



Conciencia Tecnológica  
ISSN: 1405-5597  
contec@mail.ita.mx  
Instituto Tecnológico de Aguascalientes  
México

## Diseño y construcción de extrusora de PET reciclado

---

Meza de Luna, Alejandro; García Reyes, Eriberto; González Herrada, Rodrigo; Sierra Ortiz, Rodolfo Benjamín; Chávez Valdivia, Fernando; Reyes Cortes, Rafael  
Diseño y construcción de extrusora de PET reciclado

Conciencia Tecnológica, núm. 63, 2022

Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94472192003>

## Diseño y construcción de extrusora de PET reciclado

*Design and construction of recycled polyethylene terephthalate extruder*

*Alejandro Meza de Luna*<sup>1</sup>  
*Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México*  
alejandro.meza@mail.ita.mx

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94472192003>

*Eriberto García Reyes*<sup>2</sup>  
*Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México*

*Rodrigo González Herrada*<sup>3</sup>  
*Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México*

*Rodolfo Benjamín Sierra Ortiz*<sup>4</sup>  
*Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México*

*Fernando Chávez Valdivia*<sup>5</sup>  
*Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México*

*Rafael Reyes Cortes*<sup>6</sup>  
*Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México*

Recepción: 02 Febrero 2022

Aprobación: 14 Mayo 2022

### RESUMEN:

Existe una gran cantidad de residuos no biodegradables que se encuentran en todo el mundo, uno de los que más utilizados y que más contaminan son los polímeros, empleados en diferentes elementos de consumo cotidiano. En este artículo se aborda la construcción de una máquina extrusora, desde su diseño auxiliado por computadora, hasta la validación de un producto final. La máquina extrusora construida funciona a partir de la compactación y calentamiento del material a reciclar, haciéndolo pasar en un estado visco elástico por una cavidad calibrada para generar un hilo extruido. Los resultados muestran una buena correlación entre los datos obtenidos en el análisis por elemento finito y los observados en la máquina extrusora. Además, se analiza la viabilidad en la producción de filamentos de 3 mm, a partir de la recuperación de botellas desechadas de Polietileno de Tereftalato (PET).

**PALABRAS CLAVE:** extrusora, PET, reciclado, termo conformado.

### NOTAS DE AUTOR

- 1 Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Departamento de Ingeniería Mecánica. Av. Adolfo López Mateos No. 1801 Ote. Fracc. Bona Gens, Aguascalientes, Ags., México. C.P. 20256, Tel: 01(449) 9105002, Fax: 01 (449) 9700423, alejandro.meza@mail.ita.mx
- 2 Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Egresados de Ingeniería Mecánica. Av. Adolfo López Mateos No. 1801 Ote. Fracc. Bona Gens, Aguascalientes, Ags., México. C.P. 20256, Tel: 01(449) 9105002, Fax: 01 (449) 9700423
- 3 Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Egresados de Ingeniería Mecánica. Av. Adolfo López Mateos No. 1801 Ote. Fracc. Bona Gens, Aguascalientes, Ags., México. C.P. 20256, Tel: 01(449) 9105002, Fax: 01 (449) 9700423,
- 4 Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Departamento de Ingeniería Mecánica. Av. Adolfo López Mateos No. 1801 Ote. Fracc. Bona Gens, Aguascalientes, Ags., México. C.P. 20256, Tel: 01(449) 9105002, Fax: 01 (449) 9700423
- 5 Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Departamento de Ciencias Básicas. Av. Adolfo López Mateos No. 1801 Ote. Fracc. Bona Gens, Aguascalientes, Ags., México. C.P. 20256, Tel: 01(449) 9105002, Fax: 01 (449) 9700423
- 6 Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Departamento de Ingeniería Mecánica. Av. Adolfo López Mateos No. 1801 Ote. Fracc. Bona Gens, Aguascalientes, Ags., México. C.P. 20256, Tel: 01(449) 9105002, Fax: 01 (449) 9700423

