetales experimenta relevantes avances en sus propiedades y procesados como su aceptación por parte de clientes. Si sumamos a ellos el aprovechamiento de plásticos reciclados como matriz, se tendrá mayor alcance a costa de la pérdida de alguna de las propiedades mecánicas. El uso de termoplásticos reciclados es importante porque hacen un aporte significativo a la sociedad, incluyendo la reducción de los niveles de contaminación y contribuyendo al sector industrial, sin necesidad de importar resinas plásticas de otros países.

En el presente trabajo se comparó productos obtenidos por extrusión de polímero de alta densidad (PEAD) reciclado reforzado con fibra de caña. Se utilizó dos dosificaciones una al 10% y otra al 20% en peso de estas fibras evaluando su comportamiento mecánico mediante ensayos de tracción con los que se obtuvo distintos parámetros como: Módulo de elasticidad, Tensión máxima y Desplazamiento.

El material procesado con 20% de la fibra de caña y con el 10% muestran una incorporación matriz/fibra lo que supone buena procesabilidad.

Palabras clave: Material compuesto, fibra vegetal, polietilenos de alta densidad (PEAD), caña, tracción.

## **Abstract**

At present, the reinforcement of polymers with vegetable fibers is undergoing significant advances in their properties and processing, as well as in their acceptance by customers. If we add to them the use of recycled plastics as a matrix, we will have greater scope at the cost of the loss of some of the mechanical properties. The use of recycled thermoplastics is important because they make a significant contribution to society, including the reduction of pollution levels and contributing to the industrial sector, without the need to import plastic resins from other countries.

In the present work we compared products obtained by extrusion of recycled high density polymer (HDPE) reinforced with cane fiber. Two formulations were used, one at 10% and the other at 20% by weight of these fibers, evaluating their mechanical behavior by means of tensile tests with which different parameters will be obtained, such as: Modulus of elasticity, maximum stress and displacement.

The material processed with 20% of cane fiber and with 10% show a matrix/fiber incorporation which means good processability.

Key words: Composite material, vegetable fiber, high density polyethylene (HDPE), cane, traction.

## Capítulo uno

### Introducción

En el Ecuador existen muchas fibras vegetales que son consideradas desechos, que es otro componente que provoca la contaminación ambiental, provocando así daños al ecosistema. Distintos gobiernos en distintos países han decidido valorizar estos residuos para que puedan ser reciclados, dándoles nuevos usos y utilizados en diferentes campos. La contaminación por derivados del petróleo aumenta cada año y, como resultado, hay estudios que muestran que estos productos están siendo reemplazados por otros productos amigables con el medio ambiente.

El empleo de polímeros sintéticos es de gran preocupación, especialmente en área ambiental. Investigadores a nivel mundial buscan responder a estas preocupaciones ambientales mediante la transición a polímeros biodegradables y sostenibles (Khalid, 2021). En las últimas décadas, los investigadores han encontrado muchas dificultades para proporcionar materiales que favorezcan el medio ambiente para la fabricación de productos. En comparación con las fibras sintéticas, las fibras naturales tienen muchas ventajas, como la fácil disponibilidad, la biodegradabilidad, el bajo costo, la baja densidad, los riesgos mínimos para la salud y la naturaleza respetuosa con el medio ambiente. Los compuestos de polímeros reforzados con fibra natural son nuevos materiales sostenibles e innovadores con buenas propiedades mecánicas para aplicaciones prácticas (Kicińska-Jakubowska, 2012). Dentro de la industria aeroespacial y automotriz se quiere cambiar los materiales habituales por materiales compuestos con el fin de reducir el peso y aumentar rendimiento (Verma, 2019).

Considerando la fibra como un material innovador para composites, sus principales características, considerando aspectos de adquisición, procesamiento, procedimientos, fabricación, ensayo y análisis. Uno de los aspectos a tener en

cuenta es la relación con el polímero y la forma de fabricación para obtener materiales aptos para su procesamiento mediante técnicas de moldeo por inyección, extrusión y termoformado, que son los más utilizados dependiendo el área donde se vaya a aplicar (Mueller, 2004).

A menudo, otros factores como la edad, la madurez, la ubicación y el método de procesamiento de fibra y la fuente también afectan la resistencia a la tracción de esta. Estas propiedades de las fibras naturales se convierten en una parte importante de las aplicaciones de ingeniería. Los recursos naturales satisfacen las necesidades humanas y de fabricación con su impacto ambiental positivo y sus perspectivas económicas (Sathishkumar, 2020).

Añadiendo materiales hechos de fibras se espera que los productos naturales sean rentables a corto plazo, especialmente se consideran los residuos agrícolas, fibras naturales a partir de residuos agrícolas, como cáscaras de arroz, plátanos y fibras de coco. Domina la literatura de aplicaciones industriales de la comunidad de compuestos poliméricos (Motaung, 2017).

La mayor parte de la fibra de caña de azúcar obtenida de diferentes procesos es incinerada, sin embargo, es necesario saber que puede ser reutilizada para una producción sustentable y para incentivar a la industria a invertir en mercados menos desarrollados. Una de esas áreas es el mercado de compuestos reforzados con fibra natural, que podría convertirse en una realidad comercial, reemplazando por completo a las fibras sintéticas en algunos casos. En mi país, en la agricultura y la agroindustria se producen residuos de fibras vegetales, que se procesan industrialmente para obtener productos que no contaminen el medio ambiente ni dañen el ecosistema. El procesamiento de esta fibra vegetal hace que las personas del sector agrícola y agroindustrial puedan obtener ingresos económicos adicionales por sus ventas. El uso de fibras de kenaf, palma y bagazo para fabricar compuestos con matrices poliméricas ha sido reportado con éxito en muchos estudios

internacionales y en todos los casos se ha encontrado una mejora significativa en las propiedades mecánicas, con numerosos resultados confirmados.

Las técnicas computacionales se han convertido en una herramienta importante en manos de muchos investigadores para modelar y analizar las características que afectan las propiedades mecánicas de los compuestos de fibras naturales. Esta tendencia reciente ha llevado al desarrollo de muchas tecnologías Cálculos y software avanzados para una comprensión profunda de las propiedades y el comportamiento de rendimiento de los compuestos reforzados con fibras naturales. gran cambio Las propiedades de los materiales compuestos basados en fibras naturales presentan grandes desafíos, lo que ha llevado al desarrollo de muchas técnicas computacionales para el análisis de materiales compuestos (Mulenga, 2021).

El moldeo por compresión es un proceso de manufactura tradicional y ampliamente empleado para procesar polímeros termofijos, termoplásticos, elastómeros entre otros (ROSATO, 2004). Este proceso permite la conversión de la materia prima en productos terminados con diversas geometrías a través del uso de moldes bajo ciertas condiciones de presión y temperatura (ROSATO, 2004). Existen otras aplicaciones en áreas como la aeronáutica y la medicina en los que la porosidad no es deseable, puesto que podría resultar en la fragilidad de los componentes. La presencia de porosidad en piezas fabricadas con materiales biocompatibles por la técnica de moldeo por compresión con fines de aplicación en el área médica se relaciona con un decremento en las propiedades mecánicas, un incremento en el potencial de acumulación de bacterias y otros organismos, así como la retención de fluidos, lo que podría detonar infecciones en el paciente (Keller & Lautenschlager, 1958). Por esta razón surge la importancia de determinar la porosidad en los elementos elaborados.

En el presente proyecto se pretende desarrollar los siguientes objetivos:

### **Objetivo General**

- Obtener y caracterizar materiales compuestos, a partir de materias primas sostenibles, empleando técnicas de procesamiento de polímeros.

### **Objetivos Específicos**

- Acondicionar la fibra de caña para su procesamiento.
- Determinar el porcentaje óptimo de fibra y polímero (PEAD) en la formulación del material compuesto.
- Obtener un prototipo de material compuesto empleando un proceso de extrusión y moldeo por compresión.
- Caracterizar las materias primas y material compuesto mediante pruebas mecánicas.

