



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

TEMA:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MULTICABEZAL A
UNA IMPRESORA 3D.”**

AUTOR: Geovanny Xavier Ruiz Imbat

DIRECTOR: Ing. Daniel Álvarez

Ibarra-Ecuador

2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE. BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003664644		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Ruiz Imbat Geovanny Xavier.		
DIRECCIÓN:	Imbabura, Cotacachi.		
EMAIL:	geovannyruiz87@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	062914252	TELÉFONO MÓVIL:	0996915911

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MULTICABEZAL A UNA IMPRESORA 3D
AUTORA :	Ruiz Imbat Geovanny Xavier
FECHA:	Diciembre del 2017
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	Pregrado
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Mecatrónica
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Daniel Álvarez.



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

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Geovanny Xavier Ruiz Imbat, con cédula de identidad Nro. 100366464-4, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) 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 (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 20 días del mes de Diciembre de 2017

EL AUTOR:

Geovanny Xavier Ruiz Imbat

Cédula: 100366464-4



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE
LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, **Geovanny Xavier Ruiz Imbat**, con cédula de identidad Nro. **100366464-4**, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado denominado: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MULTICABEZAL A UNA IMPRESORA 3D.”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 20 días del mes de Diciembre de 2017

A handwritten signature in blue ink, reading 'Geovanny Xavier Ruiz Imbat', is written over a horizontal dotted line.

Geovanny Xavier Ruiz Imbat

Cédula: 100366464-4



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

DECLARACIÓN

Yo, Geovanny Xavier Ruiz Imbat, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; y que este no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.

Mediante la presente declaración concedo el derecho de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las leyes de Propiedad Intelectual, Reglamentos y Normatividad vigente de la Universidad Técnica del Norte.

A handwritten signature in blue ink, reading 'Geovanny Xavier Ruiz Imbat', is written over a horizontal dotted line.

Geovanny Xavier Ruiz Imbat

Cédula: 100366464-4



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

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica con el tema IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MULTICABEZAL A UNA IMPRESORA 3D, fue desarrollado por el Sr. Geovanny Xavier Ruiz Imbat, bajo mi dirección.


.....
Ing. Daniel Álvarez
DIRECTOR



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

DEDICATORIA

La presente Tesis está dedicada de manera especial a Dios, el cual con su infinita bondad ha permitido el cumplimiento de todos mis logros, tanto profesionales como personales, guiándome siempre por el buen camino y ayudándome a superar todas las adversidades que se han presentado, enseñándome así a no desmayar y seguir siempre adelante.

A cada miembro de mi familia los cuales han desempeñado un papel elemental en mi formación profesional, contando siempre con su apoyo incondicional, su ayuda y colaboración constante en los buenos y malos momentos de mi vida.

Geovanny Ruiz



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

AGRADECIMIENTO

Agradezco a toda mi familia que son lo más valioso que tengo, por haberme brindado su apoyo incondicional en cada etapa de mi formación, ya que fueron el pilar fundamental para la construcción de mi vida profesional, a la Universidad Técnica del Norte por brindarme conocimientos técnicos-científicos en mi área de estudio, a mi amigo Carlos Endara por todos sus consejos, y de manera especial a mi Asesor de Tesis Ingeniero Daniel Álvarez por brindar sus conocimientos desinteresadamente cada vez que fueron solicitados.

Geovanny Ruiz.

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MULTICABEZAL A UNA IMPRESORA 3D

Autor: Geovanny Ruiz

RESUMEN

Este trabajo de titulación presenta la implementación de un sistema multicabezal a una impresora 3D, el cual puede intercambiar cabezales de forma automática utilizando acoples magnéticos, el mecanismo permite optimizar el uso del espacio en el eje x.

El proyecto inicia con la investigación bibliográfica sobre los diferentes tipos de impresoras 3D existentes, los materiales que se emplean en la impresión 3D, y los sistemas multicabezales que se encuentran en el mercado.

El diseño de la estructura base para la implementación del sistema multicabezal se lo realiza en base a cálculos matemáticos, se selecciona el material adecuado que garantice la vida útil de la máquina y se comprueba la fiabilidad y resistencia con la ayuda de un software CAD.

La selección de materiales se la realiza con tablas de selección en donde se presentan varias opciones, con sus ventajas y desventajas, escogiendo las de mejores prestaciones para cada caso.

El control del sistema intercambiador de cabezales se lo realiza mediante un script que acondiciona las líneas de código en el archivo G-code para la correcta posición de los extrusores de forma automática.

La elaboración de planos de todas las partes de la impresora son realizados bajo la norma de dibujo mecánico INEN, las piezas son manufacturadas y ensambladas para luego proceder a probar su correcto funcionamiento, realizando las correcciones necesarias para mejorar la calidad de impresión.

Keywords: Impresora, extrusor, multicabezal, intercambiador.

IMPLEMENTATION OF A MULTICABEZAL SYSTEM TO A 3D PRINTER

Author: Geovanny Ruiz.

ABSTRACT

This titling work presents the implementation of a multi-head system to a 3D printer, which can exchange heads automatically using magnetic couplings, the mechanism allows optimizing the use of space on the x-axis.

The project begins with bibliographic research on the different types of existing 3D printers, the materials used in 3D printing, and multi-head systems that are on the market.

The design of the base structure for the implementation of the multi-head system is carried out based on mathematical calculations, the appropriate material is selected that guarantees the useful life of the machine and the reliability and resistance is checked with the help of CAD software.

The selection of materials is made with selection tables where several options are presented, with their advantages and disadvantages, choosing the best performance for each case.

The control of the head exchanger system is carried out by means of a script that conditions the lines of code in the G-code file for the correct position of the extruders automatically.

The elaboration of plans of all the parts of the printer are made under the INEN mechanical drawing norm, the pieces are manufactured and assembled and then proceed to prove their correct operation, making the necessary corrections to improve the print quality.

Keywords: Printer, extruder, multi-head, exchanger.

Contenido

INTRODUCCIÓN	XVII
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	XVII
OBJETIVO GENERAL	XVII
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	XVII
ANTECEDENTES	XVIII
JUSTIFICACIÓN.....	XIX
ALCANCE.....	XIX
 CAPITULO I	
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. LA IMPRESIÓN 3D	1
1.2. TIPOS DE IMPRESORAS 3D	2
1.3. TECNOLOGÍAS DE IMPRESIÓN 3D.....	3
1.3.1. MODELADO POR DEPOSICIÓN DE MATERIAL FUNDIDO (FDM)	3
1.3.2. ESTEREOLITOGRAFIA (SLA)	3
1.3.3. SINTETIZADO SELECTIVO POR LÁSER (SLS)	4
1.3.4. PROYECCIÓN AGLUTINANTE (DSPC)	5
1.4. PROCESO DE IMPRESIÓN EN 3D	6
1.5. MATERIALES UTILIZADOS EN LA IMPRESIÓN 3D	7
1.5.1. PLÁSTICOS RÍGIDOS	8
1.5.2. FLEXIBLES	9
1.6. FIRMWARE	11
1.7. PASOS EN LOS EJES X,Y y Z.	12
1.8. MODELADO 3D	13
1.9. G-CODE.....	14
1.10. EXTRUSORES	15
1.11. SELECCIÓN ENTRE UNA IMPRESORAS 3D CARTESIANA Y DELTA.	17
1.12. SISTEMAS DE DESPLAZAMIENTO	18
1.13. INTERCAMBIADOR DE CABEZALES	20
 CAPITULO II	
2. METODOLOGÍA	23
2.1. GENERALIDADES DEL DISEÑO.....	23
2.2. DISEÑO MECÁNICO	23
2.3. SELECCIÓN DE MATERIALES.....	24
2.4. SELECCIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO Y PROGRAMACIÓN.....	24

2.5.	ENSAMBLAJE DEL MECANISMO	24
2.6.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	24
2.7.	DESARROLLO DEL MARCO METODOLÓGICO	25
2.7.1.	REQUISITOS DE DISEÑO	25
2.7.2.	ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA SOPORTE	26
2.7.3.	MODULO DE SECCIÓN DE LA VIGA	29
2.7.4.	DISEÑO DEL SISTEMA MULTICABEZAL EN UNA IMPRESORA 3D	31
2.7.5.	SISTEMA DE CAMBIO DE CABEZAL.....	32
2.7.6.	ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS EN EL SISTEMA MULTICABEZAL	33
2.7.7.	SELECCIÓN DE MATERIALES.	37
2.7.8.	SISTEMA DE CONTROL.	49
2.7.9.	CONFIGURACIÓN DEL FIRMWARE MARLIN	49
2.7.10.	CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE REPETIER-HOST	54
2.7.11.	CONFIGURACIÓN DEL CURAENGINE	56
2.7.12.	SCRIPT PARA EL INTERCAMBIO AUTOMÁTICO DE EXTRUSORES.....	58
2.7.13.	PROGRAMACIÓN.....	59
2.7.14.	FABRICACIÓN DE COMPONENTES ESTRUCTURALES.	61
2.7.15.	ENSAMBLAJE	63
2.7.16.	PROCESO DE ENSAMBLAJE	64
2.7.17.	MONTAJE DE LA ESTRUCTURA BASE.	64
2.7.18.	MONTAJE DE LAS VARILLAS DE SUJECIÓN.....	65
2.7.19.	IMPLEMENTACIÓN DE LOS CARROS DE DESPLAZAMIENTO EN LOS EJES X y Y.	65
2.7.20.	MONTAJE DEL SISTEMA DE EXTRUSORES.	66
2.7.21.	MONTAJE DE LA MESA DE TRABAJO.	67
2.7.22.	MONTAJE DE LOS MOTORES PASO A PASO.	67
2.7.23.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO.....	68
 CAPITULO III		
3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	69
3.1.	ESPECIFICACIONES OBTENIDAS EN LA IMPRESORA 3D	69
3.2.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.	71
3.3.	CORRECCIONES REALIZADAS A LA MÁQUINA	74
3.4.	ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO	84
3.4.1.	COSTOS DIRECTOS DE FABRICACIÓN DEL DISPOSITIVO	84
3.4.2.	COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN	84

3.4.3. COSTO TOTAL	85
CAPITULO IV	
4.1. CONCLUSIONES	86
4.2. RECOMENDACIONES	87
BIBLIOGRAFÍA.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Impresora 3D trabajando.....	1
Figura 1.2. Modelado por deposición de material fundido	3
Figura 1.3. Estereolitografía.....	4
Figura 1.4. Sintetizado selectivo por laser.....	4
Figura 1.5. Proyección aglutinante	5
Figura 1.6. Laminado por capas	5
Figura 1.7. Filamentos de PLA.....	8
Figura 1.8. Figura impresa en resina	9
Figura 1.9. Filaflex	10
Figura 1.10. Ninjaflex	11
Figura 1.11. Interfaz común de un software CAD	14
Figura 1.12. Extrusor Rep Rap Mendel	16
Figura 1.13. Sistema de desplazamiento tipo Alfa	18
Figura 1.14. Sistema de desplazamiento HBOT.....	19
Figura 1.15. Sistema Core XY	20
Figura 1.16. Intercambiador Lineal	21
Figura 1.17. Intercambiador de acoples magnéticos.....	21
Figura 2.1. Estructura soporte del sistema multicabezal.....	26
Figura 2.2. Interpretación de las fuerzas que actúan sobre una viga de la estructura base.....	26
Figura 2.3. Diagrama de cuerpo libre de una sección de la estructura base	27
Figura 2.4. Diagrama de cortes y momentos	29
Figura 2.5. Trayectoria que sigue el cabezal para cambiar de extrusor.....	32
Figura 2.6. Cargas.....	33
Figura 2.7. Análisis de von Mises pieza 1	34
Figura 2.8. Análisis de von Mises pieza 2	34

Figura 2.9. Desplazamiento pieza 1.....	35
Figura 2.10. Desplazamiento pieza 2.....	35
Figura 2.11. Factor de seguridad pieza 1	36
Figura 2.12. Factor de seguridad pieza 2	36
Figura 2.13. Impresora 3D modelo CupCake de MakerBot	45
Figura 2.14. Ubicación del archivo Marlin.ino.....	50
Figura 2.15. Configuración de hardware a utilizar.	50
Figura 2.16. Impresora, ajustes de conexión.	54
Figura 2.17. Configuración Impresora.....	55
Figura 2.18. Configuración extrusor.....	55
Figura 2.19. Configuración del área de impresión.....	56
Figura 2.20. Configuración del CuraEngine	56
Figura 2.21. Configuración del Filamento.....	57
Figura 2.22. Configuración de banderas.....	57
Figura 2.23. Montaje de estructura.....	64
Figura 2.24. Montaje de varillas de sujeción.	65
Figura 2.25. Montaje de carros de desplazamiento.....	66
Figura 2.26. Montaje del extrusor	66
Figura 2.27. Montaje de la mesa de trabajo.....	67
Figura 2.28. Posición de motores	68
Figura 2.29. Ramp 1,4.....	68
Figura 3.1. Modelo STLD del cubo de 6 capas	71
Figura 3.2. Cubo impreso	71
Figura 3.3. Modelo de impresión en forma de malla.	72
Figura 3.4. Impresión de dos colores en forma de malla.	72
Figura 3.5. Modelo de impresión de un cono	73
Figura 3.6. Impresión de un cono de dos colores	73
Figura 3.7. Primera impresión 3D.	74
Figura 3.8. Impresión del soporte del extrusor.	74
Figura 3.9. Soporte de extrusor con base para un sensor inductivo.	75
Figura 3.10. Swich de inicio de carrera en el eje X.	75
Figura 3.11. Mejora para evitar que el extrusor pierda su posición vertical.	76

Figura 3.12. Segunda mejora en la base del porta extrusor.....	76
Figura 3.13. Soporte para el cuerpo del extrusor	77
Figura 3.14. Base para extrusor.....	77
Figura 3.15. Sistema de doble sujeción para el extrusor.....	78
Figura 3.16. Cuarta mejora en el soporte del extrusor	79
Figura 3.17. Corrección en el guarda extrusor.....	79
Figura 3.18. Segunda mejora en el guarda extrusor.....	80
Figura 3.19. Zorro impreso.....	81
Figura 3.20. Dinosaurio impreso	82
Figura 3.21. Busto impreso	83

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.Pasos por milímetro en el eje X y Y.	12
Ecuación 2.Pasos por milímetro en el eje Z.....	12
Ecuación 3. Factor de seguridad.....	30
Ecuación 4. Módulo de sección.....	30
Ecuación 5.Potencia	42
Ecuación 6. Potencia total consumida	44
Ecuación 7. Resolución en grados.	46
Ecuación 8. Torque para elevar cargas con un sinfín.	46
Ecuación 9. Avance del sinfín	47
Ecuación 10. Resolución	69
Ecuación 11. Pasos por milímetro	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Tipos de impresoras 3D.....	2
Tabla 1.2. Principales materiales de impresión 3D.....	7
Tabla 1.3. Ejemplos de código G.	15
Tabla 1.4. Comparativa de impresoras 3D	17
Tabla 2.1. Condiciones para el análisis de elementos finitos.....	33
Tabla 2.2. Selección de drivers.....	37

Tabla 2.3. Tarjetas de control de impresoras 3D	38
Tabla 2.4. Ventajas y desventajas en actuadores eléctricos.	39
Tabla 2.5. Extrusores y sus características.	40
Tabla 2.6. Selección de imanes	41
Tabla 2.7. Propiedades de los materiales	48
Tabla 2.8. Elementos impresos en 3D	61
Tabla 2.9. Ensamble	63
Tabla 3.1. Costos directos	84
Tabla 3.2. Costos indirectos	85
Tabla 3.3. Costo total	85

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.NEMA 17	93
Anexo 2. Tubos cuadrados de aluminio	95
Anexo 3. Carro lineal	96
Anexo 4.Varillas de acero redondas	97
Anexo 5. Eje de apoyo SK12	98
Anexo 6. Husillo chumacera acople motor.....	99
Anexo 7. Set 3D Poleas y banta dentada GT2	100
Anexo 8. Extrusor	101
Anexo 9. Ramp 1.4.....	102
Anexo 10. Driver DVR8825	105
Anexo 11. Cama caliente	107
Anexo 12. Ventilador	108
Anexo 13. Fuente de alimentación.	109
Anexo 14. Código para cambio de extrusor	110
Anexo 15. Imanes de neodimio	114
Anexo 16. Script para modificar el G-code	115
Anexo 17. PLA	117
Anexo 18. Manual de usuario.....	119
Anexo 19. PLANOS.....	124

INTRODUCCIÓN

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente la Universidad Técnica del Norte cuenta con un centro de mecanizado en el cual existen impresoras 3D que trabajan con un solo tipo de extrusor de material sólido limitando las características físicas y mecánicas en la impresión de la pieza.

La prospectiva es mejorar y facilitar el proceso de manufactura a través de los siguientes beneficios en contraste con otros métodos tradicionales y son los siguientes: alta velocidad de impresión, la combinación de componentes en un mismo proceso sin necesidad de un nuevo proceso la impresión, se minimiza el control de operación y el proceso es seguro.

Para el mejoramiento en el proceso de manufactura en diferentes materiales se realizará la construcción de una impresora 3D con sistema de cambio automático de extrusores.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un sistema multicabezal para la implementación a una impresora 3D.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar requerimientos de diseño óptimo para el sistema multicabezal.
- Seleccionar los componentes mecánicos y electrónicos del sistema multicabezal.
- Integrar los componentes mecánicos y electrónicos del sistema multicabezal para la impresora 3D.
- Validar el diseño y construcción de funcionamiento de la impresora 3D.

ANTECEDENTES

Las impresoras 3D en los últimos tiempos se han vuelto cada vez más comunes, presentan mejores prestaciones e imprimen mejor y más rápido. Las impresoras convencionales están formadas por un único cabezal de impresión y a su vez por solamente un extrusor.

La impresión 3D se ha incorporado en la mayor parte del mercado global, y también se han hecho muy solicitados sistemas en donde permita la impresión de dos colores en una misma pieza, apareciendo los sistemas intercambiadores de cabezales para impresoras 3D.

Los sistemas intercambiadores de cabezales se basan fundamentalmente en retirar el cabezal de impresión en uso y colocar un reemplazo con un color de filamento diferente, sin perder posición ni precisión de impresión 3D.

SISTEMAS EXISTENTES

Prometheus se compone de un novedoso sistema de extrusión que se conecta a las placas base de cualquier impresora 3D FDM para convertirse, según asegura Distech, en máquinas multi-materiales de calidad.

El Hot End V2, además, incluye el ProStruder, un extrusor con cinco veces más fuerza de torsión que los extrusores convencionales y el ProFeeder, el cual coge dos filamentos y desde el extrusor los canaliza en una única salida que alimenta el Hot End. Permitiendo de esta manera a la impresora cambiar fácilmente el filamento e imprimir distintos materiales desde una sola boquilla. (Impresoras3d.com, 2017)

Así mismo existen intercambiadores de cabezales con extrusores independientes, entre los que encontramos de acoples magnéticos y de cabezales unidos en un eje lineal. Siendo todos estos

sistemas de código abierto por lo que pueden ser modificados y mejorados sin ningún tipo de inconveniente.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente para el desarrollo de prototipos 3D se lo realiza a través de un polímero de características rígidas y únicas, para resolver y mejorar este procedimiento se desea implementar a una impresora 3D un sistema multicabezal de cambio automático de extrusores mejorando las características del prototipo 3D por la utilización de materiales sólidos y materiales flexibles en el mismo cuerpo.

Con la implementación del sistema multicabezal de impresora 3D se pretende mejorar el prototipito 3D de las diferentes piezas que se desea construir estableciendo mejores características y propiedades a las piezas que se va a imprimir en este dispositivo a un bajo costo, minimizando la cantidad de insumos y ahorrando el tiempo empleado.

ALCANCE

Para el diseño y ensamble del sistema multicabezal en la impresora 3D se determina las características necesarias para su construcción, el mismo que consta con un sistema de cambio automático de dos tipos de extrusores, con un diseño adaptable para el sistema de posicionamiento.

El sistema de control para el accionamiento de los extrusores viene dado mediante una instrucción previa de programación que acciona el extrusor que se va a utilizar, la interfaz del usuario es de software libre.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. LA IMPRESIÓN 3D

La impresión 3D es un proceso de fabricación en que un objeto tridimensional es creado, a partir de un modelado digital, mediante la aplicación de capas sucesivas de material fundido, desplazando el sistema de inyección de material a través de coordenadas generadas por software, tal como se aprecia en la *Figura 1.1*.

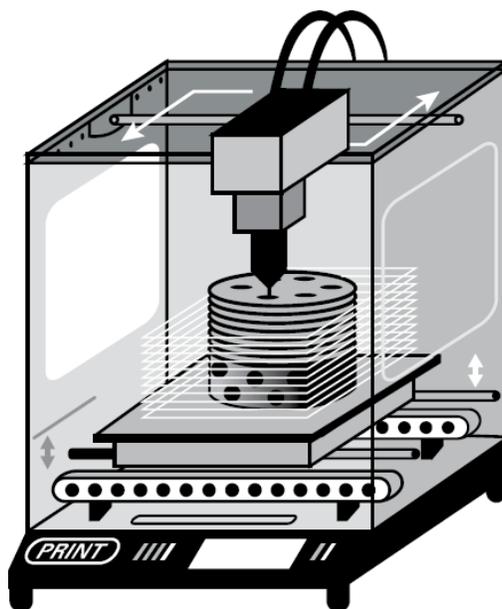


Figura 1.1. Impresora 3D trabajando.

Fuente:(Kirk Hausman & Horne, 2014)

La principal diferencia de la impresión 3D con los procesos tradicionales de mecanizado, se basa en que la impresión 3D adiciona material para obtener el objeto deseado, en cambio los procesos tradicionales como el torneado, fresado, pulido, corte, etc. se basan básicamente en la extracción de material.(Romero Barreno & Vaca Morales, 2015)

1.2. TIPOS DE IMPRESORAS 3D

Las impresoras 3D se clasifican en función de la tecnología de impresión 3D que estas emplean, en la *Tabla 1.1* se puede observar de mejor manera los tipos de impresoras 3D existentes en función de las tecnologías de impresión que disponen y/o trabaja cada impresora.

