

Licenciatura en Ingeniería Física

Proyecto Tecnológico

“Reconversión de un brazo cartesiano robótico en una impresora 3D con
filamento de PET”

Para obtener el título de:

“Ingeniero Físico “

Presenta:

Alan Ricardo Flores Escobar

Matricula: 2182002822

Email: al2182002822@azc.uam.mx

Firma

Asesor:

M. en C. Gerardo Aragón González

No. económico: 1363

Profesor Titular C

Departamento de Energía

Email: gag@azc.uam.mx

Firma

Co-asesor:

Dr. Jesús Vicente Gonzales Sosa

No. económico: 41805

Profesor asociado

Departamento de Energía

Email: j...n.mx

Firma

Trimestre 25I

Mayo 2025

Declaratoria

Yo, Alan Ricardo Flores Escobar, doy mi autorización a la coordinación de servicios de información de la UAM Azcapotzalco para publicar el presente documento en la biblioteca digital, así como el repositorio institucional de la UAM Azcapotzalco.

Alan Ricardo Flores Escobar

Alan Ricardo Flores Escobar

Asesor:

Yo, Gerardo Aragón González, declaro que aprobé el contenido del presente reporte de proyecto de integración y doy mi autorización para su publicación en la biblioteca digital, así como en el repositorio institucional de UAM Azcapotzalco.

M. en C. Gerardo Aragón González.

Yo, Jesús Vicente Gonzales Sosa, declaro que aprobé el contenido del presente reporte de proyecto de integración y doy mi autorización para su publicación en la biblioteca digital, así como en el repositorio institucional de UAM Azcapotzalco.

Dr. Jesús Vicente Gonzales Sosa

Co-asesor:

RESUMEN

El proyecto consiste en la reconversión de un brazo robótico cartesiano en una impresora 3D funcional capaz de utilizar filamento de PET reciclado como material de impresión. El objetivo es adaptar un sistema mecánico existente para realizar impresión 3D de manera precisa y eficiente, promoviendo la sostenibilidad mediante el uso de materiales reciclados. Para lograrlo, se llevó a cabo un diagnóstico inicial para evaluar el estado de los componentes mecánicos y eléctricos, seguido de la sustitución y ajuste de partes críticas como motores, correas y poleas. Posteriormente, se configuró el firmware (Marlin) en una placa Arduino Mega 2560 con RAMPS 1.4, ajustando parámetros clave como los pasos por milímetro, velocidad, aceleración y flujo de filamento. También se instaló y calibró un extrusor compatible con filamento de PET, optimizando la temperatura y las velocidades de impresión para garantizar una extrusión uniforme.

Tras completar las modificaciones, con la impresora 3D se logra imprimir con éxito piezas complejas y detalladas. Las pruebas de impresión confirmaron una mejora significativa en la precisión y calidad de las piezas, resolviendo problemas iniciales de pérdida de pasos y extrusión irregular mediante ajustes mecánicos y de firmware. Este proyecto muestra la viabilidad de adaptar sistemas robóticos existentes en impresora 3D, ofreciendo una alternativa eficiente y ecológica para la fabricación aditiva.

Los entregables del proyecto incluyen, en primer lugar, la impresora 3D completamente funcional y calibrada, capaz de imprimir piezas. Adicionalmente, se entregará un documento que describe cada etapa del proceso de reconversión, los ajustes de firmware, los resultados de las pruebas de impresión y las conclusiones obtenidas a partir de los experimentos realizados.

INDICE

1. Introducción	5
2. Antecedentes	9
3. Justificación	13
4. OBJETIVOS	14
4.1 OBJETIVO GENERAL	14
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
5. MARCO TEÓRICO	15
5.12 G-CODE	22
6. Desarrollo del Proyecto	22
6.1 Diagnóstico y evaluación inicial	23
6.2 Reacondicionamiento del Brazo Cartesiano	23
6.3 Integración del Sistema de Control	24
6.4 Instalación y Configuración del Extrusor	25
6.5 Pruebas de Impresión y Optimización	25
7. RESULTADOS	26
8. Análisis y discusión de resultados	29
9. Conclusiones	31
Bibliografía	33

INDICE DE IMAGINES

2.1 Prototipo de la impresora SLA-1 Fuente: HipertextualContenido -----	9
5.3 Imagen Arduino Mega 2560 1 -----	17
5.4 Foto extrusor montado sobre eje z -----	17
6.4 Imagen Calibración extrusor -----	25
7.1Interfaz del software Ultimaker Cura -----	27
7.2Pieza a imprimir 1 -----	27
7.3Pieza a imprimir 2-----	27
7.5 Base de la semi esfera impresa-----	28
7.4 Se aprecia la media esfera impresa-----	28
7.6 Forma de relleno en la impresión -----	28
7.7 Se aprecia la estrella impresa -----	28

INDICE DE TABLAS Y DIAGRAMAS

2.2Tabla de Impresoras (Ángeles Rodríguez & Amoles Meza, 2021) -----	12
5.1 Diagrama del diagnóstico inicial-----	15
5.2 Diagrama de sustitución de componentes-----	16
5.5 diagrama de extrusión -----	18
5.6 Tabla pruebas de impresión-----	18
5.7 Tabla de componentes -----	20
5.8 Tabla Principales G códigos -----	22
6.1 Diagrama de flujo evaluación inicial -----	23
6.2 Diagrama subsistema eléctrico-----	24
6.3Diagrama de sistema de control -----	25
7.8 grafica de velocidades empleadas-----	29
8.1Tabla ventajas y desventajas -----	31

1. Introducción

Las impresoras 3D funcionan con un flujo de trabajo de producción que abarca sistemas de operación de materiales, fabricación con varios aditivos, limpieza y acabado de piezas, entre otros. Por lo que se pueden considerar máquinas automatizadas. La tendencia es hacia una mayor automatización, lo que lleva a las industrias e instituciones educativas de nivel superior, a analizar la fabricación aditiva para integrarla en sus áreas y departamentos, con el objetivo de convertirla en un proceso de producción masiva capaz de crear rápidamente productos en serie.

Los principios de la tecnología de impresión 3D se remontan al siglo XIX, con las primeras ideas sobre la creación o recreación de objetos en tres dimensiones. François Willème es reconocido como uno de los primeros en intentar crear un escáner 3D, utilizando 24 cámaras dispuestas en diferentes ángulos para capturar una imagen del mismo objeto. Sin embargo, no fue hasta la década de 1980 que se presentó la primera patente relacionada con la impresión 3D, en un proyecto liderado por Hideo Kodama, quien buscaba crear piezas sólidas mediante el endurecimiento de un fotopolímero con luz Ultravioleta. Al mismo tiempo, en Francia, se desarrollaba un proyecto enfocado en la creación de réplicas de piezas con geometría fractal [1].

En la impresión 3D, el plástico o polímero son los materiales más utilizados debido a su versatilidad. Se emplea en una amplia gama de aplicaciones, desde artículos domésticos hasta juguetes, y está disponible en una variedad de colores, incluyendo opciones transparentes. Los filamentos plásticos para impresión 3D se comercializan en bobinas y pueden tener acabados brillantes o mates.