**ABSTRACT:**

There is a large amount of non-biodegradable waste found throughout the world, one of the most used and most polluting are polymers, used in different elements of daily consumption. This article deals with the construction of an extruder machine, from its computer-aided design to the validation of a final product. The constructed extruder machine works from the compaction and heating of the material to be recycled, making it pass in a viscoelastic state through a calibrated cavity to generate an extruded thread. The results show a good correlation between the data obtained in the finite element analysis and those observed in the extruder machine. In addition, the viability in the production of 3 mm filaments is shown, from the recovery of discarded bottles of Polyethylene Terephthalate (PET).

**KEYWORDS:** extruder, PET, recycling, thermoforming.

**INTRODUCCIÓN**

En la actualidad existen problemas ambientales que afectan gravemente al planeta, nuestro entorno revela una gran cantidad de residuos no biodegradables que se encuentran en todas partes, uno de los que más utilizamos y que más contaminan debido a la gran cantidad que es desechada día tras día son los polímeros presentes en los elementos de uso común. Un ejemplo muy singular es el consumo de bebidas; la mayoría de las personas consume una cantidad considerable de bebidas contenidas en envases de plástico comúnmente en plástico Polietileno de Tereftalato (PET) y que después de haber cumplido con su objetivo estos envases son desechados [1-4]. Los plásticos por su composición y su origen, derivado del petróleo, son un residuo relativamente fácil de recuperar y abundante (tanto o más que el vidrio en los residuos domésticos y creciente entre los residuos industriales) [1].

El consumo de plásticos en el mundo se estima que en la actualidad es al menos 170 millones de toneladas, de los cuales casi el 78% corresponde a termoplásticos y el 22% restante a termofijos [2]. Los principales destinos de estos plásticos son: un 70% de estos son enterrados o llevados a los vertederos de basura y solo el 30% restante es reciclado, por lo que gravemente afecta al planeta [3]. Del 30% reciclado se considera que tan solo el 36% en peso se procesa mediante extrusión [2].

Se han desarrollado algunos plásticos biodegradables [5,6], pero ninguno ha demostrado favorable degradación [7], por lo tanto, su eliminación es un problema ambiental. Otras opciones de reciclado proponen el uso de materiales poliméricos como refuerzo del concreto, demostrando ser una opción para mejorar sus propiedades mecánicas [8-11].

El presente artículo propone la construcción de una máquina extrusora que ayude a darle un nuevo uso a los desechos plásticos y con ello aportar al cuidado de los recursos naturales y a mitigar el problema de la contaminación. A diferencia de otras máquinas comerciales que utilizan una materia prima procesada, comúnmente en forma esférica con dimensiones controladas; la máquina que se propone en el presente artículo, utiliza una materia prima proveniente de botellas plásticas que es cortada con tijeras, con una forma final no uniforme.

La extrusión es el proceso más importante de obtención de formas plásticas, en volumen de producción [12,13]. Idealmente, es un proceso continuo, donde el producto es estado líquido-viscoso es empujado a través de un dado que le proporciona una forma definida, y posteriormente enfriada. Mediante extrusión se fabrican: tubos, perfiles, películas, manguera, láminas, filamentos y pellets [4,12,13]. La extrusión se ha empleado industrialmente durante los últimos 50 años. Inicialmente el uso de la extrusión se limitaba a mezclar y dar forma a macarrones y cereal granulado. En la actualidad, un extrusor se considera un birreactor de alta temperatura y corto tiempo de residencia que transforma una amplia variedad de materias primas en intermedios modificados o productos finales [14].

A lo largo de este artículo, conoceremos los puntos importantes que se deben conocer acerca del tema de los plásticos, así como su tratamiento para poder ser reutilizado a través de un proceso de extrusión. De manera principal, se abordarán las bases y fundamentos ingenieriles de una máquina extrusora para producir

filamentos a partir de desechos urbanos, desde su diseño, hasta la elaboración de un producto final y el análisis de resultados de modelados por elementos finitos.