## Capítulo dos

### Marco teórico

#### 2.1. Polímeros

Los polímeros son sustancias de alto peso molecular compuestas por miles de moléculas llamadas monómeros (compuestos con moléculas simples). Como resultado, se forman varias formas de moléculas gigantes: cadenas en escalera, cadenas conectadas o fijadas térmicamente (que no pueden ablandarse cuando se calientan), cadenas largas y cadenas sueltas.

La combinación de todas estas moléculas pequeñas producirá una estructura repetida en el polímero, y las unidades que se repiten regularmente en la molécula completa se denominan unidades estructurales repetidas (ucr) o unidades monoméricas. (Wulf, 2008)

Por sus características, los polímeros les permiten obtener diversas formas, usos y diferentes manifestaciones. Por su bajo coste y calidad (ligereza, rigidez y durabilidad), ha sustituido en gran medida a los materiales tradicionales. Hay alrededor de cincuenta familias de polímeros diferentes y cientos de variedades diferentes.

Además de las características de amplia aplicación, peso ligero, fácil procesamiento y rápida producción de materiales poliméricos, su mayor ventaja es que requieren menos energía para obtener y transformar que el metal o el vidrio.

##### **2.1.1 Historia de los polímeros**

Si excluimos la mayoría de los biopolímeros, como la madera, el algodón, la seda, etc., uno de los primeros polímeros utilizados es el caucho natural (NR). Cuando los españoles llegaron a América en el siglo XIV, los indios de América del Sur jugaban con pelotas de goma hechas de látex. La primera descripción de la pelota de goma se

remonta a 1496. Por muchas razones, los polímeros han reemplazado a los metales en los componentes. Uno de los principales factores es el costo. El menor costo de las piezas de polímero se debe a dos consideraciones principales. Primero, el costo por unidad de peso de los polímeros es más barato que el de los metales. Esto se debe a que las piezas de polímero generalmente se fabrican en forma de redes. Aunque algunos materiales poliméricos se procesan a partir de materiales sólidos, la mayoría de las piezas poliméricas se fabrican mediante procesos como el moldeo por inyección (Gerdeen & L Rorrer, 2012).

En la Tabla 1 se muestra la cronología histórica del desarrollo de los polímeros.

**Tabla 1**

*Historia del polímero*

Desarrollo del polímero	
Antes de 1400	los indios sudamericanos crean pelotas de goma a partir de NR
1496	Cristóbal Colón lleva las pelotas a Europa
1823	Charles MacIntosh recubre la tela con caucho y bencina creando el impermeable MacIntosh
1839	Charles Goodyear vulcaniza el NR con azufre
1845	El escocés R. W. Thompson solicita la patente del neumático
1870	Nitrato de celulosa (CN), EE.UU.
1880s	Hilaire de Chardonnet crea el rayón (seda artificial) a partir de la celulosa
1888	John Dunlop inventa las ruedas neumáticas para bicicleta
1898	El químico alemán Hans von Pechmann crea accidentalmente el polietileno
1905	Acetato de celulosa (CA), Alemania
1905	Thomas Zwicke, de Alemania, descubre el bisfenol A, precursor del policarbonato y del epoxi Zwicke de Alemania.
1907	El químico Leo Hendrick Baekeland crea la baquelita a partir de fenol y formaldehído; es el primer polímero verdaderamente sintético que no se encuentra en la naturaleza. El material se conoce ahora como fenol formaldehído o fenólico.
1930	Abril, el equipo del Dr. Wallace Carothers descubre el neopreno (caucho sintético) y el poliéster precursor del nailon se inventa la baquelita.
1933	Eric Fawcett y Reginald Gibson crean accidentalmente un proceso industrial viable para el polietileno
1933	Fritz Klatte patenta el PVC

1934	Polimetilmetacrilato o acrílico (PMMA)
1937	Otto Bayer y sus colegas de Bayer descubren la química básica del poliuretano
1938	Heinrich Rinke crea el primer polímero de poliuretano
1938	El Dr. Roy J. Plunkett descubre que una muestra congelada de PTFE se ha polimerizado; DuPont registrará posteriormente su marca de este material como Teflón.
1938	La poliamida o nylon se convierte en la primera fibra fabricada íntegramente con productos químicos.
1939	Polietileno de baja densidad (LDPE)
1940s	La escasez de petróleo de la Segunda Guerra Mundial da lugar a polímeros basados en plantas como la soja. como la soja, silicona.
1946	Poliéster
1947	Epoxi
1951	J. Paul Hogan y Robert L. Banks descubren el polipropileno mientras intentaban convertir el etileno y el propileno en gasolina; además desarrollaron el proceso para el HDPE.
1953	El policarbonato es descubierto simultáneamente por el Dr. H. Schnell y D. W. Fox.
1964	Stephanie Kwolek sintetiza en Dupont el Kevlar (nombre genérico de la aramida)
1966	Se patenta el Kevlar
1971	Comercialización del Kevlar Se inventa el Spandex
1983	El consumo mundial de polímeros supera al de acero en volumen
1990s	Materiales que cambian de color con el calor Compuesto de moldeo de láminas para paneles de carrocería
2000	El consumo de polímeros supera al de acero en todo el mundo en términos de peso.
2007	La empresa brasileña Braskem produce el primer polietileno de base biológica de la caña de azúcar.

*Nota.* Engineering Design with Polymers and Composites 2nd ed -. James C. Gerdeen, Ronald A. L. Rorrer

### **2.1.2 Clasificación de los polímeros.**

Hay muchas formas de clasificar los polímeros. Podemos basarnos en su origen, o considerar la estructura de las macromoléculas, o se pueden subdividir según su uso, como se muestra a continuación.

#### Origen:

- Naturales: Son sustancias producidas por organismos vivos y pueden usarse sin modificación. Ejemplo, estos polímeros incluyen: proteínas, como las que utilizan las arañas para tejer telas, Polisacáridos, caucho natural.
- Sintéticos: Son macromoléculas artificiales, que se pueden dividir en dos categorías según su comportamiento al calentarlas: termoplaticidad y rigidez térmica. En la termoplaticidad, el primero se ablanda o derrite cuando se calienta y se disuelve en un solvente apropiado, consta de moléculas de cadenas largas, generalmente no bifurcadas. Por otro lado, la descomposición térmica rígida no se puede derretir ni disolver cuando se calienta. Tienen una fina estructura tridimensional con enlaces cruzados (Hermida, 2011).

#### Termo-mecánica

- Termoplásticos: Los polímeros termoplásticos se ablandan cuando se calientan, por lo que se pueden moldear mediante diferentes procesos, como la inyección, que puede ser el más importante. Sin embargo, si se excede la temperatura, se degradarán. Los termoplásticos son materiales que tienen un estado rígido a temperatura ambiente; se deforman cuando se calientan (pueden derretirse) y se endurecen cuando se enfrían. Para que los polímeros se consideren termoplásticos, su temperatura de transición vítrea  $T_g$  (para materiales amorfos) o temperatura de fusión  $T_m$  (para materiales cristalinos) debe ser superior a la temperatura ambiente.

**2.1.2.1. Polietileno de alta densidad (PEAD).** Dentro de la clasificación de los diferentes tipos de polietileno de alta densidad, existen varias intervenciones estándar, tales como: densidad, contenido de monómeros, peso molecular, distribución del peso molecular, índice de fusión y modificación. La clasificación más utilizada es la densidad, porque este parámetro es un buen indicador de la calidad del polietileno, generalmente con alta densidad y mejores propiedades mecánicas. De acuerdo con la densidad el Polietileno de alta densidad se puede dividir en:

- Polietileno de alta densidad
- Polietileno de alta densidad alta masa molecular (PEAD-APM o sus siglas en inglés HMW-HDPE)
- Polietileno de ultra alta masa molecular
- Polietileno modificado por entrecruzamiento

Es un miembro termoplástico sintético de polímeros poliolefínicos, obtenido por la polimerización de polietileno elaborado a partir de etano, un componente del gas natural. El HDPE es un producto lácteo semicristalino (70-80%), incoloro, inodoro, no tóxico, y se puede encontrar en todos los tonos transparentes y opacos. El comportamiento del polietileno de alta densidad es el mismo que el de cualquier otro polímero, depende fundamentalmente de su estructura, es decir, depende básicamente de su peso molecular y cristalinidad.