El plástico es un material muy utilizado para la impresión 3D por sus múltiples propiedades benéficas, su flexibilidad, resistencia, suavidad y la variedad de colores disponibles. Además, es muy económico en comparación con otros materiales. El método de impresión 3D más común que utiliza plástico es el modelado por deposición fundida (FDM, por sus siglas en inglés), en el cual se derriten filamentos termoplásticos para formar objetos capa por capa. Los tipos de plásticos más frecuentemente utilizados en la impresión FDM actualmente son el ácido poliláctico (PLA, por sus siglas en inglés), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS, por sus siglas en inglés) y tereftalato de polietileno (PET, por sus siglas en inglés). El filamento, generalmente un material plástico en estado [5]

Una botella de polietileno tereftalato, también conocido por sus siglas PET, tarda más de 100 años en degradarse teniendo un impacto alarmante en el medio ambiente. Teniendo en cuenta las propiedades físicas y químicas que nos puede ofrecer este

material las cuales son resistencia al desgarre y plegado, deformabilidad térmica, buena barrera a CO₂ y aceptable al oxígeno y humedad, admite algunos colorantes y es liviano, candidato ideal para ser usado como filamento para impresoras 3D como una alternativa al ácido plástico, comúnmente llamado PLA, y acrilonitrilo butadieno estireno, también llamado ABS, ambas opciones siendo la materia prima más utilizada actualmente. Si bien el PLA es un material amigable con el medio ambiente teniendo en cuenta que tarda aproximadamente un año en comenzar a degradar, por otro lado, el ABS es un material igual de agresivo que el PET; De esta manera podemos darle otra utilidad a este “desecho” que son las botellas PET. [4]

La impresión 3D con filamento de PET a partir de botellas recicladas representa una innovadora solución para abordar la problemática ambiental del plástico. Este proceso no solo aprovecha el PET, un material comúnmente utilizado en botellas, sino que también promueve el reciclaje y la reutilización de residuos plásticos. Al convertir botellas desechadas en filamento para impresoras 3D, se reduce la cantidad de residuos plásticos que terminan en vertederos o en los océanos, contribuyendo así a la disminución de la contaminación ambiental [3]. Además, el uso de filamento de PET reciclado en la fabricación aditiva ofrece una alternativa sostenible en comparación con materiales vírgenes, ya que se requiere menos energía para producir el filamento reciclado. Esto no solo fomenta prácticas de producción más ecológicas, sino que también sensibiliza a la sociedad sobre la importancia de la economía circular, donde los desechos se transforman en recursos valiosos para la creación de nuevos productos [3].

En 1993, el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés) desarrolló la tecnología de impresión 3D por inyección. Este método de fabricación aditiva funciona de manera similar a la impresión por inyección de tinta tradicional, pero en lugar de tinta, utiliza un fotopolímero. El proceso, conocido como MJM (Modelado de Inyección Múltiple, por sus siglas en inglés), consiste en un cabezal de impresión que se desplaza mientras inyecta el fotopolímero líquido en una bandeja de construcción, creando el objeto capa por capa. Para que cada capa se endurezca y quede lista para recibir la siguiente, una luz ultravioleta (UV) sigue la trayectoria del cabezal y cura el material inyectado (Anónimo, HXX, 2018). Las impresoras que utilizan esta tecnología tienen la capacidad de trabajar con varios materiales en un solo proceso de impresión, lo que amplía las posibilidades de diseño y producción.

Ventajas de la impresión 3D por inyección

- Permite fabricar piezas con geometrías complejas. Si la pieza es muy complicada, puede imprimirse en partes para luego ensamblarla.
- Facilita la producción rápida de prototipos, acelerando el proceso de innovación.

- Es una tecnología respetuosa con el medio ambiente, ya que genera muy pocos residuos industriales.

Desventajas de la impresión 3D por inyección

- La reproducción de objetos con derechos de autor es difícil de controlar debido a la facilidad para escanear y replicar cualquier objeto con escáneres 3D.
- Existe el riesgo de fabricar objetos peligrosos, como armas ilegales u otros artículos dañinos.
- Algunas empresas dedicadas al diseño y la producción de artículos pueden verse afectadas por esta tecnología (Anónimo, Ingeniería 3D Digital, 2016).

Este proyecto se desarrolla dentro del Programa de Desarrollo Profesional en Automatización (PDPA) como parte de su estrategia de autoequipamiento, con el objetivo de disponer de una impresora 3D para la fabricación de modelos plásticos destinados a Proyectos que requieran la impresión de modelos CAD en tres dimensiones. Esto tiene como propósito optimizar los tiempos de producción de estos modelos. Además, la impresora 3D permitirá que tanto alumnos como profesores del PDPA puedan llevar a cabo ensayos enfocados en el desarrollo de proyectos tecnológicos.

A continuación, se presentan los antecedentes relacionados con la impresión 3D.

2. Antecedentes

En general existe la creencia que las impresoras 3D aparecieron de repente y ganaron popularidad de forma súbita. Sin embargo, esta tecnología tiene sus raíces en el período posterior a la invención de la impresora de inyección de tinta en 1976, e incluso se puede rastrear desde el siglo XIX si se consideran ciertos avances en la escultura como precursores de la impresión en 3D.

La reconversión tecnológica no solo maximiza la vida útil de los equipos existentes, sino que también abre nuevas posibilidades para la innovación, como es el caso del uso de filamento de PET reciclado en impresoras 3D. Esto muestra cómo tecnologías previamente establecidas pueden ser repensadas para enfrentar desafíos contemporáneos.

El desarrollo de esta tecnología nunca se detuvo y, desde su aparición de las primeras impresoras 2D, ya se vislumbraba la posibilidad de imprimir objetos físicos en lugar de solo representarlos en papel o computadora. Los primeros avances significativos se produjeron en 1984 cuando Charles Hull, quien más tarde cofundaría 3D Systems y se convertiría en una figura clave de la industria, introdujo la estereolitografía (SLA, por sus siglas en inglés). Esta tecnología revolucionó el mercado al permitir la creación de objetos tridimensionales a partir de datos digitales. Este avance permitía visualizar modelos 3D en sistemas con computadora (CAD, por sus siglas en inglés) antes de la fabricación, lo que facilitaba las pruebas y la predicción del resultado final sin necesidad de invertir tiempo, recursos y materiales en prototipos físicos.

En 1992, 3D Systems lanzó al mercado las primeras impresoras SLA. Aunque presentaban algunas imperfecciones, estas impresoras ya podían crear objetos tridimensionales capa por capa. Utilizaban un rayo ultravioleta para solidificar un fotopolímero (un líquido viscoso) y construir el objeto al añadir capas sucesivas de material según el diseño 3D proporcionado. Una de estas máquinas, trabajando durante una noche, podían producir una pieza compleja lista para la mañana siguiente. Este avance marcó el inicio de la impresión en 3D, que comenzó a explorarse en diversas áreas.



12.1 Prototipo de la impresora SLA-1 Fuente: HipertextualContenido

Para 1999, la tecnología ya se aplicaba en medicina, permitiendo el uso de recubrimientos sintéticos (creados a partir de las células del paciente) para solucionar problemas en órganos específicos, como la vejiga. En 2002, se logró imprimir en 3D un riñón completamente funcional, aunque en miniatura y adecuado para uso en animales. Este logro impulsó la investigación y el desarrollo en este campo, dando lugar a una nueva categoría: la Medicina Regenerativa [2].

Uno de los métodos utilizados en la impresión 3D es FDM en este proceso se lleva a cabo manteniendo el material a una temperatura apenas de un grado Celsius por debajo de su punto de fusión, lo que permite que el material se solidifique inmediatamente al depositarse sobre la capa anterior. El extrusor es una de las partes esenciales de una impresora 3D. Su función es reducir la sección del filamento de plástico calentándolo y forzándolo a pasar por una boquilla de pequeño diámetro. En este proceso, se utiliza un filamento plástico, generalmente almacenado en bobinas de 3 mm o 1.75 mm, según el nivel de precisión deseado. El filamento se introduce en el extrusor, que lo calienta hasta alcanzar una temperatura que permite fundir el plástico sin derretirlo completamente. Para crear cualquier objeto en 3D utilizando esta tecnología, además de la impresora y el diseño digital, es crucial contar con la materia prima adecuada.

Para fabricar filamento de manera personalizada, los usuarios tienen varias opciones: comprar la materia prima en forma de pellets y crear su combinación de color y cantidad de material, o generar filamento a partir de materiales reciclados de procesos anteriores o materiales de uso cotidiano [3].