Tabla 1.1.
Tipos de impresoras 3D

TIPO	TECNOLOGÍA	MATERIALES
Extrusión	Modelado por deposición fundida (FDM)	Termoplásticos (PLA,ABS), HDPE, metales eutécticos, materiales comestibles.
Hilado	Fabricación por haz de electrones (EBF3)	Casi cualquier aleación.
Granulado	Sintetizado directo de metal por láser (DMLS)	Casi cualquier aleación.
	Fusión por haz de electrones (EBM)	Aleaciones de titanio
	Sintetizado selectivo por calor (SHS)	Polvo termoplástico
	Sintetizado selectivo por láser (SLS)	Termoplásticos, polvos metálicos, polvos cerámicos
	Proyección aglutinante (DSPC)	Yeso
Laminado	Laminado de capas (LOM)	Papel, papel de aluminio, capa de plástico
Fotoquímicos	Estereolitografía (SLA)	Fotopolímero
	Foto polimerización por luz ultravioleta (SGC)	Fotopolímero

Fuente:https://www.imaginarium.es/pdfs/3D/INTRODUCCION_3D_IMAGINARIUM_ES.pdf

1.3. TECNOLOGÍAS DE IMPRESIÓN 3D.

1.3.1. MODELADO POR DEPOSICIÓN DE MATERIAL FUNDIDO (FDM)

La tecnología de modelado por deposición de material fundido se lleva a cabo sobre una mesa con movimiento vertical y un cabezal automatizado en dos movimientos planos ortogonales, en la *Figura 1.2* se puede observar y entender de mejor manera el proceso que realiza este tipo de modelado. El cabezal funciona como extrusor alimentado por un filamento de material termoplástico. (Lopez Leyva, 2012)

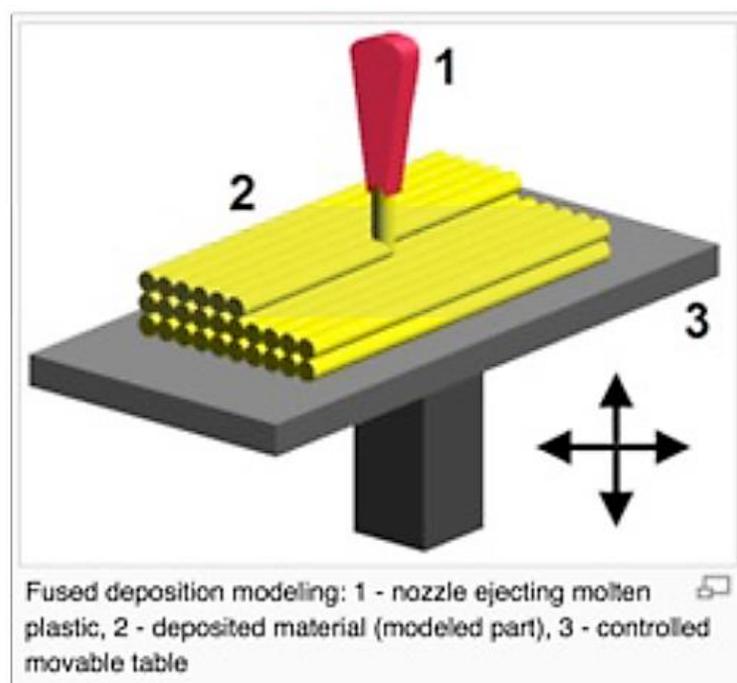


Figura 1.2. Modelado por deposición de material fundido

Fuente: (ICTP, 2013)

1.3.2. ESTEREOLITOGRAFIA (SLA)

En este proceso se emplea un láser UV (ultravioleta) que se proyecta sobre un baño de resina fotosensible líquida para polimerizarla. En la *Figura 1.3* se puede apreciar cómo se realiza el proceso de estereolitografía.

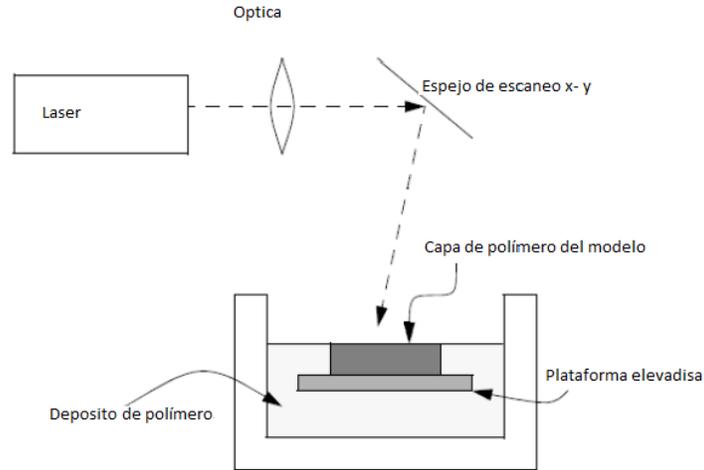


Figura 1.3. Estereolitografía

Fuente: (Lopez Leyva, 2012)

1.3.3. SINTETIZADO SELECTIVO POR LÁSER (SLS)

En este proceso se deposita una capa de polvo de unas décimas de mm en una cuba que se ha calentado a una temperatura ligeramente inferior al punto de fusión del polvo (Ver *Figura 1.4*), a continuación un láser CO₂ sinteriza el polvo en los puntos seleccionados. (Infante Martín, 2012)

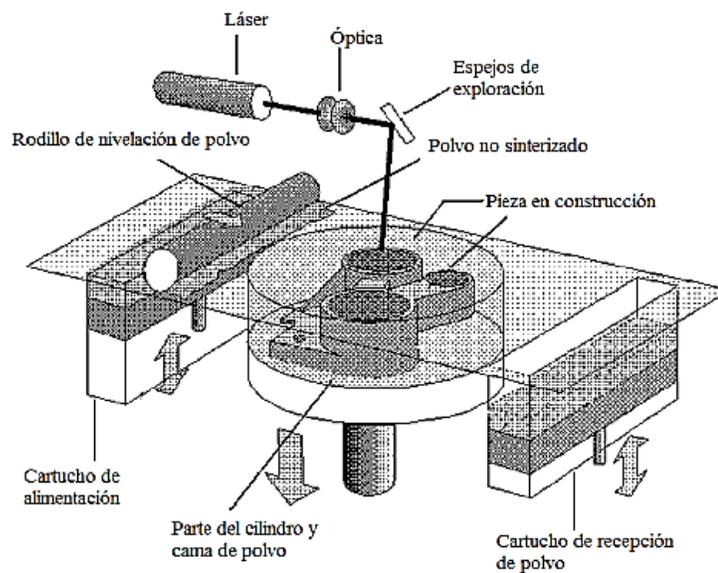


Figura 1.4. Sintetizado selectivo por laser

Fuente: (Infante Martín, 2012)

1.3.4. PROYECCIÓN AGLUTINANTE (DSPC)

Esta tecnología trabaja mediante la deposición de material en polvo en capas y la mezcla selectiva del mismo mediante la impresión de “chorro de tinta” de un material aglutinante como se aprecia en la *Figura 1.4.*(Infante Martín, 2012)

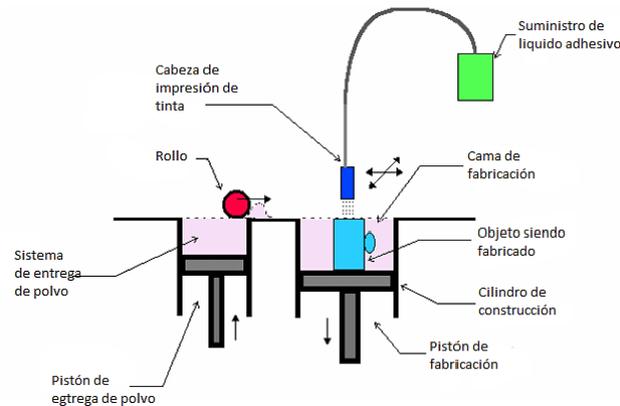


Figura 1.5. Proyección aglutinante

Fuente:(Lopez Leyva, 2012)

1.3.5. FABRICACIÓN POR CORTE Y LAMINADO (LOM)

El laminado por capas, se basa en el uso de una hoja de papel encolada que se posiciona automáticamente sobre una plataforma y se prensa con un rodillo caliente quedando adherida a la hoja precedente como se ve en la *Figura 1.6.*(Infante Martín, 2012)

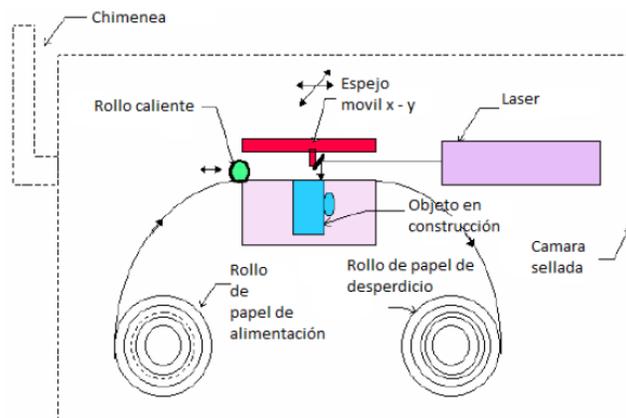


Figura 1.6. Laminado por capas

Fuente:(Lopez Leyva, 2012)

1.4. PROCESO DE IMPRESIÓN EN 3D

El proceso de impresión en 3D es largo y complejo, donde se ejecutan varios pasos necesarios para que la impresora trabaje sin ningún problema, el proceso se detalla en el siguiente diagrama de flujo (ICTP, 2013)



1.5. MATERIALES UTILIZADOS EN LA IMPRESIÓN 3D

Los materiales utilizados en la actualidad dentro de la impresión 3d se dividen en dos grandes grupos los cuales son: plásticos y metales, a los que hay que añadir también las cerámicas y materiales orgánicos.

Las impresoras personales imprimen en su mayoría a partir de dos plásticos, el ABS y el PLA; pero existen modelos que funcionan por depósito de filamento fundido (FDM), los cuales admiten materiales comestibles como el chocolate, queso y glaseado de azúcar, entre otros.(Berchon & Luyt, 2016)

Tabla 1.2.
Principales materiales de impresión 3D

Materiales orgánicos	Cerámicos	Plásticos	Metales
Ceras	Aluminio	ABS (acrilonitrilo butadieno estireno)	Aluminio
Tejidos/células	Mullita Circonio	PLA (poliácido láctico) PET (politereftalato de etileno)	Acero de utillaje Titanio
	Carburo de silicio Beta-fosfato tricálsico Resinas epoxy con partículas de carga en cerámica (nano) Silice (arena) Yeso	Poliamida (nylon) Poliamida reforzada PEEK (polieteretercetona)	Inconel Cromo-cobalto Resinas epoxy termoestables Acero inoxidable Oro/platino
	Grafito	Cobre PMMA (polimetacrilato de metilo) PC (policarbonato) PPSU o PPSF (polifenilsulfona) Ultem Alumide	Hastelloy

Fuente:(Berchon & Luyt, 2016)

Los materiales que se muestran en la *Tabla 1.2* principalmente se usan dentro de la impresión 3D, los cuales tienen diferentes usos dependiendo de sus propiedades y para la fabricación de los artículos que se requieran.

1.5.1. PLÁSTICOS RÍGIDOS

Los plásticos más usados dentro de la impresión 3D son el ABS, el PLA, PET y otros polímeros que permiten ser moldeados por efecto del calor.

El ABS.- Es uno de los materiales de la impresión 3D que más se usa en las impresoras personales. Tienen un punto de fusión entre los 200 y 250°C y requiere de la utilización de una bandeja de impresión térmica, es un material de excelente resistencia a los golpes y ofrece un acabado liso y brillante. La diferencia principal con el PLA es que el ABS no es biodegradable. (Berchon & Luyt, 2016)

EL PLA.- Generalmente, las impresoras 3D que utilizan la técnica FDM no admiten más de dos tipos de materiales; el ABS y el PLA (*Figura 1.7*), este último se funde a una temperatura comprendida entre 160 y 220°C, es más difícil de manipular que el ABS, es biodegradable y es perfecto para aplicaciones en las que deba estar en contactos con alimentos. (Berchon & Luyt, 2016)



Figura 1.7. Filamentos de PLA

Fuente: (Berchon & Luyt, 2016)

PET.- Es un tipo de plástico usado en envases de bebidas y en textiles, tiene buen comportamiento frente a esfuerzos, alta resistencia al desgaste, buenas propiedades térmicas y es totalmente reciclable.(Zambrano Loayza, 2015)

RESINAS.- Se caracterizan por tener cadenas poliméricas entrecruzadas, formando una estructura tridimensional que no se funde. Se polimerizan bajo efectos de calor o presión formando una masa rígida y dura. Este tipo de polímero puede reforzarse para aumentar su calidad, dureza y resistencia a la corrosión, mediante el uso de fibra de vidrio (Ver *Figura 1.8*).(Vigilante, 2009)



Figura 1.8. Figura impresa en resina

Fuente: (Berchon & Luyt, 2016)

1.5.2. FLEXIBLES

FILAFLEX.- Filaflex es el filamento elástico para impresoras 3d. Este revolucionario material es un TPE (termoplástico elastómero) con base de poliuretano y ciertos aditivos para hacerlo

imprimible en 3d. Filaflex tiene gran elasticidad y permite imprimir piezas elásticas en una impresora tal como se muestra en la *Figura 1.9*.



Figura 1.9. Filaflex

Fuente: (Recreus, 2014)

NINJAFLEX.- El filamento flexible NinjaFlex (Ver *Figura 1.10*) presenta superior flexibilidad y longevidad en comparación con los materiales no poliuretánicos. Hecho de un material de poliuretano termoplástico (TPU) especialmente formulado, esta tecnología patentada cuenta con una textura de baja adherencia y fácil de alimentar. El resultado es únicamente flexible, impresiones fuertes ideales para extrusoras de transmisión directa. Aplicaciones sugeridas: Sellos, juntas, tapones, patas niveladoras, aplicaciones protectoras.(Drives, 2017)



Figura 1.10. Ninjaflex

Fuente: (Drives, 2017)

1.6.FIRMWARE

Existen varios tipos de firmware entre los cuales se puede encontrar Sprinter, Marlin, Teacup, PiveD, Repetier, entre otros.

Los más usados y que hasta el momento aportan mejor rendimiento son Sprinter y Marlin, los cuales permiten un calibrado aún más fino, ambos son libres, se puede descargarlos y usarlos sin tener que pagar por ellos.

Los firmware de impresión 3D permiten escoger diferentes configuraciones, en función del tipo de termistor que utilice la impresora 3D, de la velocidad de transferencia de datos que utilice (generalmente 115200 Baud); permiten calibrar los ejes de manera que se muevan lo más precisos posible y lo más importante es que todas estas configuraciones se pueden realizar sin necesidad de editar el código del firmware.(Illescas, 2012)

1.7. PASOS EN LOS EJES X,Y y Z.

-En los ejes X & Y, se necesita la ayuda de la *Ecuación 1* para calcular los pasos por milímetro:

Ecuación 1.Pasos por milímetro en el eje X y Y.

$$Pasos = \frac{\text{pasos del motor por vuelta} * \text{micropaso del driver}}{\text{paso de la correa} * \text{numero de dientes en la polea}}$$

Fuente:(Evans, 2012)

La mayoría de los motores que se usan en las impresoras 3D son motores paso a paso de 1,8 grados por paso, lo que significa que, se mueven 1.8 grados por cada paso del motor; por lo tanto para completar una vuelta completa, el motor tiene que realizar 200 pasos.

Los controladores paso a paso en la electrónica de control suelen establecerse en un modo llamado microstepping, lo que permite que el conductor mueva el motor paso a paso en incrementos de un paso normal. El paso de la correa está determinado por la distancia entre los dientes de la correa de distribución, por ejemplo una correa T5 tiene dientes espaciados cada cinco milímetros, mientras que una correa GT2 los tiene espaciados cada dos milímetros, finalmente se obtiene el número de dientes en la polea paso a paso que determina la relación de transmisión global de nuestra transmisión por correas dentadas.

-En el caso del eje Z se tomaran en consideración otros parámetros ya que por lo general en este eje se suelen utilizar tornillos sinfín para su avance en lugar de correas dentadas.

La *Ecuación 2*, permite calcular los pasos por milímetro en el eje z.

Ecuación 2.Pasos por milímetro en el eje Z

$$Pasos = \frac{\text{pasos del motor por vuelta} * \text{micropaso del driver}}{\text{paso de rosca}}$$

Fuente: (Evans, 2012)

En lugar de la relación de engranaje entre la correa y la polea, se sustituye el paso de rosca del tornillo sinfín. (Evans, 2012)

1.8. MODELADO 3D

La impresión de un objeto real empieza realizando un modelo digital 3D con la ayuda de un software CAD (Diseño asistido por computador). Existen muchos programas CAD que sirven para el desarrollo de modelos a imprimir en una impresora 3D, entre los cuales se tiene:

- SketchUp14 (fácil de usar, con una comunidad mundial de usuarios y tutoriales en video, pero de alguna manera limitada, está optimizada para la creación de modelos arquitectónicos simples)
- FreeCAD15 (Win / Mac / Linux de código abierto 2D y 3D modelador paramétrico con una empinada curva de aprendizaje y una buena documentación y comunidad de usuarios para ayudar)
- Blender16 (Win / Mac / Linux potente software de código abierto optimizado para Animaciones y representaciones de objetos 3D y figuras, intuitivo y difícil de dominar)
- Autodesk™ Inventor Fusion17 (aplicación de CAD profesional Win / Mac, pero gratuita para aplicaciones no comerciales)
- OpenSCAD18 (nbo una aplicación sino un lenguaje de programación para el algoritmo, sirve para la generación de modelos 3D, muy potente y versátil).
- Entre otros. (ICTP, 2013)

La interfaz del software CAD utilizado para la impresión 3D es de fácil utilización y de un entorno amigable, similar a la *Figura 1.11*.

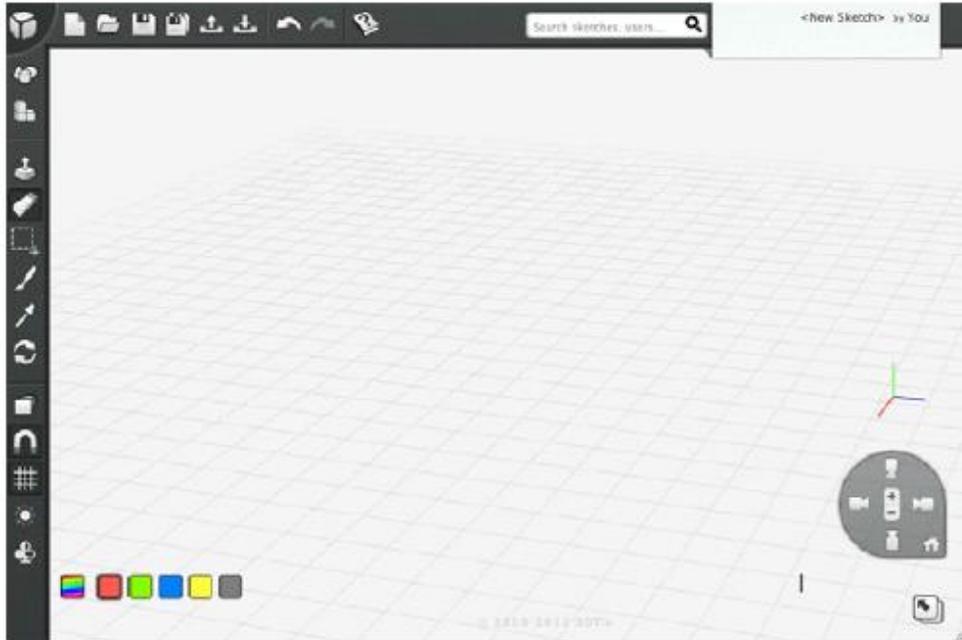


Figura 1.11. Interfaz común de un software CAD

Fuente:(Evans, 2012)

Cabe recalcar que todos los programas de desarrollo CAD antes mencionados son de uso gratuito y que presentan una interfaz como se aprecia en la figura que permite a usuarios con conocimientos en softwares de uso similar, acoplarse rápidamente en el uso de los mismos.

1.9. G-CODE

El código G es una notación abreviada para un conjunto de funciones que rigen el movimiento de las distintas partes la máquina. Mientras que las impresoras 3D leen archivos de código G, los códigos en sí no se limitan a las impresoras 3D. De hecho, los códigos cubren una gama más amplia de máquinas, incluyendo máquinas CNC.

Los códigos están formados por una letra que significa la clase de comando, un número (índice) y uno o más parámetros separados por espacios (opcional). Hay códigos para posicionar el extremo caliente, ajustar la temperatura, moviendo el eje, comprobando sensores, y muchos más. La *Tabla 1.3* muestra algunos ejemplos de código G. (Bell, 2014)

Tabla 1.3.
Ejemplos de código G.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS	EJEMPLO
G28	Movimiento al cero pieza en X,Y y Z.	Ninguno	G28
M104	Establecer temperatura final en caliente.	Temperatura en grados Celsius.	M104 S205
M105	Obtener la temperatura final en caliente.	Ninguno	M105
M106	Encender el ventilador	Velocidad del ventilador(0-255)	M106 S127
M114	Obtener la posición de todos los ejes.	Ninguno	M114
M119	Obtener el estado de todos los terminales.	Ninguno	M119

Fuente:(Bell, 2014)

1.10. EXTRUSORES

El extrusor estándar de una impresora 3D está diseñado para trabajar con un filamento de 1.75mm de diámetro, el cual es introducido al extremo caliente por el motor que está montado en el extrusor como en la *Figura 1.12*.

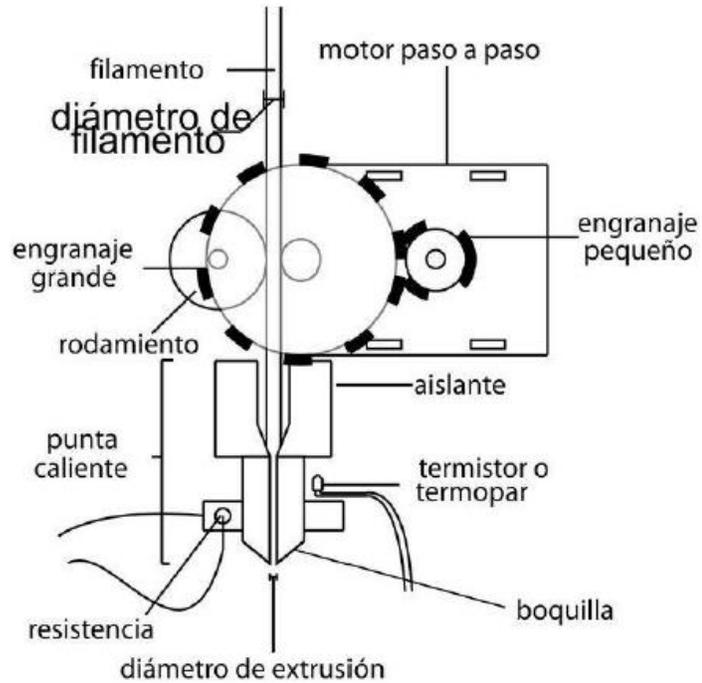


Figura 1.12. Extrusor Rep Rap Mendel

Fuente:(Lopez Leyva, 2012)

La inyección del material se realiza a través de un motor de pasos, el extrusor tiene una relación de transmisión con los engranes lo que significa que el motor trabaja con muy baja intensidad pero entrega un buen torque para la inyección del material.

