

DISEÑO DE TRÍPODE EN IMPRESIÓN 3D PARA SEGUIDOR SOLAR

3D PRINTED TRIPOD DESIGN FOR SOLAR TRACKER

Mario Cuadras Cabanillas

Tecnológico Nacional de México / IT de Los Mochis, México
L17440413@mochis.tecnm.mx

Hugo Castillo Meza

Tecnológico Nacional de México / IT de Los Mochis, México
hugo.cm@mochis.tecnm.mx

Lennin Enrique Amador Castro

Tecnológico Nacional de México / IT de Los Mochis, México
lennin.ac@mochis.tecnm.mx

Recepción: 28/octubre/2024

Aceptación: 21/diciembre/2024

Resumen

Un sistema fotovoltaico tiene como función principal el aprovechamiento de la energía solar, que se materializa a través de la utilización de paneles con seguidores solares para optimizar la captación de energía a través de monturas realizando el seguimiento del sol mediante sensores fotovoltaicos, sin embargo, en algunos casos los costos de fabricación tienden a ser elevados. Este trabajo presenta el diseño y fabricación de un trípode para un seguidor solar mediante impresión 3D, utilizando software CAD, específicamente Inventor 2024 por medio de la técnica de Modelado por Deposición Fundida. Se elaboraron componentes impresos con filamento PETG y tubos de PVC para reducir costos y aumentar la resistencia. El proceso incluye diseño, laminado, impresión, ensamblaje y postprocesamiento de las piezas. El prototipo resultante demuestra ser funcional, económico y adaptable, con una disminución de costos del 50-60% en comparación con opciones comerciales. Este enfoque fomenta el uso de tecnologías accesibles y sostenibles para proyectos domésticos y educativos, promoviendo una mayor adopción de sistemas de energía solar.

Palabras Clave: Diseño CAD, energía asequible, impresión aditiva, impresión 3D.

Abstract

The solar energy use is the main function to photovoltaic system, which has materialized by panels with solar trackers to optimize the sunlight energy capture through mounts solar tracking using photovoltaic sensors, however, in some cases its manufacturing costs tend to be high. This study presents the design and manufacturing of a tripod for a solar tracker using 3D printing, CAD software Inventor 2024, and Fused Deposition Modeling techniques. Components were printed with PETG filament and PVC pipes to reduce costs and enhance durability. The process included design, slicing, printing, assembly, and post-processing. The resulting prototype proved functional, cost-effective, and adaptable, achieving a 50-60% cost reduction compared to commercial options. This approach promotes the use of accessible and sustainable technologies for domestic and educational projects, encouraging broader adoption of solar energy systems.

Keywords: *CAD design, affordable energy, additive manufacturing, 3D printing.*

1. Introducción

En las últimas décadas el avance tecnológico en la impresión 3D ha permitido el diseño en la impresión de objetos sin la necesidad de grandes inversiones iniciales ni requerimientos de instalaciones industriales. Esto ha llevado a la accesibilidad de la impresión 3D, como el desarrollo de prototipos desde la comodidad de la casa hasta la fabricación de equipos de protección y piezas para salvaguardar vidas, atenuando el desabastecimiento tal como lo ocurrido durante la crisis sanitaria en 2019 [Martínez, 2020].

Durante los primeros años de diseños en impresoras 3D domésticas, se tenía una limitante en el sistema de movimiento basado en el sistema de robot cartesiano, debido a que la base de la impresión forma parte de uno de los ejes, creando inercias durante su funcionamiento restringiendo de esta manera la velocidad de la máquina. Hoy en día la evolución de las impresoras 3D ha sido un proceso fascinante y revolucionario, con avances significativos tanto en la tecnología como en sus aplicaciones. Recientemente, la combinación de la impresión 3D y Arduino ha demostrado ser una forma eficiente y rentable de fabricar equipos