Es por lo que se propone reacondicionar un brazo cartesiano en una impresora 3D que sea capaz de utilizar filamento a base de PET.

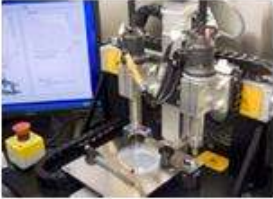
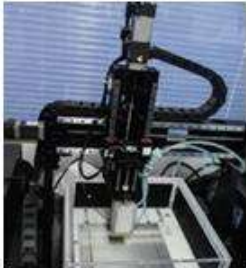
En 2018, la Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM publicó un artículo titulado “Uso y aplicación de la tecnología de impresión y bioimpresión 3D en medicina”, en el que se menciona que la fabricación de objetos mediante impresión 3D parte de un modelo tridimensional virtual generado a partir de un archivo estructural. En el caso de su uso en medicina, es necesario realizar estudios de imagen de un paciente para crear un molde personalizado a su tamaño.

Actualmente, existe una gran variedad de programas computacionales especializados que facilitan este proceso, especialmente los que son de tipo CAD/CAM (Diseño y Manufactura Asistido por Computadora). La combinación de la impresión 3D con la tecnología CAD/CAM ha permitido la creación de estructuras tridimensionales biomiméticas que replican tejidos u órganos, con la finalidad de obtener el volumen

tridimensional de los tejidos y órganos, se utilizan tecnologías como la resonancia magnética nuclear (RMN), la tomografía axial computarizada (TAC) y otros estudios radiográficos.

Uno de los principales desafíos de la impresión 3D en medicina es lograr la bioimpresión, que implica reproducir la compleja microarquitectura de los componentes de la matriz extracelular (MEC). Entre los enfoques de la bioimpresión 3D se encuentran el biomimetismo (imitación de la anatomía y función de un tejido), el autoensamblaje autónomo y la creación de mini tejidos. El objetivo común de estas técnicas es producir tejidos con propiedades biológicas que permitan la restauración clínica de los tejidos y la función adecuada de los órganos.

En el campo de la medicina regenerativa, los materiales utilizados para la reparación y regeneración de tejidos suelen ser polímeros de origen natural, como el alginato, colágeno, quitosano, fibrina y ácido hialurónico. El uso de polímeros naturales ofrece ventajas debido a su similitud con la MEC humana y su capacidad de bioactividad inherente (Juárez y otros, 2018):

IMAGEN	DATOS	CARACTERISTICAS
	Bio-impresora Organovo Varios Autores San Diego, California	Creadores de la primer bio-impresora comercial para la investigación científica de tejidos vivos, la deposición es mediante extrusión.
	Bio-impresora Regenovo Dr. Xu Ming-In Universidad Hangzhou of Science and Technology, eastern Zhejiang, China.	Bioimpresora para investigación, el material es depositado mediante extrusión, tiene características similares a la Organovo.
	Bio-impresora Re-human Varios autores Unique technology en Qingdao, Shandong, China.	No hay muchos datos, se observa un robot cartesiano con múltiples extrusores.

	Discovery Varios autores RegenHU, Suiza, 2013.	Modularidad en las deposiciones celulares. Ambiente controlado (temperatura, humedad y composición de gas). Impresión bajo condiciones fisiológicas. Bio CAD-CAM Software.
	3D Bioploter Varios autores EnvisionTEC, Brüsseler Straße 51 • D-45968 Gladbeck, Alemania, 2014.	Resolución de .001 mm Velocidad máxima de 150 mm/s. Área de trabajo 150*150*140mm. Cámara de video de alta resolución. Extrusor de .1mm.

2.2 Tabla de Impresoras (Ángeles Rodríguez & Amoles Meza, 2021)

3. Justificación

La reconversión de un brazo cartesiano en una impresora 3D que utiliza filamento PET presenta una oportunidad significativa para avanzar en la innovación tecnológica. Este proyecto no solo permite la reutilización de un sistema mecánico existente, optimizándolo para realizar una nueva función, sino que también promueve el reciclaje de plásticos, un tema de creciente importancia a nivel mundial.

El enfoque en la utilización de PET reciclado, un material que tarda demasiados años en descomponerse, contribuye de manera directa a la reducción de residuos plásticos, ofreciendo una solución práctica y reutilizable para la creación de nuevos productos u objetos. Esta transformación del brazo cartesiano resalta la versatilidad de la tecnología de impresión 3D, demostrando cómo reutilizando equipos estos pueden ser adaptados para satisfacer nuevas necesidades, minimizando el impacto ambiental y reduciendo costos.

Además, la aplicación de este proyecto sirve como un modelo para futuras iniciativas de reciclaje y reconversión tecnológica, proporcionando un marco eficiente y adaptable para la producción sostenible. La capacidad de ajustar y calibrar el brazo cartesiano para trabajar con filamento PET no solo potencia su funcionalidad, sino que también resalta la importancia de la innovación en la transición hacia una nueva visión tecnológica.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

- Reacondicionar un brazo cartesiano en una impresora 3D que sea capaz de utilizar filamento PET.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar un diagnóstico del estado del brazo cartesiano y sustituir las partes dañadas o desgastadas.
- Ajustar la configuración del brazo cartesiano y el extrusor, calibrando los parámetros necesarios para optimizar el uso de finalmente con base en PET.
- Ejecutar impresiones de prueba utilizando filamento PET y realizar ajustes en concordancia con los resultados.

5. MARCO TEÓRICO

El marco teórico para la reconversión de un brazo cartesiano en una impresora 3D para filamento PET se centra en los siguientes aspectos:

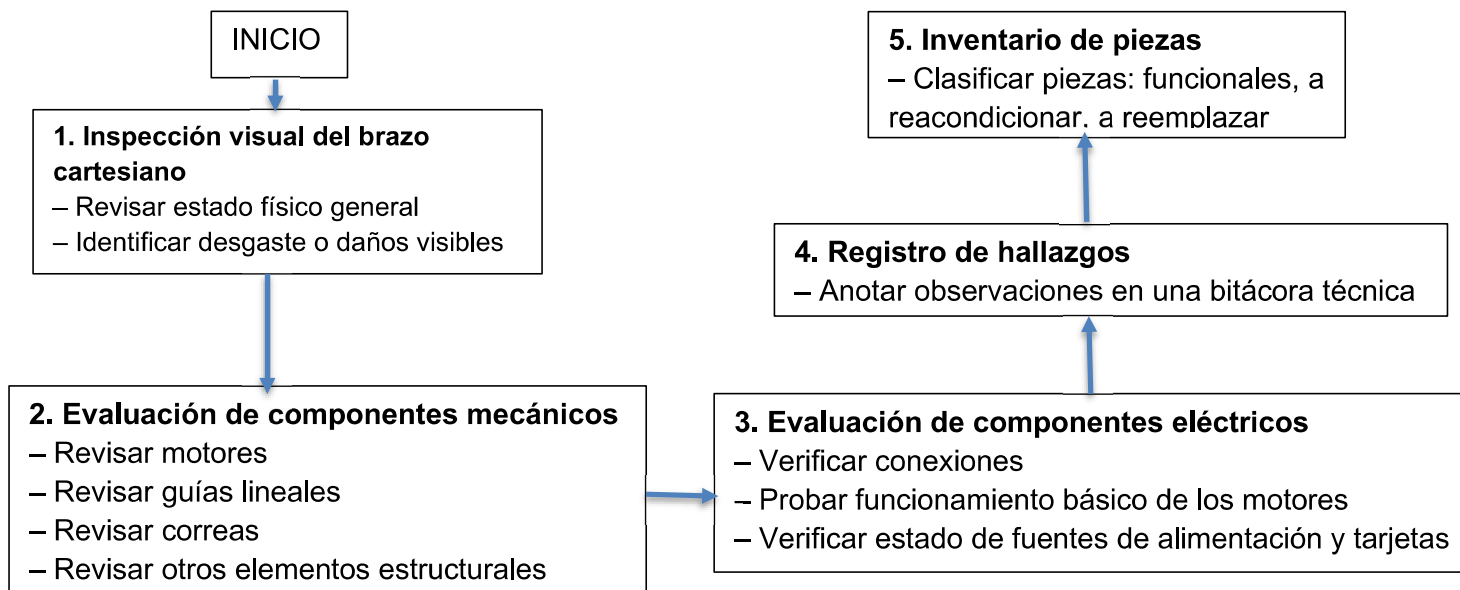
1. Diagnóstico inicial y evaluación del brazo cartesiano.
2. Reacondicionamiento y sustitución de componentes críticos.
3. Integración del extrusor y configuración del sistema.
4. Pruebas y mejoras en la calidad de impresión.

