

**IMPRESORAS 3D PERSONALES AUTOREPLICANTES, UN MÉTODO
PRÁCTICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE DESECHOS PLÁSTICOS
RECICLABLES**

**SELF-REPLICATING PERSONAL 3D PRINTERS, A PRACTICAL METHOD
FOR THE UTILIZATION OF RECYCLABLE PLASTIC WASTE**

**IMPRESSORAS PESSOAIS 3D AUTO-REPLICÁVEIS, UM MÉTODO
PRÁTICO PARA A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS RECICLÁVEIS**

Eddy Santiago Chimbo García, Tnlgo.
Instituto Superior Tecnológico Loja, Loja - Ecuador
eschimbo@tecnologicoloja.edu.ec
0000-0003-0973-5882

Ángel Daniel Uchuary Jiménez, Mgs.
Docente del Instituto Superior Tecnológico Loja, Loja - Ecuador
auchuary@tecnologicoloja.edu.ec
0000-0003-3846-8082

Daniel Engiberto Granda Gutiérrez, Mgs.
Docente del Instituto Superior Tecnológico Loja, Loja - Ecuador
degranda@tecnologicoloja.edu.ec
0000-0001-8726-0806

Resumen

Este trabajo planteó el diseño y construcción de una máquina de impresión 3D cuya materia prima son plásticos reciclados, especialmente aquellos generados dentro de entornos domésticos, que resultan más fáciles y económicos de procesar; empleando tarjetas de desarrollo, así como firmware y software “open source”. Abordando la problemática del bajo aprovechamiento de estos desechos. Su desarrollo, aun cuando es aplicación netamente práctica, se basó en cuatro componentes: investigativo, que permitió identificar criterios constructivos, así como el tipo de polímeros más factibles a usarse; un componente de modelado teórico; y componentes de diseño y construcción de la impresora 3D, mediante los cuales se logró este cometido. Permitiendo testear la eficacia del empleo de estos materiales, como materia prima en procesos de manufacturación aditiva; así como los parámetros de configuración y prácticas que permiten alcanzar una calidad apreciable en los objetos finales, próxima a la calidad obtenida al emplear resinas vírgenes.

Palabras claves: Construcción; diseño; materia prima; plásticos o polímeros, reciclaje.

Abstract

This work proposed the design and construction of a 3D printing machine whose raw material is recycled plastics, especially those generated within domestic environments, which are easier and cheaper to process; using development boards, as well as firmware and open source software. Addressing the problem of low utilization of these wastes. Its development, even though it is a purely practical application, was based on four components: research, which allowed identifying construction criteria, as well as the most feasible type of polymers to be used; a theoretical modeling component; and design and construction components of the 3D printer, through which this task was achieved. This allowed testing the effectiveness of the use of these materials as raw material in additive manufacturing processes, as well as the configuration parameters and practices that allow achieving an appreciable quality in the final objects, close to the quality obtained when using virgin resins.

Keywords: Construction; design; raw materials; plastics or polymers, recycling.

Resumo

Este trabalho propôs a concepção e construção de uma máquina de impressão 3D cuja matéria-prima é plástico reciclado, especialmente as geradas em ambientes domésticos, que são mais fáceis e mais baratas de processar; utilizando placas de desenvolvimento, bem como firmware e software de código aberto. Abordar o problema da subutilização destes resíduos. O seu desenvolvimento, ainda que seja uma aplicação puramente prática, baseou-se em quatro componentes: investigação, que permitiu identificar os critérios de construção, bem como o tipo mais viável de polímeros a utilizar; um componente teórico de modelação; e componentes de concepção e construção da impressora 3D, através dos quais esta tarefa foi realizada. Isto permite-nos testar a eficácia da utilização destes materiais como matérias-primas nos processos de fabrico de aditivos, bem como os parâmetros e práticas de configuração que nos permitem alcançar uma qualidade apreciável nos objectos finais, próxima da qualidade obtida quando se utilizam resinas virgens.

Palavras-chave: Construção; design; matéria-prima; plásticos ou polímeros; reciclagem.