experimentales, convirtiéndose en muchas ocasiones en una alternativa atractiva a sus homólogos comerciales [Pearce, 2014]. De hecho, la implementación de componentes optomecánicos, mediante tecnología de impresión 3D, está teniendo un impacto directo en la comunidad científica. En primer lugar, los investigadores ya no están obligados a trabajar con productos disponibles comercialmente y, por tanto, con sus configuraciones experimentales se puede hacer más versátil. En segundo lugar, dado que los materiales, técnicas de fabricación y componentes electrónicos están evolucionando muy rápidamente, y las características y calidad de los equipos desarrollados pueden mejorar significativamente a partir de la experiencia y necesidades del investigador [Laureto et al., 2017]. Por último, el proceso de desarrollo resulta ser una forma creativa para involucrar a jóvenes investigadores en la ciencia y aumentar el tamaño de la comunidad científica de hardware y software de código abierto; gracias al hecho de que actualmente hay varias plataformas de código abierto disponibles y las instrucciones detalladas de construcción se comparten [Salazar, Jiménez y Torres, 2018].

El diseño 3D tiene sus antecedentes en varios campos que han evolucionado a lo largo de la historia, que van desde las matemáticas, el arte, la ingeniería hasta a la informática. Desde las civilizaciones antiguas, se utilizaban los principios geométricos para el diseño en arquitectura y arte, mientras que en la época del renacimiento se utilizaba la perspectiva para representar objetos tridimensionales en superficies planas. Sin embargo, no fue sino hasta el siglo XXI cuando la impresión 3D aditiva permitió convertir modelos digitales en modelos físicos.

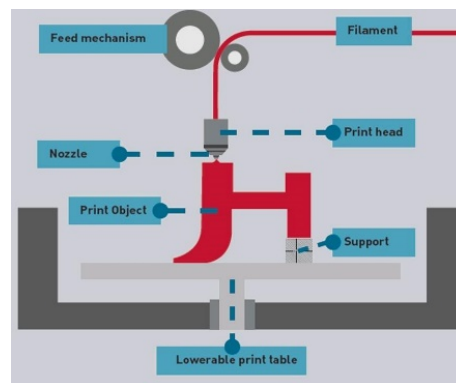
La fabricación aditiva o impresión 3D como se llama comúnmente es un proceso que crea objetos físicos a partir de un diseño digital. Existen diferentes tecnologías de impresión 3D y materiales con los que se imprime, basadas en el mismo principio que consiste en convertir un modelo digital en un objeto sólido físico tridimensional con el fin de añadir material capa a capa entre sí utilizando los datos del software de diseño (*European Region Action Scheme for the Mobility of University Students*, [ERASMUS], 2017). El principal objetivo de la fabricación aditiva (AM) es reducir el tiempo y los pasos del proceso. Esto se puede hacer con tecnologías de creación rápida de prototipos, utilizando software de modelado 3D para desarrollar el diseño

del producto dentro del menor tiempo posible. Las diversas técnicas de AM son: Sinterización Selectiva por Láser (SLS), Modelado por Deposición Fundida (FDM), Estereolitografía (SLA), Fabricación de Objetos Laminados (LOM). La tecnología está mejorando clasificados frecuentemente para optimizar el proceso de fabricación y obtener las propiedades geométricas deseadas del producto final [Saquid et al., 2022].

Investigaciones recientes están utilizando AM para realizar estudios interdisciplinarios sobre materiales, combinándolos con la intención de obtener el agrupamiento mecánico, óptico y propiedades físicas del producto final. Se ha demostrado que es mejor para reducir el tiempo de entrega en reemplazos de repuestos y acortamiento de la cadena de suministro [Citarella y Giannella, 2021].

Las impresoras caseras trabajan normalmente con filamento de plástico, por lo que la tecnología empleada para esto es FDM, la cual es una herramienta de impresión 3D que trabaja extruyendo un polímero termoplástico a través de una boquilla caliente, que se va depositando en una plataforma de construcción. Además, es considerado como una forma de fabricación aditiva, que al mismo tiempo se refiere al proceso de unión de materiales para crear objetos a partir de los datos de un modelo 3D, normalmente capa sobre capa.

La Figura 1 muestra este proceso el cual involucra un filamento de plástico que es alimentado por un carrete a la boquilla, donde el material es fundido y licuado "dibujándose" en la plataforma.



Fuente: ERASMUS.