A continuación, se describen los primeros dos elementos, enfocados en el análisis y reacondicionamiento del brazo cartesiano. En la siguiente sección, se detallará el proceso de integración y configuración del extrusor.

1. Diagnóstico inicial y evaluación del brazo cartesiano

Este paso inicial implica una inspección visual y operativa del brazo cartesiano para identificar el estado de los componentes y determinar las acciones necesarias para su rehabilitación. El proceso incluye:

- Realizar una inspección detallada de los motores, guías lineales, correas y otros elementos estructurales.
- Evaluar el estado y funcionamiento de los componentes mecánicos y eléctricos.
- Elaborar una bitácora e inventario de las piezas que requieren ser reemplazadas o reacondicionadas.



5.1 Diagrama del diagnóstico inicial

2. Reacondicionamiento y sustitución de componentes

Una vez realizado el diagnóstico inicial, se procede al reemplazo y ajuste de los componentes para optimizar el rendimiento del sistema. Esta fase considera:

- Sustituir las piezas dañadas o desgastadas.
- Realizar ajustes mecánicos para mejorar la precisión y estabilidad del brazo cartesiano.
- Verificar la alineación y calibración inicial de los ejes y mecanismos para garantizar un movimiento uniforme y preciso.

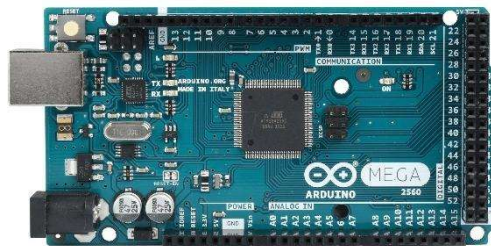


5.2 Diagrama de sustitución de componentes

En la siguiente sección, se abordará el proceso de instalación del extrusor y la configuración del sistema para lograr una extrusión de filamento eficiente y de alta calidad.

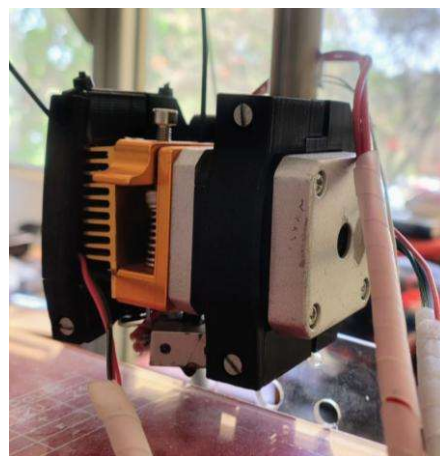
3. Integración del extrusor y configuración del sistema.

Una vez reacondicionado el brazo cartesiano, se procedió a la integración del sistema de control electrónico. Se instala la placa Arduino Mega 2560 junto con el RAMPS 1.4, permitiendo el control de los motores paso a paso y otros componentes de la impresora. Para el control de los motores, se utilizaron drivers DRV8825, configurando la corriente y los pasos por milímetro para asegurar un desplazamiento uniforme y sin vibraciones. También se conectó una fuente de alimentación adecuada para garantizar el suministro energético estable a todo el sistema. Posteriormente, se realizó la carga y configuración del firmware Marlin en la placa Arduino, ajustando distintos parámetros críticos como la velocidad de desplazamiento, aceleración, microstepping y límites de cada eje.



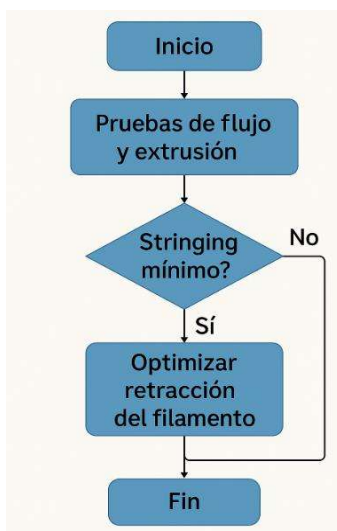
5.3 Imagen Arduino Mega 2560 1

El siguiente paso fue la integración del sistema de extrusión, compuesto por un extrusor MK8 y un HotEnd. La instalación mecánica de estos componentes en el eje z del brazo cartesiano se realizó con precisión, asegurando una fijación estable y alineada. Se procedió a calibrar la temperatura de extrusión para garantizar la fusión uniforme del filamento. Asimismo, se ajustó la velocidad de alimentación del filamento, evitando problemas de atascos o subextrusión.



5.4 Foto extrusor montado sobre eje z

Se realizaron pruebas de flujo y extrusión, optimizando la retracción del filamento para minimizar defectos como el stringing (hilos de filamento entre secciones).



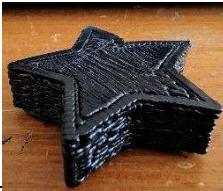
5.5 diagrama de extrusión

4. Pruebas y mejoras en la calidad de impresión.

Para validar el desempeño de la impresora 3D reconvertida, se llevaron a cabo diversas pruebas de impresión utilizando modelos de calibración como medias esferas, estrellas y piezas con geometrías complejas.

5.6 Tabla pruebas de impresión

Numero de pieza	Parámetros	Imagen	Observación
1	Temperatura de extrusión: 170°C Tiempo de impresión: 3m		La figura presenta ciertos traslapes debido a la pérdida de pasos en ciertas secciones de la impresión
2	Temperatura de extrusión: 175°C Tiempo de impresión: 3.5m		Se redujeron la cantidad de traslapes en la pieza

3	Temperatura de extrusión:180°C Tiempo de impresión: 4m		La figura ya no presento traslapes, pero se ajustó la temperatura
4	Temperatura de extrusión:185°C Tiempo de impresión: 6m		Se aumento la temperatura buscando que la impresión fuera mas exacta
5	Temperatura de extrusión:190°C Tiempo de impresión: 12m		Se empezó a notar perdidas de filamento en las primeras capas debido a la temperatura de extrusión
6	Temperatura de extrusión:185°C Tiempo de impresión: 19m		Se realizo una impresión con mayor exactitud y no se deforma debido a la temperatura

Se analizaron los resultados de las impresiones, evaluando aspectos como la calidad de las capas, la adherencia a la base de impresión y la precisión dimensional. Durante esta fase, se identificaron posibles problemas como desplazamiento de capas o errores de extrusión, los cuales fueron corregidos ajustando parámetros como lo es la velocidad de extrusión, velocidad de desplazamiento y temperatura de extrusión o en el firmware y calibrando los componentes mecánicos. Adicionalmente, se realizaron pruebas con filamento, experimentando con diferentes temperaturas que fueron variables desde 170°C a 190 °C de impresión hasta encontrar los valores óptimos para garantizar una extrusión estable y una calidad de impresión satisfactoria.

Para comprender mejor el funcionamiento integral del sistema de impresión 3D implementado, es fundamental conocer los componentes que lo conforman. Cada uno de ellos cumple un papel específico en el rendimiento, precisión y estabilidad del proceso de impresión. Desde los elementos mecánicos encargados del movimiento, hasta los controladores electrónicos que gestionan parámetros como la temperatura, velocidad y posicionamiento, todos contribuyen al resultado final. A continuación, se presenta una tabla detallada con los principales componentes utilizados, junto con sus características técnicas y aplicaciones más relevantes dentro del sistema.

