

Reciclaje de botellas de pet para manufactura aditiva. (noviembre de 2021)

Angelica Gutiérrez Limón¹, Pedro Tamayo Gómez², Salvador Barajas Aranda³.

Resumen - Los polímeros son materia prima para los procesos de fabricación en manufactura aditiva, los cuales se pueden usar en filamento o en trozos en las impresoras 3D con tecnología de extrusión de material a través del proceso de fabricación por fusión de filamento.

Los desechos plásticos contienen una mezcla de polímeros, como botellas de agua y tapas compuestas de tereftalato de polietileno (PET) y polipropileno (PP), estos materiales se pueden reciclar y utilizar como materia prima en las impresoras 3D. Algunos de estos materiales requieren de procesos simples para su reciclaje como cortarse en tiras o triturar.

La Manufactura Aditiva permite la optimización de materiales y tiempos de procesos ya que en las impresoras 3D de acuerdo al modelo se pueden modificar variables como la temperatura, la velocidad de extrusión y la velocidad de impresión. Las temperaturas de extrusión recomendadas son 225-250° C, dependiendo del tipo de impresora 3D y el filamento, además la velocidad promedio es de (15 mm/s – 20 mm/s) considerando la calidad.

Se propone reciclar botellas de PET mediante la fabricación aditiva dado el amplio desarrollo de las impresoras 3D cuya principal materia prima son los polímeros con los cuales se puede fabricar objetos personalizados con diseños de geométricas complejas que despiertan la creatividad en diversas aplicaciones.

Es importante mencionar la amplia disponibilidad de PET en México ya que es de los principales países consumidores de bebidas embotelladas en el mundo de las cuales se recicla alrededor del 38%.

Índice de Términos – Impresoras 3D, Manufactura Aditiva, PET, filamento de botellas de PET, reciclaje de PET. Economía circular.

I. INTRODUCCION

Sin embargo, esto es un problema el consumo de bebidas embotelladas; agua, jugos y refrescos, entre otros, forman parte de un estilo de vida. Sin embargo, las botellas de plástico están elaborados con productos obtenidos de petróleo y para ello se necesitan 100 ml. y tarda hasta 1,000 años en degradarse.

Se compran 1'200,000 botellas por minuto en todo el mundo es decir 20,000 botellas por segundo y son productos desechables por ello son el tipo más común de desechos de plásticos en el mundo.

Una alternativa a este problema de la acumulación de los desechos plásticos a nivel mundial es el reciclaje de botellas de PET con la ventaja económica que se menciona en la reseña del libro; Stop Basura [1] en donde se presentan datos del ahorro de energía, de materia prima y de recursos naturales.

Ahorro de energía: “La fabricación a partir de envases reciclados, supone un ahorro energético del 84% en el caso de los plásticos” [1]. Con respecto a la fabricación a partir de materiales vírgenes.

Reducción de las necesidades de materia prima: Por cada tonelada de envases plásticos reciclados se ahorra en torno a una tonelada de petróleo.

Utilizar las botellas de PET en tiras o escamas como materia prima en los equipos de manufactura aditiva se puede disminuir la contaminación al transformar este material reciclado en objetos fabricados mediante impresoras en 3D y contribuir de esta manera al cuidado del medio ambiente y a la optimización de recursos en la economía.

El alto consumo de bebidas embotelladas se muestra en los datos en donde, “sólo en el año 2016, se vendieron 480,000

millones de botellas” [2]. A este ritmo en el 2020 se producirán 500 millones de toneladas anuales. Esta cantidad de residuos plásticos podrían cubrir un país como Argentina.

La transformación de los recipientes de PET en nuevos productos con una vida útil mayor, empleando las tecnologías que la Industria 4.0, como la manufactura aditiva, la cual minimiza el desperdicio en sus procesos de fabricación y agrega valor de uso al nuevo producto con diseños novedosos y personalizados. Con estos procesos de impresión 3D se genera un beneficio económico y además, se conservan los recursos naturales al no ser requeridos materiales nuevos y por tanto, se protege el medio ambiente.

El PET es un material termoplástico que puede ser reprocesado ya que al calentarse y ablandarse puede ser moldeado y enfriado recurrentemente.” De acuerdo a [3] El éxito que ha tenido el PET por sus características de resistencia al desgaste, corrosión, buena barrera a la humedad.

El bajo costo y peso del PET es un factor para su amplio uso en envase de diversos productos siendo uno de los principales el consumo de refrescos y “México es el mayor consumidor de refrescos en América Latina, con 163 litros al año por persona, y es el país con el consumo más alto de agua embotellada en el mundo, con 480 litros per cápita al año” [4].

El consumo de bebidas embotelladas genera un aproximado de 20,000 millones de anuales en el 2018. En cuanto a la recolección de residuos plásticos en México “el polietileno es el que más se recicla al representar el 51.2%; le siguen el PET con el 22.1%” [5].

Los residuos plásticos se acumulan en los rellenos sanitarios y basureros con impactos negativos en el medio ambiente “más del 80% del PET va a parar en su mayor parte a basureros municipales y rellenos sanitarios, aunque también se les encuentra en calles, terrenos suburbanos, cauces de ríos y playas, entre otros” [6].

