

Conceptualización de un proceso para la fabricación de elementos no estructurales basados en materiales compuestos de matriz polimérica reforzada con fibras de coco en el área  
Metropolitana de Bucaramanga

Ana Daniela Gamboa Portilla y Daniela Zuluaga Puentes

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera Metalúrgica

Director

Pedro Luis Delvasto Angarita

Doctor en Ciencia y Tecnología de Materiales

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales

Bucaramanga

2021

## Contenido

	Pág.
Introducción .....	9
1. Objetivos .....	10
1.1. Objetivo General.....	10
1.2. Objetivos Específicos .....	10
2. Marco Teórico.....	11
2.1 Los Termoplásticos y su Reciclaje .....	11
2.2 Las Fibras Naturales y La Fibra de Coco .....	14
2.3 Materiales Compuestos de Matriz Termoplástica Reforzados con Fibras Naturales .....	17
2.4 Propiedades de los Materiales Compuestos.....	19
2.5 Orientación de las Fibras de Coco y su Influencia sobre Propiedades Mecánicas.....	20
2.6 Durabilidad y Resistencia en Agua de los Materiales Compuestos.....	21
2.7 Métodos de Manufactura .....	23
2.8 Elementos Arquitectónicos.....	27
3. Metodología .....	29
3.1 Sondeo Preliminar de Mercado.....	29
3.2 Selección de la Matriz Polimérica. ....	32
3.3 Selección del Proceso De Manufactura .....	34
4. Resultados y Discusión .....	37
4.1 Diseño Conceptual Del Proceso Industrial .....	37
4.2 Layout de la planta.....	40
5. Conclusiones .....	42

Referencias Bibliográficas.....	43
Apéndices .....	46

## Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Zonas de transformación del polímero.....	11
Figura 2. Principales tipos de termoplásticos presentados en el mercado. ....	12
Figura 3. Parte de la cáscara de coco. ....	16
Figura 4. Posibles orientaciones de las fibras de coco en los materiales compuestos .....	21
Figura 5. Diagrama de flujo del proceso industrial.....	39
Figura 6. Layout de la planta industrial .....	40
Figura 7. Balance de masa .....	42

### **Lista de tablas**

	Pág.
Tabla 1. Propiedades de la fibra de coco. ....	15
Tabla 2. Composición de las fibras extraídas de la cáscara de coco.....	17
Tabla 3. Evaluación cuantitativa para cada tipo de plástico, según sus características.....	33
Tabla 4. Evaluación cuantitativa para cada proceso de manufactura, según sus características. .	36
Tabla 5. Porcentajes de composición de las materias primas. ....	38

## Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Datos de las empresas encuestadas del sector de reciclaje. ....	46
Apéndice B. Resultados de las encuestas realizadas a las empresas del sector de reciclaje.....	47
Apéndice C. Datos y resultados de las empresas encuestadas del sector de comercialización de elementos arquitectónicos. ....	48
Apéndice D. Características de los diferentes termoplásticos de uso comercial. ....	50
Apéndice E. Características importantes de los métodos de manufactura.....	50
Apéndice F. Especificaciones del equipo de la línea de reciclaje.....	51
Apéndice G. Especificaciones del equipo de extrusora. ....	52
Apéndice H. Especificaciones del equipo de sistema de enfriamiento.....	53
Apéndice I. Especificaciones del equipo de sistema de arrastre.....	54
Apéndice J. Especificaciones del equipo de corte y apilador. ....	55

## Resumen

**Título:** Conceptualización de un proceso para la fabricación de elementos no estructurales basados en materiales compuestos de matriz polimérica reforzada con fibras de coco en el área metropolitana de Bucaramanga.

**Autores:** Ana Daniela Gamboa Portilla, Daniela Zuluaga Puentes.

**Palabras Claves:** Materiales Compuestos, Reciclaje, Polímeros Termoplásticos, Fibra de coco, Extrusión.

### Descripción:

El presente proyecto de investigación muestra una alternativa para producir un nuevo uso a los desechos de plásticos que se generan en la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana. Esta propuesta consiste en juntar tales residuos con los desechos que resultan de la extracción de coco en Colombia. Es por ello, que se plantea realizar un proceso para fabricar elementos arquitectónicos no estructurales, con base en el material compuesto y así llegar a reemplazar en un futuro la madera tradicional en su totalidad. Se llevo a cabo un estudio tecnológico acerca de los tipos de plásticos que existen en el mercado, su proceso de reciclaje y sus aplicaciones después de este. De igual manera, se consultó sobre los métodos de extracción de las fibras de coco y las propiedades que estos podrían generar en un material compuesto. También se realizó una investigación bibliográfica, sobre los procesos de manufactura de elementos arquitectónicos no estructurales óptimos para trabajar materiales compuestos.

Con base en lo mencionado anteriormente, se realizaron encuestas a diferentes empresas y un sondeo preliminar de mercado en la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana, para tener un panorama de la cantidad de plástico reciclado que reciben al día, el costo del plástico por tonelada y el proceso que se debe realizar para ser reciclado. Con este análisis del sondeo preliminar de mercado y otros factores estudiados, se ha logrado determinar que el polipropileno reciclado, es el plástico más ideal para ser tratado como matriz del material compuesto. Además, se han planteado ciertas condiciones para la selección del proceso de manufactura, donde la extrusión fue la que obtuvo mayor posibilidad de éxito de acuerdo con la evaluación cuantitativa realizada. Finalmente, se desarrolló de forma conceptual el proceso industrial para la producción de pisos para exteriores, el cual fue elegido elemento arquitectónico a fabricar.

## Abstract

**Title:** Conceptualization of a process for the manufacture of non-structural elements based on polymer matrix composite materials reinforced with coconut fibers in the metropolitan area of Bucaramanga.

**Authors:** Ana Daniela Gamboa Portilla, Daniela Zuluaga Puentes.

**Keywords:** Composite Materials, Recycling, Thermoplastic Polymers, Coconut Fiber, Extrusion.

### Description:

This research project shows an alternative to produce a new use of plastic waste generated in the city of Bucaramanga and its metropolitan area. This proposal is to combine such waste with waste resulting from coconut extraction in Colombia. For this reason, it is proposed to carry out a process to manufacture non-structural architectural elements, based on the composite material and thus succeed in replacing in the future the traditional wood in its entirety. A technological study was carried out on the types of plastics that exist in the market, their recycling process and their applications after this. Likewise, we consulted on the methods of extraction of coconut fibers and the properties that they could generate in a composite material. A bibliographic research was also conducted on the manufacturing processes of optimal non-structural architectural elements to work composite materials.

Based on the above, we conducted surveys of different companies and a preliminary market survey in the city of Bucaramanga and its metropolitan area, to have an overview of the amount of recycled plastic they receive per day, the cost of the plastic per tonne and the process to be performed to be recycled. With this analysis of the preliminary market survey and other factors studied, it has been possible to determine that recycled polypropylene is the most ideal plastic to be treated as a matrix of the composite material. In addition, certain conditions have been set for the selection of the manufacturing process, where extrusion was the most likely to be successful according to the quantitative evaluation made. Finally, the industrial process for the production of outdoor floors was developed in a conceptual way, which was chosen as an architectural element to be manufactured.

## Introducción

En la actualidad, el mundo enfrenta una problemática ambiental a causa de la gran producción de desechos sólidos que generalmente son acumulados en vertederos o rellenos sanitarios, el poco control que se realiza a estos residuos provoca la contaminación en el agua, aire y suelo. Los plásticos representan un problema de mayor importancia dentro de los residuos sólidos generados, debido a que su degradación puede tardar hasta mil años si no son tratados adecuadamente. Según un informe realizado por el banco mundial, *“en 2016 se generaron en el mundo 242 millones de toneladas de desechos de plásticos, representando el 12% total de desechos sólidos”*(Banco Mundial, 2018). La falta de conocimiento e iniciativas para promover la reutilización de estos desechos conllevará a resultados catastróficos para el medio ambiente en los próximos años.

En Colombia, cada año se genera aproximadamente 12 millones de toneladas de residuos sólidos, de los cuales solo un 17% son reciclados y un 56% representan los desechos plásticos (Agencia Efe S.A., 2018). Si bien en el país existen empresas dedicadas a la transformación de los plásticos reciclados, su presencia es limitada en el área metropolitana de Bucaramanga, por lo cual se pierde la oportunidad de aprovechar las propiedades de estos materiales desechados y fomentar el crecimiento económico verde en la ciudad. Teniendo en cuenta esta realidad, el presente trabajo está destinado a promover una economía circular, mediante el planteamiento de un proceso industrial, de pequeña escala, para la fabricación de elementos arquitectónicos, no estructurales, de matriz polimérica reciclada reforzada con fibra de coco.

## **1. Objetivos**

### **1.1. Objetivo General**

Diseñar un proceso industrial, de pequeña escala, para la fabricación de elementos arquitectónicos no estructurales que utilicen plásticos reciclados como matriz y fibra de coco como refuerzo, atendiendo a criterios geográficos y económicos propios del área metropolitana de Bucaramanga.

### **1.2. Objetivos Específicos**

Llevar a cabo una investigación tecnológica para establecer los distintos procesos y materias primas existentes, para la fabricación de elementos arquitectónicos no estructurales de matriz polimérica reforzados con fibra de coco.

Realizar un estudio de mercado preliminar en el área metropolitana de Bucaramanga para determinar la oferta, la demanda y los actores económicos involucrados con el reciclaje de plásticos en la ciudad y con la comercialización de materiales compuestos para aplicaciones arquitectónicas no estructurales.

Evaluar, bajo criterios cuantitativos, tres posibles procesos para la fabricación de elementos arquitectónicos no estructurales de matriz polimérica reforzados con fibra de coco, atendiendo a las particularidades geográficas y económicas propias del área metropolitana de Bucaramanga y seleccionar aquel que obtenga la mayor posibilidad de éxito, de acuerdo con el criterio cuantitativo.