El calentamiento en la boquilla se realiza con una resistencia para fundir termoplástico, con el que se imprimen las piezas, el control de la temperatura se realiza mediante un encendido y apagado de la resistencia y un termopar opcional para medir esta temperatura.

La inyección del material se lleva a cabo por medio de un rueda que gira libre y otra que está conectada al eje del motor mediante los engranes para transmitir todo el torque al termoplástico.(Lopez Leyva, 2012)

1.11. SELECCIÓN ENTRE UNA IMPRESORAS 3D CARTESIANA Y DELTA.

Las impresoras 3D más utilizadas en la actualidad, son las cartesianas y las de tipo delta. Las más conocidas son del tipo cartesiano, sin embargo, el uso de las impresoras del modelo delta se ha popularizado últimamente, por lo que es necesario realizar una selección entre estos dos modelos de impresoras 3D para poder seleccionar la de mejores prestaciones. (Sánchez, 2015)

En la *Tabla 1.4* se puede apreciar una comparación de las características entre ambos tipos de impresoras.

Tabla 1.4.
Comparativa de impresoras 3D

Impresora	Ventajas	Desventajas
Delta	Alta velocidad de impresión. Alta definición. Fiable y precisa. Amplia capacidad de movimiento. Cama de impresión estática. Las correas se tensan constantemente, no hay pérdida de precisión.	Primera calibración muy complicada. Equipo de gran tamaño. Un ensamblaje con pequeños errores, no permite llegar a una calibración satisfactoria. Construcción de dificultad elevada. Poca información disponible.
Cartesiana	Fácil de calibrar. Fácil análisis y corrección de errores. Gran cantidad de información y soporte disponible. Más fácil de ajustar.	Menor velocidad de impresión. Desplazamiento de la cama de impresión. Las correas pierden tensión con el tiempo.

Fuente:(Sánchez, 2015)

De acuerdo a lo expuesto en la tabla anterior se llega a la conclusión de que el modelo de impresora 3D tipo delta presenta mayor velocidad y precisión, con la desventaja que es de difícil fabricación y la información es escasa, por ende se escoge para la aplicación de este proyecto la impresora 3D cartesiana, por tener principalmente información suficiente para su construcción, además de su facilidad de calibración.

1.12. SISTEMAS DE DESPLAZAMIENTO

El mecanismo de movimiento en los ejes X e Y es de tipo cartesiano como se escoge en la sección anterior, a continuación se muestra los tipos de mecanismos empleados en el desplazamiento de impresoras 3D cartesianas.

SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO ALFA

El sistema alfa es un desplazamiento cartesiano modificado. El actuador que genera el movimiento en el eje Y, acciona una correa dentada que cubre toda la estructura, mientras que el actuador del eje X, se encarga de mover el carro de desplazamiento principal (Ver *Figura 1.13*), la ventaja principal de este sistema de movimiento es la estabilidad de impresión, pero el ruido que se genera es bastante alto. (Romero Barreno & Vaca Morales, 2015)

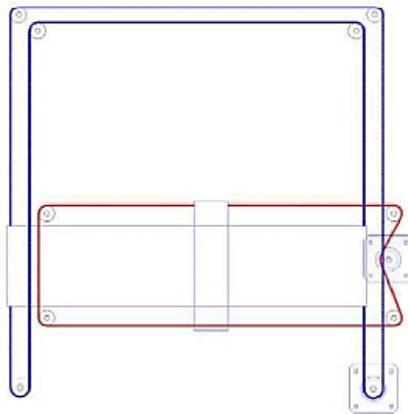


Figura 1.13. Sistema de desplazamiento tipo Alfa

Fuente:(Romero Barreno & Vaca Morales, 2015)

Sistema de desplazamiento HBOT

El sistema H-bot es directo, limpio, elegante; sin embargo, tiene un problema de diseño inherente que puede arrojar el movimiento de precisión fuera de especificaciones para todos, excepto para los pocos H-bot fabricados con tolerancias muy ajustadas, esto se produce por los momentos que se generan en cada motor, al realizarse el desplazamiento en unos de sus ejes. En la *Figura 1.14* se puede apreciar el sentido de giro de cada motor al desplazar el sistema en una dirección específica.

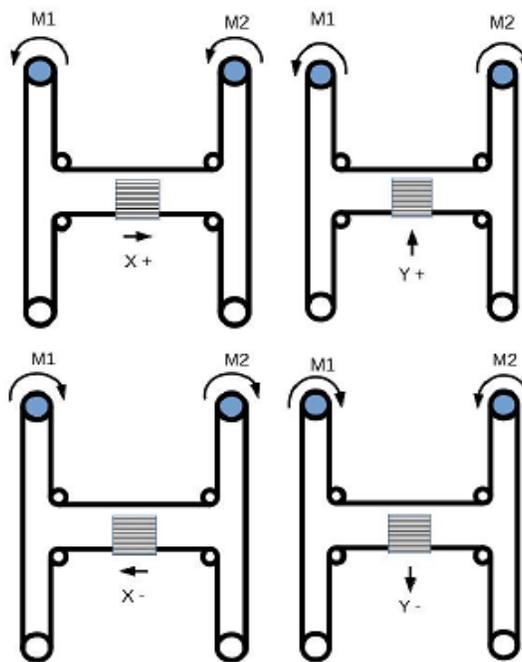


Figura 1.14. Sistema de desplazamiento HBOT

Sistema de desplazamiento CORE XY

La técnica de desplazamiento Core XY se basa en un sistema empleado para ayudar al dibujo técnico manual empleado en los años 60, 70, 80 y conocido popularmente como “Paralex”. Este mecanismo consiste en un sistema de poleas y bandas dentadas que se sujetan en una mesa de trabajo, tal como se aprecia en la *Figura 1.15*.

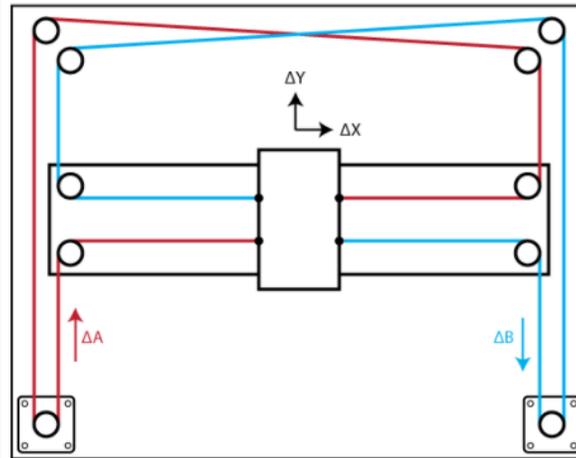


Figura 1.15. Sistema Core XY

Fuente:(Moyer, 2012)

Como se aprecia en la figura anterior, se trata de una mesa de trabajo estándar, la barra horizontal es una plataforma se mueve arriba y abajo libremente. El patrón cruzado de los correas dentadas estabiliza la barra y lo mantiene horizontal (elimina tanto las fuerzas como los momentos).(Moyer, 2012)

La ventaja principal de este tipo de sistemas recae en que es fácil de ensamblar y montar, además se lo puede realizar con diferentes tipos de materiales debido a que el peso no es un factor primordial, así también el sistema ofrece un movimiento fiable en dos dimensiones, entregando alta precisión en el desplazamiento.

1.13. INTERCAMBIADOR DE CABEZALES

El sistema intercambiador de cabezales, como su nombre lo indica es el encargado de realizar el cambio de extrusores según la necesidad de impresión que se requiera.

Existen dos tipos comunes de intercambiador de cabezales, siendo:

Intercambiador lineal

Intercambiador de contactos magnéticos.

INTERCAMBIADOR LINEAL.

Este tipo de intercambiador se basa en dos extrusores unidos mediante un riel como se aprecia en la *Figura 1.16*, su principal ventaja es que los tiempos de impresión al realizar el cambio de extrusión es mínimo. Su contraparte es que no se puede realizar mantenimientos ni correcciones a un extrusor individualmente, ya que siempre están en movimiento.

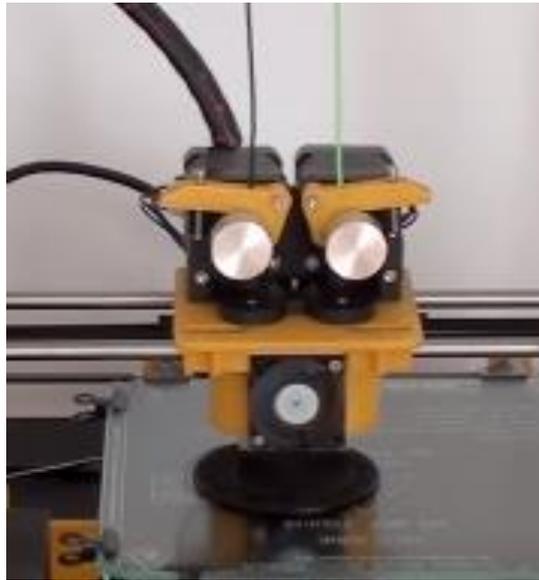


Figura 1.16. Intercambiador Lineal

INTERCAMBIADOR POR CONTACTOS MAGNÉTICOS

El sistema se lleva a cabo mediante el uso de acoples intercambiables, ver *Figura 1.17*.



Figura 1.17. Intercambiador de acoples magnéticos.

Los acoples se aseguran entre sí mediante imanes, esto evita la implementación de piezas o sistemas mecánicos y/o electrónicos innecesarios en el intercambiador. Su principal ventaja es el espacio reducido y bajo peso que añade a la máquina, además de que permite realizar el mantenimiento a un extrusor mientras el otro está imprimiendo.

Los imanes ofrecen sujeción de los extrusores, ayudan a reducir la vibración y permiten que los motores no generen esfuerzos al momento de realizar el cambio de cabezal.

CAPITULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. GENERALIDADES DEL DISEÑO.

El desarrollo del proyecto inicia con la recopilación bibliográfica basada en información recopilada en tesis de grado, revistas afines a la impresión 3D, libros, entre otros, con la finalidad de entender y comprender los principios de diseño y construcción que se emplean en la misma.

Se realiza la investigación acerca de los tipos de impresoras 3D existentes, así como sus sistemas de extrusión y sistemas multicabezales, se consideran las características comunes de trabajo de una impresora y los requerimientos de éstas.

La Tabla 1.2 muestra un listado de los diferentes tipos de materiales que pueden ser utilizados dentro de la impresión 3D, se eligen los plásticos como el material de impresión de este proyecto.

Se investiga sobre las tecnologías de impresión y de los sistemas de desplazamiento empleados comúnmente en las impresoras 3D, para escoger el de mejores prestaciones para el proyecto.

Se recopila información sobre sistemas intercambiadores de cabezales y se elige uno por acoples magnéticos, por necesitar poco espacio, y bajo nivel de manufactura.

2.2. DISEÑO MECÁNICO

Con la información recopilada de los diferentes tipos de impresoras 3D existentes y conociendo a su vez la geometría de la máquina, se procede a realizar un diseño CAD del sistema multicabezal.

Se realizan cálculos para determinar la sección del perfil a emplear en la estructura de la impresora 3d, se establece condiciones de borde y análisis de elementos finitos en los componentes del intercambiador de cabezales.

2.3. SELECCIÓN DE MATERIALES.

La selección de materiales para el sistema multicabezal se realiza en base a los requerimientos del proyecto. Cabe recalcar que los actuadores empleados en este tipo de aplicaciones son los motores a pasos, debido a su alta precisión de movimiento.

La capacidad del actuador varía en función del requerimiento necesario, así como sus drivers.

2.4. SELECCIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO Y PROGRAMACIÓN.

El sistema de control de la máquina se lo realiza en base a los sistemas electrónicos que actualmente disponen las impresoras 3D, debido a su excelente funcionamiento y fácil interacción con las máquinas existentes.

2.5. ENSAMBLAJE DEL MECANISMO

Una vez adquiridas y/o fabricadas las piezas de nuestro diseño, se procede al ensamblaje de todos los elementos que conformaran el sistema multicabezal para una impresora 3D.

2.6. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Para las pruebas del sistema multicabezal para una impresora 3D, se procede a realizar un diseño impreso que conste de 2 colores cualesquiera en donde sea necesario utilizar el sistema desarrollado.

2.7. DESARROLLO DEL MARCO METODOLÓGICO

2.7.1. REQUISITOS DE DISEÑO

Se realiza el análisis para la máquina a fabricar que en este caso corresponde a un robot cartesiano, para este caso se tienen los siguientes requerimientos:

- a) Geometría: Los movimientos del sistema multicabezal para una impresora 3D hacen que sea capaz de posicionarse en cualquier punto del plano de trabajo.
- b) Espacio de trabajo: El espacio de trabajo dentro del cual funciona el sistema multicabezal corresponde a un área delimitada por 20 cm en cada uno de los ejes (20 cm X 20 cm X 20 cm).
- c) Capacidad de carga: El sistema debe asegurar su correcto funcionamiento hasta con un peso de 1,5 kg en la bandeja de trabajo.
- d) Alimentación: La alimentación de la máquina debe ser la adecuada y con suficiente capacidad para evitar fallos en el sistema.
- e) Manufactura: Los procesos de manufactura deben ser fáciles de realizar y otorgan seguridad de funcionamiento al sistema.
- f) Material: El material a fabricarse es perfiles de aluminio, por la facilidad de manufacturación.
- g) Tipo de impresora: Se plantea realizar una impresora CORE XY, por la excelente precisión que entrega dicho modelo. (Ver la *sección 1.12 del Capítulo I*)
- h) Velocidad: La velocidad del sistema multicabezal debe ser regulable y depende de los movimientos que este debe realizar durante la impresión 3D.

2.7.2. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA SOPORTE

La *Figura 2.1* muestra el diseño base de la estructura que soporta al sistema multicabezal, en donde se toma en consideración el peso del extrusor, más el peso del motor y del mismo material.

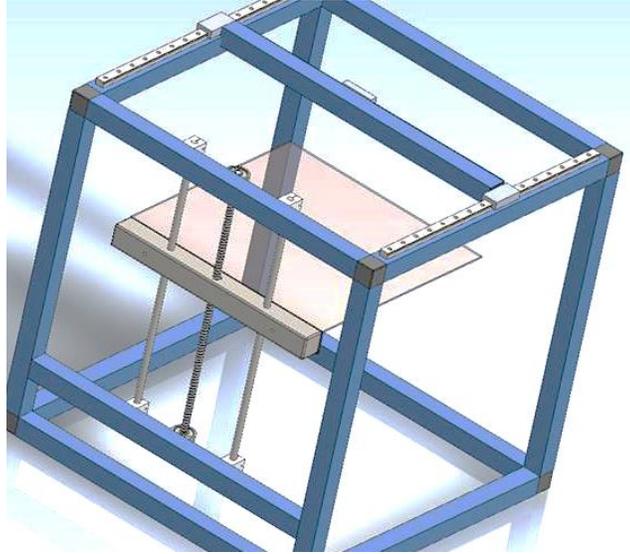


Figura 2.1. Estructura soporte del sistema multicabezal.

La *Figura 2.1* muestra una estructura elaborada a base de tubo cuadrado de aluminio de 1 pulgada, como la mayoría de equipos de impresión 3D del mercado, en donde para su análisis se toma en consideración uno de sus eslabones al cual se trata como una viga doblemente empotrada, tal como se aprecia en la *Figura 2.2*.

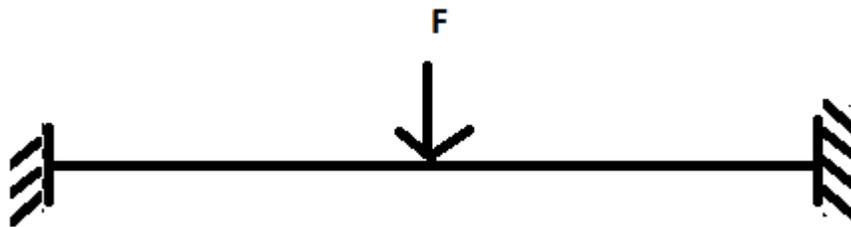


Figura 2.2. Interpretación de las fuerzas que actúan sobre una viga de la estructura base.

Como se muestra en la *Figura 2.2* la fuerza que se aplica en la viga corresponde como se dijo anteriormente al sistema del multicabezal que consta por el extrusor, filamento, acoples, entre otros.

$$F = P_e + P_f + P_a + P_v$$

donde:

P_e = Peso del Extrusor = 0,3 Kg.

P_f = Peso del filamento = 0,1 Kg.

P_a = Peso acoples = 0,1 Kg.

P_v = Peso varillas = 0,5 Kg.

$$F = 1 \text{ Kg.}$$

Para una mejor apreciación de las fuerzas actuantes se realiza un diagrama de cuerpo libre como se muestra en la *Figura 2.3*.

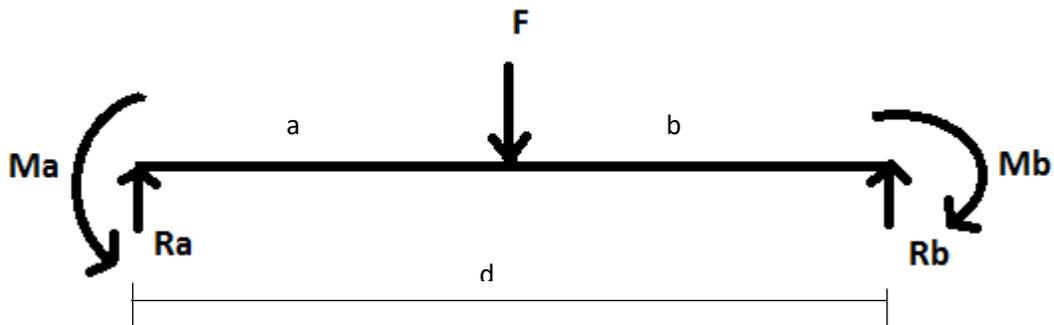


Figura 2.3. Diagrama de cuerpo libre de una sección de la estructura base

donde:

R_a = Reacción en el punto a

R_b = Reacción en el punto b

M_a = Momento en a

M_b = Momento en b

F = Fuerza = 1 Kg = 9,81 N

$d = \text{distancia} = 0,42 \text{ m}$

Primeramente se calculan las fuerzas y momentos actuantes, se toma en consideración que la fuerza aplicada se la analiza en el centro de la viga, así:

$$a = b$$

$$Ra = \frac{F * b}{d} + \frac{Ma - Mb}{d}$$

Para poder calcular la reacción en el punto a, primero se llevan a cabo los cálculos de los momentos en los puntos a y b.

$$Ma = \frac{F * a * b^2}{d^2}$$

$$Ma = 0515 \text{ N.m}$$

$$Mb = \frac{(F * a^2 * b)}{d^2}$$

$$Mb = 0,515 \text{ N.m}$$

Una vez conocidos los momentos, se procede a reemplazar los valores en la ecuación y se calcula las reacciones.

$$Ra = 4,905 \text{ N}$$

Por efectos de simetría $Ra = Rb = 4,905 \text{ N}$.

Con la ayuda de un software se realiza los diagramas de cortes y momentos como se ve en la

Figura 2.4.

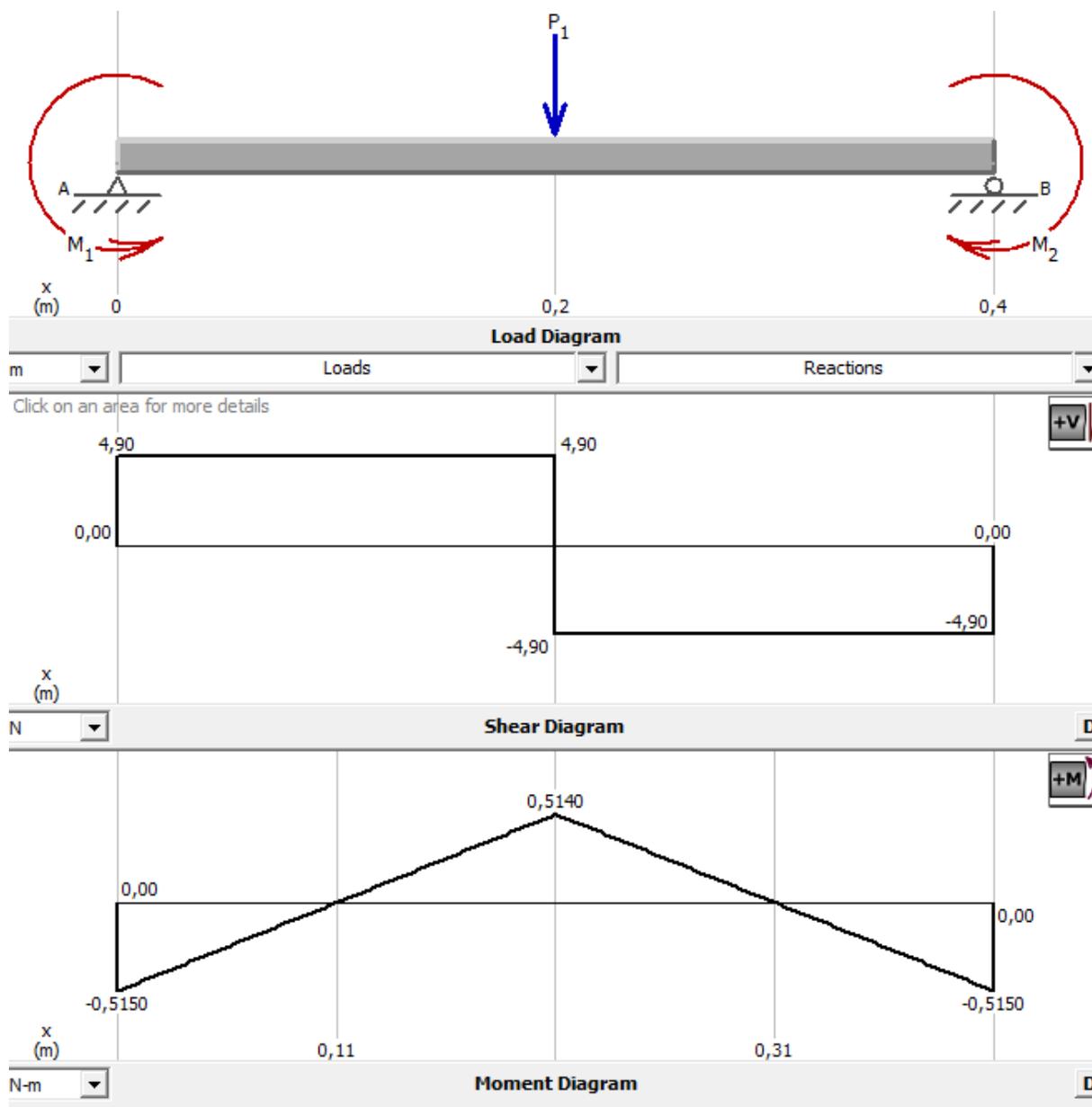


Figura 2.4. Diagrama de cortes y momentos

2.7.3. MODULO DE SECCIÓN DE LA VIGA

Para obtener la sección de la viga, primero se determina el esfuerzo de diseño, se asume un factor de seguridad de 3, que se utiliza en diseño de estructuras bajo cargas dinámicas (Mott, 2006), así:

Ecuación 3. Factor de seguridad.

$$FS = \frac{Sy}{\sigma d}$$

Fuente: (Mott, 2006)

donde:

FS= Factor de seguridad

Sy= Resistencia de fluencia

datos:

FS=3

Sy=160 Mpa (Ver anexo 2)

Despejando y reemplazando valores en la ecuación se tiene:

$$\sigma d = 53.33 \text{ Mpa}$$

Una vez obtenido el esfuerzo de diseño se procede a calcular el módulo de sección de la viga, se usa la *Ecuación 4*.