Introducción

La gran acumulación de desechos plásticos dentro de los entornos urbanos y silvestres supone una de las amenazas medioambientales más severas en los tiempos actuales; por ejemplo, Ecodes (s.f), señala que, de seguir las tendencias actuales, para el año 2050, es posible que “nuestros océanos tendrán 1 tonelada de plástico por cada 3 de pescado”.

En Ecuador, se generan más de 531 461 toneladas anuales de estos residuos; y dentro del panorama de la provincia de Loja, anualmente se genera cerca de 30.824 toneladas de residuos de este tipo; tal como refiere Morán (2020). Resulta aún más complicado en la ciudad de Loja, donde pese a ser galardonada como “ciudad ecológica”, los procesos de reciclaje únicamente aprovechan el 2.57% de los residuos generados; hecho mismo que se puede atribuir al pobre y vejado sistema de clasificación de residuos domésticos que se aplica desde al año 2000, con la clasificación de desechos mediante dos modalidades: desechos orgánicos e inorgánicos (Jiménez, 2016).

En respuesta a esta problemática identificada, se propuso la creación de esta máquina de impresión 3D como una solución accesible, a corto y mediano plazo, buscando facilitar el reciclaje de los desechos plásticos dentro del entorno doméstico. De forma que, lo que se expone, cimenta su aplicación en intereses ecológicos vinculados directamente a una “reinvención” de los tradicionales métodos y prácticas de reciclaje, haciendo uso de las prácticas “markers”, bajo la filosofía “Do It Yourself” (DIY).

Materiales y métodos

Fase investigativa

Se identificó la clasificación de plásticos acorde a sus características térmicas; siendo de mayor relevancia aquellos clasificados dentro de los termoplásticos; mismos que según destacan Hermida (2011) y Jiménez (2016), son polímeros cuya estructura molecular es de “tipo lineal”, lo cual facilita su plastificación a altas temperaturas, permitiendo su moldeado; para luego ser enfriados y crear los objetos deseados; así abordando la descripción expuesta en Olarte (2019), relacionada al Código de Identificación de Plásticos (CPI), y, al contrastar las descripciones realizadas por estos autores, se consensuó que se tendría una aplicación factible con los polímeros termoplásticos.

También se recopiló información referente a los límites de temperatura comunes de un polímero, identificándose, entre las más importantes: “temperatura de transición vítrea”, por debajo de la cual los polímeros se vuelven quebradizos; “temperatura de fusión”, misma que responde a la temperatura ideal para que un plástico se transforme en líquido; y la “temperatura de degradación”, a la cual estos materiales se carbonizan (Hermida, 2011). No obstante, el criterio más relevante en esta aplicación correspondió únicamente a las temperaturas de fusión; mismas que pertenecen a rangos entre 250 y 260°C para PET, de 110°C para el LDPE, de 132°C para el HDPE y de 160°C para el PP, como se observa en la Gráfica 1. Aunque se prestó mayor atención al PET, ya que resulta ser un polímero muy fácil de obtener mediante el reciclaje, además de ser el que se halla en mayor proporción dentro del entorno doméstico.

IDENTIFICACIÓN NEMOTÉCNICA DE POLÍMEROS



Gráfica N° 1. Identificación nemotécnica de polímeros acorde al CIP.

Por otro lado, la investigación bibliográfica también permitió pautar las características básicas que requerían los componentes, como:

- Los ejes o flechas y los tornillos de potencia serían compuestos de acero con aleación de cromo, o similares para contrarrestar efectos de flexión/desgaste.
- La estructura general debía ser robusta para dar soporte a los demás elementos de los ejes “X”, “Y” y “Z”.
- El extrusor debía ser construido con materiales resistentes a ralladuras, a la vez que ligeros para evitar sobrecargar los motores.
- Se debía realizar un proceso de experimentación controlada, mediante PID, para el sistema de calentado del extrusor.

Fases de modelado teórico y de diseño

Aquí se abordó el diseño matemático y gráfico, mediante herramientas de software CAD, de los elementos mecánicos como: extrusor, soportes, ejes, estructura; además de realizar la determinación de los torques requeridos para mover los tres ejes de impresión y caracterizar los diferentes elementos eléctricos y electrónicos como fuentes de alimentación, cableado, sensores y calentadores.