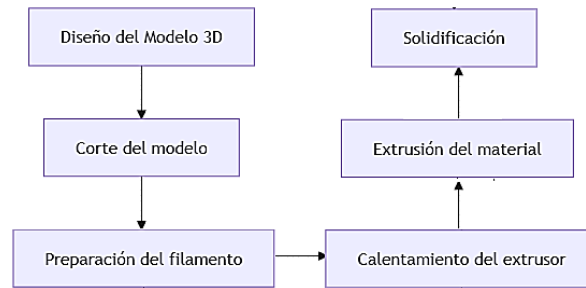
Figura 1 Tecnología 3D FDM.

Tan pronto como toca la superficie de impresión, el filamento se endurece mientras se deposita gradualmente, siguiendo una cierta estructura, para crear finalmente la impresión 3D. Cuando una capa es dibujada, la plataforma desciende la altura de una capa para que la impresora sea capaz de empezar a trabajar en la siguiente capa.

Existen diferentes materiales que pueden ser usados para la tecnología FDM, los cuales se están divididos en dos categorías: industrial y consumidor. Entre los más comunes son el Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS), el Ácido Poliláctico (PLA) y el Nylon (Poliamida), así como también se utiliza la mezcla de plástico y madera o carbón. Por lo tanto, dicha técnica es utilizada con frecuencia en el área de prototipos no funcionales para producir piezas conceptuales, modelos funcionales, prototipos en general, fabricación de utillaje y piezas finales ya que presenta las siguientes ventajas [ERASMUS, 2017]:

- Se necesita poca mano de obra debido al alto nivel de automatización.
- Se pueden fabricar un mayor número de formas geométricas, permitiendo la producción de piezas con topología optimizada, con canales internos, etc.
- Fabricación de alta velocidad para piezas pequeñas y complejas.
- Menor desperdicio de material y no se requieren herramientas especiales.
- Posibilidad de reconstruir secciones dañadas de objetos existentes.

Para obtener el modelo 3D o modelo digital que se desea imprimir, primero se modela la pieza a través del diseño de software asistido (CAD, por sus siglas en inglés) para obtener el modelo tridimensional. Cuando se trabaja con el diseño e impresión de modelos 3D pueden encontrarse gran variedad de formatos o tipos de archivos. Algunos están pensados para el diseño o el escaneo, pero otros están más asociados a la impresión 3D, como: STL, OBJ, PLY o FBX, entre otros. Posteriormente, se prepara el filamento para realizar el proceso industrial que consiste en dar la forma al material, mejor conocido como extrusión. Finalmente, después de que el material es fundido aplicando una fuerza y presión constante se entra al proceso de solidificación que da la forma del objeto deseado, tal como se muestra el proceso de producción en impresión 3D de la Figura 2.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2 Proceso de producción en impresión 3D.

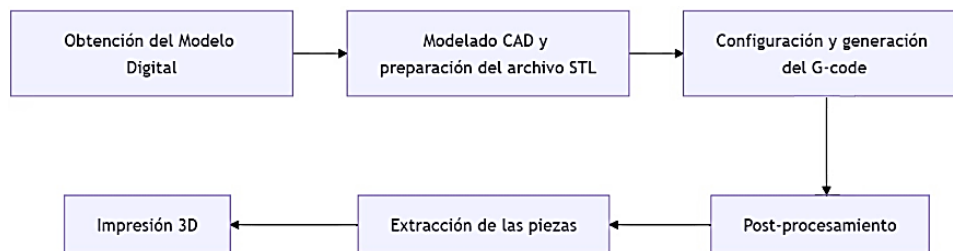
Gutiérrez-Villegas, et al. [2018] presenta un análisis en los costos de inversión considerando un sistema fijo y con seguidor solar en pequeña, mediana y gran escala, argumentando que los resultados obtenidos demuestran que los sistemas de gran y mediana escala con seguidor solar son económicamente viables ya que no hay un aumento en la recuperación de la inversión. Por otro lado, en estudios recientes por Carpio [2021] hace un análisis económico-eléctrico en un modelo de seguidor solar y un sistema fijo, obteniendo un incremento en el 40% del presupuesto del prototipo con respecto al sistema fijo. Para el diseño mecánico e impresión 3D de las piezas utiliza el software CAD, Fusión 360.