Diseñar, de forma conceptual, un proceso industrial de pequeña escala para la fabricación de elementos arquitectónicos no estructurales de matriz polimérica reforzados con fibra de coco, incluyendo el dimensionamiento de los equipos necesarios y el layout de la planta.

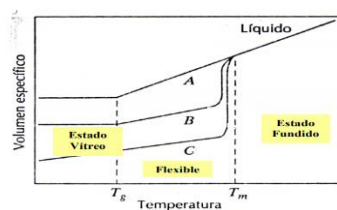
## 2. Marco Teórico

### 2.1 Los Termoplásticos y su Reciclaje

Los termoplásticos pertenecen a la familia de los polímeros donde su característica principal es su facilidad de fundición a altas temperaturas permitiendo así su reciclaje y moldeo de diversas formas. Esta facilidad se da gracias a que sus cadenas poliméricas son largas y lineales, así al calentarse producen el flujo del plástico. Este está constituido de petróleo crudo, carbono, oxígeno, hidrogeno y también pueden tener azufre, silicio, fosforo entre otros. La cristalinidad de los termoplásticos se puede desarrollar en dos estructuras: ordenadas (semicristalinas) o no ordenadas (amorfos). Cuando un polímero fundido empieza a solidificar, sufre una pérdida de volumen específico en la estructura ordenada, como se logra observar en la figura 1. Aquí se observan tres zonas, estado fundido, estado flexible y el estado vítreo. Donde la curva A corresponde a un polímero amorfo, la curva B un polímero semicristalino y la curva C un cristalino (Centeno, 2011).

#### Figura 1

*Zonas de transformación del polímero.*



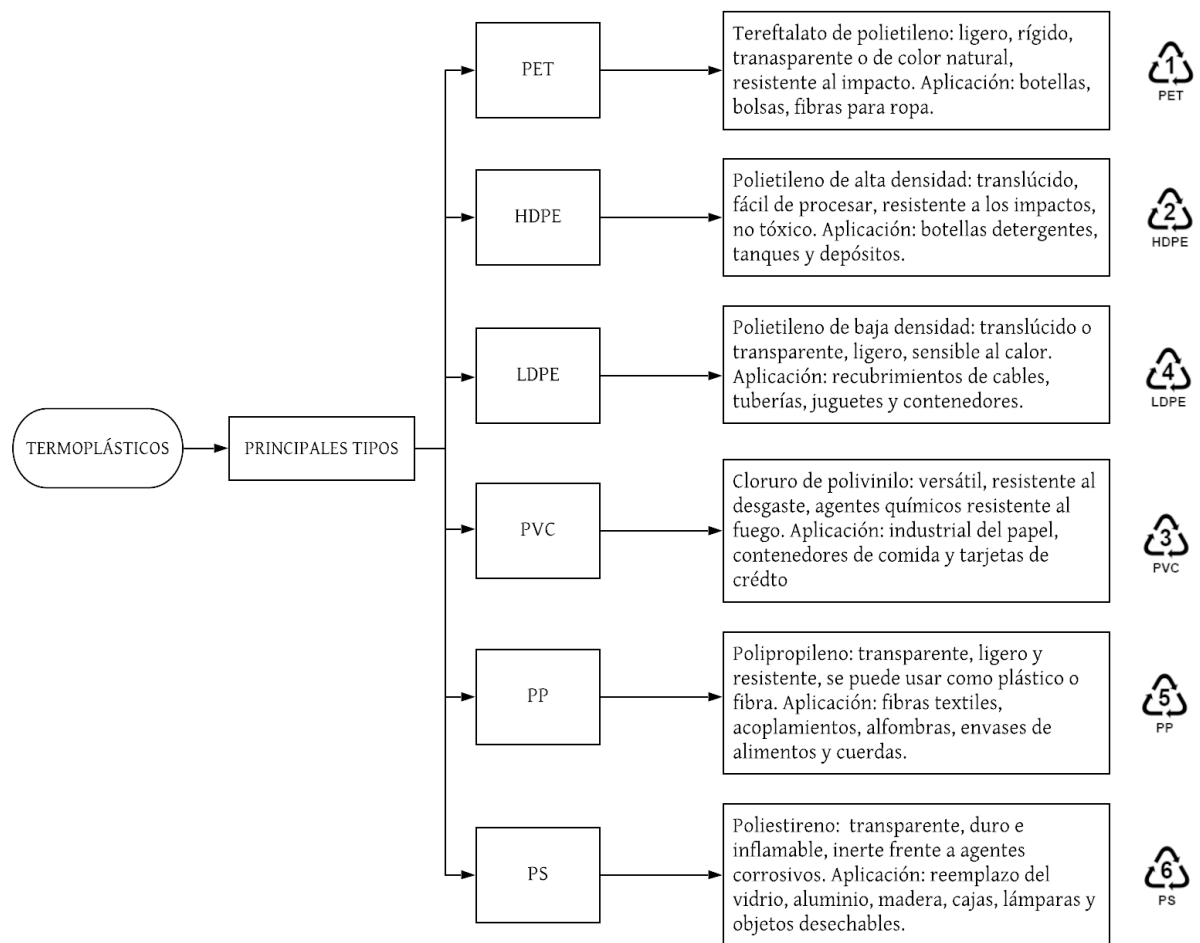
*Nota.* Centeno, G. (2011). Morfología de los polímeros. *La Química de Los Polímeros*.

<http://profguillermojcentenob.blogspot.com/2011/05/>.

Las aplicaciones de los diferentes tipos de termoplásticos varían según sus propiedades, las cuales otorgan las características necesarias para su funcionamiento, en la figura 2, se presentan las propiedades y algunas aplicaciones de los principales tipos de termoplásticos.

**Figura 2**

*Principales tipos de termoplásticos presentados en el mercado.*



El reciclaje se puede realizar de dos formas: mecánica o química. Por métodos químicos es más costoso, ya que transforma la estructura molecular en una estructura simple, asemejándola al comienzo de su existencia, este se utiliza para los polímeros termoestables. El reciclaje mecánico

consiste en la trituración, lavado, secado y extrusión; aquí se reduce el plástico a una estructura llamada pellets los cuales serán la materia prima para la realización de nuevos objetos.

Cabe aclarar que cuando hay tipos diferentes de resinas puede que su aprovechamiento se vuelva complicado, puesto que no son miscibles y cada una requiere de un proceso especial. Por tal razón, es necesario añadir aditivos para poder llevar a cabo el reciclaje del plástico, debido a que mejoran la miscibilidad y así se lleva a cabo el proceso con total normalidad.

Etapas del reciclaje mecánico (Carabajal et al., n.d.).

- I. *Separación del material:* El reciclaje del plástico comienza con su separación, apartándolos de los demás materiales orgánicos e inorgánicos. Es ideal que aquel proceso comience desde casa. De igual forma, se realiza una separación y clasificación entre los plásticos fáciles de reciclar (termoplásticos) y los termoestables, debido a que estos últimos presentan una estructura molecular con cadenas poliméricas ligadas químicamente, lo cual dificulta su reciclaje.
- II. *Trituración del material:* Después de la separación de todos los materiales, los óptimos a ser reciclados, son acondicionados para el respectivo proceso de trituración o molienda ya que su manipulación será mucho más fácil al finalizar este proceso. El plástico se introduce a la trituradora y allí es cortado por tres cuchillas, las cuales giran sobre un eje axial impulsados por un motor eléctrico. Cuando el tamaño de las partículas del plástico molido es de un centímetro o menor, se dirigen hacia un contenedor donde se depositan.
- III. *Lavado:* Las piezas pequeñas de plástico son llevadas a tanques de agua, utilizando detergente industrial y soda cáustica en proporciones de 50/50, son lavadas y así quedan libre de residuos como restos de etiquetas, tierra, entre otros. El agua y detergente industrial

son usados para eliminar las grasas que contengan pegamentos o etiquetas, mientras que la soda cáustica es utilizada para desinfectar. Luego de su enjuague son lavados con agua para quitar el resto de los agentes químicos. Se considera que el agua empleada sea tratada y reutilizada.

- IV. *Secado y centrifugas:* Luego del previo lavado, son llevadas a una máquina de centrifugado, donde se secan las pequeñas piezas de plástico gracias a su velocidad, movimientos y temperatura caliente, dando lugar a la eliminación de hasta un 0.5% de los restos de humedad. También ayuda a eliminar las partículas de suciedad que quedaron impregnadas en el material.
- V. *Peletizado:* En este paso se obtienen pellets mediante el proceso de extrusión. Consiste en transportar las partículas por medio de un tornillo sin fin dentro de un cilindro largo, donde se van comprimiendo mientras se lleva hacia la boquilla de extrusión. La temperatura debe ser constante para cada parte del extrusor, el cual es calentado con una resistencia eléctrica, generando una temperatura necesaria en el sistema. Cuando el plástico este líquido pasa a través de un molde, obteniendo una forma fina y larga e inmediatamente son enfriados para realizar el corte respectivo de los pellets, que luego son secados como el paso anterior y almacenados como materia prima para futuros diseños.

## 2.2 Las Fibras Naturales y La Fibra de Coco

Las fibras naturales son aquellas que se pueden encontrar en la naturaleza de tres diferentes formas: fibra vegetal, fibra animal y fibra mineral. Cada uno de estos tipos de fibra se pueden

obtener con diferentes procesos para diversos fines comerciales. En este caso se va a enfocar en las fibras vegetales la cuales se componen de microfibras de diferentes espesores y ángulos de orientación las cuales son, en su totalidad, ricas en celulosa. La celulosa es un tipo de polímero lineal de glucosa dada en su forma más simple, estas son resistentes a la mayoría de los ácidos orgánicos, pero se ven afectados por ácidos minerales fuertes. Estas fibras vegetales se pueden obtener de tres partes diferentes de la planta: frutos y semillas, de los tallos y de las hojas. Para esta investigación se estudia el uso de la fibra proveniente del fruto de coco, debido a sus buenas propiedades mecánicas, las cuales son presentadas en la tabla 1. La composición del coco está dada por un 35% de cáscara, 12% de casco, 28% de fruto y 25% en agua. Estos porcentajes varían ya que dependen del tamaño y estado de maduración de la fruta. La cascara está formada por subproductos: 30% en fibra y 70% médula, los cuales son aprovechados para diversas aplicaciones, la fibra es usada en artículos o refuerzos y la médula para la industria agrícola (Escudero & Aristizabal, 2012).