Ecuación 4. Módulo de sección

$$\sigma d = \frac{Mmax}{S}$$

Fuente:(Mott, 2006)

donde:

σd = Esfuerzo de diseño

Mmax= Momento máximo (4.06 N.m)

S= Módulo de sección

$$S = 17,13 \text{ mm}^3$$

De acuerdo a la sección S calculada se procede a seleccionar el perfil adecuado para la estructura base, tomando en consideración un módulo de sección en el eje x – x de $S= 0,017 \text{ cm}^3$.

En el mercado el perfil con características más similares es según el fabricante MoAS un perfil modelo 12020 de 20x20. Ver *Anexo 2*.

2.7.4. DISEÑO DEL SISTEMA MULTICABEZAL EN UNA IMPRESORA 3D

Los parámetros necesarios para el diseño son:

- Longitud del eje X de 42cm.
- Longitud del eje Y de 42cm.
- Longitud del eje Z de 42cm.
- Fácil acoplamiento.

El diseño del sistema multicabezal se lo realiza de tal forma que este permita el intercambio de dos extrusores de acuerdo a las necesidades de impresión que se requiera.

El acoplamiento es realizado mediante contactos magnéticos. Los extrusores están posicionados en un lateral de la impresora 3D, y serán de fácil acceso para permitir el intercambio de los mismos de forma automática.

Se utilizan imanes para lograr un acoplamiento estable del sistema con los extrusores.

2.7.5. SISTEMA DE CAMBIO DE CABEZAL

El sistema intercambiador de cabezales se realiza incorporando acoples de contactos magnéticos como se mencionó en el *Capítulo I* por su tamaño y peso reducido, colocados en las esquinas de la cara lateral izquierda de la impresora 3D, el extrusor es cambiado siguiendo trayectorias preestablecidas, con lo que se asegura un correcto funcionamiento del sistema, evitando posibles fallas y/o colisiones. En la *Figura 2.5* se aprecian las trayectorias que sigue el intercambiador de extrusor.

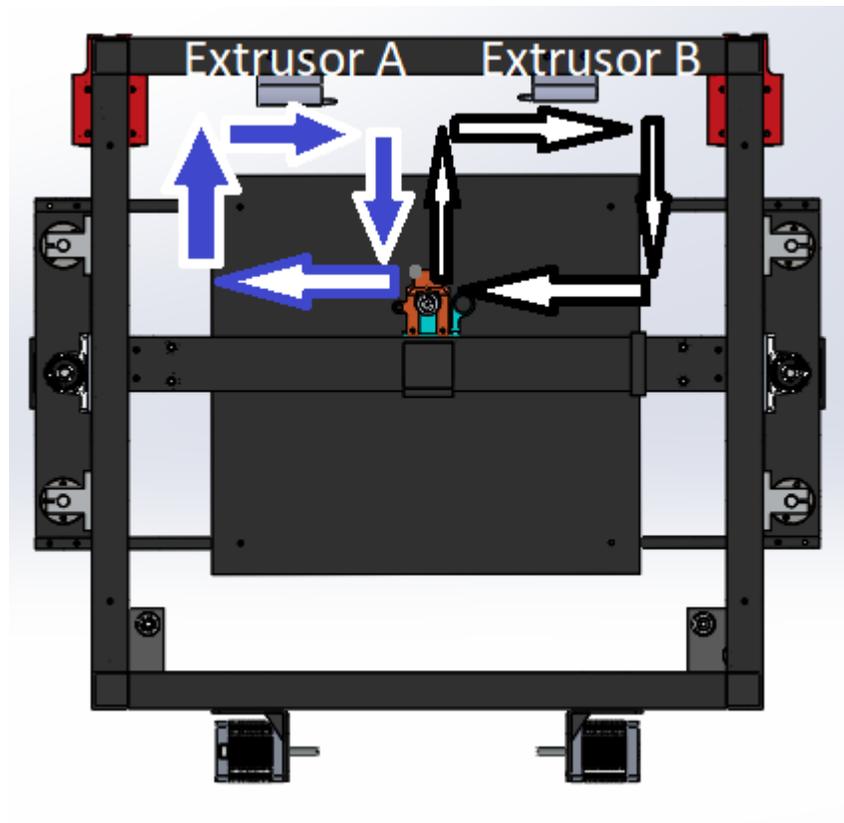


Figura 2.5. Trayectoria que sigue el cabezal para cambiar de extrusor.

En la *Figura 2.5* se observa la trayectoria que sigue el sistema intercambiador de cabezales para realizar el cambio de extrusor, dependiendo del que se vaya a emplear. El proceso empieza con un extrusor ya colocado en el cabezal, siendo para el ejemplo el Extrusor B, el sistema lo va a

colocar en su base, para esto sigue la trayectoria mostrada con las flechas blancas y retornando al punto inicial.

Una vez que el sistema se posiciona en el punto inicial, este inmediatamente se dirige a tomar el Extrusor A, siguiendo la trayectoria marcada por las flechas de color azul y volviendo a retornar al punto inicial.

2.7.6. ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS EN EL SISTEMA MULTICABEZAL CONDICIONES DE FRONTERA.

El análisis de elementos finitos se lleva a cabo tomando en consideración los datos expuestos en la *Tabla 2.1*. Se toma en consideración el peso del extrusor, el peso propio del intercambiador como las fuerzas que intervienen en el análisis, mostrando en el *Figura 2.6* las flechas de color verde como las restricciones fijas y las de color violeta como las fuerzas actuantes.

Tabla 2.1.
Condiciones para el análisis de elementos finitos.

Variable	Valor
Peso del extrusor	0,2 Kg
Peso del intercambiador 1	0,1 Kg
Peso intercambiador 2	0,1 Kg

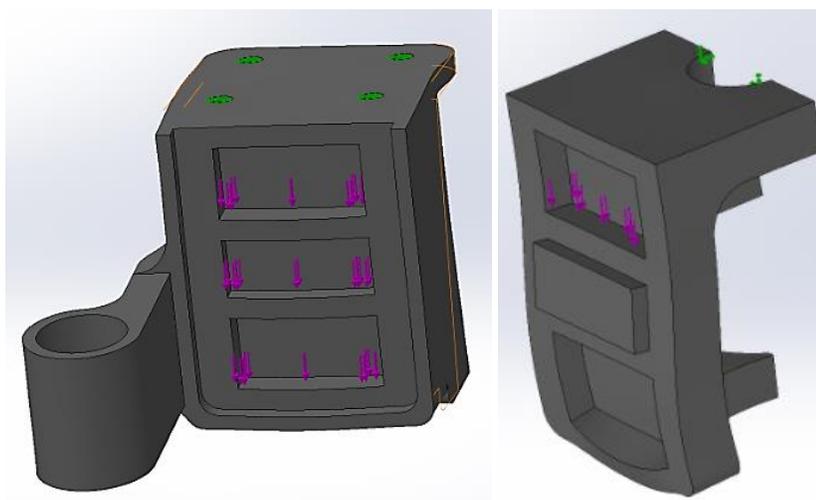


Figura 2.6. Cargas.

Se realiza el análisis con una malla estándar de 27817 elementos, y se obtienen los siguientes resultados.

El esfuerzo máximo que se presenta en la pieza de la *Figura 2,7* es de 47 MPa, el mismo que no sobrepasa el límite elástico del material, así mismo la *Figura 2,8* muestra el esfuerzo de la segunda pieza siendo de 9,32 MPa, lo que garantiza la fiabilidad del diseño.

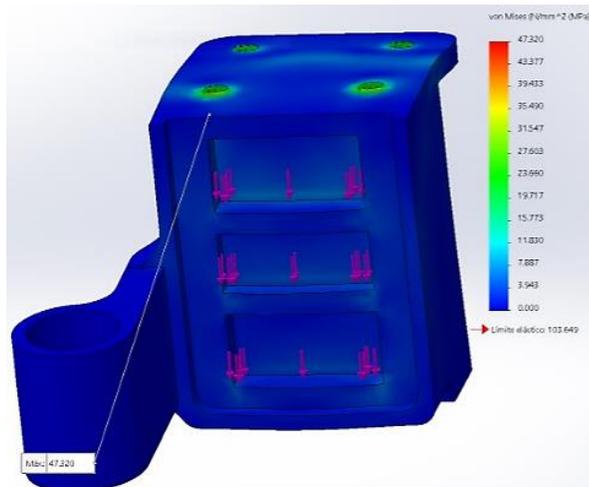


Figura 2.7. Análisis de von Mises pieza 1

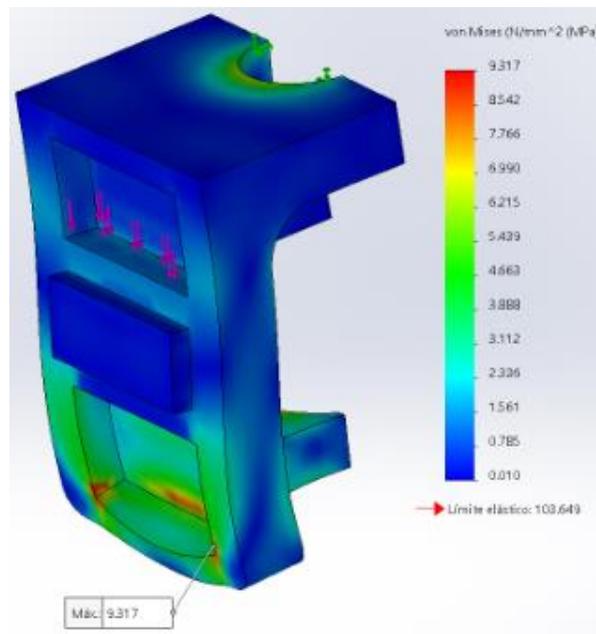


Figura 2.8. Análisis de von Mises pieza 2

La *Figura 2.9* muestra el máximo desplazamiento que presenta la pieza 1, siendo este de un valor mínimo de 0,6mm, lo que asegura la fiabilidad del diseño.

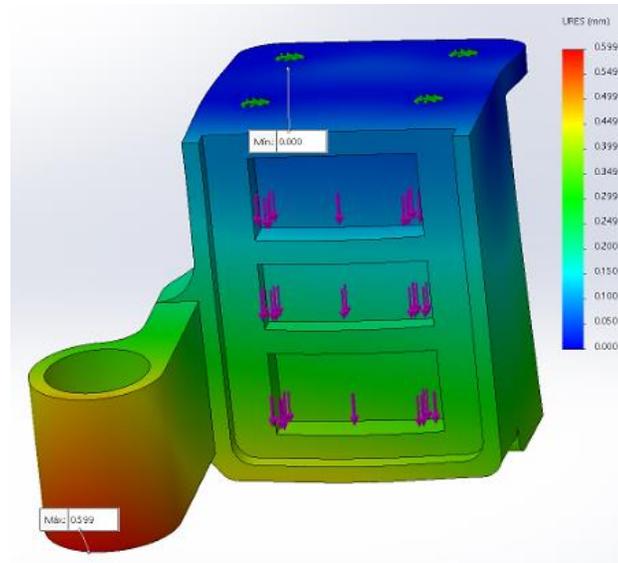


Figura 2.9. Desplazamiento pieza 1.

La *Figura 2.10* muestra el máximo desplazamiento que presenta la pieza 2, al igual que la pieza anterior el desplazamiento es menor a 1 mm.

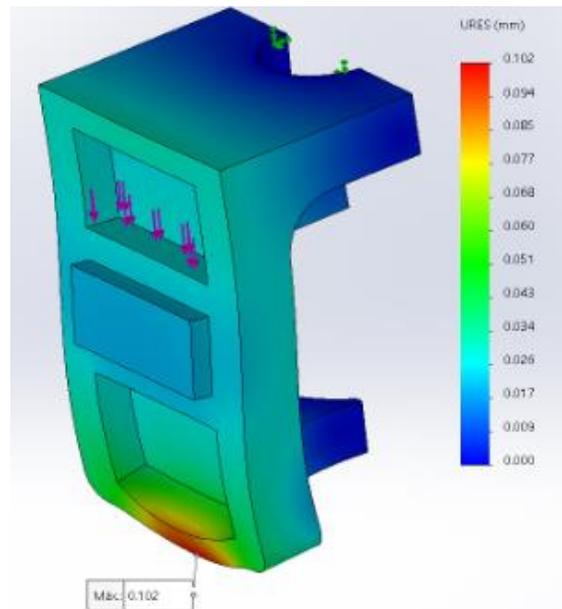


Figura 2.10. Desplazamiento pieza 2.

En la *Figura 2.11* se puede apreciar el mínimo factor de seguridad de 2.19, y en la *Figura 2.12* un factor de seguridad mínimo de 11, con lo que el diseño queda validado.

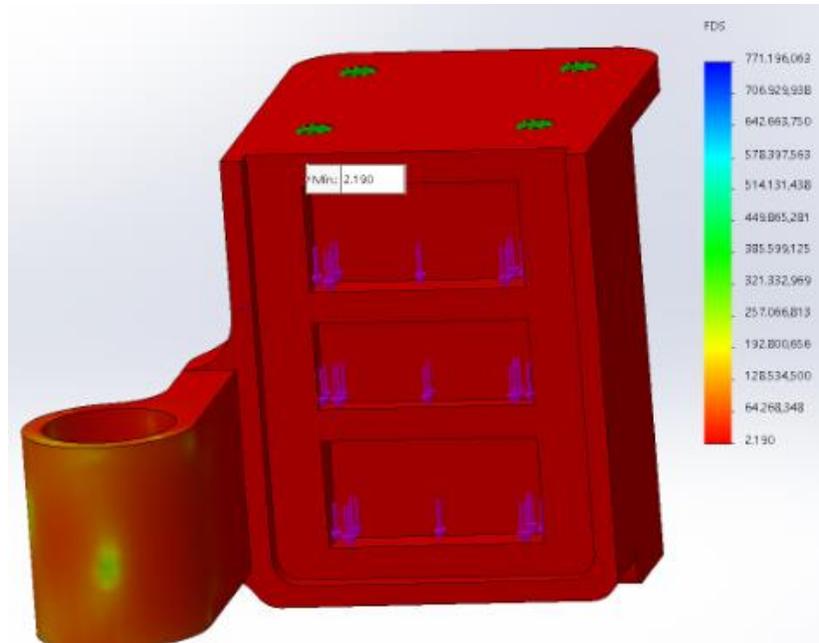


Figura 2.11. Factor de seguridad pieza 1

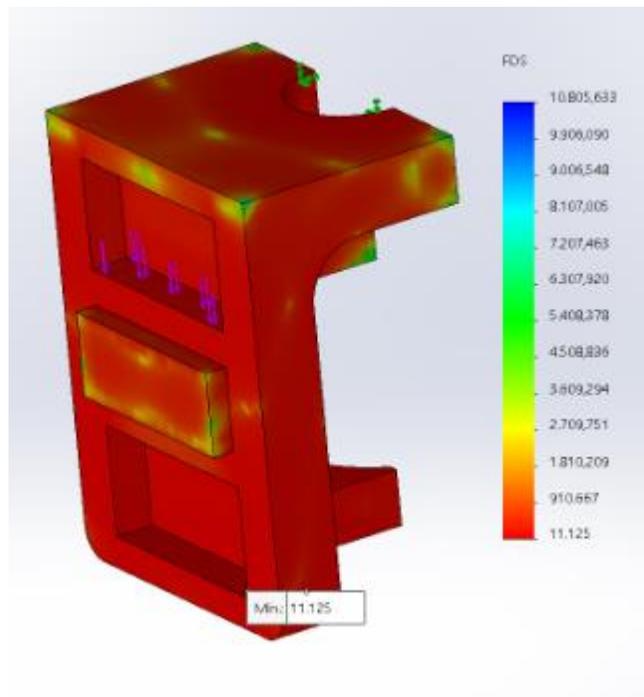


Figura 2.12. Factor de seguridad pieza 2

2.7.7. SELECCIÓN DE MATERIALES.

La selección de elementos se realiza de tal forma que cumplan con los requerimientos del proyecto.

DRIVERS

Los drivers que se emplean en el sistema multicabezal deben ser de alta precisión, proporcionar una corriente por bobina adecuada para evitar posibles sobrecalentamientos y además brindar protección a los motores. Se realiza una tabla de selección en donde se establecen valores a las características presentadas por los diferentes tipos de drivers, siendo 1 el valor menos satisfactorio y 5 el más óptimo. (Ver *Tabla 2.2*)

Tabla 2.2.

Selección de drivers

Driver	Precisión	Corriente por bobina	Protección	Total
L298N	3	3	2	8
A4988	4	4	3	11
DVR8825	5	5	4	14

En la *Tabla 2.2* se realiza la comparación de los principales tipos de drivers empleados en el control de motores paso a paso, de donde el L289N es el que recibe menos puntuación, además

de que presenta gran tamaño. **Se establece como la mejor opción el driver DVR8825** (Ver *Anexo 10*) siendo su principal ventaja la precisión y corriente entregada frente a los otros drivers.

TARJETA DE CONTROL

Existen varios tipos de tarjetas de control utilizadas en impresoras 3D, para lo cual se realiza una tabla de selección en base a las prestaciones que estas presentan.

Tabla 2.3.

Tarjetas de control de impresoras 3D

Tarjeta	Ventajas	Desventajas
Ramp 1.4	Gran soporte. Control de dos motores en el eje z. Control de varios ventiladores.	Contiene mosfets de baja calidad.
Ramp 1.57	Mayor capacidad de corriente de salida	Se puede implementar el control de otro motor en el eje z mediante la adición de un segundo eje de accionamientos pololu.
Kunprinter V1.0	Enfriamiento activo de la placa base.	Control de 1 solo motor en el eje z
SBASE V1.3	Conexión WiFi	Control de 1 solo motor en el eje z

De acuerdo a la *Tabla 2.3* se escoge la Ramp 1.4 (Ver *Anexo 9*) como la tarjeta de control de mejores prestaciones para implementarse en el proyecto, principalmente por poseer un control de dos motores en el eje z.

ACTUADORES

Los actuadores que se emplean en el proyecto deben ser precisos, de fácil control, sencilla instalación, robustos y de tamaño reducido.

Tomando en consideración las características que se busca obtener de los actuadores a elegir, el análisis se lleva a cabo entre dos tipos de actuadores eléctricos: Motores paso a paso y servomotor. En la *Tabla 2.4* se muestran las ventajas y desventajas de cada actuador.

Tabla 2.4.
Ventajas y desventajas en actuadores eléctricos.

ACTUADOR	VENTAJAS	DESVENTAJAS
MOTOR PASO A PASO	Precisión alta. Consumo bajo de corriente. Necesitan controladores más sencillos. Gran fuerza.	Circuito de control externo. Entrega potencias bajas. Bajas velocidades.
SERVOMOTOR	Entrega altos pares. Gran precisión Estabilidad de velocidad.	Alto precio. Servomotores de gran potencia requieren drivers de gran costo.

Como se aprecia en la tabla los dos tipos de motores presentan una gran precisión de movimientos, con la diferencia de que los motores a pasos necesitan controladores más sencillos, son de menor costo y su programación es de menor dificultad, por lo que se eligen los motores a pasos como la mejor opción para el proyecto.

EXTRUSOR.

Los extrusores que se emplean en el proyecto deben ser capaces de entregar una buena calidad de impresión, ser de bajo peso, y de tamaño reducido. En la *Tabla 2.5* se puede apreciar las características de cada uno.

Tabla 2.5.
Extrusores y sus características.

EXTRUSOR	MATERIAL	TERMISTOR	BOQUILLA	VENTAJA	DESVENTAJA
MK8	Aluminio	100k	0,35-0,5 mm	Robusto	Tamaño considerable
V6J-HEAD	Aluminio	100k	0,3 -0,7 mm	Tamaño reducido	Baja robustez.
CR8	Aluminio	100k	0,35-0,7 mm	Buena calidad, acabados de titanio.	Tamaño medio

De acuerdo a lo que se enlista en la tabla se puede observar que las características de los diferentes tipos de extrusores son semejantes entre sí, teniendo como principal diferencia su tamaño. Se escoge el extrusor V6J-HEAD (Ver *Anexo 8*) por poseer un rango más amplio de resolución de boquillas y por ser de menor tamaño.