### 2.1.2.2. Propiedades del Polietileno de alta densidad (PEAD). A

continuación, se detalla en las Tabla 2-4 algunas de las principales propiedades del PEAD.

**Tabla 2**

*Principales propiedades físicas del PEAD*

Propiedades	Unidades	Valor
Densidad	%	0.941 – 0.965
Absorción de Agua	%	<0,5
Contracción	%	1.5 – 3
Resistencia a la tensión al Cede	%	18 – 35
Elongación Punto de Ruptura	%	1000

*Nota.* Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD). Iván Ernesto Roca Girón

**Tabla 3**

*Principales propiedades mecánicas del PEAD*

Propiedades	Unidades	Valor
Dureza – Rockwell		D60-73 – Shore
Módulo de Tracción	(GPa)	0,5-1,2
Resistencia a la Tracción	(MPa)	15-40
Resistencia al Impacto Izod	(J/m)	20-210

*Nota.* Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD). Iván Ernesto Roca Girón

**Tabla 4**

*Principales propiedades térmicas del PEAD*

Propiedades	Unidades	Valor
Calor Específico	(kJ.kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> )	1.9
Conductividad Térmica	a 23 °C (W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	0.45-0.52
Dilatación Térmica	(x10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	100-200
Temperatura Máxima de Utilización	(°C)	55-120
Temperatura de Deflexión en Caliente – 0.45Mpa	(°C)	75

*Nota.* Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD). Iván Ernesto Roca Girón

### 2.1.3 Reciclado de polímeros

En el proceso de reciclaje es necesario crear un sistema de codificación que permita clasificar los diferentes polímeros presentes para que se puedan recolectar y reciclar correctamente. La Tabla 5 muestra el sistema de símbolos y las aplicaciones de los termoplásticos.

**Tabla 5**

*Clasificación de polímero*

TERMOPLÁSTICO	SIMBOLOGÍA		APLICACIÓN	USO POST-RECICLADO
Polietileno alta densidad	PEAD		Botellas para productos alimenticios, detergentes, contenedores, juguetes, bolsas, embalajes y film, láminas y tuberías	Bolsas industriales, botellas de detergentes, contenedores, tubos.

*Nota.* Diseño de microaglomerado discontinuo en caliente modificado. Luis Alberto Muñoz Vásquez

Existen diversos métodos en el tratamiento del reciclado de los plásticos, denominados: Primario, secundario, terciario y cuaternario.

El procesamiento primario incluye operaciones mecánicas para obtener los siguientes productos Características similares al producto original. Este reciclaje utiliza recortes de plantas de producción y conversión, correspondientes a Una pequeña parte de los denominados residuos plásticos.

En el tratamiento secundario, incluida la fusión, los residuos se transforman en Productos con diferentes formas y aplicaciones más amplias, estos productos son diferentes de los productos plásticos originales, en el proceso de evolución de "cascada" a un rendimiento más pobre. Esta es, con

mucho, la tecnología más utilizada, especialmente en la industria del automóvil. Se estima que solo el 20% de los plásticos se pueden reciclar de esta manera.

El reciclaje terciario o "reciclaje químico" persigue una utilización integral. Los elementos constitutivos de los plásticos, convirtiéndolos en hidrocarburos, las materias primas se pueden integrar bien en la forma de obtener otras formas en la industria del plástico o petroquímica. El método puede ser químico o el calor depende del tipo de polímero.

El cuarto ciclo incluye la incineración para recuperar energía. en este momento ha sido controvertido en la sociedad debido a problemas ambientales.

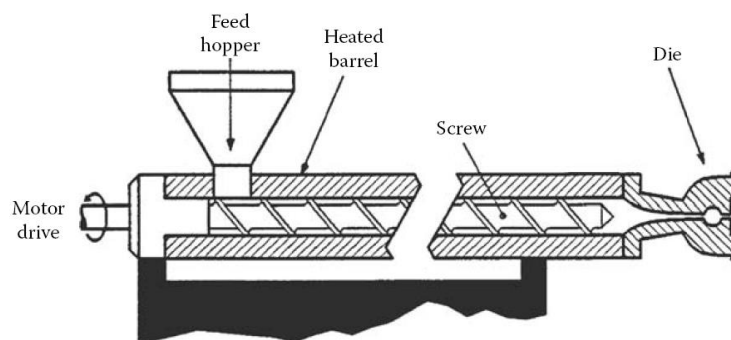
El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de Reciclaje de Polímeros (INEC) de Ecuador 2018 muestra que los hogares de Ecuador clasifican los polímeros como 37.40%, seguido por la tasa de reciclaje de desechos orgánicos del 33.20%, la tasa de reciclaje de desechos de papel y cartón del 32.00%, destacando una gran cantidad de plástico sólido se generan residuos todos los días (Padilla, 2019).

## 2.1.4 Procesamiento de polímeros

**2.1.4.1 Extrusión.** La Figura 1 muestra una extrusora de un solo tornillo. Se introducen partículas de polímero a la tolva de alimentación donde estas se compactan, empujan, calientan y mezclan. El polímero fundido se fuerza a través de la matriz y luego el polímero se enfría y solidifica, como se muestra en la figura. El polímero se expande radialmente y se contrae longitudinalmente. Los diseñadores del molde deben considerar los cambios térmicos en estas dimensiones y la estructura de orientación anisotrópica u ortotrópica. Esta orientación afectará las propiedades mecánicas. La fuerza de tensión aumenta en la dirección axial y disminuye en la dirección horizontal. Para polímeros frágiles, el alargamiento (ductilidad) generalmente aumenta en la dirección axial. (Gerdeen & L Rorrer, 2012)

**Figura 1**

*Vista lateral de extrusora de mono-husillo*



*Nota.* Engineering Design with Polymers and Composites.

**2.1.4.1.1. Extrusora.** El proceso de extrusión de plástico se realiza mediante una máquina denominada extrusora, y según la presión requerida para pasar el plástico fundido a través de la boquilla, la más utilizada son: extrusoras de desplazamiento positivo (extrusora de pistón y bombas de extrusión) y extrusoras de fricción viscosa (extrusora de husillo simple y de doble husillo). Existen diferentes tipos de extrusoras, pero las más utilizadas son las que tienen un tornillo o un tornillo simple para fundir el polímero, asegurar que sea una mezcla homogénea y actuar como una cinta transportadora que transporta el plástico fundido al molde.

La extrusora está dividida en algunas zonas, como son:

#### **Zona del martillo sin fin**

Dentro de este apartado hablaremos de la funcionalidad de la extrusora de husillo simple; las zonas son:

- Zona de alimentación

En esta zona lo que se quiere lograr es el transporte del plástico a las partes siguientes. La profundidad del tornillo y la longitud son aspectos muy importantes, ya que se requiere de esta etapa para que se produzca una alimentación ni deficiente ni excesiva para las demás zonas.

- Zona de compresión o de transición

Dentro de esta zona se realizan diferentes funciones, la primera es expulsar todo el aire que se encuentra en los gránulos, la segunda es la mejora de la transferencia de calor en las paredes internas del cilindro conforme disminuye el volumen de la capa de plástico y como tercera función está el cambio de densidad ocasionado durante la fusión del material, esta se obtiene por fricción y por conducción de calor.

- Zona de dosificación

En esta sección se encuentra la profundidad de tornillo constante la cual tiene como función de homogenizar el material fundido para después llevar a la región del dado un material de alta calidad homogénea a temperatura y presión constante.

### **Control de temperatura**

Como lo indica su nombre este instrumento nos ayuda a controlar la temperatura. Para regular con mayor precisión la temperatura del proceso sin la participación de un operario un sistema controlador es lo más confiable ya que, compara, acepta y da el control deseado a las diferentes salidas de calor. (PRADO ESPINOSA, 2019)

## **2.1.4.2 Moldeo por compresión**

**2.1.4.2.1. Termo prensa.** El termoformado es una tecnología de procesamiento utilizada para producir productos plásticos a partir de láminas planas, desde el envasado de alimentos hasta aplicaciones aeroespaciales. En su forma más simple, el termoformado implica dejar caer una hoja de plástico ablandada con calor sobre un molde (drop forming, DF). En la forma más avanzada, el proceso de termoformado tradicional incluye las siguientes etapas.

