



EXTRUSORA DE FILAMENTOS PARA IMPRESIÓN 3D CON RECICLADO DE BOTELLAS PET-G PARA PRÁCTICAS DE PROTOTIPADO EN LABORATORIOS AUNAR.

A. Coral, D. Izquierdo.

Corporación Universitaria Autónoma de Nariño, Pasto, Colombia, Carrera 28 N° 19-24

e-mail: adriancoral036@gmail.com

izquierdodaniel52@gmail.com

Resumen- En el presente trabajo se da a conocer el proceso necesario para el diseño y la construcción de una extrusora de filamentos para impresión 3d con reciclado de botellas pet-g para prácticas de prototipado en laboratorios AUNAR que en conjunto deberán tener la capacidad de producir 1 kg/h. Para el correcto desarrollo de este proyecto propuesto se realizarán cálculos como la potencia necesaria del motor, RPM del motor, cálculo de esfuerzo del husillo, análisis de presupuesto, investigación de componentes electrónicos, análisis de materiales para la construcción, adecuación de resistencias eléctricas tipo abrazadera. Habiendo obtenido todos estos datos se procederá a la construcción del prototipo para realizar sus respectivas pruebas de funcionamiento.

Abstract- In this paper, the necessary process for the design and construction of a filament extruder for 3d printing with recycling of pet-g bottles for prototyping practices in AUNAR laboratories is presented, which together must have the capacity to produce 1 kg / h. For the correct development of this proposed project, calculations such as the necessary motor power, motor RPM, spindle stress calculation, budget analysis, electronic component research, construction materials analysis, adequacy of clamp-type electrical resistors will be carried out. Having obtained all these data, the prototype will be built to carry out its respective functional tests.

Palabras claves: Extrusora, Termoplástico, Impresión 3D, Reciclaje.

I. INTRODUCCION

El filamento 3D se ha convertido en un material de gran demanda por sus diferentes usos y su fácil manejo al momento de modelar piezas, se utiliza para hacer prototipos en la industria de la robótica y la mecánica. El proyecto extrusor para filamentos de impresión 3D con reciclado de botellas PET-G para prácticas en laboratorios AUNAR. El proceso para la transformación del material consiste en la extrusión de una resina polimérica, pellets o material en forma de grano para formar un hilo continuo y macizo. La impresión 3D es una tecnología en auge, que tiene la capacidad de revolucionar la fabricación tradicional de prototipos y presentar modelos flexibles funcionales a través de técnicas de prototipado rápido.

El funcionamiento de la impresión 3D es a través de procesos con aporte de material, donde se crea un objeto por medio de capas sucesivas del material utilizado. Uno de los problemas que se dan actualmente para los estudiantes de ingeniería mecánica de la AUNAR que trabajan con impresión 3D es que los filamentos son costosos pues el precio de 1 Kg es de \$90.000 pesos colombianos aproximadamente, lo que este proyecto plantea es construir una extrusora que produzca filamentos a través del PET reciclado beneficiando a estudiantes de la AUNAR que carecen de laboratorios donde se puedan hacer las prácticas

II. INFORMACIÓN BÁSICA DEL PROYECTO

A. Planteamiento del problema

Para el año 2017, según los datos de almacenaje del relleno de ANTANAS, la producción de residuos sólidos plásticos de la ciudad de Pasto, pasó en ese año a 630 toneladas mensuales aproximadamente. Si bien existen grupos de recicladores que se

encargan de recuperar este material para su posterior reciclaje su capacidad es limitada. "Una de las mayores organizaciones de reciclaje existente es Coemprender, recupera al año 1270 toneladas de material reciclable, pero de esa cantidad solo un 7% corresponde a material plástico", equivalente a aproximadamente 90 toneladas recuperadas de ese material por año. La impresión 3D ha dado auge a realizar trabajos que eran complejos al momento de modelar piezas en polímeros, ésta nueva herramienta ha facilitado la fabricación de fracciones con gran precisión lo que conlleva gastos al momento de adquirir los materiales para dicha impresión como son el PLA y el ABS que son los más conocidos y tienen un costo en el mercado de 85.000 y 90.000 por un carrete de 1 kg.

