



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE -CUNOC-



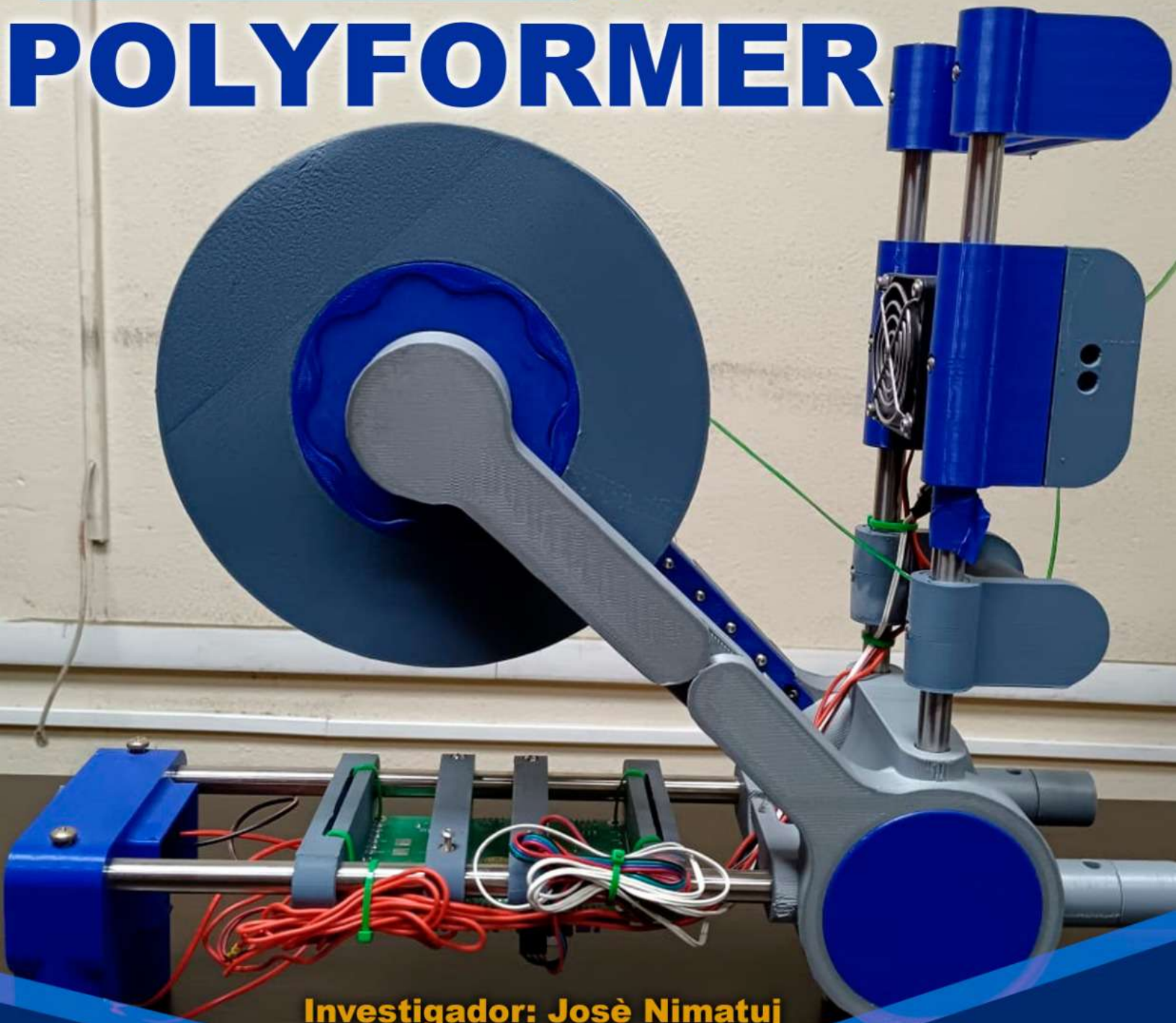
**CUNOC**  
Dirección del Sistema de Investigación  
*José Baldomero Arriaga Jerez*

