

INVESTIGACIÓN

IN - 02 PROYECTO EN CURSO VERSIÓN: 03

Información General

IIIIOIII	iacion General												
Facult	ad: FACULTAD DE CIENCIAS	NATURALES E ING	ENIE	RÍA									
					Grupo(s) de Investigación DIANOIA								
Semillero de Investigación en Tecnologías Disruptivas / GITEDI						201	6	GITEDI					
• Cont • Dise • Mant • Mate • Educ	s de Investigación ncia energética y energías rend rol, automatización e instrume ño, simulación y prototipado, enimiento e integridad de equ riales y Nanotecnología, cación, pedagogía y didáctica	ntación											
Areas	del saber (1)												
	Ciencias Naturales	Х	2. Ingeniería y Tecnologías										
	3. Ciencias Médicas y de la S	Salud					rícolas						
	5. Ciencias sociales	6. Humanidades											
				No. de identificación y lugar de expedición 91267002 Bucaramanga									
	e Formación Académica				Χ	Ases	or						
Maestr	ia				Χ	Líder de semillero							
Celular	3002049762		Corre	eo Ele	ctrónic	co Isar	miento@	@correo.uts.edu.co					
Inforn	nación de los autores												
	Nombre	No. Identificación y lugar de expedición:			Celul	ar		Correo Electrónico					
JOAN :	SEBASTIÁN GALÁN LUNA	13570735	302	3636	826			joansebastian2806@hotmail.com					
ORLANDO OJEDA PIÑEREZ 1104125312					299			orlandodbs@hotmail.com					
Proye													
1. Título del Proyecto DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA					TC			id del Proyecto (2)					
PROD REUT	PA	PI	TG	RE	Otra. C	cual?							

2. Planteamiento de la Problemática:

TEREFTALATO), ÚTIL PARA LA IMPRESORA 3D

El Tereftalato de Polietileno, mejor conocido como PET, fue patentado como un polímero para fibra por los científicos británicos Whinfield y Dickinson en 1941. La producción comercial de fibra de poliéster comenzó en 1955, desde entonces se registra un crecimiento exponencial del producto a partir del descubrimiento de sus múltiples posibilidades de uso, pues ofrece ventajas sobre otros materiales porque es ligero, resistente, económico y duradero. A partir de 1976 se le usa para la fabricación de envases, principalmente para bebidas. Solheim (2018) afirma que:

Desde la década de los años 50 la producción del plástico ha superado a la de casi todos los otros materiales. Mucho del plástico que producimos está diseñado para ser desechado después de haber sido utilizado una sola vez. Como

resultado, los envases plásticos representan aproximadamente la mitad de los residuos plásticos en el mundo. La mayor parte de estos residuos se generan en Asia, mientras que Estados Unidos, Japón y la Unión Europea son los mayores productores mundiales per cápita de envases plásticos.

Sólo el 9% de los nueve mil millones de toneladas de plástico que se han producido hasta ahora en el mundo han sido recicladas. La mayoría termina en vertederos, basureros o en el medio ambiente. Si los patrones de consumo y prácticas de gestión de residuos actuales continúan, entonces para el año 2050 habrá aproximadamente unos 12 mil millones de toneladas de basura plástica en los vertederos y en el medio ambiente (p.VI).

Los residuos plásticos causan enormes problemas ambientales, pues estos tardan casi 1.000 años en degradarse, tiempo suficiente en el que se puede ocasionar daños irreversibles al ecosistema.

El reciclaje es un proceso que tiene como objetivo la transformación de los residuos en nuevos productos; de esta manera se restituye su valor económico, evitando así su disposición final.

Aunque el PET es 100% reciclable y fácilmente reprocesable, estas cualidades están lejos de ser consideradas una ventaja. En Colombia para el año 2015, sólo el 26% de envases PET fueron reciclados. Estudios realizados por Enka de Colombia demostró que Colombia es un país que está ubicado por debajo de la media mundial en el reciclaje de botellas elaboradas con material PET (promedio de 41%); países como Japón (78%), Brasil (56%) y Australia (42%) superan la media (Suárez, 2016).

Una de las grandes revoluciones tecnológicas de los últimos años es la impresión en 3D. Se trata del proceso de creación de un objeto físico tridimensional a partir del uso de un filamento, materia prima de la impresión 3D. Por tanto, una alternativa amigable con el medio ambiente es la fabricación de filamentos para impresión 3D a partir del uso de material reciclado PET.

Por lo anterior, el interrogante que surge en nuestro proyecto es: ¿Cómo diseñar una planta piloto que transforme el Tereftalato de Polietileno o más comúnmente llamado PET en filamentos para impresión 3D?

3. Antecedentes:

En los últimos años, los métodos de impresiones en 3D se han incrementado de forma exponencial. Estas máquinas de impresión son fáciles de adquirir y están presentes en la mayoría de empresas, específicamente en los sectores industriales, de manufactura, y en instituciones de educación, investigación y desarrollo.

Pachón (2007) planteó en su proyecto desarrollado bajo el título "Plan de negocios para una empresa recicladora de plástico PET, en la ciudad de Bogotá D.C." que es viable económica, ecológica y socialmente el desarrollo de empresas con exclusividad de reciclar residuos PET; así mismo afirmó que "Las investigaciones de mercado realizadas, arrojan información positiva; en cuanto al mercado hay un gran potencial de clientes, la abundancia de materia prima y de proveedores que pueden cubrir las necesidades de materia prima a bajos costos en la ciudad de Bogotá, localidad de Suba, el proyecto es económicamente rentable, profesionalmente exitoso y deja la satisfacción del crecimiento personal en el desarrollo de una oportunidad visualizada" (p. 14).

Vela, Robles y Urrego (2016) exploraron la posibilidad de implementar nuevos métodos de recolección de material PET, basados en el desarrollo de un estudio de mercado, un estudio técnico y finalmente un estudio administrativo y financiero del modelo de un proyecto que brinda alternativas para la implementación de nuevos métodos que contribuyan a la recolección eficiente de materiales sólidos con potencial a ser reciclados para disminuir el impacto ambiental.

Ortega y Vitola (2011) propusieron el rediseño básico de una planta de Reciclaje de PET de Polisuin S.A. en Cartagena, cuyo proceso operativo permite un reciclaje mecánico de PET post-consumo, y un sistema de tratamiento de los efluentes producidos en el transcurso del mismo. Este proyecto es una referencia valiosa ya que el rediseño propuesto de la planta representa una considerable reducción del consumo de agua en el proceso con la fusión de las operaciones de lavado y enjuague en un mismo equipo, y una operación de secado eficiente conservando un movimiento continuo que facilita el empaque de PET.