Dado que el proyecto se centró en una escala experimental de las impresoras 3D autorreplicantes, que usan el proceso de manufactura aditiva por Deposición de Filamento Fundido (FDM), a partir de la premisa de requerir un extrusor capaz de admitir la materia prima, plástico reciclado, de forma directa, se propuso el empleo de un extrusor tipo tornillo inyector, similar a las unidades de inyección de tornillo sinfín, descritas por Díaz (2012); donde la materia prima se admite en forma granulada. Se determinaron los materiales que se requería para construir el producto final de este trabajo.

Fase constructiva

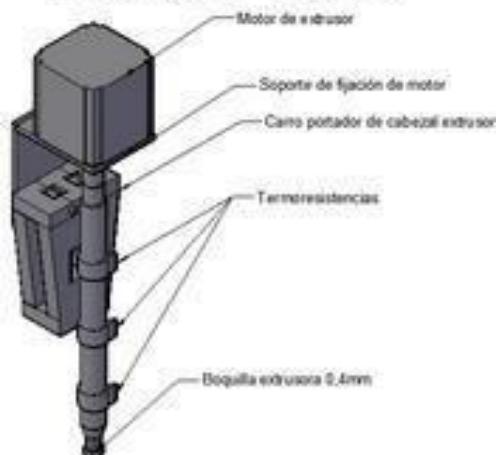
Esta fase final abarcó tanto la obtención de los materiales, la construcción, calibración, configuración y pruebas de la impresora, así como las correcciones que se requirió para poner en marcha esta máquina; así, se tiene los diseños finales del conformado estructural y de los 3 ejes que componen el producto final presentado, como muestra la gráfica 2, 3 y 4.

TORNILLO INYECTOR A ESCALA MILIMÉTRICA



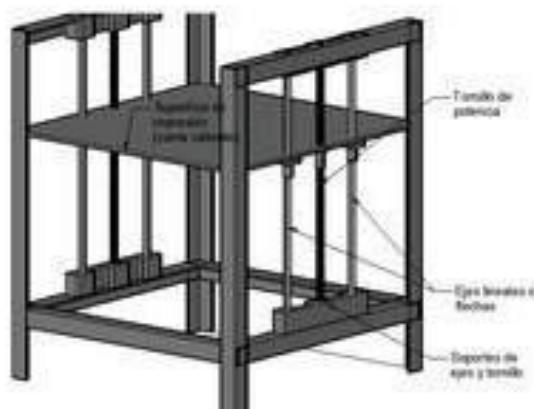
Gráfica N° 2. Diseño teórico de tornillo inyector a escala milimétrica.

SISTEMA CONJUNTO DE TORNILLO - CARRO



Gráfica N° 3. Conjunto tornillo extrusor-carro porta extrusor.

VISIÓN GENERAL DEL EJE Z



Gráfica N° 4. Conformado de eje Z.

Resultados y discusión

Intervenciones de corroboración

Refiere a las mediciones de corrientes de consumo de los 5 motores encargados de mover los tres ejes de impresión y el extrusor de tornillo, además del control de temperatura, de los disipadores ubicados en los drivers de los respectivos motores, con el fin de verificar que no sufrieran de calentamientos considerables; lo cual permitió comprobar que estos elementos trabajen dentro de sus valores nominales y no se hallen sobrecargados; datos recopilados dentro del apartado de resultados.

Intervenciones experimentales

En la ejecución de estas intervenciones únicamente se adoptaron métodos experimentales de exploración y descripción, pues, tanto la configuración y puesta en funcionamiento de la máquina se basó en procesos de exploración y descripción de resultados, donde se efectuó pruebas con diferentes valores configurables y se observó la incidencia que tenían en el adecuado funcionamiento de la impresora.