# ACTUALIDAD

REVISTA DE INVESTIGACIÓN NO. 93

AGOSTO 2024

# POLYFORMER



Investigador: **Josè Nimatuj**

# Reciclaje de botellas de Polietileno Tereftalato como materia prima en impresoras 3D.

## POLYFORMER

Nimatuj-Quijivix, José Aroldo<sup>a</sup>; Maldonado-Castillo, Oscar Manuel<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Dirección General de Investigaciones, Centro Universitario de Occidente. [josearoldo.nimatuj@cunoc.edu.gt](mailto:josearoldo.nimatuj@cunoc.edu.gt)

<sup>b</sup> División de Ciencias de Ingeniería, Centro Universitario de Occidente. [oscarmaldonado200430631@cunoc.edu.gt](mailto:oscarmaldonado200430631@cunoc.edu.gt)

---

### RESUMEN

Desde la invención del plástico este es un material que ha sido utilizado en diversos utensilios hasta convertirse en el material predilecto en el sector de la construcción para la elaboración de tubos de policloruro de vinilo, PVC. En el sector alimenticio se utiliza para empaques laminados flexibles, seguido por la producción de envases rígidos para bebidas carbonatada (Lainfista Ramírez, 2021), sin embargo el uso de envases rígidos para bebidas carbonatadas es el que más problema da a nivel mundial y en nuestro país Guatemala es un problema serio, ya que no se cuenta con manejos especiales para este tipo de plásticos, de esa cuenta que terminan en ríos que desembocan en los mares.

Este trabajo se desarrolló en conjunto con el laboratorio de fabricación y consistió básicamente en la construcción de un Polyformer, que es una máquina de código abierto impresa en 3D, la cual recicla botellas plásticas, que tengan la capacidad de poder ser recicladas y así evitar que terminen y que lleguen a las cuencas hidrográficas y contaminen los ríos (Arrecis, 2023) consiste en el aprovechamiento de las botellas de plástico, que en el Centro Universitario de Occidente se producen por el consumo de bebidas carbonatadas, para la producción de filamento y poder ser utilizadas en impresoras 3D en el laboratorio de fabricación para la producción de modelos que se puedan utilizar en las carreras del Centro Universitario de Occidente.

Palabras clave: Diseño de Polyformer, Filamento, Reciclaje de plástico

## ABSTRACT

Since the invention of plastic and its use in various utensils, it has become the preferred material in the construction sector for the production of polyvinyl chloride (PVC) pipes; in the food sector it is used for flexible laminated packaging, followed by the production of rigid containers for carbonated beverages (Lainfista Ramírez, 2021), however the use of rigid containers for carbonated beverages is the one that causes the most problems worldwide and in our country Guatemala it is a serious problem, since there are no special handling for this type of plastics, which means that they end up in rivers that flow into the seas.

This work was developed in conjunction with the manufacturing laboratory and basically consisted of the construction of a Polyformer, which is an open source 3D printed machine, which recycles plastic bottles, which have the capacity to be recycled and thus prevent them from ending up in hydrographic sciences and contaminating rivers (Arrecis, 2023)

This work consists of the use of plastic bottles, which at the Centro Universitario de Occidente are produced by the consumption of carbonated beverages, for the production of filament and to be able to be used in 3D printers in the manufacturing laboratory for the production of models that can be used in the Dentistry career.

Keywords: Polyform Design, Filament, Plastic recycling

## 1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto surge de la necesidad que se tiene del manejo de desechos sólidos en el Centro Universitario de Occidente, de la ciudad de Quetzaltenango, basta con caminar en sus alrededores para observar un aumento considerable de envases de plástico en los contenedores o depósitos de basura, mismo que luego termina en los vertederos municipales y al no tener un manejo de residuos terminan en las cuencas y ríos, a la vez por la falta o mal manejo de estos. El problema sobrepasa fronteras y en la actualidad se considera un problema global ya que afecta la biodiversidad y la salud humana. (Arrecis, 2023).

Durante un estudio realizado en el módulo 90 del Centro Universitario de Occidente, se registró un total de **138 kg** de residuos sólidos generados en un periodo de 6 días. Este cálculo se obtuvo al promediar una generación diaria de **23 kg** de basura. Tomando en cuenta que en este edificio es uno de los más pequeños con que cuenta el centro con tan solo dos niveles, el cual alberga a las carreras de: jornada matutina el Programa de Formación Inicial Docente, segundo año de Medicina, jornada vespertina y nocturna, las carreras de Pedagogía, Psicología y Trabajo Social, y Agronomía, toda esta basura se recolecta y se vierte sin hacer una separación previa de lo que se puede reutilizar, como botellas plásticas.