Castillo, Macero y Villacreses (2004) determinaron la viabilidad técnica y financiera del "Proyecto de inversión para la instalación de una planta recicladora de Polietilén Tereftalato (PET) para transformar los desperdicios plásticos de PET generados por la ciudad Guayaquil en escamas recicladas para destinarlas a la exportación". Estimaron que en promedio se podría reciclar el 35% del volumen de desperdicio plástico que la ciudad de Guayaquil produce, siendo éste cerca de 178 Toneladas/mes. La inversión que se requiere para poner en marcha la planta es de \$687.788, con un periodo de recuperación de la inversión de aproximadamente 7 años y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 26%, lo que deduce que el proyecto planteado es rentable.

Arteaga (2015) fabricó y caracterizó filamentos para impresoras 3D a partir de materiales reciclados, como PLA (ácido poliláctico) o ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), recuperando piezas defectuosas de otras impresiones y utilizando otros polímeros con composición adecuada y materiales en forma de cargas como fibras naturales o polvo de residuos. Los resultados evidenciaron que el filamento fabricado posee buenas características una vez probado en la impresión de piezas en 3D mediante el uso de la impresora RepRap del Laboratorio de Fabricación Digital de la Universidad de La Laguna - España, ya que se ajustaron los parámetros de temperatura tanto de extrusión como de refrigeración, se estableció el método de recogida del filamento y se determinó el diámetro óptimo del hilo para su uso.

Gutiérrez y Vargas (2017) diseñaron y fabricaron una maquina extrusora para la fabricación de filamentos de impresoras 3D, utilizando polipropileno obtenido mediante la trituración de tapas de botellas. El dimensionamiento de la máquina extrusora se basó en 1 m de alto, 6,60 m de ancho y 1,5 m de largo. El diseño dio como resultado un diámetro del huesillo de 0,0277 m, longitud del huesillo de 0,557 m, número de filetes del huesillo 20, potencia requerida de 1 HP, revoluciones del huesillo 36 rpm para obtener una producción de 3,3 kg/h de filamento de 3 mm de diámetro. La fabricación de la máquina se realizó a partir del diseño elaborado en SolidWorks. Se logró que el filamento saliera sin problemas, en un rango de temperaturas entre 165 a 175 °C.

García Acevedo (2015) diseñó una máquina capaz de tratar materiales termoplásticos, para generar a partir de éstos, un filamento útil para impresoras 3D. Para ello, se estudió el comportamiento de una extrusora previamente diseñada con partes fabricadas; posteriormente se definió la geometría general y las variables de diseño más adecuadas para

representar un calefactor para la extrusión de filamento. Una vez definida la forma general del calefactor, se modelo a partir de diferencias finitas su campo de temperaturas en operación. Para lograr la solución de las ecuaciones desarrolladas, se programó una aplicación computacional en lenguaje Java, lo que permitió resolver el calefactor con medidas, materiales y estado de operación particular, dando como resultado el campo de temperaturas de todo el equipo.

Parra (2017) propone el diseño de una extrusora de filamento a partir de plásticos reciclados, los cuales pueden ser empleados para técnicas de impresión 3D. El diseño desarrollado produjo filamento de PLA (ácido poliláctico) y ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) en diferentes diámetros, con un caudal mínimo de 0,25 kg/h (un kilogramo cada 4 h para el ABS de 1,75 mm) y un caudal máximo de 0,66 kg/h (un kilogramo cada 1,5 h para el PLA de 3 mm). El dimensionamiento del diseño fue de 0,2 m de alto, 1,2 m de largo y 0,2 m de ancho y el costo total de la máquina fue de 360 USD. Las funcionalidades de la extrusora incorporaron motor del huesillo con velocidad regulable, zona de control de temperatura, diseño modular, sistema de extracción de velocidad regulable que permite la fabricación de diferentes diámetros y tolerancias, sistema de refrigeración por aire, sistema repartidor de filamentos y sistema de bobinado del filamento en carretes.

Chávez (2018) diseñó una extrusora de filamento para impresora 3D, basado en el funcionamiento de polipropileno reciclado, con capacidad de producción de 0,250 kg/h. Este diseño contemplo el desarrollo de cálculos matemáticos de cada uno de los componentes de la extrusora hasta la etapa de modelado en 3D donde se visualiza el diseño al detalle (planos y despiece del prototipo) y su funcionamiento.

4. Justificación:

Los plásticos y el reciclaje siempre son un tema actual, debido a que se trata de materiales de alto valor. El material PET es uno de ellos, ya que como plástico reciclado, es de gran uso en la industria de bebidas, textilera o automotriz. Por consiguiente, se desea desarrollar una planta piloto que transforme el material plástico desechado, en este caso los residuos PET, en filamentos utilizados particularmente en impresoras 3D. La idea de implementación de esta planta se ha realizado para ser llevada a cabo en la ciudad de Barrancabermeja, dado que no existe ninguna planta de esta índole en la ciudad.

El proyecto pretende reutilizar las propiedades tanto químicas como mecánicas de las botellas PET como fuente generadora para la fabricación de filamentos. Además, el modelo de software SolidWorks permitirá utilizar las herramientas fundamentales de simulación y control de calidad en la creación del diseño de la planta piloto, que tiene como principal tarea realizar los procedimientos y requerimientos adecuados para la extrusión del material PET, permitiendo así salvaguardar la producción final de los filamentos empleados en la impresión 3D.

Por último, es importante mencionar que el principal beneficiado de este proyecto es la sociedad en sí misma, ya que tiene como intención principal incentivar el reciclaje y aprovechamiento de los desechos que provienen en su mayoría del consumo domiciliario y urbano, experimentando también un crecimiento de responsabilidad social y satisfaciendo la creciente demanda de material para impresión tridimensional.

Con este proyecto se pretende optar al título de "Ingeniero Electromecánico". Así mismo, los autores desarrollarán habilidades competitivas que implican los campos de diseño de ingeniería y proyectos de investigación industrial a partir del uso eficiente de las 3R (reducir, reutilizar y reciclar) en la innovación de material PET.

5. Marcos Referenciales:

Impresión 3D

Las tecnologías de impresión 3D están basadas en las denominadas "tecnologías de procesos aditivos", donde un objeto es creado mediante la superposición de varias capas de un material, generalmente plástico, hasta lograr la pieza deseada. Estas máquinas operan a través de un inyector de material, que se desplaza en tres dimensiones (X, Y, Z), controlado por un software, el cual usa como patrón de fabricación un modelo 3D.