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### Proceso de extrusión.

La extrusión es un proceso de compresión en el cual se fuerza al material a fluir a través del orificio de un dado para generar un producto largo y continuo, cuya forma de la sección transversal queda determinada por la geometría del orificio [12,13]. En general, se puede indicar que los dos componentes principales del extrusor son el cilindro y el tornillo. El dado no es un componente del extrusor, sino una herramienta especial que debe fabricarse con el perfil particular a producir [12,13]. La operación del tornillo está determinada por su geometría y su velocidad de rotación. El tornillo consiste en paletas o espas espirales con canales entre ellas, que conducen el polímero fundido [12,13]. El canal tiene un ancho  $w_c$  y una profundidad  $w_f$ . Al girar el tornillo, las paletas empujan el material a través del canal desde la tolva hasta el dado. El diámetro de la paleta es más pequeño que el del cilindro  $D$  con un pequeño claro. La función de este claro es limitar la fuga de la fusión hacia atrás, a través del canal conductor. La pared de la paleta tiene un ancho  $w_c$  y está hecha de acero endurecido para resistir el desgaste al girar y al rozar contra el interior del cilindro. El ángulo de la paleta  $A$  es el ángulo de la hélice del tornillo y puede determinarse mediante la ecuación 1 [12]. La figura 1 muestra los elementos previamente indicados de una extrusora.

$$\tan A = \frac{\text{paso}}{\pi D}$$

[ Ecuación 1 ]

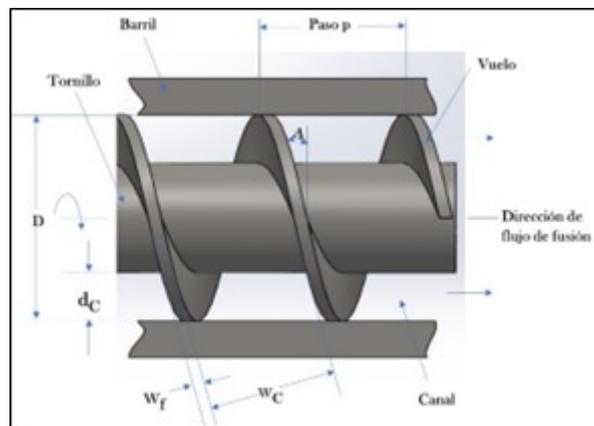


FIGURA 1

Detalles de un tornillo extrusor dentro del cilindro (imagen basada del libro de Groover).

En un tornillo de extrusión se pueden distinguir tres zonas características: de alimentación, de compresión, y de dosificación. La figura 2 muestra un esquema de estas etapas. La zona de alimentación es la parte donde se transporta una gran cantidad de material al interior del extrusor, aceptando el material sin fundir y acompañado del aire que está atrapado entre el material sólido [15]. La zona de compresión se caracteriza por tener una compactación del material por fundir debido al decrecimiento en el espacio entre el tornillo y el molde, produciendo una gradual compactación y expulsión del aire atrapado entre los pellets; además, se realiza en forma simultánea un calentamiento del material por fundir, para cumplir la función de fundir y

homogeneizar el material [15]. La zona de dosificación ejerce presión sobre el material para dosificar hacia el cabezal y garantiza que el material salga de la extrusora de una forma homogénea [15].

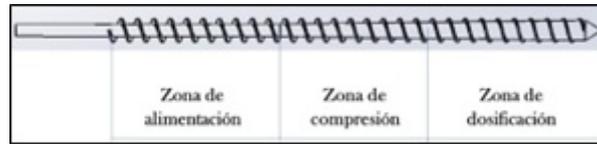


FIGURA 2  
Zonas características de un tornillo de extrusión. Mariano [7]

## Cálculos de diseño.

Se utilizaron algunos modelos matemáticos para describir en forma simplificada varios aspectos de la extrusión de polímeros.