En la ciudad de Quetzaltenango se encuentra el vertedero municipal ubicado en el Valle de Palajujnoj y en él se estima que llegan a depositar 33475.41 toneladas/año de residuos sólidos y de esta cantidad el 22.51% representan los desechos reciclables de los cuales el 43.52% es plástico (CATIE, 2021).

La investigación se centra en la creación de una maquina que transforme el plástico de polietileno de tereftalato, en filamento para impresoras 3D, el proceso que se sigue, desde la recolección hasta la construcción es el siguiente:

- a) Construcción del POLYFORMER, según especificaciones de fabricación.
- b) Recolección, selección y limpieza de envases plásticos, estos deben ser transparentes, como los que se usan para embotellar refrescos o agua, eliminando de ellas todas las etiquetas que posea.
- c) Se cortan tiras de 9 milímetros de ancho, para ello se dispondrá de un cortador especial.

- d) Las tiras cortadas se funden en el Polyformer utilizando el proceso de pultrusión para formar el filamento.
- e) Enfriamiento. En este paso se enfría a temperatura ambiente
- f) Calibración del filamento, en este proceso hay que asegurarse que el diámetro del filamento sea el correcto de 1.75 mm para obtener un filamento de calidad.

## 2. JUSTIFICACIÓN

### 2.1 Social

En la actualidad en Guatemala el reciclaje del plástico solo representa el 6%, de manera efectiva (Barrera, 2024) y la actividad de recolección de este material esta a cargo de trabajadores independientes, que ven en esta actividad una manera de agenciarse de recursos económicos puesto que la libra de este material oscila entre los Q. 0.15 centavos/libra (Reyes, 2023), sin embargo esta actividad no es muy lucrativa para muchas personas, más aun en los espacios educativos ya que no ven motivante el tema de la reutilización de envases plásticos, principalmente porque no hay cultura de reciclaje ni mucho menos incentivos, por tal motivo se genera gran cantidad de desechos en las instalaciones.

En Guatemala no existen mucha información sobre el negocio del reciclaje, impera la usencia del conocimiento e información, tampoco hay incentivos para realizar el reciclaje de estos materiales.

De esa cuenta que el proyecto de reciclaje de botellas en la fabricación de filamento para impresoras 3D se puede constituir en una alternativa, para el reusó de este material y una fuente de recursos económicos para los trabajadores recolectores y así contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de estas personas.

## 2.2 Ambiental

No esta demás recalcar la importancia del reciclaje debido a la masificación que se ha tenido en todas partes el uso de envases de plástico y la problemática en que se ha convertido, tanto para Guatemala como para los países vecinos, tal es el caso de las posibles demandas de Honduras a Guatemala, por la contaminación con desechos sólidos de sus aguas y playas (Arrecis, 2023).

Los envoltorios o bolsas de golosina, esta hechas en su mayoría de polipropileno su principal propiedad es mantener seco y lejos de la humedad el producto que lo contiene, en muchos de los casos se utiliza otro tipo de plástico el polietileno como una capa protectora, estas características hacen que tengan una larga degradación que puede llegar hasta cientos de años, estas bolsas pueden llegar a ríos, mares y suelos, afectando así a la fauna y la flora; estas durante su descomposición, se pueden formar en micro-plásticos que contaminan el agua y suelo, afectando la cadena alimenticia

Las botellas plásticas, al igual que las bolsas de golosinas, pueden tardar siglos en degradarse, contribuyendo a la acumulación de residuos en vertederos y ecosistemas, además que para su producción requiere de una gran cantidad de agua y petróleo, dañando aún más el ecosistema.

### 3. CASO DE ESTUDIO CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE (CUNOC)

El Centro Universitario de Occidente se encuentra ubicado en la región del altiplano guatemalteco, ubicado en la ciudad de Quetzaltenango. Después del campus central es la unidad académica más grande de la Universidad de San Carlos de Guatemala, albergando un aproximado de 17,732 estudiantes, para el año 2024, en las tres jornadas incluyendo fin de semana cuenta con 19 carreras a nivel de Licenciatura (SUN CUNOC, 2024); 26 Carreras de Maestrías y 4 Doctorados (POSTGRADOS CUNOC, 2024)

Por la cantidad de estudiantes que alberga el centro, la generación de desechos sólidos que se generan en él, se considera un problema y al no contar con estrategias

de gestión de residuos sólidos como por ejemplo la reducción, separación, reciclaje y disposición final de los mismos.