**Tabla 1**

*Propiedades de la fibra de coco.*

<b>Propiedades</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Resistencia a la tracción (MPa)</b>	<b>Módulo de elasticidad (GPa)</b>	<b>% Elongación de rotura</b>	<b>% Absorción Humedad</b>
Fibra de Coco	1,2- 1,4	175-220	4-6	15-30	10-10,5

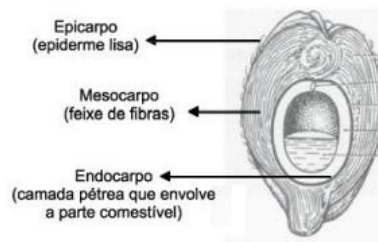
*Nota.* Dávila, J., Galeas, S., Guerrero, V., Pontón, P., Rosas, N., Sotomayor, V., & Valdivieso, C. (2011). *Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales E Industriales.*

Las partes de la cáscara de coco son: epicarpo, mesocarpo, endocarpo mostrada en la figura 3. El epicarpo contiene toda la parte externa del coco y consta de tejidos fibrosos, aquí se produce

gran cantidad de esta fibra; en el mesocarpo se obtiene también en gran cantidad la fibra de coco y la médula o sustrato. Por último, el endocarpo cumple la función de casco protector de la fruta, con ellos se puede obtener carbón activado o harina para abrasivos suaves. Las fibras de coco son delgadas, ligeras, huecas y sus paredes son gruesas, están compuestas por pectina, hemicelulosa, celulosa y lignina, siendo esta última de mayor proporción en comparación con otras fibras, otorgándole una mayor rugosidad (Hernando et al., 2005); el porcentaje de composición se muestra en la tabla 2.

### Figura 3

*Parte de la cáscara de coco.*



*Nota.* Escudero, A., & Aristizabal, J. (2012). *Caracterización mecánica de fibras de coco como refuerzo de materiales compuestos poliméricos.* Universidad Libre.

La obtención de esta fibra se puede realizar por varios métodos; en el método convencional se obtienen las fibras manualmente donde se necesita agua y tiempo. Luego de separar el fruto, la cascara es llevada a tanques donde se realiza un proceso por inmersión. Allí la cáscara se deja por días o meses, esto depende de que tan maduro está el fruto. Gracias a este proceso la cáscara sufre un ablandamiento y fermentación que ayudan al desfibrado fácilmente.

Otro método que se utiliza es el mecánico, aquí se utilizan máquinas desfibradoras o también molinos de martillos, donde se puede procesar la cáscara en seco o húmedo y gracias al

impacto que se generan dentro de ellas se va separando la fibra. Luego de ser separadas, las fibras pasan a un proceso de limpieza y secado, posteriormente son peinadas para realizar el respectivo hilado (Hernando et al., 2005).

**Tabla 2**

*Composición de las fibras extraídas de la cáscara de coco.*

<b>Componentes</b>	<b>%</b>
Pectina	3
Hemi-celulosa	0.25
Lignina	45.84
Celulosa	43.44
Otros	7.47

*Nota.* Hernando, L., Ing, P., Joya, E., & Agrónomo, I. (2005). *Reconocimiento de las características , obtención y utilización de la estopa de coco.*

### **2.3 Materiales Compuestos de Matriz Termoplástica Reforzados con Fibras Naturales**

Los materiales compuestos de matriz termoplástica reforzadas con fibras naturales pueden presentar un bajo acoplamiento o interacción entre sus componentes, dando lugar a materiales con malas propiedades mecánicas. Esto se debe a la baja compatibilidad que presentan, ya que el polímero termoplástico es hidrofóbico y las fibras naturales son hidrofílicos (gracias a los grupos hidroxilo que lo conforman), generando poca unión interfacial entre la matriz y el refuerzo. Para solucionar este inconveniente que surge entre aquellos materiales, se puede recurrir al uso de agentes acoplantes que mejoren la interacción interfacial. Por otro lado, también se pueden realizar tratamientos en las fibras naturales antes de ser sometidos al procesamiento con la matriz, con el fin de reducir el carácter hidrofílico que estos presentan (Salit et al., 2015). En la literatura, se

presentan numerosos métodos para el tratamiento de las fibras naturales, estos procesos se clasifican en físicos y químicos. Los tratamientos físicos provocan cambios superficiales y en la morfología de las fibras, produciendo mayor rugosidad, lo cual aumenta la interacción mecánica en la interfaz con la matriz, entre estos métodos se encuentran el calandrado, el estiramiento, la extrusión y descarga eléctrica, la desventaja de utilizar este tipo de métodos es su alto costo. Por otro lado, se destacan los tratamientos químicos, donde su objetivo principal es la modificación en la composición química de las fibras con el fin de reducir la polaridad que estos presentan y, a su vez, disminuir su carácter hidrofílico. Entre esos métodos se encuentran el tratamiento alcalino, la acetilación, la silanización y la adición de agentes acoplantes. El proceso más antiguo y destacado para reducir el carácter hidrofílico de las fibras naturales, es el alcalino, en donde las fibras son expuestas a pequeñas cantidades de hidróxido de sodio, las cuales se encargan de interactuar con los grupos hidroxilos para de esta forma poder reducirlos. Cabe resaltar que los grupos hidroxilos presentes en la estructura de las fibras naturales son las que favorecen el carácter hidrofílico de estas, ya que son polares. Por su parte, los grupos hidroxilos son más susceptibles a interactuar con las moléculas de agua, en las regiones amorfas que en las regiones cristalinas que componen las fibras naturales (Hakeem et al., 2014).

Los materiales compuestos con matriz termoplástica, reforzada con fibras de coco, son los que se han trabajado en esta investigación. La matriz termoplástica debe ser escogida de tal manera que cumpla con ciertas condiciones para su procesamiento con la fibra de coco, la cual tiene una temperatura de degradación de 200 °C aproximadamente. Es decir que, a partir de esta temperatura, la fibra perderá sus propiedades. Por lo cual, el material termoplástico debe tener una temperatura de fusión menor a 200°C para poder ser procesada junto con las fibras (Velásquez R. et al., 2016).

## 2.4 Propiedades de los Materiales Compuestos

El principal objetivo de la fabricación de materiales compuestos es proporcionar un material que presente mayores propiedades en comparación con los elementos individuales que son utilizados para su manufactura. De esta manera, se obtiene una sinergia en las propiedades para la producción de artículos con óptimas características para sus aplicaciones. Las propiedades de estos materiales están influenciadas por diversos factores tales como (Salit et al., 2015).

- El tipo de polímero utilizado como matriz, el cual puede ser virgen o reciclado. Tal matriz es escogida con base en las características que se requieran del material compuesto durante su servicio. Cabe resaltar, que el refuerzo utilizado también debe presentar dichas características y propiedades para otorgar al producto final una sinergia de las propiedades.
- El tipo, tamaño y proporción del refuerzo, utilizado para otorgar la resistencia al material, los cuales pueden ser añadidos en formas de partículas o fibras. Además, la orientación y disposición en caso de ser utilizadas las fibras también influyen en gran medida sobre las propiedades y características de los materiales. Más adelante se va a abarcar en profundidad cómo influye el refuerzo escogido en las propiedades mecánicas.
- La interacción o unión entre la matriz y el refuerzo en el lugar conocido como interfaz, donde se debe asegurar un acoplamiento máximo para que, al ser aplicada una carga exterior, se asegure la transferencia desde la matriz hacia las fibras. En este caso, esta unión depende mayoritariamente del proceso de manufactura que se realiza y los agentes acoplantes que son añadidos para la unión.

Las propiedades físicas como la densidad y la dureza también están fuertemente relacionadas con el tipo, proporción y orientación de las fibras; donde son mayores con el aumento del refuerzo incluido, debido a que se producen menores vacíos en su estructura y, por ende, generan mayor compactación que se refleja en el aumento de estas propiedades (Rojas & López, 2018).

## **2.5 Orientación de las Fibras de Coco y su Influencia sobre Propiedades Mecánicas.**

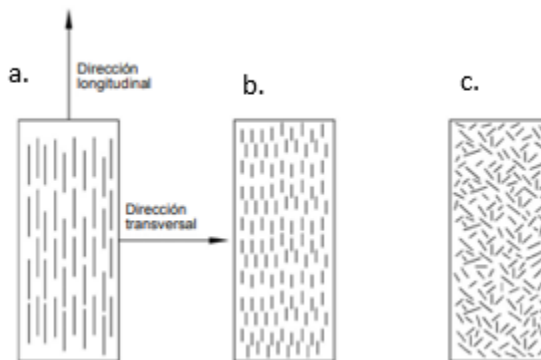
Las fibras usadas como refuerzo presentan dentro de su morfología orientaciones variadas con las cuales se logra diferenciar las propiedades que generarán dentro del material compuesto, figura 5. A continuación se muestran algunas de las orientaciones (Dávila et al., 2011).

- Fibras de coco discontinuas y dispuestas al azar: en esta configuración, las fibras pueden otorgar propiedades isotrópicas, es decir, sus propiedades podrían ser las mismas en todas las direcciones. El procesamiento de este tipo de configuración no es tan complicado. Sin embargo, esta disposición no obtendría la mejor resistencia en comparación con las demás disposiciones que se pueden realizar.
- Fibras de coco discontinuas o continuas y con disposición alineada: para este caso, se produce un ordenamiento lineal de las fibras, donde se disponen paralelamente al eje en que se desea tener la mejor resistencia. En otras palabras, se presenta una anisotropía en las propiedades, dándole solo a una dirección el desempeño requerido. Para este tipo de configuración el procesamiento es un poco más complejo y las técnicas son más limitadas.