## **2.2 Fibras naturales.**

En términos generales, las fibras se dividen en fibras naturales y fibras sintéticas y las fibras naturales se dividen en tres categorías: fibras vegetales, fibras minerales y fibras animales. En la actualidad, las fibras vegetales se han utilizado ampliamente en el campo de los biocomposites, en automóviles, barcos

y construcción; debido a su bajo costo, baja densidad y bajo desgaste de los equipos, estas fibras han reemplazado a las fibras artificiales.

Las clasificaciones más generales son las siguientes:

Hierbas y cañas: fibras de los tallos de plantas monocotiledóneas, como tallos de pasto y trigo, arroz, cebada, etc.

- Hojas: fibras que se encuentran a lo largo de hojas de planta monocotiledóneas, por ejemplo: abacá, sisal, henequén, etc.
- Tallos: provenientes de la corteza interna de plantas dicotiledóneas, por ejemplo: lino, yute, cáñamo, kenaf, etc.
- Semillas e hiladuras de frutos: incluye las sedas, por ejemplo: algodón, kapok, etc.
- Fibras madereras: fibras de madera dura (angiospermas) y maderas suaves, por ejemplo: maple, eucalipto, etc.

Las fibras vegetales son un material renovable y su disponibilidad se podría decir que es ilimitada, ya que la naturaleza abrasiva de las fibras naturales es muy baja en comparación a la fibra de vidrio (Cevallos, 2008).

La caña de azúcar es sin duda uno de los productos más importantes para el desarrollo comercial en América y Europa continental. La caña de azúcar se puede utilizar para fabricar una variedad de productos, como el azúcar en bruto, el azúcar moreno, el azúcar dorado, el sulfito, el azúcar blanco, el azúcar blanco especial y refinado, el licor, el azúcar blanco, etc.; y los desechos producidos durante la extracción de la caña de azúcar. el jugo se llama bagazo

La energía generalmente se genera en la caldera de la fábrica, donde por lo regular solo se necesita el 50% del bagazo para mantener el funcionamiento de la fábrica, y el resto se utiliza como fuente de inversión.

El bagazo, además se lo podría utilizar como alimento para animales, abono, cama para aves de corral, como cubierta protectora de la tierra recién sembrada y mezclado con el estiércol, como abono; carbonizado y comprimido en ladrillo mezclado con lodo, para lubricante de perforadoras en pozos petroleros; unidos en otros materiales, en la elaboración de ladrillos refractarios; la fibra del mismo se usa para obtener celulosa, papel, cartón, explosivos, tablas o moldes; por fermentación anaeróbica para obtener metano; por hidrólisis ácida de la xilana, para obtener furfuraldehído, que sirve para refinar aceites lubricantes y para manufacturar plásticos; como relleno para asfalto o plásticos; como extensor de plásticos termoestables; para hacer viscoso el rayón y otros plásticos, así como otros usos de menor escala.

Dentro de Ecuador la industria azucarera se encuentra ubicada en: Guayas, Cañar, Los Ríos, Imbabura y Loja.

En nuestro país el bagazo se lo subdivide en meollo y fibra, donde el primero se lo puede hidrolizar y obtener alimento de animales (40% del bagazo) y el restante se lo ocupa como combustible (60%).

### **2.2.1. Propiedades de las fibras**

Varios investigadores han propuesto la idea de fortalecer diferentes fibras. Los compuestos naturales a partir de polímeros pueden producir compuestos ecológicos para diversos fines que no requieren excelentes propiedades mecánicas, como estructuras de edificios secundarios / terciarios, paneles de puertas, embalajes, etc. (La Mantia & Morreale, Green Composites: A brief review, 2011).

Desde entonces, el uso de fibras naturales como materiales de refuerzo en materiales compuestos ha ido creciendo, y ha reemplazado a diversos materiales reforzados con fibras sintéticas en muchas

aplicaciones, como automóviles, barcos, aeroespacial, construcción, etc. (John & Thomas, 2007) Esto se debe principalmente a una extensa investigación sobre sus características ecológicas / biodegradabilidad, bajo costo e interesantes propiedades físicas y mecánicas (baja densidad, buena resistencia, flexibilidad de procesamiento, alta rigidez específica, etc. (Parra & Sánchez, 2012)

El principal componente químico de la fibra vegetal es la lignocelulosa (celulosa, hemicelulosa y lignina), y la cantidad de estos componentes cambia de una planta a otra. Esto se debe a la edad, la especie y Las diferentes partes de la misma fábrica también pueden ser diferentes. Estos componentes básicos determinan en parte las propiedades físicas de la fibra. (Sunil Kumar Ramamoorthy, 2015)

### **2.3 Materiales compuestos.**

En ciencia de materiales, los nombres de materiales compuestos son aquellos materiales formados por la combinación de dos materiales para lograr una combinación de propiedades que no se pueden obtener del material original. Estos compuestos se pueden seleccionar para lograr combinaciones inusuales de dureza, resistencia, peso, rendimiento a altas temperaturas, resistencia a la corrosión, tenacidad o conductividad eléctrica.

Los materiales compuestos cumplen algunas características:

- Formados de dos o más componentes distinguibles físicamente y separables mecánicamente.
- Cuentan con varias fases químicamente distintas, completamente insolubles entre sí y separadas por una interfase.

- Las propiedades mecánicas son superiores a la simple suma de las propiedades de sus componentes (sinergia).
- No están dentro de los materiales compuestos, aquellos materiales polifásicos, una de ellas son las aleaciones metálicas, ya que mediante un tratamiento térmico se descompone en fases. (Parra & Sánchez, 2012)

### **2.3.1. Antecedentes**

Son materiales fácilmente moldeables, además de sus altas propiedades mecánicas en relación con su densidad, reducen considerablemente su peso y tienden a ser resistentes a la corrosión, son más económicos de realizar que sus pares metálicos sin embargo no son usados en condiciones donde se requieran altas temperaturas. Los materiales de la matriz polimérica se clasifican en tres tipos, los termoplásticos los cuales una vez polimerizados pueden volver a calentarse y ser reutilizados; los termoestables, que por otro lado son irreversibles por la formación de enlaces entrecruzados muy fuertes lo que confiere gran resistencia térmica, mecánica y especialmente química y los elastómeros que tienen la capacidad de deformarse en gran porcentaje.

Las propiedades de ese tipo de materiales se encuentran relacionadas con la unión que exista entre sus constituyentes (Tabla 6), con el fin de potencializar dicha unión, se requiere utilizar agentes de acoplamiento o adherencia, para así, modificar la adhesión superficial generando una interfase distinta. Es bien sabido, que los materiales compuestos son aquellos que se forman al mezclar dos o más materiales diferentes sin que ocurra reacción química alguna. (Vásquez, 2020)

Tabla 6

*Constituyentes de los materiales compuestos*

Constituyentes	Características	Ejemplos
Matriz	La función principal de la matriz es definir las propiedades físicas y químicas del material y mantiene en su posición al refuerzo manteniéndolo "embebido" en su interior.	Las matrices termoplásticas son del tipo más común que su par termoestable y un representante de bajo costo son el polipropileno y polietilenos
Refuerzo	El refuerzo de un material compuesto puede ser de dos formas. 1) En formas de partículas, las cuales son más efectivas en cuanto menor se el tamaño y sea más homogénea su distribución en el material compuesto. 2) La otra forma en la que se la utiliza es en fibra, ya que son más resistentes, rígidas y de bajo peso.	Las fibras mayormente utilizadas son poliméricas o cerámicas como por ejemplo vidrio, aramidas, carbono, oxido de aluminio, carburo de silicio. También se tiene fibras naturales las cuales son obtenidas de las plantas, vegetales que tiene beneficios como el costo de manufactura ya que se obtienen como desechos en algunos casos lo que facilita su proceso de obtención.
Acople	Debido a que los materiales empleados en los materiales empleados en el material compuesto tienen composiciones y orígenes, por lo cual no son compatibles y la	El polvo de coco debido a su alto contenido de lignina puede ser usado como agente de acople. También es muy usado en materiales con matriz polimérica y

	<p>sinergia entre ambos compuestos o se da en su totalidad. En estos casos que se utiliza de diferentes métodos para mejorar la unión entre los compuestos (Mecánica, electrostática, química o mediante interdifusión)</p>	<p>fibras naturales in injerto de anhídrido maleico el cual posee la misma estructura molecular que los PP.</p>
--	---	---

*Nota.* Caracterización mecánica a tensión de un material compuesto de fibra corta de guadua (*angustifolia kunth*) y resina termoplástica (polietileno de baja densidad). Carlos Leonardo Vásquez Sotelo

### **2.3.2. Mecánica de materiales compuestos**

Al momento de dar determinada aplicación a un material, por un lado, se debe tener conocimientos requisitos exigidos de nuestro material y, por otra, hay que tener en cuenta otros factores como: la resistencia térmica, las propiedades eléctricas, condiciones de proceso y el coste económico. Dentro de los materiales poliméricos el comportamiento mecánico depende de condiciones de medida como: temperatura y velocidad de aplicación de esfuerzo.