Según observaciones realizadas en el Centro se pudo constatar que los tipos de desechos que se generan dentro del CUNOC, en su mayoría son restos de comida, bolsas plásticas, vasos-platos desechables, botellas plásticas, papel, bolsas de golosina.



Fig. 01. Contenedor de basura del CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE. (10-05-2024) Foto elaboración propia

#### 4. METODOLOGÍA

El método que se utilizó es el de pultrusión, el cual consiste un proceso de reducción de perfiles con refuerzos de fibra, utilizando una temperatura controlada que termoforma la fibra de plástico a través de un molde, la palabra pultrusión proviene del inglés “to pull” que significa **tirar** (FIBERPROFIL, 2024).

El proceso de pultrusión comienza cuando las fibras de refuerzo pasan a través de un baño de impregnación donde entran en contacto con la resina fluida.

A continuación, las fibras impregnadas se guían cuidadosamente a través de estaciones adecuadas hasta la entrada del molde, donde el proceso de polimerización se activa mediante alta temperatura.

### **Elementos del proceso de pultrusión**

Los elementos principales del proceso de pultrusión son:

- **Fibras de refuerzo:** Las fibras de refuerzo proporcionan resistencia y rigidez al perfil.
- **Resina:** La resina es la matriz que une las fibras de refuerzo y les da forma.
- **Baño de impregnación:** El baño de impregnación es donde las fibras se impregnan con la resina.
- **Molde:** El molde da forma al perfil.
- **Calor y presión:** El calor y la presión polimerizan la resina, creando un material fuerte y duradero. La temperatura que utiliza es de 230° a 235°C

### **Beneficios del proceso:**

El proceso de pultrusión tiene una serie de beneficios, entre los que se incluyen:

- **Alta resistencia y rigidez:** Los perfiles pultrusionados son muy resistentes y rígidos, lo que los hace ideales para una amplia gama de aplicaciones.
- **Peso ligero:** Estos perfiles son más ligeros que los perfiles metálicos, lo que puede reducir el peso total de un producto.
- **Resistencia a la corrosión:** Los perfiles pultrusionados son resistentes a la corrosión, lo que los hace ideales para su uso en entornos agresivos.
- **Buena capacidad de diseño:** Los perfiles pultrusionados se pueden diseñar en una amplia gama de formas y tamaños.



## Construcción del sistema de pultrusión

El siguiente paso es la construcción y montaje de la máquina en este caso será un polyformer y empezar a extruir, en este caso se realizará en el Laboratorio de Fabricación (FABLAB) de la División de Ingeniería, del Centro Universitario de Occidente.

Se iniciará con el diseño de las piezas, para ello se hace necesario del diseño de piezas en el software **UltiMaker Cura**, el cual se encuentra de forma libre en la Web y la fabricación se realizará en las impresoras 3D del FABLAB.

### Planeación

- Asignar roles y responsabilidades a todo el personal.
- Definir un cronograma detallado de actividades para los días de trabajo.

### Distribución de Trabajo:

- Distribuir las tareas específicas a cada miembro del equipo según sus habilidades y experiencia.

### Verificación de piezas ya en existencia

- Comprobar el inventario de piezas existentes para asegurarse de que todas las partes necesarias están disponibles y no duplicar esfuerzo con la fabricación de piezas.



Fig. 02. Piezas preliminares del Polyformer. Foto elaboración propia

### Diseño de piezas

- Diseñar cualquier pieza que aún no esté disponible en el inventario utilizando software CAD.

