

La calidad del PET Reciclado para Manufactura Aditiva y Economía Circular

A. Gutiérrez Limón ^{#1}, P. Tamayo Gómez ^{#2}, S. Barajas Aranda ^{#3}

[#]Tecnológico Nacional de México: Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Zapotlanejo, Jalisco, México

¹angelica.limon@zapotlanejo.tecmm.edu.mx, ²pedro.tamayo@zapotlanejo.tecmm.edu.mx, ³salvador.barajas@zapotlanejo.tecmm.edu.mx

Resumen—La alta contaminación generada por uso de botellas de PET principalmente en envases para la industria de bebidas gaseosas y agua mineral, aceites, entre otros que tardan en degradarse de 100 a 1000 años. Estos datos llevan a formular la pregunta ¿es posible dar otro uso a dicho material? Dado que la economía circular plantea imitar a la naturaleza en donde lo que es basura para un sistema se convierte en materia prima para otro sistema en este caso la basura que constituyen las botellas de PET se convierta en materia prima para los procesos de Manufactura Aditiva. Industria que usa como materia prima Polímeros, en este sentido se transformaría el tereftalato de polietileno (PET) de alta demanda en el mercado por sus características de; transparencia, resistencia al desgaste, a la corrosión, resistencia química y térmica y reciclable. Además de ser un material de fácil transformación que se deforma a altas temperaturas y al enfriarse toma la forma del diseño requerido sin presentar un cambio químico. Utilizar las botellas de PET reciclado como materia prima ya sea en tiras o convertir en pellet para imprimir en impresora 3D que funde el filamento entre 250° y 270° y fabricar los objetos que permita cada modelo de impresora 3D y sus dimensiones respectivas. Dado que el filamento cumple la calidad necesaria en diámetro +/- 0.05 y rendimiento de impresión.

Palabras clave—Economía circular, Impresora 3D, Reciclaje de PET.

I. INTRODUCCIÓN

La fabricación de filamento es el proceso previo a la impresión 3D y se ha realizado con procesos de transformación de plástico a escala media con maquinaria especializada y con extrusoras de filamento destinada a centros de reciclaje a baja escala como; FilaBot, FilaExtruder, entre otros. Estas empresas aplican un modelo de negocio basado en el concepto de economía circular al recuperar materiales para incorporarlos en el ciclo económico; consumo-reciclar-producción-consumo que pueden permanecer en el ciclo. De ser posible se elimina el desperdicio.

El filamento de PET reciclado en donde la baja variación del diámetro tiene un amplio efecto en las piezas impresas, debido a las irregularidades de flujo que se pueden producir en el cabezal de extrusión de la impresora. Con el fin de minimizar los efectos, industrialmente se ha establecido una tolerancia estándar en la medida de diámetro de ± 0.05 mm del valor nominal de 1.75 mm.

Dada la disponibilidad de PET reciclado y sus propiedades mecánicas y rendimiento en la impresión 3D estudios revelan que los “resultados son inferiores al PET virgen, esto atribuido a la degradación que se sufre en el procesamiento, sin hacer énfasis en su rendimiento de producción de filamento ni en el efecto de esta variable en la impresión” [1]. Los efectos tomando en cuenta dos aspectos del filamento; estabilidad dimensional y su rendimiento del filamento producido.

II. CONTAMINACIÓN POR BOTELLAS DE PET

Los plásticos de un solo uso representan el 50% de lo que se produce cada año y el 40% del plástico que se fabrica es para envases que se desechan tras un solo uso. Los cuales terminan en el ártico y en el fondo del mar, pues se estima que ocho millones de toneladas de plástico llegan a los océanos cada año dicho problema se ha visto agravado debido a la pandemia por COVID-19. De acuerdo a datos de la Procuraduría Federal del consumidor y se prevé que 2040 se triplicará el flujo de materiales plásticos en el océano por ello se hacen necesarios cambios de innovación y de comportamiento. Además, los compuestos químicos de estos contaminantes tienen un efecto similar al de algunas hormonas afectando la salud reproductiva y cambios en la respuesta inmune, entre otros efectos.

Consumers International propone: **RENOVAR**, usar recipientes rellenables. **REPENSAR**, comprar productos sin empaque. **RECHAZAR**, Di no a los envases desechables en su lugar lleva el tuyo. **REDUCIR**, reduce tu huella de plástico usando productos reutilizables. **REUTILIZAR**, reutiliza los artículos de plástico que ya tienes y extiende su vida útil. **RECICLAR**, exige un mejor acceso a la infraestructura y recolección de residuos. **REPARAR**, repara los articulo o dañados para limitar el desperdicio.



Fig. 1. Degradación de objetos cotidianos.