- Calibración de ejes (velocidad y precisión de movimiento)
- Calibración de Control PID de Temperatura de Hottend
- Impresión final de una pieza tridimensional

Ejecución de cálculos

Al empezar en la realización de los diferentes cálculos, se requirió investigar acerca de las partes mecánicas que se requería instalar y/o fabricar; como el tornillo de extrusión y el conformado de ejes (torques). Por su parte, para los componentes eléctricos, se debió de realizar un dimensionamiento y adecuación conforme a los valores obtenidos mediante los cálculos, lo cual, determinó la elección de la fuente de alimentación usada, tipo de drivers, y tarjeta shield (Ramps 1.4). Lo cual tuvo que basarse, en su mayoría, en las corrientes de consumo que se desarrollaron de manera teórica, mediante la sumatoria de los consumos de los diferentes elementos.

Tornillo extrusor

Conforme al cálculo y diseño de este elemento, se adoptaron las diversas concepciones abordadas dentro de la bibliografía empleada, permitiendo realizar un modelado matemático, diseño tridimensional y posterior construcción del mismo. Lo cual, luego de una fase de experimentación. Mismo que aborda las siguientes relaciones matemáticas, expuestas por: Gutiérrez y Bornacelli (2008).

Relación L/D. Relación de la longitud sobre el grosor del tornillo, para este caso se adopta una no superior a 10; y se representa:

$$\frac{L}{D} = \frac{\text{Longitud total tornillo}}{\text{Diámetro total tornillo}} \quad (1)$$

Longitud de zona. Se define así a las diversas longitudes en las que se mantendrán las características adecuadas para la admisión, compresión o plastificación y dosificación; por lo general, la única que suele calcularse es la longitud de la zona de alimentación (admisión), que corresponde a 5 o 6 veces el diámetro real del tornillo.

$$L_A = 5D \quad (2)$$

Paso diametral. Distancia medida entre las crestas de los álabes o filetes. Suele ser igual al diámetro real del tornillo:

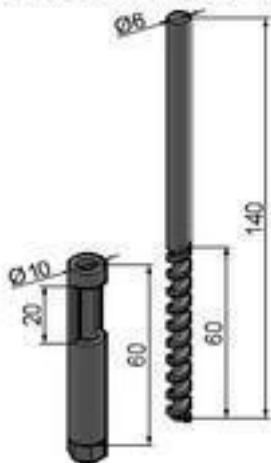
$$S = D \quad (3)$$

Ángulo de paso o inclinación de álate. Ángulo formado por la inclinación de los álabes en relación con la vertical. Se calcula mediante la relación:

$$\phi_B = \left(\frac{S}{\pi * D} \right) \quad (4)$$

Los valores aquí mencionados, así como el diseño final de este elemento, son resultado de un proceso experimental; principalmente porque, dentro de las aplicaciones del proyecto, se demanda de una inyección rápida y continua, y el torque máximo empleado estuvo limitado por la capacidad máxima de los motores nema 17 (6,5 Nm), como se puede ver en la gráfica 5.

DISEÑO DEL TORNILLO EXTRUSOR EXPERIMENTAL



Gráfica N° 5. Diseño aproximado del tornillo extrusor experimental.

Nota: A la izquierda se muestra la camisa o cilindro del extrusor y a la derecha el tornillo.

A continuación, en la tabla 1 se presenta una comparativa entre los parámetros adoptados, las dimensiones y resultados obtenidos con los dos modelos de extrusor de tornillo que se construyeron y probaron durante la fase de experimentación del proyecto:

Tabla 1.

Resumen y comparación cualitativa de dimensiones y parámetros adoptados en los modelos de extrusor probados.

CRITERIO ADOPTADO	DIMENSIONES	RESULTADOS			
		Control PID	Extrusión	Firmware	Torque

Teórico	$D = 8\text{mm}$ $\frac{L}{D} = 20$ $L = 6D = 48\text{mm}$ $A_S = D = 8\text{mm}$ $\frac{\emptyset}{B} = 18^\circ$	Ciclos demasiado largos	No es posible	Se forzó mediante arreglos de tiempo de ciclos	Insuficiente
Teórico-Experi mental	$D = 6\text{mm}$ $\frac{L}{D} = 10$ $L = 5D = 30\text{mm}$ $A_S = D = 6\text{mm}$ $\frac{\emptyset}{B} = 18^\circ$	Ciclos cortos	Sí fue posible	No requirió ningún arreglo	Suficiente, con ciertos requerimientos

Nota: Esta tabla muestra los resultados cualitativos del proceso de pruebas en los dos tornillos extrusores que se probaron, esto, con parámetros de 80 W de potencia de niquelinas, temperatura de control de 230°C y un torque máximo de 0,65 Nm. Ambos probados con material PET.