Flujo fundido en el extrusor: Al girar el tornillo dentro del cilindro, se fuerza al polímero fundido a moverse en dirección al dado. Considerando que la placa móvil tiene una velocidad  $v$ , se infiere que la velocidad promedio del fluido es  $v/2$ , generando una velocidad de flujo volumétrico, calculado con la ecuación 2 [12].

$$Q_d = 0.5vdw \quad \text{[Ecuación 2]}$$

Donde:  $\#$  es la velocidad de flujo volumétrico por arrastre;  $v$  es la velocidad de la placa móvil;  $d$  es la distancia que separa las dos placas; y  $w$  es el ancho de placas perpendiculares en dirección a la velocidad, [6]. Las ecuaciones 3 y 4 permiten calcular los parámetros mencionados.

$$v = \pi D N \cos A \quad \text{[Ecuación 3]}$$

$$w = w_c = (\pi D \tan A - w_f) \cos A \quad \text{[Ecuación 4]}$$

donde  $N$  es la velocidad de rotación del tornillo. Al sustituir las ecuaciones 3 y 4 en la ecuación 1 se obtiene la ecuación 5.

$$Q_d = (0.5 \pi d_c N D \cos^2 A)(\pi D N \tan A - w_f) \quad \text{[Ecuación 5]}$$

Una propiedad importante de los polímeros es la visco elasticidad, un ejemplo de ello es la dilatación en el dado en la extrusión, en la cual el plástico caliente se expande cuando sale de la abertura del dado. Cuando el material sale del orificio recuerda su antigua forma y tiende a retornar a ella, pues los esfuerzos no revelados

hacen que la sección transversal se expanda [12]. La dilatación del dado puede medirse fácilmente para una sección transversal circular por medio de la relación de dilatación expresada en la ecuación 6.

$$r_s = \frac{D_x}{D_d} \quad \text{[Ecuación 6]}$$

donde  $r_s$  es la razón de dilatación;  $D_x$  es el diámetro de la sección transversal extruida; y  $D_d$  es el diámetro del orificio del dado. La dilatación en el dado se reduce aumentando el tiempo en el canal, y esto se logra por medio de un canal más largo [12].

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materia prima extruida

La materia prima empleada en el proceso de extrusión son polímeros desechados, principalmente botellas de Polietileno de Tereftalato (PET). El PET es un poliéster termoplástico formado por las uniones del éster. El PET puede tener características de amorfología o cristalización parcial, dependiendo de su proceso de formación. Comúnmente tiene un módulo de elasticidad de 2,300 MPa, resistencia a la tensión de 55 MPa, porcentaje de elongación del 200 %, gravedad específica de 1.38, temperatura de transición vítrea de 70 °C, y temperatura de fusión de 265 °C [12].

### Concepto del dispositivo extrusor

La figura 3 muestra el boceto general del dispositivo. El cañón alojará dos resistencias eléctricas de 500 W en su cara externa para la generación de calor y un dado que servirá como boquilla en uno de sus extremos. Además, una tolva de lámina negra se usará como colector del PET reciclado. Para unir la tolva y la camisa del calefactor se realizará con soldadura TIG. Además, la máquina tendrá un soporte para el motor, ya que este debe estar perfectamente alineado con el tornillo sin fin que se encuentra en la parte interna del cañón o calefactor. Asimismo, se utilizará un acoplamiento para unir el husillo (tornillo sin fin) al motor. Todo esto tendrá que ir montado a su vez sobre una base metálica que estará fija sobre una mesa. Adicionalmente el dispositivo tendrá un control eléctrico para todos los elementos críticos como medida de seguridad para evitar daños en el motor, conectores eléctricos, entre otros. Es importante indicar, que de acuerdo al alcance del presente proyecto, los elementos producidos no se someterán a un proceso de control de calidad, dicho proceso se tiene programa para una etapa posterior.