IMANES

Los principales tipos de imanes son los imanes de neodimio, los imanes de ferrita, los imanes de samario-cobalto y los imanes de alnico. La selección de los imanes que se incorporan en el sistema intercambiador de cabezales deben ser capaces de garantizar un correcto acoplamiento, dar firmeza y sujeción entre los acoples, y tener suficiente capacidad magnética que garantice el correcto funcionamiento del sistema. Se realiza una tabla comparativa entre los imanes que se encuentran en mercado.

Tabla 2.6.
Selección de imanes

Imán	Nombre de elemento	Ventajas	Desventajas
Neodimio	Aleación de hierro-neodimio-boro	Es el imán más potente que existe actualmente. Gran resistencia mecánica. Variedad de formas y dimensiones.	Se oxidan fácilmente Precios altos.
Ferrita	Carbonato de bario y óxido de hierro o carbonato de estroncio	Es de bajo costo. Poder absorbente relativamente bueno.	Se despostilla fácilmente.
Samario-cobalto	Samario-cobalto	Excelente para uso en altas temperaturas	Es frágil y se despostilla fácilmente. Precios altos.
Alnico	Aleación de aluminio, níquel y cobalto	Excelente resistencia mecánica. Ideal para uso en altas temperaturas.	Se desmagnetizan fácilmente.
Láminas de goma imantadas	Polietileno clorado	Es flexible	

Fuente:(Corporation, 2016)

En la *Tabla 2.6* se puede apreciar los tipos de imanes existentes en el mercado, así como también una lista de ventajas y desventajas de cada uno. Se escoge para aplicación en este proyecto a los imanes de neodimio por poseer mayor poder magnético que los otros, además de existir en gran variedad de diseños y tamaños (Ver *Anexo 15*).

FUENTE DE ALIMENTACIÓN.

La selección de la fuente de alimentación para el proyecto se realiza tomando en consideración los actuadores que se van a controlar, siendo:

-6 motores NEMA17.

-1 cama caliente.

-2 Extrusores.

-4 Ventiladores.

Se procede a calcular la potencia total que consumen todos los componentes. Se calcula la potencia consumida por cada elemento con la *Ecuación 5*:

Ecuación 5.Potencia

$$P = V * I$$

Fuente:(Lopez Leyva, 2012)

donde:

P= potencia

V=Voltaje

I=Corriente

Motores NEMA 17

Los motores a pasos NEMA 17 trabaja con un voltaje de operación de 5Vdc a 1,68A (Ver Anexo 1)

$$P = 8,4w$$

Como se emplean 6 NEMA 17 en el proyecto, se multiplica el valor por el número de motores, así:

$$Pm = P * 6$$

donde:

P_m = Potencia consumida por los motores.

$$P_m = 50,4w$$

Cama caliente (MK2b)

La cama caliente trabaja a 12Vdc y 10 A (Ver *Anexo 11*), haciendo uso de la *Ecuación 8* se obtiene:

$$P = 120w$$

Extrusor

El extrusor según el fabricante consume 40w. (Ver *Anexo 8*)

Ventilador

El ventilador trabaja a 12 Vdc y 0,14A (Ver *Anexo 12*)

$$P = 1,68w$$

En el proyecto se emplean 5 ventiladores, se multiplica el valor anterior por 5, siendo:

$$P_v = P * 5$$

donde:

P_v = Potencia en los ventiladores

$$P_v = 8,4w$$

El consumo total de energía se lo obtiene sumando todas las potencias antes calculadas, con la ayuda de la *Ecuación 6*:

Ecuación 6. Potencia total consumida

$$P_t = P_m + P_{cc} + P_e + P_v$$

donde:

P_{cc} = Potencia de la cama caliente

P_e = Potencia del extrusor.

$$P_t = 218,8w$$

Conociendo la potencia requerida se procede a seleccionar una fuente de alimentación adecuada para el sistema, para lo cual se conoce que el voltaje de funcionamiento será de 12Vdc, se realiza los cálculos necesarios para conocer su corriente con la siguiente ecuación.

$$P = V * I$$

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = 18,23 A$$

Se elige una fuente de alimentación conmutada de 12V y 20A. (Ver Anexo 12)

2.7.8. SELECCIÓN DEL MOTOR PARA LA BANDEJA DE TRABAJO

El diseño del mecanismo que acciona el movimiento en el eje z de la bandeja de trabajo se lo realiza tomando como referencia las impresora 3d modelo CupCake y está compuesto por un tornillo sinfín típico en impresoras 3D con un diámetro de 8 mm y 2mm de paso, tal como se aprecia en a *Figura 2.13*.

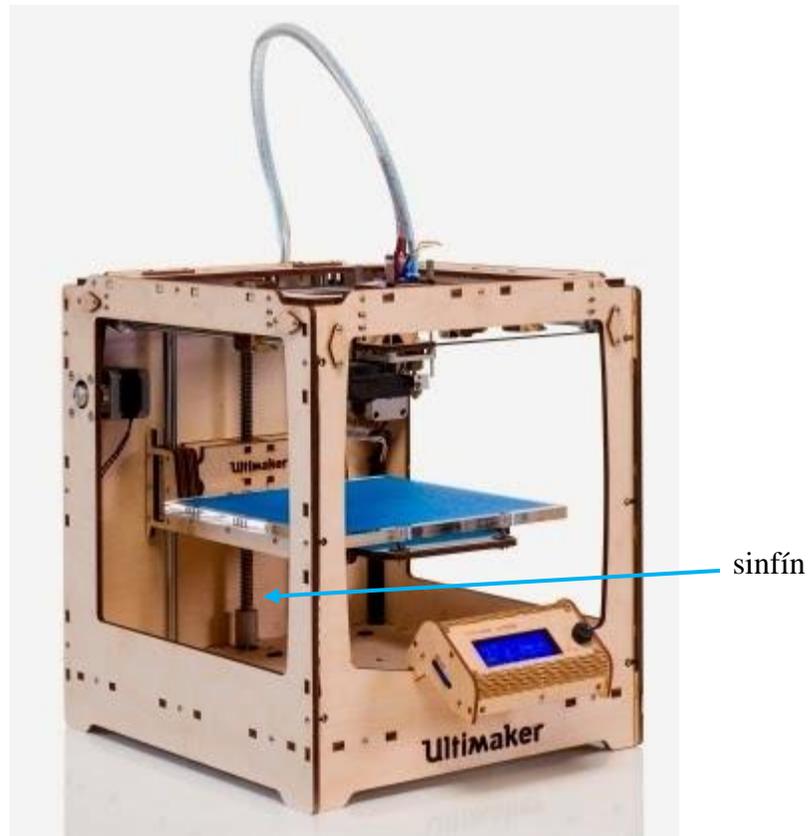


Figura 2.13. Impresora 3D modelo CupCake de MakerBot

Fuente:(Illescas, 2012)

Para la selección del motor que controla el movimiento de la bandeja se toma en cuenta los datos del sinfín a utilizar (Ver Anexo 6) y del peso a levantar,

datos:

Diámetro del sinfín (d)= 8 mm

Longitud del sinfín (l)= 400 mm.

Paso del sinfín (p)= 2 mm.

Masa de la bandeja y carga a desplazar= 1,5kg (capacidad típica de la mayoría de impresoras 3D)

Resolución deseada (r)= 0.025 mm/step (Moyer, 2012a)

Velocidad de avance (v)= 600 rpm

Primero se establece la resolución requerida en grados con la *Ecuación 7*:

Ecuación 7. Resolución en grados.

$$R = \frac{360 * r}{p}$$

Donde:

R Es la resolución deseada en grados.

r Es la resolución deseada en mm/step.

p Es el paso del sinfín.

$$R = 4.5^\circ$$

A continuación se determina el torque necesario para elevar la carga, mediante la *Ecuación 8*, así:

Ecuación 8. Torque para elevar cargas con un sinfín.

$$T_R = \frac{F * d}{2} \left(\frac{\pi * f * d - l}{\pi * d + f * l} \right) + \frac{F * f * d}{2}$$

Fuente:(Budynas & Nisbett, 2008)

donde:

T_R = Par de torsión para elevar la carga.

F= Carga sobre el sinfín.

f= Factor de fricción.= 0.08 (Budynas & Nisbett, 2008)

l= Avance.

d= Diámetro del sinfín.

Primero se calcula el avance (l) del sinfín con la *Ecuación 9*, teniendo en cuenta que es de avance único, por lo tanto:

Ecuación 9. Avance del sinfín

$$l = n * p$$

Fuente:(Budynas & Nisbett, 2008)

Donde:

n= 1 si el avance es único o 2 si es de avance doble

$$l = 2$$

Reemplazando el resultado de la *Ecuación 9* en la *Ecuación 8*, al igual que todos los valores, se obtiene el torque necesario para elevar la carga:

$$T_R = 0,33N.m$$

Se asigna un factor de seguridad de 2 por existir incertidumbre en las cargas.(Mott, 2006) , así:

$$T = T_R * 2$$

$$T = 0.66N.m$$

El torque necesario para el desplazamiento del eje z es de 0,66 N.m, se escoge un motor a pasos NEMA 17 con 1 N.m de torque, ver *Anexo 1*.

2.7.9. SELECCIÓN DEL MATERIAL

El material a utilizar en el sistema intercambiador de cabezales debe ser liviano y resistente, se toman en consideración para el análisis los siguientes materiales.

- Madera.
- Aluminio
- PLA.
- Hierro.

La comparación de los materiales se lleva a cabo analizando su densidad, precio, dureza y su maquinabilidad.

Tabla 2.7.
Propiedades de los materiales

Material	Dureza [HV]	Densidad [Kg/m ³]	Precio[USD/Kg]	Maquinabilidad
Madera	3-9	700-800	1-1.5	5
Aluminio	60-150	2500-2900	1-2	4-5
PLA	28	1260	20-40	5
Hierro	90-310	7050-7250	0.5-0.8	4

Fuente:(Granta, 2005)

Se debe tomar en consideración que la maquinabilidad va de 1 a 5 siendo 5 excelente.

Como se muestra en la *Tabla 2.7* el material que mejor satisface los requerimientos del sistema intercambiador de extrusores es el PLA por su excelente maquinabilidad, además de que presenta absorción de impacto y vibraciones, características que se buscan en este proyecto. Ver *Anexo 17*.

2.7.10. SISTEMA DE CONTROL.

El sistema multicabezal para una impresora 3D es controlado mediante una secuencia de instrucciones generadas por computador, a través de una tarjeta arduino mega, y entregando las instrucciones a los actuadores por medio de una tarjeta controladora Ramp 1,4 (Ver *Anexo 9*).

Los actuadores empleados son los NEMA 17 debido a que satisfacen el torque requerido para el correcto funcionamiento de la máquina que se determinó en la sección 2.5.3 de este capítulo.

2.7.11. CONFIGURACIÓN DEL FIRMWARE MARLIN

El firmware Marlin necesita modificarse en algunas de sus configuraciones para poder trabajar con el modelo de impresora CoreXY. A continuación se detalla brevemente los pasos a seguir para obtener el firmware.

1. Se necesita el entorno de programación de Arduino en una versión reciente se la puede descargar desde la página oficial <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>.
2. Para descargar el firmware basta con ingresar al siguiente link de la página oficial de Marlin <http://marlinfw.org/meta/download/>
3. Adicionalmente se necesita la librería para Arduino que permite el uso del display gráfico 128x64, se la encuentra en el siguiente link <https://code.google.com/archive/p/u8glib/downloads>

Una vez instalada la librería del display gráfico en Arduino, se procede a ingresar en la carpeta del firmware del Marlin descargada en el segundo paso, y se ejecuta el archivo Marlin.ino, tal como se aprecia en la *Figura 2.14*.

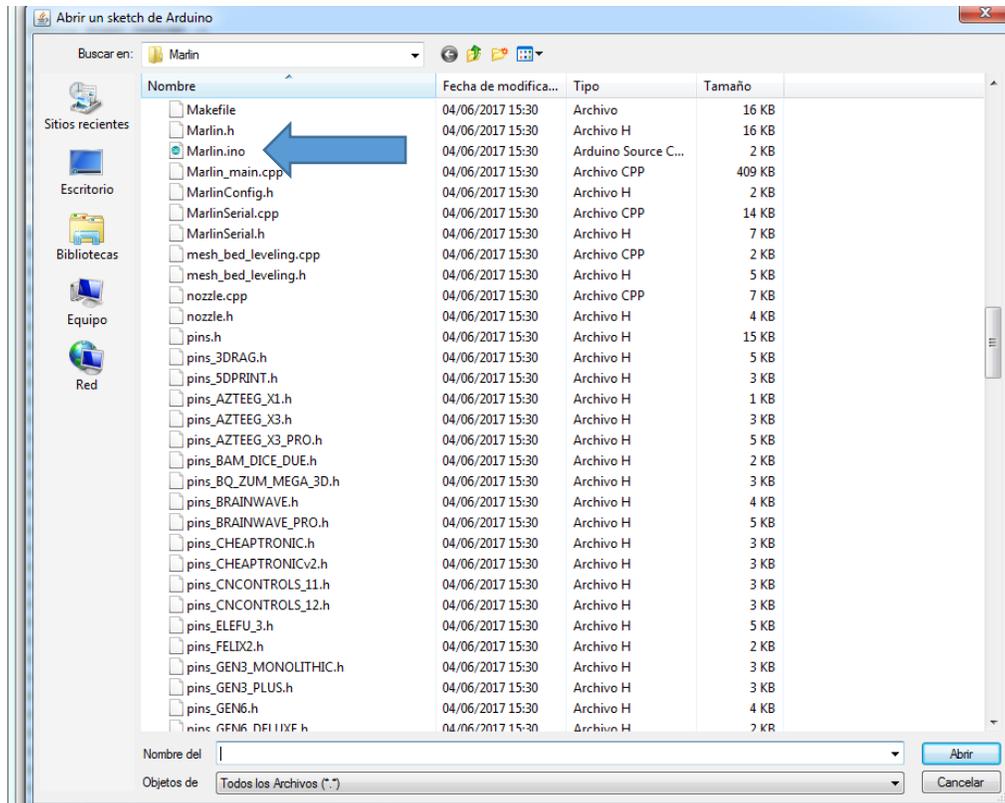


Figura 2.14. Ubicación del archivo Marlin.ino

En la barra de herramientas se comprueba la configuración del hardware a utilizar, en este caso es un Arduino Mega 2560 y tiene por defecto el puerto de comunicación COM11, tal como se aprecia en la *Figura 2.15*.

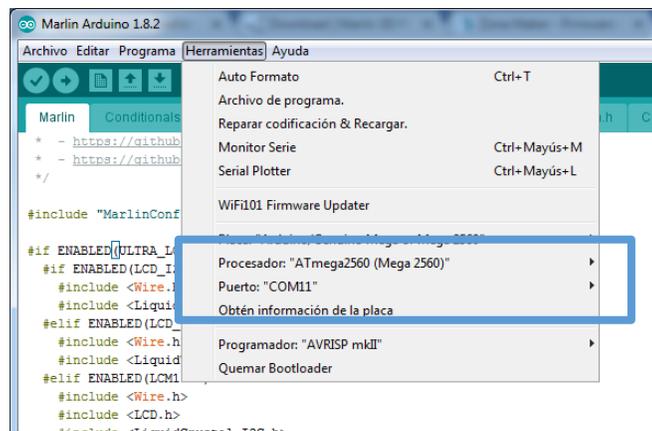


Figura 2.15. Configuración de hardware a utilizar.

Ahora se procede con la configuración de la placa RAMPS 1.4, en la ventana boards.h se busca la configuración que se necesita modificar, como se emplea el uso de doble extrusor y una cama caliente la configuración será BOARD_RAMPS_14_EEB, así:

```
#define BOARD_RAMPS_14_EEB
```

Encontrada la configuración de la placa a utilizar, ahora se ingresa a la ventana configuracion.h y se modifican los datos de la placa en la opción de MOTHERBOARD, tal como se muestra a continuación el idioma del display grafico se configura en español, eso sería una configuración opcional ya que el menú llega por defecto en el idioma inglés.

```
#define LCD_LANGUAGE.es
```

```
#include "language_es.h"
```

En la configuración de transmisión de datos, la velocidad es un dato muy importante ya que se debe sincronizar con la misma velocidad de transmisión, tanto la Impresora 3D, como el programa utilizado, por lo tanto se ingresa:

```
#define BAUDRATE 250000
```

Ahora se habilita el uso de la pantalla grafica GLCD 128x64, con la línea de código que se muestra a continuación.

```
#define REPRAP_DISCOUNT_FULL_GRAPHIC_SMART_CONTROLLER
```

Se define el número de extrusores a utilizar, siendo en este caso 2, por lo tanto se escribe dicho número en la línea de comandos, así:

```
#define EXTRUDERS 2
```

Se definen sensores de temperatura a emplear en los extrusores, siendo en el caso de este proyecto de tipo thermistor 100k, por lo tanto se modifican las líneas de código de la siguiente manera:

```
#define TEMP_SENSOR_0 1

#define TEMP_SENSOR_1 1

#define TEMP_SENSOR_BED 0
```

La mecánica utilizada en la impresora 3D es la COREXY, de la misma manera que en los pasos anteriores se debe definir el tipo de impresora en el programa, para lo cual se procede a habilitar la línea de código que se muestra a continuación.

```
#define COREXY.
```

Los sensores de finales de carrera son tres, dos en los ejes X e Y mecánicos y utilizan una resistencia Pullup, así como también un sensor en el eje z del tipo inductivo y se los configura de la siguiente forma:

```
const bool X_MIN_ENDSTOP_INVERTING = true;

const bool Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING = true;

const bool Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING = false;
```

En caso de ser necesario cambiar la dirección de giro de los motores se lo hace colocando true o false en la configuración de la impresora, tal como se aprecia a continuación.

```
#define INVERT_X_DIR true

#define INVERT_Y_DIR true
```

```
#define INVERT_Z_DIR false
```

```
#define INVERT_E0_DIR false
```

```
#define INVERT_E1_DIR false
```

Ahora se debe configurar los movimientos de cada motor, se emplea la *Ecuación 1* y *2* que se detallan en el *Capítulo I*, de donde se obtiene el número de pasos por milímetro para cada motor en base a las poleas y bandas dentadas empleadas, así:

Correas del eje XY

datos:

Motor $1,8^\circ=200$ pasos por vuelta

Driver DRV8825 = 1/32 Resolución micropasos por cada paso

Polea = 16 dientes

Correa = 2mm avance

$$\frac{(200 \text{ pasos } \times \text{ vuelta} * 32 \text{ micropasos } \times \text{ paso})}{(2 \text{ mm avance correa} * 16 \text{ dientes } \times \text{ vuelta})} = 200 \text{ pasos por mm}$$

Calculo del husillo eje Z

datos:

Motor $1,8^\circ=200$ pasos por vuelta

Driver DRV8825 = 1/32 Resolución micropasos por paso

Avance husillo = 2mm avance

$$\frac{(200 \text{ pasos } \times \text{ vuelta} \times 32 \text{ micropasos } \times \text{ paso})}{(2 \text{ mm avance husillo})} = 3200 \text{ pasos por mm}$$

Se reemplazan los datos obtenidos en las siguientes líneas de código:

```
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT {200,200,3200,180.099}
```

Por último se configura el offset en él que se encuentran el extrusor E0 y E1, así:

```
#define EXTRUDER_OFFSET_X
```

```
#define EXTRUDER_OFFSET_Y
```

2.7.12. CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE REPETIER-HOST

El programa Repetier-Host se descarga desde la página oficial <https://www.repetier.com/downloads/>.

Una vez instalado el programa se ejecuta Repetier-Host y se selecciona la ventana de configuraciones, en ajustes de Impresora se configura el puerto y la velocidad de procesamiento de datos de la misma manera que se configura anteriormente el Marlin. (Ver *Figura 2.16*)

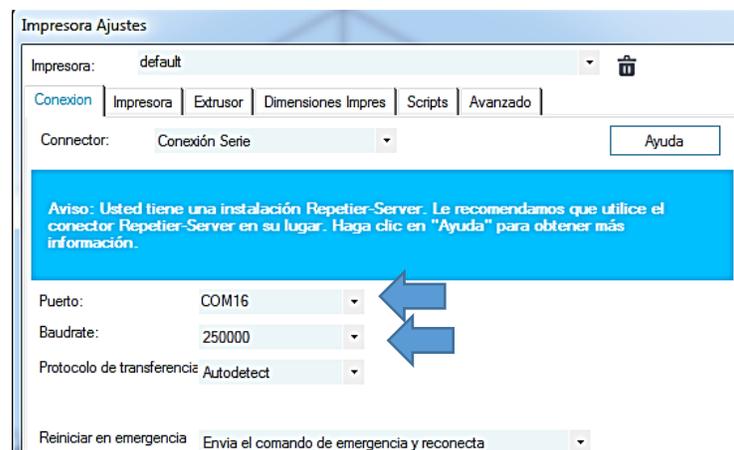


Figura 2.16. Impresora, ajustes de conexión.

En la *Figura 2.17* se observa la ventana “Impresora” donde se configura velocidad de desplazamiento y temperatura del extrusor en la que va a fundir el material.

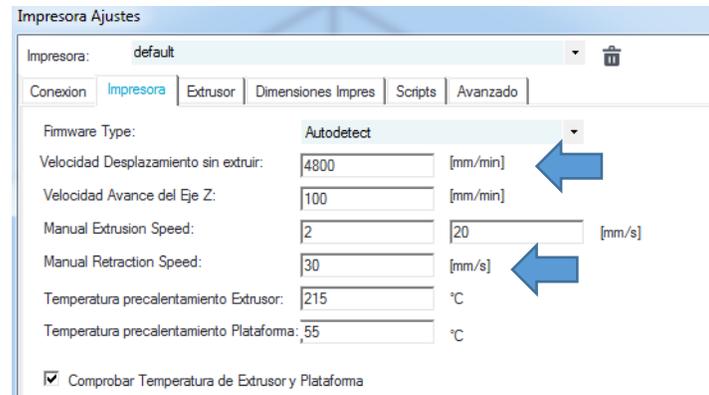


Figura 2.17. Configuración Impresora.