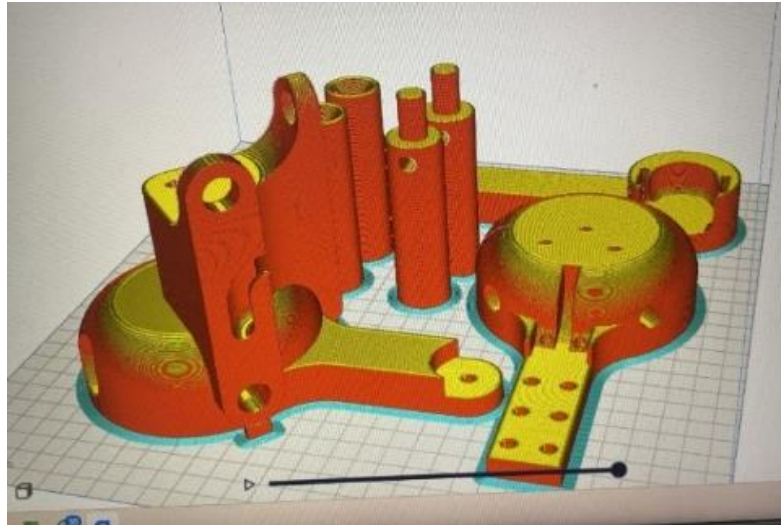


Fig. 03. Diseño de piezas en software UltiMaker Cura. Foto elaboración propia

## Impresión de piezas

Luego se iniciará la impresión en 3D, de las piezas que se hagan necesario.

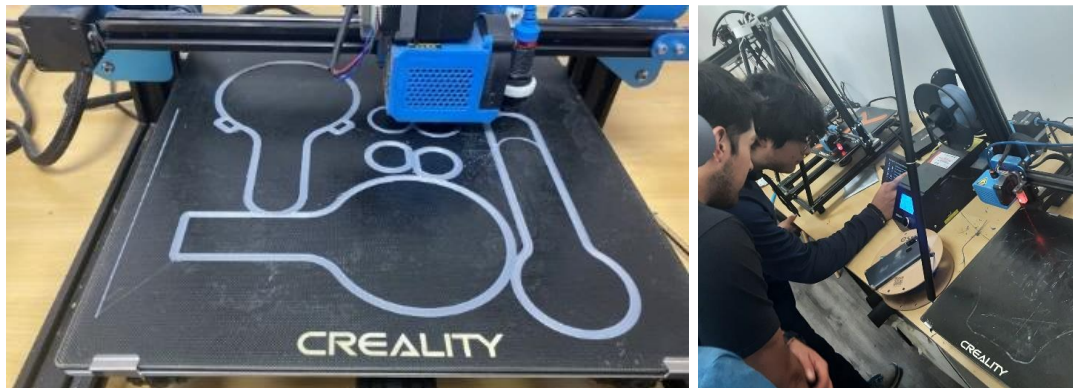


Fig. 04. Inicio de impresión de piezas en impresoras 3D. Foto elaboración propia

Luego se requerirá una boquilla de impresora 3D, el cual se le hará un orificio de 1.75 milímetros, ya que esta es la medida requerida para el filamento.

El calor del molde permitirá hacer el endurecimiento del material. El control de la temperatura es determinante para lograr las propiedades uniformes, las características del molde determinaran la figura del perfil.

## Ensamble de piezas

Para realizar esta actividad se hizo necesario la participación de estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica, en el curso de Mecanismos



Fig. 05 Montaje de piezas del Polyformer. Foto elaboración Propia

## Ensamble electrónico

Conectar y configurar todos los componentes electrónicos necesarios, asegurándose de que el sistema esté operativo., en este proceso también se va a flashear el firmware.



Fig. 06 Montaje del sistema electrónico del Polyformer. Foto elaboración Propia

La construcción y la electrónica se realizó con la ayuda de programas de códigos abiertos o de acceso libre, esta modalidad

### **Open Source**

Polyformer se construye bajo el código abierto, en inglés, *open source* es un modelo de desarrollo de *software* basado en la colaboración abierta. Se enfoca en los beneficios prácticos (acceso al código fuente) y en cuestiones éticas o de libertad que tanto se destacan en el software libre. Para muchos el término «libre» hace referencia al hecho de adquirir un *software* de manera gratuita. Sin embargo, de lo que se trata es de abaratar los costos y ampliar la participación; que sea libre no necesariamente implica que sea gratuito, lo importante sigue siendo ampliar la participación y extender libertades.

### **Hardware Libre**

Se llama hardware libre, hardware de código abierto, electrónica libre o máquinas libres a aquellos dispositivos de hardware cuyas especificaciones y diagramas esquemáticos son de acceso público, ya sea bajo algún tipo de pago, o de forma gratuita. La filosofía del software libre es aplicable a la del hardware libre, y por eso forma parte de la cultura libre. Un ejemplo de hardware libre es la arquitectura UltraSparc cuyas especificaciones están disponibles bajo una licencia libre.