Los procesos de impresión 3D muchas veces no dan un resultado favorable porque carecen de los parámetros de diseño también de la experiencia necesaria para trabajar con estos materiales que arraigan las tecnologías FDM. Al violar dichos parámetros y la falta de experiencia trae consigo pérdida de tiempo y dinero es por ello que los estudiantes de la AUNAR deberían tener laboratorios que les permitan hacer practica con material de impresión 3D reciclado proveniente de plásticos PET-G. En vista de que cada vez hay una mayor utilización de impresoras 3D y que muchos estudiantes no cuentan con material de apoyo al momento de imprimir es de gran importancia que las instituciones con educación superior encuentren soluciones a nuevos problemas tecnológicos ya que cuentan con los conocimientos suficientes para satisfacer cualquier necesidad.

B. Justificación

Esta idea es una oportunidad para el desarrollo de productos de alto impacto e innovación tecnológica, se busca hacer una máquina extrusora que fabrique filamentos 3D para que los estudiantes de la Corporación Universitaria Autónoma de Nariño puedan transformar el reciclaje de botellas PET y materiales mal impresos, de esta manera contribuir con el medio ambiente y la reducción de residuos que terminan en la basura.

Se busca así dar un alivio en el ámbito económico a estudiantes de la AUNAR ya que el material con que se harán los filamentos es gratis y solo se necesita tener conciencia al momento de reciclar las botellas PET-G y llevarlas a la extrusora para obtener el producto deseado por consiguiente poder realizar las prácticas de laboratorio.

Los filamentos para impresoras 3D serán empleados en diferentes impresoras, verificando el comportamiento y la calidad al momento de pasar por una impresora, dando semejanza a los materiales actuales que se encuentran en el mercado como el ABS y el PLA. Este nuevo material estará sometido a pruebas de temperatura, presión y resistencia a la ruptura.

En el presente proyecto de máquina extrusora, la innovación con la cual sobresale de las extrusoras existentes es la obtención de una nueva materia prima como es el filamento PET-G reciclados en el cual se adiciona un proceso de glicolizado (G) por ello el nuevo nombre, de esta manera mejora las interesantes propiedades del PET.

La finalidad del proyecto es de reutilizar los plásticos y que los

estudiantes cuenten con materia prima para hacer realidad sus ideas en impresoras 3D, contribuir con información y tecnología para la AUNAR, debido a que se brinda un mejor uso de los plásticos reciclados especialmente de las botellas PET. Por otra parte, el proyecto busca obtener insumos de impresión 3D de bajo costo, también hacer de estos procesos de manufactura nuevas fuentes de ingresos para los estudiantes usando la creatividad para crear artículos útiles para la comunidad y ser comercializados por ellos mismos y así dar nuevas habilidades para su vida laboral.

III. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Desarrollar un prototipo de máquina extrusora de filamentos para impresión 3D a partir del reciclado de botellas PET.

B. Objetivos específicos

- Analizar condiciones de materiales termoplásticos identificando variables de comportamiento en máquinas impresoras 3D.
- Construir y diseñar un sistema que permita extruir filamentos y que se ajuste a los requerimientos térmicos y dimensionales del material para impresoras 3D.
- Implementar un sistema de monitoreo en el prototipo de máquina, que permita la adquisición de datos y determine el sistema de control acorde a la temperatura, también el tiempo en el proceso de extrusión.
- Realizar una guía de usuario de cada una de las etapas de la máquina para garantizar un manejo adecuado.

IV. Desarrollo

Para el presente proyecto se inició haciendo una recolección de datos bibliográficos donde se busca obtener información del tema que es tipos de plásticos y las actuales extrusoras en el mercado.

A. Conocimiento de materiales reciclables

1. PET (Tereftalato de Polietileno)

Es el plástico más común ya que se lo encuentra en envases de bebidas como botellas de agua, refrescos, jugos, aceites etc. El PET es de los plásticos que más se puede reciclar si se deposita en contenedores adecuados, incluso podemos rellenar las botellas si nos aseguramos de que estas se encuentren limpias.

2. HDPE (Polietileno de alta densidad)

Es un plástico con excelentes propiedades como es la resistencia térmica y al impacto debido a que es un polietileno de alta densidad, está conformado por unidades repetitivas de etileno y es polimerizado a bajas presiones y utilizado para la elaboración de envases plásticos desechables. Se puede reciclar y ser reutilizado si se mantienen las normas adecuadas de higiene.