- Fibras de coco tejidas: en esta configuración de las fibras, se obtiene una mejor estructura y una mayor estabilidad, otorgándole el mejor desempeño y las mejores propiedades mecánicas al material compuesto.

**Figura 4**

*Posibles orientaciones de las fibras de coco en los materiales compuestos*



*Nota.* a. Fibras continuas y alineadas; b. Fibras discontinuas y alineadas; c. Fibras discontinuas y dispersas. Dávila, J., Galeas, S., Guerrero, V., Pontón, P., Rosas, N., Sotomayor, V., & Valdivieso, C. (2011). *Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales E Industriales*.

**2.6 Durabilidad y Resistencia en Agua de los Materiales Compuestos**

La durabilidad de los materiales compuestos depende de los elementos que lo constituyen y del adecuado procesamiento que se realice. Además, la vida útil que presenta el material también está determinada por las condiciones climáticas en las que se encuentra expuesta durante su servicio.

La resistencia de los elementos individuales del material compuesto proporciona una estimación de su durabilidad. En ese sentido, cabe resaltar los inconvenientes que pueden ocasionar la pérdida de las propiedades mecánicas del material compuesto dando lugar a su baja durabilidad.

Uno de los factores que afecta la pérdida de las propiedades mecánicas del material compuesto es la mala unión de los componentes en la interfaz. Esto puede darse debido principalmente a un inadecuado procesamiento o por la baja compatibilidad que existe entre el polímero termoplástico con las fibras naturales, en este caso, la fibra de coco. También puede ocurrir la degradación de la fibra natural durante el servicio del material provocando su desprendimiento de la zona interfacial con la matriz.

Otro factor que puede perjudicar la durabilidad del material compuesto es la absorción de agua, la cual está determinada en gran medida por el refuerzo. De ahí, se debe a que en la composición química de las fibras se presentan grupos hidroxilos, los cuales son afines a el agua. Por ello, las fibras naturales son catalogadas como hidrofílicas, por ende, a medida que aumenta la cantidad de refuerzo en el material compuesto es más susceptible a absorber mayor humedad. Por otro lado, como se había mencionado anteriormente, las fibras pueden ser tratadas químicamente con el fin de disminuir sus grupos hidroxilos y de tal manera lograr que sean menos hidrofílicos. Con base en aquel tratamiento, se logra que estos materiales tengan mayor resistencia al agua en comparación con los materiales compuestos reforzados con fibras no tratadas químicamente (Hakeem et al., 2014).

## 2.7 Métodos de Manufactura

### *Extrusión*

Este proceso de manufactura se basa fundamentalmente en la aplicación de calor y fuerzas de corte a las materias primas introducidas dentro de la extrusora. La materia prima utilizada principalmente es el polímero, el cual puede ser mezclado junto con fibras para obtener productos de mayores propiedades llamados materiales compuestos. Las materias primas son fundidas dentro del equipo y están expuestas a las fuerzas de corte que ejerce el tornillo giratorio que se encuentra en el interior de un cilindro calentado. Aquel procedimiento genera una mezcla entre el polímero y las fibras, donde finalmente son introducidos por la acción del tornillo dentro de una matriz o boquilla para generar un producto con longitud continua y con una sección transversal constante.

En general, todas las extrusoras presentan tres zonas que conllevan al desarrollo del proceso. En primer lugar, se encuentra la zona de alimentación que está constituida por una tolva en uno de los extremos del equipo. Allí se introducen las materias primas a transformar, donde el material termoplástico puede estar dispuesto en forma de pellets y el refuerzo puede estar en forma de fibras cortas o polvo. Tales materiales son llevados al interior del equipo por medio de la gravedad y posteriormente son compactados y trasladados a la segunda zona llamada transición. En esta zona se da lugar a la fusión de los materiales y finalmente se encuentra la zona de dosificado, donde su función principal es impulsar el material fundido dentro de la matriz, dándole forma al producto final. Además, las extrusoras que trabajan en el procesamiento de materiales compuestos deben tener una zona de gasificación que expulsan las partículas volátiles y la humedad generada por las fibras naturales utilizadas como refuerzo, teniendo en cuenta que una

de las principales condiciones para su procesamiento es trabajar con bajas temperaturas para evitar la degradación de este material orgánico.

Existen diversos tipos de extrusoras utilizadas para realizar este proceso. A continuación, se abarca sobre las extrusoras husillo o tornillo, las cuales son las más utilizadas industrialmente (Beltrán & Marcilla, 2012).

- *Extrusora de un solo tornillo:* Es el equipo más simple debido a que cuenta con un solo tornillo en el interior del cilindro. Las especificaciones del equipo están relacionadas en gran medida con el cilindro y el tornillo, teniendo en cuenta que este último elemento es el que proporciona la función de mezclar, trasladar y homogeneizar el material. La capacidad de rendimiento del tornillo aumenta con la relación de su longitud y diámetro (L/D), el cual típicamente abarca los rangos de 20:1 y 30:1 para el procesamiento de termoplásticos.
- *Extrusora de dos tornillos:* Existen varios modelos de diseño que abarcan este tipo de extrusora, la cual generalmente consta de dos tornillos paralelos ubicados a cierta distancia entre sí. Dependiendo del funcionamiento que se requiera, la extrusora puede ser en co-rotación (los tornillos rotan en el mismo sentido) o contra rotación (los tornillos rotan en sentido opuesto). Este tipo de extrusora es utilizado para la transformación de materiales que deben ser trabajados a menores temperaturas.

### ***Moldeo por Inyección***

Es un proceso automatizado, versátil y frecuentemente usado para la transformación de los materiales termoplásticos dando lugar a piezas con buenos acabados superficiales, diversos tamaños y formas complejas. El procedimiento que sigue el moldeo por inyección es realizado de igual forma para los compuestos termoplásticos reforzados con fibras, donde el refuerzo puede

integrarse a la matriz de dos maneras; la primera es mediante pellets fabricados por el proceso de pultrusión, los cuales son fundidos junto con la matriz y la segunda opción es mediante la incorporación de una preforma del refuerzo en el molde para luego inyectar el material termoplástico. En general, este proceso se fundamenta en la inyección de líquido termoplástico, dentro de las cavidades de un molde precalentado, las materias primas son fundidas dentro de un cilindro que opera a una temperatura ligeramente superior a la temperatura de fusión de los materiales usados con el fin de que presenten una buena fluidez para ser transportados hacia la cavidad del molde. Posteriormente con la ayuda de un pistón, el líquido es impulsado hacia los canales de alimentación del molde hasta llenar totalmente su cavidad. La pieza es enfriada gracias a los canales de enfriamiento que presentan una temperatura muy inferior a la de fusión, finalmente la pieza cuando esta endurecida puede ser extraída por medio de un sistema de eliminación (Mazumdar, 2002).

### ***Moldeo por Compresión***

El moldeo por compresión se fundamenta en la aplicación de calor y presión a un material que se dispone en un molde con el fin de obtener un producto final con la forma deseada. Este proceso puede ser utilizado para la transformación de materiales termoplásticos reforzados con fibras naturales, los cuales previamente pueden estar pre-impregnados, con el objetivo de partir de una preforma para ser llevada al equipo de moldeo por compresión, por otro lado, la matriz y el refuerzo también se pueden disponer o arreglar de tal manera que durante el proceso de compresión se puedan consolidar y formar el producto que se desea.

El material termoplástico reforzado con fibras unidireccionales o tejidas es dispuesto sobre la superficie del molde inferior, el cual previamente debe estar sometido a un precalentamiento.

Después, el material es forzado a llenar todas las cavidades mediante la presión ejercida por el molde superior, que se mueve a una velocidad constante hasta cerrar por completo el molde. Finalmente, el material debe estar en el molde hasta que haya solidificado completamente para ser desmontado (Mazumdar, 2002).

### ***Moldeo por Soplado***

Este proceso de manufactura se fundamenta en la aplicación de presión por medio de aire, el cual cumple la función de extender el material hacia las paredes del molde tomando su forma geométrica y obteniendo productos huecos. El moldeo por soplado es aplicado a materiales termoplásticos debido a la capacidad que estos presentan en una determinada temperatura para ser transformados obteniendo viscosidad, plasticidad y fluidez, fundamentales para su procesamiento. Existen dos combinaciones de procesos que son realizados antes de ejecutar el moldeo por soplado (Kulkarni, 2018).

- *Moldeo por extrusión-soplado:* Para este tipo de moldeo se obtiene una manga tubular por medio del proceso de extrusión. En seguida es llevado dentro del molde que posee la forma y geometría del producto deseado y finalmente es aplicado el aire que ejerce la presión sobre el material, forzándolo hacia las paredes del molde y generando su transformación deseada.
- *Moldeo por inyección-soplado:* Para este tipo de moldeo primero se realiza el proceso de inyección, donde el material obtiene una preforma tubular. Luego aquella preforma es llevada dentro del molde que presenta la geometría del producto deseado. Cuando esté dispuesta en el lugar correspondiente, la preforma es calentada de tal manera que el

material obtenga las condiciones de viscosidad que permitan proceder con el proceso de soplado mediante la aplicación de presión de aire.