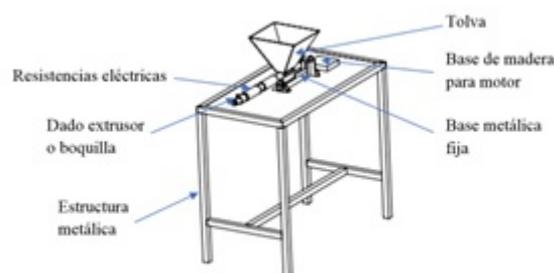


FIGURA 3  
Boceto de la máquina extrusora.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se muestran los cálculos realizados en aquellos puntos que se consideraron importantes en el proceso de diseño, los cuales se generaron mediante estudios analíticos y por computadora. Finalmente se muestra el dispositivo construido.

### Análisis de producción de filamento

Utilizando las ecuaciones previamente indicadas, se obtuvieron los siguientes resultados.

Considerando un paso de 30.15 mm, diámetro del tornillo extrusor de 17.33 mm, velocidad de rotación del tornillo 75 rev/min, profundidad del canal del tornillo 7.94 mm, ancho del borde de la paleta 12.8 mm. Se tiene como resultado un ángulo de la paleta de 28.98 grados, velocidad de flujo volumétrico por arrastre de 5145.9171 mm./s. Finalmente considerando que la densidad del PET es de 1380 kg/m., entonces el flujo másico de producción es de 25.5 kg/h. El flujo másico es un parámetro importante a considerar entre la relación que tiene la máquina extrusora y la cantidad de material reciclado por hora.

### Análisis de temperatura

En el programa *SolidWorks* se realizó un análisis de transferencia de calor, desde las resistencias calefactoras hasta la boquilla extrusora. Las especificaciones técnicas fueron tomadas de la base de datos del software, para la boquilla acero ASTM A36, dado extrusor de bronce comercial, y las resistencias eléctricas de cobre. En cuanto a las dimensiones, se simuló conforme a las dimensiones originales de la máquina.

En la modelación, se generó un estudio térmico de estado transitorio considerando un total de tiempo de simulación de 1200 segundos y controlando los intervalos de cálculo en etapas de 4 segundos hasta lograr el tiempo total, considerando la energía calorífica generada por los 500 W de potencia de las resistencias eléctricas y que se transfiere por todo el cañón de acero y la boquilla, hasta llegar al dado extrusor. Las cargas térmicas a considerar fueron los 500 W de potencia térmica de las resistencias, un coeficiente de convección del medio de 5 W/(m.K), así como también una temperatura ambiente inicial de 23 °C. El mallado del modelo es basado en curvatura de combinado con un tamaño mínimo de tetraedros de 2.07 mm y un máximo de 10.53 mm.

La figura 4 muestra los resultados FEM; en los cuales se puede observar que en un tiempo de 800 s se llega a una temperatura en el dado extrusor de 101 °C, lo que es un resultado satisfactorio, debido a que es una temperatura adecuada para extrusión de polímeros [12,13]. Además, se puede observar que dentro de las zonas de compresión y dosificación del cañón se tiene una temperatura superior que se considera de

importancia para el proceso adecuado de fundición. Los resultados del análisis fueron comparados con la experimentación física y no muestran diferencia significativa, lo que a manera de conclusión representa una buena relación numérica con la realidad.

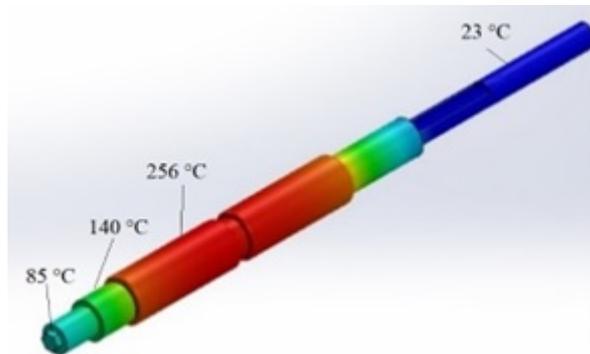


FIGURA 4  
Transferencia de calor por conducción y convección en cañón.