5.7 Tabla de componentes

Componente	Descripción	Detalles Técnicos	Aplicaciones
Robot Cartesiano	Sistema de movimiento basado en ejes perpendiculares x, y y z. Se usa en diversas aplicaciones industriales y de impresión 3D.	- Movimiento en ejes lineales - Configuración en ángulos rectos. - Mayor precisión en desplazamiento respecto a robots articulados. - Generalmente controlado por motores paso a paso y drivers.	- Sistemas de pick & place. - Impresoras 3D cartesiana. - Máquinas CNC para corte y mecanizado.
Proceso de Extrusión	Técnica utilizada para dar forma a materiales mediante la aplicación de presión y calor, común en la fabricación de filamentos plásticos y piezas industriales.	- Material introducido en la tolva. - Transporte a través del husillo por fricción y calor. - Fundición y moldeo del material en una boquilla de salida. - Materiales: PVC, PE, PS, filamentos de PLA y PETG, entre otros. - Control de temperatura en diversas zonas del extrusor.	- Fabricación de filamentos para impresión 3D. - Producción de envases plásticos. - Creación de perfiles y tubos plásticos.
Tipos de HotEnd	Elemento encargado de fundir el filamento en impresoras 3D. Existen diferentes tipos según su rendimiento térmico y flujo de material.	V6: - Adecuado para alta precisión y calidad. - Compatible con materiales flexibles. - Boquillas hasta 0.8 mm. Volcano: - Mayor velocidad de impresión - Soporta boquillas de hasta 1.2 mm - Impresión de capas más gruesas con mayor resistencia estructural.	- Impresión 3D en alta resolución (V6) - Impresión rápida y resistente (Volcano).
Arduino Mega 2560	Microcontrolador de 8 bits basado en ATmega2560, usado en impresión 3D y proyectos de automatización.	- 54 pines de E/S digitales. - 16 entradas analógicas. - 4 puertos serial UART. - Frecuencia de 16 MHz. - Memoria Flash de 256 KB. - Voltaje de entrada: 7-12V (recomendado 9V). - Comunicación USB para programación. - Amplia comunidad de soporte.	- Control de impresoras 3D. - Automatización industrial. - Robótica y proyectos DIY.
RAMPS 1.4	Shield diseñado para controlar motores paso a paso en impresoras 3D, compatible con Arduino Mega 2560.	- Permite controlar hasta 6 motores paso a paso. - Compatible con controladores A4988 y DRV8825.	- Impresoras 3D (Prusa, Ender, etc.). - CNC de código abierto.

Componente	Descripción	Detalles Técnicos	Aplicaciones
		- Soporte para finales de carrera, extrusores, ventiladores y pantallas LCD. - Se conecta directamente a Arduino Mega 2560. - Control de temperatura con sensores NTC.	- Robots cartesianos y automatización.
DRV8825	Controlador de motores paso a paso, usado para precisión en posicionamiento.	- Soporta motores de hasta 2.5^a. - Compatible con A4988. - Voltaje de alimentación: 8.2V - 45V. - Corriente de salida: 1.5A por bobina. - Seis resoluciones de microstepping (1/32 paso máximo). - Pines DIR y STEP para control. - Protección contra sobrecorriente y sobrecalentamiento.	- Impresoras 3D. - CNC. - Robótica. - Automatización industrial.
Termistor 100K	Sensor de temperatura usado en impresoras 3D para el control térmico del HotEnd y la cama caliente.	- Tipo NTC (coeficiente de temperatura negativo). - Disminuye su resistencia con el aumento de temperatura. - Precisión de $\pm 1\%$ a 100KΩ. - Se instala en el bloque calefactor del HotEnd o en la base caliente. - Compatible con RAMPS 1.4 y Marlin Firmware.	- Monitoreo de temperatura en impresoras 3D. - Control térmico en sistemas industriales. - Dispositivos electrónicos sensibles a temperatura.
Sensores de Carrera	Dispositivos electromecánicos que detectan la posición de un objeto móvil.	- Pueden ser mecánicos o de estado sólido. - Funcionamiento binario (activado/desactivado). - Tipos de contacto: ruptura lenta y ruptura brusca. - Uso en sistemas de seguridad y precisión en impresoras 3D. - Generalmente conectados a RAMPS para referenciar ejes de movimiento.	- Posicionamiento de motores en impresoras 3D. - Seguridad en máquinas industriales. - Automatización en líneas de producción.
Motores a Paso NEMA 17	Motores eléctricos que avanzan en pasos discretos, proporcionando precisión en el posicionamiento.	- Tipo bipolar (4 cables) o unipolar (5 o 6 cables). - Ángulo de paso típico: 1.8° por paso. - Voltaje de operación: 12-24V. - Torque nominal: 0.4 a 0.5 Nm.	- Impresoras 3D. - Máquinas CNC. - Brazo robótico. - Automatización de precisión.

Componente	Descripción	Detalles Técnicos	Aplicaciones
		- Funcionan con drivers como DRV8825 o A4988. - Utilizados en CNC, impresoras 3D y robótica.	
Fuente de Alimentación	Dispositivo que convierte corriente alterna en corriente continua para alimentar componentes electrónicos.	- Entrada: 110-220V AC. - Salida: 12V o 24V DC (según modelo). - Protección contra cortocircuito y sobrecarga. - Modelos conmutados con mayor eficiencia. - Esenciales en proyectos de impresión 3D y robótica. - Compatible con Arduino, RAMPS y motores NEMA.	- Alimentación de impresoras 3D y CNC. - Fuentes de corriente para motores paso a paso. - Equipos electrónicos de alto consumo.

5.1 G-CODE

El G-Code es un lenguaje de programación utilizado en máquinas CNC, muy popular en la industria. Existen diversas versiones adaptadas para distintos tipos de máquinas, como cortadoras láser, impresoras 3D, tornos y fresadoras, que pueden variar desde equipos pequeños hasta maquinaria industrial de gran tamaño.

El G-Code está compuesto por una serie de instrucciones simples que le indican a la impresora las acciones que debe realizar para imprimir correctamente una pieza. En la mayoría de los casos, el trabajo con el G-Code se limita a transferirlo a la impresora mediante una tarjeta SD que se inserta en la pantalla LCD, donde el Arduino con el firmware Marlin lo interpreta y ejecuta.

Código	Descripción
G0	Movimiento coordinado a velocidad rápida
G1	Movimiento coordinado a velocidad de avance
G2 G3	Movimiento helicoidal coordinado a velocidad de avance
G4	Dwell
G5	Spline cúbico
G5.1	B-Spline cuadrático
G5.2	NURBS, agregar punto de control
G7	Modo de diámetro (torno)
G8	Modo de radio (torno)
G10 L1	Establecer entrada de tabla de herramientas
G10 L10	Establecer tabla de herramientas, calculada, pieza de trabajo
G10 L11	Establecer tabla de herramientas, calculada, fijación
G10 L2	Configuración de origen del sistema de coordenadas
G10 L20	Configuración del origen del sistema de coordenadas calculada
G17 - G19.1	Seleccionar Plano
G20 G21	Establecer unidades de medida
G28 - G28.1	Ir a la posición predefinida
G30 - G30.1	Ir a la posición predefinida

6. Desarrollo del Proyecto

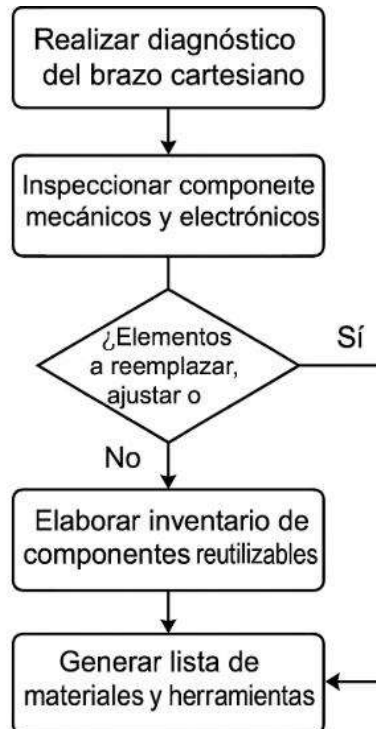
En este proyecto se desarrolló la reconversión de un brazo robótico en una impresora 3D para su desarrollo dicho proyecto se presentaron distintas fases.