Existe una amplia demanda por el PET de color natural en el mercado” destacando que el 8% de la producción anual de petróleo se destina a la fabricación de plásticos y reciclar requiere 80% menos energía” [6].

México tiene entre 60 y 100 acopiadores de PET de los cuales únicamente entre el 15% y 20% están bien establecidos y operan de manera formal el resto carece de infraestructura y trabajan de forma improvisada.

El acopio de PET se realiza por medio de pepenadores quienes tienen recursos limitados para obtener el material de la basura esto se refleja en un deficiente abasto de materia prima para la industria que usa dicho material además se paga un precio muy bajo por cada kilogramo de PET recolectado y desincentiva el acopio del mismo.

Aunque el PET reciclado tiene múltiples aplicaciones en las industrias manufactura en México faltan regulaciones efectivas que apoyen e incrementen los volúmenes de recolección y reciclaje del PET para su comercialización local e internacional.

Tomando como referencia la figura 1.1, cuanto más tardemos en actuar mayores serán los daños y la propuesta de la economía circular identifica una serie de procesos; la producción, consumo y reciclado de los productos que utilizamos con los principios de respetar y reparar los recursos naturales, la renovación y reutilización de productos y sus componentes.



Ilustración 1. Entre 5 y 13 millones de toneladas de plásticos se filtran cada año en los océanos del mundo y son ingeridos por aves marinas, peses y otros organismos [2].

Objetivo General

Estudiar la posibilidad de utilizar las botellas de PET en la Manufactura Aditiva.

Objetivos específicos.

- Describir impresoras 3D y materiales.
- Reciclar botellas PET y su relación con la económica circular.
- Usar botellas de PET como materia prima para la impresión 3D.

II. FUNDAMENTO TEÓRICO

El “tereftalato de polietileno. PET, fue inscrito con la denominación de un polímero para fibra por los autores: J. R. Whinfield y J. T. Dickson en 1941” [7]. Al principio dicha fibra se usaba para fabricar poliéster a nivel industrial en 1955. Y posteriormente se utilizó en la fabricación de botellas con amplia producción y consumo por sus ventajas en la industria por ser ligeras, fácil de manipular, resistente a la corrosión y por su rentabilidad.

Formas de reciclaje de PET.

Con un incremento de la demanda a nivel mundial “en el año 2016 se vendieron aproximadamente de 480,000 millones de botellas plásticas en todo el mundo” [8]. Además, la mayoría de botellas de PET fueron utilizadas para bebidas embotelladas y solo el 50% se recicla y el 7% de aquellas acopiadas se convirtió en nuevas botellas.

De acuerdo a [3] el PET reciclado tiene tres tipos de procesos de transformación en México.

- Centro de acopio con una inversión entre 500 a 2,000,000 de pesos.
- Planta de molida con una inversión entre 1,100 y 3'500,00 de pesos.
- Planta de reciclaje con una inversión entre 2'500,000 hasta 30'000,000 de pesos.

El reciclado mecánico; separar, lavar y moler los envases. El plástico PET es troceado y en función de la utilidad se puede mezclar con arena para conseguir estructuras similares al hormigón.

Datos de ECOCE el precio por kilo de botellas de PET recicladas en el 2002 es de 1.88 a granel y de menudeo 4.03 kilo. En pacas mixtas por kilo 3.76 mayoreo y 6.44 menudeo. En hojuelas limpias color natural precio por kilo 7.25 mayoreo y 12.08 menudeo. Y por último el precio por kilo de pellet color natural es de 12.08 mayoreo y 16.11 menudeo.

Precio del PET en el 2021. Compra de PET \$4.50 pesos por kilo.

Hechos curiosos acerca del PET [9].

- La primera botella de PET fue reciclada en 1977
- Número aproximado de botellas por libras y (kilogramos)
- 16 Onzas. (500ml) – 18 botellas por libra (0.46 kg.)
- 20 Onzas. (600ml) – 16 botellas por libra (0.46 kg.)
- 1 Litro – 12 botellas por libra (0.46 kg.)
- 2 Litros – 9 botellas por libra (0.46 kg.)
- 3 Litros – 5 botellas por libra (0.46 kg.)
- Reciclar una tonelada de PET ahorra 7.4 yardas cúbicas, 5.66 metros cúbicos, de espacio de relleno.
- Catorce botellas de 20 onzas producen suficiente fibra para hacer una playera extragrande.
- Se necesitan las mismas 14 botellas para fabricar un tapete de un pie cuadrado (929 cm²)
- 63 botellas de 20 onzas son suficientes para hacer un suéter
- 14 botellas de 20 onzas producen fibra para hacer una chamarra de esquí
- 85 botellas de 20 onzas pueden producir la fibra necesaria para un saco de dormir.