3. PVC (Polivinilo)

Es un material que se da a partir de cloruro de vinilo y se lo obtiene por la combinación de etileno y cloro, es un material rígido con baja resistencia al calor, pero recupera su solidez al enfriarse, el PVC es un material con diversidad de usos debido a su compatibilidad con otras sustancias que al mezclarse puede producir productos con diferentes características.

4. LDPE (Polietileno de baja densidad)

Es un polietileno a baja densidad debido a que tiene más ramificaciones de los átomos de carbono dando como resultado fuerzas moleculares

más débiles, estas características dan más utilidad en aplicaciones de propiedades altamente flexibles como son las bolsas plásticas.

5. PP (Polipropileno)

Es un termoplástico obtenido por la polimerización del propileno desarrollado con la presencia de un catalizador bajo un cuidadoso control de presión y temperatura, es un material con un peso específico muy bajo lo que requiere una menor cantidad para la obtención de un producto terminado, el polipropileno sirve de barrera contra la humedad.

6. PS (Poliestireno)

Es un polímero termoplástico el cual se obtiene la polimerización del estireno monómero, es un plástico duro y solido más usado en productos que requieren transparencia, también en su variedad se lo fabrica como material espumoso y puede tener un 95% de aire y se utiliza como aislante doméstico, es alta mente contaminante por lo cual no se recomienda su reutilización.

B. Selección de material

La opción más adecuada para trabajar en este proyecto es el PET por las siguientes propiedades

Datos técnicos del PET		
Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm ³	1,34 – 1,39
Resistencia a la tensión	MPa	59– 72
Resistencia a la compresión	MPa	76 – 128
Resistencia al impacto, Izod	J/mm	0.01 – 0.04
Dureza	--	Rockwell M94 – M101
Dilatación térmica	10-4 / °C	15,2 – 24
Resistencia al calor	°C	80 – 120
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780 – 15750
Constante dieléctrica (60Hz)	--	3,65
Absorción de agua (24 h)	%	0,02
Velocidad de combustión	mm/min	Consumo lento
Efecto luz solar	--	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	--	Excelente
Calidad óptica	--	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	°C	244 – 254

Nota. Fuente: Tecnología de los plásticos (plásticos, 2011)

Los plásticos son imprescindibles en una gran parte de los sectores, es muy probable que utilices varios elementos con plástico en tu día a día y resulta complicado imaginar que fuera posible prescindir de ellos. Este tipo de maquinaria es una excelente respuesta a las necesidades del mercado respetando el medio ambiente, ya que volver a hacer utilizable este material es imprescindible. Las máquinas extrusoras son de gran importancia para la industria en la parte de la reutilización del plástico debido a que se lo utiliza en gran proporción y con ellas se pueden ayudar al medio ambiente como también generar nuevas fuentes de ingresos.

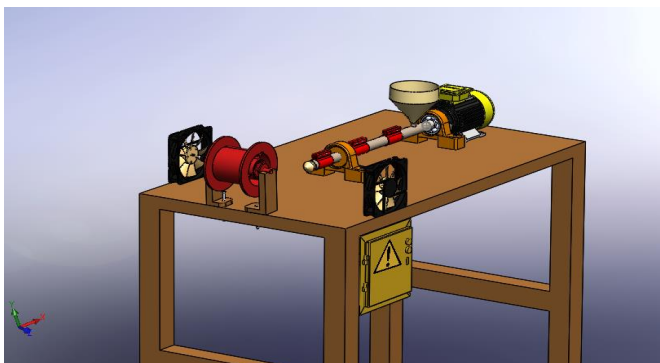
C. Matriz de selección

MÁQUINA DE HUSILLO SIMPLE: El motor eléctrico conectado directamente con el husillo transmite el movimiento de giro por medio de un sistema reductor el cual se encuentra conectado al eje por medio de piñones permite obtener las revoluciones necesarias para el tornillo, el cual se encarga de recoger material de la tolva en forma de escamas o pellets y lo mezcla, lo comprime y lo desplaza por el canal helicoidal a lo largo del cilindro el cual se encuentra a una temperatura de fundición del material por medio de resistencias y finalmente permitir la salida del

material por la boquilla la cual le dará la forma deseada.