6.1 Diagnóstico y evaluación inicial

Para llevar a cabo la reconversión del brazo cartesiano en una impresora 3D, lo primero que fue realizar un diagnóstico detallado del estado de los componentes mecánicos y electrónicos. Esta evaluación permitió identificar aquellos elementos que debían ser sustituidos, ajustados o recalibrados para garantizar un buen funcionamiento del sistema.

Se realizó una inspección de los motores paso a paso, correas, sensores de final de carrera y la estructura mecánica general del brazo cartesiano. Adicionalmente, se cambió el estado del sistema de control, incluyendo la placa base y el firmware.

Como resultado de esta evaluación, se elaboró un inventario de los componentes que podían reutilizarse y se generó una lista de materiales y herramientas necesarias para la adaptación del sistema a las funciones de impresión 3D.



6.1 Diagrama de flujo evaluación inicial

6.2 Reacondicionamiento del Brazo Cartesiano

Con base en los resultados del diagnóstico, se procedió a la sustitución de los componentes que presentaban desgaste o fallas. Se instaló un nuevo motor paso a paso NEMA 17 en el eje x y se ajustaron las correas y poleas para optimizar el movimiento de los ejes.

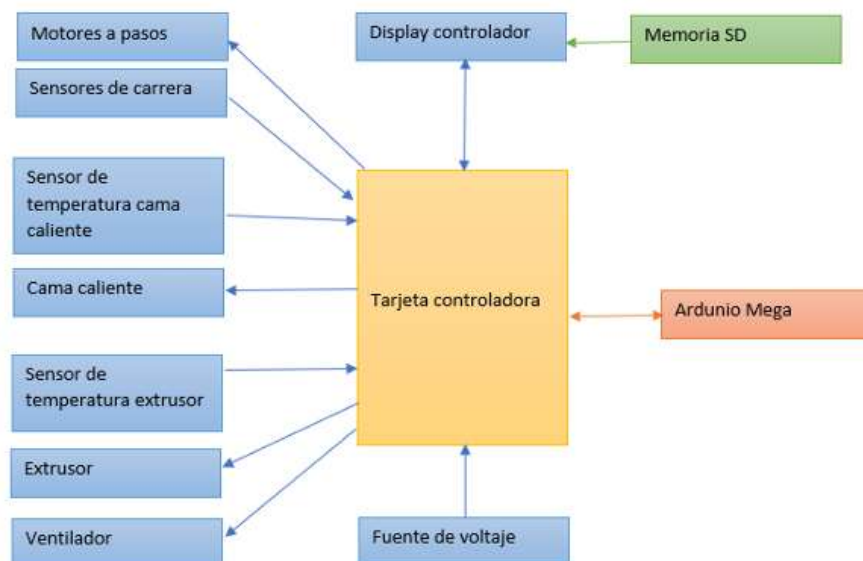
Además, se llevó a cabo la calibración de los ejes X, Y y Z para garantizar su correcta alineación y evitar errores en la impresión. Se reajustaron los sensores de final de carrera, fundamentales para establecer los límites de desplazamiento del cabezal de impresión.

Se realizaron ajustes en la estructura mecánica para asegurar la compatibilidad con la nueva función de la máquina. En este proceso, se implementaron mejoras en la estabilidad y rigidez del sistema, elementos esenciales para lograr una impresión precisa y uniforme.

6.3 Integración del Sistema de Control

Una vez reacondicionado el brazo cartesiano, se procedió a la integración del sistema de control electrónico. Se instaló la placa Arduino Mega 2560 junto con el RAMPS 1.4, permitiendo el control de los motores paso a paso y otros componentes de la impresora.

Para el control de los motores, se utilizaron drivers DRV8825, configurando la corriente y los pasos por milímetro para asegurar un desplazamiento uniforme y sin vibraciones. También se conectó una fuente de alimentación adecuada para garantizar el suministro energético estable a todo el sistema.



6.2 Diagrama subsistema eléctrico

Posteriormente, se realizó la carga y configuración del firmware sprinter para realizar la calibración inicial de los componentes de a impresora en la placa Arduino, ajustando parámetros críticos como la velocidad de desplazamiento, aceleración, microstepping y límites de cada eje. Esta etapa fue clave para lograr un funcionamiento preciso y eficiente del sistema. Posteriormente se instaló el firmware definitivo Marlin con el cual la impresora empezó a trabajar con los parámetros ya empleados en el firmware Sprinter



6.3 Diagrama de sistema de control

6.4 Instalación y Configuración del Extrusor

El siguiente paso fue la integración del sistema de extrusión la instalación mecánica de estos componentes en el eje z del brazo cartesiano se realizó con precisión, asegurando una fijación estable y alineada. Se procedió a calibrar la temperatura de extrusión para garantizar la fusión uniforme del filamento. Asimismo, se ajustó la velocidad de alimentación del filamento, evitando problemas de atascos o subextrusión que pudieran afectar la calidad de impresión. Se realizaron pruebas de flujo y extrusión, optimizando la retracción del filamento para minimizar defectos como el stringing (hilos de filamento entre secciones). Estos ajustes fueron fundamentales para lograr una impresión estable y homogénea.



6.4 Imagen Calibración extrusor

6.5 Pruebas de Impresión y Optimización

Para validar el desempeño de la impresora 3D reconvertida, se llevaron a cabo diversas pruebas de impresión utilizando modelos de calibración como semiesferas, estrellas y piezas con geometrías complejas. Se analizaron los resultados de las impresiones, evaluando aspectos como la calidad de las capas, la adherencia a la base de impresión y la precisión dimensional. Durante esta fase, se identificaron posibles problemas como desplazamiento de capas o errores de extrusión, los cuales fueron corregidos ajustando parámetros en el firmware y calibrando los componentes mecánicos. Adicionalmente, se realizaron pruebas, experimentando con diferentes temperaturas y velocidades de impresión hasta encontrar los valores óptimos para garantizar una extrusión estable y una calidad de impresión satisfactoria.