Beneficios de reciclar el PET

Beneficios medioambientales
Tus 20 kg de residuos de envases y empaques separados y reciclados generan los siguientes beneficios medioambientales:

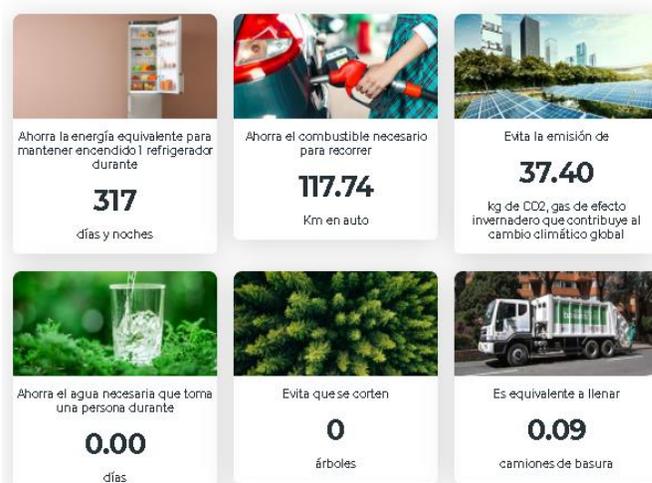


Ilustración 2. Calculadora ecológica, beneficios de reciclar 20kg de PET [10].

Manufactura aditiva.

La impresión 3D transforma un modelo digital en un objeto físico real. En el año 2010 la creación rápida de prototipos comenzó a ganar importancia con avances tecnológicos que rompen barreras.

La tecnología denominada Fused Deposition Modelling (más conocida por su acrónimo FDM) consiste en la fusión de un hilo de plástico en un cabezal que a su vez va depositando el material capa a capa formando una geometría 3D.

Tecnología LENS (Laser Engineered Net Shaping). Esta tecnología consiste en un cabezal de impresión que añade el polvo y se mueve en los tres ejes y un láser enfocado hacia él.

Estas tecnologías de fabricación rápida comienzan a ser utilizados en el sector industrial en la fabricación de pequeños moldes o piezas de alta complejidad en la fabricación de componentes de plástico para vehículos de competición. Sin embargo, las cualidades de personalizar las piezas y la diversidad de materiales a utilizar permiten su aplicación en medicina para diseñar desde prótesis hasta la creación de órganos usando células vivas como material para imprimir.

Las impresoras 3D han evolucionado y hoy se cuenta en el mercado con diferentes modelos que usan materias primas diversas, por ejemplo; filamento, resinas líquidas y otros como materiales granulados entre los que se encuentran plásticos y metales. Algunas impresoras usan aglutinantes en sus procesos o diferentes formas para solidificar el material como luz ultravioleta entre otros.

Tipos de impresoras.



Ilustración 3. Fabricación por Fusión de Filamento [11].

Tecnología de Impresión: FFF.
 Velocidad de impresión: 20~100mm/s (se sugiere 60mm/s).
 Velocidad de viaje: 100mm/s
 Materiales de apoyo: PLA, TPU.
 Entre otros.



La impresora 3D de nivel industrial de autoensamblaje
 Volumen de impresión: 1200 X 600 X 640 mm. Velocidad de impresión: recomendada 60-80 mm/s. Materiales Compatibles: PLA, HIPS, ABS, FLEX, WOOD, Entre otros.

Ilustración 4. Fabricación por Fusión de Filamento. Nivel industrial [11].

Impresoras 3D de alta resolución de resina Cuenta con un área de impresión de 145 × 145 × 175 mm
 Con láser de precisión de 250mW Volumen de impresión: 145 × 145 × 175 mm



Ilustración 5. Impresoras Stereolithography. SLA [11].

impresoras 3d. De un láser ultravioleta de 405 nanómetros de potencia, que sintetiza la resina para construir figuras y piezas de un tamaño máximo de 121 mm x 68 mm x 180 mm.
 Área máx. impresión: 120,96 *

68,5 * 180 mm

Material de soporte: Resina

Velocidad máxima de impresión: 30 mm / horas.

Ilustración 5. Impresoras LCD [11].

Las impresoras 3D DLP son impresoras similares a la SLA en su uso, pero en vez de usar un láser para curar la resina fotosensible, se utiliza un proyector con diodos led UV para poder endurecer la resina. Ofrece una calidad semejante a la SLA.



Tamaño máximo de área de impresión 65x41x80mm
 Velocidad de impresión 12 mm por hora
 Fuente de alimentación 100-120v, 5A / 200-240v, 2.5A

Ilustración 6. Impresora 3d con tecnología DLP. utiliza un proyector con diodos led UV. [11].

También debería decirse que SLS, por ejemplo, es más adecuado para las necesidades industriales: la tecnología puede generar volumen, lograr un alto nivel de productividad y repetibilidad, y producir piezas con cierto rendimiento mecánico.

La tecnología PAM (Pellets Additive Manufacturing) se basa en el procesamiento de materia prima en estado granulado. Para el caso de la impresión 3D en metal, la tecnología de referencia sería el MIM, que básicamente consiste en una coinyección de materiales metálicos y aglutinantes poliméricos en forma de polvo.

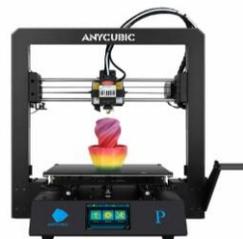
Ilustración 7. Impresora Pellets. [11].