## 2.8 Elementos Arquitectónicos.

En el mundo de la construcción, los materiales que son utilizados para decoraciones del hogar o estructuras para casas o edificios pasan por procesos de obtención que contaminan. Es por esto, que los materiales compuestos de objetos reciclados son una gran alternativa para las aplicaciones, ya que junto a sus buenas propiedades desarrollan un conjunto de características en el ámbito de la construcción. Para la presente investigación se ha enfocado inicialmente en tres elementos arquitectónicos:

- *Pisos para exteriores:* En la actualidad se han ido reemplazando los pisos de madera tradicional que se localizan en el exterior de las casas por madera plástica dado que la madera tradicional necesita mantenimiento especial como limpieza, proceso de pulido, pintura, entre otro generando un gasto económico y de tiempo. Mientras que, con la madera plástica, gracias a sus propiedades, resisten a los ambientes exteriores extremos por años sin la necesidad de realizar mantenimiento especial.
- *Estibas:* En las industrias se ha usado la madera tradicional en forma de plataforma como soporte para aplicar cargas, así facilitando el almacenamiento y cuidado de las mercancías de las diferentes industrias. Se ha iniciado el cambio de la madera tradicional por madera plástica ya que es desechada después de su uso dado a que la vida útil ha completado su

ciclo. En cambio, la madera plástica se puede preservar por más tiempo gracias a las propiedades que presenta, teniendo en cuenta su cuidado y tipo de carga que le apliquen.

- *Perfiles extruidos:* Son utilizados comúnmente en la fabricación de perfiles para puertas, ventanas, juegos de niños o apoyos de las vías férreas. El ahorro en la materia prima y la disminución del peso son factores altamente importantes.

### 3. Metodología

#### 3.1 Sondeo Preliminar de Mercado

La investigación de mercado realizada en el área metropolitana de Bucaramanga está enfocada en los sectores económicos de reciclaje y de comercio de elementos arquitectónicos no estructurales. Este sondeo preliminar de mercado en el sector de reciclaje presenta una visión general de la disponibilidad de materiales plásticos reciclados en el área mencionada, lo cual influye en el proceso de selección de la materia prima usada como matriz del material compuesto que se pretende desarrollar para la fabricación de los elementos arquitectónicos. Por otro lado, el sondeo preliminar de mercado en el sector de comercialización de elementos arquitectónicos no estructurales brinda información sobre su posicionamiento económico y un panorama de la oferta de productos con base en materiales compuestos.

#### *Análisis del sondeo preliminar de mercado en el sector de reciclaje*

Los índices de reciclaje de los residuos sólidos aprovechables generados a nivel nacional son bajos en comparación con otros países. Para el año 2018, las estadísticas suministradas por la Superintendencia de Servicios Públicos muestran que los porcentajes de aprovechamiento de aquellos residuos sólidos generados en Colombia se catalogan de la siguiente manera: Papel y cartón (55,3%); metales (28,7%); plásticos (9,3%); vidrio (4,8%); madera (1,4%). Por otro lado, se presenta información de los porcentajes de reciclaje de cada plástico generado a nivel nacional, donde se desatacan: Pet (37,56%); polietileno (4,55%); pvc (3,87%); polipropileno (1,99%).

Por último, también se informa que para el año 2018, el departamento de Santander presentó un 4% de aprovechamiento del material plástico generado por la población (Avendaño et al., 2019). Los municipios que conforman el área metropolitana de Bucaramanga mantienen bajos índices de recuperación y aprovechamiento de los residuos sólidos generados por la población en comparación con otras ciudades del país. Por ello, el área metropolitana de Bucaramanga se ha dado la tarea de fortalecer la cultura ambiental entre sus ciudadanos, empezando con la iniciativa de promover la separación de aquellos materiales aprovechables generados desde casa con el objetivo de evitar que sean desechados en los rellenos sanitarios y así incrementar los porcentajes de reciclaje en sus municipios. También se cuenta con el apoyo de siete organizaciones registradas para la recolección de residuos sólidos aprovechables, entre estas organizaciones se encuentran: Coopreser, Bello Renacer, Recupmsoc, Asoreflor, Areys, Ecopiedecuesta y Reciclemos (AMB, 2018).

De igual manera, la Cámara de Comercio brinda información de otras empresas que se encuentran vinculadas en el sector de recolección de desechos no peligrosos y recuperación de materiales. Algunas de estas organizaciones (ver apéndice A), fueron encuestadas para obtener una estimación de la oferta y demanda que se presenta en el área metropolitana de Bucaramanga con respecto a los materiales plásticos reciclados. La información recolectada se presenta en el apéndice B; allí se proporciona la cantidad promedio de plástico recolectado por mes en cada empresa y también se suministra información del costo promedio del plástico recolectado por los recicladores. Se pudo determinar mediante la encuesta realizada, que la mayor parte de los materiales plásticos reciclados son enviados a otras ciudades como Bogotá, Medellín o Cali, donde se les realiza su transformación para fabricar botellas u otros productos, debido a que, en el área

metropolitana de Bucaramanga, las empresas de transformación de plástico reciclado son limitadas.

### *Análisis del sondeo preliminar de mercado del sector de comercio de elementos arquitectónicos*

La economía del área metropolitana de Bucaramanga está regida por diferentes sectores, siendo los más importantes, la industria textil, la industria del calzado, la prestación de servicios de salud, la educación, entre otros. Según un informe publicado por la Cámara de Comercio de Bucaramanga, la economía santandereana incremento 2,9% en el año 2019 posicionándolo nuevamente como el cuarto departamento más importante en la economía del país, con una participación de 6,9%. Este incremento se debió gracias al aumento de sus diferentes áreas, donde se catalogaron de la siguiente manera: Sector de Servicios (+4%), Industria (+1,3%), Comercio (+4,2%), Construcción (+3,2%), Agropecuario (+2,4%), Minas (-5,8%). Aquellos sectores económicos, a excepción de la minería, obtuvieron un crecimiento económico, otorgándoles una valoración positiva en la participación del producto interno bruto nacional (Observatorio de Competitividad, 2020).

La construcción ha sido una de las industrias que se ha mantenido estable o ha presentado porcentajes de crecimiento desde el año 2015, fecha donde la economía del país no estaba en sus mejores momentos. Este sector se divide en cuatro categorías abarcadas por los insumos, la transformación, la ejecución de obras y uso. La gran parte de las actividades que conforman la construcción ha tenido un avance positivo (Observatorio de Competitividad, 2017).

Existe una gran variedad de empresas en la parte de fabricación de productos para uso estructural y comercio de materiales de construcción, los cuales se encuentran registrados en la Cámara de Comercio. Para el estudio de mercado, se ha realizado una pequeña encuesta a algunas

de las empresas más importantes de este sector, ver apéndice C; con el fin de conocer un panorama del comercio de artículos a base de materiales compuestos, donde se evidencia el bajo índice de productos con este material, verificando el gran potencial que presenta el área metropolitana de Bucaramanga para idealizar el diseño de un proceso industrial en la fabricación de elementos arquitectónicos no estructurales con base en materiales compuestos.

### **3.2 Selección de la Matriz Polimérica.**

La selección del material termoplástico reciclado que se pretende utilizar como materia prima para la matriz del material compuesto a fabricar, se realizó bajo la evaluación cuantitativa de ciertos criterios fundamentales como las condiciones de procesamiento y los factores económicos y geográficos propios del área metropolitana de Bucaramanga, donde se tuvo en cuenta el análisis del sondeo preliminar de mercado realizado en el sector de reciclaje. A continuación, se presentan y definen todas las condiciones necesarias que se tuvieron en cuenta para elegir satisfactoriamente la matriz del material compuesto.

- A. Temperatura De Fusión:* Para la temperatura de fusión del material a ser escogido como matriz, se consideró que debía ser menor a 200°C ya que a partir de esta temperatura, la fibra de coco empezará a degradarse.
- B. Temperatura Vítrea:* Este factor se considera debido a que gracias a esta temperatura se logra la flexibilidad del material, lo cual es un factor importante si se escoge un proceso de manufactura donde solo es necesario tener a la matriz termoplástica en estado de viscosidad, como sucede en el proceso de compresión.

*C. Facilidad De Reciclaje:* Este factor hace referencia a los materiales termoplásticos que tienen gran capacidad y facilidad de ser procesados para transformarlos nuevamente a la vida útil a partir de su reciclaje.

*D. Obtención Del Plástico En Bucaramanga:* Para este criterio de evaluación, se tuvo en cuenta el análisis del sondeo preliminar de mercado previamente realizado.

*E. Costo Del Plástico:* El factor económico de cada plástico también se abarco en el análisis del sondeo preliminar de mercado, donde en las encuestas realizadas se obtuvo un promedio de los precios de compra del material a los recicladores.

La evaluación cuantitativa de los termoplásticos se realizó teniendo en cuenta las características del material por cada condición, las cuales son suministradas en el apéndice D, la ponderación se designó según el cumplimiento de cada factor, donde el máximo puntaje fue catalogado como (5) y el mínimo como (1), estando la calificación en ese rango.

En la tabla 3, se presenta el puntaje obtenido por cada termoplástico, donde se observa que el material que más sobresalió fue el polipropileno, siendo este el escogido como matriz.

**Tabla 3**

*Evaluación cuantitativa para cada tipo de plástico, según sus características.*

	A	B	C	D	E	<b>Total, de puntos</b>
PET	1	1	4	5	2	13
HDPE	5	2	4	1	1	13
LDPE	5	3	1	1	2	12
PVC	2	1	1	1	3	8
PP	4	4	3	1	2	14
PS	2	1	1	1	5	10

Para hallar dichos valores se utilizó la siguiente ecuación lineal:

$$Y = mX + b$$

Donde se reemplazaron los valores máximos y mínimos presentados en el anexo D para cada condición presentada por cada termoplástico estudiado. Una vez se halla la  $m$  y la  $b$ , se procede, con la interpolación, a generar un puntaje para dichos estudios. Estos resultados se ven reflejados en la tabla 3.

### **3.3 Selección del Proceso De Manufactura**

La selección del proceso de manufactura se realizó teniendo en cuenta la evaluación cuantitativa de los factores o condiciones necesarias que fueron planteadas para asegurar la elección de un adecuado y exitoso proceso para desarrollar pisos para exteriores, el cual previamente fue elegido el elemento arquitectónico a realizar en este proyecto.

En primer lugar, se eligieron los tres procesos de manufactura más adecuados para el desarrollo de elementos arquitectónicos no estructurales a base de materiales compuestos. Los procesos escogidos fueron la extrusión, la inyección y la compresión, debido a que son los más comunes y aplicables a este tipo de materiales. A continuación, se presentan y se definen los factores que influyeron en la selección del proceso.