En la ventana “extrusor” se establece dos extrusores y el tamaño de las boquillas que se utilizan en la impresión que son de 0.4mm. (Ver Figura 2.18)

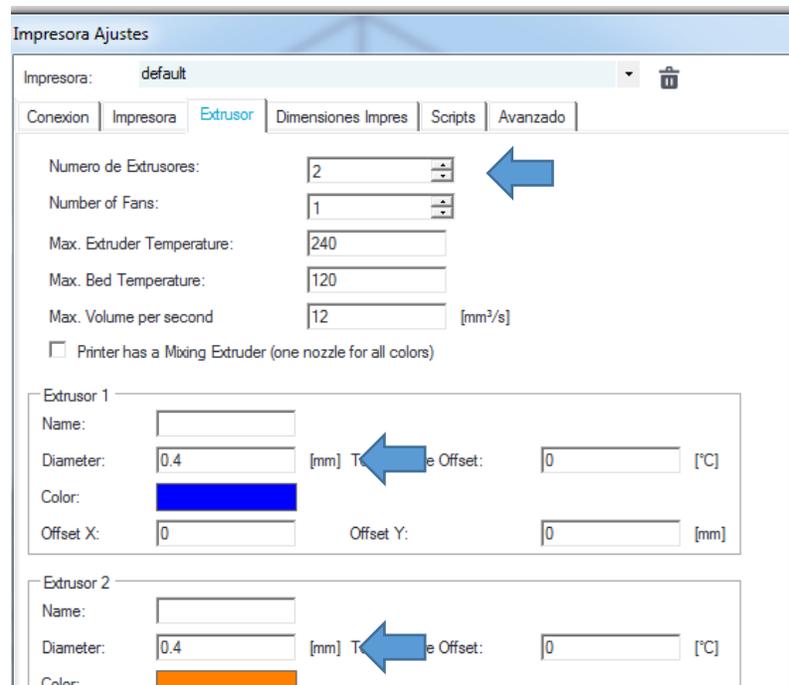


Figura 2.18. Configuración extrusor.

En la ventana “Dimensiones de impresión” se configura el tamaño del área de impresión en Xmax y Ymax, tal como se muestra en la *Figura 2.19*, las demás configuraciones son las mismas que están predefinidas en firmware Marlin X200mm y Z200mm.

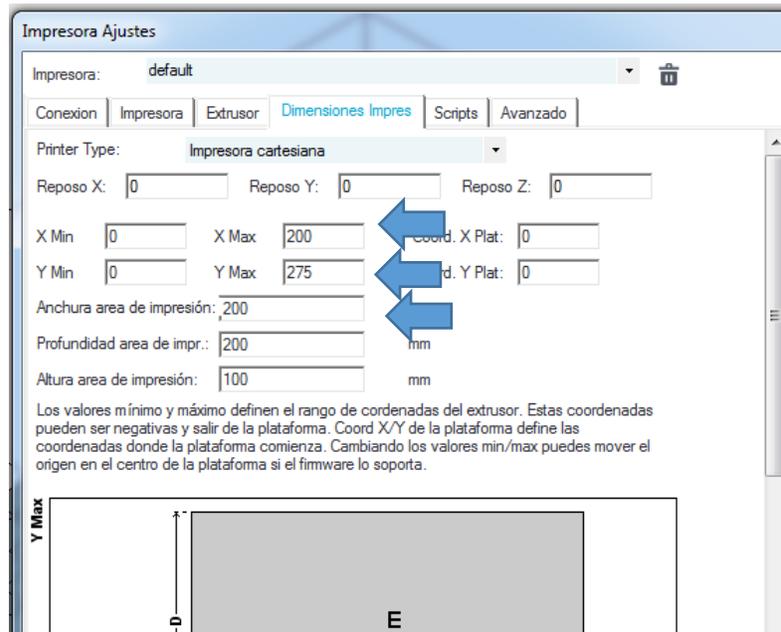


Figura 2.19. Configuración del área de impresión.

2.7.13. CONFIGURACIÓN DEL CURAENGINE

Primero se abre la configuración del programa, dando clic en el botón que se muestra en la *Figura 2.20*.

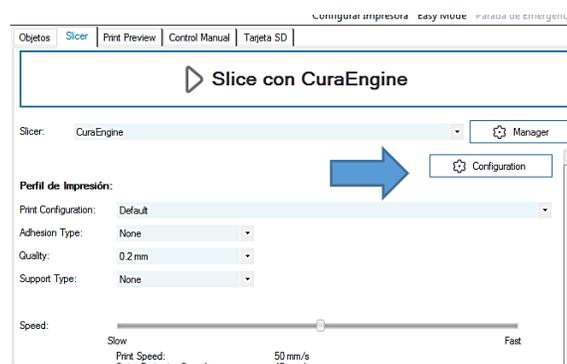


Figura 2.20. Configuración del CuraEngine

En la ventana “Filamento” se configura el diámetro del filamento a utilizar y la temperatura a la que fundes el material, en los cuadros que se muestran en la *Figura 2.21*.

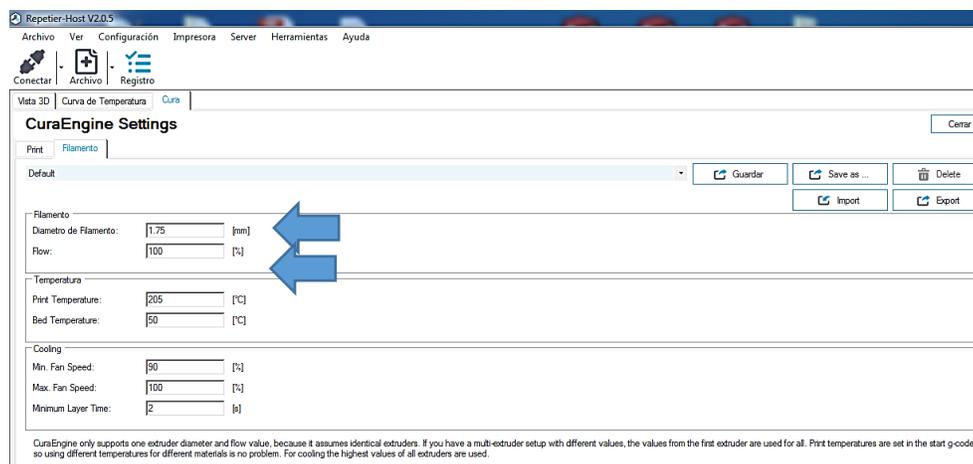


Figura 2.21. Configuración del Filamento.

Por último se configuran las banderas para que el script se ejecute de manera adecuada al momento de generar el archivo .gcode, dando clic en START se inyectan las líneas de código y se finaliza con un END. (Ver *Figura 2.22*)

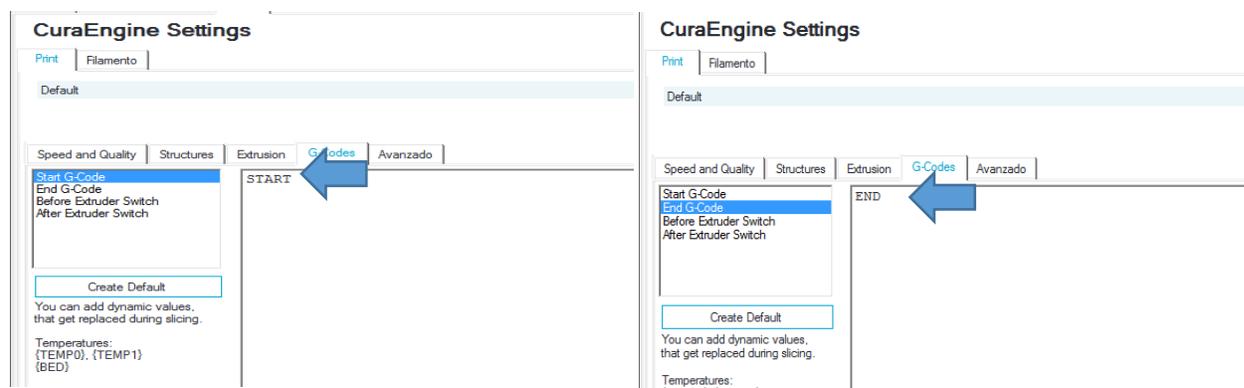


Figura 2.22. Configuración de banderas.

2.7.14. SCRIPT PARA EL INTERCAMBIO AUTOMÁTICO DE EXTRUSORES.

El proceso de intercambio de extrusores ya sea porque el modelo a imprimir cambia de color o a su vez de material debe ser totalmente automático, para evitar fallas y la manipulación humana. Para lograr lo antes mencionado se procede a la creación de un script, que cumpla dicha acción.

El funcionamiento del script se basa en reemplazar líneas de código generadas en el G-code que entrega el software repetier host, y se debe realizar obligatoriamente las configuraciones detalladas en la sección 2.7.11, en donde se generan las banderas que el script detecta y reemplaza con la siguiente línea de código.

```
char1 = 'START'
```

Luego que el script detecta la bandera START, procede a buscar la etiqueta Codigo1 que corresponde al primer color de impresión con la siguiente línea de código.

```
char2 = 'Codigo1' #Inyecta código inicio
```

Encontradas todas las etiquetas Codigo1, ahora se las reemplaza por el comando que generara la trayectoria de desplaza cimiento del primer extrusor en todas sus instancias.

```
char3 = 'T0' #Bandera activación E0
```

y por último realiza el mismo procedimiento anterior para el segundo extrusor, siendo las líneas de código usadas las siguientes:

```
char4 = 'Codigo2' #Inyecta código activación E0
```

```
char5 = 'T1' #Bandera activación E0
```

```
char6 = 'Codigo3' #Inyecta código activación E0
```

Luego de que se realizan todos los cambios de comandos, el script avanza al siguiente proceso, que se trata de localizar la segunda bandera generada en el modelo.

```
char7 = 'END' #Bandera de finalización
```

Por último se genera una línea de código que indica a la impresora que la impresión termino y esta se posiciona en su origen.

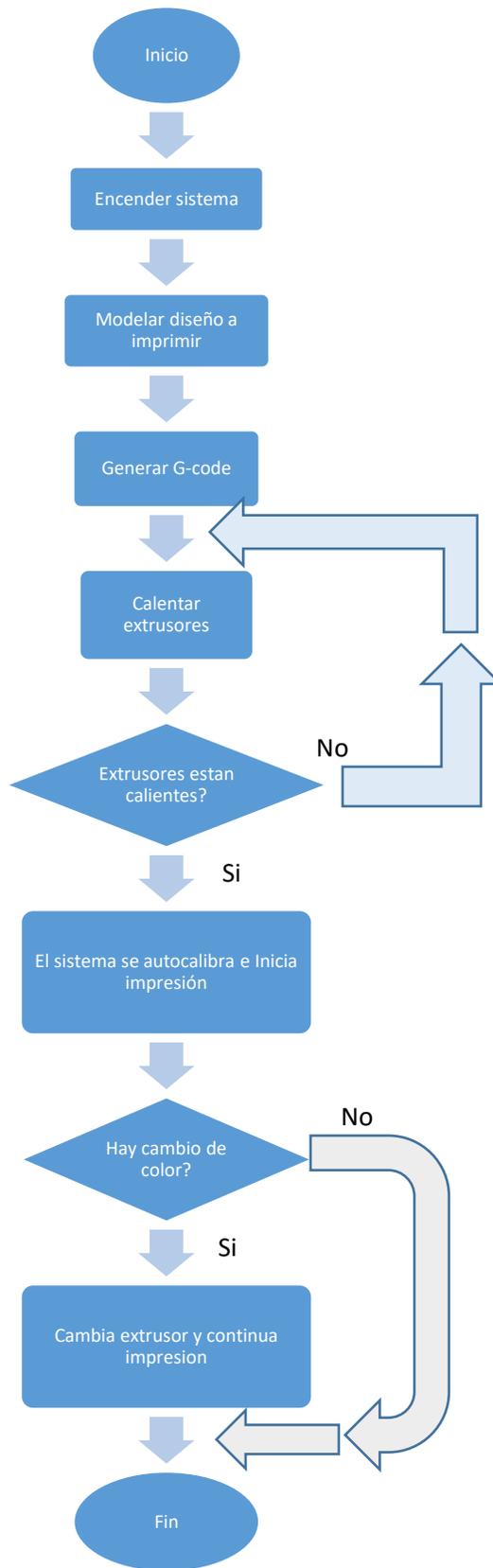
```
char8 = 'Codigo4' #Inyecta código finalización
```

2.7.15. PROGRAMACIÓN

La programación del sistema multicabezal es realizada de tal forma que se adapte a la secuencia de impresión de una impresora 3D, asegurando correcto funcionamiento de la misma.

El programa de control primero establece un eje de posicionamiento en coordenadas X,Y,Z en cero, esto se logra mediante el uso de finales de carrera en los 3 ejes de desplazamiento de la impresora 3D.

El usuario especifica la sección de la pieza a imprimir que desea trabajar con un color, y de igual forma la sección que requiera de otro tipo diferente de material o color, el programa genera automáticamente la instrucción para que el sistema multicabezal se accione y realice el cambio de extrusor, sin perder posición ni precisión en la impresión. El programa de control del sistema multicabezal se lo realiza de tal manera que se adapte al programa de impresión de una impresora 3D sin dificultad. El control del sistema multicabezal se representa en el siguiente flujograma.



2.7.16. FABRICACIÓN DE COMPONENTES ESTRUCTURALES.

La mayor parte de componentes que conforman el sistema intercambiador de cabezas son adquiridos comercialmente, pero existen varios que necesariamente deben ser construidos, se los fabrica de manera impresa en 3D, la *Tabla 2.8* muestra los diferentes elementos que se elaboran mediante la impresión 3D.

Tabla 2.8.
Elementos impresos en 3D

ELEMENTO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
Ángulos		Ángulos de sujeción para el tubo cuadrado.
Bases para motor.		Bases para colocación y sujeción de los motores a pasos.

<p>Base para ventilador</p>		<p>Base para montar bajo el motor a pasos con un ventilador.</p>
<p>Tope final de carrera eje x</p>		<p>Elemento para posicionar el extrusor en el eje x.</p>
<p>Acoples magnéticos para el intercambiador de extrusor.</p>		<p>Los acoples magnéticos se usan para el intercambio de la cabeza extrusora.</p>

2.7.17. ENSAMBLAJE

El ensamble de la máquina se lo realiza de acuerdo a lo que se muestra en la *Tabla 2.9.*

Tabla 2.9.

Ensamble

ENSAMBLAJE	N°	DESCRIPCIÓN
	1	Tubo vertical derecho
	2	Tubo vertical izquierdo
	3	Tubo horizontal superior
	4	Tubo Horizontal medio
	5	Tubo horizontal inferior
	6	Tubo lateral derecho
	7	Tubo lateral izquierdo
	8	Tubo lateral inferior
	9	Platina guía varillas
	10	Varilla cuadrada
	11	Mesa
	12	Platina central
	13	Rodamiento
	14	Polea dentada
	15	Ángulo
	16	Unión
	17	Sujeta motor
	18	Base motor
	19	Base ventilador
	20	Sistema de extrusión
	21	Varilla lisa
	22	Varilla roscada
	23	Acople eje
	24	Alza chumacera
	25	Brida lineal
	26	Carril lineal
	27	Guía eje
	28	Ángulo esquina 1
	29	Ángulo esquina 2
	30	Tope eje x
	31	Motor
	32	Chumacera
	33	Porta extrusor-i
	34	Porta extrusor-d
	35	Base extrusor

2.7.18. PROCESO DE ENSAMBLAJE

El sistema multicabezal se lo ensambla por etapas, empezando por la estructura base, avanzando a los sistemas de transmisión y concluyendo con los extrusores. Para mejor entendimiento del proceso, se lo detalla mediante el siguiente orden:

- Montaje de la estructura base.
- Colocación de varillas lisas de sujeción.
- Implementación de carros de desplazamiento en los ejes X, Y.
- Montaje de la mesa de trabajo.
- Montaje del sistema de extrusores.
- Montaje de los motores a pasos.
- Implementación del sistema electrónico.

2.7.19. MONTAJE DE LA ESTRUCTURA BASE.

El montaje de la estructura base se lo realiza uniendo tubos cuadrados de aluminio con la ayuda de acoples de plástico. Cada parte de la estructura se muestra en la *Figura 2.23*.



Figura 2.23. Montaje de estructura

2.7.20. MONTAJE DE LAS VARILLAS DE SUJECIÓN.

Las varillas lisas de sujeción se colocan verticalmente en una de las caras de la estructura base, estas servirán de apoyo y guía para la mesa de trabajo, el montaje realizado se lo puede observar en la *Figura 2.24*.



Figura 2.24. Montaje de varillas de sujeción.

2.7.21. IMPLEMENTACIÓN DE LOS CARROS DE DESPLAZAMIENTO EN LOS EJES X y Y.

Los carros de desplazamiento eliminan la fricción y ayudan a prevenir el mal desplazamiento de las cabezas extrusoras, su montaje se lo realiza en la parte superior de la estructura base, agregando además los carros mismos. Ver *Figura 2.25*.



Figura 2.25. Montaje de carros de desplazamiento

2.7.22. MONTAJE DEL SISTEMA DE EXTRUSORES.

El sistema de extrusores se coloca sobre un riel, el mismo que es implementado en la parte superior de la estructura base, y que a su vez está unido a los carritos de desplazamiento, tal como se aprecia en la *Figura 2.26*.

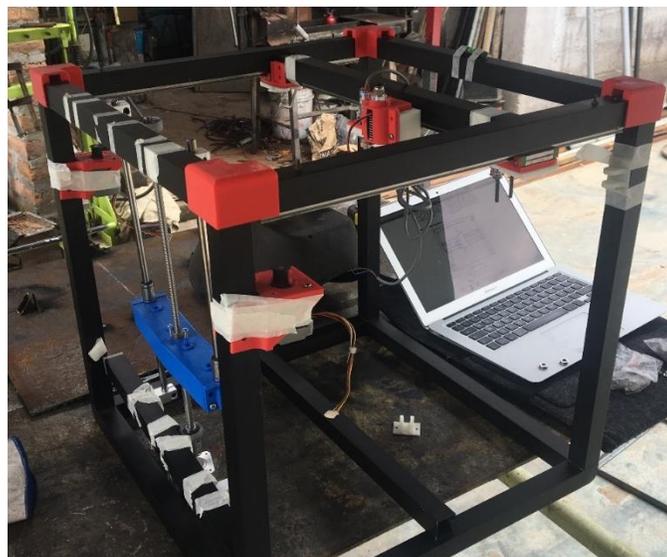


Figura 2.26. Montaje del extrusor

2.7.23. MONTAJE DE LA MESA DE TRABAJO.

La mesa de trabajo se coloca en el centro de la estructura base para lo cual se acopla en el tornillo sinfín que controla su desplazamiento, es ensamblada con las varillas lisas que aseguran el correcto movimiento de la mesa. Ver *Figura 2.27*

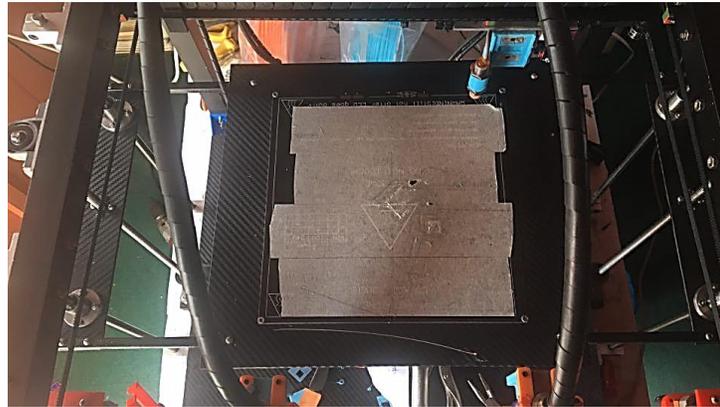


Figura 2.27. Montaje de la mesa de trabajo.

2.7.24. MONTAJE DE LOS MOTORES PASO A PASO.

Se emplean 6 motores a pasos en el proyecto, de los cuales dos controlaran los movimientos en los ejes X, Y, 2 son encargados del movimiento en el eje Z, y los 2 últimos impulsan el material hacia el extrusor.

Los motores de los ejes X,Y, se encuentran en la parte superior del sistema y controlan mediante un sistema de bandas y poleas dentadas el movimiento tanto de los carritos de desplazamiento, así como también, el sistema de extrusores, la *Figura 2.28* muestra de forma detallada donde se montaron los motores.

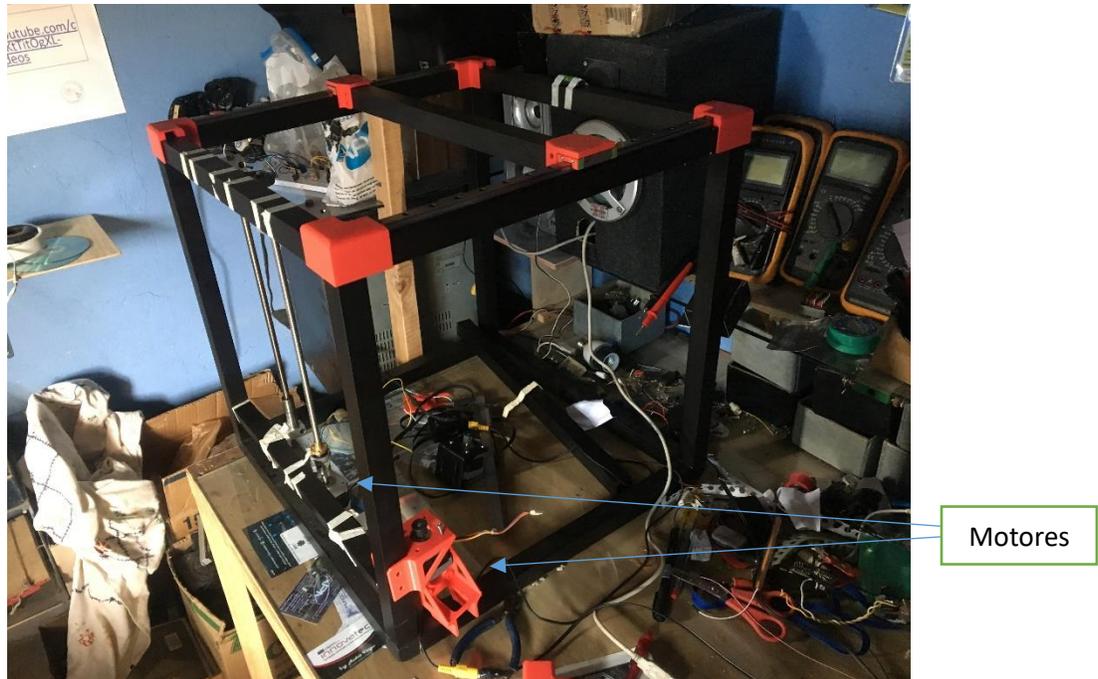


Figura 2.28. Posición de motores

2.7.25. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO.