La impresora Tumaker NX Pro Pellets es una alternativa a la Impresión 3D en formato filamento. El pellet o trozo es la forma inicial del plástico del que se fabrican los filamentos y con el nuevo sistema de extrusión desarrollado por la marca se puede imprimir directamente con el Pellet y se abre la posibilidad de imprimir con diferentes materiales metálicos polvo.

Los Tipos de filamentos.

Los filamentos están diseñados universalmente y son compatibles con impresoras 3D que utilizan filamentos de 1.75 mm de diámetro, con una precisión dimensional de +/- 0.05mm. ABS o acrilonitrilo butadieno estireno, es un termoplástico resistente y duradero.



Filamento de PLA Diámetro interno de carrete: 7.5 cm con un Diámetro externo: 19.5 cm.

Ancho de carrete: 6 cm. Material: ABS (acrilonitrilo butadieno estireno).

Temperatura recomendada de extrusión:

boquilla 210 ° C a 240 ° C

Ilustración 8. Filamentos para impresora 3D [11].

Otro, filamento de ingeniería profesional de alto rendimiento, basado en un compuesto de ASA (Acrylonitrile Styrene Acrylate) de calidad industrial. Estabilidad térmica, un comportamiento mejorado del flujo de filamentos, cero deformación y

impecable adhesión que le permite imprimir objetos 3D con precisión. Resistente a los rayos UV y a las inclemencias del tiempo.

Filamento flexible basada en TPU antiviral aprobado por la FDA. Aplicado en el campo médico en tratamientos postoperatorios, heridas, y equipo ortopédico. Además, se caracteriza por su flexibilidad y resistencia al calor y fácil de imprimir.

El filamento ePC es un material resistente al fuego lo cual puede ser importante para la prevención de incendios en algunos productos.

El filamento Z-HIPS es un material resistente al impacto, tiene excelentes propiedades de procesamiento, facilitando el trabajo de lijado y pintura necesario para dar un acabado profesional a las piezas.

El filamento PETG es imprescindible para la impresión 3D. Tereftalato de polietileno (PET). Transparente, resiste impactos. No es flexible, no se deforma cuando se enfría. Temperatura de impresión: 210° - 255° C, de la plataforma: 55° C.

Características de otros materiales para uso en Impresión 3D.

NYLON. Características: resistente y flexible, natural, resistente al agua y reutilizable. Sin embargo, se humedece fácilmente, por lo tanto, es necesario secarlo antes de imprimir. Temperatura de extrusión: 235° - 270° C Temperatura de la plataforma: 60° - 80° C.

LAYBRICK: Mezcla de yeso y plástico con la apariencia de piedra, con acabado liso o áspero. Fácilmente modificable, no rellenar por encima de 25%. Resistencia temperatura: 50° C Temperatura extrusión: 175°C – 250°C Cama caliente: no necesaria, recomendable a 50° C.

LAYWOOD: Mezcla plástico y viruta de madera, aspecto natural a madera. Está fabricado con maderas recicladas. Puede ser fácilmente modificable.

FILAFLEX: Elastómero con capacidad de estiramiento de 700%. Con la característica de doblarse sin romperse, recomendado en la fabricación de toques, juntas, plantillas de calzado, zapatillas, ruedas neumáticas.

Co-Poliéster Termoplástico (TCP FLEX). Características: flexible, fuerza estructural, memoria flexible, resistencia térmica, química.

NINJAFLEX: características: termoplástica capacidad de estiramiento menor a 700%. Tipo goma y soporta deformaciones. Las temperaturas de fusión de 215 °C en el cabezal y 40 °C en la superficie de impresión.

Uso de botellas de PET recicladas como materia prima para la impresión 3D.

Por su precio y disponibilidad el PET tiene un amplio potencial de reciclaje que se puede aprovechar en la impresión 3D ya que tiene buena resistencia a temperaturas y se puede usar en la industrial y el hogar.

El PET reciclado para la elaboración de filamento para impresora 3D se tritura, se corta en tiras para convertirse en filamento.

El uso de la impresión 3D es diverso, se pueden diseñar programas virtuales de fácil uso y compartir en la web para utilizarse en los hogares por medio de una impresora 3D. “Utilizando materiales biodegradables o reciclados se podrá formar nuevos materiales con aditivos para ser usados como material de aporte para la fabricación de piezas o artefactos por proceso de manufactura de deposición de material fundido 3D” [14], todo lo cual servirá para evitar el uso de materias primas no renovables y disminuir la contaminación por botellas PET en el mundo.

Las botellas de tereftalato de polietileno (PET) pueden ser recuperadas y recicladas con el fin de obtener nuevos productos. La adecuada selección de las botellas para ser molidas es mecánico y relativamente sencillo. Por ejemplo, las hojuelas (flakes) de PET obtenidas se transforman en fibra corta de poliéster este insumo combinado con otras fibras puede usarse para la fabricación; de ropa, relleno de cojines, alfombras, cortinas, entre otros.