Opciones	Parámetros de diseño	Cantidad	Unidad	Valor de importancia en porcentaje	Total	Valor para selección de opción.
Opción 1	Capacidad de producción	1	Kg/h	20	7	86
	Temperatura	170	°C	10	12	
	Costo	1.2	millones	20	14	
	Peso	30	kg	10	20	
	Tiempo de construcción	20	Días	5	5	
	Eficiencia	100	%	15	15	
	Seguridad	100	%	10	10	
	Mantenimiento	12	meses	10	3	

A continuación se muestra el diseño preliminar de la maquina



D. Cálculos tornillo sin fin

El husillo es la parte principal de toda máquina extrusora, es por esto que su diseño es muy importante para la producción, algunos factores a tener en cuenta son el diámetro, la longitud, la velocidad de giro, diseño del canal helicoidal entre otros.

Requerimientos del husillo.

- Material por hora 1 kg /h
- Diámetro del husillo 20mm
- Relación 20:1
- Longitud 400 mm

Para el diseño de un tornillo sin fin es importante tener en cuenta los aspectos mencionados en la siguiente ilustración.



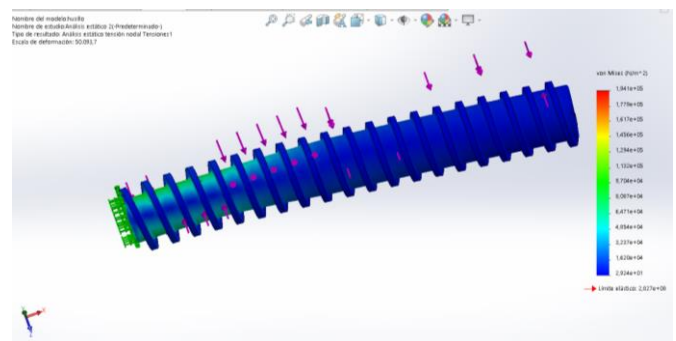
Características	Diseño	
	adecuado	defectuoso
Número de filetes	Sencillo	Doble
Angulo del filete	Grande	Pequeño
Radio del flanco del filete	Grande	Pequeño

Una vez seleccionado el diseño es importante seleccionar un material que nos cumpla las condiciones de trabajo a la cual será sometido el husillo es por esto que se muestra una tabla donde se compara diferente tipo de material.

PROPIEDADES	Nitralloy 135	AISI-4140	AISI-D2	AISI-1018
Bajo costo	2	4	1	5
Resistencia al desgaste	4	2	3	1
Transmisión de torque	2	5	1	3
Dureza	5	1	2	3
Resistencia a corrosión	4	3	5	2
Coefficiente de fricción	1	3	5	2
Maquinabilidad	2	4	3	5
Total	20	22	20	21

Para este proyecto el material seleccionado es el acero AISI 4140 por sus características para el desarrollo del husillo, barril y boquilla que son los elementos que estarán trabajando a temperaturas muy altas y constantes cargas.

Se calcula los esfuerzos que se aplican en el husillo y para tener certeza de esto se procede hacer una simulación de cargas y esfuerzos el programa solidworks



En la anterior imagen se muestra una tensión máxima de 0.194 MPa, mientras que la tensión calculada es de 3.8 MPa

Y para la deflexión del husillo se obtiene

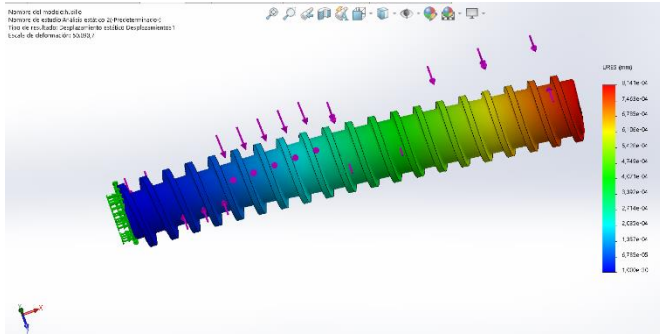
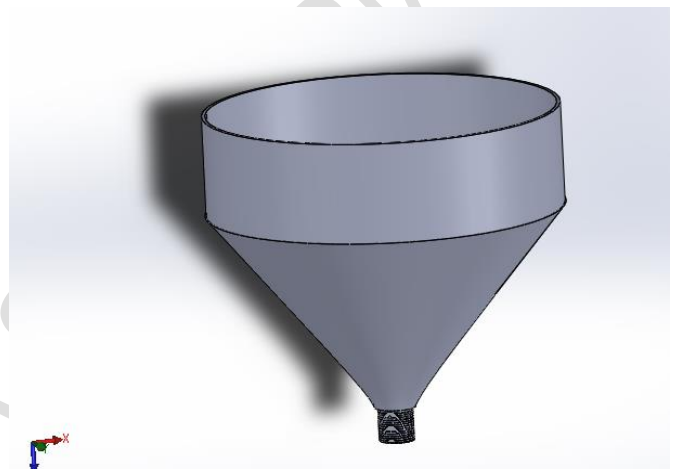