Dentro de las ventajas que sobresalen del uso de esta tecnología está la capacidad de obtener piezas personalizadas con formas complejas, casi imposibles de fabricarse con tecnologías tradicionales. También se destaca la capacidad de resultado, de un objeto físico totalmente listo para el uso, directamente desde el modelo 3D, sin necesidad de pasar por otros procesos.

Existe una gran diversidad de métodos disponibles para la impresión 3D. Sus principales diferencias se encuentran en la forma en la que se usan las diferentes capas para crear piezas. Algunos métodos como el Modelado por Deposición Fundida (FDM) o el Sinterizado Selectivo por Láser (SLS) utilizan fundido o ablandamiento del material para producir las capas, mientras que otros depositan materiales líquidos que son tratados con diferentes tecnologías (López, 2016). En la

Tabla 1 se resumen las principales tecnologías disponibles:

Tabla 1. Tecnologías para impresión 3D.

Tipo	Tecnología	Material							
Extrusión	Modelado por Deposición Fundida (FDM)	Termoplásticos (PLA, ABS), metales eutécticos, materiales comestibles							
Hilado	Fabricación por Haz de Electrones (EBF3)	Casi cualquier aleación de metal							
Granulado	Sinterizado de Metal por Láser (DMLS)	Casi cualquier aleación de metal							

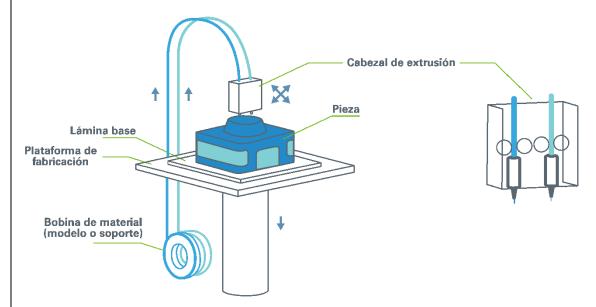
	Fusión por Haz de Electrones (EBM)	Aleaciones de Titanio								
	Sinterizado Selectivo por Calor (SHS)	Polvo termoplástico								
	Sinterizado Selectivo por Láser (SLS)	Termoplásticos, polvos metálicos, polvos cerámicos								
	Proyección Aglutinante (DSPC)	Yeso								
Laminado	Laminado de Capas (LOM)	Papel, papel de aluminio, capa de plástico								
Fotoquímicos	Estereolitografía (SLA)	Fotopolímeros y resinas fotosensibles								
	Fotopolimerización por Luz Ultravioleta (SGC)	Fotopolímeros y resinas fotosensibles								

Fuente: López Conde, J.E. (2016). Impresoras 3D. Recuperado de https://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranet-tmpl/prog/local repository/documents/17854.pdf

A continuación se describen los tres procesos de fabricación aditiva más comunes actualmente:

Modelado por Deposición Fundida (FDM): utiliza una técnica aditiva; un filamento plástico o metálico es introducido en una boquilla o extrusor que cuenta con una resistencia que emite calor hasta llegar por encima de la temperatura de fusión del material. El extrusor tiene, además, un mecanismo que permite controlar el flujo de material que vierte. Con la ayuda de motores y elementos mecánicos controlados electrónicamente, se producen los desplazamientos en los ejes X, Y, Z. En este sistema deben agregarse estructuras de soporte para las geometrías, ya que el material fundido demora en volver a solidificarse y, sin un lugar donde apoyarse, termina deformándose por efecto de la gravedad (ver Figura 1). Dichos soportes deben ser diseñados de forma tal que utilicen la menor cantidad de insumo y sean fáciles de retirar. Una vez finalizado el proceso, la pieza se somete a tratamientos superficiales (pulidos, lijados) para terminar el proceso de fabricación digital. En la actualidad, esta modalidad de impresión es la que implica equipos de menor costo (Bordignon, Iglesias y Hahn, 2018).

Figura 1. Tecnología de impresión 3D - Modelado por Deposición Fundida (FDM).



Fuente: Recuperado de http://mizaradditive.com/fused-deposition-modeling/

- Estereolitografía (SLA): Soporta su funcionamiento en fotopolímeros en un estado líquido viscoso capaz de cambiar a un estado sólido mediante la exposición a la luz. Sobre un recipiente lleno de este fotopolímero, situado encima de una plataforma, se ubica un láser que se va desplazando sobre el líquido siguiendo la forma del objeto a reproducir y consiguiendo que la resina pase de estado líquido a sólido. Cuando el láser termina de recorrer toda la superficie de una capa, un pistón hace descender la plataforma una distancia igual al grosor de la siguiente capa y se repite el proceso hasta terminar totalmente la pieza. Una vez finalizado el proceso, se eleva la pieza para que se elimine el excedente. Para el acabado final se le somete a un baño de luz intensa en una caja parecida a un horno, llamada aparato de poscurado. Esto le permite tener propiedades adecuadas para procesos posteriores como el lijado, el arenado, el pintado, etc. Las piezas realizadas con esta técnica tienen un gran terminado estético (Bordignon et al., 2018).
- Sinterizado Selectivo por Láser (SLS): es otra técnica de diseño rápido que fabrica las piezas por capas. El

material de base es un polvo, hecho de diferentes materiales, cuyas partículas miden casi cincuenta micromilímetros. Un láser sinteriza las partículas de las áreas seleccionadas, causando que estas se fusionen y solidifiquen. El modo de generación de las piezas es muy similar al de la estereolitografía, solo que en lugar de una resina se utiliza un polvo como insumo. El láser fusiona el material en una cubeta mediante el barrido de finas capas transversales. Una vez que la capa se forma, la cubeta de polvo desciende una distancia equivalente al espesor de la capa formada y una nueva capa de material base es añadida a la superficie. El proceso se repite tantas veces como capas se necesite fundir para crear el objeto tridimensional. Un equipo SLS usa un láser de pulso y precalienta el polvo base en la cubeta a una temperatura ligeramente inferior a la de fusión de dicho material. De esta forma, hace que la fusión del material por calentamiento sea más sencilla. Al contrario que en otros procesos de fabricación por adición, como la Estereolitografía y el Modelado por Deposición Fundida, en este no se necesitan soportes ya que la parte sinterizada está todo el tiempo rodeada de polvo sin sinterizar que actúa de apoyo. Esto le confiere una ventaja sobre los otros métodos (Bordignon et al., 2018).