Las impresoras 3D son cada día más precisas exactas rápidas y con producción robusta económica adaptable a materiales comerciales. Permiten la “fabricación de diferentes y complejas piezas fácil manejo del área de trabajo portabilidad fácil mantenimiento e interpretación de piezas en varios formatos” [6]. Y cada vez se ofrece una amplia variedad en el mercado.

El mercado de materiales de impresión 3D tiene un amplio alcance y crecimiento “se espera que para el año 2021 el mercado de materiales 3D llegue a \$ 1.4 mil millones de dólares” [6].

Al reciclarse el PET sus propiedades se alteran progresivamente si se comparan con el PET original es permeable a los gases, irrompible, ligero, no tóxico, y resistencia al impacto, además, consume poca energía en el proceso de transformado y se “modifica la estructura molecular, pasando de estructura amorfa a tipo laminar. Esto se consigue estirando la molécula en dos direcciones, la axial y la radial” [15]. Cambiando propiedades mecánicas como resistencia, pureza y tenacidad.

A nivel industrial la empresa Enka líder en el reciclaje de botellas PET recuperó en el año 2017. La cantidad de 800 millones de botellas PET que es el 51% de las ventas y sus

ingresos de 357,470 millones de pesos por filamento elaborado con botellas de PET reciclado.

Existen otros modelos de impresoras 3D que utilizan pellets como materia prima lo que facilita la comercialización porque la materia prima en forma de pellets es más barata y reduce los atascos durante el trabajo.

La manufactura de piezas es significativamente más barata que el clásico FDM y podría competir en coste con piezas de inyección hasta series de 35,000 unidades una de las soluciones FDM de pellets más avanzadas para plásticos y metales, que introducen alguna variante con respecto a las opciones de impresión 3D más comunes.

En el caso del plástico la impresora Pam Series P que aparece en el Cuadro 6 hilera No.2 esta impresora produce con materia prima en forma de gránulo que se trata del formato de material más extendido en la industria del plástico. Esto le brinda acceso a la innovación y también a la red de suministro vinculada tecnologías tan extendidas como la inyección de plástico.

Uno de los procesos de fabricación aditiva (AM), es la extrusión de polímeros utilizando un filamento continuo como materia prima. Aumenta los costos y reduce la variedad de materiales, “el desarrollo de un cabezal de extrusión accionado por pistón que puede extruir gránulos de polipropileno en un filamento. El cabezal fue diseñado para minimizar el volumen de material fundido durante el proceso de extrusión y reducir el efecto de degradación del material” [16]. Este prototipo de impresora basada en extrusión de pellets de gran formato para producir una pieza de plástico de dos metros cúbicos de capacidad para la industria naval con un enfoque de diseño de optimización de topología.

La impresora 3D de Pellets de Tumaker [16] para materiales de más de 260° se usa ABS o similares con rangos de temperatura para extruir el material, después se baja la temperatura progresivamente hasta 250°.

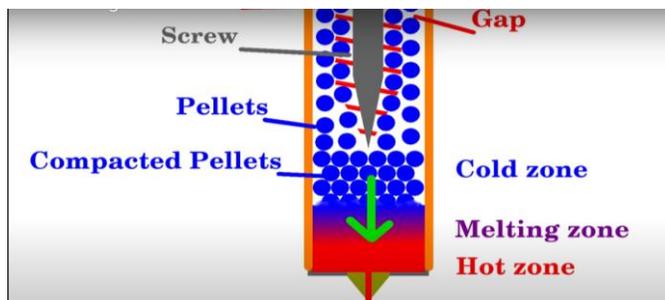


Ilustración 9. Granules extruder. [17].

Para materiales de menos de 260° se usa polímeros y se baja la temperatura progresivamente hasta 210°. Como se ilustra en la figura 3.

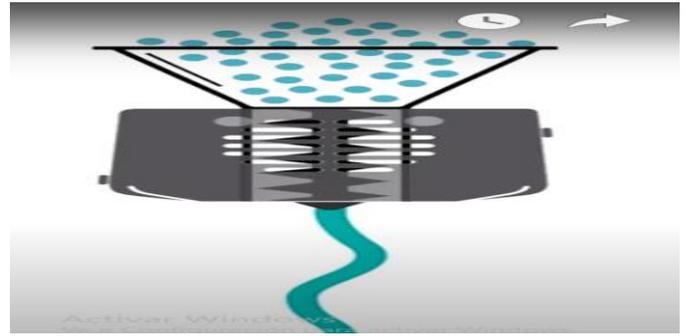


Ilustración 10. Pellets de Tumaker. [16].

Con el modelo de impresora 3D de la Ilustración 7, se puede imprimir con PET reciclado y fabricar objetos de tamaño natural.

Con este tipo de impresoras 3D, podemos eliminar el concepto de basura al usar PET reciclado y convertirlo en materia prima para fabricar diferentes objetos utilitarios o de ornato, eliminando así, uno de los grandes problemas que provoca la contaminación y el uso de recursos naturales no renovables, como el petróleo, dado el uso excesivo de botellas desechables de PET.

Reciclaje de PET su relación con la economía circular

En la economía circular se considera el diseñar de producto contemplando el consumo de energía consumido en los procesos de extracción, procesamiento, utilización, reutilización, reciclaje.