Las propiedades más relevantes que se debe tener en cuenta dentro los materiales compuestos son las siguientes:

- Propiedades de tracción: módulo de elasticidad, resistencia máxima, alargamiento a carga máxima, resistencia a la rotura y alargamiento a la rotura.
- Propiedades de flexión: módulo de elasticidad, resistencia máxima, alargamiento a carga máxima, resistencia a la rotura y alargamiento a la rotura.
- Propiedades de impacto: resistencia al impacto sin entalladura. (Ochoa, 2005)

En la tabla 7 se señala alguno de los ensayos y normas que se pueden emplear para evaluar las propiedades mecánicas de los materiales compuestos.

**Tabla 7**

*Ensayos para determinar las propiedades de los materiales compuestos*

MÁQUINA	ENSAYO	PROPIEDADES	NORMA ASTM/ISO
Máquina de Ensayos Universal (INSTRON)	TRACCIÓN	Módulo de elasticidad a tracción (Et)	ISO 527 UNE 53-023
		Resistencia máxima a la tracción	
		Alargamiento a la resistencia máxima a tracción	
		Resistencia a la rotura	
		Alargamiento a la rotura	
	FLEXIÓN	Módulo de elasticidad a flexión	ISO 178
		Fuerza máxima a flexión	
		Resistencia máxima a flexión	
		Alargamiento a resistencia máxima	
		Resistencia a la rotura de flexión	
		Alargamiento a flexión	
		Resistencia a la flecha convencional (6mm)	

Impactómetro IZOD	IMPACTO	Resistencia al impacto con entalladura	UNE 53-193
----------------------	---------	--	------------

*Nota.* Reciclado mecánico de materiales compuestos de fibras de celulosa.

Almudena Ochoa Mendoza

### **2.3.3. Procesamiento de materiales compuestos.**

La tecnología y el costo de los compuestos dependen en gran medida de la procesabilidad, es decir, cómo se combinan los ingredientes para formar el compuesto. La procesabilidad depende en gran medida de la capacidad de los componentes para unirse para formar un material pegajoso. El procesamiento normalmente implica temperatura y/o presiones elevadas. La temperatura y la presión requeridas, así como el tiempo de procesamiento, generalmente están determinados por el material de la matriz. La desventaja de unir el material de relleno a la matriz a altas temperaturas es que, durante el enfriamiento posterior, la unión puede debilitarse o incluso romperse debido a diferencias en la contracción térmica (relacionada con el coeficiente de expansión térmica o CET). relleno y matrices. Tanto la fibra como el material de la matriz se pueden mezclar en estado sólido, recubriendo las fibras de refuerzo con el material de la matriz estos de manera intercalada. Tras la impregnación, se lleva a cabo la consolidación bajo parámetros de calor y presión. (Chung, 2010)

## **2.4 Aplicaciones**

Debido a sus costes de procesamiento relativamente bajos, los compuestos de matriz de polímero y de cemento son los tipos más comunes de compuestos. Los compuestos de matriz polimérica con refuerzo de fibra continua se utilizan ampliamente para estructuras ligeras, como los fuselajes.

Probablemente los ejemplos más conocidos de polímeros y compuestos son los que encontramos en nuestra vida diaria, como envases de bebidas,

juguetes, vajillas, etc. Pero examinemos algunas categorías de polímeros y compuestos. El primero son los artículos deportivos. Las raquetas de tenis y las tablas de snowboard fueron los primeros productos de consumo fabricados con materiales compuestos. La razón es que, aunque los materiales compuestos eran caros y difíciles de fabricar en la década de 1970, las raquetas y las tablas de snowboard no requerían mucho material y la gente estaba dispuesta a pagar más por los artículos deportivos. La estructura estática más grande de los materiales compuestos es el puente. La mayoría de los materiales de puentes compuestos son cubiertas de fibra de vidrio. Los polímeros han encontrado uso en dispositivos médicos debido a su combinación de propiedades mecánicas, capacidad para resistir el entorno corporal e inercia en relación con el cuerpo. Se han utilizado polímeros y compuestos como stents y válvulas cardíacas, articulaciones artificiales, vértebras de reemplazo, huesos y más. Las aplicaciones automotrices incluyen paneles de carrocería, correas de transmisión compuestas, neumáticos, mangueras, ejes de transmisión compuestos. Uno de los autores conocía a un corredor local de Denver que usaba una aspiradora normal para termo formar los paneles de plástico de las puertas de sus autos de carrera. Recientemente, la compañía de Colorado propuso un marco compuesto de fibra de carbono. Las aplicaciones aeroespaciales son alas de aviones y cuerpos de cohetes enrollados. También hay planos experimentales hechos en casa rodados al sol para curar la matriz epoxi. Una de las estructuras compuestas más grandes en el espacio es el brazo compuesto de la estación espacial de fabricación canadiense. Otros ejemplos de ingeniería civil de polímeros y compuestos son los geotextiles para suelos, los gasoductos de polímeros, las barras de refuerzo de fibra de vidrio (re-bar), las vigas compuestas y las vigas en I, y los revestimientos de puentes ya mencionados. Casi todo lo que se te ocurra está hecho de plástico. Para la gente de metal, hay metales y no metales; ahora, para la gente de polímeros, hay

polímeros y no polímeros. Una cosa que mucha gente no se da cuenta es que hay toneladas de componentes que se pueden fabricar con polímeros y compuestos en su propio garaje. Puede moldear piezas de poliuretano, fabricar paneles de carrocería para automóviles e incluso ensamblar su propio avión experimental. Incluso hay moldes de inyección que utilizan un taladro como jeringa. En el pasado, la elección de materiales de ingeniería se limitaba a materiales como madera, acero, hormigón y otros metales. Hoy en día, el diseño de ingeniería no está limitado por los materiales disponibles, los ingenieros pueden diseñar materiales para cumplir con especificaciones específicas mezclando diferentes copolímeros y fabricando compuestos especiales. (Gerdeen & L Rorrer, 2012)

## Capítulo tres

### Metodología

En el presente capítulo se describe las técnica y equipos empleados en la elaboración del material compuesto.

#### 3.1. Tratamiento de la fibra de caña

Se procedió a dar un tratamiento a la fibra de caña antes de ser procesada con el polímero.

1. Lavado de fibra para la eliminación de residuos adheridos.
2. La fibra pasa por el molino de rodillos, para extraerle la mayor cantidad de líquido posible.
3. Se la coloca en un deshidratador para la eliminación de humedad contenida en la fibra.
4. Trituración o molienda de la fibra para obtener un tamaño adecuado para su procesamiento.
5. Cribado para la clasificación por tamaños de fibra, a partir del cual se seleccionará un tamaño óptimo para su procesamiento. Se utilizó la fibra comprendida entre la malla N°18 y N°35 (según norma ASTM E-11). Por lo tanto, el tamaño de fibra se encuentra en el rango de 1 mm a 500  $\mu\text{m}$ .