III. LA ECONOMIA CIRCULAR Y EL RECICLAJE DE PET

El plástico más reciclado es el PET por sus ventajas para almacenar alimentos tiene mínima interacción con el contenido y crear una barrera para el oxígeno y el agua, resistente, ligero y transparente.

Afortunadamente las tasas de reciclaje van en aumento por una mayor conciencia del público y eficiencia de las operaciones de reciclaje. “STADLER está a la vanguardia de este progreso, buscando constantemente formas de maximizar la eficiencia del proceso de reciclaje y la calidad de la producción” [3]. Con más de 10 plantas recicladora de botellas de PET.

En el proceso de economía circular las botellas de PET se recicla sin etiqueta, sin tapa y se separa por color para triturarse después se lava, se seca y se descontamina se funde a 270 °C y se granula. Posteriormente se mezcla con nuevo material y fundido pasando por máquinas de moldeo por inyección para producir nuevas botellas de PET. De esta manera continua el círculo de consumo, reciclado, producción y de nuevo consumo.

Ventaja del reciclaje de PET es reducir el uso de materias primas en 35%, ahorrando petróleo. Con un consumo de 88% menos de energía en la producción. Y eficiencia en el diseño de botella de PET de 1,5 litros, de 26,8 g, en comparación a 38gramos mostrando una reducción en materiales del 66% en los últimos 5 años.

La optimización del transporte al soplar las preformas en botellas en la planta de llenado, un camión puede transportar 700,000 preformas pero solo 15,000 botellas de PET terminadas.

IV. ESTABILIDAD DIMENSIONAL DEL PET RECICLADO

En el proceso de reciclaje se presenta una degradación como se muestra en la TABLA I. como la resistencia al impacto que va de 12 a 20 y la temperatura de fusión que por lo regular es una ventaja ya que implica ahorro de energía durante el procesamiento.

TABLA I
COMPARACIÓN DE MATERIAL PET VIRGEN Y MATERIAL RPET [4]

<i>Propiedad (unidad)</i>	<i>PET Virgen</i>	<i>PET Reciclado (RPET)</i>
Módulo - Young (MPa)	1890	1630
Resistencia - rotura (MPa)	47	24
Resistencia de impacto (Jm ⁻¹)	12	20
Viscosidad intrínseca (dl g ⁻¹)	0.72 – 0.84	0.46 – 0.76
Temperatura - fusión (°C)	244 – 254	247 – 253
Masa molecular (g mol ⁻¹)	81,600	58,400

Si bien cambian algunas propiedades el filamento producido a partir de PET reciclado se puede utilizar sin ningún procesamiento en la fabricación de pequeños objetos en la impresora 3D. Se puede usar para fabricar adornos navideños como copos de nieve y pinos. Además, se puede utilizar para adornos que se pueden aplicar a la industria de la moda, por ejemplo imprimir mariposas u otro objeto personalizando las prendas con la versatilidad que ofrece la impresión 3D.



Fig. 2. Recolección de botellas de PET

Se recolectaron 300 botellas entre cristalinas y verdes de las cuales se recortó la parte lisa y se retiró la etiqueta para conseguir las medidas del diámetro del filamento y se elaboró un cortador con dos ranuras para obtener dos diferentes listones de las siguientes medidas como muestra la Fig. 3 de los dos tipos de materiales de botellas de PET reciclado, cristalino y verde.



Fig. 3. Corte de listones de 0.60mm y 0.70mm de PET

Posteriormente se pasaron los listones por un caudín para dar la figura redonda y la dimensión requerida como muestra la Fig. 4, se midió la dimensión del filamento para documentar la variación y realizar el diseño del experimento.



Fig. 4. Corte de listones de 1.75mm y 1.82mm de PET

Se tomaron medidas de los filamentos con el vernier. La escala del vernier usualmente es de 1:100, eso significa que los números escritos en ella son una centésima parte de un centímetro.

TABLA II
COMPARACIÓN DE MATERIAL PET VIRGEN [1] Y MATERIAL RPET

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razon F	Valor P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Espesor	.0761308	2	0.380654	17.19	0.0001
B: Material	0.000204167	1	0.000204167	0.01	0.9246
INTERACCIONES					
AB	0.000908333	2	0.000454167	0.02	0.9797
RESIDUOS	0.398575	18	0.0221431		
TOTAL CORREGIDO	1.161	23			

Los resultados como se muestran en la tabla ANOVA descomponen la variabilidad de observaciones en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha elegido la suma de cuadrados Tipo III, la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor -P es menor que 0.05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre observaciones con un 95.0% de nivel de confianza.

Las temperaturas para elaborar el filamento a partir de PET reciclado van de 245 a 255 °C “de esta manera, se obtuvieron aproximadamente 200 g de filamento de cada material; el número de datos recopilados durante la extrusión de esta cantidad es una muestra representativa de 1 Kg según el teorema de valor medio.” [1, p. 8] El filamento debe almacenarse tapado a temperatura ambiente.