## Dispositivo construido

El dispositivo construido consta de un tubo de acero al carbón de 1 pulgada de diámetro interior, al cual lleva alojado en su interior otro tubo de acero al carbón de 3/4 in de diámetro interior. El ensamble de los dos tubos tiene en la parte exterior unida a él, un par de generadores de calor de 500 W cada uno. En la parte central fue adaptada una broca que se usa en el trabajo en madera, la cual por su particular forma y geometría sirve como tornillo extrusor, la broca está hecha de acero con un alto grado de endurecimiento, con dimensiones de 1/2 in de diámetro por 620 mm de longitud, además se colocó un acoplador que une a dicho elemento al motor reductor para generar el movimiento, la broca que funciona como tornillo lleva el plástico que caen por gravedad desde una tolva construida de un material de acero al carbón, las partículas arrastradas por el tornillo extrusor se dirigen hacia la parte final del sistema, donde se encuentra una boquilla construida en acero con un diámetro de salida de 3 mm, cuya función es incrementar la velocidad de salida de las partículas, así como proporcionar la forma final al plástico reblandecido que pasa a través de ella.

Un esquema del sistema conformado por: adaptador, tubo, tolva, motor reductor y boquilla es mostrado en la figura 5. Todo el dispositivo fue posicionado en una tabla de 1/2 pulgada de espesor sobre una estructura construida de perfil de hierro en forma de cuadrado de 1/2 pulgada de espesor. La longitud total del sistema es de 920 mm. El funcionamiento del dispositivo extrusor permite la generación de filamentos los cuales pueden ser empleados para otras aplicaciones en diversos sectores, aportando hacia el desarrollo de la Ingeniería Verde.



**FIGURA 5**  
**Dispositivo extrusor construido**

La figura 6 muestra el filamento producido, el cual tiene un diámetro promedio de 3 mm, con una variación de 0.2 mm. Por otra parte, máquinas comerciales pueden producir diferentes tipos de filamentos, acorde con los materiales y dados extrusores utilizados. En general, la máquina ocupó ciertos procesos de ajuste en el dado extrusor, hasta llegar al dado indicado para producir los elementos señalados.



**FIGURA 6**  
**Filamento de PET producido.**

## CONCLUSIÓN

El consumo excesivo de plásticos en el país y en el mundo es uno de los factores más importantes para la contaminación del planeta y la degradación de los recursos naturales. En forma incremental se está consumiendo productos de un solo uso, que son desechados, aumentando la contaminación del planeta. En este artículo se presentó el proceso de diseño y construcción de una máquina extrusora que utiliza el método termo mecánico para la recuperación de polímeros utilizando dispositivos eléctricos y electrónicos para el control de la temperatura y la adecuada transferencia de calor para la compactación, fundición y extrusión del plástico. En el diseño se realizaron modelaciones por elemento finito en SolidWorks para el análisis del

comportamiento de la energía calorífica dentro del cañón, así como para observar el flujo de calor desde las resistencias hasta el dado extrusor y la manera en la que los factores de tiempo y conductividad térmica de los materiales afectan a este. En general, los resultados por computadora corresponden a los observados en el funcionamiento del equipo construido; es decir, las temperaturas de operación atribuidas a las resistencias y la transferencia de calor en el extrusor corresponde a las monitoreadas en el equipo construido. Por otra parte, el filamento generado tiene una variación de 0.2 mm, lo cual se considera permisible para aplicaciones industriales, tales como el refuerzo de materiales compuestos. Finalmente, la máquina propuesta demuestra que es posible el uso de materiales reciclados en la producción de filamentos, requiriendo únicamente un proceso de corte manual para su incorporación como materia prima.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Aguascalientes y Conacyt por su apoyo en la Investigación.