**Figura 2**

*Fibra de caña*



**Figura 3**

*Fibra de caña tratada*



### 3.2 Tratamiento del polímero

Se trabajó con polietileno de alta densidad (PEAD) de post-consumo, al cual se le dio los siguientes tratamientos:

1. *Limpieza de polímero:* la resina resultante se lavó y secó para eliminar restos de grasa o cualquier otro tipo de impureza.
2. *Molienda de polímero:* se realizó la trituración del material plásticos con el fin de conseguir gránulos o pellets adecuados para que este material pueda ser convertido.

**Figura 4**

*Plástico recolectado*



**Figura 5**

*Plástico tratado*



### 3.3 Composiciones polímero-fibra

En el presente trabajo se realizaron dos composiciones de fibra de caña, las cuáles van a ser identificadas según se indica en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Composiciones de material compuesto*

Polímero	% de fibra	Nomenclatura
PEAD	10	PEAD_10
PEAD	20	PEAD_20

### 3.4 Extrusión de materiales.

Las composiciones de materiales se sometieron a un proceso de extrusión mediante el uso de una máquina mono-husillo (ver Figura 6) usando las condiciones que se muestran en la tabla 9.

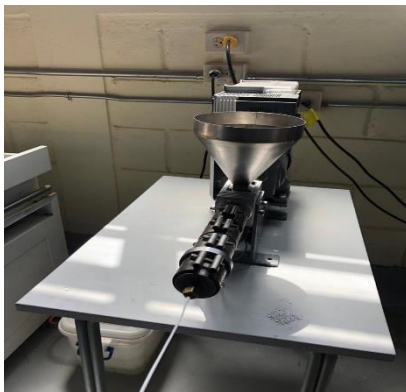
**Tabla 9**

*Parámetros de extrusión*

Parámetros de extrusión			
		Valor	Unidad
Temperatura	Zona 1	170	°C
	Zona 2	170	°C
	Zona 3	180	°C
Velocidad de husillo		32	rpm

**Figura 6**

*Extrusora*



Una vez que se obtiene el material con las diferentes composiciones, se lo pasa nuevamente por el molino de cizallas para todo el material extruido se convierta en partículas más pequeñas y se facilite el desarrollo de la siguiente etapa.

### 3.5 Termo - prensado del material

Para esta etapa vamos a necesitar: Cera desmoldante TR 104 y Papel o Película Mylar de 75 micras, estos nos facilitaran la obtención de las probetas finales. El proceso de trabajo para obtener las probetas se realiza mediante los siguientes pasos:

1. Establecer la presión y temperatura a la que vamos a trabajar, presión de 90 psi y una temperatura de 200 °C.
2. Aplicar al molde metálica la cera desmoldante, seguida de una Mylar y por último el material (polímero puro, PEAD\_10, PEAD\_20)
3. Una vez alcanzada la temperatura deseada en la termoprensa colocamos la matriz, cerramos y lo dejamos alrededor de unos 12 a 15 minutos (Ver Figura 7).
4. Transcurrido el tiempo se retira la matriz dejando enfriar por varios minutos hasta que se pueda extraer las probetas del molde (Figura 8).
5. Este mismo proceso se realiza con las distintas composiciones, hasta obtener el número de muestras requeridas.

**Figura 7***Termo prensa***Figura 8***Probetas*

## Capítulo cuatro

### Análisis y discusión de resultados

En el presente capítulo se presenta los resultados obtenidos de las pruebas de tracción que se le realizó a las probetas de polímero puro y del material compuesto en sus distintas composiciones.

Para facilitar la comprensión de este capítulo, en la Tabla 10 se mostrará la codificación de los materiales que se ensayaron:

**Tabla 10**

*Codificación de materiales*

<b>Composición</b>	<b>Código</b>
Polietileno de Alta Densidad reciclado puro	PE_0
Polietileno de Alta Densidad reciclado más 10% de fibra	PE_1
Polietileno de Alta Densidad reciclado más 20% de fibra	PE_2

En un primer reporte mostrado en la Tabla 11 obtenemos las dimensiones (Longitud inicial (L. inicial), ancho inicial (A. inicial), Espesor inicial (E. inicial), Longitud final (L. final), Ancho final (A. final), Espesor final (E. final)) de las cinco probetas de la composición PE\_0 que se ensayaron:

**Tabla 11**

*Dimensiones de probetas PE\_0*

Composición	Probeta	L. inicial mm	A. inicial mm	E. inicial mm	L. final mm	A. final mm	E. final mm
PE_0	1	113.26	6.13	4.63	117.27	5.60	4.48
PE_0	2	113.43	6.06	4.17	117.69	5.86	4.09
PE_0	3	113.72	5.91	4.10	117.46	5.74	3.95
PE_0	4	113.29	6.15	4.6	117.77	5.70	3.99
PE_0	5	113.77	5.9	4.1	117.7	5.68	4.2

*Nota.* Universidad Politécnica Salesiana

En la Tabla 12 se muestra los resultados del ensayo de tracción para la composición PE\_0.

**Tabla 12**

*Resultado de tracción composición PE\_0*

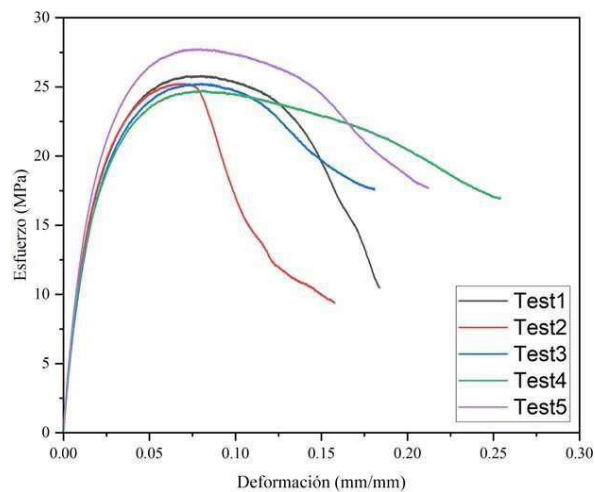
Composición	Probeta	Módulo Elástico (MPa)	Máxima Tensión (MPa)	Máximo Desplazamiento (mm)
PE_0	1	1335.45	24.01	4.87
	2	1359.86	23.59	4.11
	3	1373.63	25.67	4.88
	4	1367.90	24.45	4.98
	5	1389.76	25.72	4.88

*Nota.* Universidad Politécnica Salesiana

Los datos obtenidos anteriormente se muestran en la Figura 9 en donde se grafica la curva esfuerzo-deformación para dicha composición.

**Figura 9**

*Curva Esfuerzo – Deformación PE\_0*



*Nota.* Universidad Politécnica Salesiana

Para la composición PE\_1, la Tabla 13 muestra las dimensiones de las probetas empleadas en el ensayo de tracción como: Longitud inicial (L. inicial), ancho inicial (A. inicial), Espesor inicial (E. inicial), Longitud final (L. final), Ancho final (A. final), Espesor final (E. final) y en la Tabla 14 se indica los resultados obtenidos de la prueba de tracción.

**Tabla 13**

*Dimensiones de probetas PE\_1*

Composición	Probeta	L. inicial mm	A. inicial mm	E. inicial mm	L. final mm	A. final mm	E. final mm
PE_1	1	113.81	6.26	3.76	114.05	6.00	3.73
PE_1	2	113.96	6.08	3.6	114.9	5.90	3.5
PE_1	3	113.30	6.08	3.80	113.65	5.74	3.25
PE_1	4	113.96	6.26	3.66	113.02	6.07	3.6
PE_1	5	113.68	5.99	3.59	112.5	6.10	3.31

*Nota.* Universidad Politécnica Salesiana

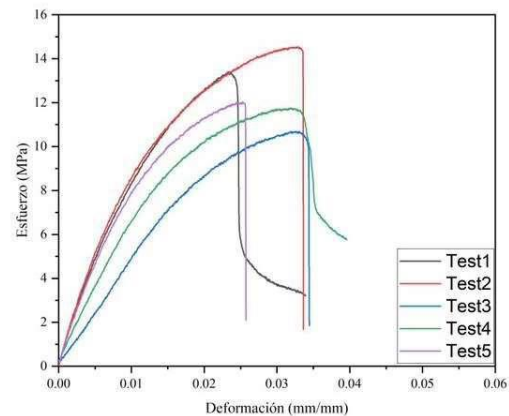
**Tabla 14**

*Resultado de tracción composición PE\_1*

Composición	Probeta	Módulo Elástico (MPa)	Máxima Tensión (MPa)	Máximo Desplazamiento (mm)
PE_1	2	1035.43	15.38	2.01
	5	1076.82	15.02	1.54

*Nota.* Universidad Politécnica Salesiana

Las curvas esfuerzo – deformación de la composición PE\_1 se muestran en la Figura 10.

