

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA



TEMA:

DESARROLLO DE UNA IMPRESORA 3D PARA FABRICACIÓN DE PARTES AUTOMOTRICES

Trabajo de Grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Línea de investigación: Producción industrial y tecnología sostenible

AUTOR (A):

Edison Antonio Pinchao Mallama

DIRECTOR (A):

Ing. Diego Luis Ortiz Morales MSc.

Ibarra, 2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401867445		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Pinchao Mallama Edison Antonio		
DIRECCIÓN:	Calle Esmeraldas N780 y El Oro, Ayora, Cayambe		
EMAIL:	eapinchao@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	-	TELÉFONO MÓVIL:	+593 97 921 4342


DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Desarrollo de una impresora 3D para fabricación de partes automotrices
AUTOR (ES):	Edison Antonio Pinchao Mallama
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	26/07/2024
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Diego Ortiz MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 26 días del mes de julio de 2024

EL AUTOR:



.....
Edison Pinchao

**CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR**

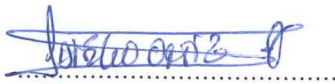
Ibarra, 26 de julio de 2024

Ing. Diego Ortiz MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

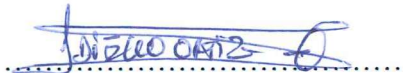


Diego Luis Ortiz Morales

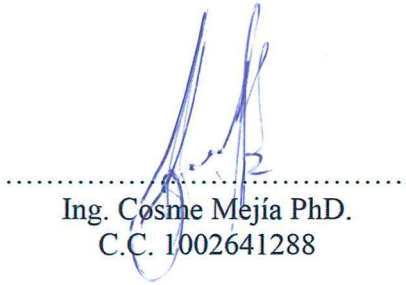
C.C.: 1001586997

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Tribunal Examinador del trabajo de titulación “Desarrollo de una impresora 3D para la elaboración de partes automotrices” elaborado por Edison Antonio Pinchao Mallama, previo a la obtención del título de ingeniero en Mecatrónica, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



Ing. Diego Ortiz MSc.
C.C. 1001586997



Ing. Cosme Mejía PhD.
C.C. 1002641288



Ing. Victor Erazo MSc.
C.C. 1719188029

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres Macia y Luis, quienes gracias al apoyo que me han brindado a lo largo de mi vida, estoy cumpliendo uno de mis sueños, una de mis metas.

A mis hermanos Andrés y Jesenia que siempre son un pilar fundamental en mi vida y me han acompañado en este camino tan sinuoso.

A mi amigo, Miguel Andrango, por considerarme como un hermano más, uno más de su familia.

A las personas que siempre estuvieron brindándome su apoyo incondicional, infinitas GRACIAS.

CON AMOR EDISON

AGRADECIMIENTO

A Dios y a toda mi familia que de una u otra manera aportaron de manera positiva al crecimiento diario de todo lo que he construido, del gran hombre en el que me he convertido, sin su ejemplo no habría sido posible.

De manera especial, quisiera agradecer a la familia de Miguel, Olga, Miguel, Katy, Angela, por abrirme las puertas de su casa y considerarme como uno más, Infinitas Gracias.

A todas esas personas que estuvieron presente a lo largo de todo este camino, de manera especial a Pamela, Lizbeth y Karina.

A la Universidad Técnica del Norte y a mis maestros por enseñarme sobre ética, moral y profesionalismo. Gracias por ser parte de mi historia

RESUMEN EJECUTIVO

En este trabajo de investigación se pretende el desarrollo de un prototipo de impresora 3D con capacidad de fabricar partes automotrices. El problema surge como alternativa a la importación de piezas automotrices y con ello llevar a satisfacer a la demanda local en cuanto a la fabricación de piezas específicas. En donde las metodologías bibliográfica, descriptiva y experimental permitieron identificar los factores clave para construir las partes que fueron ensambladas, de forma que permite trabajar con materiales de mayor resistencia y calidad por el tipo de extrusor que maneja.

Mediante la investigación realizada se determina que existen piezas sobre todo plásticas que pueden ser reemplazadas mediante la metodología de impresión 3D. Con ello, se obtiene un área de impresión aproximada de 360x360x360mm. Con respecto a esta información en área final de impresión que se obtuvo en el proyecto es de 375x375x360mm. Debido al uso de materiales de impresión como los filamentos de ácido poliláctico (PLA+) y filamento de Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) la impresora cuenta con un diseño conocido como Core XY, que a su vez facilita el aislamiento térmico que se requiere en los materiales mencionados. Dentro del proyecto se hace uso de software como SolidWorks para el modelamiento 3D de la máquina y como ayuda para calibración se hace uso de Repetier Host.

Los resultados muestran que el prototipo es capaz de imprimir piezas de materiales plásticos con una calidad, rapidez y robustez aceptable para ser usadas en un automóvil como una alternativa en la sustitución de partes similares. Este trabajo contribuye al campo de la tecnología de impresión 3D al proporcionar una herramienta alternativa que puede generar soluciones requeridas en un automóvil.

Palabras clave: impresión 3D, automotriz, prototipo, CAD.

ABSTRACT

This research work aims to develop a 3D printer prototype with the capacity to manufacture automotive parts. The problem arises as an alternative to importing automotive spare parts and thereby satisfying local demand in terms of the manufacture of specific parts. Where the bibliographic, descriptive and experimental methodologies allowed us to identify the key factors to build the pieces that were assembled, in a way that allows working with materials of greater resistance and quality due to the type of extruder that it handles.

Through the research carried out, it is determined that there are parts, especially plastic, that can be replaced using the 3D printing methodology. This produces an approximate printing area of 360x360x360mm. Regarding this information, the final printing area obtained in the project is 375x375x360mm. Due to the use of printing materials such as polylactic acid filaments (PLA+) and Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) filament, the printer has a design known as Core XY, which in turn facilitates the thermal insulation required in the materials. mentioned. Within the project, software such as SolidWorks is used for 3D modeling of the machine and Repetier Host to assist with calibration.

The results show that the prototype is capable of printing parts of plastic materials with acceptable quality, speed and robustness to be used in a car as an alternative to replacing similar parts. This work contributes to the field of 3D printing technology by providing an alternative tool that can generate solutions required in an automobile.

Keyword: 3D Print, Automotive, prototype, CAD

Índice

INTRODUCCIÓN	13
Planteamiento del problema	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos.....	14
Justificación.....	15
Alcance.....	15
1. CAPITULO I: MARCO TEÓRICO.....	16
1.1. Antecedentes del Estudio.....	16
1.1.1. Contexto Nacional.....	16
1.1.2. Contexto Internacional.....	17
1.2. Definiciones conceptuales	17
1.3. Tecnología de Impresión 3D.....	19
1.4. Tipos de impresoras 3D según su sistema de movimiento	19
1.4.1. Sistema Cartesiano	19
1.4.2. Sistema Delta	20
1.4.3. Sistema CoreXY	20
1.5. Materiales Para Impresión 3D	20
1.6. Proceso de Impresión 3D.....	20
1.6.1. Modelado 3D.....	21
1.6.2. Código G.....	22
1.6.3. Software de control de una impresora 3D.....	22
1.7. Firmware Marlin.....	23
1.7.1. Funcionamiento de Marlin Firmware.....	23
1.8. Perfiles Bosh.....	24
1.9. Motores Nema 17.....	24
1.10. Extrusor de material.....	25
1.10.1. Tipos de extrusores	25
1.11. Fundamentación legal.....	26
2. CAPITULO II: METODOLOGÍA.....	28
2.1. Metodología de la Investigación.....	28
2.1.1. Investigación documental.....	28
2.1.2. Investigación Descriptiva.....	28
2.1.3. Investigación Experimental.....	28
2.2. Fases del proyecto.....	29
2.3. Necesidades y recursos	29

3.	CAPITULO III: RESULTADOS Y VALIDACIÓN	31
3.1.	Investigación de repuestos, tipos y marcas.	31
3.2.	Validación.....	33
3.2.1.	Análisis y definición del sistema general.....	33
3.2.2.	Cálculos realizados.....	33
3.2.3.	Modelamiento 3D	36
3.2.4.	Diseño Electrónico	37
3.2.5.	Selección de materiales	38
3.2.6.	Fabricación de piezas	39
3.2.7.	Construcción de la máquina	40
3.2.8.	Calibración.....	44
3.3.	Funcionamiento	45
3.4.	Prueba de funcionalidad	46
3.4.1.	La prueba mecánica.....	46
3.4.2.	La prueba de impresión 3D o prueba automática.....	46
3.5.	Factibilidad técnica	47
3.6.	Factibilidad legal.....	47
3.7.	Factibilidad Económica	47
3.8.	Factibilidad Operacional.....	48
3.9.	Cálculos y resultados	49
3.9.2.	Resultados obtenidos.....	50
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
4.1.	Conclusiones.....	52
4.2.	Recomendaciones	52
5.	Referencias	54
6.	Anexos.....	59
6.1.	Anexo 1.....	59
6.2.	Anexo 2.....	60
6.3.	Anexo 3.....	62
6.4.	Anexo 4.....	62
6.5.	Anexo 5.....	62

Índice de Tablas

Tabla 1. Potencia del sistema	37
Tabla 2. Presupuesto del proyecto.....	48
Tabla 3. Análisis de resultados.....	50
Tabla 4. Comparación de impresión sistema cartesiano con sistema CoreXY	50
Tabla 5. Valores de tolerancia en las muestras.....	51

Índice de Figuras

Fig. 1 Etapas del proceso de impresión [23]	21
Fig. 2 Bloques de control Marlin	24
Fig. 3 Ilustración de los perfiles Bosch [26]	24
Fig. 4. Motor Nema 17.....	38
Fig. 5. Preparación de los ajustes previos en el software Repetier Host para la impresión 3D ..	39
Fig. 6. Proceso de impresión de soportes	40
Fig. 7. Montaje de piezas impresas en elementos	40
Fig. 8. Ensamblaje de perfiles de aluminio	41
Fig. 9. Estructura de la impresora 3D.....	41
Fig. 10. Ensamblaje de ejes a estructura	42
Fig. 11. Instalación de base de soporte cama caliente.....	42
Fig. 12. Montaje de sistema de movimiento	43
Fig. 13. Verificación de tensión de bandas	43
Fig. 14. Distribución de cableado en tarjeta.....	43
Fig. 15. Montaje de fuente de poder.....	44
Fig. 16. Calibración mediante el uso de Software Repetier Host.....	45
Fig. 17. Interfaz manual grafica para control manual y configuración de la impresora.....	46
Fig. 18. Prueba de funcionamiento de impresión 3D del prototipo.....	47

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema

A partir de junio del 2019 se eliminó los aranceles para la importación de vehículos eléctricos y los CKD; sin embargo, las unidades de autos ensamblados en Ecuador en los últimos años han disminuido hasta tener un porcentaje de participación igual a 16,5% frente a un 83,5% de unidades de importación en noviembre del 2019. Mientras tanto, la demanda vehículos fue de 137615 vehículos en las 2018 y 121654 unidades hasta noviembre del 2019. De acuerdo con estas cifras, se toma como alternativa la importación la fabricación de partes mediante la manufactura aditiva, mejor conocida como impresión 3D, a fin de que sirvan de respuesta a la demanda de partes del mercado nacional.

Si se tiene en cuenta que muchas de las piezas de automóviles proceden de importación, en caso de no estar disponibles en el mercado nacional el tiempo que implica su pedido e importación es alto dejando consecuencias como dejar sin funcionamiento al vehículo hasta la llegada de dicho repuesto. Mientras que, mediante un proceso de impresión 3D el tiempo estimado de resolución del inconveniente es de horas. Es así como, una de las ventajas más representativas de este tipo de fabricación es la personalización de diseños dando infinitas posibilidades de impresión de una misma pieza acorde a las necesidades del consumidor.

Finalmente, las impresoras existentes en el mercado nacional tales como Raised 3D Pro2, Raised 3D Pro2 Plus, LulzBot TAZ Workhorse, LulzBot TAZ Pro, por ejemplificar algunas, tienen costos elevados de adquisición superando los 4000 dólares americanos

Objetivo General

Desarrollar una impresora 3D para partes automotrices

Objetivos Específicos

- Analizar los repuestos, tipo, marca y materiales según demanda local para dimensionamiento de la impresora.
- Diseñar y construir un sistema estructural y de generación de movimiento para la impresora 3D destinada a la fabricación de piezas de automóviles.
- Ensamblar los elementos de control requeridos para el funcionamiento.
- Validar el funcionamiento de la máquina.

Justificación

Desde hace varios años se dice que las impresoras 3D revolucionaran el mundo en su totalidad [1]. La importancia principal de generar un sólido tridimensional a partir de la adición de material; que, a diferencia de métodos de producción tradicionales que sustraen material para dar forma a la pieza u objeto que se desee generar, resulta mayormente ecológico y reduciendo costos al hacer uso de la cantidad de materia prima exacta en su elaboración.

Por otra parte, la industria en Ecuador desea dar un paso significativo en su producción y que mejor que sea reduciendo productos de importación tales como autopartes en general. Según lo afirma David Molina, director ejecutivo de la Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana (CINAE), la pérdida de competitividad del sector surge debido a los aranceles sobre las partes y piezas (CDK – Completely Knocked Down) [2].

El tamaño del mercado del subsector de repuestos está directamente relacionado con el número de automóviles en Ecuador y de su antigüedad [3]. De acuerdo con AEADE, la edad promedio del parque automotor se encuentra fijada en 16 años y posee un máximo de 25,14% de autos en la edad de 5-10 años que representa 614 622 automóviles entre livianos y comerciales [4].

En el año 2018 Ford invirtió en su Centro de Fabricación Avanzado en Michigan, el cual fue destinado a la impresión de partes automotrices en 3D. Sin embargo, no es la única empresa que genera piezas impresas en 3 dimensiones pues marcas como General Motors y Porsche también ha incursionado en esta área [5].

Alcance

Para el proyecto se ha determinado en dos etapas: Diseño (mecánico y control) y pruebas mediante la impresión de un modelo.

Y para establecer el área de impresión se realizará un análisis previo de los repuestos, tipo, marca y materiales según demanda local. Por la alta precisión que se requiere para autopartes su resolución de capa deberá ser igual o inferior a las 100 micras con una velocidad de impresión mínima de 40 mm/s.

A fin de conseguir dureza en las partes a fabricarse la impresora deberá imprimir en materiales rígidos como PLA (Ácido Poliáctico), ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) hasta filamentos de PC (Policarbonato). Debido a los altos requerimientos de impresión la impresora deberá ser cerrada para mantener una temperatura estable dentro de la misma.

1. CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes del Estudio

1.1.1. Contexto Nacional

1.1.1.1. Estudio para modelado e impresión 3D Autopartes. Se realiza un estudio para determinar la factibilidad que existe para modelar y construir autopartes usando tecnología 3D. Usando Autodesk Inventor se diseña un brazo de biela que es impreso en una impresora Rostock Max V3 por sistema de modelado por deposición de material fundido (FDM) [6]. Una vez terminado el proceso de impresión no se obtiene una pieza de alta calidad por lo que, tiene que ser pulida para lograr un mayor acabado. El material de impresión se limita a PLA. La impresora no posee ningún cerramiento que permita controlar la temperatura del ambiente en el que se realiza la impresión [7].

1.1.1.2. Fabricación de repuestos plásticos para el sector industrial manufacturero utilizando impresoras 3D. Se desarrolla una evaluación de mercado y su entorno mediante investigación de campo para proveer repuestos plásticos al sector manufacturero industrial haciendo uso de la tecnología de impresión 3D [8]. Luego de contemplar las necesidades y deficiencias de este sector se plantea un análisis financiero que engloba el balance inicial y la proyección de los estados financieros que hace que el proyecto contribuya al desarrollo del país principalmente porque fomenta la producción local y sustituye la importación de repuestos [9].

1.1.1.3. Tecnologías de impresión 3D. Evaluaciones de FDM y Polyjet en la fabricación de autopartes de automóviles Se realiza una caracterización de materiales mediante el uso de probetas de Acrilonitrilo Estireno Acrilato (ASA) usando la tecnología de Modelado de Fusión por Deposición y probetas de VeroWhitePlus RGD835 usando la tecnología Polyjet. Las probetas se someten a pruebas de tracción y flexión [10]. Posteriormente se realizan ensayos estructurales con el software Ansys Student en el ducto de aire de una camioneta Toyota Stout 2200 y fabricando la pieza con tecnología Polyjet pues en los ensayos realizados en las probetas se determinó que el VeroWhitePlus posee una elevada resistencia última (Su) de tracción de 55MPa en comparación con el material ASA con 32MPa [10] [11].