## REFERENCIAS

- [1] Arandes, J. M. Bilbao, J. López Valerio, D. (2004). Reciclado de Residuos Plásticos. Revista Iberoamericana de Polímeros, dic. 5(1): pp.28- 45. Disponible desde: <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/MAR04/Danilo2004.pdf>.
- [2] Tubón Vélez E. O. (2014). "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EXTRUSOR DE TORNILLO PARA LA OBTENCIÓN DE PELLETS DE BOTELLAS PLÁSTICAS DE PET RECICLADAS". Tesis de grado. ESPOCH. Recuperado de: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/3506/1/96T00259%20UDC%20TFC.pdf>
- [3] Paz M. (2016). Reciclado de PET a partir de botellas post consumo. Argentina; p. 190. Recuperado de: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/5567/PAZ%2C%20MARIA%20-%20PI%20Reciclado%20de%20PET%20a%20partir%20de%20botellas%20post%20consumo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [4] Garavito, J. (2007). Curso de procesos de manufactura. Plásticos protocolo: Colombia, Escuela colombiana de ingeniería. (2). Recuperado de: [https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/2734\\_plimeros.pdf](https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/2734_plimeros.pdf).
- [5] Saalah, S., Saallah, S., Rajin, M., Yaser, A.Z. (2020). Management of biodegradable plastic waste: a review. *Advances in Waste Processing Technology*, 15: 127-143.
- [6] Kumar S. (2020). Biodegradable plastics: ecofriendly plastics. *Journal of Medicinal Plants Studies* 2019; 7(2): pp 103-105.
- [7] Frías, A.C., Lema, I.I., Gavilán, A. (2003). La situación de los envases de plástico en México. *Gaceta ecológica*, 69: pp 67-82.
- [8] Meza, A., Pujadas, P., Meza, L.M., Pardo-Bosch, F., López-Carreño, R.D. (2021). Mechanical Optimization of Concrete with Recycled PET Fibres Based on a Statistical-Experimental Study. *Materials*, 14: 240. <https://doi.org/10.3390/ma14020240>
- [9] Meza, A., Gurbir, K., Preciado, H.J., Gutiérrez, I.A. (2021). Desempeño a Flexión del Concreto Reforzado con Fibras Plásticas Recicladadas. *Conciencia Tecnológica*, 61. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94467989001>
- [10] Meza, A., Sierra, R.B., Chávez, F., Romo, J.F., Robertt, L.A., Castañeda, O.A. (2020) Dispositivo para Ondular Tiras Plásticas Procedentes de Botellas Desechadas. *Conciencia Tecnológica*, núm. 59, <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94463783004>
- [11] Meza, A., Ahmed, F.U. (2020). Anisotropy and bond behaviour of recycled Polyethylene terephthalate (PET) fibre as concrete reinforcement. *Construction and Building Materials* 265 (2020) 120331, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120331>

- [12] Meza, A., Siddique, S. (2019). Effect of aspect ratio and dosage on the flexural response of FRC with recycled fiber. *Construction and Building Materials* 213 (2019) 286–291. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.081>
- [12] Groover Mikell, P. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna*. Estado de México, México: Pearson Prentice Hall.
- [13] Kalpakjian, S., Schmid, S.R. (2008). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. Pearson Prentice Hall.
- [14] Cárdenas, R., Taba, C., & Jiménez, J. (2011). *Extrusión y Coextrusión de Lámina*. University Antonio Nariño (Ingeniería Electromecánica) Consultado en: <https://www.grin.com/document/179637>
- [15] Mariano (2011). *Extrusión de materiales plásticos*. *Tecnología de los plásticos*. Recuperado de: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>.