Materiales que se utilizan en la impresión 3D

Existe una gran variedad de insumos que pueden ser utilizados en la impresión aditiva por deposición de material. A los insumos que utilizan estas impresoras se les denomina filamentos, se presentan en estado sólido y suelen almacenarse en bobinas; hay dos tipos de diámetros estándar: 1,75 y 3 mm. También existe una gran diversidad de colores (incluidos los fosforescentes) y propiedades que, por ejemplo, aportan flexibilidad o resistencia. Algunos materiales incluso son capaces de conducir electricidad y formar circuitos (Bordignon et al., 2018). Los productos que se destacan en este ámbito son los filamentos de plástico como el ácido poliláctico (PLA), el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) y el tereftalato de polietileno (PET).

Filamento PLA (ácido poliláctico)

El PLA es un termoplástico biodegradable que se deriva de recursos renovables como maicena, caña de azúcar, raíces de tapioca y almidón de patata. Este filamento de impresión 3D es más amigable con el medio ambiente en comparación con otros materiales plásticos. Su temperatura de fusión está en un rango de 160° a 230°C, los modelos impresos en PLA son más frágiles que los impresos en ABS, no necesita cama caliente por lo que el proceso de impresión es más rápido (Macas y Pilco, 2016).

Se utiliza en implantes quirúrgicos, envases de alimentos, envolturas de dulces, vajillas desechables, prendas desechables, productos de higiene, pañales, etc. El acabado es ideal para objetos con paredes finas, recomendado para prototipos de exhibición, maquetas, juguetes, decoración, promocionales, etc.

Filamento ABS (acrilonitrilo butadieno estireno)

El ABS es un material compuesto por tres grandes componentes acrilonitrilo, butadieno y estireno. Cada uno de estos componentes aporta características diferentes a este material. El acrilonitrilo aporta rigidez, resistencia a ataques químicos, dureza y estabilidad a altas temperaturas. El butadieno aporta tenacidad a bajas temperaturas y resistencia al impacto. Por último, el estireno aporta resistencia mecánica, rigidez, brillo y dureza (Macas y Pilco, 2016).

El ABS es un material de impresión 3D bastante utilizado para hacer piezas duraderas que necesitan soportar temperaturas más altas. En comparación con el filamento PLA, el plástico ABS es menos frágil y más dúctil. Su punto de fusión está en el rango de 210 a 260°C.

El ABS es ideal para piezas móviles, piezas de automóviles, carcasas electrónicas y juguetes. De hecho, se utiliza en tuberías, componentes automotrices, conjuntos electrónicos, cascos protectores, instrumentos de música, electrodomésticos de cocina, ladrillos LEGO y más (Gomes, 2017).

Filamento PET (Tereftalato de polietileno)

El PET es otro filamento 3D muy popular. Es un plástico estable e inofensivo, no produce ningún olor raro, tiene buena resistencia química, térmica, al desgaste y a la corrosión y es totalmente reciclable. En su estado original es incoloro y cristalino. Sin embargo, cuando se expone al calor o al frío el material cambia su transparencia. Cuando el filamento de PET se enfría lentamente después de la impresión, tiene una estructura cristalina (Gomes, 2017). Para obtener los mejores resultados al imprimir con PET es necesario alcanzar temperaturas entre 75 - 90°C. Es el filamento ideal para piezas destinadas al contacto alimentario.

Existe una versión modificada del filamento PET, debido al cambio en la estructura química del polímero por la adición de glicol, el PETG (Tereftalato de polietileno modificado con glicol), el cual lo hace más transparente, menos frágil y más fácil de procesar que el PET común. Con estas mejoras y su facilidad de impresión el PETG se ha convertido en uno de los materiales más usados en impresión 3D (Trapero, 2017). El PETG es un material menos rígido (más elástico) que el PLA, es más fácil doblarlo y es menos frágil que el PLA. También es menos rígido que el ABS, pero en este caso la diferencia es mucho menor. En general el PETG resiste mejor los golpes, los esfuerzos y es más difícil de romper tanto que el PLA como el ABS. El PETG es un poco más resistente a la temperatura que el PLA, pero menos que el ABS.

Si bien las opciones previamente mencionadas son válidas para la mayoría de proyectos, la elección del tipo de plástico a utilizar depende de la funcionalidad del producto final. En impresión 3D, se busca que el filamento que se emplee, produzca una impresión de piezas con buen acabado, duraderas y resistentes.

Tereftalato de polietileno (PET)

El PET es un poliéster termoplástico que se produce a partir de dos compuestos principalmente, el ácido tereftálico y el etilenglicol; aunque también puede obtenerse utilizando dimetiltereftalato en lugar de ácido tereftálico. Este material tiene una baja velocidad de cristalización y puede encontrarse en estado amorfo-transparente o cristalino.

El PET en general se caracteriza por ser extremadamente duro, resistente al desgaste, dimensionalmente estable, resistente a los químicos y tiene buenas propiedades dieléctricas. Es un polímero plástico, lineal, con alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento, lo cual lo hace apto para ser transformado mediante procesos de extrusión, inyección, inyección-soplado y termoformado (QuimiNet, 2005). Su fórmula química se presenta en la Figura 2.

Figura 2. Formula química del PET.



Fuente: Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Tereftalato_de_polietileno

A continuación se describen otras características importantes que presenta el PET (García, 2017):

- Buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes.
- Alta resistencia a la fricción, a la fatiga y al desgaste.
- Muy buen coeficiente de deslizamiento.
- Buena resistencia química, alta resistencia a los ataques químicos como ácidos y álcalis suaves y solventes orgánicos, no se daña por grasas o aceites.
- Buena resistencia térmica, es un buen conductor de la temperatura.
- Muy buena barrera a CO2, aceptable barrera a O2 y humedad.
- Totalmente reciclable, aunque tiende a disminuir su viscosidad con la historia térmica.
- Aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos alimentarios. Alto grado de transparencia y brillo con efecto lupa, conserva el sabor y el aroma de los alimentos.
- Apto para producir botellas, películas, láminas, planchas y piezas.
- Compatible con otros materiales barrera que mejoran en su conjunto la calidad barrera de los envases y por lo tanto permiten su uso en mercados específicos.
- Excelentes propiedades mecánicas, material duro con magníficas conductas a la flexión y al impacto elástico, además de ser ligero y translúcido.
- Esterilizable por rayos gamma y óxido de etileno.
- Buena relación costo/rendimiento.
- Excelente estabilidad dimensional y propiedades barrera para la retención de gases.

En general, estas propiedades características del PET lo convierten en el material idóneo para la realización de aplicaciones de uso común y principalmente, para la producción de distintos tipos de envases. Tanto la industria comercial alimentaria como la industria manufacturera son las que más provecho le sacan a este polímero termoplástico.