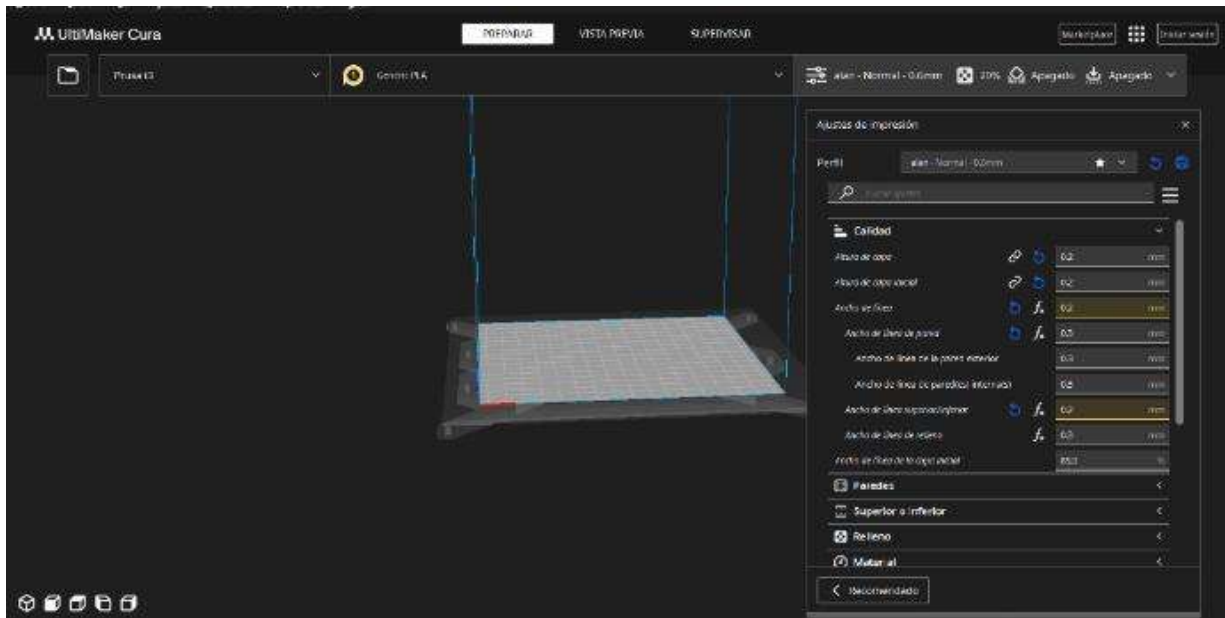
7.RESULTADOS

Una vez terminada la reconversión con todos los componentes conectados y previamente calibrados, la instalación el Marlin cargado en la tarjeta Arduino mega 2560 se procedió a realizar las primeras pruebas. Para poder realizar las impresiones y en este caso las primeras pruebas, se debe realizar un dibujo en cualquier software CAD, una vez que se tiene el diseño de la pieza deseada, esta se crea en un archivo stl. Para crear el código G es a partir del archivo stl, utilizando el software Ultimaker Cura creada por David Braan, que se puede obtener de <https://ultimaker.com/es/software/ultimaker-cura> (15/03/2025).

Este software es para realizar modificaciones en todos los parámetros de impresión, calidad, alturas de capa, temperaturas, velocidades de impresión etc, para después generar el código G que es con el que trabajara nuestra impresora.

Este software cuenta con base de datos de distintas impresoras comerciales, por lo que se busca una cuyas características sean similares a la que se realizó.

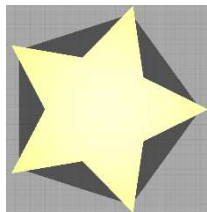
En la interfaz del programa Ultimaker Cura, del lado superior izquierdo se muestra las partes a modificar, en el lado derecho tenemos una lista de parámetros que pueden modificarse



7.1 Interfaz del software Ultimaker Cura

Posterior a realizar las modificaciones necesarias, se guarda el archivo creado para después mediante el software PronterFace se mandará a imprimir la pieza deseada con los parámetros previamente establecidos

Se realizaron 2 tipos de pruebas, las cuales consistieron en crear una pieza que fuera una media esfera y otra donde se obtuvo una estrella



7.2 Pieza a imprimir 1



7.3 Pieza a imprimir 1

Algunas de las características que se consideran al momento de realizar las piezas debe ser las siguientes:

- El área de trabajo: la pieza debe tener las dimensiones adecuadas que no sobrepasen los límites de la impresora
- El tiempo de impresión: entre mayor sea la pieza para imprimir esta tardará aún más al ser impresa
- La temperatura de impresión: para que la adherencia entre capas sea la más eficiente y no tenga desvíos en la calidad de impresión

•
A continuación, se muestran las piezas impresas en 3D:



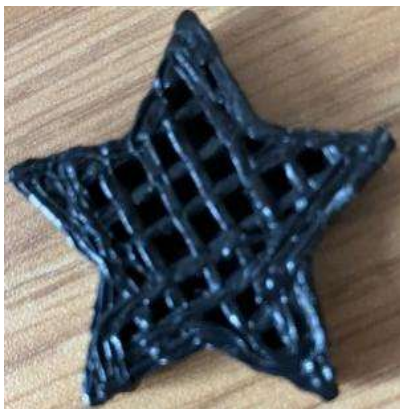
7.4 Se aprecia la media esfera impresa



7.5 Base de la semi esfera impresa

El semi círculo tardo 13 minutos en imprimirse se puede apreciar en las imágenes mostradas que el modelo más parecido al realizado en el archivo CAD el tiempo de impresión es bastante satisfactorio, aunque mayor a algunas impresoras en mercado

En cuanto a calidad y estética de la pieza obtenida, calificando en una escala del 1 al 5, la calificación en dicha pieza sería un 4.



7.6 Forma de relleno en la impresión

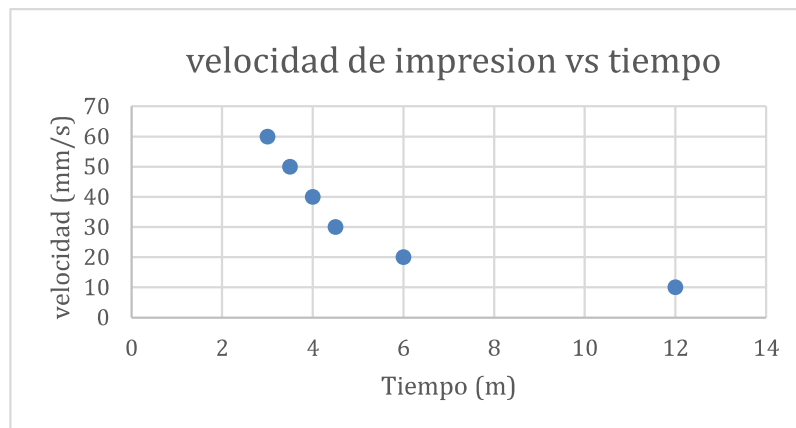


7.7 Se aprecia la estrella impresa

Esta pieza tardo 15 minutos en finalizar la impresión, como se aprecia en las imágenes el diseño final es similar al diseño realizado

En cuanto a calidad y estética de la pieza obtenida, calificando la impresión en una escala de 1 a 5 la calidad de dicha pieza es 4.

La gráfica 7.8 muestra una relación entre ambos parámetros: a mayor velocidad de impresión (expresada en mm/s), el tiempo total de impresión (en minutos) disminuye significativamente. Sin embargo, durante las pruebas realizadas se observa en la tabla 5.6 que, si bien velocidades superiores a 50 mm/s permiten reducir notablemente el tiempo de fabricación, también generan problemas en la calidad de las piezas impresas. En particular, se detectaron desplazamientos entre capas, lo que indica que el sistema pierde precisión debido a la inercia generada por movimientos rápidos, especialmente en cambios de dirección. Siendo necesario encontrar un valor óptimo que garantice una buena resolución sin comprometer la integridad dimensional del objeto esto se logró con una velocidad de 10mm/s



7.8 grafica de velocidades empleadas

8. Análisis y discusión de resultados

Durante la ejecución del proyecto, se realizó la reconversión de un brazo cartesiano en una impresora 3D con la capacidad de realizar impresiones con dimensiones de al menos 17x20x17 cm. A lo largo del desarrollo, se efectuaron pruebas mecánicas, electrónicas y de control, obteniendo resultados relevantes para evaluar la viabilidad del sistema.

El proyecto integrado contiene componentes electrónicos como la tarjeta Arduino Mega 2560, RAMPS 1.4, drivers A4988, extrusor tipo MK8 y motores NEMA 23. En la fase de diseño y construcción se aplicaron conocimientos en automatización, electrónica, diseño mecánico, programación embebida y materiales poliméricos.

La impresora desarrollada cuenta con un volumen efectivo de impresión de 170 mm × 200 mm × 170 mm. El sistema opera a través de una interfaz USB desde computadora, utilizando un flujo de impresión que va de 20 mm/s a 60 mm/s, dependiendo de la geometría de la pieza. La resolución alcanzada fue de 0.4 mm por capa, adecuada para la impresión.