Para solucionar un problema complejo y masivo se pretende, incluir en los procesos; la sociedad, la economía y la ecología. Con el cuidado de equilibrar la participación de estas tres áreas en los procesos de consumo y el cuidado del medio ambiente incorporando los conceptos de la economía circular; reciclar, reparar, reutilizar, rediseñar re manufacturar, re imaginar. Apoyados en la manufactura 4.0 específicamente con la manufactura aditiva es importante diseñar para transformar el reciclaje de un producto de un solo uso como las botellas de PET en productos con una vida útil mayor.

La propuesta del modelo de la economía circular “modelo de desarrollo económico y social, que identifica una serie de procesos de nuestra economía en relación con la producción, consumo y reciclado de los productos que utilizamos, en aras a respetar y reparar los recursos naturales, la renovación y reutilización de productos y sus componentes.” [15], constituye un cambio de paradigmas al adoptar el protocolo Cradle to cradle en la producción sin entrar en conflicto con la naturaleza.

Cambiar el trinomio de producir, usar y tirar, imitando a la naturaleza donde basura es igual a alimento, así lo que es basura para unos individuos o procesos se convierte en alimento o materia prima para otros. Elegir tecnologías con el mayor rendimiento posible para reciclar las botellas de PET utilizando el principio de preservar y mejorar los flujos de

recursos renovables.

El principio de optimizar los rendimientos de los recursos distribuyendo productos componentes y materias con su utilidad máxima en todo momento tanto en ciclos técnicos como biológicos. Implica diseñar en función del reciclaje para mantener las materias circulando en el proceso productivo.

El protocolo Cradle to cradle promueve que los desechos del proceso productivo se transformen en nutrientes biológicos y vuelvan a entrar en la biosfera de forma segura para que la descomposición resulte en materias más valiosas para el ciclo biológico. Además de cuidar el diseño de productos de materiales no biodegradables sean fáciles de reciclar y separar en partes para facilitar su reciclaje y uso en cascada en otras aplicaciones con un mayor rendimiento.

El principio de promover la eficacia de los sistemas eliminando del diseño los factores negativos para reducir los daños en la alimentación, la movilidad, la educación, la sanidad y el ocio, implica gestionar la contaminación del suelo, del aire y del agua evitando las sustancias tóxicas en los procesos productivos.

Para reciclar el PET se requiere el compromiso social no es sólo disminuir el consumo de recursos no renovables sino evitar que dicho material se considere desechos o desperdicios. Es decir, pensar desde que se genera el producto en los usos como materia prima para el siguiente proceso productivo y así sucesivamente desaparecerá el PET de vertederos al aire libre y rellenos sanitarios.

Por último, el futuro del mercado de polímeros para la impresión 3D el cual “se espera que genere \$ 11.7 mil millones en ingresos en 2020, aumentando a \$ 24 mil millones en 2024 y \$ 55 mil millones en 2030” [25]. Los procesos de impresión 3D en cuatro: fusión láser de lecho de polvo, extrusión, fotopolimerización y material jetting.

La impresión 3D se orienta a las aplicaciones industriales y ofrece diversos materiales: termoplásticos estándar, técnicos, de alto rendimiento, resinas, polvos.

III. PROCEDIMIENTO

Después de revisar la literatura y considerando el avance de las impresoras 3D se presenta la idea de recortar el PET en tiras para reciclar y utilizarlo en la impresora 3D.

Cortar en tiras de 8 mm las botellas de PET para conseguir el filamento para alimentar la impresora 3D y posteriormente las pasamos por una pistola de silicón para dar forma PET y convertirlo en filamento que pueda usarse en la impresora.

El proceso fue artesanal por la falta de equipo especializado. A continuación, se muestra el proceso en fotografías.



Ilustración 11. Paso 1. Recolección de botellas de PET con los vecinos.



Ilustración 12. Paso 2. Recolección de botellas de PET con los vecinos.



Ilustración 13. Paso 3. Pasar las tiras de PET por una pistola de silicón para formar el filamento

En las Ilustraciones anteriores 11, 12 y 13 se muestra el recorrido para llegar al final del proceso, debido a que es un proceso artesanal totalmente y relativamente sencillo sin embargo por esa causa no se logra un terminado uniforme del diámetro del filamento 1.75 mm +/- 0.05.

De una botella de 3 litros se consiguieron 6.5 metros de filamento, con diámetro variable entre 7.5 mm a 8.5 mm.

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Al intentar alimentar la impresora con el filamento se encontró que el filamento no pasaba por el tubo de alimentación y se procedió a pasar nuevamente el filamento por la pistola de silicón para adelgazar el diámetro del filamento.

Se pasó el filamento de nuevo en la pistola de silicón para disminuir el diámetro del filamento.

Ilustración 14. Se reduce el diámetro del filamento

Se logró el objetivo de pasar el filamento por la guía de alimentación de la impresora 3D.

Ilustración 15. El filamento pasa por el tubo de alimentación de la impresora 3D.

Se programó la temperatura de la impresora 3D a 260° de acuerdo a la teoría. Para fundir el PET como lo indica la literatura.