Reciclado del PET

El reciclaje es la actividad de recuperar los desechos sólidos a fin de reintegrarlos al ciclo económico, reutilizándolos o aprovechándolos como materia prima para nuevos productos. El reciclado de los envases de PET se consigue por dos métodos:

Reciclado mecánico

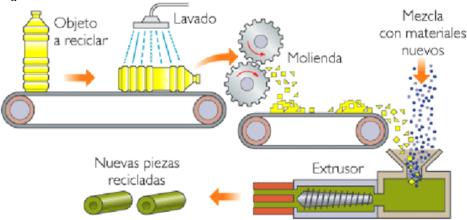
Consiste en un proceso físico en el que el PET luego de ser utilizado en procesos industriales, se vuelve a poner en circulación para su reutilización.

Es la técnica más utilizada en la actualidad, consiste en la molienda, separación y lavado de los envases. Las escamas resultantes de este proceso se pueden destinar en forma directa, sin necesidad de volver a hacer pellets, en la fabricación de productos por inyección o extrusión.

El primer paso para su reciclado es su selección desde los residuos procedentes de recogida selectiva o recogida común. En el primer caso, el producto recogido es de mucha mayor calidad; principalmente por una mayor limpieza.

El proceso de recuperación mecánico del PET se divide en dos fases. En la primera fase se procede a la identificación y clasificación de botellas, lavado y separación de etiquetas, triturado, separación de partículas pesadas de otros materiales como polipropileno, polietileno de alta densidad, etc., lavado final, secado mecánico y almacenamiento de la escama. En la segunda fase, esta escama de gran pureza se grancea; se seca, se incrementa su viscosidad y se cristaliza, quedando apta para su transformación en nuevos elementos de PET (ver Figura 3).

Figura 3. Reciclado mecánico del PET.



Fuente: Recuperado de https://lamateriadelsaber.wordpress.com/2016/02/09/tipos-de-reciclaje/

El plástico recuperado debe ser analizado para saber el nivel de aditivos que contiene y, en función del destino que tendrá la granza recuperada, seleccionar el material de partida y equilibrar, reponiendo los estabilizantes, antioxidantes, etc., que sean necesarios para obtener pellets lo más parecido al plástico virgen empleado para su destino.

La granza de plásticos reciclados se puede utilizar de diferentes maneras, según los requerimientos para el producto final (Röben, 2003):

- Procesado del producto reciclado directamente, con la formulación que sea adecuada a su aplicación concreta.
 En este caso, las piezas obtenidas tienen en general propiedades menores a las fabricadas con polímero virgen, lo que es suficiente para la utilidad deseada.
- Mezcla de granza reciclada con polímero virgen para alcanzar las prestaciones requeridas. El ejemplo típico es la adición de polímero virgen a la mezcla de termoplásticos.
- Coextrusión del producto reciclado. Un ejemplo de esta técnica es la fabricación de recipientes para detergentes, en la que la capa intermedia puede ser de polímero reciclado y al interior (contacto con el producto) y la exterior son de polímero virgen.

Reciclado químico

No todos los plásticos pueden ser sometidos al reciclado mecánico, bien sea porque presentan un grado de degradación o porque se encuentran mezclados con otras sustancias cuya separación y limpieza no son rentables.

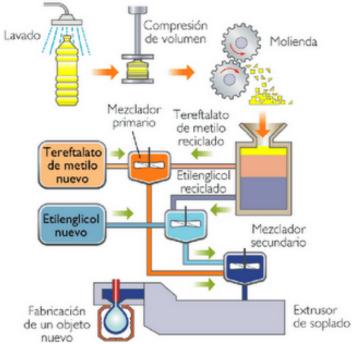
El reciclado químico implica realizar el proceso inverso a la obtención de materiales poliméricos, es decir, provocar el fraccionamiento de los materiales poliméricos en pequeños componentes, que posteriormente pueden utilizarse y transformarse por reacción química (ver Figura 4). El objetivo ideal es recuperar los monómeros para volver a fabricar los mismos polímeros (Solano y Vera, 2011). Los residuos plásticos se someten a diversos procesos químicos para descomponerlos en productos más sencillos, de los cuales los más importantes son: metanogénesis, glicolisis e hidrolisis (Quintero, 2015).

- Metanolisis: es un avanzado proceso de reciclaje que consiste en la aplicación de metanol en el PET. Este
 poliéster se descompone en sus moléculas básicas, incluidos el dimetiltereftalato y el etilenglicol, que pueden
 polimerizarse nuevamente para producir resina virgen.
- Glicolisis: despolimerización parcial por acción del etilenglicol y en condiciones menos severas que la metanolisis y la hidrólisis, lo que reduce los costes económicos, aunque es menos eficaz que ellas para el tratamiento de

desechos coloreados y mezclados. Los productos de la reacción pueden utilizarse para recuperar PET o como precursores de espumas de poliuretano o poliésteres insaturados.

 Hidrólisis: normalmente se realiza en medio básico (saponificación), lo que facilita el proceso, pero necesita una etapa de post-tratamiento para transformar el producto en monómeros utilizables. Este procedimiento permite tratar los desechos coloreados y mezclados.

Figura 4. Reciclado químico del PET.



Fuente: Recuperado de https://civilgeeks.com/2012/01/06/reducir-reutilizar-y-reciclar-el-plastico/

En comparación, el reciclado químico es sumamente complejo y necesita costos de inversión mucho más altos que el reciclaje mecánico.

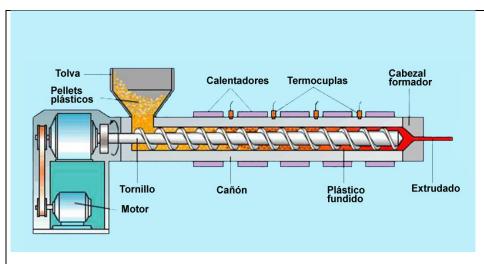
Extrusión

La extrusión es un proceso industrial mecánico, en donde se realiza una acción de moldeado, que por flujo continuo con presión y empuje, se le hace pasar por un molde para producir un artículo de sección transversal constante, y en principio, de longitud definida (Parra, 2017).

Este proceso es utilizado principalmente por las industrias de plástico para generar productos de gran calidad a una rápida velocidad. Tiene por objetivo usarse para la producción de perfiles, tubos, mangueras, películas, hojas, filamentos continuos, entre muchos otros.

El proceso de extrusión de plásticos se lleva a cabo en máquinas denominadas extrusoras o extrusores. Aunque existen extrusoras de diversos tipos, las más utilizadas son las de tornillo o de husillo simple. En la extrusora, el polímero fundido o en estado viscoelástico es forzado a pasar a través de un cabezal, por medio del empuje generado por la acción giratoria de un husillo o tornillo que gira concéntricamente en una cámara a temperaturas controladas llamada cañón, con una separación milimétrica entre ambos elementos. El material polimérico es alimentado por medio de una tolva en un extremo de la máquina y debido a la acción de empuje se funde, fluye y mezcla en el cañón y se obtiene por el otro lado con un perfil geométrico preestablecido (Interempresas, 2015). En la Figura 5 se puede observar una representación esquemática de una extrusora.