El sistema electrónico es el mismo con el que consta la impresora 3D, constituido por una Ramp 1.4 y sus drivers. Ver *Figura 2.29*, además de una tarjeta Arduino, estas tarjetas electrónicas se montan dentro de un tablero de control, implementado en la parte frontal de la máquina, brindando un fácil y rápido acceso al operador.



Figura 2.29. Ramp 1,4

CAPITULO III

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1.ESPECIFICACIONES OBTENIDAS EN LA IMPRESORA 3D

En base a los componentes elegidos y cálculos realizados en las secciones anteriores, se puede establecer las características o especificaciones que presenta la impresora realizada en este proyecto, siendo:

RESOLUCIÓN

Para conocer la resolución de la impresora 3D, se realizan cálculos en base a los sistemas de transmisión, siendo estos un tornillo sinfín en el eje z y bandas dentadas para X & Y, para lo cual se emplea la *Ecuación 10*.

Ecuación 10. Resolución

$$R = \frac{p}{puu}$$

Fuente:(Romero Barreno & Vaca Morales, 2015)

donde:

R= Resolución

p=paso del tornillo sinfín= 2mm

puu=pasos por milímetro del sinfín

Primero se obtienen los pasos por milímetro del sinfín (*puu*) con ayuda de la *Ecuación 11*.

Ecuación 11. Pasos por milímetro

$$p_{uu} = \frac{\text{pasos por revolucion} \times \text{micropasos del driver}}{p}$$

Fuente: (Romero Barreno & Vaca Morales, 2015)

$$p_{uu} = \frac{200 * 32}{2mm}$$

$$p_{uu} = 3200$$

Reemplazando el resultado en la *Ecuación 10*.

$$R = 0.00063mm$$

La resolución de impresión presente en la impresora realizada en este proyecto es de 0.00063mm.

CAPACIDAD MÁXIMA DE TRABAJO.

En el *Capítulo II* se realizan los cálculos necesarios para la selección de actuadores que se emplean en el proyecto, escogiéndose motores NEMA 17 como los idóneos, ahora se procede a encontrar la el peso máximo que puede soportar la impresora 3D, realizando el análisis en el eje Z por ser el que más fuerza necesita, al presentar elevación de cargas.

datos:

Torque NEMA 17= 1N.m (Ver Anexo 1)

Torque para elevar el eje Z con 1,5Kg de peso= 0,33N.m

Numero de motores en el eje Z=2

Realizando una simple regla de 3 obtenemos que:

Capacidad máxima= 4,55 Kg

Como se utilizan dos motores, se multiplica el resultado por 2, obteniendo:

Capacidad máxima de trabajo= 9.1 Kg.

3.2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.

Una vez construido en su totalidad el sistema multicabezal se realiza varias pruebas de funcionamiento, entre las cuales se realizan diferentes formas geométricas y disposición del material, los resultados obtenidos en las pruebas se detallan a continuación:

IMPRESIÓN DE UN CUBO DE 6 CAPAS

Para la impresión del cubo se realiza mediante 6 capas de material y se alternaran los colores en cada capa, tal como se aprecia en la *Figura 3.1*.

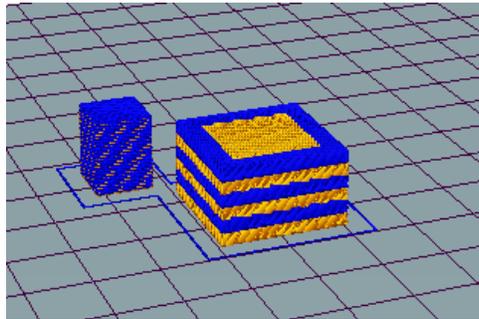


Figura 3.1. Modelo STLD del cubo de 6 capas

La impresión toma alrededor de 35 minutos y presenta el acabado que muestra en *Figura 3.2*.

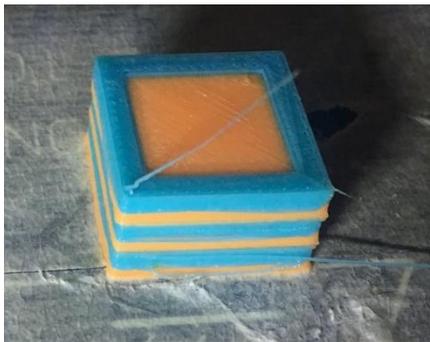


Figura 3.2. Cubo impreso

IMPRESIÓN DE DOS COLORES EN MALLADO.

Se realiza una impresión en forma de malla con dos colores uno al costado del otro, el intercambiador de cabezales realiza el cambio varias veces hasta culminar el modelo que se presenta en la *Figura 3.3*

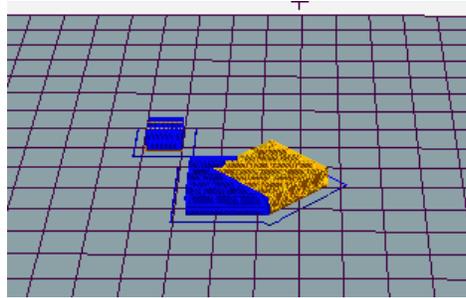


Figura 3.3. Modelo de impresión en forma de malla.

El acabado obtenido se muestra en la *Figura 3.4*, donde se puede apreciar que pese al cambio de cabezal el modelo fue correctamente impreso, presentando únicamente pequeños hilos de material sobrante, el mismo que es fácil de retirar. La impresión toma alrededor de 15 minutos.

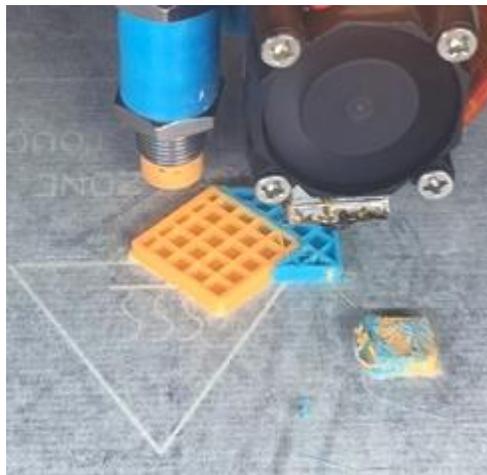


Figura 3.4. Impresión de dos colores en forma de malla.

IMPRESIÓN DE UN CONO CON CUADROS DE COLORES.

La impresión de un cono se realiza manera que se someta a más esfuerzo el intercambiador de cabezales, el modelo del cono se presenta en la *Figura 3.5*.

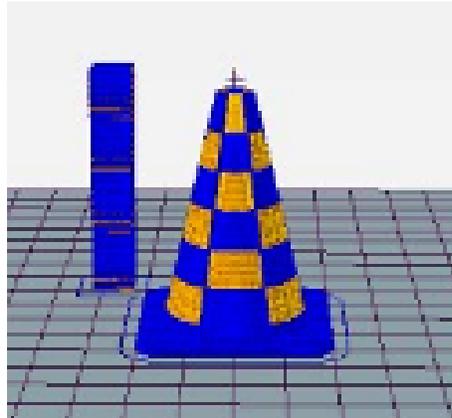


Figura 3.5. Modelo de impresión de un cono

El acabado obtenido se muestra en la *Figura 3.6*, donde se puede apreciar que aun con el cambio exigente del cabezal debido a la forma del modelo de impresión, y a su disposición de colores, se logra obtener una impresión de buena calidad y sin un gran nivel de dificultad.



Figura 3.6. Impresión de un cono de dos colores

3.3. CORRECCIONES REALIZADAS A LA MÁQUINA

En las primeras pruebas de funcionamiento se ha diseñado el primer prototipo, teniendo resultados de impresión no muy satisfactorios por falta de soporte para que se mantenga firme el cuerpo del extrusor, la impresión obtenida muestra irregularidades, además de deformaciones notorias en su geometría. (Ver *Figura 3.7*)



Figura 3.7. Primera impresión 3D.

En un segundo diseño del soporte extrusor se añade sostén para que se mantenga firme sin vibraciones el cuerpo del extrusor, se logra así una impresión de mejor calidad (Ver *Figura 3.8*), también se ha cambiado el sistema de sujeción por imanes de mayor tamaño con lo que se obtiene un excelente agarre al cuerpo del extrusor.



Figura 3.8. Impresión del soporte del extrusor.

Como tercer cambio se ha introducido un sensor inductivo, para lo que se añadió en la impresión un tubo, tal como se aprecia en la *Figura 3.9*, que censará el eje Z, tiene como mejora una auto nivelación en la cama de impresión, con esto se logra que el eje Z se desplace de una manera más adecuada al momento de imprimir un modelo 3D.

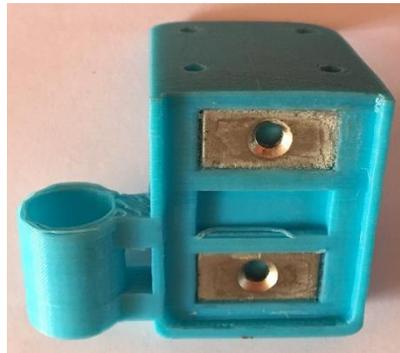


Figura 3.9. Soporte de extrusor con base para un sensor inductivo.

Como cuarta mejora se integra en el soporte del extrusor un switch de inicio de carrera al eje X, con esto se logra eliminar cables, teniendo como resultado el uso de menos cableado y mayor estética en la Impresora 3D. (Ver *Figura 3.10*)



Figura 3.10. Switch de inicio de carrera en el eje X.

Posteriormente se realiza la corrección en el cuerpo extrusor. Esta pieza es diseñada para hacer encajar al extrusor y que se mantenga siempre vertical, en la *Figura 3.11* se puede observar el cambio de geometría que se realiza para que trabaje con mayor eficiencia al momento de depositar el material fundido en la cama de impresión.



Figura 3.11. Mejora para evitar que el extrusor pierda su posición vertical.

Como segunda mejora se ha incrementado un soporte para la parte baja del extrusor, tal como se aprecia en la *Figura 3.12*, logrando así una mayor sujeción del extrusor.



Figura 3.12. Segunda mejora en la base del porta extrusor.

A continuación se realiza un soporte para el cuerpo del extrusor como se muestra en la *Figura 3.13*. Esta pieza está diseñada para la sujeción del extrusor hacia el cuerpo del mismo, de tal manera que este trabaje óptimamente, manteniendo la boquilla del extrusor, en la forma más adecuada de trabajo al momento de imprimir los modelos 3D.

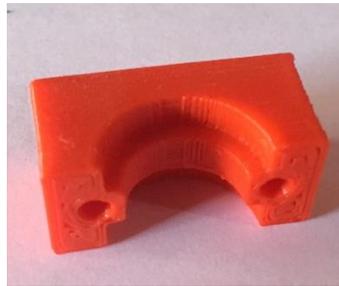


Figura 3.13. Soporte para el cuerpo del extrusor

Como segunda mejora se ha incrementado un sistema donde el extrusor que no trabaje, repose y espere hasta el momento que sea utilizado por la impresora 3D, según sea su requerimiento, para esto se realiza la pieza que se muestra en la *Figura 3.14*.

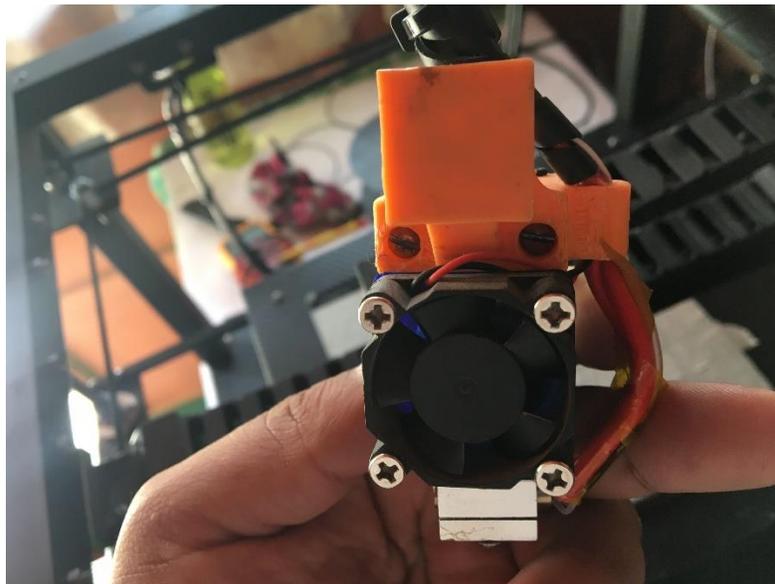


Figura 3.14. Base para extrusor.

Como tercera mejora se incorpora un sistema de sujeción doble, que se coloca en la parte superior del extrusor (Ver *Figura 3.15*), para tener un total agarre del soporte hacia la parte extrusora.

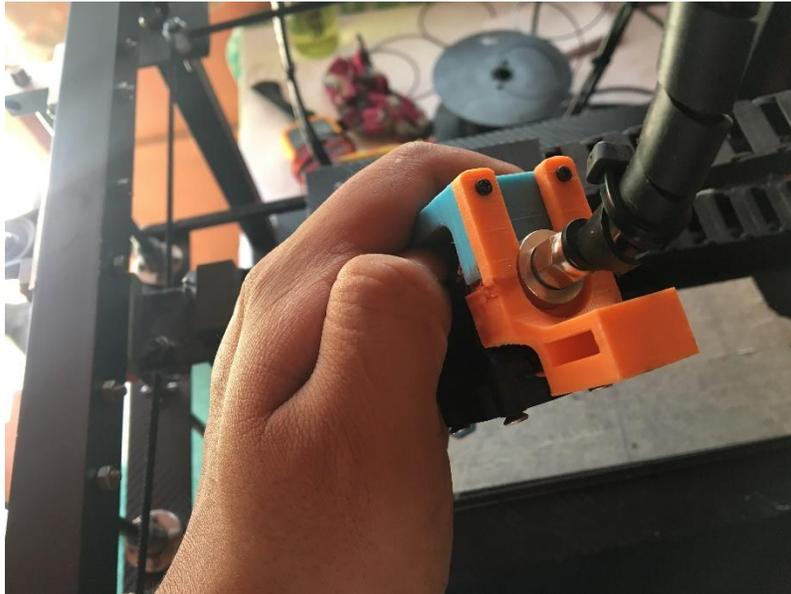


Figura 3.15. Sistema de doble sujeción para el extrusor.

Al realizar varias pruebas de impresión se nota que la impresora 3D produce vibración y esto provoca que el extrusor pierda su posición original, se ha integrado una cuarta mejora en el soporte añadiendo un imán en este (Ver *Figura 3.16*), de esta manera se elimina cualquier movimiento no deseado en el extrusor que está en modo espera, con resultados muy buenos en el momento de la impresión 3D.

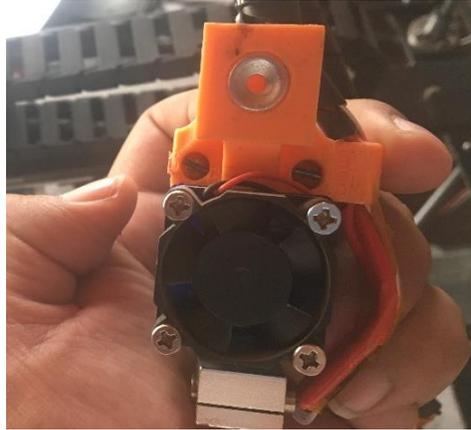


Figura 3.16. Cuarta mejora en el soporte del extrusor

CORRECCIÓN EN EL GUARDA EXTRUSOR

En el primer diseño no se tuvo un buen resultado debido a que los cables del sistema multicabezal se chocaban y desplazaban del lugar al extrusor que se encontraba en espera, para corregir este problema se divide el guarda extrusor en dos piezas independientes para cada uno de ellos, tal como se parecía en la *Figura 3.17*.

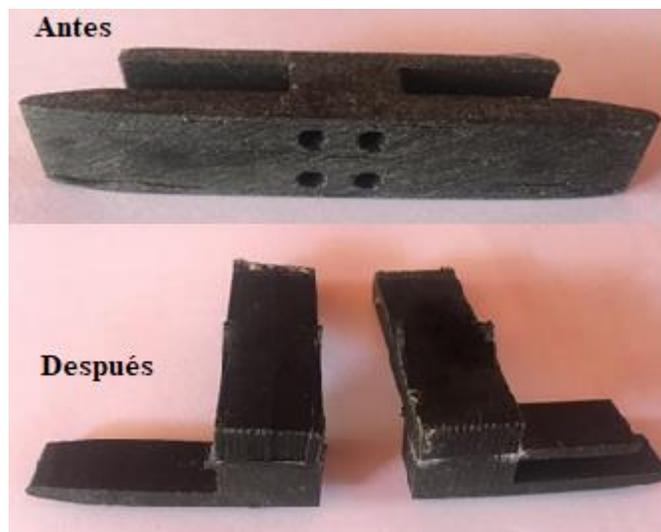


Figura 3.17. Corrección en el guarda extrusor

Como segunda corrección se diseña un modelo con sujeción posterior (Ver *Figura 3.18*) para tener mejor agarre del extrusor, de esta forma el extrusor se mantiene en su posición con más firmeza, pero no se logra eliminar el desplazamiento por vibración de la máquina por completo.



Figura 3.18. Segunda mejora en el guarda extrusor.

Por último se ha integrado un imán en el guarda extrusor, de esta manera se evita en su totalidad la pérdida de posición debido a vibraciones propias que se generan en la máquina.

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO CON LAS CORRECCIONES IMPLEMENTADAS EN LA MÁQUINA.

Incorporadas todas las mejoras y correcciones en la impresora 3D se reduce las vibraciones y por ende se mejora la calidad de impresión. Se realizan pruebas de impresión con modelos que presentan mayor nivel de detalle y en donde la máquina funciona con más precisión.

IMPRESIÓN DE UN ZORRO

El modelo de impresión para esta prueba es el de un zorro que presenta una superficie de contornos rectos, con lo que se espera probar el funcionamiento de la máquina en diferentes niveles de impresión.



Figura 3.19. Zorro impreso

En la *Figura 3.19* se observa el acabado obtenido en la impresión luego de realizar las mejoras. Se logra un resultado notablemente superior a modelos impresos anteriormente, las líneas de impresión son menos notorias y los bordes tienen mejor resolución.

IMPRESIÓN DE UN DINOSAURIO

Se realiza ahora la impresión de una figura en forma de dinosaurio, por poseer salientes en su parte posterior, siendo estos a diferentes niveles y con un nivel de dificultad medio.



Figura 3.20. Dinosaurio impreso

En la *Figura 3.20* se puede observar el nivel de detalle obtenido, principalmente en la zona posterior del modelo, se obtienen esquinas completamente formadas y un nivel de detalle alto.

IMPRESIÓN DE UN BUSTO

Por último se busca un modelo que ponga a prueba la impresora con un gran nivel de detalles de impresión, la impresión se la realiza a 20% con la finalidad de realizar una impresión de velocidad rápida, y así observar el resultado obtenido.



Figura 3.21. Busto impreso

En la *Figura 3.21* se muestra el resultado obtenido luego de la impresión del modelo en 20% de relleno y velocidad alta de 60mm/s. El nivel de detalle que se logro es de gran calidad, las líneas de expresión, barba, entre otros presentan diferentes alturas y profundidades impresas sin dificultad.

Comparando el resultado de la *Figura 3.2*, el cual es un cubo impreso, en donde las esquinas presentaban una ligera inclinación, con bordes bruscos y con line de impresión notorias, la impresión de la *Figura 3.21*, presenta un nivel de acabado superior en un 30%.

3.4. ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO

3.4.1. COSTOS DIRECTOS DE FABRICACIÓN DEL DISPOSITIVO

Los costos directos que incorpora el sistema multicabezal en una impresora 3D, se detallan en la *Tabla 3.1*.

Tabla 3.1.
Costos directos

Detalle	Cantidad	Valor unitario(\$)	Valor total (\$)
Actuadores	6	20	120
Estructura	1	20	20
Ramps 1.4	1	20	20
Arduino mega	1	20	20
Extrusor	2	15	30
Ventilador 8cm	4	3	12
Varillas lisas	4	3	12
Varillas roscadas	2	15	30
Cama caliente	1	18	18
Kit banda y poleas dentadas	1	25	25
Filamento 3D	2	45	90
Fuente de alimentación	1	40	40
Cables	1	25	25
Imanes de neodimio	10	1,5	15
Mano de obra	1	135	135
TOTAL			612

3.4.2. COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN

En la *Tabla 3.2* se detalla los costos indirectos de fabricación que se incluyeron en el desarrollo del proyecto.

Tabla 3.2.
Costos indirectos

Detalle	Valor (\$)
Material de oficina	100
Internet	100
Transporte	150
TOTAL	350

3.4.3. COSTO TOTAL

En el análisis de costo total se toma en consideración la suma de los costos directos e indirectos, tal como se aprecia en la *Tabla 3.3*.

Tabla 3.3.
Costo total

Costo	Valor(\$)
Costos directos	612
Costos indirectos	350
TOTAL	962

CAPITULO IV

4.1. CONCLUSIONES

- El sistema multicabezal de extrusores para impresoras 3D facilita la implementación de una impresión con dos cabezales, obteniendo una impresión más rápida y de mayor calidad en varios colores y/o tipos de material en un mismo modelo de impresión.
- La selección de un sistema intercambiador de cabezales por contactos magnéticos permite obtener un sistema liviano y de tamaño reducido, aprovechando el espacio en el eje X y reduciendo el momento en el sistema.
- Con la recopilación de información realizada en torno a las impresoras 3D con mecánica de movimiento CORE XY existentes en el mercado se establece la forma y posición más adecuada para el sistema intercambiador de cabezales.
- El sistema multicabezal de extrusores para impresoras 3D facilita la ejecución de una impresión rápida y de calidad en varios colores y/o tipos de material.
- El análisis de espacio y selección de las alternativas más adecuadas para la trayectoria del intercambio de extrusor fueron de gran utilidad, ya que permite ahorrar tiempo de impresión 3D y una integración sencilla para el código de la máquina.
- El mantenimiento de los extrusores se los realiza fácilmente, debido a que estos se encuentran de forma independiente, pudiendo utilizar un extrusor en el proceso de impresión 3D mientras se realiza el mantenimiento del otro extrusor.
- Las pruebas de funcionamiento mostraron un excelente acabado de impresión a pesar de realizar varias veces el cambio de extrusor, esto se debe al buen uso del offset que se encuentra en el firmware cargado en la placa de la máquina 3D.