H. Diseño y selección de la tolva

La tolva al trabajar con la zona de alimentación, debe proveer material al husillo de forma constante, el diseño más común es el de forma de cono circular.

Parámetros	Circular	Rectangula r	Tornillo Crammer
Construcción	5	3	1
Bajo costo	5	3	2
Coefficiente de fricción	4	3	5
Flujo	3	2	5
Volumen	4	5	3
Vibraciones	5	5	1
Precisión de dosificación	3	2	5
Total	29	23	2

La mejor opción que se acopla al diseño es la tolva circular por sus características.



La deflexión máxima es de $8.141 \times 10^{-4} \text{ mm}$, mientras que la deformación calculada es de 0.0614 mm .

E. Factor de diseño

Se toma como rango los valores de factor de diseño $\eta_s = 2.5$ a 4 , debido a que el husillo estará sometido a la acción de giro del motor que va a variar dependiendo del material a extruir.

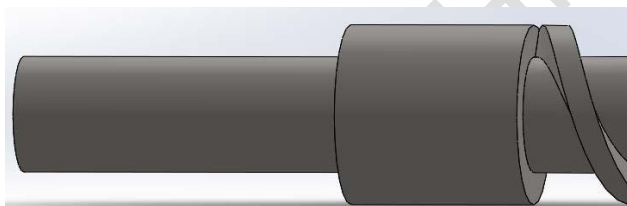
$$D_s = \frac{S_y}{\sigma_e}$$

$$D_s = \frac{260 \text{ Mpa}}{78.37 \text{ Mpa}}$$

$$D_s = 3.3$$

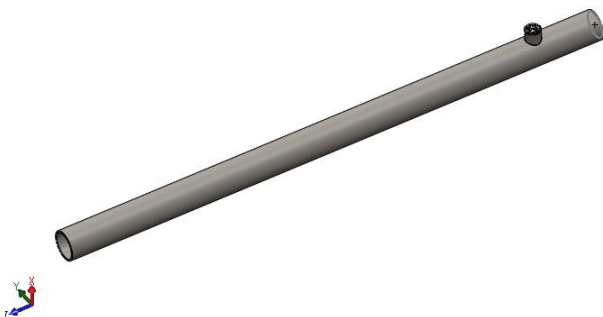
F. Diseño del muñón

El muñón es la parte del husillo donde se acopla el motor, la hélice del husillo ocupa los 400 mm establecidos al principio, el muñón va por fuera del barril



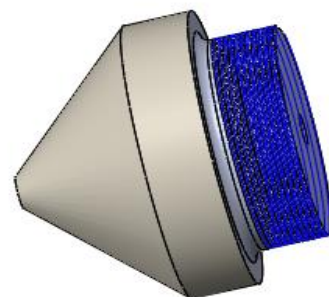
G. Diseño del barril

Los parámetros que conforman el barril, tales como diámetro exterior (D_e), diámetro interior (D_i) y espesor (ϵ).



I. Diseño de la boquilla

La boquilla es la parte final de la extrusora, es el elemento que le da forma a los filamentos 3D por su forma, la cual es intercambiable y se puede dar forma a otros elementos ejemplo a postes, madera y mas.



J. Potencia del motor

La presente investigación toma en cuenta la extrusión únicamente del plástico PET y no de otros polímeros. Se considera utilizar una velocidad máxima de 7 RPM, con la finalidad de obtener potencias acorde a los motores que se comercializan, (Harper, 2004).

$$P_{mot} = \frac{N \cdot \pi \cdot D t^3}{F_p^2}$$

$$P_{mot} = \frac{7 \text{ rpm} * \pi * 20 \text{ mm}^3}{66.7^2}$$

P_{mot} = 39.54 W
P_{mot} = 0.05 HP

K. Características del motor

CARACTERÍSTICAS	VALORES
POTENCIA NOMINAL	0,37 kW – ½ HP
VOLTAJE	Trifásico 220-240 Vac
FRECUENCIA	60 Hz
NÚMERO DE POLOS	4
VELOCIDAD DE ROTACIÓN	1800 RPM
ACOPLE	Directo
ÍNDICE DE PROTECCIÓN	IP 55

L. Selección de la resistencia

Resistencias tipo banda.