1.1.1.4. Construcción de un modelo de fundición mediante la utilización de tecnología de impresión 3D. El uso de los productos resultado de la impresión 3D se trasladan a formar un modelo usado para un molde de fundición. El modelo de la impresora es Davinci 1.0 con una resolución de 20 micras hasta 400 micras, pero cuenta con un área de trabajo de 200x200x200 mm. Dado que el área de trabajo es muy pequeña el modelo realizado es impreso a escala siendo esta de 4 veces menor al original. El material usado es ABS [12].

1.1.2. Contexto Internacional

1.1.2.1. Oportunidad 3D en la Industria Automotriz. El constante crecimiento de la manufactura aditiva, mejor conocida como impresión 3D, transforma el modelo en los productos son diseñados, desarrollados, manufacturados y distribuidos [13]. Se muestra el rol protagónico en la industria global automotriz, analizando las trayectorias que recorre la industria. Además, hace una comparación de las estrategias actuales y las estrategias que se pueden implementar en el futuro [14].

1.1.2.2. Fabricación aditiva en la Industria Automotriz. En el artículo se muestra el procedimiento para la fabricación aditiva en un breve contexto para luego pasar a los requerimientos de la industria automotriz en cuanto a la fabricación de partes. Además de las aplicaciones más comunes en esta industria. Realiza una revisión del actual uso que tiene la impresión 3D y finaliza con desafíos que debe superar la industria automotriz en la actualidad [15] [16].

1.2. Definiciones conceptuales

Arquitectura informática: Es la estructura y organización de los componentes físicos y lógicos de un sistema informático [17].

Servidor: Computadora que forma parte de una red informática que provee de servicios a otros computadores, denominados clientes [18].

Algoritmo: Conjunto de operaciones ordenadas y finitas que permiten resolver un problema. Real Academia Española [19].

Vectores algoritmos: Es un conjunto ordenado y finito de elementos que se utilizan para representar magnitudes [19].

Prototipo: Representación o simulación de un producto o servicio que tiene como objetivo verificar el diseño, confirmar su funcionalidad y ver si cumple con todas las características específicas que su futuro usuario necesita o demanda cubrir [20].

Firmware: Se refiere a un algoritmo o programa que maneja físicamente al hardware de un dispositivo [21].

Drivers de control para motores pap: Circuitos electrónicos que se utilizan en el control del movimiento de los motores paso a paso [22].

Motor PAP: Actuador electromecánico cuyo control puede hacer avanzar el giro del rotor en pequeños pasos, en determinados ángulos, con precisión [23].

Resistencia calefactora: Elemento resistivo de tipo cerámico que, al aplicarse energía eléctrica, esta es convertida en energía calorífica [24].

Tornillo sin fin: Un tornillo sin fin es un tipo de mecanismo de transmisión de potencia que se utiliza para convertir el movimiento rotativo en movimiento lineal.

Rodamiento lineal: Consiste en una pista de rodadura y un conjunto de elementos rodantes, como bolas o rodillos, que se desplazan a lo largo de la pista.

Disipador de calor: Componente que se utiliza para disipar el calor generado por un dispositivo electrónico [25].

Fuente de poder: Dispositivo que se utiliza para convertir la energía eléctrica en otra forma de energía [26].

Regulador de voltaje DC-DC: Convierte los niveles de voltaje a valores inferiores constantes, en corriente directa [26].

Comunicación Serial: Método de transmisión y recepción de datos de un bit a la vez, de forma secuencial, sobre un canal o bus [17].

Robustez mecánica: Capacidad de un sistema mecánico para soportar cargas y esfuerzos sin sufrir daños o deformaciones [27].

Servomotor: Dispositivo de accionamiento para el control de precisión de velocidad, par motor y posición [26].

Impresión 3D: Tecnología que fabrica piezas tridimensionales mediante el depósito de capas de un material sobre otras [28].

PLA: Es un tipo de ácido poli láctico, material plástico biodegradable para usarse en tecnologías de impresión 3D [28].

Amperaje: Medida de intensidad eléctrica que atraviesa un conductor, medida en amperios [26].

Voltaje: Medida de la fuerza eléctrica, medida en voltios [26].

Potencia: Cantidad de trabajo que se realiza en unidad de tiempo, medida en vatios [26].

Torque: Medida de la fuerza que causa una rotación alrededor de un eje [27].

1.3. Tecnología de Impresión 3D

La fabricación aditiva (FA), también conocida como impresión 3D, se presenta actualmente como una nueva revolución industrial [29]. Esta tecnología permite la producción de productos personalizados sin incurrir en costos adicionales de fabricación, ya que no se requieren herramientas ni moldes. Además, la FA permite la producción de diseños funcionales complejos e integrados en un solo proceso, lo que reduce potencialmente la necesidad de trabajos de ensamblaje [30]. En este artículo, se analiza el impacto de la tecnología FA tanto a nivel empresarial como industrial. El objetivo es discernir cómo se verán afectadas las estructuras del mercado desde una perspectiva de gestión de operaciones [31].

Con base en un análisis de modelos económicos establecidos, se identifican las características económicas y tecnológicas de la fabricación aditiva y se aplican cuatro principios claves relevantes para los fabricantes a nivel empresarial. Luego, se evalúan críticamente los efectos de la FA a nivel industrial analizando la validez de supuestos anteriores en los modelos cuando se aplican estos cuatro principios. Al hacerlo, se derivan un conjunto de siete proposiciones que ayudan a impulsar futuras investigaciones. En particular, se propone que, en un monopolio, la adopción de FA permite a una empresa aumentar sus ganancias al capturar el excedente del consumidor al producir productos personalizados de manera flexible. Mientras tanto, en los mercados competitivos, la competencia se estimula ya que la fabricación aditiva puede reducir las barreras de entrada al mercado y ofrece la capacidad de atender múltiples mercados a la vez. En última instancia, esto debería traducirse en precios más bajos para los consumidores. [32]

1.4. Tipos de impresoras 3D según su sistema de movimiento

Existen diferentes tipos de mecanismos para impresoras 3D, pero los tres más comunes son los sistemas cartesianos, delta y corexy.

1.4.1. Sistema Cartesiano

El sistema cartesiano es el más utilizado en las impresoras 3D de escritorio [33]. Este sistema utiliza tres ejes lineales para mover la cabeza de impresión, los cuales se mueven en

ángulos rectos entre sí y se controlan mediante motores paso a paso [34].

1.4.2. Sistema Delta

El sistema delta es utilizado para imprimir objetos pequeños y detallados. Este sistema utiliza tres brazos que se extienden desde la base de la impresora hasta la cabeza de impresión. Los brazos se mueven hacia arriba y hacia abajo, permitiendo que la cabeza de impresión se mueva en todas las direcciones [34].

1.4.3. Sistema CoreXY

El sistema CoreXY es un tipo de mecanismo utilizado en impresoras 3D que utiliza dos correas que se cruzan en un patrón X-Y para mover la cabeza de impresión. Este sistema es popular debido a su velocidad y precisión, pero es más difícil de construir que los sistemas cartesiano y delta [35].

1.5. Materiales Para Impresión 3D

Los materiales empleados la impresión 3D son variados y dependen del proceso de impresión utilizado. Los termoplásticos son los materiales más comunes para la impresión 3D de plásticos, ya que pueden moldearse y dar forma deseada [36]. El ABS y el PLA son los materiales más populares para la impresión 3D FDM, por sus propiedades como rigidez, resistencia al calor, a impactos y a químicos [37].

La impresión 3D también se puede realizar con metales como el acero inoxidable, el titanio y el aluminio [37]. El aluminio es un material ligero y resistente a la corrosión, que se utiliza en aplicaciones aeroespaciales, mecánicas y de bicicletas. El titanio es un material más resistente que el acero inoxidable y se utiliza en aplicaciones que requieren una mayor resistencia, como piezas de aviones y prótesis médicas [36]. El acero inoxidable es un material común en la vida cotidiana, la industria mecánica y la medicina. Tiene buenas propiedades metálicas y permite obtener una superficie pulida y brillante [36]. También se puede utilizar para imprimir piezas de bronce u oro [34].

Es esencial establecer los requisitos de rendimiento y traducirlos en requisitos del material para seleccionar el material adecuado para un proyecto de impresión 3D [31]. Posteriormente, los materiales se eligen acorde a sus propiedades mecánicas, funcionalidad o aspecto deseados [37].

1.6. Proceso de Impresión 3D

Proceso de creación de objetos tridimensionales mediante la deposición de capas de material unas sobre otras [38]. Este proceso conocido también como fabricación aditiva (AM) se

emplea en lugar de los métodos tradicionales de desbaste, como el fresado CNC para la producción industrial [39].

El proceso de impresión 3D (Figura 1) da inicio con un boceto o croquis de la idea que se desea crear. Posteriormente, se hace uso de software para modelar el objeto en 3 dimensiones. Antes del proceso como tal de impresión se hace uso de software para obtener el laminado del objeto para finalmente imprimir capa por capa el modelo en 3D [40].

En resumen, son 3 las etapas a destacar: Creación o diseño del modelo 3D, creación del programa ISO (GCode), con código de Control Numérico CN, y la Impresión [41].

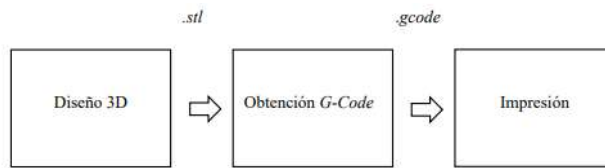


Fig. 1 Etapas del proceso de impresión [41]

1.6.1. Modelado 3D

Hay muchas opciones para obtener un modelo 3D para la impresión, desde aplicaciones de modelado 3D de distribución libre hasta bibliotecas con una gran variedad de objetos. La única consideración importante para la impresión 3D es que el modelo se pueda exportar al formato STL [42]. STL (siglas en inglés de stereolithography) es el formato de archivo estándar para el prototipado rápido. Utiliza una malla de triángulos en las superficies para definir la forma del objeto [43]. Cuanto más pequeños sean estos triángulos, mejor será la aproximación a la superficie y la resolución, aunque lograr una buena impresión requerirá más tiempo de fabricación del prototipo. [44].

Existen muchas opciones de software para la impresión 3D, tanto pagas como gratuitas o de código abierto [42]. Entre las aplicaciones pagas se encuentran 3DSMax y Rhinoceros, mientras que entre las gratuitas se encuentran Tinkercad y Sketch Up. Entre las opciones de código abierto se encuentran Blender y OpenSCAD [44].

Como se mencionó anteriormente, es posible obtener modelos de catálogos en línea creados colectivamente. Dichos catálogos ofrecen una gran variedad de modelos 3D que en cierta medida cubren las necesidades generales y que además tienen la posibilidad de ser modificados o adaptados.

Es fundamental no reinventar la rueda en la fabricación digital. Es posible que alguien ya haya creado algo similar y lo haya compartido a través de una licencia Creative Commons [36].

Si este es el caso, podemos descargarlo, imprimirlo e incluso modificarlo para obtener un nuevo modelo. Thingiverse es un sitio web bastante conocido que debe su creación a la empresa MakerBot, este sitio ofrece modelos listos para imprimir. Sin embargo, existen otros repositorios de objetos digitales, como: yeggi, yobi3d, grabcad, myminifactory [44].

1.6.2. Código G

Una vez que se tiene el modelo digital, se requiere convertir a otro formato, el código G. Este tipo de archivo es el que interpreta la impresora y es el lenguaje descriptivo empleado por las máquinas de control numérico (CNC) para llevar a cabo su proceso de fabricación. Los equipos más comunes que interpretan este código son fresadoras, cortadoras y tornos [44] [45].

Mediante el código G es posible ordenar a una máquina controlada por computadora el proceso a seguir; de esta manera, se detalla el qué hacer y cómo hacerlo. Estos “qué” y “cómo” están definidos principalmente por instrucciones que le dicen a la máquina hacia dónde moverse, cuán rápido y qué trayectoria debe seguir [44].

El hecho de transformar un archivo STL (u OBJ) a código G, significa ordenar los pasos que debe seguir el ordenador para construir el modelo 3D que se le ha encomendado [44].

1.6.2.1. **Compiladores.** Una impresora 3D deposita material capa por capa, lo que conlleva a convertir un modelo 3D en cortes de capas a una altura determinada. El número de capas varía acorde al modelo al que se desea obtener como resultado [46]. A pesar de tener un mismo modelo 3D se pueden obtener diferentes resultados pues todo dependerá de los parámetros específicos deseados por el usuario [44].

1.6.3. Software de control de una impresora 3D

La principal función del software es ser el punto de conexión entre el modelo 3D requerido a plasmar como modelo físico y la impresora 3D que requiere instrucciones claras para llevar a cabo dicha tarea. En otras palabras, este software se encarga de generar el código G para la impresora 3D. Entre todos los softwares más destacados se encuentran los detallados a continuación:

1.6.3.1. **Software Cura.** Es un software desarrollado por Ultimaker que permite el procesamiento de archivos STL a código G usado por cualquier impresora 3D [44].

1.6.3.2. **Software Slic3r.** Es un software gratuito que destaca por compatibilidad con los dialectos gcode, robustez, opciones de configuración avanzadas y sobre todo es un software de código abierto. [44].

1.6.3.3. **Software Kisslicer.** Es un software que posee una interfaz gráfica muy amigable con el usuario, teniendo en su versión gratuita la configuración de un solo extrusor limitando el uso funciones avanzadas a sus versiones de pago [44].

1.7.Firmware Marlin

Marlin es un firmware originado a partir de Sprinter y grbl. El firmware se encuentra bajo la licencia de GPLv3 siendo gratuito en todas sus aplicaciones [47]. La palabra Marlin deriva de sus siglas en inglés Modular Analysis and Reconstruction for the LInear collider [48]. Este firmware se usa como controlador principal en una impresora 3D controlando diversas actividades de la máquina a la vez. [47].

1.7.1. *Funcionamiento de Marlin Firmware*

Marlin implementa un proceso de fabricación aditiva llamado (Figura 2) Modelado por Deposición Fundida (FDM), también conocido como Fabricación de Filamentos Fundidos (FFF) [49]. El proceso consiste en empujar filamento plástico a través de una boquilla a alta temperatura fundiendo el material que es depositado en una plataforma plana que mediante el movimiento de los ejes 'x' y 'y' dan forma al objeto deseado [10]. Al cabo de cierto tiempo y luego de haber pasado por varias capas de plástico se obtiene como resultado un objeto en 3 dimensiones [47].

Los comandos G son utilizados para brindar instrucciones claras a la máquina para en su trabajo final obtener una pieza acorde a los requerimientos iniciales del usuario. Derivado de este código G se encuentra el lenguaje de control usado por Marlin. Como uno de los procedimientos que se debe realizar es convertir a código G las instrucciones requeridas y para esta acción se hace uso de programas denominados "Slicers" [47].

Los comandos que recibe el firmware son agregados a una cola de movimiento siendo estos ejecutados acordes al orden que se reciben. [50]. La "interrupción paso a paso" es la encargada de procesar la cola de movimientos y lo hace mediante la generación de pulsos paso a paso. Se debe tener en cuenta que es velocidad es limitada por la velocidad de procesamiento de datos de su CPU [47] [50].

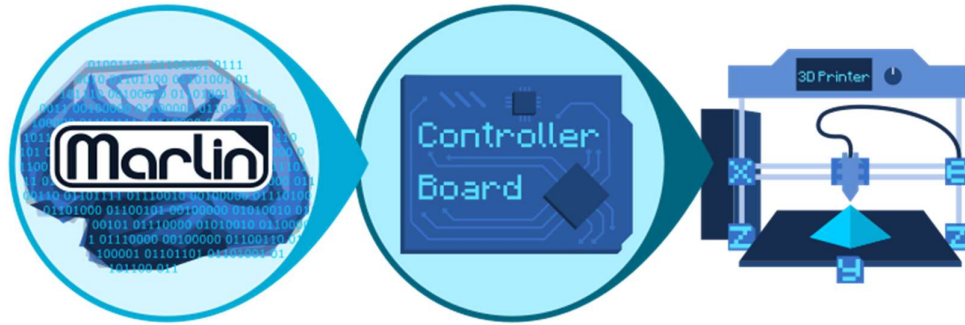


Fig. 2 Bloques de control Marlin

1.8.Perfiles Bosh

Los perfiles de aluminio Bosch (Figura 3) son piezas diseñadas para ensamblarse y crear estructuras de gran volumen y resistencia. Estos perfiles son rectangulares y cuadrados con secciones transversales y agujeros centrales que permiten su unión, lo que los hace más ligeros y funcionales. Los perfiles están diseñados en aluminio, un material muy utilizado en la industria debido a su resistencia y ligereza, que es mayor que la de algunos sustitutos como el acero o el cobre. Además, su duración permite armar instalaciones fuertes y sólidas para aplicaciones industriales [51].