**Figura 10***Esfuerzo – Deformación PE\_1*

*Nota.* Universidad Politécnica Salesiana

Para la composición PE\_1, la Tabla 15 muestra las dimensiones de las probetas empleadas en el ensayo de tracción como: Longitud inicial (L inicial), ancho inicial (A. inicial), Espesor inicial (E. inicial), Longitud final (L. final), Ancho final (A. final), Espesor final (E. final) y en la Tabla 16 se indica los resultados obtenidos de esta prueba.

**Tabla 15***Dimensiones de probetas PE\_2*

Composición	Probeta	L. inicial mm	A. inicial mm	E. inicial mm	L. final mm	A. final mm	E. final mm
PE_2	1	113.90	5.99	3.6	114.16	5.90	3.52
PE_2	2	113.87	6.02	3.52	114.19	5.94	3.4
PE_2	3	113.92	6.17	3.61	114.21	6.05	3.5
PE_2	4	113.91	6.05	3.68	114.56	5.94	3.54
PE_2	5	113.89	6.1	3.55	114.3	5.92	3.34

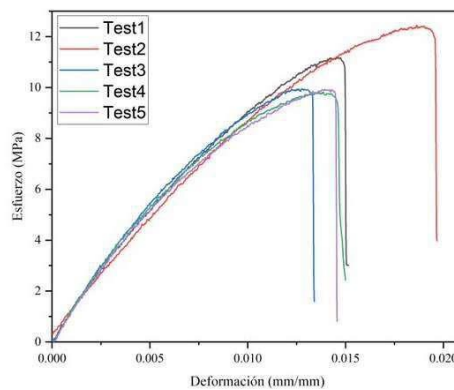
*Nota.* Universidad Politécnica Salesiana

**Tabla 16***Resultado de tracción composición PE\_2*

Composición	Probeta	Módulo Elástico (MPa)	Máxima Tensión (MPa)	Máximo Desplazamiento (mm)
PE_2	1	969.211	11.07	0.89
	2	889.281	12.45	1.13
	3	972.139	9.36	0.78
	4	957.824	9.51	0.85
	5	1017.69	10.47	0.85

Nota. Universidad Politécnica Salesiana

Las curvas esfuerzo – deformación de la composición PE\_2 se muestran en la Figura 11.

**Figura 11***Esfuerzo – Deformación PE\_2*

Nota. Universidad Politécnica Salesiana

#### 4.1 Discusión de Resultados

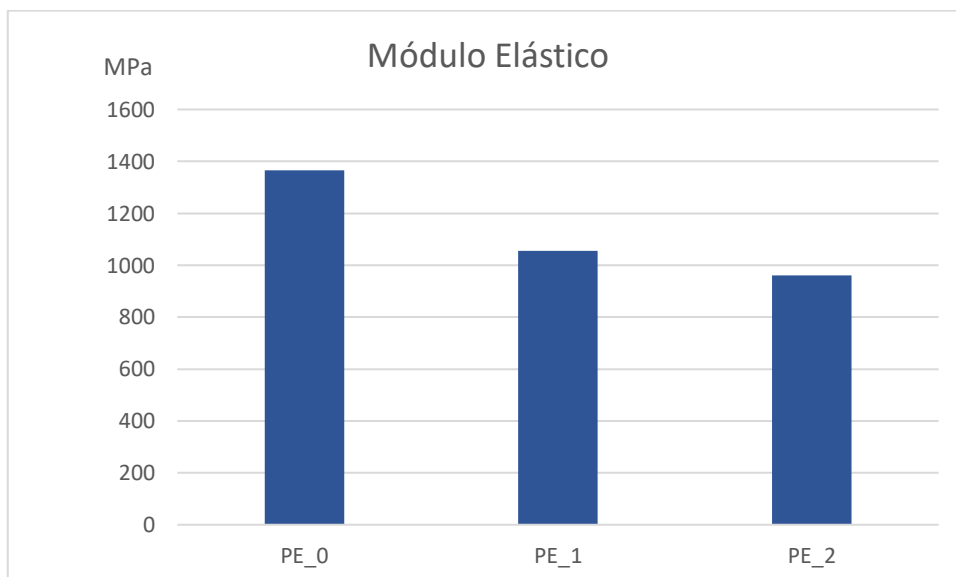
Para un mejor análisis de los resultados obtenidos, se obtuvo el promedio de las propiedades obtenidas por el ensayo de tracción, como son: módulo elástico, tensión máxima y desplazamiento para cada una de las composiciones elaboradas, dichos valores se muestran en la Tabla 17.

**Tabla 17***Propiedades promedio de ensayo de tracción*

Composición	Módulo Elástico (MPa)	Máxima Tensión (MPa)	Máximo desplazamiento (mm)
PE_0	1365,32	24,688	4,744
PE_1	1056.12	13,786	1,788
PE_2	961,229	10,572	0,9

Analizando los valores obtenidos, podemos mencionar que las composiciones con fibra de caña provocan una disminución del módulo elástico, siendo de un 29.27 % para la composición con 10 % de fibra y una disminución del 41 % con la composición del 20 % de fibra, con lo cual podemos mencionar que la fibra actúa como un relleno en la matriz, pero no actúa como un refuerzo, lo cual se podría conseguir haciendo uso de agentes de acoplamiento (Yemele, Koubaa, Cloutier, Soulounganga, & Wolcott, 2010).

El efecto de la fibra en el módulo de elasticidad se puede visualizar de mejor manera en la Figura 12.

**Figura 12***Módulo de Elasticidad de las composiciones ensayadas*

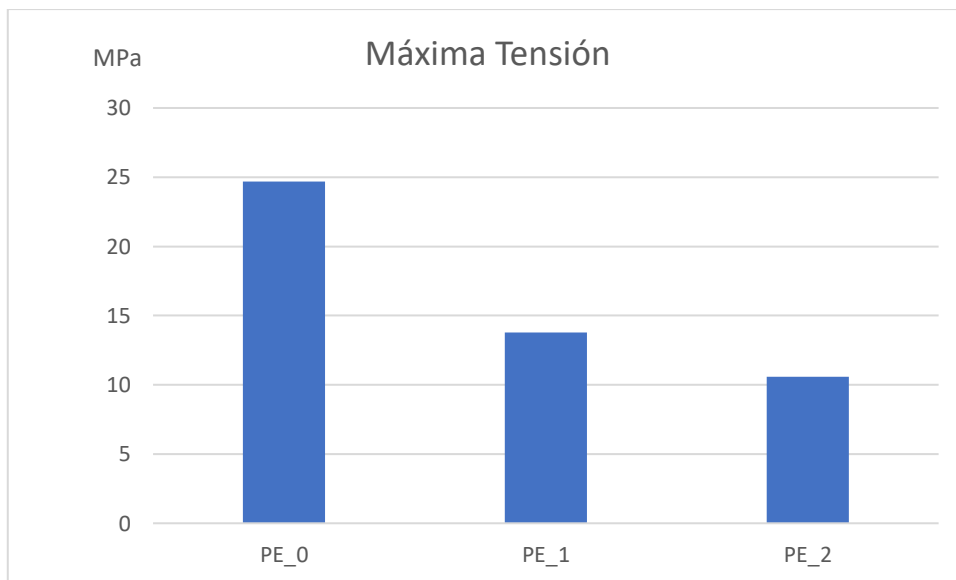
Con respecto a la tensión máxima, se puede observar un similar comportamiento al módulo de elasticidad, pues los resultados indican una disminución de 79 % en la composición del 10 % de fibra y un 133 % en la composición del 20 % de fibra,

comparadas con la matriz polimérica pura, dicho efecto se puede atribuir a la mala dispersión de la fibra en la matriz polimérica tal como lo observaron en Mulinari et al. al estudiar materiales compuestos con fibra de caña por medio de extrusión (Mulinari, y otros, 2009).