Figura 5. Esquema de una extrusora.



Fuente: Recuperado de http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html

MARCO CONCEPTUAL

Ácido poliláctico (PLA). Es un polímero construido por moléculas de ácido láctico, con propiedades semejantes a las del tereftalato de polietileno (PET) que se utiliza para hacer envases, pero que además es biodegradable. Se degrada fácilmente en agua y óxido de carbono. Es un termoplástico que se obtiene a partir de almidón de maíz o de yuca o mandioca, o de caña de azúcar. Se utiliza ampliamente en la impresión 3D bajo el proceso de modelado por deposición fundida (FDM).

Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS). Es un termoplástico duro, resistente al calor y a los impactos. Es un copolímero obtenido de la polimerización del estireno y acrilonitrilo en la presencia del polibutadieno, resultado de la combinación de los tres monómeros, originando un plástico que se presenta en una gran variedad de grados dependiendo de las proporciones utilizadas de cada uno. Básicamente, el estireno contribuye a la facilidad de las características del proceso, el acrilonitrilo imparte la resistencia química e incrementa la dureza superficial y el butadieno contribuye a la fuerza de impacto y dureza total. Las porciones pueden variar del 15-35% de acrilonitrilo, 5-30% de butadieno y 40-60% de estireno. El resultado es una larga cadena de polibutadieno entrecruzada con cadenas más cortas de poli (estireno-co-acrilonitrilo). Los grupos nitrilo de las cadenas vecinas, siendo polares, atacan cada una de las bandas de las cadenas juntas haciendo el ABS más fuerte que el poliestireno puro. Se emplea en la impresión 3D cuando son piezas que posteriormente se quieren mecanizar.

Diseño asistido por computadora (CAD). Hace referencia al uso de diferentes programadores gráficos para lograr crear una serie de imágenes que conjuntas crean una imagen más grande o más conocida como dibujo. El CAD es también utilizado como un medio de expresión mediante un ordenador y un gestor gráfico; a su vez, se puede decir que también es considerado como una relativamente nueva técnica de dibujo revolucionaria, con la cual se pueden realizar dibujos y/o planos. Estas herramientas se pueden dividir básicamente en programas de dibujo 2D y de modelado 3D. Las herramientas de dibujo en 2D se basan en entidades geométricas vectoriales como puntos, líneas, arcos y polígonos, con las que se puede operar a través de una interfaz gráfica. Los modeladores en 3D añaden superficies y sólidos. El CAD fue principalmente inventado por un francés, Pierre Bézier, ingeniero de los Arts et Métiers Paris Tech. El ingeniero desarrolló los principios fundamentales del CAD con su programa UNISURF en 1966.

Extrusión. Es un proceso utilizado para crear objetos con sección transversal definida y fija. El material se empuja o se extrae a través de un troquel de una sección transversal deseada. Las dos ventajas principales de este proceso por encima de procesos manufacturados son la habilidad para crear secciones transversales muy complejas con materiales que son quebradizos, porque el material solamente encuentra fuerzas de compresión y de cizallamiento. Además, las piezas finales se forman con una terminación superficial excelente. La extrusión puede ser continua, produciendo teóricamente de forma indefinida materiales largos, o semicontinua, produciendo muchas partes. El proceso de extrusión puede hacerse con el material caliente o frío.

Impresión 3D. Es una máquina capaz de realizar réplicas de diseños en 3D, creando piezas o maquetas volumétricas a partir de un diseño hecho por ordenador, descargado de internet o recogido a partir de un escáner 3D. Surgen con la idea de convertir archivos de 2D en prototipos reales o 3D. Comúnmente se ha utilizado en el prefabricado de piezas o componentes, en sectores como la arquitectura y el diseño industrial. En la actualidad se está extendiendo su uso en la fabricación de todo tipo de objetos, modelos para vaciado, piezas complicadas, alimentos, prótesis médicas (ya que la impresión 3D permite adaptar cada pieza fabricada a las características exactas de cada paciente), etc.

Modelado por deposición fundida (FDM). Es un proceso de fabricación utilizado para el modelado de prototipos y la producción a pequeña escala. El modelado por deposición fundida utiliza una función aditiva, depositando el material en

capas, para conformar la pieza. Un filamento plástico o metálico que inicialmente se almacena en rollos, es introducido en una boquilla. La boquilla se encuentra por encima de la temperatura de fusión del material y puede desplazarse en tres ejes controlada electrónicamente. La boquilla normalmente la mueven motores a pasos o servomotores. La pieza es construida con finos hilos del material que solidifican inmediatamente después de salir de la boquilla. Esta técnica fue desarrollada por S. Scott Crump a finales de la década de 1980 y fue comercializada en 1990.

Poliéster. Es una cadena de elastómeros que contiene el grupo funcional éster en su cadena principal. Los poliésteres que existen en la naturaleza son conocidos desde 1830, pero el término poliéster generalmente se refiere a los poliésteres sintéticos (plásticos), provenientes de fracciones pesadas del petróleo. El poliéster termoplástico más conocido es el PET. El poliéster es muy resistente a la humedad, a los productos químicos y a las fuerzas mecánicas.

Polímero. Son macromoléculas, generalmente orgánicas, formadas por la unión mediante enlaces covalentes de una o más unidades simples llamadas monómeros. Estos forman largas cadenas que se unen entre sí por fuerzas de Van der Waals, puentes de hidrógeno o interacciones hidrofóbicas.

Reciclaje. Es un proceso cuyo objetivo es convertir desechos en nuevos productos o en materia prima para su posterior utilización. Gracias al reciclaje se previene el desuso de materiales potencialmente útiles, se reduce el consumo de nueva materia prima, además de reducir el uso de energía, la contaminación del aire (a través de la incineración) y del agua (a través de los vertederos), así como también disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con la producción de plásticos. El reciclaje es un componente clave en la reducción de desechos contemporáneos y es el tercer componente de las 3R (reducir, reutilizar y reciclar).

SolidWorks. Es un software CAD para modelado mecánico en 2D y 3D. La primera versión fue lanzada al mercado en 1995 con el propósito de hacer la tecnología CAD más accesible. El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en traspasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, construyendo virtualmente la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones, planos y ficheros de intercambio, se realizan de manera bastante automatizada.