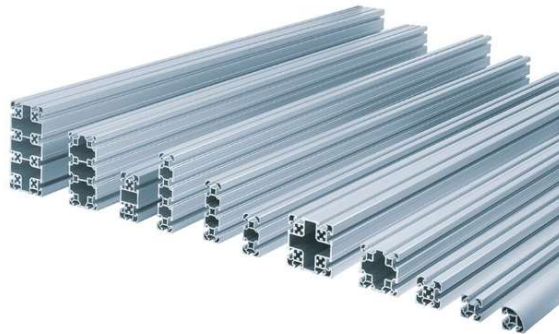


Fig. 3 Ilustración de los perfiles Bosch [51]

1.9. Motores Nema 17

El motor paso a paso NEMA 17 es un tipo de motor eléctrico que se utiliza en una variedad de aplicaciones, como impresoras 3D, robots y máquinas CNC. El modelo NEMA 17 de 42 mm es uno de los modelos más comunes y populares como se observa en la Figura 4. Este motor tiene un ángulo de paso de 1.8 grados, lo que significa que se divide cada revolución en 200 pasos. Tiene una corriente nominal de 1.68 A y una resistencia de fase de 1.65 ohmios. El par de retención del motor es de 44 Ncm (60 onzas). El motor NEMA 17 de 42 mm es una buena opción para aplicaciones que requieren un motor compacto y potente [23].



Fig. 4. Motor Nema 17. Tomado de [52]

1.10. Extrusor de material

Un extrusor es una parte esencial de una impresora 3D que se encarga de empujar el filamento hacia la boquilla. El sistema de extrusión comúnmente está formado por una polea y una rueda dentada [53]. Conocer qué es un sistema de extrusión es algo necesario si queremos entender cómo funciona una impresora 3D [54].

El extrusor es el componente de la impresora que se encarga de que el filamento llegue a la boquilla y mediante este proceso debe pasar por la polea y rueda dentada [10]. Existen varios sistemas de empuje encontrándose entre los más cotidianos los sistemas MK8 y MK10, avanzando hasta sistemas más complejos como el sistema Bondtech. [54].

Los componentes principales del extrusor son la polea, la rueda dentada, el motor y el soporte del motor. La polea y la rueda dentada están conectadas al motor, que gira para empujar el filamento a través del tubo PTFE hasta la boquilla. El soporte del motor mantiene el motor en su lugar y asegura que esté alineado correctamente con la polea y la rueda dentada [55].

1.10.1. Tipos de extrusores

Existen dos tipos principales de sistemas de extrusión para impresoras 3D: el sistema Bowden y el sistema directo.

1.10.1.1. **Sistema Bowden.** En un sistema Bowden, el extrusor se encuentra en la impresora 3D y utiliza un tubo de PTFE para guiar el filamento hasta el fusor o hotend. En un sistema directo, el extrusor y el hotend están integrados en el mismo cabezal. Cada sistema (Tabla 5) tiene sus ventajas y desventajas, por lo que es importante elegir el que mejor se adapte a las necesidades. [55].

El método Bowden tiene ventajas porque reduce la masa total que se mueve para depositar el material en el área de manufactura. En este método, solo se mueve el extrusor y el impulsor

permanece fijo. En comparación con el método directo, se necesita menos potencia para mover el extrusor, lo que resulta en un mecanismo de menor volumen que genera el desplazamiento. Además, como hay menos masa en movimiento, se reduce el momentum del extrusor, lo que se traduce en movimientos más precisos y suaves al cambiar de dirección. Como resultado, este sistema tiene menos vibraciones [56].

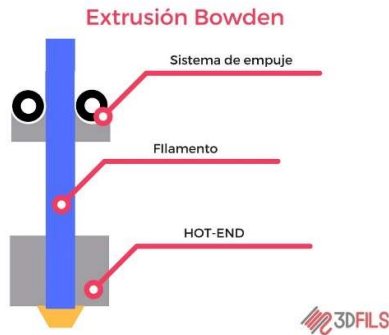


Fig. 5. Sistema de extrusión Bowden. Tomado de (3DFILS, 2021)

1.10.1.2. **Sistema Directo.** En el método directo, se necesita menos energía para mover el material de fabricación. Esto se debe a que no hay un tubo de conexión entre el impulsor y el extrusor, lo que elimina la fricción que se produce entre el filamento y el tubo guía. En su lugar, se utiliza un sistema impulsor más pequeño que en el método Bowden. Este método (Figura 6) permite ajustar fácilmente los parámetros que afectan la retracción y la impulsión del material al eliminar la holgura o juego que tiene el filamento dentro del tubo [56].

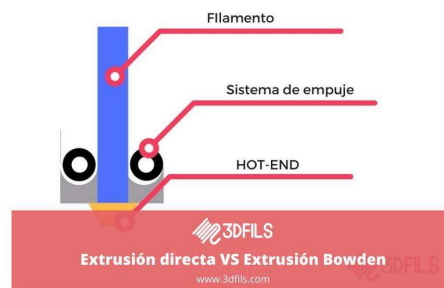


Fig. 6. Sistema de extrusión directa. Tomado de [57]

1.11. Fundamentación legal

Se fundamenta en base a la Agenda de transformación digital del Ecuador 2022-2025 de forma particular en su Eje 4 que habla de las Tecnologías Emergentes para el desarrollo sostenible que en su pilar 8 de Fomento de nuevas tecnologías en las industrias en su apartado 55 que dice: “Promover el desarrollo y consolidación de las tecnologías emergentes, en especial: Inteligencia

Artificial, Internet de las Cosas, Big Data, Blockchain, entre otras, considerando aspectos éticos, imparcialidad, transparencia, responsabilidad, seguridad, privacidad y no discriminación” [58]

El estado ecuatoriano ha incentivado el uso de tecnología para resolver problemas en la sociedad. Por ejemplo, el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL) ha implementado el programa “Ecuador Digital” que tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de los ciudadanos a través del uso de tecnología [59] [58].

Las universidades ecuatorianas están realizando investigaciones en tecnología con el objetivo de mejorar la calidad de vida de las personas y resolver problemas en la sociedad. La Universidad Andina Simón Bolívar publicó un artículo en 2015 titulado "La investigación científica en las universidades ecuatorianas" que expone el rol de la educación superior en el desarrollo de la investigación científica en las universidades ecuatorianas, antes y después de instituido el modelo educativo vigente desde el año 2008 [60]. En este artículo se presentan los logros alcanzados, fundamentalmente, en la producción científica de las universidades y en el nivel académico de su claustro. Además, se enfatiza en la necesidad de implementar estrategias que permitan eliminar las debilidades existentes, a fin de lograr el reconocimiento internacional [61].

2. CAPITULO II: METODOLOGÍA

2.1. Metodología de la Investigación

Se aplicará el enfoque ingenieril, el mismo que contempla varias metodologías para alcanzar una solución aplicada. Entre ellas se ejecutaron las siguientes:

2.1.1. Investigación documental

La metodología bibliográfica es una técnica de investigación que se utiliza en la elaboración de trabajos académicos como tesis, trabajos finales de grado y máster, entre otros. Esta técnica consiste en la revisión y análisis de fuentes bibliográficas existentes con respecto al tema a estudiar [62].

El objetivo principal de esta técnica es revisar los documentos y la bibliografía empleada en la creación de un trabajo académico [62]. La revisión bibliográfica consiste en consultar y seleccionar documentos que tratan sobre un tema específico, con el objetivo de responder una pregunta de investigación [63].

2.1.2. Investigación Descriptiva

La metodología descriptiva es un método cualitativo que se utiliza en investigaciones científicas que evalúan algunas características de una población o situación particular. Esta técnica se enfoca en describir la población, situación o fenómeno alrededor del cual se centra su estudio. Procura brindar información acerca del qué, cómo, cuándo y dónde, en la investigación [64].

El objetivo principal es describir el comportamiento o estado de un número de variables. Principalmente guía al investigador en su búsqueda de respuestas a preguntas como: quién, qué, cuándo, dónde, sin quedarse solamente en el por qué [64].

2.1.3. Investigación Experimental

La metodología experimental es un método de investigación cuantitativo que se utiliza para poner a prueba la validez de una hipótesis sometiéndola a experimentación [65]. Este método permite a los investigadores manipular las variables y establecer relaciones precisas de causa-efecto entre una muestra de control (no se manipulan las variables) y una muestra de experimentación (variables manipuladas) [66].

El método experimental implica la observación, manipulación y registro de las variables que afectan un objeto de estudio [66]. La investigación experimental consiste en un conjunto de actividades metódicas y técnicas que se realizan para recabar la información y datos necesarios sobre el tema a investigar y el problema a resolver [65].

2.2. Fases del proyecto

A continuación, en la Figura 7 se describe el proceso seguido para la construcción de la máquina.

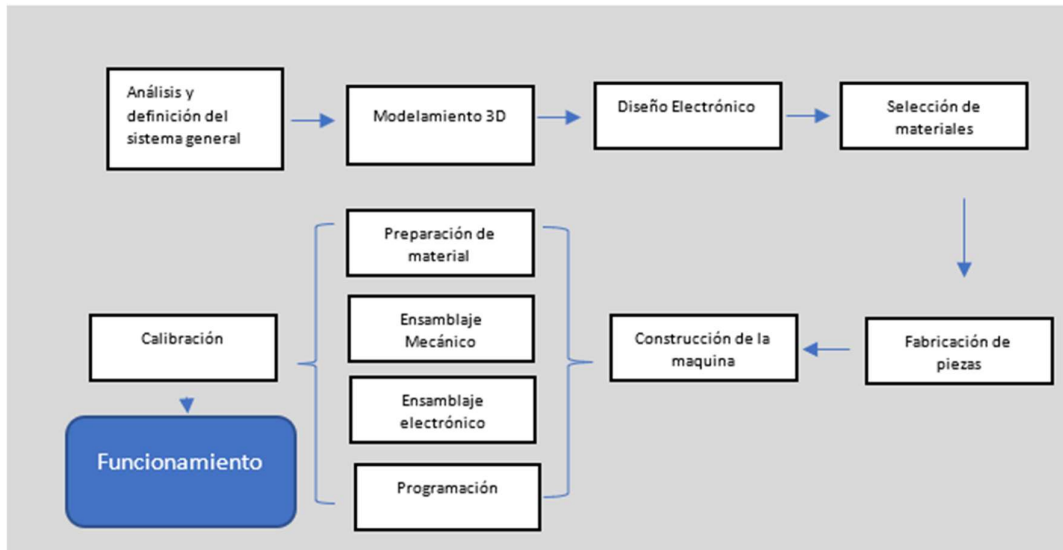


Fig. 7. Proceso de construcción de la impresora

2.3. Necesidades y recursos

Para el desarrollo del presente proyecto se necesitan varios materiales y herramientas como son: tipo electrónico, eléctrico, informático y mecánico. Para el desarrollo de una impresora 3D especializada en la fabricación de partes automotrices, es crucial considerar una variedad de necesidades técnicas y operativas. Primero, la impresora debe ser capaz de trabajar con materiales específicos que sean adecuados para aplicaciones automotrices, como el ABS, PLA, PETG, y Nylon. Estos materiales deben ofrecer la durabilidad y resistencia requeridas para que las partes impresas puedan soportar las condiciones operativas de los vehículos.

Además, la precisión y la resolución de la impresora son fundamentales para garantizar que las piezas producidas cumplan con especificaciones técnicas estrictas. Esto requiere un sistema de calibración avanzado por lo que usará Repetier Host como software y la capacidad de la impresora para alcanzar altas resoluciones, asegurando así que cada detalle de las piezas automotrices sea reproducido fielmente.

El tamaño del área de impresión es otro aspecto importante. La impresora debe poseer un volumen de impresión lo suficientemente grande para acomodar las dimensiones de las partes automotrices más comunes, lo cual puede requerir una impresora de gran formato. Esto es esencial para no limitar el tipo de piezas que se pueden producir. El área que se considera para este proyecto debe ser como mínima 360x360x360mm.

La velocidad de impresión también es un factor crítico. Para ser viable desde el punto de vista comercial, la impresora debe ser capaz de producir piezas de alta calidad en un tiempo razonable. Entonces, la velocidad referencial que se considera es 60mm/s. Esto implica un equilibrio entre la velocidad y la precisión, optimizando ambos para no sacrificar la calidad por la eficiencia.

La estabilidad y la fiabilidad son vitales para la producción continua, especialmente en entornos industriales donde las interrupciones pueden resultar costosas. La impresora debe ser robusta y capaz de operar durante largos períodos sin fallos, lo que requiere un diseño robusto y componentes de alta calidad.

El software y la interfaz de usuario de la impresora deben ser intuitivos y compatibles con los estándares industriales de diseño. El software debe facilitar todo el proceso desde el modelado hasta la impresión final, permitiendo ajustes detallados y personalizaciones que se alineen con los requisitos específicos de las partes automotrices.

Asimismo, es importante tener un plan sólido para el soporte técnico y el mantenimiento. Debe haber fácil acceso a ayuda técnica y a piezas de reemplazo, lo que asegura que cualquier problema pueda ser resuelto rápidamente para minimizar el tiempo de inactividad de la impresora.

Los costos operativos y de mantenimiento también deben ser razonables en comparación con la calidad y la eficiencia de la impresión. Un análisis detallado del retorno de la inversión ayudará a asegurar que la impresora no solo cumpla con las necesidades técnicas, sino que también sea económicamente viable.

Finalmente, la impresora debe cumplir con todas las normativas de seguridad relevantes en la industria automotriz y manufacturera. Esto incluye seguir las directrices de seguridad en la operación y mantenimiento de la impresora, asegurando que todo el proceso sea seguro para los operadores. En conjunto, todas estas consideraciones son esenciales para desarrollar una impresora 3D que no solo satisfaga las necesidades de producción de partes automotrices, sino también sea práctica, eficiente y sostenible a largo plazo.

3. CAPITULO III: RESULTADOS Y VALIDACIÓN

3.1. Investigación de repuestos, tipos y marcas.

La impresión 3D en la industria automotriz ha revolucionado la fabricación de repuestos, permitiendo la creación rápida y precisa de una amplia gama de componentes. Según estudios recientes, como los de [67] y [68], varios tipos de repuestos son particularmente aptos para ser fabricados mediante tecnologías de impresión 3D. Estos incluyen:

Soportes y Monturas: La impresión 3D es ideal para producir soportes y monturas que requieren un alto grado de personalización. Estos componentes, que ayudan a asegurar diferentes partes del motor o del chasis, pueden diseñarse para adaptarse a las especificaciones exactas de un vehículo, mejorando así la eficiencia del montaje y la resistencia estructural [68].

Componentes del Sistema de Enfriamiento: Piezas como los conductos de aire y los soportes del radiador pueden fabricarse con impresoras 3D para adaptarse a configuraciones específicas, permitiendo un diseño más complejo y eficiente que optimiza el flujo de aire y la disipación de calor [67].

Componentes de la Suspensión: Como apuntan Zhao y Gu [69], las piezas de la suspensión que experimentan tensiones mecánicas considerables, como soportes y bujes, pueden ser impresas en 3D usando materiales compuestos que ofrecen una resistencia superior y una reducción de peso en comparación con los métodos tradicionales.

Engranajes y Piezas Mecánicas Pequeñas: La fabricación aditiva hace posible la creación de engranajes y componentes mecánicos complejos con tolerancias precisas y diseños optimizados para la durabilidad y el rendimiento [70].

Herramientas Personalizadas y Jigs: Según [71], las herramientas específicas del vehículo, jigs y fixtures para montaje y mantenimiento pueden ser diseñados y producidos rápidamente para satisfacer necesidades específicas de la producción o reparación automotriz.

Para el desarrollo de una impresora 3D especializada en repuestos automotrices, es crucial analizar el tipo, marca y materiales de los repuestos más demandados en el mercado local. Este análisis permitirá dimensionar adecuadamente la impresora 3D para que cumpla con las necesidades específicas de fabricación.

Comenzando con los tipos de repuestos, se observa que elementos como los soportes de motor, componentes del sistema de enfriamiento y piezas de la suspensión son comúnmente solicitados. Estas partes son críticas para el funcionamiento y la seguridad del vehículo, lo que

justifica su alta demanda. Además, debido a su uso frecuente y a las condiciones a las que están expuestas, suelen necesitar reemplazos periódicos.