- A. *Temperatura De Operación:* El proceso debe poder trabajar a temperaturas inferiores de 200°C para evitar la degradación y pérdida de las propiedades de las fibras de coco.

- B. Tiempo De Operación:** El proceso seleccionado requiere presentar bajos tiempos de operación para aumentar su productividad.
- C. Optimo Para Tratar La Matriz Seleccionada:** El proceso de manufactura debe presentar la capacidad de transformar el material plástico reciclado (Polipropileno), el cual será usado como matriz para el material compuesto.
- D. Requerimiento Del Proceso:** Este factor se define como la capacidad que presenta el proceso de manufactura para desarrollar el material compuesto como se requiere, para este caso el elemento a ser fabricado debe procurar tener propiedades isotrópicas.
- E. Facilidad Del Proceso:** Este factor se relaciona con que el equipo de procesamiento sea de forma automatizada, donde no se requiera de costos adicionales para su operación, y donde se beneficie la productividad y el rendimiento.
- F. Costos:** Este factor abarca los costos de operación de los procesos de manufactura, donde se tiene en cuenta el precio de los equipos utilizados y de su consumo energético promedio en el día.

La evaluación cuantitativa de los procesos de manufactura se realizó teniendo en cuenta las características de estos para cada factor mencionado, el apéndice E suministra dicha información.

En la tabla 4, se presentan los resultados de la evaluación cuantitativa, donde el proceso de extrusión obtuvo mayor puntaje, por lo cual este es el proceso seleccionado.

**Tabla 4**

*Evaluación cuantitativa para cada proceso de manufactura, según sus características.*

	A	B	C	D	E	F	Total, de puntos
<b>Extrusión</b>	4	5	4	3	4	3	23
<b>Inyección</b>	4	3	4	3	4	3	21
<b>Compresión</b>	4	2	2	3	4	4	19

## 4. Resultados y Discusión

### 4.1 Diseño Conceptual Del Proceso Industrial

#### *Suministro De Materia Prima*

El plástico usado como matriz para el material compuesto del elemento arquitectónico es suministrado de los recicladores, los cuales estarán capacitados para recolectar aquellos productos a base de polipropileno. Por otro lado, las fibras de coco serán compradas de ECOLFIBRAS.

#### *Etapas del Procesamiento Industrial*

- I. *Línea de reciclaje:* En esta etapa se cumplen una serie de procesos consecutivos (separación, trituración, lavado, y secado, los cuales fueron explicados en la sección 3.1), que conllevan a la obtención de un plástico reciclado limpio y reducido. Las máquinas utilizadas para cada proceso forman un conjunto donde su equipo total es denominado línea de reciclaje, las especificaciones de este equipo se muestran en el anexo F.
- II. *Extrusión:* Esta es la etapa más importante del proceso de producción, donde el plástico reciclado y las fibras de coco se funden, se mezclan, se plastifican y se moldean. En esta etapa de procesamiento, se incorporan pequeñas cantidades de polipropileno injertado con anhídrido maleico (PP-g-MA), el cual es un agente acoplante utilizado para mejorar la unión entre la matriz y el refuerzo, dando lugar a mejores propiedades como resistencia a la tracción, rigidez y dureza. En la tabla 5, se muestran los porcentajes de composición de las materias primas y los aditivos que conforman el material compuesto. Cabe destacar,

que estas composiciones provienen del estudio de la investigación “Polypropylene Composites Reinforced With Untreated and Chemically Treated Coir: Effect of the Presence of Compatibilizer” (Bettini et al., 2014), donde se verificaron las buenas propiedades que se generan al unir polipropileno con fibras de coco. En el presente artículo, también se presentan las condiciones de procesamiento donde se menciona que la temperatura de trabajo dentro de la extrusora es de 180°C y la frecuencia del rotor es de 50 rpm. La extrusora utilizada para llevar a cabo este tipo de extrusión es la de dos husillos entrelazados que funcionen en contra rotación debido a la facilidad que presentan para la plastificación y unión de los materiales. Además de requerir de menores temperaturas para su procesamiento. Las especificaciones de la máquina se presentan en el anexo G.

**Tabla 5**

*Porcentajes de composición de las materias primas.*

<b>Materia Prima</b>	<b>% Composición</b>
<b>Polipropileno reciclado</b>	66
<b>Fibra de coco</b>	30
<b>Agente Acoplante (PP-g-MA)</b>	4

*Nota.* Bettini, S., Biteli, A., Baltus, B., & Morandim-Giannetti. (2014). Polypropylene Composites Reinforced With Untreated and Chemically Treated Coir: Effect of the Presence of Compatibilizer. *Polymer Engineering And Science*. <https://DOI 10.1002/pen.24047>

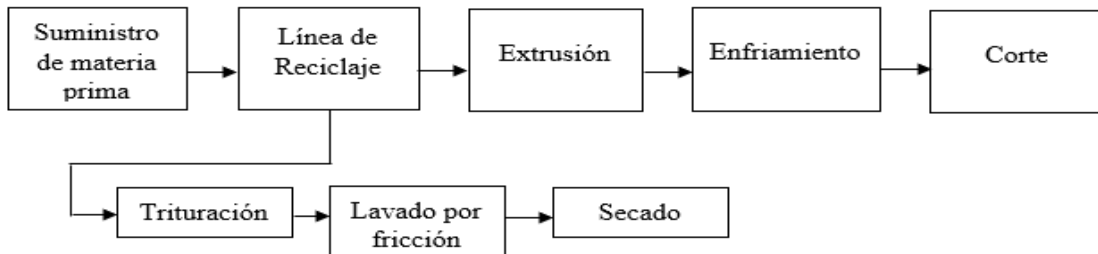
- III. *Enfriamiento:* Después de la etapa anterior, se procede a llevar el perfil hasta la zona de enfriamiento, el cual consta de un tanque de agua y accesorios que se van a encargar de sujetar y fijar las dimensiones del perfil final. Esta etapa es crítica al requerir de un enfriamiento uniforme en toda la pieza para evitar deformaciones y tensiones residuales

durante la solidificación total del elemento. Las especificaciones de la máquina se presentan en el anexo H.

- IV. *Extracción:* En esta zona, el perfil obtenido por la extrusión pasa por medio de correas tipo oruga con el fin de someter al elemento a un arrastre y de esta manera trasladar el perfil a una velocidad constante y presión adecuada por la zona de enfriamiento, ver anexo I.
- V. *Corte:* El perfil extruido es trasladado a la zona de corte por medio de la extractora. En esta zona es utilizada una sierra que realiza el corte en el perfil a una longitud deseada con base en una señal predeterminada. Las especificaciones del equipo se muestran en el anexo J.

**Figura 5**

*Diagrama de flujo del proceso industrial*

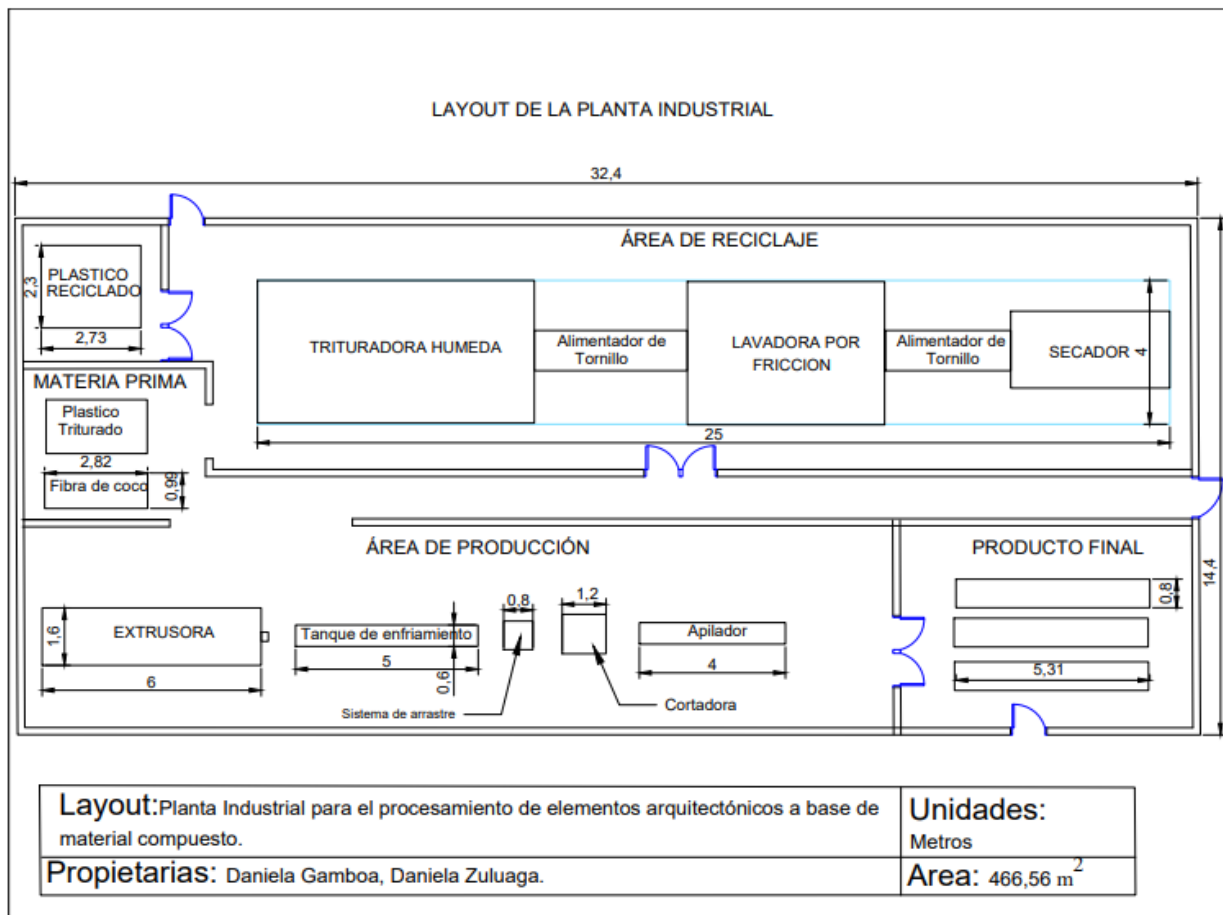


## 4.2 Layout de la planta

En la figura 6, se presenta la distribución de los equipos que son utilizados para la fabricación de los elementos arquitectónicos no estructurales a base de material compuesto, que en este caso particular son pisos para exteriores. Las distribuciones del espacio se realizaron teniendo en cuenta las dimensiones de cada equipo necesario para el procesamiento y de las zonas particulares en que se dividen: zona de reciclaje, de producción, de almacenamiento de materia prima y producto final.