El tereftalato de polietileno o PET y el Polietileno son excelentes en las industrias de fabricación porque son fáciles de formar, duraderos y son resistentes a los productos químicos como lo podemos ver en la Tabla III. Además, se puede dar forman fácilmente a bajas temperaturas y esto es lo que las hace populares en la industria de impresión 3D.

El rendimiento en la impresión coincide con la cantidad estimada en el programa de impresión. Por ejemplo, si el programa de impresión estima que una figura de una moneda impresa con PET requiere 75cm de filamento de la descripción de su biblioteca de materiales y usamos PET reciclado coincide con el rendimiento programado.

V. CONCLUSIÓN

En las observaciones del material mostrado en la Figura 4 se pueden ver en un análisis cualitativo de la calidad que coinciden con los resultados de Lazo-Lobo y col. [1] ya que se observan pequeñas irregularidades en el filamento como pequeñas burbujas.

Además, de regularidad de diámetro medido como se ve en la Tabla II con una variación de 0.05 lo que coincide con

los polímeros que ofrece el mercado. Finalmente, cada kilogramo de filamento vendido representará la eliminación de 120 botellas de las calles.

TABLA III
TABLA DE CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS A TEMPERATURA AMBIENTE DE ALGUNOS POLÍMEROS [1]

Material	Densidad [g/cm³]	Módulo elástico [psi·10 ⁵ (MPa·10 ⁵)]	Resistencia a la tracción [psi·10 ³ (MPa)]	Resistencia al impacto (ft-lbf/in)
Polietileno de baja densidad)	0.917-0.932	0.25-0.41 (1.7-2.8)	1.2-4.6 (8.3-31.7)	No se rompe
Polietileno (alta densidad)	0.952-0.965	1.55-1.58 (10.6-10.9)	3.2-4.5 (22-31)	0.4-4.0
Politetrafluoroetileno	2.14-2.20	0.58-0.8 (4.0-5.5)	2.0-5.0 (14-34)	3
Polipropileno	0.90-0.91	1.6-2.3 (11-16)	4.5-6.0 (31-41)	0.4-1.2
Poliestireno	1.04-1.05	3.4-4.8 (23-33)	5.2-7.5 (36-52)	0.35-0.45
Tereftalato de polietileno (PET)	1.29-1.40	4.0-6.0 (28-41)	7.0-10.5 (48-72)	0.25-0.70

REFERENCIAS

- [1] J. R. Lazo Lobo “Mejoramiento de la procesabilidad del PET reciclado: evaluación de mezclas poliméricas para mitigar degradación y mejorar estabilidad en la extrusión de filamento de impresión 3D con PET posconsumo”. Tesis Doctoral. Universidad EAFIT. 2021.
- [2] C. F. Aliaga. (2018). Reciclación [En línea]. Disponible en: <https://www.reciclacion.cl/noticias/ tiempo-de-degradacion-de-los-residuos-2/>.
- [3] M. Reciclado. (2020) Reciclaje de PET: hacia una economía circular. [En línea]. Disponible en: <https://magazinreciclado.com/2020/05/31/reciclaje-de-pet-hacia-una-economia-circular/>.
- [4] D. G. Sandoya Lara y C. M. Macías Coello, “Diseño y construcción de un equipo triturador-extrusor de material plástico reutilizable tipo tereftalato de polietileno (PET) para la elaboración de filamento para impresoras 3d. Tesis de Licenciatura. Quevedo: UTEQ. 2021.
- [5] Y. M. Prado Escobedo, “Análisis De Los Tiempos De Degradación De Productos Alternativos A Los Plásticos De Un Solo Uso En Medio Terrestre”. Tesis Doctoral. Ecuador-PUCESE-Escuela de Gestión Ambiental. 2022.
- [6] PROFECO. (2021) Contaminación por plásticos. Gobierno de México. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/profeco/es/articulos/contaminacion-por-plastico?idiom=es#:~: text=1%20Los% 20pl% C3% A1sticos% 20de% 20un% 20solo% 20uso% 20representan,desechan%20tras% 20un%20solo% 20uso.% 20Mas%20cosas...%20>.
- [7] E. Rodríguez Alonso, M. Herrero villar, M. Asensio Valentín y J. Guerrero, “Economía circular y fabricación aditiva: reciclaje y reintroducción de PET en dispositivos biomédicos”.
- [8] M. PET, (s.f.). Diferencias entre el PET y otros tipos de plástico. [En línea]. Disponible en: <https://maxipet.net/blog/diferencias-entre-el-pet-y-otros-tipos-de-plastico>.