En cuanto a las marcas, el mercado local muestra una predominancia de vehículos de marcas específicas como Toyota, Ford y Chevrolet. Cada una de estas marcas tiene modelos muy populares en diferentes segmentos del mercado, lo cual influye directamente en la demanda de repuestos específicos para estos modelos. Por ejemplo, piezas para la Toyota Hilux y el Ford Focus suelen estar muy solicitadas debido a la popularidad de estos vehículos en la región.

Respecto a los materiales, los repuestos impresos en 3D para la industria automotriz requieren materiales que soporten altas temperaturas, fricción y presión sin deformarse ni fallar. Materiales como el ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), el PLA (ácido poliláctico) y filamentos especializados como el TPU (poliuretano termoplástico) y el nylon son comúnmente utilizados para estos fines. Cada material ofrece distintas propiedades como flexibilidad, durabilidad y resistencia térmica, adecuadas para diferentes tipos de piezas.

La impresión 3D ofrece la posibilidad de utilizar materiales compuestos que pueden ser reforzados con fibras de carbono o vidrio para aumentar su resistencia estructural [36]. Estos compuestos son ideales para piezas que requieren una robustez excepcional, como los componentes de la suspensión o partes del chasis.

Desde una perspectiva de producción, la impresión 3D permite la fabricación de piezas bajo demanda, reduciendo el inventario necesario y permitiendo una personalización según las necesidades del cliente. Esto es especialmente valioso en el caso de vehículos antiguos o de edición limitada, donde los repuestos pueden ser difíciles de obtener.

La tecnología de impresión 3D también facilita la innovación en el diseño de repuestos. Con herramientas de diseño asistido por computadora (CAD), los ingenieros pueden crear piezas que optimicen el uso de material y la eficiencia sin comprometer la resistencia o la funcionalidad. Esto no solo reduce el costo de los repuestos, sino que también contribuye a vehículos más ligeros y eficientes.

En términos de calidad, es fundamental que la impresora 3D pueda alcanzar resoluciones altas para asegurar acabados superficiales precisos y ajustes correctos. Esto es crucial en la industria automotriz, donde un ajuste impreciso puede llevar a fallos mecánicos o reducir la vida útil de una pieza.

El proceso de impresión debe ser monitoreado de cerca para asegurar que cada capa depositada adhiera correctamente a la anterior, evitando así defectos que podrían afectar la integridad de la pieza. Esto implica un control riguroso de la temperatura y la velocidad de

impresión, así como del entorno para minimizar la contaminación o las interferencias durante el proceso.

Finalmente, para maximizar la adopción de esta tecnología, es vital establecer colaboraciones con fabricantes de automóviles y talleres de reparación locales. Estas alianzas ayudarán a garantizar que las especificaciones de los repuestos impresos se alineen con las necesidades del mercado y cumplan con los estándares de la industria. Establecer un protocolo de pruebas y certificación para las piezas impresas en 3D garantizará su aceptación tanto por los fabricantes como por los consumidores, consolidando la viabilidad de esta innovadora tecnología en la producción local de repuestos automotrices.

3.2. Validación

3.2.1. Análisis y definición del sistema general

Para construir una impresora 3D para autopartes, hay varios factores que se deben tener en cuenta. En primer lugar, el tamaño del área de trabajo es importante, ya que determina el tamaño máximo de las piezas que se pueden imprimir. En segundo lugar, el material utilizado para la impresión 3D es crucial. En este caso, se ha decidido utilizar un material similar al ABS, pero más resistente.

La estructura de la impresora debe ser rígida y resistente para garantizar la precisión y durabilidad de los ensamblajes. Por lo tanto, se ha optado por diseñar una estructura basada en perfiles de aluminio Bosch, que son perfectos para realizar ensamblajes precisos y duraderos.

En cuanto al sistema electrónico, es importante tener una buena fuente de alimentación. Por lo tanto, se ha decidido utilizar una fuente de PC que tiene altos amperajes y funciona a 12V, lo cual es ideal para alimentar los NEMA 17.

En cuanto al software, se ha decidido utilizar el firmware de Marlin porque es el más utilizado y tiene mucho soporte. Además, todo el sistema mecatrónico se encapsulará para que las corrientes de aire circulen internamente en la máquina y protejan los resultados de las piezas que se quieren imprimir.

En cuanto al sistema de extrusor, se ha optado por el tipo directo. En cuanto al sistema mecánico, se ha utilizado el tipo CoreXY porque es rápido y presenta muchas ventajas en comparación con el cartesiano y delta.

3.2.2. Cálculos realizados

En la construcción de la impresora 3D, se han realizado cálculos importantes en la parte mecánica, en particular sobre el tornillo sin fin. Por otro lado, en la calibración del firmware de

Marlin, se han realizado cálculos importantes en los pasos de avance de los motores. La correcta calibración de los motores es fundamental para garantizar la precisión de las dimensiones de la pieza fabricada por la máquina.

3.2.2.1. Cálculo de tornillo sin fin. Para calcular el peso que va a soportar el área de impresión 3D de una impresora 3D, se debe tener en cuenta la densidad del material que se va a utilizar para imprimir la pieza. La densidad es la relación entre la masa y el volumen de un objeto. Por lo tanto, para calcular el peso de una pieza impresa en 3D, se debe conocer su volumen y la densidad del material utilizado.

En el caso de nuestra propuesta planteas, un área de trabajo de 40x40cm y una altura de 35cm, se puede calcular el volumen máximo que puede imprimir la máquina. El volumen máximo es igual al producto del ancho, largo y alto del área de trabajo. Por lo tanto, el volumen máximo es:

$$40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 35 \text{ cm} = 56,000 \text{ cm}^3$$

Una vez que se conoce el volumen máximo, se puede calcular el peso máximo que puede soportar el área de impresión 3D. Para ello, se debe conocer la densidad del material que se va a utilizar. Por ejemplo, si se utiliza PLA (ácido poliláctico), la densidad es de aproximadamente $1,25 \frac{g}{cm^3}$. Por lo tanto, el peso máximo que puede soportar el área de impresión 3D sería:

$$56\,000 \text{ cm}^3 \times 1,25 \frac{g}{cm^3} = 70\,000 \text{ g} = 70 \text{ kg}$$

Para calcular el peso máximo que puede soportar el área de impresión 3D si se utiliza ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), se debe conocer la densidad de este material. La densidad del ABS es de aproximadamente $1,04 \frac{g}{cm^3}$. Por lo tanto, el peso máximo que puede soportar el área de impresión 3D sería:

$$56\,000 \text{ cm}^3 \times 1,04 \frac{g}{cm^3} = 58\,240 \text{ g} = 58,24 \text{ kg}$$

Para calcular el peso máximo que puede soportar el área de impresión 3D si se utiliza filamento PETG (tereftalato de polietileno glicol), se debe conocer la densidad de este material. La densidad del PETG es de aproximadamente $1,27 \frac{g}{cm^3}$. Por lo tanto, el peso máximo que puede soportar el área de impresión 3D sería:

$$56\,000 \text{ cm}^3 \times 1,27 \frac{g}{cm^3} = 71\,120 \text{ g} = 71,12 \text{ kg}$$

Si se utiliza resina epoxi, se debe conocer la densidad de este material. La densidad de la resina epoxi es de aproximadamente $1,2 \frac{g}{cm^3}$. Por lo tanto, el peso máximo que puede soportar el área de impresión 3D sería:

$$56\,000\,cm^3 \times 1,2 \frac{g}{cm^3} = 67\,200\,g = 67,2\,kg$$

Es importante mencionar que este cálculo es teórico y no tiene en cuenta otros factores como la resistencia mecánica de la estructura o los motores de la impresora 3D. Con esos 4 materiales tomados como los más comunes, se ha procedido a tomar el valor máximo de ellos, es decir 71.12kg. Si a este valor se lo multiplica por la gravedad se obtiene el peso máximo que soporta la estructura.

$$9,8 \frac{m}{s^2} \times 71,12\,kg = 696,97\,kgf \approx 6835\,N$$

Para calcular el torque necesario para elevar un peso máximo de 6835 N, necesitamos conocer la fórmula para calcular la fuerza de elevación generada por cada tornillo sin fin. La fórmula es:

$$F = \frac{T \times 2\pi}{d \times \pi}$$

Donde:

$F =$ Fuerza en Newtons

$T =$ Torque en Newton – metro

$d =$ Diámetro del tornillo sin fin en metros

En este caso, la fuerza total es de 6835 N y el diámetro del tornillo sin fin es de 8 mm, lo que equivale a 0.008 metros.

Podemos despejar el torque T de la fórmula anterior:

$$T = \frac{F \times d}{2\pi}$$

Sustituyendo los valores conocidos, obtenemos:

$$T = \frac{6835 \times 0.008}{2\pi} = 21,7\,Nm$$

Al ser un sistema de dos columnas con un motor concéntrico, podemos distribuirlo en dos motores, por lo tanto, se necesita que cada servo genere un torque de 10.85 kg.cm para elevar un peso máximo de 6835 N. Sin embargo, para muy difícilmente se va a querer imprimir una pieza que pese 70kg, ya que siempre se hacen vaciados y reducciones de densidad al mínimo para optimizar costos y tiempo, por ende, se ha decidido trabajar con la 3ra parte de esa masa y aun así parece ser más que suficiente, esto con el fin de usar los motores nema 17 cuyo torque es de 3.9kg.cm.

3.2.3. Modelamiento 3D

Para el modelamiento 3D de la impresora (Figura 8) se ha utilizado principalmente software CAD, en este caso SolidWorks. Este software presenta varias ventajas para el ensamblaje y es compatible con una amplia variedad de formatos 3D para impresión 3D.

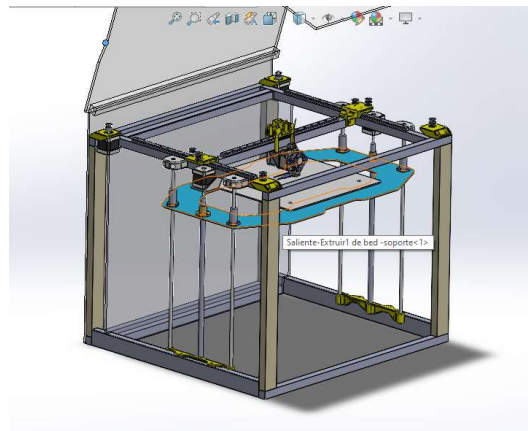


Fig. 8. Modelamiento 3D de la máquina

Algunas de las partes, como los motores NEMA17, el extrusor y los rodamientos, son piezas estándar que no es necesario diseñar desde cero (Figura 9). En su lugar, se han descargado modelos 3D de estas partes de la web y se han importado al modelo de ensamblaje (Ver anexos). Estos modelos 3D son compatibles con nuestro modelado 3D y se han ensamblado en la impresora.

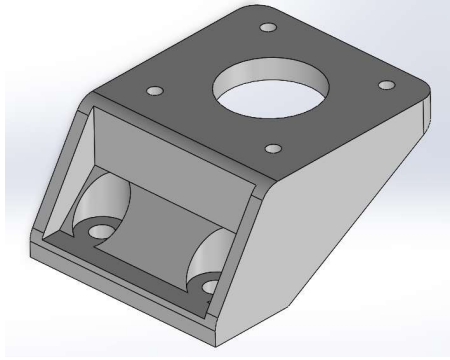


Fig. 9. Soporte para motores Nema 17 compatible con perfiles serie 40

3.2.4. Diseño Electrónico

Para el diseño electrónico de la impresora, se ha seguido un diseño común que se puede encontrar en los diagramas electrónicos de otros fabricantes de impresoras 3D. Se parte desde el microprocesador, que debe ser capaz de gestionar señales de control para todos los motores NEMA 17, que en este caso son 5, además de los sensores de temperatura y el elemento calefactor que es la resistencia que fundirá el filamento 3D.

Lo ideal para este tipo de control y gestión electrónica son varias tarjetas controladoras que ya tienen integrado el microcontrolador, junto con los componentes adicionales que lo alimentan. Este microcontrolador posteriormente se lo puede programar usando el software de Arduino. Esta tarjeta electrónica incorpora los zócalos para drivers que van a controlar la corriente de potencia que se suministra a los motores y otros actuadores. Además, esta tarjeta electrónica tiene puertos para conectar todos los elementos del sistema electrónico.

El trabajo adicional será realizar el cableado a las diferentes partes de la máquina. Se ha realizado un cálculo de consumo eléctrico para obtener el amperaje total que va a requerir la fuente de energía. En este sistema gobierna el voltaje de 12V, y este puede ser fácilmente regulado a 5V para las señales de lógica y control entre sensores y el microcontrolador. Por esta razón, se optó por usar una fuente de poder de 12V a 20 amperios.

En la tabla 1 se observa a detalle el consumo de energía de los componentes usados en la impresora.

Tabla 1. Potencia del sistema

Dispositivo	Amperaje	Cantidad	Voltaje	Potencia
Nema17	<u>1.2</u>	5	12	72

Resistencia calefactora	<u>3.4</u>	1	12	40
TFT35-V2.0	<u>0.15</u>	1	5	0.75
LPC1768	0.1	1	5	0.5
TCM2008	1	4	12	48
Total			-	161.25w

La potencia teórica será de aproximadamente 162w, en los elementos mayormente consumistas, por ende, una fuente de poder comercial de 200w es suficiente para alimentar toda la máquina.

3.2.5. Selección de materiales

Para la tarjeta electrónica controladora principal, se ha decidido utilizar un microcontrolador compatible con Arduino para poder cargar el firmware de Marlin (Figura 10). En cuanto a los motores, se ha seleccionado el modelo NEMA 42x42x40mm ya que tienen la potencia suficiente para mover las correas del mecanismo CoreXY y también son lo suficientemente fuertes para rotar los tornillos sin fin que moverán el eje Z que corresponde a la plataforma que cargará la pieza que se esté imprimiendo en 3D.



Fig. 10. Motor Nema 17

El tipo de extrusor seleccionado es el directo ya que trabaja muy bien con materiales que requieren altas temperaturas, en nuestro caso superior a 230 grados centígrados. Los perfiles para la estructura que se decidió usar son los tipos Bosch de 20x20mm con canales en tipo V, porque esos canales son perfectos para atornillar los elementos mecánicos y piezas que conforman la máquina.

La cama caliente seleccionada es una de área de 35x35cm ya que es la más común y fácil de adquirir en el mercado ecuatoriano. Para fabricar las partes diseñadas en 3D por software, se

ha decidido usar PLA+ y ABS, ya que tienen buena resistencia y soportarán las temperaturas a las que estará sometida el interior de la máquina.

El tipo de rodamientos seleccionados son los de tipo lineal por su alta calidad de precisión y reducida holgura mecánica. Se han utilizado tornillos y tuercas de acero inoxidable ya que son ideales y no se oxidarán. También se optó por ángulos de aluminio para colocar en las esquinas de la estructura y asegurar su rigidez.

3.2.6. Fabricación de piezas

Existen gran variedad de accesorios disponibles en internet que agilitan el proceso de construcción de mecanismos robóticos, lo cual es ideal para ensamblar el prototipo necesario para este trabajo de investigación (Figura 11). Los modelos CAD se los diseña a partir de las necesidades puntuales en cada caso. Los planos de estas piezas y sus respectivas hojas de proceso se encuentran en Anexos.

En cuanto a la fabricación de piezas mediante impresión 3D, las partes que se diseñaron previamente en 3D se han exportado en formato STL para ser importadas a Repetier Host. Este software es el encargado de generar el código G (Ver anexo) de la máquina mediante las configuraciones y parámetros de impresión requeridos. Las partes que se fabricaron por impresión 3D son los soportes de los motores (Figura 12), el soporte del extrusor y el soporte de los ejes. Para llevar a cabo esta tarea se hace uso de la impresora Anet A6.