Estos resultados se abordaron tras evidenciar que la utilización de un modelo de prototipo industrial no es factible, partiendo desde elementos como motores, tarjetas de desarrollo, niquelinas y demás, que tienen una aplicación enfocada en la robótica a pequeña escala, con desarrollo de potencias bajas.

El modelo experimental, mostrado en la gráfica 7, se propuso a partir de las condiciones reales, por ende, tanto el diámetro como la longitud de tornillo se redujeron y se omitió el criterio de “compresión del material”; de forma que, a la vez que se redujo la cantidad de material que se debe mover y el torque requerido para rotar el tornillo, se aumentó la velocidad de extrusión y el alcance de control de temperatura, al alrededor de 4 o 5 minutos a 230°C. No obstante, a pesar de

dichas modificaciones la temperatura de fundición del material resultó entre los

valores de 230 a 245°C, por encima de esta temperatura se emitían olores fuertes y el plástico se degrada; esto, se presume, se debe a que la medición de temperatura se da en la superficie del cilindro del extrusor y no al interior.

Además de esto, para hacer posible la extrusión del material plástico, la forma de la boquilla de impresión constituyó un factor crítico al momento de obtener resultados, pues una admisión recta retenía el material y no permitía su flujo hasta el orificio de inyección, mientras que una forma cónica permitió la realización de esta función; como se describe en la gráfica 6.



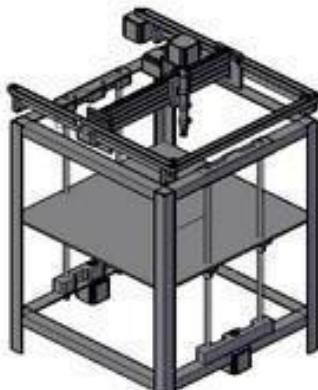
Gráfica N° 6. Representación de modificación de admisión de boquilla.

Conformado de ejes

Con el fin de simplificar la ejecución de dichos análisis, se empleó modelos simples basados únicamente en los criterios de fuerza o torque, velocidad y aceleración máxima demandada en cada eje; de esta manera el modelado teórico únicamente responde al análisis del torque requerido para mover los pesos aproximados desarrollados en cada eje. Partiendo de esta premisa, este análisis inició con la elección de los respectivos diseños a construirse, mismos que se

mostraron en las gráficas 4, 5 y 6; dentro de los cuales se puede describir el uso de tornillos de potencia, para el eje “Z”, empleando los modelos matemáticos propuestos por Mott (2006), Budynas y Nisbett (2011) y Zapata (2013); y el empleo de conjunto piñón-correa para los ejes “X” y “Y”, adoptando los modelos matemáticos expuestos en León y Torres (2013); donde el eje “Z” se encarga de mover la pieza u objeto impreso, mientras que los ejes “X” y “Y” mueven el cabezal de impresión, donde se colocó el extrusor de tornillo; tal como muestra la gráfica 7.

**DISEÑO FINAL DE LA IMPRESORA
3D**



Gráfica N° 7. Diseño aproximado de impresora 3D construida.

Nota: Se han excluido algunos elementos de soporte del gráfico con fin de mejorar la visualización de los ejes.

El análisis antes mencionado consistió en la ejecución de cálculos que iniciaron con la determinación del peso resultante en cada eje, mediante aplicación de fórmulas comunes de análisis de masa y peso; tras sumar cada elemento que los compondría, para luego determinar la fuerza y torque demandados para mover dicho cuerpo, considerando un coeficiente de fricción de 0,4 para los rodamientos

empleados, ya sean lineales o axiales. En cuanto al análisis de velocidades lineales máximas de los ejes, este, únicamente se desarrolló en el eje “X” y se aplicó los mismos resultados para el eje “Y”, lo cual no supuso inconveniente alguno en su aplicación final. Esto se comprende en la tabla 2.