Dado que los seguidores solares comerciales suelen ser costosos debido a los materiales y tecnologías empleadas, lo que limita su adopción, especialmente en comunidades con recursos limitados. Además, que la complejidad en su fabricación representa barreras para su implementación masiva en proyectos domésticos o de pequeña escala. En este sentido, el presente trabajo tiene como finalidad diseñar componentes fabricados con impresión 3D ya que representa una alternativa innovadora y accesible, permitiendo diseñar y producir piezas personalizadas con costos reducidos, además de facilitar la reproducción del sistema en diferentes contextos con el objetivo de ser fácilmente reproducible por usuarios con acceso a impresoras 3D y conocimientos básicos de electrónica.

2. Métodos

La finalidad de este trabajo es diseñar los componentes mecánicos de un trípode para un seguidor solar utilizando software CAD, específicamente *Inventor*

2024, para su fabricación mediante la impresión 3D. Para esto, se lleva a cabo el desarrollo de la metodología mostrada en la Figura 3, por lo que una vez exportado el modelado en un formato STL compatible con la impresora, es revisado para evitar errores en su impresión, es importante verificar que se encuentre listo para su procesamiento en la impresora. Después se prepara el archivo para ser impreso mediante la generación del *G-code*, que se encarga de instruir a la impresora 3D sobre la fabricación del objeto.



Fuente: Elaboración propia con datos de ERASMUS.

Figura 3 Metodología utilizada para el diseño e impresión 3D.

En el proceso de fabricación de las piezas se utiliza una impresora *3D Ender-3* con una boquilla de 0.8 tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Selección PETG (Polietileno tereftalato de glicol) como el filamento de impresión.
- Impresión de los componentes de acuerdo con los diseños 3D generados en software CAD, *Inventor 2024*.
- Ajuste de los parámetros de la impresora de acuerdo con las indicaciones del fabricante, con el fin de optimizar la calidad de las piezas.
- Ensamblaje de las piezas impresas obtenidas.
- Realizar el postprocesado de las piezas impresas, es decir, incluir técnicas de lijado en el ensamblaje de componentes con la finalidad de verificar la calidad de las piezas.

Para elaborar la parte del trípode se utiliza la técnica publicada en el repositorio de modelos para imprimir de *Thingiverse*, donde los componentes en 3D corresponden a las uniones del trípode. Por lo tanto, se emplean tubos de PVC permitiendo

obtener una mejor resistencia y reducir los costos de fabricación. La Figura 4 muestra los materiales utilizados en el diseño de trípode: 3 tubos de PVC de 50 cm x 1", 1 tubo de PVC de 50 cm x 3/4", 1 tubo de PVC de 10 cm x 1/2", 1 tubo de PVC de 60 cm x 1", 1 tubo de PVC de 70 cm x 3/4", 15 tornillos M5x15 mm y pegamento Industrial.



Fuente: Elaboración propia.

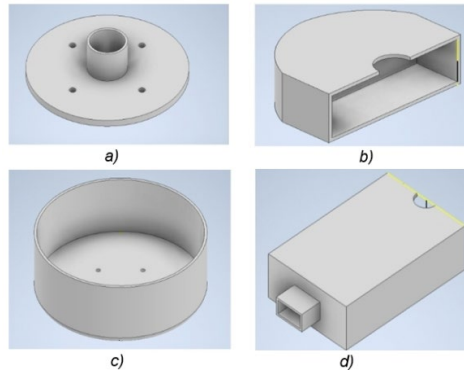
Figura 4 Partes 3D utilizadas en el diseño del trípode.

Para el diseño de los sistemas de soporte se utiliza la técnica aditiva FDM por medio la impresora 3D *Ender-3*; además de rollos de filamento 3D PETG, uno de color blanco y otro de color negro.

La Figura 5 presenta las partes diseñadas de los soportes del trípode, creadas en el programa *Inventor 2024*. Cada componente desempeña un rol específico para garantizar el correcto funcionamiento del trípode. En detalle:

- **Figura 5a:** muestra el soporte principal de la carcasa del prototipo, el cual se conecta al tubo de PVC de 60 cm de largo por 1" de diámetro.
- **Figura 5b:** corresponde a una tapa diseñada para facilitar el acceso y manipulación del servomotor, ofreciendo una solución práctica para su mantenimiento y ajuste.
- **Figura 5c:** representa una pieza elaborada mediante impresión 3D, que actúa como contenedor y cubierta para los componentes eléctricos del trípode.