**Figura 6**

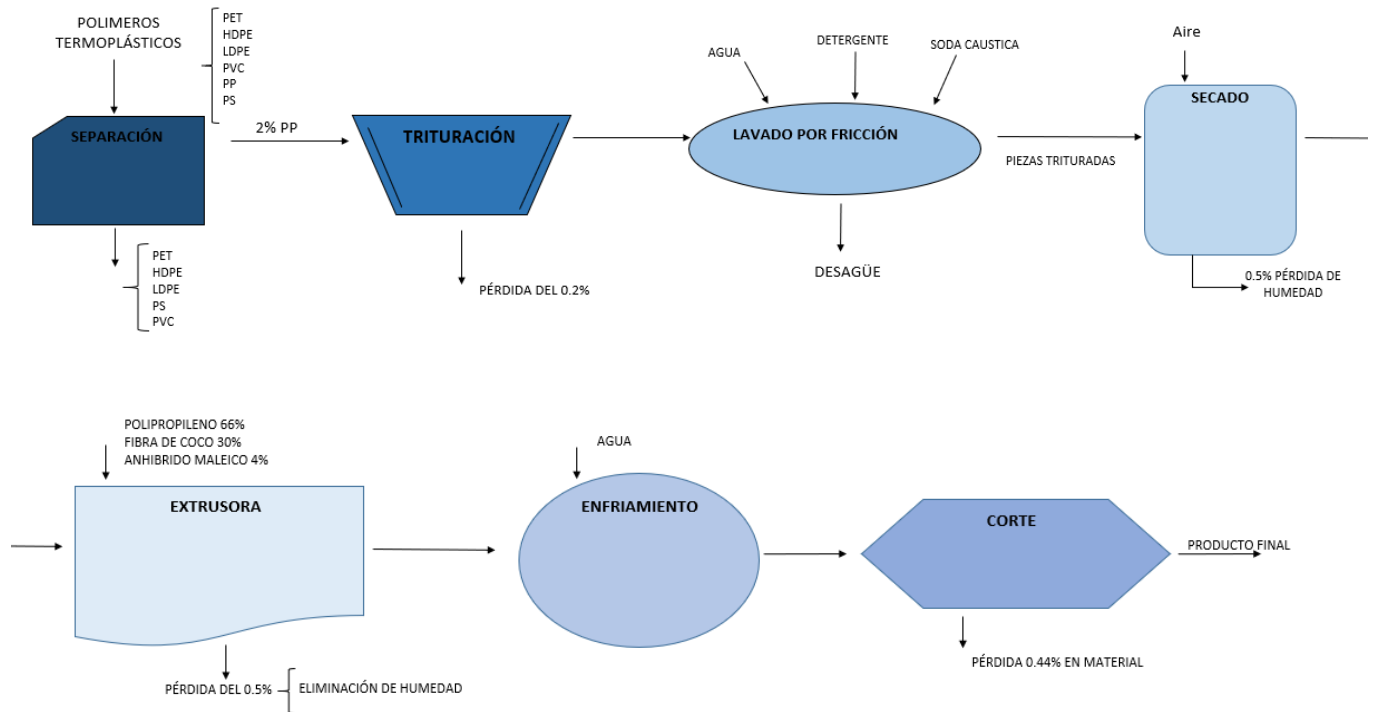
*Layout de la planta industrial*



### 4.3 Balance de masa

**Figura 7**

*Balance de masa para el proceso de fabricación de elementos basados en material compuesto*



En la anterior imagen se observa un posible balance de masa dado para el estudio realizado, donde los porcentajes y condiciones fueron anteriormente explicadas. Para dicha operación se tuvo en cuenta la capacidad de la extrusora (600kg) y a partir de este dato, con los porcentajes de entrada de cada material en la extrusora, se halló el total de kilogramos que se deben recolectar de polipropileno para llevar a cabo este proceso.

## 5. Conclusiones

Con las investigaciones bibliográficas y el análisis del sondeo preliminar de mercado realizadas para este proyecto, se pudo evidenciar que en la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana hay escasez de empresas que se dediquen al reciclaje y procesamiento del plástico. De igual manera, el comercio para elementos arquitectónicos no estructurales a base de material compuesto es muy limitado o casi nulo en esta zona, por ende, se considera que es un proyecto viable.

Al realizar las respectivas encuestas a las empresas recicladoras se pudo evidenciar que reciben, en su mayoría, plástico PET que, junto con los demás plásticos, son mezclados para así realizar pellets y ser enviados a las empresas que procesan esta materia prima para la realización de objetos nuevos. El polipropileno fue seleccionado como matriz ya que cumplió con la mayoría de las condiciones estipuladas durante este estudio, siendo económica, presentando óptimas propiedades para su desarrollo en un material compuesto, y junto con las fibras de coco obtenidas de una empresa antioqueña ECOLFIBRAS se realizó el proceso para la fabricación de elementos arquitectónicos no estructurales. El proceso de extrusión fue elegido como el de mayor posibilidad de éxito en la evaluación cuantitativa, ya que cumplió con criterios económicos, de operación, alta productividad, facilidad y capacidad de elaborar diferentes elementos; sin embargo, solo se enfocó en la fabricación de pisos para exteriores, ya que en la ciudad de Bucaramanga y sus alrededores son de gran importancia y uso para las zonas comunes de los conjuntos, hoteles o clubes, además de sus múltiples propiedades y ventajas que tendrían a largo plazo a comparación de los materiales tradicionalmente fabricados.

## Referencias Bibliográficas

- Agencia Efe S.A. (2018, November 11). *Colombia solo recicla el 17% de las 12 millones de toneladas de residuos sólidos | Economía | Portafolio*. Portafolio.  
<https://www.portafolio.co/economia/colombia-solo-recicla-el-17-de-las-12-millones-de-toneladas-de-residuos-solidos-523236>
- AMB. (2018). *Residuos Sólidos - RESPEL y RCD* . <https://www.amb.gov.co/residuos-solidos-respel-y-rcd/>
- Avendaño, N., Bayona, M., Ojeda, A., & García, W. (2019). *Informe Sectorial de la Actividad de Aprovechamiento 2018*. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.  
[https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Ene/informe\\_sectorial\\_aprovechamiento\\_2018.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Ene/informe_sectorial_aprovechamiento_2018.pdf)
- Banco Mundial. (2018, September 20). *Informe del Banco Mundial: Los desechos a nivel mundial crecerán un 70 % para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes*. World Bank. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>
- Beltrán, M., & Marcilla, A. (2012). Extrusión. In *Tecnología de Polímeros*.
- Bettini, S., Biteli, A., Baltus, B., & Morandim-Giannetti. (2014). Polypropylene Composites Reinforced With Untreated and Chemically Treated Coir: Effect of the Presence of Compatibilizer. *Polymer Engineering And Science*. <https://DOI.10.1002/pen.24047>
- Carabajal, T., Prado, G., Ruiz, G., & Zonco, S. (n.d.). *Reciclaje de plásticos*.
- Centeno, G. (2011). Morfología de los polímeros. *La Química de Los Polímeros*.  
<http://profguillermojcentenob.blogspot.com/2011/05/>
- Dávila, J., Galeas, S., Guerrero, V., Pontón, P., Rosas, N., Sotomayor, V., & Valdivieso, C. (2011). *Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales E Industriales* (Víctor Guerrero (ed.)).

- Escudero, A., & Aristizabal, J. (2012). *Caracterización mecánica de fibras de coco como refuerzo de materiales compuestos poliméricos*. Universidad Libre.
- Extrudex Kunststoffmaschinen. (n.d.). *PS 400 Precision saw with debris exhaustor*.
- Focus Technology Co. (n.d.-a). *China Plastic Recycling Machine Recycle Line - China Recycle Machine, Recycling Machine*. Retrieved January 7, 2021, from <https://tongsanmachine.en.made-in-china.com/product/VSPnKsIznyrL/China-China-Plastic-Recycling-Machine-Recycle-Line.html>
- Focus Technology Co. (n.d.-b). *China Water Trough/Water Cooling Tank in Extrusion Line - China Water Bath, Water Cooling Tank*. Retrieved January 7, 2021, from <https://njkairong.en.made-in-china.com/product/uNqmDtJUHCKv/China-Water-Trough-Water-Cooling-Tank-in-Extrusion-Line.html>
- Hakeem, K. R., Jawaid, M., & Rashid, U. (2014). Biomass and bioenergy: Processing and properties. In *Biomass and Bioenergy: Processing and Properties* (Vol. 9783319076, pp. 1–367). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-07641-6>
- Hernando, L., Ing, P., Joya, E., & Agrónomo, I. (2005). *Reconocimiento de las características, obtención y utilización de la estopa de coco*.
- Kulkarni, G. S. (2018). *Introduction to Polymer and Their Recycling Techniques*. Recycling of Polyurethane Foams; Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-51133-9.00001-2>
- Mazumdar, S. K. (2002). *Composites Manufacturing*. CRC PRESS.
- Observatorio de Competitividad. (2017). *Estructura y dinámica de la construcción*. Cámara de Comercio de Bucaramanga. [https://www.camaradirecta.com/temas/documentos/pdf/cluster\\_construccion/2017/estructura\\_dinamica\\_construccion.pdf](https://www.camaradirecta.com/temas/documentos/pdf/cluster_construccion/2017/estructura_dinamica_construccion.pdf)
- Observatorio de Competitividad. (2020). *Producto Interno Bruto Santander 2019*. Cámara de Comercio de Bucaramanga. [https://www.camaradirecta.com/temas/documentos/pdf/informes\\_de\\_actualidad/2020/PIB\\_Santander\\_2019.pdf](https://www.camaradirecta.com/temas/documentos/pdf/informes_de_actualidad/2020/PIB_Santander_2019.pdf)
- Plastemart. (n.d.). *Multi Track Synchronized Haul Off For Plastic Extrusion*. Retrieved January 7, 2021, from <http://www.plastemart.com/haul-off-take-off/radhekrishna-extrusions->

india/4775/ptp

Rojas, A. F., & López, D. F. (2018). *Factores que influyen las propiedades mecánicas, físicas y térmicas de materiales compuestos madero plásticos*. 12(23), 93–102.