## 5. RESULTADOS

Se planteó como primer objetivo crear un extrusor, para crear filamento para impresoras 3D, y el dispositivo que se construyó fue un Polyformer el cual fue inventado por Swaleh y Rieten Cheng (Dyson, 2022), este dispositivo de bajo costo convierte las botellas de plástico en filamento para impresoras 3D, este filamento que se transforma tiene las características de que mide 1.75 mm

### **POLYFORMER**

Para este proyecto se trabajó básicamente con un Polyformer que es una máquina de código abierto, impresa en 3D, que recicla botellas de PET (el 90% de las botellas de agua de plástico están hechas de PET) en filamentos para impresoras 3D.

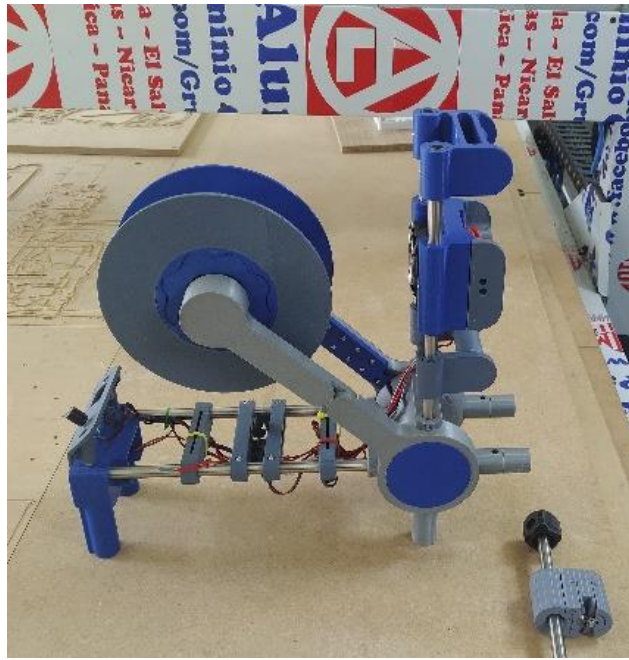


Fig. 07. Polyformer y cortador de plástico. Foto elaboración propia

Polyformer fue diseñada y construida principalmente con piezas impresas en 3D y componentes fácilmente obtenibles, la arquitectura modular permite a los usuarios intercambiar fácilmente las piezas y modificar la máquina a su gusto. La forma vertical en L única permite a los usuarios interactuar fácilmente con la máquina y también minimiza la cantidad de espacio que ocupa.

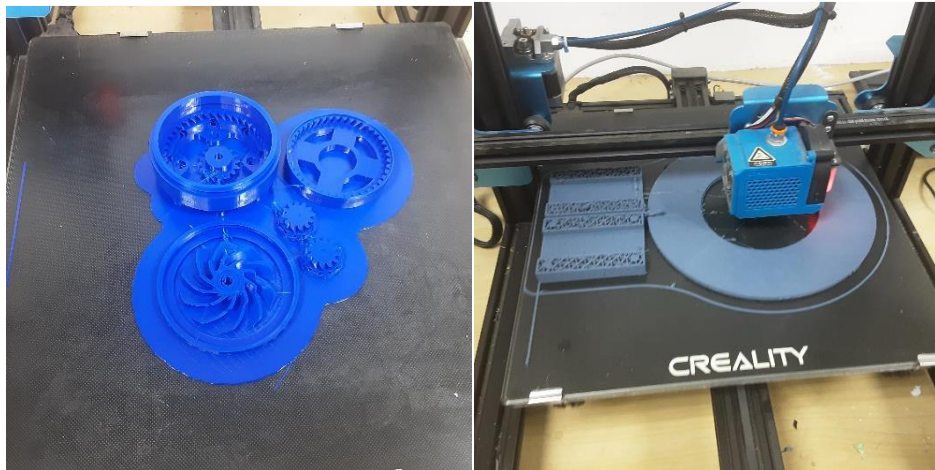


Fig. 08. Impresión del sistema de tracción en impresoras 3D. Foto elaboración propia

Utilizando una herramienta de corte construida con rodamientos apilados para cortar la botella de plástico en una cinta larga y consistente, el usuario puede luego alimentar la cinta en el cabezal de impresión de la impresora 3D reutilizado, el cual termo forma la cinta en un filamento de 1.75 mm a medida que pasa por la boquilla de latón con el tamaño de orificio correspondiente.