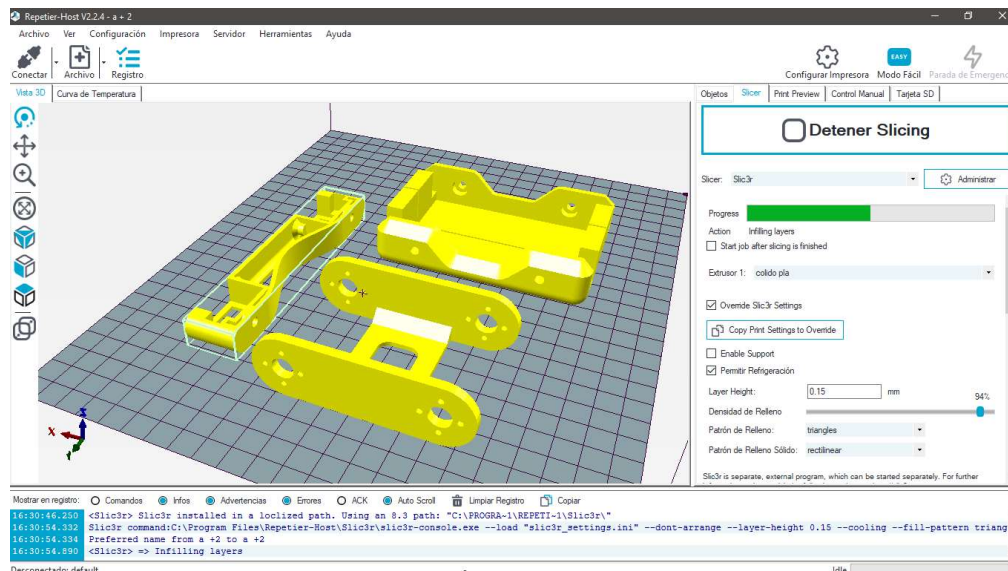


Fig. 11. Preparación de los ajustes previos en el software Repetier Host para la impresión 3D

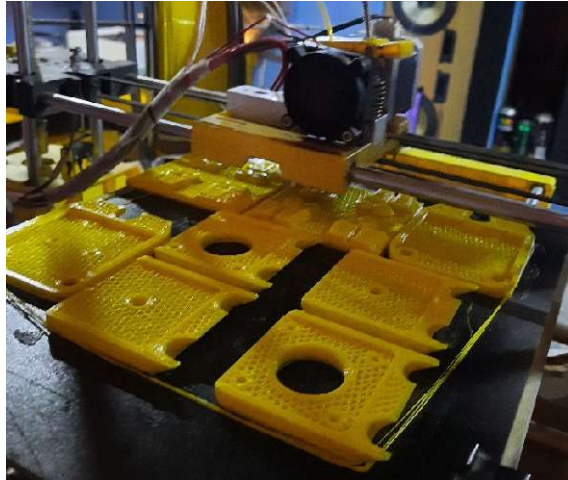


Fig. 12. Proceso de impresión de soportes

3.2.7. Construcción de la máquina

3.2.7.1. Preparación de material. Para la preparación del material, se midieron y cortaron los perfiles de aluminio siguiendo las medidas del modelado 3D. Luego, estos perfiles fueron perforados en las partes que requieren ser atravesados por pernos, haciendo uso de un taladro en un proceso de varias perforaciones consecutivas, es decir, con brocas de diámetro pequeño y gradualmente incrementado el diámetro de la broca.

3.2.7.2. Postproceso. Las piezas fabricadas por impresión 3D se prepararon limpiando las rebabas con una cuchilla y verificando los diámetros de los agujeros con un calibrador pie de rey. En caso de ser necesario, se aplicaron perforaciones con taladro para limpiar esos agujeros (Figura 13).

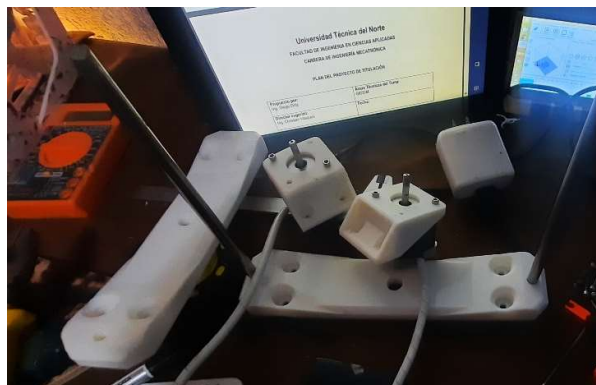


Fig. 13. Montaje de piezas impresas en elementos

Las correas dentadas que hacen parte del sistema CoreXY se colocaron por todo el recorrido y luego se cortaron. En cuanto a los pernos, se ha hecho una evaluación de la longitud

requerida para ser colocados en las piezas que serán ensambladas en la estructura, ya que algunos de estos exceden en longitud y por ende han sido cortados haciendo uso de una amoladora. La preparación del cableado es similar a lo realizado con las bandas, es decir, se coloca el cable por donde va a pasar y se lo corta.

3.2.7.3. Ensamblaje Mecánico. Para el ensamblaje mecánico, se procede a armar la estructura marco general mediante la colocación de las piezas angulares de aluminio, ya que esto mantendrá en la posición deseada los perfiles de aluminio, como se observa en la Figura 14.



Fig. 14. Ensamblaje de perfiles de aluminio

Luego de la estructura general, se continúa con los perfiles internos que también son ensamblados con ángulos, me refiero a las barras intermedias que harán de soporte a parte del recubrimiento de la máquina y soporte de la parte electrónica (Figura 15).

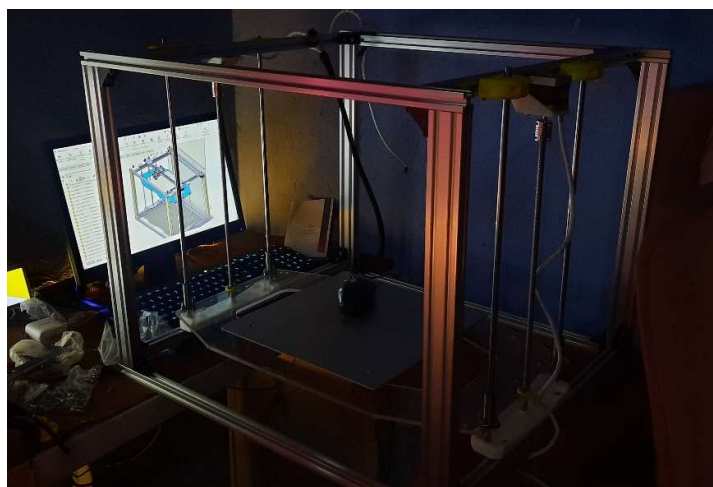


Fig. 15. Estructura de la impresora 3D

El siguiente proceso de ensamblado (Figura 16) consiste en colocar los ejes lisos y tornillos sin fin haciendo uso de las piezas de soporte impresas en 3D. Posteriormente, se procedió a colocar los motores en cada eje y atornillarlos.

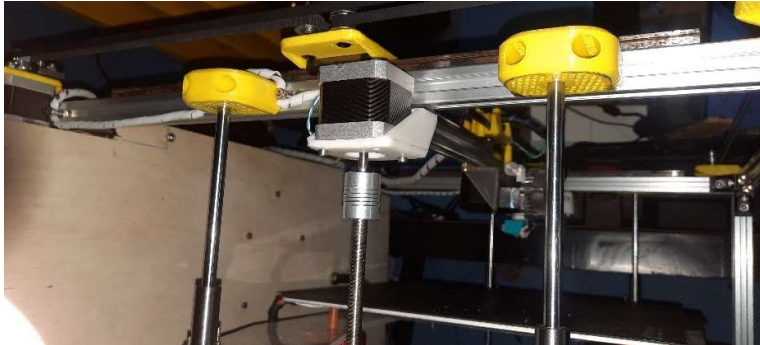


Fig. 4. Ensamblaje de ejes a estructura

Se procede a instalar la base que soporta la cama caliente. En este punto, se hacen diferentes pruebas de movilidad en el eje Z ya que esta plataforma debe subir y bajar completamente sin producir oscilaciones u holguras que deriven en imperfecciones en la impresión 3D (Figura 17).



Fig. 17. Instalación de base de soporte cama caliente

Luego se procede a ensamblar el sistema de movimiento CoreXY, iniciando por la instalación de las poleas y colocación del soporte del extrusor (Figura 18).



Fig. 18. Montaje de sistema de movimiento

Posteriormente se coloca las correas dentadas y evaluar la tensión de estas y movimiento del cabezal en el plano XY (Figura 19).

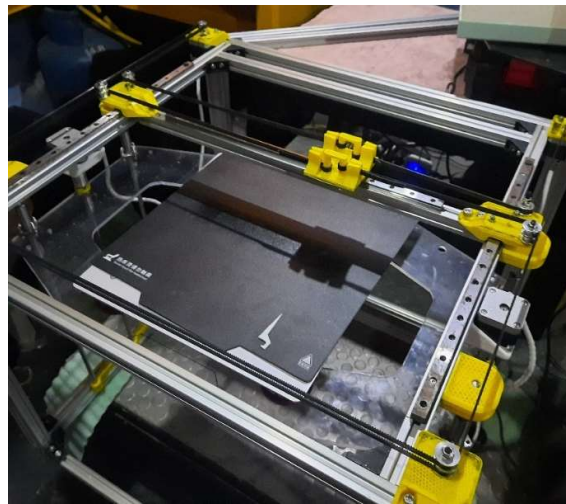


Fig. 19. Verificación de tensión de bandas

3.2.7.4. Ensamblaje electrónico. Como siguiente paso, se procede a distribuir el cableado eléctrico de los distintos sensores y actuadores a través de toda la máquina (Figura 20).

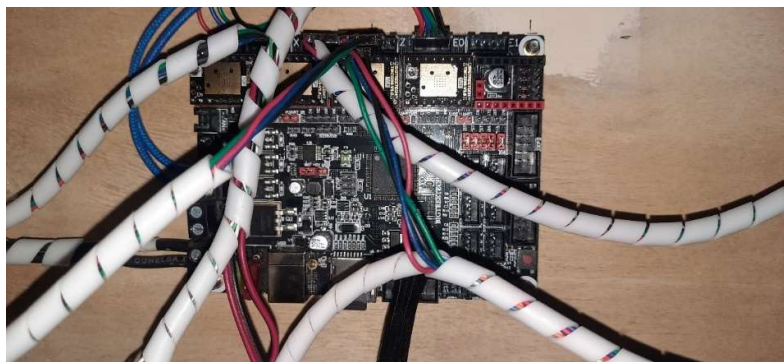


Fig. 20. Distribución de cableado en tarjeta

Finalmente, se procede a hacer las conexiones del cableado con la tarjeta electrónica y la fuente de poder (Figura 21).

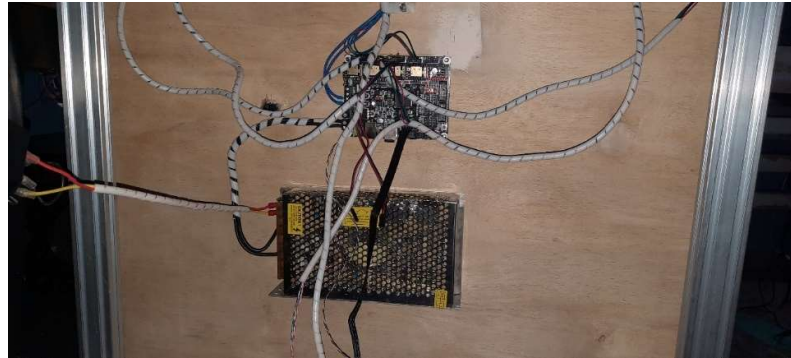


Fig. 21. Montaje de fuente de poder

3.2.7.5. Programación. Para programar la máquina, se debe adquirir el firmware más reciente de la página oficial de Marlin. Luego, se procede a modificar las configuraciones de las variables y demás parámetros en ese algoritmo. Una vez que se realiza todo eso, se compila el código y está listo para ser cargado al microcontrolador. Haciendo uso del mismo software de Arduino, se procede a cargar el firmware al microcontrolador y si todo va bien, se verán los mensajes de inicio en el puerto serial del PC o en la pantalla de la máquina.

3.2.8. Calibración

Para calibrar la máquina, en primera instancia, se verifica que el sentido de giro de cada motor sea el adecuado.

Haciendo uso del software Repetier Host, se puede controlar manualmente cada actuador. Luego de confirmar el sentido de giro de cada eje, se procede a calibrar los pasos (Figura 22). Para esto, se envía una cierta longitud desde el servidor y se compara con el recorrido que haga el eje en la máquina. Se obtienen las variables necesarias para hacer un cálculo de ajuste y calcular los pasos que debe dar cada motor para llegar al recorrido que debe tener.

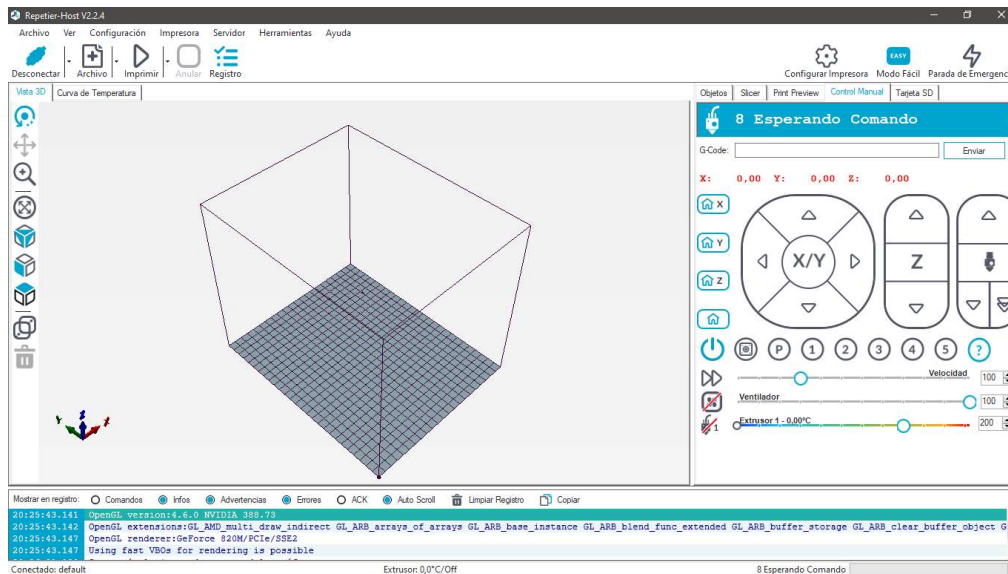


Fig. 22. Pantalla de movimientos manuales en Software Repetier Host

Como última calibración importante está la temperatura del extrusor y cama caliente. Para esto, se define manualmente la temperatura en ambos elementos y mediante un software que puede calibrar la sintonización PID, se procede a hacer esa evaluación. El mismo software luego del proceso de cálculo nos entregará parámetros del PID que finalmente ingresamos mediante el menú o en el firmware de la máquina.

3.3. Funcionamiento

La impresora 3D cuenta con una interfaz gráfica de control manual que permite acceder a distintas configuraciones, controles y calibraciones desde el menú principal. Este menú aparece al iniciar o arrancar la máquina. Para imprimir una pieza, se accede a la ubicación de archivos de la tarjeta SD a través del menú, se selecciona el archivo y se presiona imprimir. A partir de este momento, trabajará en modo automático.

Cuando el proceso automático ha iniciado, la impresora 3D comienza por ubicarse en la posición cero máquina. Luego, el extrusor y la cama caliente proceden a calentarse hasta llegar a la temperatura que el código G lo predisponga. Después de alcanzar las temperaturas esperadas, los ejes comenzarán a moverse y el extrusor comenzará a desplazarse depositando material en la primera capa. Este proceso continuará por cada capa restante y la plataforma irá bajando. Cuando se haya finalizado todas las capas, el extrusor regresará a una posición de reposo y se procede a esperar un momento hasta que la temperatura de la cabina se estabilice. Después de eso, ya se puede retirar la pieza impresa en 3D.

3.4. Prueba de funcionalidad

La prueba de funcionalidad se divide en dos: La prueba manual y la prueba de funcionamiento automático.

3.4.1. *La prueba mecánica*

Para llevar a cabo las pruebas de control manual en la impresora 3D, se puede utilizar la interfaz gráfica manual que permite acceder a distintas configuraciones, controles y calibraciones desde el menú principal. Una de las pruebas que se realizó es la prueba de movimiento de ejes. Para ello, mediante el menú, en movimiento de ejes se procede a desplazar, y comparar el desplazamiento definido por el menú con el desplazamiento obtenido físico en la máquina. Se espera el menor error posible, puesto que las calibraciones ya se han realizado previamente en la etapa de desarrollo de la máquina (Figura 23).

Otra prueba realizada es la prueba de velocidad máxima. En esta prueba, los motores han girado su rotor sin problema a esa velocidad. Cuando no se tiene una correcta calibración, en este punto se pueden detectar trabas o ruidos extraños en los actuadores.