Ilustración 16. Filamento de PET reciclado usado en la impresora 3D.

Como se muestra en las ilustraciones anteriores se logró el objetivo de alimentar con filamento reciclado en la impresora 3D del Instituto. Con esto se muestra que es posible reciclar el PET en forma de filamento y utilizarlo en impresoras 3D. En el instituto se cuenta con una impresora ROVA 3D en la cual se hicieron las pruebas con el filamento de botellas de PET recicladas.

V. CONCLUSIONES

La manufactura aditiva elimina el desperdicio de materiales ya que se fabrican las piezas con precisión, además permite la innovación en materiales y diseño de objetos novedosos y de formas caprichosas.

Existen impresoras 3D FDM que permiten imprimir con diferentes boquillas entre de 0.4mm a 0.8mm y a temperaturas entre 180°C – 350°C. Esta tecnología nos permite imprimir con hilos o pellets de PET lo que constituye una ventaja por su disponibilidad.

Se consiguió hacer filamento con las botellas de PET recicladas y utilizarlo como materia prima en la impresora 3D, con este proceso se puede evitar que las botellas de PET terminen en la basura.

Es importante mencionar que el proceso utilizado surge como consecuencia de las limitaciones que se dieron por la pandemia. Lo que llevo al resultado de recortar las botellas de PET en tiras de 8mm, después pasarlas por una pistola de silicón para dar forma de filamento y finalmente alimentar la impresora con este material.

Integrar el material reciclado en el proceso de la manufactura aditiva se convierte en productos novedosos de

alto valor comercial siguiendo el concepto de la economía circular en cuyo modelo se imita a la naturaleza.

Usando los desechos de una industrial como alimento para otro proceso de fabricación.

Al convertir el PET en filamento con métodos artesanales se observó que las herramientas usadas pueden incorporarse a la impresora 3D y con estas ideas se pueden generar nuevos proyectos.

RECONOCIMIENTO

Agradecemos al TecMM PyH por el apoyo proporcionado en la realización del presente artículo.

REFERENCIAS

- [1] PASCUAL, Alex. Stop Basura: La verdad sobre reciclar. CreateSpace, An Amazon. com Company, 2019.
- [2] JIMÉNEZ, Mariano, et al. Additive Manufacturing Technologies: An Overview about 3D Printing Methods and Future Prospects. Complexity, 2019, vol. 2019.
- [3] DURAN FLORES, Uriel Humberto. Diseño de una recicladora de PET Estrategias y cadenas de suministro para su formulación. EE.UU : Palibros LLC, 2013. 978-1-4633-6549-3.
- [4] JORNADA, La. La Jornada Meximold 2021. México, mayor consumidor de bebidas embotelladas. [En línea] [Citado el: 26 de Julio de 2021.] <https://www.jornada.com.mx/2018/07/26/sociedad/034n2soc>.
- [5] FORBES. Presenta Anipac primer estudio cuantitativo de la industria del reciclaje de plásticos en México. [En línea] 20 de Mayo de 2021. [Citado el: 26 de Julio de 2021.] <https://www.forbes.com.mx/presenta-anipac-primer-estudio-cuantitativo-de-la-industria-del-reciclaje-de-plasticos-en-mexico/>.
- [6] GONZÁLEZ, Cleotilde García; BAUTISTA, Eduardo Muñoz; GALLARDO, Amada Hidalgo. La exportación de polietileno tereftalato (pet), una oportunidad comercial para México. Los paradigmas en las dinámicas legales, económicas y de competitividad en el Comercio Internacional. ISBN: 978-607-9490-58-4.
- [7] GAIBOR, Jeverson Santiago Quishpe; ORTIZ, Junior. Ética En La Producción De Botellas Plásticas Y Su Contaminación Al Medio Ambiente. Revista Caribeña De Las Ciencias Sociales, 2018, vol. 2018, no 9.
- [8] S. Laville y M. Taylor, «el diario.es,» The Guardian, 30 Junio 1917. [En línea]. Available: https://www.eldiario.es/internacional/theguardian/compra-botellas-plastico-mayoria-vertederos_1_3309129.html. [Último acceso: 10 06 2021].
- [9] CAPITULO4. Mercado. [En línea] [Citado el: 26 de Julio de 2021.] http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mepi/argueta_a_a/capitulo4.pdf.
- [10] ECOCE. Calculadora ecológica. [En línea] [Citado el: 26 de Julio de 2020.] <https://www.ecoce.mx/calculadora-ecologica>.
- [11] IMPRESORAS 3D. [En línea] [Citado el: 23 de Julio de 2021.] <https://www.impresoras3d.com.mx/>.
- [12] IT3D. Tumaker NX Pro Pellets. impresora 3D Pellets. [En línea] [Citado el: 23 de Julio de 2021.] <https://it3d.com/impresoras-3d/profesionales/tumaker-nx-pro-pellets/>.
- [13] INGENIUS. La impresión 3D con Pellets. [Video. En línea] [Citado el: 30 de Junio de 2021.] <https://eddm.es/blog-ingenius/impresion-3d-con-pellets/>.
- [14] IXCOY TIZOL, Fernando Israel. Desarrollo e innovación tecnológica en el proceso de manufactura, con el uso de impresora 3D. 2017. Tesis Doctoral. Universidad de San Carlos de Guatemala.