Salit, M. S., Jawaid, M., Yusoff, N. Bin, & Hoque, M. E. (2015). Manufacturing of natural fibre reinforced polymer composites. *Manufacturing of Natural Fibre Reinforced Polymer Composites*, 1–383. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-07944-8>

Shanghai JWELL Machinery Co. (n.d.). *Maquinaria de extrusión*. Retrieved January 7, 2021, from <https://www.jwell.cn/uploadfile/2017/1108/20171108052147279.pdf>

Velásquez R., S. M., Peláez A., G. J., & Giraldo V., D. H. (2016). Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica : una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos Use of vegetable fibers in polymer matrix composites : a review. *SENA Centro Nacional de Asistencia Técnica a La Industria*, 77–86.

**Apéndices**

Apéndice A. Datos de las empresas encuestadas del sector de reciclaje.

<b>ORGANIZACIÓN Y/O EMPRESA</b>	<b>NIT</b>	<b>TELEFONO Y/O CELULAR</b>	<b>UBICACIÓN PRINCIPAL</b>
Cooperativa Multiactiva de Recicladores Bello Renacer	9004540991	(7)6467133	Km 4 Vía Bucaramanga-Girón Centro de Acopio El Carrasco
Cooperativa de Trabajo Asociado de Recicladores Unidos por El Medio Social Colombiano (Recupmsoc)	9007643601	3143668868	Calle 33 # 9e-05 La Cumbre
Asociación de Recicladores y Recuperadores del Área Metropolitana de Bucaramanga y Municipios de Santander Reciclemos (Reciclemos)	9006451452	3125299388	Calle 31 #11- 54 Barrio García Rovira
Ecorecicla S.A.S.	9000903842	3214764260	Calle 19 a 13 51 Barrio Gaitán
Asociación De Recicladores El Guamito	9014000685	3164396630	Carrera 12 58 09 Barrio los Alares
Eco Recicla Cavar S.A.S	9012233831	3128766884	Calle 9 21 55 Barrio la universidad

Apéndice B. Resultados de las encuestas realizadas a las empresas del sector de reciclaje.

<b>ORGANIZACIÓN Y/O EMPRESA</b>	<b>CANTIDAD PROMEDIO DE PLASTICO QUE RECICLAN POR MES (Toneladas)</b>	<b>COSTO PROMEDIO DEL PLASTICO RECICLADO (Pesos/Tonelada)</b>
Cooperativa Multiactiva de Recicladores Bello Renacer	7	600.000 – 1.000.000
Cooperativa de Trabajo Asociado de Recicladores Unidos por El Medio Social Colombiano (Recupmsoc)	10-14	600.000 – 1.000.000
Asociación de Recicladores y Recuperadores del Área Metropolitana de Bucaramanga y Municipios de Santander Reciclemos (Reciclemos)	8	700.000 – 1.000.000
Ecorecicla S.A.S.	3	400.000 – 1.000.000
Asociación De Recicladores El Guamito	2-3	200.000 – 800.000
Eco Recicla Cavar S.A.S	8-10	400.000 – 800.000

Apéndice C. Datos y resultados de las empresas encuestadas del sector de comercialización de elementos arquitectónicos.

Empresa	Dirección	Teléfono	Comercializa productos a base de materiales compuestos	
			Si	No
Ferretería Aldía	Carrera 16 42-22, Cra. 15 #42-37	6305555		X
Distribuciones Colombia S.A.S	Dg. 15 #Calle 59-14	6573000		X
Casa del constructor S.A.	Cr 15 # 30-35	6423001		X
Homecenter	21 # 45-02		X	
Corona	Carrera 26 N. 64-73	6570406		X
Alfa	Cra. 27 # 36-07	6451868		X

Apéndice D. Características de los diferentes termoplásticos de uso comercial.

Condición	Símbolo	TERMOPLÁSTICOS					
		1-PET	2-HDPE	3-PVC	4-LDPE	5-PP	6-PS
Punto de fusión	(A)	260°C	110°C	212°C	110°C	160°C	220°C
Temperatura vítrea	(B)	80°C	(-325°C a -120°C)	80°C	(-35°C a -120°C)	(-15°C a -300°C)	95°C
Facilidad de reciclaje (%tasas reciclaje)	(C)	Fácil (27%)	Fácil (31%)	Muy Difícil (3%)	Factible (7%)	Factible (18%)	Difícil (2%)
% Obtención	(D)	37,56%	5%	4%	5%	2%	2%
Costo (Pesos/ kg)	(E)	700	800	500	700	700	300

Apéndice E. Características importantes de los métodos de manufactura.

Condición	Símbolo	EXTRUSIÓN	INYECCIÓN	COMPRESIÓN
Temperatura de operación	(A)	Temperatura de fusión de la matriz	Temperatura de fusión de la matriz	150-200°C
Tiempo o ciclo de operación	(B)	Proceso continuo	20-60 (segundos)	2-5 (minutos)
Material trabajable	(C)	Todo termoplástico	PP, HDPE, LDPE, PET.	Ocasionalmente termoplásticos.
Requerimientos del proceso	(D)	Isotrópicos	Isotrópicos Anisotrópicos	Isotrópicos Anisotrópicos
Facilidad del proceso	(E)	Automatizado	Automatizado	Automatizado
Costos	(F)	Alto	Alto	Medio

Apéndice F. Especificaciones del equipo de la línea de reciclaje.


<b>LÍNEA DE RECICLAJE</b>	
<b>Modelo</b>	TS-Reciclar
<b>Dimensiones L/W/H (m)</b>	25*1*4
<b>Marca Comercial</b>	Tongsan
<b>Potencia (Kw)</b>	55
<b>Voltaje (V)</b>	220-440
<b>Capacidad (Kg/h)</b>	300-1000
<b>Cuchilla giratoria</b>	8
<b>Cuchilla fija</b>	4
<b>Cantidad de tornillos</b>	3-5
<b>Poder de calefacción (Kw)</b>	70
<b>Peso (Kg)</b>	40000



*Nota.* Focus Technology Co. (n.d.-a). *China Plastic Recycling Machine Recycle Line - China Recycle Machine, Recycling Machine.* Retrieved January 7, 2021, from <https://tongsanmachine.en.made-in-china.com/product/VSPnKsIznyrL/China-China-Plastic-Recycling-Machine-Recycle-Line.html>.

Apéndice G. Especificaciones del equipo de extrusora.

<b>EXTRUSORA</b>	
<b>Modelo</b>	SJZ-92
<b>Dimensiones L/W/H (m)</b>	6 * 1.6 *2.5
<b>Capacidad de extrusión (Kg/h)</b>	600
<b>Potencia (Kw)</b>	90
<b>Peso (Kg)</b>	8000
<b>Cantidad de tornillos (cónicos)</b>	2



*Nota.* Shanghai JWELL Machinery Co. (n.d.). *Maquinaria de extrusión.* Retrieved January 7, 2021, from <https://www.jwell.cn/uploadfile/2017/1108/20171108052147279.pdf>

Apéndice H. Especificaciones del equipo de sistema de enfriamiento.

<b>SISTEMA DE ENFRIAMIENTO</b>	
<b>Modelo</b>	HS
<b>Dimensiones L/W (m)</b>	5*0,6



*Nota.* Focus Technology Co. (n.d.-b). *China Water Trough/Water Cooling Tank in Extrusion Line - China Water Bath, Water Cooling Tank.* Retrieved January 7, 2021, from <https://njkairong.en.made-in-china.com/product/uNqmDtJUHckv/China-Water-Trough-Water-Cooling-Tank-in-Extrusion-Line.html>

Apéndice I. Especificaciones del equipo de sistema de arrastre.

<b>SISTEMA DE ARRASTRE</b>	
<b>Modelo</b>	RKHO-200
<b>Potencia Motor</b>	1,5Kw
<b>Línea de Velocidad</b>	15 m/min
<b>Longitud de contacto</b>	800 mm



*Nota.* Plastemart. (n.d.). *Multi Track Synchronized Haul Off For Plastic Extrusion*. Retrieved January 7, 2021, from <http://www.plastemart.com/haul-off-take-off/radhekrishna-extrusions-india/4775/ptp>

Apéndice J. Especificaciones del equipo de corte y apilador.

**SIERRA DE PRECISIÓN Y APILADOR**

<b>Modelo</b>	PS 400
<b>Max. Perfil cortable (mm)</b>	230x60
<b>Línea de Velocidad (m/min)</b>	0-15
<b>Voltaje (V)</b>	400
<b>Longitud de carrera (mm)</b>	500
<b>Capacidad del motor de sierra (Kw)</b>	1,5
<b>Diámetro hoja-sierra (mm)</b>	300-400
<b>Dimensiones L/W/H (mm)</b>	1200*1100*1600
<b>Largo del apilador</b>	4000 mm



*Nota. Extrudex Kunststoffmaschinen. (n.d.). PS 400 Precision saw with debris exhaustor.*