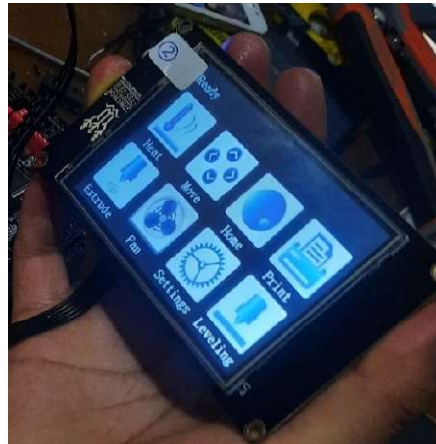


Fig. 23. Interfaz manual grafica para control manual y configuración de la impresora

3.4.2. *La prueba de impresión 3D o prueba automática*

Se ha observado detalladamente el proceso de impresión 3D. Durante esta prueba (Figura 23), se pudo evaluar la textura del material extruido, la porosidad en la pieza, la contextura de las capas y otros parámetros visuales que se esperó y cumplió satisfactoriamente.

Las piezas fabricadas en las primeras pruebas han tenido éxito, ya que se han impreso piezas de inicio a fin sin problemas de interrupción durante el proceso. Esto es una buena señal y demuestra que la impresora 3D está funcionando correctamente.



Fig. 23. Prueba de funcionamiento de impresión 3D del prototipo.

Es importante mencionar que, para llevar a cabo esta prueba, se debe tener en cuenta que los procesos de impresión 3D pueden ser largos y consumir mucho tiempo. Por lo tanto, fue necesario planificar con tiempo esta actividad.

3.5. Factibilidad técnica

En este proceso, tanto el hardware como el software son de fácil acceso. Para la parte del hardware, se requiere una computadora con la potencia suficiente para programar y un cable USB para realizar la mayor parte de la configuración necesaria para el control de la máquina. En cuanto al software, aunque es un tanto más complejo, dispone de todo el soporte requerido. La dificultad mayoritaria es la programación, ya que se debe conocer a detalle cada dispositivo electrónico que hace parte del hardware para llevar a cabo la configuración del firmware. Hay que mencionar que además de todas estas ventajas, el firmware es gratuito y es compatible con una gran variedad de tarjetas electrónicas y microcontroladores que se pueden usar en una impresora 3D.

3.6. Factibilidad legal

La factibilidad legal es cumplible debido a que los diseños mecánicos y el software de aplicación es de uso estándar y cada persona puede adquirirlos sin necesidad de violentar alguna ley o reglamento.

3.7. Factibilidad Económica

La factibilidad económica es un estudio que evalúa la viabilidad financiera de un proyecto. En el caso de la impresora 3D que es capaz de fabricar piezas para autopartes, su valor es de aproximadamente \$2000. Este precio es accesible en lo que se refiere a tecnología de este tipo. Si se desea hacer lo mismo, pero con un área de trabajo más grande, el costo también incrementará, pero con el beneficio de que según el lugar de implementación se puede ahorrar el dueño en su instalación. Lo cual de forma económica lo hace rentable.

Es importante mencionar que las impresoras 3D que actualmente existen en el mercado y tienen un costo aproximado, solo logran imprimir piezas de aproximadamente 15x15x15cm de volumen,

mientras que la nuestra tiene un área de 40x40x35cm. Además, utiliza materiales más económicos que la resina como se aprecia en la Tabla 2 y procesos menos tóxicos en la impresión 3D.

Tabla 2. Presupuesto del proyecto

Rubro	Concepto	Cantidad/U nidades	Costo Unitario US\$	Costo Total US\$
	Servo motor Nema17	5	20	100
	Tarjeta electrónica con drivers			
	Cama caliente	1		50
	Extrusor	1		100
	Fuente de 12v	1		30
Materiales y Suministros	Eje lineal con rodamiento	4		100
	Perfiles de aluminio	10		250
	Filamento para impresión 3D	2kg		50
	Bandas	2		10
	Acoples de motor eje	2		10
	Tornillos	200		200
Equipamiento y Software	Computador	1	500	500
	Taladro	1	70	70
	Cautín	1	10	10
	Horas de impresión 3D	300h	1	300
	Impresiones para el escrito	80	0.05	4
Otros	Internet	3	38	114
	Luz eléctrica	3	20	60
Total			1958	

3.8. Factibilidad Operacional

La impresora 3D es una herramienta tecnológica que ha cambiado drásticamente la forma en que se fabrican piezas y objetos. En cuanto a la factibilidad operacional, tanto el hardware como el

software son fáciles de acceder y utilizar. El hardware para realizar las impresiones es simple y no requiere grandes conocimientos técnicos. Además, el firmware es gratuito y compatible con una gran variedad de tarjetas electrónicas y microcontroladores que se pueden usar en una impresora 3D.

En cuanto a la protección de bioseguridad, es cierto que los procesos de impresión 3D son inofensivos y no requieren medidas de protección especiales. Sin embargo, es importante mencionar que siempre se deben tomar las precauciones necesarias para evitar cualquier tipo de accidente o lesión. En este sentido, el uso de gafas y tapabocas es recomendable para evitar la inhalación de partículas o vapores que puedan ser tóxicos para el ser humano.

En resumen, la impresora 3D es una herramienta fácil de utilizar y no requiere grandes conocimientos técnicos. Además, los procesos son inofensivos y no requieren medidas especiales de protección. Sin embargo, es conveniente tomar las precauciones necesarias evitando cualquier tipo de accidente o lesión.

3.9. Cálculos y resultados

Los resultados de la impresora 3D dependen en gran medida de los cálculos realizados en la construcción de la máquina, tanto en diseño como en calibración. Un buen diseño permitirá obtener un funcionamiento estable mecánica y electrónicamente, mientras que una correcta calibración influirá en la precisión de las dimensiones de la pieza fabricada por la máquina. Por lo tanto, estos dos tipos de cálculos son complementarios entre sí y resultan fundamentales en el normal funcionamiento de la impresora 3D.

3.9.1.1. Cálculo de pasos necesario. Para calibrar los pasos de una impresora 3D, se debe entender que los ejes X, Y y Z se calibran con su fórmula matemática según los componentes mecánicos y la configuración de los controladores. Por ejemplo, por defecto Marlin tiene los valores son 80, 80 y 400 [72].

Para calibrar los pasos por mm, se procede a imprimir una pieza, por lo general un cubo de prueba y medir su grosor con un calibre pie de rey en el centro de cada una de las cuatro caras para calcular su media. Luego, se puede usar la siguiente fórmula para calcular el número de pasos calibrados [72]:

$$\text{Número de pasos calibrados} = \text{número de pasos original} * (\text{grosor esperado} / \text{grosor obtenido en la medida}).$$

Por ejemplo, si el número de pasos original es 130 y el grosor esperado es 0.5 mm, pero el grosor obtenido en la medida es 0.52 mm, entonces el número de pasos calibrados sería:

$$\text{Número de pasos calibrados} = 130 * (0.5/0.52) = 125$$

3.9.2. Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos pueden evaluarse de forma subjetiva, basándose en observaciones y análisis de los detalles visuales de las piezas producidas por la máquina. A continuación, se exhiben las muestras.

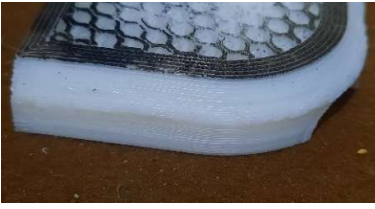
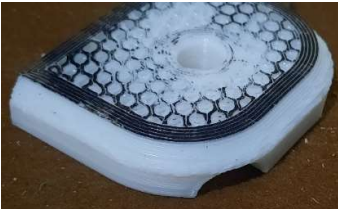
3.9.2.1. **Análisis de resultados.** Las variables que destacan son la densidad, velocidad y alto de capa, ya que en base a esto se puede comparar los valores configurados por software con los valores obtenidos en la práctica. Los parámetros establecidos se han seleccionado debido a que son más fáciles de observar, en la tabla 3 se puede observar de manera más detallada los análisis de resultados de cada medida.

Tabla 3. Análisis de resultados

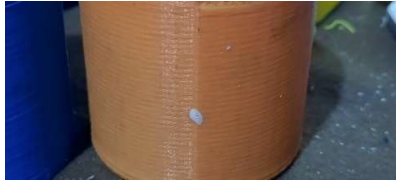
Muestra	Densidad %	Velocidad mm/s	Alto de capa mm
P1	17	50	0.35
P2	35	50	0.35
P3	25	50	0.37

La siguiente comparación contrasta los resultados de la textura visual de tres objetos obtenidos mediante impresión 3D en un sistema cartesiano común y otro usando el sistema CoreXY. En la Tabla 4 se realiza esta comparación y se aplican tres valores de juicio en la columna criterio: 1 si nuestros resultados superan por mucho al sistema cartesiano, 2 si tienen similitud en su acabado y 3 si son inferiores al sistema cartesiano.

Tabla 4. Comparación de impresión sistema cartesiano con sistema CoreXY

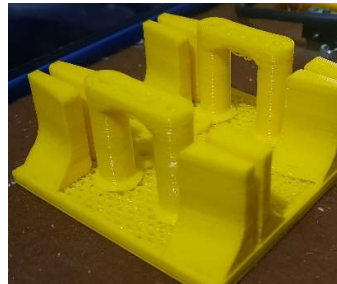
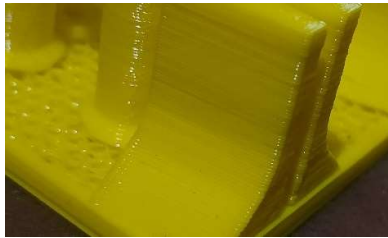
Muestra	Impresión Cartesiana	Sistema corexy	Criterio
P1			1

P2



1

P3



1

Por otra parte, en la Tabla 5 se analizan los valores dimensionales de cada una de las piezas obtenidos y la diferencia entre el valor nominal y el valor real tolerancia en las dimensiones de la pieza impresa.

Tabla 5. Valores de tolerancia en las muestras

Muestra	Ancho (mm)	Ancho real (mm)	Diferencia (mm)	Alto(mm)	Alto real (mm)	Diferencia (mm)	Tolerancia promedio (mm)
P1	35	35,8	0,8	15	15,4	0,4	0,6
P2	28	28,5	0,5	75	75,5	0,5	0,5
P3	45	45,9	0,9	52	52,3	0,3	0,6

4. CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Las oportunidades para la impresión 3D se concentran en la fabricación de piezas como soportes, carcasas y componentes estructuralmente menos críticos, que pueden ser personalizados según las necesidades específicas de reparación o mejora de vehículos.

Las dimensiones finales del área de impresión de la impresora 3D se establecieron en 375x375x360mm, con un sistema de movimiento CoreXY que facilitó la hermeticidad requerida para trabajar con los materiales como ABS y PLA+.

Para el ensamblaje de piezas se hizo uso de elementos electrónicos comerciales tales como perfiles, motores NEMA, acrílicos, correas, poleas y finales de carrera. Para la elaboración de algunas piezas se hizo uso de impresión 3D.

El área de impresión de la máquina es la adecuada para obtener piezas impresas adecuadas en el área automotriz. Dentro de los materiales de fabricación se incluyeron ABS y PLA+, debido a su resistencia y facilidad de impresión obteniendo resultados aceptables en todas sus pruebas de funcionamiento.

4.2.Recomendaciones

Es importante investigar sobre lugares en donde implementar este tipo de soluciones alternativas, ya que muchos sectores del comercio e importación desconocen estas tecnologías que pueden ser desarrolladas e impulsadas localmente.

Se recomienda combinar este sistema de fabricación de piezas con un proceso denominado comúnmente como postprocesado para obtener el resultado estético que es capaz de competir con los clientes más exigentes. Procesos como sellado, pulido y recubrimiento harán que el acabado final de las piezas fabricadas con esta máquina escale considerablemente de nivel.

Si se busca replicar este prototipo, es posible reducir los costos considerablemente si no se pretende cambiar las dimensiones o diseño original planteado. En este caso, optar por perfiles sin ranuras puede bajar a más de la mitad el costo del material usado en la estructura principal del proyecto. Asimismo, si no se busca transparencia en las tapas de recubrimiento de la máquina, se puede optar por materiales diferentes al acrílico. Si aún se desea bajar más en costos, se recomienda usar madera barnizada, de ser posible, para su buena durabilidad en el tiempo.

Como última recomendación, se sugiere realizar la mayor cantidad de muestras posibles en diferentes formas y modelos para evaluar la calidad de impresión de las piezas. Esto permitirá detectar defectos que no son fáciles de percibir en figuras simples como el cubo utilizado para

calibrar. Es importante tener en cuenta que el tipo de pruebas realizadas en este trabajo no limitan la calidad obtenida en la impresión de las piezas.

5. Referencias

- [1] S. Clark, R. Liska, J. Stampfl, M. Gurr y R. Mülhaupt, «Polymers for 3D printing and customized Additive Manufacturing,» *Chemical Reviews*, vol. 117, nº 15, pp. 10214-10215, 2017.
- [2] G. Coba, «En una década la producción de vehículos en Ecuador cayó 77%,» *Primicias*, 9 Noviembre 2019.
- [3] A. Rocamora y M. B. Calero, «El mercado de repuestos para automóviles en Ecuador Abril 2016,» Instituto Español de Comercio Exterior, Quito, 2016.
- [4] Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, «Parque Automotor Ecuatoriano 2018,» *Sector Automotriz en cifras*, vol. 39, p. 11, 3 11 2019.
- [5] Redacción, «Ford imprimirá auto partes en una impresora 3D,» *La Opinión*, 06 Diciembre 2018.
- [6] C. Villarreal, F. Tapia y V. Cárdenas, «Application of Reverse Engineering in the manufacture of Prototypes in Mechanical Parts,» *Communications in Computer and Information Science*, nº 1193, pp. 354-368, 2019.
- [7] B. Cedeño, «Estudio para el modelado e impresión 3D de autopartes,» Guayaquil, 2018.
- [8] A. Blanco, «Repositorio Institucional UPV,» Julio 2020. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10251/153236>. [Último acceso: 20 07 2024].
- [9] M. Benavides y R. Navas, «Fabricación de Repuestos Plásticos para el sector Industrial Manufacturero utilizando Impresoras 3D,» Quito, 2016.
- [10] B. Briceño, E. Llanes, J. Rocha, E. Chamba, D. Cuasapud y A. Cárdenas, «Tecnologías de impresión 3D: Evaluaciones de FDM,» *Enfoque UTE*, vol. 10, nº 3, pp. 13-29, 2019.
- [11] M. Rivera, C. Barba, K. Peñaherrera, D. Dávila y P. León, «Evolution and transformation of rapid prototyping laboratories in Ecuador,» *Revista Minerva: Multidisciplinaria de Investigación Científica*, vol. 2, nº 6, pp. 32-42, 2021.
- [12] C. Macas y K. Pilco, «Construcción de un modelo de fundición mediante la utilización de tecnología de impresión 3D,» Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2016.
- [13] Y. Ichida, «Current Status of 3D Printer Use among automotive Suppliers: Can 3D Printed-parts replace cars Parts?,» *IFEAMA SPSCP*, vol. 5, pp. 59-82.
- [14] C. A. Giffi, B. Gangula y P. Illinda, «3D opportunity in the automotive industry (Additive manufacturing hits the road),» *A Deloitte series on additive manufacturing*, pp. 1-21, 2014.

- [15] S. G. Sarvankar y S. N. Yewale, «Additive Manufacturing in Automobile industry,» *International Journal of Research in Aeronautical and Mechanical Engineering*, vol. 7, nº 4, pp. 1-10, 2019.
- [16] D. Yadav, R. Srivastava y S. Dev, «Design & fabrication of ABS part by FDM for automobile application,» *Materials Today: Proceedings*, vol. 26, nº 2, pp. 2089-2093, 2020.
- [17] P. Quiroga, *Arquitectura de computadoras*, Paraguay: Alfaomega Grupo Editorial Argentino S.A., 2010.
- [18] J. Sierra, M. Colobran, J. Arqués y E. Galindo, «Universidad Oberta de Catalunya,» Septiembre 2012. [En línea]. Available: <https://shorturl.at/75puo>. [Último acceso: 20 07 2024].
- [19] Universida de Sevilla, «Algoritmos y estructuras de programación,» marzo 2009. [En línea]. Available: <https://shorturl.at/GOLHS>. [Último acceso: 20 07 2024].
- [20] J. Sarraipa, A. Artífice y H. Jiménez, «Metodología de Evaluación de Prototipo Innovador,» Julio 2019. [En línea]. Available: <https://shorturl.at/oSfxv>. [Último acceso: 1 Julio 2024].
- [21] L. Herenández Fuyo, Artist, *Automatización y orquestación de herramientas en el proceso de búsqueda de vulnerabilidades en firmware de dispositivos IoT*. [Art]. Universidad de los Andes, 2021.
- [22] Movil Tronics, «Control de un PaP con el driver A4988,» s.f.. [En línea]. Available: <https://moviltronics.com/como-controlar-un-motor-pap-con-el-driver-a4988/>.
- [23] Hardware Libre, «Nema17: todo sobre el motor paso a paso compatible con Arduino.,» s.f.. [En línea]. Available: <https://www.hwlibre.com/nema-17/>.
- [24] Sensorae, «Resistencia calefactora 12v 40w,» s.f.. [En línea]. Available: <https://www.sensorae.com/inicio/1637-resistencia-ceramica-para-hotend-reprap-12-v-40-w-cartucho-ceramico.html#:~:text=Resistencia%20cer%C3%A1mica%20de%2012V%20y%2040W%20para%20el,100K%20para%20alcanzar%20la%20temperatura%20%C3%B3ptima%20de%20extrusi%C3%B3n>.
- [25] A. Méndez, «Disipadores térmicos,» Enero 2016. [En línea]. Available: <https://shorturl.at/cRQCV>. [Último acceso: 20 Julio 2024].
- [26] R. Habibur, *An Instruction Manual on Basic Electronics*, Dakha: DS Printing and Packing, 2022.
- [27] P. Ponce, «Ciencia y Tecnología: Sistemas Robustos,» Junio 2012. [En línea]. Available: <https://shorturl.at/3N6cA>. [Último acceso: 20 Julio 2024].
- [28] Erasmus & 3D Printing Vet Centers, «3D Printing Technical Guide - Summary,» Enero 2017. [En línea]. Available: <https://shorturl.at/5jyPt>. [Último acceso: 20 Julio 2024].
- [29] K. Wong, «A Review of Additive Manufacturing,» *ISRN Mechanical Engineering*, vol. 2012, 2012.