- [15] BALAGUER, José Esteban Gabarda. Una visión estratégica y holística de la economía circular en las ciudades. *Actas Icono 14*, 2019, vol. 1, no 1, p. 374-395.
- [16] VOLPATO, N. y col. Análisis experimental de un sistema de extrusión para fabricación aditiva a base de gránulos de polímero. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2015, vol. 81, no 9, pág. 1519-1531.
- [17] HOMOFACIENS. YouTube. DIY direct granules extruder. [Video. En línea] [Citado el: 27 de Junio de 2021.] <https://www.youtube.com/watch?v=oRNglu3K7vg>.
- [18] NIETO, Daniel Moreno; LÓPEZ, Víctor Casal; MOLINA, Sergio Ignacio. Fabricación aditiva a base de pellets poliméricos de gran formato para la industria naval. *Fabricación aditiva*, 2018, vol. 23, pág. 79-85.
- [19] ARTEAGA MEDINA, Laura, et al. Fabricación de filamentos para impresora 3D a partir de materiales reciclados. 2015.
- [20] PULECIO LEÓN, Germán Santiago, et al. Estudio de factibilidad de la producción de filamento para la impresión 3D, a partir de botellas (PET) recicladas en Uniempresarial. 2019.
- [21] TUMAKERS. YouTube. Impresora 3D de Pellets de Tumaker - Primeros Pasos. [Video. En línea] [Citado el: 28 de Junio de 2021.] <https://www.youtube.com/watch?v=PWsdK6Tog>.
- [22] FREITAS, Adriano de; PEREIRA, Matheus Gomes Couto; HAUENSTEIN, Roger Yoití. Estudio de alternativas para a redução da cadeia de suprimentos do processo de impressão 3D. 2017. Tesis de Licenciatura. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- [23] DE PINHO, Steven Soares. Conceção de uma cabeça de deposição de termoplástico para aplicação em sistemas de impressão 3D. 2018.
- [24] ZANDER, Nicole E. y col. El polipropileno reciclado se mezcla como nuevos materiales de impresión 3D. *Fabricación aditiva*, 2019, vol. 25, pág. 122-130. DOI. 2018.11.009.
- [25] Alicia, M. 3D natives. El mercado de impresión 3d de polímeros generará \$11.7 mil millones este 2020. [En línea] 05 de Marzo de 2020. [Citado el: 10 de Agosto de 2020.] <https://www.3dnatives.com/es/mercado-de-impresion-3d-de-polimeros-generara-este-2020-05032020/#!>.

Henríquez. Doctorado en Ciencias de la Educación, Universidad Santander, Guadalajara Jalisco. Maestría en Educación con Intervención en la Práctica Educativa, Centro de Estudios de Postgrado, Guadalajara Jalisco. Licenciado en Matemáticas, Universidad de Guadalajara, en el estado de Jalisco. Técnico Laboratorista en Concretos y Pavimentos, Universidad de Guadalajara, en el estado de Jalisco.

Docente titular en las asignaturas de Calculo Diferencial, Calculo Integral, Algebra Lineal, Calculo Vectorial, Estadística Inferencial e Hidráulica, además trabajar con el taller de Habilidades matemáticas en esta institución, todo esto en un periodo de 14 años. Tiene el cargo de Secretario de Academia de la Carrera de Ingeniería Industrial y es Asesor de Residencias y Titulación. Trabajo en investigación educativa en el área de diseño de video tutoriales para mejorar el aprendizaje de las matemáticas y actualmente trabaja en la línea de Investigación de Calidad y Productividad de los procesos industriales.

Biografía Autor(es)

¹Dra. Gutiérrez Limón Angélica, actualmente con perfil PRODEP, Profesora de tiempo completo del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez. e-mail angelica.limon@zapotlanejo.tecmm.edu.mx Maestra en Administración egresada de la Universidad de Guadalajara. Actualmente curso la Maestría de Ingeniería en Manufactura 4.0 en la universidad digital ALINCO y Doctorado en Economía en Atlantic International University. Profesora de carrera de Ingeniería Industrial.

²Mtro. Pedro Tamayo Gómez, profesor asociado A, Unidad Académica Zapotlanejo, Tecnológico Superior de Jalisco Mario Molina Pasquel y Henríquez, Maestría en Educación con Intervención en la Práctica Educativa, Centro de Estudios de Postgrado, Guadalajara Jalisco. Ingeniero en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico de Jiquilpan. Docente, asesor de residencias y titulación a nivel superior en el Tec MM UA Zapotlanejo.

Colaborador en investigación educativa en el área de diseño de video tutoriales para mejorar el aprendizaje de las matemáticas y actualmente trabaja en la línea de Investigación de Calidad y Productividad de los procesos industriales.

³Dr. Salvador Barajas Aranda es actualmente perfil PRODEP. Profesor Titular A, Unidad Académica Zapotlanejo, Tecnológico Superior de Jalisco Mario Molina Pasquel Y