Tabla 2.

Resumen de cálculos efectuados para los ejes “X” y “Y”.

EJE	PESO MÁXIMO A MOVED	COEFICIENTE DE FRICCIÓN DESARROLLADO (M)	TORQUE DEMANDADO	VELOCIDAD LINEAL MÁXIMA	TORQUE INSTALADO	PASOS POR UNIDAD MÉTRICA CONFIGURADO
X	15,292N	0,7	0,267Nm	34,89mm/s	0,28Nm	10
Y	45,015N	0,7	0,787Nm	34,89mm/s	0,7Nm	5,01
Z	1N	0,984	0,275Nm	NA	0,56Nm	26,46

Nota. Los pasos por unida métrica (PPUM), son valores aplicados a la configuración de precisión de desplazamiento requerida en el Software de la Impresora, la cual fue configurada para un valor de 10 mm o 1 cm. En “Z” el torque instalado corresponde a dos motores de 0,28Nm.

Sin embargo, se destaca que, la aplicación de estos análisis se contempló para un uso total del torque de los motores, por lo que la mayor precisión desempeñada por la impresora sería del total de un paso de motor o $1,8^\circ$; esto debido a que no se emplearon dispositivos “jumpers” en las tarjetas electrónicas, para aumentar la precisión del movimiento, ya que de haberlo hecho se habría producido una reducción del torque entregado.

Por otra parte, todos los elementos empleados se controlaron con tarjeta Arduino mega 2560, con su respectivo shield ramp's 1,4; donde el control específico de los motores se desarrolló con drivers DRV8825, mismos que presentan mayores ventajas funcionales frente a los A4988, comúnmente empleados, además de que su precio es similar; y para la configuración de estos elementos se hizo uso de las relaciones de calibración por voltaje de referencia propuestas por el fabricante "Texas Instruments".

Cálculo de Consumos Eléctricos

Aquí se describe únicamente un consumo teórico estimado de la máquina construida; para esto se realiza el supuesto de que el consumo de la máquina será máximo en todo momento; aunque esto no ocurra en realidad, ya que ciertos elementos como los ventiladores y sensores de final de carrera no siempre se mantienen activos, inclusive, para el caso de los ventiladores debido al control de Modulación por Ancho de Pulso (PWM), desarrollado por los firmware "Marlin" casi nunca entran a funcionar al 100% de su potencia nominal; sin embargo, el consumo de estos es muy reducido en comparación con el resto de componentes de la impresora, por ello se desprecia dichos valores, al igual que con el consumo energético propio de las tarjetas electrónicas; por ende, se adopta dicha consideración y se obtienen los valores expuestos en la tabla 3.

Tabla 3.

Compendio de consumo eléctrico por componente de la Impresora 3D.

CANTIDAD	ELEMENTO	VOLTAJE NOMINAL	CONSUMO INDIVIDUAL	CONSUMO TOTAL
----------	----------	-----------------	--------------------	---------------

2	Motor nema 17 de 0,7Nm	12V	1,5A	3A
3	Motor nema 17 de 0,28Nm	12V	0,4A	1,2A
6	Sensor final de carrera	5V	20mA	0,12A
1	Sensor NTC	12V	0,012A	0,012A
2	Niquelinas	12V	3,33A	6,66A
Total, de consumo en corriente				10,99A
Total, de consumo en potencia				131,064W

Por otra, se añade que aunque muchos de los valores teóricos fueron acertados, al momento de configurar la impresora, existieron elementos que debieron tomar una calibración acorde a la experimentación con el mismo, caso que sucedió con el extrusor de tornillo, donde el PPUM tomó un valor arbitrario de 60, aunque, durante el desarrollo matemático se consideró un valor de 31,25; además este valor variaba acorde al tipo de boquilla que se empleaba (0,4 mm; 0,6; 0,8 o 1 mm), de modo que este puede declararse como un elemento de análisis y configuración en campo, 100% práctico.