- [30] J. Gardan, *Additive Manufacturing technologies*, CRC Press, 2017.
- [31] C. Tuck, R. Hague y N. Burns, «Rapid manufacturing: Impact on supply chain methodologies and practice,» *International Journal of Services and Operations Management*, vol. 3, nº 1, 2007.
- [32] C. Weller, R. Kleer y F. T. Piller, «Implicaciones económicas de la impresión 3D: modelos de estructura de mercado a la luz de la fabricación aditiva revisados,» *Revista Internacional de Economía de la Producción*.
- [33] H. Rogers, N. Baricz y K. Pawar, «3D printing services: classification, supply chain implications and research agenda,» *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 46, nº 10, pp. 886-907, 2016.
- [34] S. Susana, «3Dnatives,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/descubriendo-los-metales-de-la-impresion-3d/#!>.
- [35] JosefPrusa, «Prusa Research,» 2021. [En línea]. Available: https://blog.prusa3d.com/es/primer-vistazo-a-la-original-prusa-xl-una-impresora-corexy-con-una-primera-capa-siempre-perfecta-y-un-monton-de-nuevas-caracteristicas_58312/.
- [36] N. Shahrubudin, T. Lee y R. Ramlan, «An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications,» *Procedia Manufacturing*, vol. 35, pp. 1286-1296, 2019.
- [37] FORMLABS, «Guía de materiales de impresión 3D: Tipos, aplicaciones y propiedades,» 2023. [En línea]. Available: <https://formlabs.com/es/blog/materiales-impresion-3d/>.
- [38] I. Durgun y R. Ertan, «Experimental investigation of FDM process for improvement of mechanical properties and production cost,» *Rapid Prototyping Journal*, vol. 20, nº 3, pp. 228-235, 2014.
- [39] I. Gil Gil, Artist, *La impresión 3D y sus alcances en la arquitectura*. [Art]. Universidad Politécnica de Madrid, 2015.
- [40] Dassault Systems, «Impresión 3D,» 3DEXPERIENCE Make, [En línea]. Available: <https://www.3ds.com/es/make/guide/process/3d-printing>. [Último acceso: 22 Julio 2024].
- [41] V. Fernandez-Pacheco, Artist, *Guía para la mejora de calidad de fabricación en impresoras 3D de bajo coste*. [Art]. Universidad Politécnica de Madrid, 2020.
- [42] A. Ortiz, «Las impresoras 3D como herramientas científicas,» Observatorio Astronómico de la Universidad de Valencia, Valencia, 2019.
- [43] M. Szilsi-Nagy y G. Mátyási, «Analysis of STL files,» *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 38, nº 7-9, pp. 945-960, 2003.
- [44] F. Bordignon, A. A. Iglesias y Á. Hahn, *Diseño e impresión de objetos 3D: una guía de apoyo*, 2018.

- [45] T. Duong, N. Jaksic, J. DePalma, B. Ansaf, M. Daniel, J. Armijo y M. Galaviz, «G-code Visualization and Editing Program for Inexpensive Metal 3D Printing,» *Procedia Manufacturing*, vol. 17, pp. 22-28, 2018.
- [46] H. Salem y M. Elksasy, «3D Applications To Fight Against Pandemics: 3d Printing Aiding In Sustainable Technology,» *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 16, n° 23, pp. 2492-25-07, 2021.
- [47] A. Valderrama, «Diseño e Implementación de un Sistema de Control CNC Compatible e intercambiable para impresión 3D, corte y fresado de materiales blandos en aplicaciones didácticas,» 2020. [En línea]. Available: <https://shorturl.at/6ORSg>. [Último acceso: 20 Julio 2024].
- [48] F. Gaede, «Marlin and LCCD—Software tools for the ILC,» *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 559, n° 1, pp. 177-180, 2006.
- [49] «Design and Fabrication of FDM Based Portable 3D Printer,» Abril 2020. [En línea]. Available: <https://shorturl.at/2Eipq>. [Último acceso: 24 Julio 2024].
- [50] F. Cajo, «Prototipo Multipropósito Fresadora CNC e Impresora Volumétrica,» Universidad Tecnológica Israel, Quito, 2019.
- [51] Bosh Company, «Rexroth Bosh Company,» s.f. [En línea]. Available: <https://www.boschrexroth.com/es/es/productos/grupo-de-productos/tecnologia-de-montaje/temas/perfiles-de-aluminio-soluciones-y-componentes/>.
- [52] Motion King, «2-Phase Hybrid Stepper Motors,» s.f. [En línea]. Available: http://www.motionking.com/Products/Hybrid_Stepper_Motors/2-phase/17H2A_Stepper_Motor_42mm_1.8degree.htm.
- [53] V. Carmona, «Diseño y Prototipado de Extrusor para impresora 3D de alimentos,» Universidad Politécnica de Valencia, 2016.
- [54] Servitec3D, «Qué es el extrusor de una impresora 3D y cómo funciona,» s.f. [En línea]. Available: <https://servitec3d.com/blog/extrusor-impresora-3d/>.
- [55] Impresoras3D.com, «Guía Extrusores para Impresora 3D,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.impresoras3d.com/la-guia-definitiva-extrusores-para-impresoras-3d/>.
- [56] M. Vélez Montecinos, Artist, *Koala 3D: Impresora 3D capaz de fabricar objetos de altura mayor que su propia altura*. [Art]. Universidad de Chile, 2017.
- [57] 3DFILS, «Extrusión directa vs extrusión Bowden [Fotografía],» 2021. [En línea]. Available: <https://www.3dfils.com/es/blog/entrada/extrusion-directa-vs-bowden.html>.
- [58] Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la información, «Agenda de Transformación Digital del Ecuador 2022-2025,» Abril 2022. [En línea]. Available: <https://shorturl.at/yiuGb>. [Último acceso: 25 Julio 2024].
- [59] Ecuador Digital, «Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información,» Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. [En línea]. [Último acceso: 11 Agosto 2023].

- [60] C. Rivera, J. Espinosa y Y. Valdés, «La investigación científica en las universidades ecuatorianas. Prioridad del sistema educativo vigente,» *Revista Cubana de Educación Superior*, vol. 36, n° 2, 2017.
- [61] L. Álvarez y J. Juncosa, «La evaluación y acreditación de la educación superior ecuatoriana y la producción editorial,» *Universitas*, vol. 2, n° 21, pp. 163-181, 2014.
- [62] T. Mejía, «Investigación Bibliográfica: Definición, Tipos, Técnicas.,» Lifeder, 03 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.lifeder.com/investigacion-bibliografica/>. [Último acceso: 23 Agosto 2023].
- [63] D. Coral, «Guías Laboratorio de pensamiento y lenguajes,» Septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://shorturl.at/Lim16>. [Último acceso: 21 Julio 2024].
- [64] T. Mejía, «Investigación descriptiva: Características, técnicas, ejemplos,» Lifeder, 27 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.lifeder.com/investigacion-descriptiva/>. [Último acceso: 23 Agosto 2023].
- [65] Equipo Editorial Lifeder, «Método experimental,» Lifeder, 07 Abril 2022. [En línea]. Available: <https://www.lifeder.com/metodo-cientifico-experimental/>. [Último acceso: 23 agosto 2023].
- [66] R. Hernández, C. Fernández y P. Baptista, *Metodología de la investigación*, Colombia: Panamerica Formas e Impresos S.A..
- [67] R. Singh y D. & Gupta, «Innovación en el diseño de componentes del sistema de enfriamiento mediante impresión 3D,» *International Journal of Mechanical Engineering*, 2019.
- [68] A. Thomas, «La eficiencia de la impresión 3D en la producción de soportes y monturas personalizados en la industria automotriz,» *Journal of Automotive Manufacturing*, 2018.
- [69] L. Zhao y D. & Gu, «Impresión 3D de componentes de suspensión: un estudio sobre materiales compuestos,» *Journal of Suspension Systems*, 2018.
- [70] M. Thompson, «El futuro de la fabricación de engranajes y piezas mecánicas mediante impresión 3D,» *Mechanics Today*, 2020.
- [71] V. Petrovic, «La impresión 3D en la fabricación de herramientas personalizadas y jigs en la industria automotriz,» *Journal of Automotive Innovation*, 2011.
- [72] HTA3D, «Guía definitiva de calibración para tu impresora 3D 3DSteel 2021,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.hta3d.com/es/blog/guia-definitiva-de-calibracion-para-tu-impresora-3d-3dsteel-2021>.
- [73] S. V. OLIVA, «LA IMPRESIÓN 3D COMO,» s.f..
- [74] TP3D, «Importancia de conocer el extrusor de tu impresora 3D,» 2023. [En línea]. Available: <http://novedades.tp3d.com.ar/la-importancia-de-conocer-el-extrusor-de-tu-impresora-3d/>.

6. Anexos

6.1. Anexo 1

Hoja de datos drivers de control para motores paso a paso

POWER DRIVER FOR STEPPER MOTORS

INTEGRATED CIRCUITS

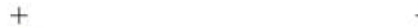
TMC2208/2 & TMC2224/10/5 family Datasheet

TMC2202, TMC2208, TMC2220, TMC2224, TMC2225 Step/Dir Drivers for Two-Phase Bipolar Stepper Motors up to 2A peak - stealthChop™ for Quiet Movement - UART Interface Option.



APPLICATIONS

Compatible Design Upgrade
3D Printers
Printers, POS
Office and home automation
Textile, Sewing Machines
CCTV, Security
ATM, Cash recycler
HVAC



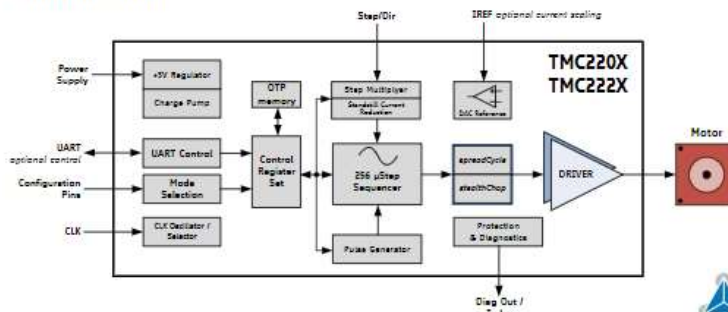
FEATURES AND BENEFITS

2-phase stepper motors up to 2A coil current (peak)
STEP/DIR Interface with 2, 4, 8, 16 or 32 microstep pin setting
Smooth Running 256 microsteps by microPlyer™ interpolation
stealthChop2™ silent motor operation
spreadCycle™ highly dynamic motor control chopper
Low RDSon LS 280mΩ & HS 290mΩ (typ. at 25°C)
Voltage Range 4.75... 36V DC
Automatic Standby current reduction (option)
Internal Sense Resistor option (no sense resistors required)
Passive Braking and Freewheeling
Single Wire UART & OTP for advanced configuration options
Integrated Pulse Generator for standalone motion
Full Protection & Diagnostics
Choice of QFN, TQFP and HTSSOP packages for best fit

DESCRIPTION

The TMC2202, TMC2208, TMC2220, TMC2224 and TMC2225 are ultra-silent motor driver ICs for two phase stepper motors. Their pinning is compatible to a number of legacy drivers. TRINAMIC's sophisticated stealthChop2 chopper ensures noiseless operation, maximum efficiency and best motor torque. Its fast current regulation and optional combination with spreadCycle allow for highly dynamic motion. Integrated power-MOSFETs handle motor current up to 1.4A RMS. Protection and diagnostic features support robust and reliable operation. A simple to use UART interface opens up more tuning and control options. Application specific tuning can be stored to OTP memory. Industries' most advanced STEP/DIR stepper motor driver family upgrades designs to noiseless and most precise operation for cost-effective and highly competitive solutions.

BLOCK DIAGRAM



TRINAMIC Motion Control GmbH & Co. KG
Hamburg, Germany



6.2. Anexo 2

Hoja de datos motor nema 17



Datasheet Rev. 5.2

NEMA 17, NEMA 23 and NEMA 34



	NEMA	IP 20			IP20			IP65			IP20		IP65	
		17S	17M	17L	23S	23M	23L	23S	23M	23L	34M	34L	34M	34L
Input Power, Nominal ($\pm 10\%$)	VDC	14-48	14-48	14-48	14-48	14-48	14-48	14-48	14-48	14-48	14-48	14-48	14-75	14-75
Auxiliary Input Power, Nominal ($\pm 10\%$)	VDC	6-24	6-24	6-24	6-24	6-24	6-24	6-24	6-24	6-24	6-24	6-24	6-24	6-24
Auxiliary Input Power, Maximum	W	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Detent Torque	mNm	15	25	25	40	70	120	40	70	120	250	350	250	350
Thrust Load Limit	kg	0.28	0.36	0.6	0.6	1.0	1.5	0.6	1.0	1.5	2.7	3.8	2.7	3.8
Overhung Load Limit (from shaft end)	N	20	20	20	50	50	50	50	50	50	260	260	260	260
Rotor Inertia	g cm ²	57	82	123	260	460	750	260	460	750	1850	2750	1850	2750
Holding torque at continuous current	Nm	0.35	0.45	0.65	1.1	1.8	2.6	1.1	1.8	2.6	3.5	5.5	5	7.7
Holding torque at peak current	Nm	0.5	0.6	1.05	1.3	2.1	3.25	1.3	2.1	3.25	4.5	7	6.3	9
Continuous Output Current	A	1.8	1.8	1.8	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	7	7	7	7
Peak Output Current (application dependent)	A	3.5	3.5	3.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	11.5	11.5	11.5	11.5
Step Angle	deg	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Magnetic Encoder, Resolution	ppr	4096	4096	4096	4096	4096	4096	4096	4096	4096	4096	4096	4096	4096
Circuit Loss	W	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Weight	kg	0.37	0.44	0.59	0.80	1.13	1.75	0.84	1.18	1.83	3.05	4.30	3.30	4.50
Connection Hardware Screw Size/Torque	Nm	0.63	0.63	0.63	3	3	3	3	3	3	5.2	5.2	5.2	5.2
Under-Voltage Trip, Nominal	VDC												Logic	
Over-Voltage Trip	VDC												Logic	

stepIM Integrated Closed Loop Stepper Motor

Control

Feature	Specification	
Operation Modes	Selectable	Profile position, Velocity, Profile velocity, Profile torque, Homing, Cyclic synchronous position
Display		Bi-color LED
Software Tools	User Interface	ServoStudio, Windows-based
	Functions	Connection settings, Drive info, Power info, I/O configuration, Motion settings and tuning, Fault history/display
Rotary Units	Position	Counts
	Velocity	rpm/100
	Acc/Dec	rpm/100/s

Communication

Feature	Specification	
CANopen	CANopen – CiA 301 application layer and CiA 402 device profile for drives and motion control. Baud rate 10 kbps – 1 Mbps CAN ID 1 – 126 (Default 101) Heartbeat producer, SDO, PDO (dynamic mapping)	
EtherCAT	CANopen – CiA 301 application layer and CiA 402 device profile for drives and motion control. Communication cycle time: up to 250 μ s	