- **Figura 5d:** se trata de un elemento esencial que proporciona movilidad a toda la estructura del trípode, permitiendo su correcto desempeño.

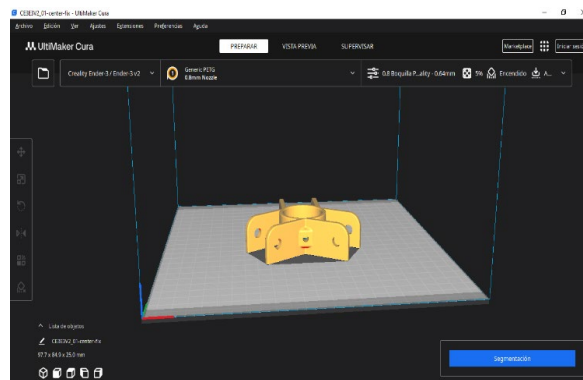


Fuente: Elaboración propia.

Figura 5 Partes 3D del soporte del trípode.

3. Resultados

Una vez completados los diseños en *Inventor*, estos se transfieren a un laminador 3D, cuya función es convertir los archivos en formato STL al código G, el lenguaje utilizado por las impresoras 3D. Para este propósito, se utiliza el laminador *Ultimaker Cura 5.5.0*, una herramienta avanzada que permite cargar y preparar cada pieza para la impresión, como se ilustra en la Figura 6.



Fuente: Ultimaker Cura 3D 5.5.0.

Figura 6 Interfaz del laminador.

Esta versión del software incluye importantes mejoras en funcionalidad, usabilidad y optimización de parámetros, lo que garantiza una impresión más eficiente y de

mayor calidad. Tras diseñar las piezas en la interfaz del laminador, se procedió a su impresión 3D y posterior ensamblaje en las conexiones de los tubos de PVC de $\frac{3}{4}$ ". Este proceso permite completar la parte central del trípode, tal como se muestra en la Figura 7. Durante las pruebas, se comprueba que las piezas, a pesar de estar fabricadas en plástico, presentan una notable resistencia estructural.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7 Trípode elaborado con PVC.

Posteriormente, se integran las piezas impresas en 3D que conforman la carcasa destinada al almacenamiento del equipo de control, Figura 8a. Adicionalmente, se incorpora una tapa con diseño circular para la carcasa (Figura 8b).



a) Tapa.



b) Soporte.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 8 Partes del recubrimiento, tapa y soporte.

El soporte del panel solar es diseñado con una parte interior hueca, lo que permite alojar los cables de conexión y control, facilitando su movimiento. Finalmente, la Figura 9 muestra el prototipo completo, que destaca por su diseño resistente, libre de vibraciones, y capaz de soportar de manera eficiente el peso de un panel solar.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9 Prototipo final del trípode.

Con base en la Tabla 1, se presentan los costos de los materiales empleados tanto en el diseño del trípode como en el PETG utilizado para las impresiones 3D, con una inversión aproximada de \$45 USD. En el mercado, si no se cuenta con un diseño previo, los costos pueden oscilar entre \$10 y \$50 USD, dependiendo de la complejidad del proyecto. Además, un trípode puede requerir entre 200 y 500 g de material PETG, lo que impacta directamente en el costo total. Asimismo, si no se dispone de una impresora 3D propia, los costos por tiempo de impresión pueden variar entre \$1 y \$3 USD/hora, lo que lleva la inversión total a un rango de \$30 a \$120 USD, dependiendo de los factores mencionados.

Tabla 1 Costo de los materiales utilizados en el diseño del trípode.

Materiales	Cantidad	Costo
Tubo PVC 1"	1	1.62 USD
Tubo PVC ½"	1	1.99 USD
Tubo PVC ¾"	1	2.68 USD
Tornillos M5x15 mm	15	8.25 USD
PETG blanco 1.75 mm 1 kg	1	13.65 USD
PETG negro 1.75 mm 1 kg	1	13.65 USD
Pegamento industrial	1	3.00 USD
Total		44.85 USD

Fuente: Elaboración propia.