Comparativamente, se tomó como referencia el modelo Creality Ender 3 V2, una impresora 3D comercial de nivel de entrada con características similares. Este modelo tiene un volumen de 220 mm × 220 mm × 250 mm, trabaja con PLA y PETG, resolución de 0.4 mm, y utiliza una pantalla LCD con control por perilla giratoria. A pesar de contar con una interfaz más desarrollada, su precio de mercado supera los \$5,000 MN sin incluir elementos de reciclaje o procesos de reconversión.

Por tanto, el prototipo construido demuestra ser competitivo con alternativas comerciales en cuanto a funcionalidad, volumen de impresión y resolución. La Figura 7.7 valida la funcionalidad del sistema mediante impresiones de prueba que evidencian la correcta adherencia de capas, linealidad en los desplazamientos y fidelidad dimensional.

En conjunto, el proyecto no sólo logra cumplir con los objetivos técnicos establecidos, sino que promueve una alternativa ecológica en el campo de la manufactura aditiva, sentando las bases para sistemas de bajo costo, alta adaptabilidad y enfoque sustentable.

Ventajas	Desventajas
Reutilización de un brazo cartesiano, reduciendo costos en comparación con una impresora 3D comercial.	Calibración inicial más compleja debido a la adaptación de componentes no diseñados para impresión 3D.

Diseño modular que permite futuras modificaciones y actualizaciones.	Integración y ajuste de firmware laboriosos, requiriendo conocimientos técnicos avanzados.
Volumen de impresión adaptable a diferentes necesidades.	Calidad de impresión con detalles por mejorar (adherencia de capas, resolución de piezas).
Posibilidad de utilizar materiales reciclados como filamento, promoviendo la sostenibilidad.	Menor estabilidad y precisión en comparación con impresoras 3D comerciales optimizadas.

8.1 Tabla ventajas y desventajas

9. Conclusiones

Con este proyecto se logró la reconversión funcional de un brazo cartesiano a una impresora 3D que utiliza como material de impresión filamento. Para ello, se implementó un sistema de control basado en Arduino Mega 2560 y una tarjeta RAMPS 1.4, configurado para controlar el movimiento de tres motores NEMA 23 mediante drivers A4988. El sistema fue programado con firmware Marlin, el cual permitió recibir instrucciones G-code generadas desde software de uso libre como CURA.

Siguiendo la metodología planteada, se desarrollaron tres subsistemas principales: el sistema mecánico de desplazamiento cartesiano, el sistema electrónico de control y el sistema de extrusión. Cada uno fue diseñado y ensamblado considerando las condiciones de trabajo requeridas para el filamento, como temperatura de extrusión de 185 °C y cama caliente a 65 °C, optimizando así la adherencia entre capas durante el proceso de manufactura aditiva.

Se seleccionó un extrusor tipo MK8 por su compatibilidad con el filamento reciclado, su facilidad de integración con RAMPS y su capacidad de mantener una temperatura constante. La estructura mecánica fue adaptada para proporcionar una superficie útil de impresión de 17 × 20 × 17 cm, cumpliendo con los requerimientos dimensionales propuestos al inicio del proyecto. Además, se validó el correcto funcionamiento de los ejes mediante movimientos controlados, obteniendo precisión aceptable para piezas de baja y media complejidad.

Durante el desarrollo del proyecto, se aplicaron conocimientos teóricos en áreas como control de motores paso a paso, programación, diseño de mecanismos cartesianos, gestión térmica de extrusores y comportamiento de materiales termoplásticos. Se logró una integración exitosa entre los sistemas mecánico, electrónico y de software, utilizando herramientas de código abierto que permiten su uso desde cualquier equipo de cómputo con especificaciones mínimas.

Como trabajo futuro se propone mejorar el sistema de calibración automática para facilitar la nivelación de la cama de impresión y obtener piezas con mayor precisión dimensional.

Bibliografía

- [1]Ángeles Rodríguez Alfredo,Amoles Meza Brian Osvaldo. (marzo de 2021). Obtenido de file:///C:/Users/alan_/OneDrive/Documentos/IMPRESORA%203D/RFPI_ALFREDO_ANGELES_+BRIAN_AMOLES.pdf
- [2]anonimo. (2024). *bitfab*. Obtenido de <https://bitfab.io/es/blog/historia-impresion-3d/>
- [3]Marco Lemus Cortes ,José Daniel Ochoa Ortiz. (2019). *saber mas revista de divulgacion*. Obtenido de <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/tecnologia/262-numero-30/472-impresion-3d-con-pet.html#:~:text=Impresi%C3%B3n%20en%20la%20actualidad&text=La%20fabricaci%C3%B3n%20de%20diversos,al%20utilizar%20un%20material%20reciclado.>
- [4]polietileno, T. d. (2018). *envaselia*. Obtenido de <https://www.envaselia.com/blog/tereftalato-de-polietileno-id12.htm>
- [5]
- systemes, d. (2002-2024). *dassault systemes* . Obtenido de <https://www.3ds.com/es/make/solutions/blog/most-common-materials-3d-printing>
- Anónimo. (2018). FILAMENT2PRINT. Obtenido https://filament2print.com/es/blog/36_tipos-extrusores-y-hotend.html de
- Anónimo. (2018). Haas. Obtenido de <https://www.haascnc.com/es/service/service-content/guide-procedures/what-are-g-codes.html>
- Anónimo. (2018). Hetpro. Obtenido de <https://hetpro-store.com/nema17/#:~:text=En%20el%20caso%20particular%2C%20el,se%20suelen%20atornillar%20los%20motores>
- Anónimo. (2018). HXX. Obtenido de <http://hxx.es/2014/12/13/tecnologias-de-impresion-3d-ii-inyeccion-de-material/>
- Anónimo. (2018). Novelec. Obtenido de <https://blog.gruponovelec.com/electricidad/finales-de-carrera-que-son-y-caracteristicas-principales/>
- Anónimo. (2019). Bitfab. Obtenido de <https://bitfab.io/es/blog/historia-impresion-3d/>
- Anónimo. (2019). Electromecanic. Obtenido <https://automantenimiento.net/electricidad/fuentes-de-alimentacion-conmutadas/>
- Anónimo. (2019). Larraioz elektronika. de Obtenido de <https://larraioz.com/iai/productos/robots-cartesianos>
- Anónimo. (2019). Prometec. Obtenido de <https://www.prometec.net/ramps-14/>

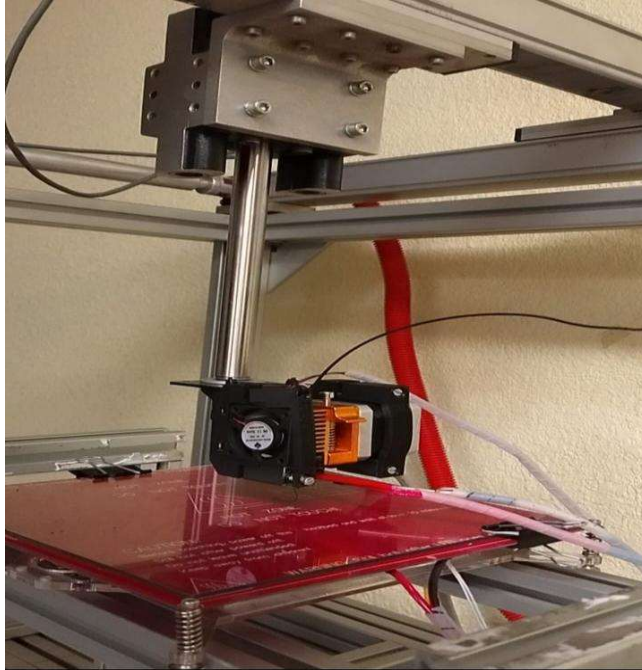


IMAGEN FINAL DE RECONVERSION

Así se muestra la reconversión del brazo cartesiano a la impresora 3D