Utilizada en la industria del plástico, forman una abrazadera para calentar áreas cilíndricas, ofrecen altas temperaturas.



V. RESULTADOS

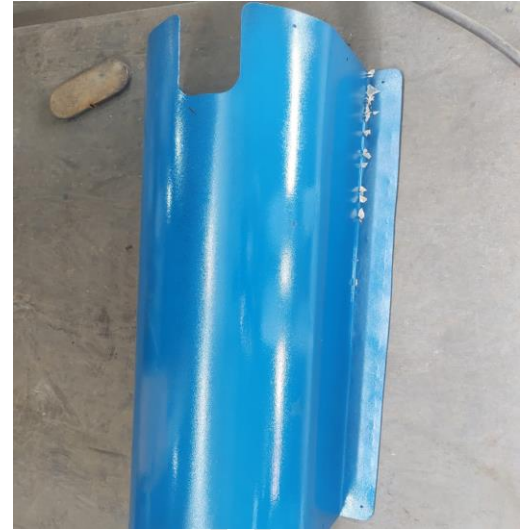
Por cuestiones de proveedores, economía y problemas sanitarios no se pudo reizar el diseño propuesto y se tomo como segunda opcion buscar materiales de segunda mano los cuales se acoplaron al proposito del proyecto planteado teniendo como resultado.

A continuacion se muestra el diseño final y el despiese de la maquina extrusora

Pellets de PET



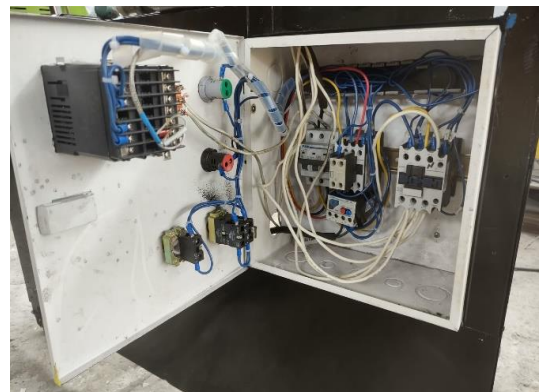
Cubierta de las resistencias



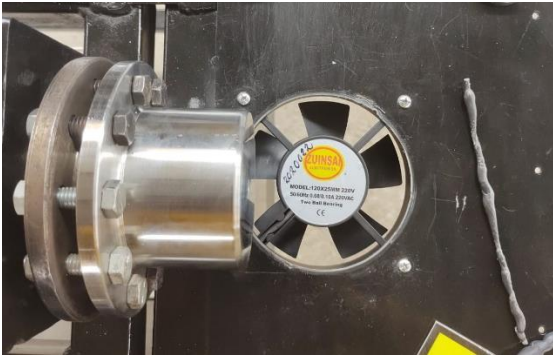
Tolva



sistema de control



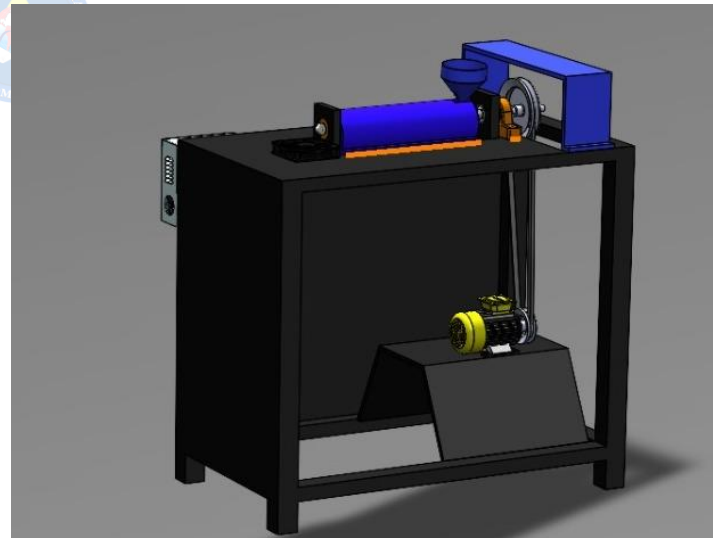
boquilla y ventilador



resistencias electricas



material obtenido



CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó una máquina extrusora de filamentos de 3 mm para impresoras 3D, con capacidad de producción de 1 kg/h, con PET reciclado también se puede trabajar con otros materiales como ABS y PLA de impresiones fallidas.