Dado que para el diseño de este prototipo no considera el costo del servicio de impresión al contar con acceso a una impresora 3D propia, la inversión requerida para este proyecto resulta razonable en comparación con los precios del mercado. Además, se destaca la facilidad de adquirir los insumos necesarios para su fabricación.

4. Discusión

Ante el avance de las tecnologías de impresión 3D mediante la superposición de capas sucesivas de material, ha permitido la fabricación aditiva de objetos tridimensionales más eficientes a partir de modelos digitales. Esto ha revolucionado el diseño de prótesis, implantes y herramientas quirúrgicas en el área de medicina, así como la creación de prototipos para piezas personalizadas y en algunos casos de productos finales en el área de la industria, sin dejar de lado el uso como herramienta educativa en ingeniería y diseño.

5. Conclusiones

El uso de impresión 3D en el diseño de un trípode para un seguidor solar es una solución económica, personalizable y accesible, ya que, si comparamos el diseño en sus componentes físicos en el mercado, se tiene una disminución entre el 50 y 60% en los costos del diseño, permitiendo crear estructuras adaptadas a las necesidades específicas del proyecto, así como la capacidad de optimizar materiales que contribuyan a una reducción en los costos de fabricación. El diseño 3D de un trípode para seguidores solares contribuye al acceso a tecnologías de captación de energía solar, siendo una herramienta útil para proyectos pequeños, domésticos o educativos como una alternativa innovadora y sostenible frente a los sistemas tradicionales. Este proyecto llega a ser un prototipo funcional, resistente y confiable, el cual puede estar abierto a mejoras futuras, tanto como a la estructura como en su diseño. Sin embargo, los resultados obtenidos muestran una estructura con gran firmeza, de gran resistencia, ya que el filamento utilizado mejoró la calidad en el prototipo.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Carpio, J. (2021). Comparación de modelos de seguimiento solar y análisis económico-eléctrico de un sistema solar fijo. [Tesis de licenciatura, Universidad de Cuenca: Facultad de Ingeniería]. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/36625>.

- [2] Citarella, R. y Giannella, V. (2021). Additive Manufacturing in Industry. *Appl. Sci.* 2021, 11(2), 840. <https://doi.org/10.3390/app11020840>.
- [3] ERASMUS. (2017). Metodología para definir ejercicios de Impresión 3D adecuados para educación transversal. <https://www.e3dplusvet.eu/wp-content/docs/O1A1-ES-RES.pdf>.
- [4] Gutiérrez, J., González, E., Quiroz, R. y Robles, J. (2018). Comparativa costo-beneficio de sistema fotovoltaico fijo y con seguidor solar de un eje. *Ingeniería Innovativa* 2(7), 21-25 (2018).
- [5] Laureto, J., Tomasi, J., King, J. A. y Pearce, J. M. (2017). Thermal Properties of 3-D Printed Polylactic Acid - Metal Composites. *Progress in Additive Manufacturing* 2(1), 57-71 (2017). <https://doi:10.1007/s40964-017-0019-x>.
- [6] Martínez, D. (2020). Diseño y fabricación de impresora 3D basada en robot paralelo tipo Delta-RoPar3D. [Tesis de licenciatura, Universidad de Almería: Escuela Superior de Ingeniería]. <https://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/9938/PARRA%20MARTINEZ,%20DIEGO%20MIGUEL.pdf>
- [7] Salazar-Serrano, Jiménez, G. y Torres P. (2018). How to Automate a Kinematic Mount Using a 3D Printed Arduino-Based System. *Inventions*, MDI. 3(2), 39. <https://doi.org/10.3390/inventions3020039>.
- [8] Saquib R., Ankush R., Mir Irfan, Nida Naveed, Sudhanraj J., Aysha, F. K. (2022). 3D printed parts and mechanical properties: Influencing parameters, sustainability aspects, global market scenario, challenges and applications. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. 5(3), 143-158 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2022.02.001>.
- [9] Pearce, J.M. (2014). *Open-Source Lab: How to Build Your Own Hardware and Reduce Research Costs*, 1st ed.; Elsevier: New York, NY, USA, 2014; ISBN 9780124104860.