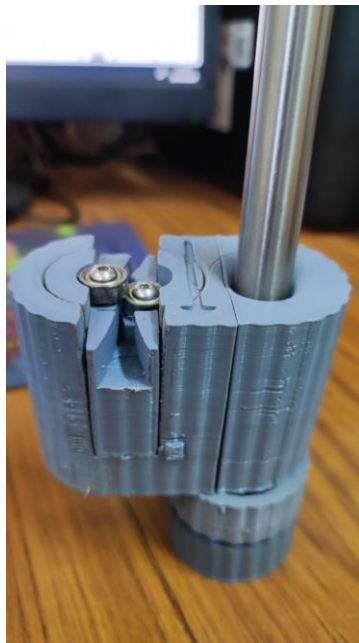


Fig. 09 Herramienta de corte. Foto elaboración propia

Luego de finalizada la construcción del Polyformer se realizaron las calibraciones necesarias iniciando con la velocidad de la pultrusión luego la temperatura a la que debía de fundir el

material, para la preparación del material se cortaron tiras de plástico para ello se hizo necesario utilizar una herramienta de corte construida con rodamientos apilados para cortar la botella de refrescos en una cinta larga consistente y uniforme de aproximadamente 9 mm de ancho.



Fig. 10. Cinta de plástico materia prima para el Polyformer. Foto elaboración propia.

La calibración de la temperatura del Polyformer se contrasto mediante un termómetro industrial, hasta llegar a 220 °C, así mismo se ha calibrado la velocidad mediante la programación adecuada y fue realizada por medio de “Printrun” que es un conjunto completo de interfaces de host para impresoras 3D y CNC, que consta de: Pronterface, un host de interfaz gráfica de usuario con todas las funciones, un host de línea de comandos interactivo Printcore.

## Resultados preliminares:

- a. La cantidad de materia prima a utilizar que se obtiene de un envase de 2.5 litros es de 4 metros en promedio.
- b. Preliminarmente, el filamento que se está obteniendo es de menor diámetro a 1.75 mm requerido por lo que falta calibración del extrusor.
- c. Para obtener una buena materia prima se debe de preparar bien la botella de tal forma que tenga una forma simétrica y carente de pegamento de las etiquetas, ya que este ultimo afecta el proceso de pultrusión.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

**Arrecis, M. (2023). *Desechos plásticos en el ambiente guatemalteco y microplásticos en humanos*. Guatemala: RARN.**

Barrera, P. (30 de enero de 2024). *Universidad Del Valle de Guatemala*. Obtenido de ¿Que debes Saber sobre los plásticos reciclables y biodegradables?: <https://noticias.uvg.edu.gt/que-debes-saber-sobre-los-plasticos-reciclables-y-biodegradables/>

CATIE. (2021). *Caracterización de los residuos sólidos comunes de la ciudad de Quetzaltenango*. Quetzaltenango.

Dyson, J. (16 de noviembre de 2022). *SUELOSOLAR*. Obtenido de <https://suelosolar.com/noticias/medioambiente/gran-bretana/16-11-2022/polyformer-reciclar-plasticos-entre-proyectos-ganadores-premio-internacional-james-dyson-2022>

FIBERPROFIL. (2024). *FIBER PROFIL*. Obtenido de <https://fiberprofil.com/pultrusion/que-es/>

Lainfista Ramírez, S. R. (2021). *Manufacturas de Plástico, empaques y Metalmecánica en Guatemal*. Guatemala: USAID.

POSTGRADOS CUNOC. (29 de 07 de 2024). *Carreras dew Postgrados*. Obtenido de <https://postgrados.cunoc.edu.gt/index.php/carreras>

Reyes, I. (10 de Agosto de 2023). *Prensa Libre*. Obtenido de Reciclaje en Guatemala: Cómo ganar dinero: <https://www.prensalibre.com/vida/salud-y-familia/reciclaje-en-guatemala-como-ganar-dinero-descuentos-puntos-y-diplomas-con-la-basura-y-los-desechos-del-hogar/>

SUN CUNOC. (29 de 07 de 2024). *SISTEMA DE UBICACION Y NIVELACIÓN* . Obtenido de <https://nuevos.cunoc.edu.gt/carreras.php>