Conclusiones

Se concluye que el material reciclado (PET), triturado, presenta una factibilidad considerable al ser empleado como materia prima de procesos de manufacturación aditiva o impresión 3D, aunque presenta un nivel de complejidad considerable, sobre todo en los ajustes de temperatura y precisión de extrusión, esto, vinculado al modelo de extrusor propuesto.

Se ratifica que la calidad obtenida en los objetos finales, en comparación con aquellos construidos con resinas vírgenes, es ligeramente inferior; pues para lograr buenos acabados en la pieza, esta requiere de mayor trabajo, sobre todo

debido al color final de esta; sin embargo, la adherencia entre capas y resistencia general de la pieza son similares.

Se concluye que el empleo del material reciclado PET, para esta aplicación, no debe de realizarse en ambientes cerrados, pues los olores desprendidos por la fusión del material demandan el uso de protección respiratoria.

Se afirma que este proceso únicamente es posible para plásticos de tipo térmico, y que esta práctica de reciclaje únicamente es factible con materiales que puedan identificarse de forma clara según las pautas del CIP. El empleo de otras resinas como las identificadas con numeración 3, 6 y 7, según el CIP, resultan ser demasiado peligrosas para ser reutilizadas mediante el método aquí propuesto.

REFERENCIAS

- Budynas, R. y Nisbett, K. (2011). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México: McGraw-Hill Companies, Inc Education.
- Díaz, F. (2012). *Conformado de Materiales Plásticos*. [Archivo PDF]. http://olimpia.cuauitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/conformado%20de%20plasticos.pdf.
- Ecodes. (s.f.). *Contaminación por plásticos. Uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI*. 30 Ecodes. <https://ecodes.org/hacemos/cultura-para-la-sostenibilidad/salud-y-medioambiente/observatorio-de-salud-y-medio-ambiente/contaminacion-por-plasticos-uno-de-los-mayores-desafios-ambientales-del-siglo-xxi>
- Gutiérrez, P. y Bornacelli, J. (2008). *Metodología para el Diseño de Tornillos de Máquinas Extrusoras Monohusillo* [Tesis de Ingeniería, Universidad Autónoma de Occidente]. <https://editorial.uao.edu.co/acceso-abierto/pdf/metodologia-para-el-diseno.pdf>
- Hermida, É. (2011). *Polímeros*. Kirschenbaum (Ed.), Colección Materiales y Materias primas (01 ed., Vol. 09, pp. 40–51). VirtualPro.
- Jiménez, M. (2016). *Desarrollo de Material Constructivo con Materia Proveniente de Plásticos Reciclados Aplicado a la Construcción en la Ciudad de Loja* [Tesis de Pregrado, Universidad Internacional del Ecuador - UID]. <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/1723/1/T-UIDE-0643.pdf>
- León, J. y Torres, E. (2013). *Diseño de un Prototipo de Impresora 3D que Aplica Técnica de Prototipado Rápido Modelado por Deposición Fundida* [Tesis de Pregrado, Universidad Pedagógica Y Tecnológica De Colombia]. <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2470/1/TGT-1143.pdf>
- Morán, S. (10 de noviembre de 2020). *Nada frena los plásticos de un solo uso: más de 260.000 toneladas al año en Ecuador*. PlanV. <https://www.planv.com.ec/historias/sociedad/nada-frena-plasticos-un-solo-uso-mas-260000-toneladas-al-ano-ecuador>
- Mott, R. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. Cuarta Edición. México: Pearson Education.
- Olarte, F. (19 de diciembre de 2019). *Tipos de plásticos: toxicidad y usos*. EcoVidaSolar. <https://www.ecovidasarolar.es/blog/tipos-de-plasticos-toxicidad-y-usos/>
- Zapata, J. (2013). *Diseño de Elementos de Máquinas*. Editora Perú. <https://www.eumed.net/libros-gratis/ciencia/2013/14/14.pdf>