Protection and Environment

Feature	Specification	
Protective Functions	I ² T limit, Over-voltage, Under-voltage, Drive over-temperature, Over-speed, Velocity error, Position error, Magnet missing, Power stage fault, PLL lock lost, Position command error, Acceleration / deceleration violation	
Standards	IP20 CE, IP65 CE Pending UL Pending	
Environment	Ambient temperature: Operation 0 – 40°C, Storage 0 – 70°C Heat sink max. temperature: 100°C Motor max. temperature: 120°C Humidity: 10 – 90% Altitude: If in accordance with specified clearances, per IEC 61800-5-1, the stepIM is rated for use at altitudes up to 2000m Vibration: under review	
Operating Conditions	Protection class: IP20 or IP65 Pollution degree: 2 as per IEC 60664-1 Do not use where the following are present: corrosive gases, flammable gases, water, oil, chemicals, dust (including iron dust and salts)	
Configuration	Flange mounting	

Inputs/Outputs

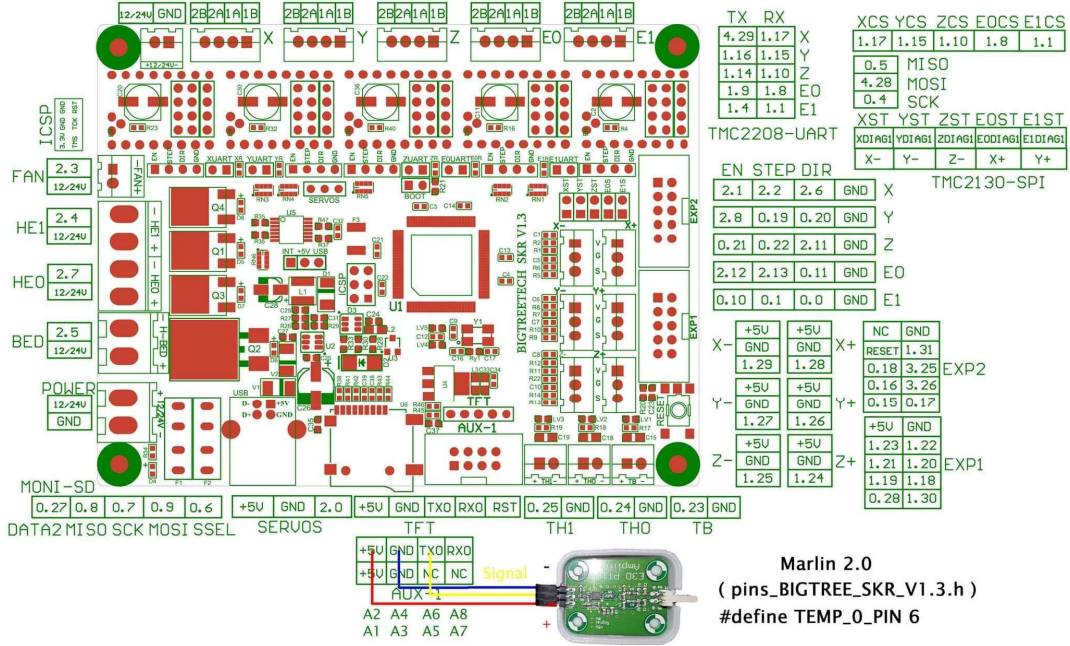
Feature	Specification	
1x Analog Input	Signal	Analog \pm 10 VDC differential
	Functions	User define
	Input Resolution	12 bit
	Input Impedance	94 k Ω
	Bandwidth (-3 db)	8 KHz
4x Digital Input Exception: 3x Digital Input on NEMA23 IP65	Signal	Configurable opto-isolated, User defined compatibility with sinking or sourcing input. Exception: sinking input only on NEMA 17.
	Functions	Homing, limit switch, remote enable, start motion command for profiled position operation mode
	Voltage High Level Input	30 V
	Min. High Level Input	11 V
	Max. Low Level Input	5 V
	Input Resistance	2.2 k Ω Except: 24 k Ω NEMA17 IP20
	Max. Input Frequency	1 kHz
	Isolation Voltage	2500 Vrms
	Max. Input Current	According to max. voltage level, input current is not limited, drive limits the input current
	Propagation Delay Time	1 ms
2x Digital Output Exception: 1x Digital Output on NEMA23 IP65	Signal	Configurable open collector. User defined compatibility with opto-isolated sinking output or sourcing output.
	Functions	Motor speed set, Current, Motor speed set clear, Regen resistor control, Motion completed, In position, Zero speed, Software position limit switch, Active, User selectable.
	Voltage	30 V
	Max. Current	500 mA
	Min. Load Resistance	60 Ω
	Output Voltage	0.25 V
	Min. Propagation Delay Time	1 ms (may be longer if load current is lower)

6.3. Anexo 3

Main diagrama electrónico

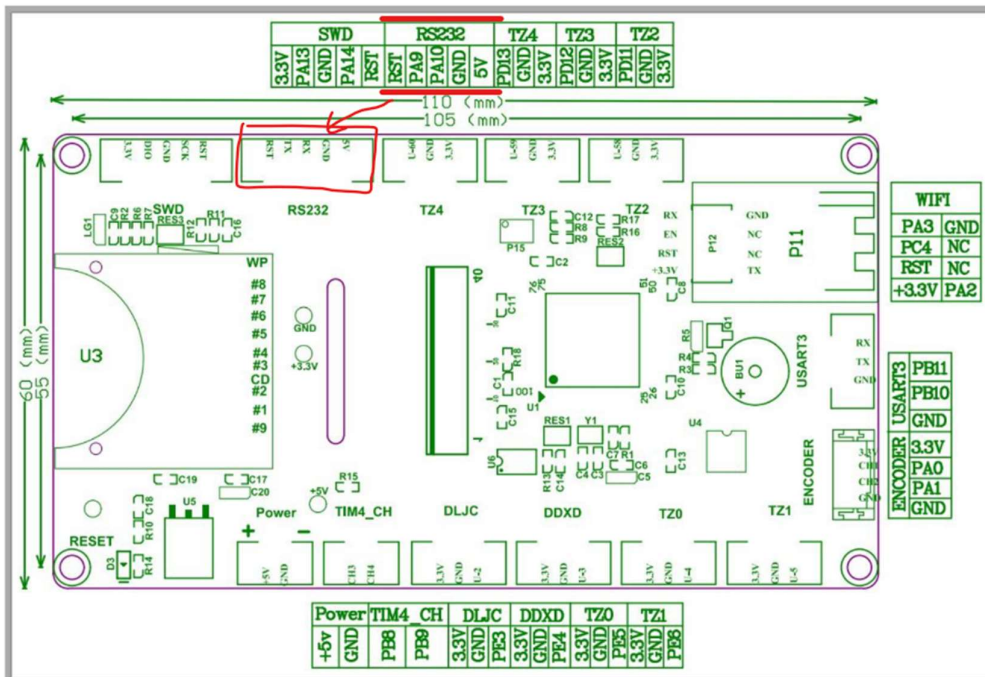
BIGTREE TECH SKR V1.3-PIN

WWW.BIGTREE-TECH.COM



6.4. Anexo 4


TFT35 V2.0



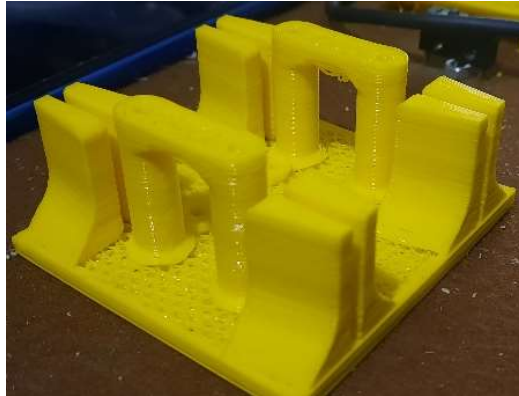
6.5. Anexo 5

Hojas de procesos para piezas impresas

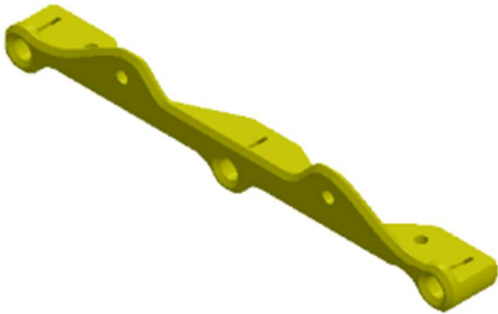
Proyecto	Desarrollo de una impresora 3D para partes automotrices	Plano Nro.	s/n	Trabajo Nro.	1	Fecha: 20/07/2024
Pieza	Pieza de prueba 1	Material	PLA+	Hoja:	1/1	
Realizado por:	Edison Pinchao		Observaciones:			
						
Parámetros		Unidad de medida		Descripción		
Velocidad		mm/s		60		
Diámetro de boquilla		mm		4		
Altura de capa		mm		0,15		
Ancho de pared		mm		1,2		
Diámetro filamento		mm		1,75		
Temperatura de extrusión		°C		220		
Temperatura de cama caliente		°C		50		
Ventilador		%		75		
Relleno		%		25		
Patrón de relleno				Triangular		
Soportes				No		

Proyecto	Desarrollo de una impresora 3D para partes automotrices	Plano Nro.	s/n	Trabajo Nro.	2	Fecha: 20/07/2024
Pieza	Pieza de prueba 2	Material	PLA+	Hoja:	1/1	
Realizado por:	Edison Pinchao		Observaciones:			
						
Parámetros		Unidad de medida		Descripción		
Velocidad		mm/s		60		
Diámetro de boquilla		mm		4		
Altura de capa		mm		0,15		
Ancho de pared		mm		1,2		
Diámetro filamento		mm		1,75		
Temperatura de extrusión		°C		220		
Temperatura de cama caliente		°C		50		
Ventilador		%		75		
Relleno		%		25		
Patrón de relleno				Triangular		
Soportes				No		

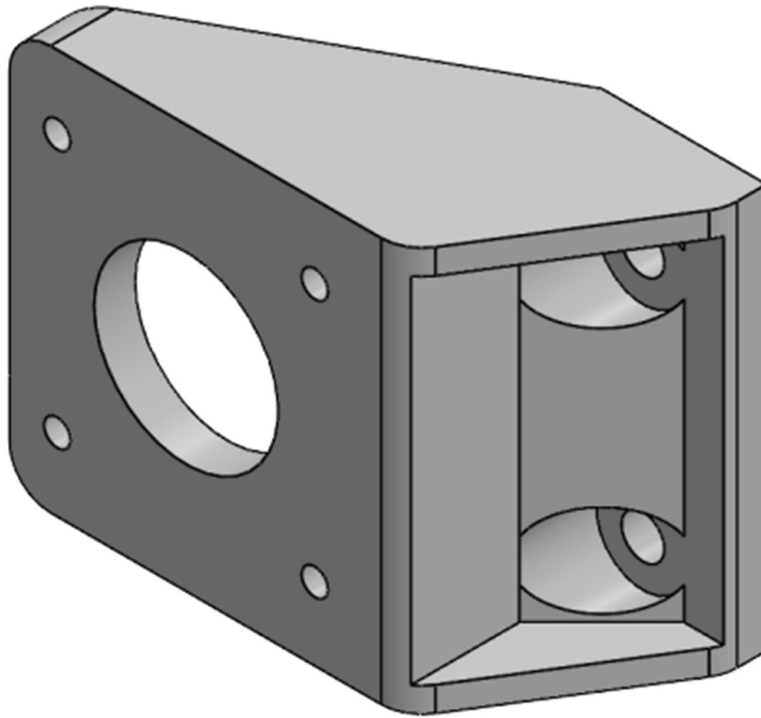
Proyecto	Desarrollo de una impresora 3D para partes automotrices	Plano Nro.	s/n	Trabajo Nro.	3	Fecha: 20/07/2024
Pieza	Pieza de prueba 3	Material	PLA+	Hoja:	1/1	
Realizado por:	Edison Pinchao		Observaciones:			



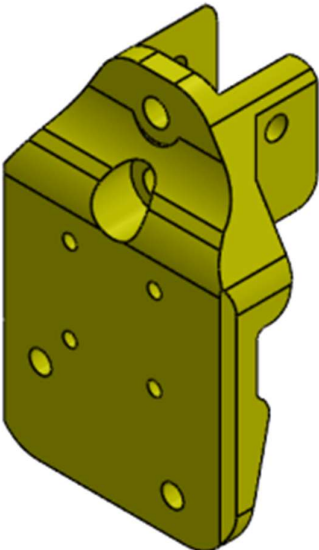
Parámetros	Unidad de medida	Descripción
Velocidad	mm/s	60
Diámetro de boquilla	mm	4
Altura de capa	mm	0,15
Ancho de pared	mm	1,2
Diámetro filamento	mm	1,75
Temperatura de extrusión	°C	220
Temperatura de cama caliente	°C	50
Ventilador	%	75
Relleno	%	25
Patrón de relleno		Triangular
Soportes		No

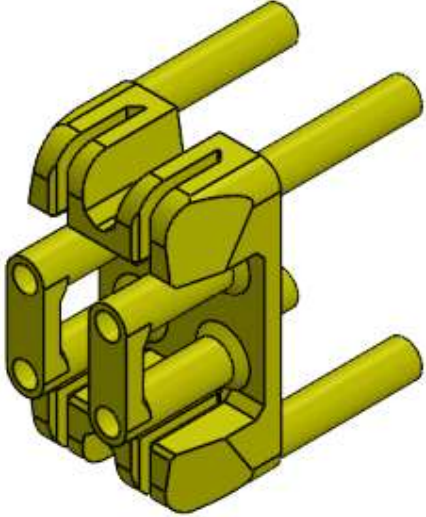
Proyecto	Desarrollo de una impresora 3D para partes automotrices	Plano Nro.	CIME-Imp3D-004	Trabajo Nro.	4	Fecha: 20/07/2024
Pieza	Soporte de eje Z	Material	ABS	Hoja:	1/1	
Realizado por:	Edison Pinchao		Observaciones:			
						
Parámetros	Unidad de medida	Descripción				
Velocidad	mm/s	40				
Diámetro de boquilla	mm	4				
Altura de capa	mm	0,1				
Ancho de pared	mm	1,2				
Diámetro filamento	mm	1,75				
Temperatura de extrusión	°C	220				
Temperatura de cama caliente	°C	50				
Ventilador	%	100				
Relleno	%	20				
Patrón de relleno		Triangular				
Soportes		No				

Proyecto	Desarrollo de una impresora 3D para partes automotrices	Plano Nro.	CIME-Imp3D-005	Trabajo Nro.	5	Fecha: 20/07/2024
Pieza	Soporte de motor NEMA 17	Material	ABS	Hoja:	1/1	
Realizado por:	Edison Pinchao		Observaciones:			



Parámetros	Unidad de medida	Descripción
Velocidad	mm/s	40
Diámetro de boquilla	mm	4
Altura de capa	mm	0,1
Ancho de pared	mm	1,2
Diámetro filamento	mm	1,75
Temperatura de extrusión	°C	220
Temperatura de cama caliente	°C	50
Ventilador	%	100
Relleno	%	20
Patrón de relleno		Triangular
Soportes		Normal (15%)

Proyecto	Desarrollo de una impresora 3D para partes automotrices	Plano Nro.	CIME-Imp3D-006	Trabajo Nro.	6	Fecha: 20/07/2024
Pieza	Soporte de rodamientos	Material	ABS	Hoja:	1/1	
Realizado por:	Edison Pinchao		Observaciones:			
						
Parámetros	Unidad de medida	Descripción				
Velocidad	mm/s	40				
Diámetro de boquilla	mm	4				
Altura de capa	mm	0,1				
Ancho de pared	mm	1,2				
Diámetro filamento	mm	1,75				
Temperatura de extrusión	°C	220				
Temperatura de cama caliente	°C	50				
Ventilador	%	100				
Relleno	%	20				
Patrón de relleno		Triangular				
Soportes		Normal (15%)				

Proyecto	Desarrollo de una impresora 3D para partes automotrices	Plano Nro.	CIME-Imp3D-007	Trabajo Nro.	7	Fecha: 20/07/2024
Pieza	Soporte de extrusor	Material	ABS	Hoja:	1/1	
Realizado por:	Edison Pinchao		Observaciones:			
						
Parámetros	Unidad de medida	Descripción				
Velocidad	mm/s	35				
Diámetro de boquilla	mm	4				
Altura de capa	mm	0,1				
Ancho de pared	mm	1,2				
Diámetro filamento	mm	1,75				
Temperatura de extrusión	°C	220				
Temperatura de cama caliente	°C	50				
Ventilador	%	100				
Relleno	%	20				
Patrón de relleno		Triangular				
Soportes		Normal (20%)				