Tereftalato de Polietileno (PET). Tipo de plástico muy usado en envases de bebidas. Químicamente el PET es un polímero que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres. Es un polímero termoplástico lineal, con un alto grado de cristalinidad. Como todos los termoplásticos puede ser procesado mediante extrusión, inyección y soplado.

Termoplástico. Es un material que, a temperaturas relativamente altas, se vuelve deformable o flexible, se derrite cuando se calienta y se endurece en un estado de transición vítrea cuando se enfría lo suficiente. La mayor parte de los termoplásticos son polímeros de alto peso molecular, los cuales poseen cadenas asociadas por medio de fuerzas de Van del Waals débiles; fuertes interacciones dipolo-dipolo y enlace de hidrógeno, o incluso anillos aromáticos apilados. Los polímeros termoplásticos difieren de los polímeros termoestables o termofijos en que después de calentarse y moldearse pueden recalentarse y formar otros objetos.

MARCO LEGAL

Resolución No. 1407 de 2018 del Ministerio de ambiente y Desarrollo Sostenible

"Por el cual se reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio, metal y se toman otras determinaciones". La resolución tiene por objeto reglamentar la gestión ambiental de residuos de envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio y metal. Se establece a los productores la obligación de formular, implementar y mantener actualizado un Plan de Gestión Ambiental de Residuos de Envases y Empaques, que fomenten el aprovechamiento. Tanto el productor, como el comercializador, el fabricante e importador de envases y empaques, el gestor de residuos, las empresas transformadoras del material aprovechable en materia prima y el consumidor son responsables de fomentar el aprovechamiento de los residuos de envases y empaques.

Decreto 2811 de 1974 República de Colombia

"Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente". Este decreto tiene como propósito que el ser humano tome conciencia de la importancia de preservar los recursos naturales, ya que son patrimonio común de la humanidad, necesarios para el desarrollo en el ámbito económico y social del país. Prevenir y controlar los efectos nocivos de la explotación de los recursos naturales no renovables sobre los demás recursos. Regular la conducta humana, individual o colectiva y la actividad de la administración pública, respecto del ambiente y de los recursos naturales renovables y las relaciones que surgen del aprovechamiento y conservación de tales recursos y de ambiente.

 Resolución No. 754 de 2014 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

"Por el cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos".

- Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Consejo Nacional de Política Económica y Social
 CONPES 3874.
- La Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, busca a través de la gestión integral de residuos sólidos aportar a la transición de un modelo lineal hacia una economía circular donde, haciendo uso de la jerarquía en la gestión de los residuos, se prevenga la generación de residuos y se optimice el uso de los recursos para que los productos permanezcan el mayor tiempo posible en el ciclo económico y se aproveche al máximo su materia prima y potencial energético. Además, tiene como objetivo principal, implementar la gestión integral de residuos sólidos como política nacional de interés social, económico, ambiental y sanitario, para contribuir al fomento de la economía circular, desarrollo sostenible, adaptación y mitigación al cambio climático.

6. Objetivo General y Objetivos específicos:

Objetivo general

Diseñar una planta piloto para producir filamentos de impresoras 3D a partir del uso de material reciclado de Tereftalato de Polietileno (PET).

Objetivos específicos

- Caracterizar el Tereftalato de Polietileno (PET) tomando como referencia estudios previos realizados que permitan la identificación de las propiedades fisicoquímicas que favorezcan la transformación del material en filamentos útiles para impresoras 3D.
- Definir las variables de diseño fundamentales de la planta piloto mediante el estudio de prototipos ya existentes, a fin de garantizar la producción de filamentos a base de material reciclado de Tereftalato de Polietileno (PET).
- Dimensionar los componentes de la planta piloto a partir del desarrollo de cálculos matemáticos para realizar el diseño del mismo.
- Modelar la planta piloto mediante el uso de un software de diseño (SolidWorks o AutoCAD) con su respectivo sistema mecánico, eléctrico y de instrumentación, que permita visualizar cada uno de los elementos que la conforman con sus respectivas dimensiones para su fabricación en una segunda fase del proyecto.

7. Metodología:

El desarrollo del presente trabajo de grado se fundamenta en una metodología con enfoque cuantitativo, en el que se pretende diseñar una planta piloto que transforme el Tereftalato de Polietileno o más comúnmente llamado PET en filamentos para impresión 3D. Este método contempla una serie de aspectos descriptivos, teóricos y numéricos, que son los que garantizan y soportan la investigación respectiva para la ejecución del proyecto ya que "parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis" (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 4).

Para alcanzar los objetivos planteados se desarrollarán seis (6) etapas: 1) revisión bibliográfica, 2) evaluación físicoquímica de la materia prima, 3) identificación de los parámetros y las variables de diseño de los componentes de la planta piloto, 4) diseño de la máquina trituradora y extrusora - planta piloto, 5) simulación del diseño de la planta piloto a través del software de SolidWorks o AutoCAD y 6) socialización del trabajo de grado. A continuación se describen en detalle cada una de estas:

- 8. Avances realizados:
 - Revisión del estado del arte.
 - Marcos de referencia
- 9. Resultados esperados: Con la ejecución del presente trabajo de grado se espera obtener como resultado:
- El diseño de una planta piloto modelada en SolidWorks o AutoCAD, para producir filamentos útiles para impresoras 3D a partir de material reciclado de Tereftalato de Polietileno PET. Se debe garantizar que todos los elementos del sistema deberán ser diseñados y dimensionados de tal manera que se obtenga alta resistencia, rigidez y estabilidad funcional, sin que se produzcan fallas ni deformaciones permanentes para las condiciones normales de operación. El diseño debe visualizar cada uno de los elementos que conforman la planta piloto con sus respectivas dimensiones, detalles de ensamble y elementos mecánicos, con la descripción de cada ítem, de modo tal que sirva para el montaje. Cabe resaltar que la ejecución de este proyecto no contemplará la construcción de la planta debido a que éste se desarrollará en una segunda fase del macroproyecto.
- El fortalecimiento en los estudiantes de las competencias investigativas, de análisis crítico de la realidad y del contexto social, de análisis reflexivo y la capacidad para proponer alternativas de solución, lo cual se verá reflejado en el mejoramiento del desarrollo integral (personal y profesional) del futuro Ingeniero Electromecánico de las Unidades Tecnológicas de Santander UTS.