En la Figura 13, se puede observar de mejor manera el efecto de la fibra en la tensión máxima.

**Figura 13**

*Tensión máxima de las composiciones ensayadas*

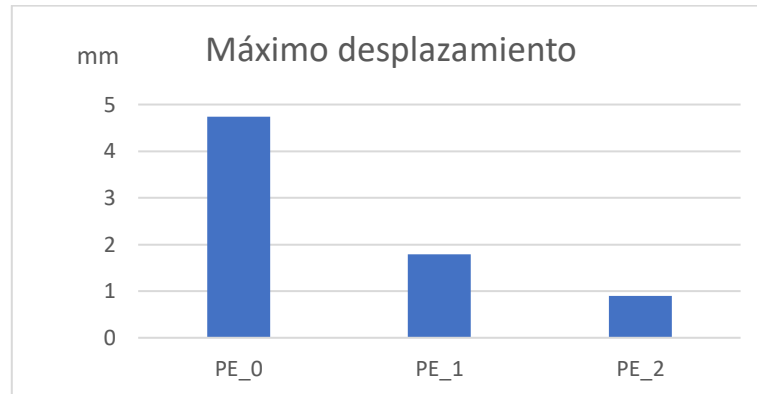


Finalmente, con respecto al desplazamiento o elongación, el efecto de adición de fibra a la matriz polimérica ocasiona una disminución de dicha propiedad, alcanzando un 426 % con la composición del 20 %, dicho efecto se puede deber a una mala adhesión de la fibra lo que provoca porosidades en los materiales compuestos y por defecto un rompimiento del material al someterse a la tracción (Sewda & Maiti, 2007).

Así mismo, en la Figura 14 se aprecia de una forma más clara el efecto de la fibra en la elongación.

**Figura 14**

*Desplazamiento de las composiciones ensayadas*



## Conclusiones

En el presente capítulo se presentan las conclusiones obtenidas durante el desarrollo de este trabajo.

El moldeo por compresión permitió obtener prototipos de materiales compuestos a partir de una matriz polimérica y fibra natural, como lo es: polietileno de alta densidad reciclado y fibra de caña.

El tratamiento físico aplicado a la fibra permitió su acondicionamiento para la elaboración de materiales compuestos empleando el 10 y 20 % de fibra.

El procesamiento de los materiales por extrusión cumplió una función importante en el mezclado de los materiales, llevando a conseguir una buena distribución física de la fibra en la matriz polimérica.

Se logró realizar la caracterización del material compuesto matriz polimérica (PEAD) reforzado con fibra de caña mediante ensayo de tracción, obteniendo que los módulos de elasticidad, esfuerzo máximo y desplazamiento de los materiales compuestos disminuyen con respecto al polímero puro a medida que se agrega la fibra de caña, indicando que la fibra actuó como relleno antes que como un refuerzo.

Se logró establecer parámetros de procesamiento de materiales compuestos a partir de PEAD y fibra de caña, siendo: temperatura de extrusión de 180 °C, temperatura en la prensa de 200 °C, y tiempo de procesamiento en la prensa de 25 minutos.

### **Recomendaciones**

En el presente capítulo se presentan las recomendaciones obtenidas durante el desarrollo de este trabajo.

Estudiar la fibra de caña en otras matrices poliméricas de manera que sirva como comparativos a la hora de evaluar su efecto.

Eliminar todas las impurezas del bagazo de caña ya que estas pueden disminuir las propiedades de la fibra obtenida.

Asegurarse del desempeño eficiente de la prensa para polímeros, ya que las fluctuaciones de temperatura pueden ocasionar una mala conformación del material o prototipo.

Desarrollar una caracterización química de los materiales compuesto de manera que permita evaluar de una mejor manera el efecto fibra – polímero.

## Referencias

- Cevallos, J. (2008). Estudio comparativo de las propiedades mecánicas y reológicas del compuesto de polietileno de alta densidad con cascarilla de arroz y bagazo de caña. (*Tesis de grado*). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.
- Chung, D. D. (2010). *Composite Materials*. Springer.
- Gerdeen, J. C., & L Rorrer, R. A. (2012). *Engineering Design with Polymers and Composites*. Taylor & Francis Group, LLC.
- Hermida, É. (2011). Polímeros . En É. Hermida, *Polímeros* (pág. 16). Colección Encuentro Inet.
- John, M., & Thomas, S. (2007). Bio fibres and biocomposites. (*Artículo científico*). Mahatma Gandhi University, Kottayam.
- Keller, J., & Lautenschlager, E. (1958). Porosity reduction and its associated effect on the diametral tensile strength of activated resins. *J Prosthet Dent*.
- Khalid, M. Y. (2021). Developments in chemical treatments, manufacturing techniques and potential applications of natural-fibers-based biodegradable composites. *In Coatings*, 1-18. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/coatings11030293>
- Kicińska-Jakubowska, A. B. (2012). Review of Natural Fibers. Part I-Vegetable Fibers. *Journal of Natural Fibers*, 150-167. Obtenido de <https://doi.org/10.1080/15440478.2012.703370>
- La Mantia, F., & Morreale, M. (2011). Green composites: A brief review. (*Artículo científico*). Science Direct, Palermo.
- La Mantia, F., & Morreale, M. (2011). Green Composites: A brief review. (*Artículo Científico*). Science Direct, Palermo.

- Motaung, T. E. (2017). Agricultural waste fibers and biopolymer matrices used in biocomposites. *In Biocomposites: Properties, Performance and Applications.*, 11–26.
- Mueller, D. H. (2004). Improving the impact strength of natural fiber reinforced composites by specifically designed material and process parameters . *Int. Nonwovens* , 31-38.
- Mulenga, T. K. (2021). Techniques for modelling and optimizing the mechanical properties of natural fiber composites: A review. *In Fibers*, 1–17. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/fib9010006>
- Mulinari, D., Voorwald, H., Cioffi, M., Silva, M., Cruz, T., & Saron, C. (2009). Sugarcane bagasse cellulose/HDPE composites obtained by extrusion. *Composites Science and Technology* 69 (2009) 214–219.
- Ochoa, A. (2005). Reciclado mecánico de materiales compuestos con fibras de celulosa. (*Tesis Doctoral*). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Padilla, S. &. (2019). *Módulo de Información Ambiental en Hogares - ESPND, 2018*. INEC.
- Parra, D., & Sánchez, M. (2012). Desarrollo material polimérico reforzado con fibras. (*Tesis de grado*). UNIVERSIDAD EAN, Bogotá.
- Prado espinosa, C. D. (2019). Diseño y construcción de un prototipo de máquina extrusora de termoplásticos para la fabricación de un poste de cerca de a escala en San Juan Pasto. *Doctoral dissertation, AUNAR*.
- Rosato, D. (2004). Plastic product material and process selection handbook.

- Sathishkumar, P. N. (2020). Strength and behavior analysis of honey comb sandwich composite structure. *International Journal of Scientific and Technology Research*.
- Sewda, K., & Maiti, S. (2007). Mechanical Properties of HDPE/Bark Flour Composites. *Wiley InterScience*. doi:10.1002/app.26293
- Sunil Kumar Ramamoorthy, M. S. (2015). Una revisión de las fibras naturales utilizadas en biocomposites: fibras de células vegetales, animales y regenerada. *Taylor y Francis*, 108-110.
- Vásquez, C. (2020). Caracterización mecánica a tensión de un material compuesto de Guadua y Resina Termoplástica. (*Trabajo de Grado*). Universidad Santo Tomás, Bogotá.
- Verma, D. &. (2019). Natural fiber-reinforced polymer composites: Feasibility study for sustainable automotive industries. In *Biomass, Biopolymer-Based Materials, and Bioenergy*, 103–122.
- Wulf, F. (2008). Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímeros. (*Tesis de ingeniería*). Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Yemele, M., et al. (2010). Effect of bark fiber content and size on the mechanical properties of bark/HDPE composites. *Composites: Part A* 41 (2010) 131–137.