Se hace un barrido, revisión y validación de conceptos teóricos, bibliográficos y conceptuales para la elaboración de este trabajo con principal énfasis en el estudio de los materiales termoplásticos, su comportamiento y su aprovechamiento en aplicaciones de manufactura aditiva (MA)

Se hace un análisis de Cálculos que permite ligar las condiciones del material a un diseño base sujeto a modificaciones que dependerán de pruebas de campo para el uso de materiales termoplásticos en una máquina de extrusión de filamentos.

RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer un precalentamiento de 30 minutos de las resistencias antes de iniciar en marcha el motor reductor.

Para evitar contacto con zonas calientes se recomienda utilizar equipo de protección (guantes resistentes al calor, gafas.)

No se ahonda en un sistema de monitoreo para el prototipo pues una adquisición de datos para automatización sería una segunda etapa que no se alcanzaría a evaluar en esta primera etapa de ensayos y validación, como recomendación y retroalimentación queda entonces la validación del prototipo base y su funcionalidad previa a la instrumentación y el control más exhaustivos.

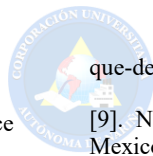
La guía de mantenimiento y operación cumple con criterios de operación básicos, teniendo en cuenta los riesgos asociados a su uso y unas condiciones generales de mantenimiento que aplican a equipos con piezas móviles como el del presente trabajo

REFERENCIAS

[1]. 3DBTOS. (2021). Obtenido de <https://3dbots.co/categoria-producto/filamento-3d/>

[2]. 3Dnatives. (2019). Obtenido de <https://www.3dnatives.com/es/modelado-por-deposicion-fundida29072015/>

[3]. Attila Bata, G. T. (2018). Melt shear viscosity of original and recycled PET in wide. doi:10.1088/1742-6596/1045/1/012007



- [4]. Giles, H. W. (2005). Extrusion The definitive processing Guide. Estados unidos de america: William Andrew, Inc. Obtenido de https://www.academia.edu/21003168/Extrusion_The_Definitive_Processing_Guide_and_Handbook
- [5]. Gomis, M. B. (2012). tecnologia de polimeros. España: Universidad de Alicante. Servicio de publicaciones.
- [6]. GREENPEACE. (OCTUBRE de 2018). Obtenido de http://greenpeace.co/pdf/reporte_plasticos.pdf
- [7]. Harper, G. E. (2004). El libro practico de los generadores, trasformadores y motores electricos. Mexico: Limusa S.A.
- [8]. INDUSTRIA, E. (2021). Lo que deberías saber sobre los controladores de temperatura. 1. Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=3532&ni=lo-maquinas . mexico : pearson educacion .>
- [9]. que-deberias-saber-de-los-controladores-de-temperatura
- [9]. Nisbett, R. G. (2008). Diseño en ingeniería mecánica Shigley. Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- [10]. PGIRS. (2015). Actualización plan de gestión integral de residuos sólidos. Obtenido de file:///C:/Users/lenovo/Downloads/actualizacion_plan_de_gestion_integral_de_residuos_solidos_pgirs_2015_2027_v3.pdf
- [11]. plasticos, T. d. (30 de mayo de 2011). Tecnologías de los plasticos . Obtenido de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/pet.html>
- [12]. Robert L.Mott, P. (2006). Diseño de elementos de
- [13]. S.L., D. (2021). Filament2Print . Obtenido de Filament2Print : <https://filament2print.com/es/pellets-y-colorantes/688-pellets-pla.html>
- [14]. SAVGORODNY, V. (1973). transformación de los plasticos . ESPAÑA: GUSTAVO GILI S.A.
- [15]. Superservicios. (2018). PASTO, NARIÑO.
- [16]. Tarquin, L. b. (2006). Ingeniería económica. México, D. F:

PROHIBIDA SU COPIA