10. Cronograma:

Descripción de las fases	Año 2019									
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4						

	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S 10	S 11	S 12	S 13	S 14	S 15	S 16	S 17	S1 8
Fase 1. Revisión bibliográfica referente al tema de interés en esta investigación			0	7	3	0	,	0	3	10		12	2	14	2	2	.,	8
Fase 2. Evaluación de las propiedades fisico-químicas el Tereftalato de Polietileno PET																		
Fase 3. Identificación de las variables de diseño fundamentales de la planta piloto																		
Fase 4. Selección de los materiales de cada componente de la planta piloto según las condiciones de operación, la disponibilidad en el mercado y la relación costo/beneficio																		
Fase 5. Dimensionamiento de cada uno de los componentes de la planta piloto (tornillo, cilindro, tolva, boquilla, sistema de calentamiento, sistema de enfriamiento, etc.)																		
Fase 6. Modelado de cada una de las piezas que conforma la planta mediante el uso del software de SolidWorks o AutoCAD																		

12. Bibliografía:

Arteaga Medina, L. (2015). Fabricación y caracterización de filamentos para impresoras 3D a partir de materiales reciclados (Tesis de pregrado). Universidad de La Laguna - Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología Sección de Ingeniería Industrial, San Cristóbal de La Laguna, España.

- Bordignon, F., Iglesias, A. A. y Hahn, A. (2018). Diseño e impresión de objetos 3D: una guía de apoyo a escuelas. Buenos Aires, Argentina: UNIPE Editorial Universitaria.
- Castillo C., V. A., Macero C., X. I. y Villacreses C., L. G. (2004). Proyecto de inversión para la instalación de una planta recicladora de Polietilén Tereftalato (PET) para transformar los desperdicios plásticos de PET generados por la ciudad Guayaquil en escamas recicladas para destinarlas a la exportación (Tesis de pregrado). Escuela superior Politécnica del Litoral Instituto de Ciencias Humanísticas y Económicas, Guayaquil, Ecuador.
- Chapa Cordova, O., Martínez E. (2019). Diseño de equipo para molienda y lavado de PET (Polietileno Tereftalato). Recuperado de https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2342/1/4626.pdf
- Chávez Martínez, J. E. (2018). Diseño de extrusora de filamento para impresora 3D fabricado a partir de polipropileno reciclado (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de la Mixteca, Oaxaca, México.

- García Acevedo, C. A. (2015). Diseño de una extrusora para filamento de impresión 3D (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile, chile.
- García Sánchez, M. O. (2017). Ingeniería básica de una planta de producción de Polietileno Tereftalato (Tesis de pregrado). Universidad de Sevilla, Sevilla, España.
- Gomes, D. (2017). Filamentos para impresoras 3D. Recuperado de https://lasmejoresimpresoras.com/todos-los-filamentos-impresoras-3d/.
- Groover, M. P. (1978). Fundamentos de manufactura moderna. Materiales, procesos y sistemas. México D.C, México: Editorial McGraw Hill Interamericana Tercera edición.
- Gutiérrez Paredes, C. A. y Vargas Ayala, L. E. (2017). Diseño y fabricación de una máquina extrusora para crear el filamento de la impresora 3D a partir de material plástico (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Interempresas (2015). Extrusión. Recuperado de http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/138574-Extrusion.html.
- López Conde, J. E. (2016). Impresoras 3D. Recuperado de https://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranet-tmpl/prog/local_repository/documents/17854.pdf.
- Macas Montaño, C. C. y Pilco Llerena, K. J. (2016). Construcción de un modelo de fundición mediante la utilización de tecnología de impresión 3D (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Material mundial (2019). SAE AISI Acero 4140 ficha técnica, propiedades, dureza, características, tratamiento térmico. Recuperado de https://www.materialmundial.com/sae-aisi-acero-4140-ficha-tecnica-propiedades/.
- Méndez Prieto, A., Cedillo García, R., Concepción, M. (2017). Parámetros clave a considerar durante el procesamiento del PET. Recuperado de https://www.pt-mexico.com/art%C3%ADculos/parmetros-clave-a-considerar-durante-el-procesamiento-del-pet.
- Moya Verdú, G. (2016). Estudio, diseño, simulación y optimización de una matriz de extrusión de plástico (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Ortega Acevedo, B. S. y Vitola Reyes, T. P. (2011). Modernización de la planta de reciclaje de Polietilen Tereftalato de la Empresa Polisuin S.A. acoplando un sistema de tratamiento de efluentes (Tesis de pregrado). Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.
- Ortiz Palacios, J. A. (2016). Diseño y construcción de una máquina trituradora automatizada para envases plásticos (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador.

- Pachón Bejarano, Y. M. (2007). Plan de negocios para una empresa recicladora de plástico PET, en la ciudad de Bogotá D.C. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Parra Brito, R. N. (2017). Diseño de extrusora de filamento para impresión 3D a partir de plásticos reciclados (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, chile.
- Suasnavas Flores, D. F. (2017). Degradación de materiales plásticos "PET" (polyethylene terephtalate), como alternativa para su gestión (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- QuimiNet (2005). Todo lo que quería saber del PET. Recuperado de https://www.quiminet.com/articulos/todo-lo-que-queria-saber-del-pet-2806.htm.
- Quintero Díaz, L. A. (2015). Diseño de una planta de reciclado de Tereftalato de Polietileno (PET) (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Röben, E. (2003). El Reciclaje. Oportunidades para reducir la generación de los desechos sólidos y reintegrar materiales recuperables en el círculo económico. Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/3residuos/d3/062_Reciclaje/Reciclaje .pdf.
- Savgorodny, V. K. (1978). Transformación de plásticos. Barcelona, España: Editorial Gustavo Gili.
- Solano Albuja, X. R. y Vera Ríos, E. G. (2011). Estudio de mercado para la implementación de un proyecto de reciclaje de plástico en el Distrito Metropolitano de Quito (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica del Ejercito, Sangolquí, Ecuador.
- Solheim, E. (2018). *Plástico de un solo uso. Una hoja de ruta para la sostenibilidad*. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (ONU). Kenia, África Oriental.
- Suárez Zarta, D. (2016). Solo el 26% de las botellas plásticas se recicla. La República. Recuperado de http://www.larepublica.co/solo-26-de-las-botellas-plástica s-se-recicla_357536.
- Trapero, D. (2017). Todo sobre el PETG en impresión 3D. Recuperado de https://bitfab.io/es/blog/petg-impresion-3d/.
- Vela Celis, J. A., Robles Jiménez, S. H. y Urrego Roldan, J. A. (2016). Diseño de máquina

multifuncional de reciclaje de botellas PET, para el aprovechamiento de material sólido con potencial a ser reciclado en una Gestión Integral de Residuos Sólidos (Tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

(1) Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE)

(2) PA: Plan de Aula, PI: Proyecto integrador, TG: Trabajo de Grado, RE: Reda