- Se realiza un script para que modifique las configuraciones iniciales de la máquina de forma automática, con lo que se logra evitar que el código fuente sea editado de forma manual, reduciendo considerablemente el tiempo de preparación del código necesario para iniciar con la impresión.
- Luego de realizar las correcciones en el sistema intercambiador de cabezales se logra obtener una mejora del 30% en calidad de impresión.
- Con el fin de mejorar la deposición del material fundido en el proceso de impresión se optó por tener los ventiladores encendidos durante todo el proceso, de esta manera se logró evitar que el material se atasque en la garganta del extrusor.
- La resolución de impresión obtenida es de 0.00063mm por capa.
- El uso de una interface amigable para el usuario es beneficioso para la implementación del sistema intercambiador de extrusores porque permite interactuar máquina usuario de una manera fácil e intuitiva en todo el proceso de impresión.

4.2. RECOMENDACIONES

- En trabajos futuros se recomienda continuar la línea de investigación poniendo énfasis en el mejoramiento del sistema de intercambio de cabezales, aumentando el número de extrusores de la máquina.
- Se recomienda implementar más varillas lisas en los ejes X y Y para lograr mayor precisión en la impresión.
- Para obtener mejor calidad de impresión se recomienda incorporar ventiladores en la punta de cada extrusor.

- Para un manejo óptimo de la impresora 3D se recomienda revisar el manual del usuario y mantenimiento donde se detallarán todas las instrucciones para poner en punto de funcionamiento a la impresora 3D con el cambio automático de extrusores.
- Se recomienda implementar más varillas lisas de 8MM y cojinetes plásticos de tipo LM8UU 8MM en los ejes X y Y para lograr una mayor precisión en la impresión 3D mejorando el sistema de deslizamiento de los cabezales en dichos ejes.
- Es aconsejable utilizar los drivers TSC2100 para reducir el ruido generado al momento de la impresión en los ejes XY.
- Para obtener mejor calidad de impresión se recomienda incorporar ventiladores en la punta de cada extrusor.
- Se plantea la continuación de programación del Script creado en python para la integración de más extrusores u herramientas a utilizar en un futuro, para facilitar el uso de la impresora 3D.
- El lugar de funcionamiento de la máquina se debe realizar en lugares libres de polvo, humedad que sean secos y a una temperatura ambiente.
- Realizar mantenimientos preventivos de acuerdo a lo estipulado en el manual de mantenimiento de la impresora 3D.
- Se propone realizar un sistema de limpieza de la boquilla del extrusor para reducir tiempos de impresión, una mayor calidad de piezas y un ahorro considerable de material.

BIBLIOGRAFÍA

- Alu-Stock. (2017). Empresa Alu-Stock. Retrieved from <http://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/tubos-cuadrados/>
- Bell, C. (2014). *Maintaining and Troubleshooting Your 3D Printer* (D. Pundick Ed.). New York: Heinz Weinheimer.
- Berchon, M., & Luyt, B. (2016). *La impresión 3D: guía definitiva para makers, diseñadores, estudiantes, profesionales, artistas y manitas en general*. Barcelona, ESPAÑA: Editorial Gustavo Gili.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (Octava ed.). México.
- Co, E. e. (2017). Professional linear motion accessories supplier. In. China.
- Corporation, M. (2016). *Cómo elegir un imán*. Retrieved from <https://www.magfine.co.jp/es/>
- Drives, F. (2017). NinjaTek Sales & Technical Support. Retrieved from http://www.fennerdrives.com/ninjatek/_/3d/?=
- Evans, B. (2012). *Practical 3D Printers The Science and Art of 3D Printing* (K. Burton Ed.). New York: Paul Manning.
- Granta, D. I. (2005). *CES EduPack (Version 4.6)*. United Kingdom: Cambridge.
- ICTP. (2013). *Low-cost 3D Printing for Science, Education & Sustainable Development* (E. Canessa, C. Fonda, & M. Zennaro Eds.). Italy: ICTP—The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics 2013 ICTP Science Dissemination Unit
- Illescas, M. E. (2012). *Construcción de una impresora 3D Open Source*. (Ingeniero en Electrónica Industrial y Automática), Universidad Carlos III de Madrid, Madrid.

Impresoras3d.com. (2017). Prometheus, el sistema que revolucionará tu impresora 3D.

Retrieved from <https://www.impresoras3d.com/prometheus-el-sistema-que-revolucionara-tu-impresora-3d/>

Infante Martín, R. (2012). PROCESOS DE CONFORMADO DE MATERIALES POLIMÉRICOS POR PROTOTIPADO RÁPIDO. (MÁSTER UNIVERSITARIO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE POLÍMEROS), Universidad Nacional de Educación a Distancia,

Kirk Hausman, K., & Horne, R. (2014). 3D Printing for DUMMIES. In. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Lopez Leyva, J. A. (2012). Mejoramiento del diseño y ensamblado de una impresora 3D.

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO,

Mott, R. L. (2006). Diseño de elementos de máquinas. (Cuarta ed.). México: Pearson Education.

Moyer, I. E. (2012). CoreXY. Retrieved from <http://www.corexy.com/>

Recreus. (2014). Filamentos Filaflex. In.

Romero Barreno, C. E., & Vaca Morales, G. O. (2015). Construcción de una Impresora 3d, para la elaboración de objetos plásticos utilizando el método de Modelado por Deposición Fundida(Mdf). (INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES), ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, RIOBAMBA-ECUADOR.

Sánchez, A. (2015). Impresoras 3D Cartesianas vs. impresoras 3D Delta. Retrieved from

<http://diwo.bq.com/impresoras-3d-cartesianas-vs-delta/>

THOMSON. (2016). Linear Motion. Retrieved from

http://www.thomsonlinear.com/website/com/eng/products/positioning_slides_linear_units/mgk.php

Vigilante, A. (2009). Trabajo de campo: polímeros.

Zambrano Loayza, E. G. (2015). Diseño de elementos constitutivos para el espacio interior mediante el reciclaje de plástico PET.

Anexos

Anexo 1.NEMA 17

12 Volt 1.8 Step Angle Bipolar Stepper Motor

Stepper Motor

Satisfy all your robotic needs with Jameco's selection of high quality & diverse stepper motors.

These simple but very powerful motors deliver smooth motion and a nice holding torque.

Choose from tons of options including the 4-Phase 12VDC Unipolar Stepper Motor, and much more.



Features:

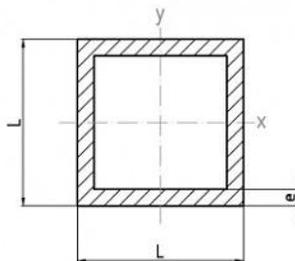
- Ball bearings
- Dielectric strength: 500V, 50Hz/minute
- Insulation resistance: 100M Ω @ 500 VDC
- 18" lead wires
- Ambient temp: -10°C to +55°C
- Use p/n: 161998 for shaft coupler
- Drive system: Bipolar
- Rated Voltage: 12VDC
- Step angle: 1.8 (\approx 5%)
- Phase resistance: 1.55 Ω

- Current: 1700mA
- Phase inductance: 5 mH
- Detent torque: 163 g-cm
- Holding torque: 3200 g-cm
- Mounting hole space: 1.22"
- Mounting holes: 0.15"
- Shaft diameter: 0.19"
- Shaft length: 0.68"
- Motor diameter: 1.65"
- Motor depth: 1.49"
- Weight: 0.60 lbs
- Screw Mount Dimensions: M3 x 0.5

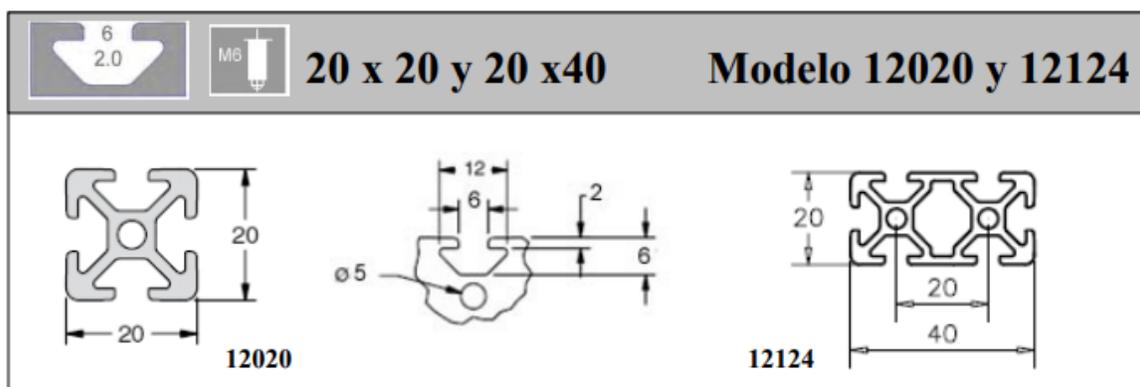
Fuente:(Alu-Stock, 2017)

Anexo 2. Tubos cuadrados de aluminio

TUBOS CUADRADOS DE ALUMINIO



El estado habitual de los perfiles en la aleación EN AW 6063 es T5 y en la 6082 es T6



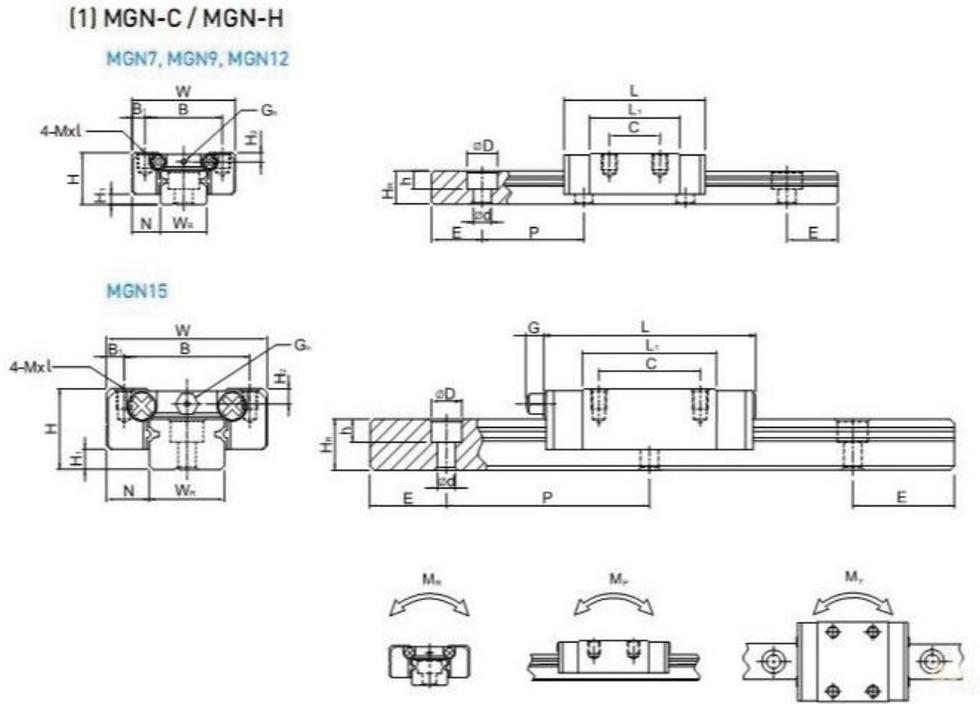
Parte	Momento de inercia I_x (cm^4)	Momento de inercia I_y (cm^4)	Modulo de sección W_x (cm^3)	Modulo de sección W_y (cm^3)	Área (cm^2)	Peso (kg/m)
12-020	0.8	0.8	0.8	0.8	1.85	0.52
12-124	1.4	5.1	1.4	2.5	3.18	0.90

Mechanical properties according to EN 755-2 extruded profiles

Alloy	Temper	Wall Thickness e mm*	Tensile strength R_m Mpa min	Proof stress $R_{p0,2}$ Mpa min	Elongation		Brinell Hardness HB**
					A50mm % min	A % min	
EN-AW 6063	T4	$e \leq 25$	130	65	12	14	45
	T5	$e \leq 3$	175	130	6	8	55
		$3 < e \leq 25$	160	110	5	7	50
	T6	$e \leq 10$	215	170	6	8	65
		$10 < e \leq 25$	195	160	6	8	60
		$e \leq 10$	245	200	6	8	75

Fuente:(Alu-Stock, 2017)

Anexo 3. Carro lineal



Model No.	Dimensions of Assembly (mm)		Dimensions of Block (mm)										Dimensions of Rail (mm)					Mounting Bolt for Rail (mm)	Basic Dynamic Load Rating C_0 (kN)	Basic Static Load Rating C_2 (kN)	Static Rated Moment			Weight				
	H	H ₁	N	W	B	B ₁	C	L ₁	L	G	G ₁	Mx1	H ₂	W _g	H _g	D	h				d	P	E	M _x	M _y	M _z	Block	Rail
	N-m	N-m	N-m	kg	kg/m																							
MGN5C	6	1.5	3.5	12	8	2	-	9.6	16	-	∅0.8	M2x1.5	1	5	3.6	3.6	0.8	2.4	15	5	M2x6	0.54	0.84	2	1.3	1.3	0.008	0.15
MGN7C	8	1.5	5	17	12	2.5	8	13.5	22.5	-	∅1.2	M2x2.5	1.5	7	4.8	4.2	2.3	2.4	15	5	M2x6	0.98	1.24	4.70	2.84	2.84	0.010	0.22
MGN7H																						1.37	1.96	7.64	4.80	4.80	0.015	
MGN9C	10	2	5.5	20	15	2.5	10	18.9	28.9	-	∅1.4	M3x3	1.8	9	6.5	6	3.5	3.5	20	7.5	M3x8	1.86	2.55	11.76	7.35	7.35	0.016	0.38
MGN9H																						2.55	4.02	19.60	18.62	18.62	0.026	
MGN12C	13	3	7.5	27	20	3.5	15	21.7	34.7	-	∅2	M3x3.5	2.5	12	8	6	4.5	3.5	25	10	M3x8	2.84	3.92	25.48	13.72	13.72	0.034	0.65
MGN12H																						3.72	5.88	38.22	36.26	36.26	0.054	
MGN15C	16	4	8.5	32	25	3.5	20	26.7	42.1	4.5	M3	M3x4	3	15	10	6	4.5	3.5	40	15	M3x10	4.61	5.59	45.08	21.56	21.56	0.059	1.06
MGN15H																						6.37	9.11	73.50	57.82	57.82	0.092	

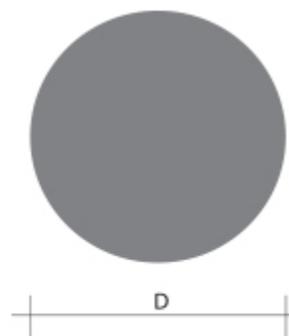
Note : 1 kgf = 9.81 N

Fuente:(THOMSON, 2016)

Anexo 4. Varillas de acero redondas

Especificaciones Generales

Calidad	ASTM A36
Otras calidades	Previa Consulta
Largo normal	6.00m
Otros largos	Previa Consulta
Acabado	Natural
Otro acabado	Previa Consulta



Denominación	Diámetro		Peso		Área
	D	kg/m	kg/6m	cm2	
VRL 5,5	5.5	0.34	2.04	0.43	
VRL 8	8.0	0.50	2.96	0.63	
VRL 10	10.0	0.62	3.70	0.79	
VRL 12	12.0	0.89	5.33	1.13	
VRL 15	15.0	1.39	8.32	1.77	
VRL 18	18.0	2.00	11.98	2.55	
VRL 22	22.0	2.98	17.90	3.80	
VRL 24,5	24.0	3.70	22.20	4.71	

Fuente: Catalogo DIPAC S.A.

Anexo 5. Eje de apoyo SK12



Características:

Diámetro del eje: 8mm

Cuerda del prisionero: M4

Diámetro de tornillos de montaje: M5

Aleación de aluminio, durable alta calidad.

Altura total: 32.8mm

Altura de la base: 6mm

Fuente:(Co, 2017)

Anexo 6. Husillo chumacera acople motor



Specifications:

Lead screw:

Material: stainless steel

Diameter: 8mm

Pitch: 2mm

Lead: 4

Total Length:

100MM/150MM/200MM/250MM/300MM/350MM/400MM/450MM/500MM/550MM/600MM/650MM/1000MM/1200MM

Screw nut:

Material: brass

Diameter: 8mm

Pitch: 2mm

Lead: 4

Mounted ball bearing:

Material: zinc alloy

Bore diameter: 5mm

Hole diameter: 8mm

Total length: 55mm

Height: 29mm

Shaft coupling:

Material: aluminium

Shaft: 6.35 x 8mm

Length: 25mm

Diameter: 18mm

Fuente:(Co, 2017)

Anexo 7. Set 3D Poleas y banta dentada GT2**Specifications:****GT2 Belt:****Material:** Rubber**Color:** Black**Length:** 10m/32.81ft**Width:** 6mm/0.23"**Pitch:** GT2**GT2 Pulley:****Material:** Aluminum**Color:** Silver**Diameter:** 16mm/0.62"**Bore Diameter:** 5mm/0.19"**Height:** 16mm/0.62"**Groove Width:** 7mm/0.28"**Teeth:** 20**Setscrews:** M4 (two per pulley)

Fuente:(Co, 2017)

Anexo 8. Extrusor



Descripción:

* tubo de calor: 12 V 40 W, longitud 1 metro

* termistor: 100 K NTC B 3950 \pm 1%, longitud 1 metro

* esta Impresora 3D j-head Hotend se aplica para 1.75mm/3mm Filamento 3D Largo distancia
Enfundado Filamento extrusora.

Fuente:(Alu-Stock, 2017)

Anexo 9. Ramp 1.4

RAMPS 1.4

<http://reprap.org/wiki/ramps>



This is open hardware: you can redistribute it and/or modify it under the terms of the GNU General Public License as published by the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or (at your option) any later version.

This hardware design is distributed in the hope that it will be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU General Public License for more details.

You should have received a copy of the GNU General Public License along with this program. If not, see <<http://www.gnu.org/licenses/>>.

!!! Reversing input power, and/or inserting stepper drivers incorrectly will destroy electronics and cause fire hazard!!!

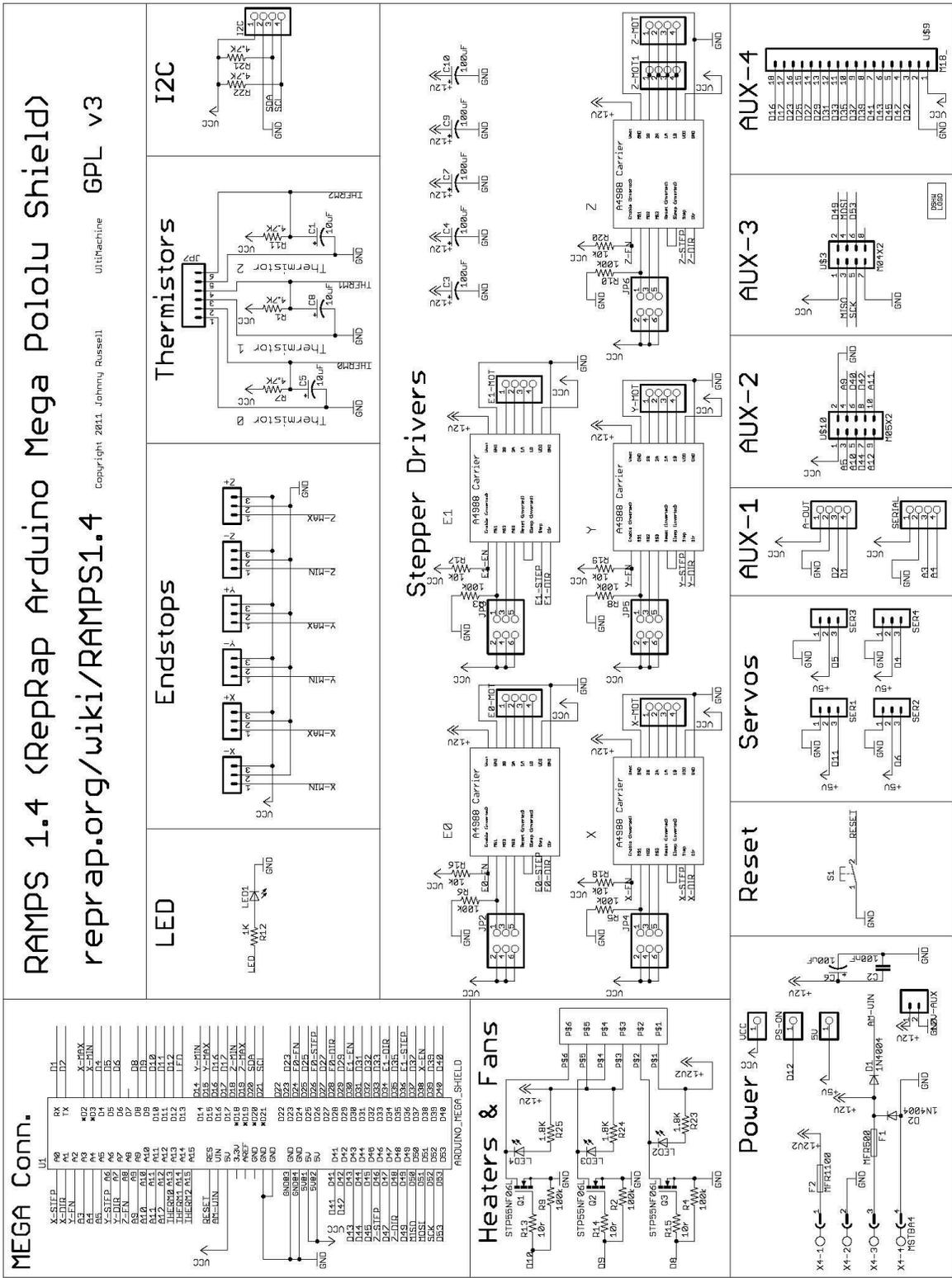
Test all electronics thoroughly before placing into service.

Do not leave power supplied to electronics unattended, or run machines unattended due to the risk of fire and malfunction.

This is NOT a toy and it contains small and sharp parts. Children can choke or suffocate by swallowing small objects. Keep all parts away from children and never leave printer/parts unattended.

Bill of Materials

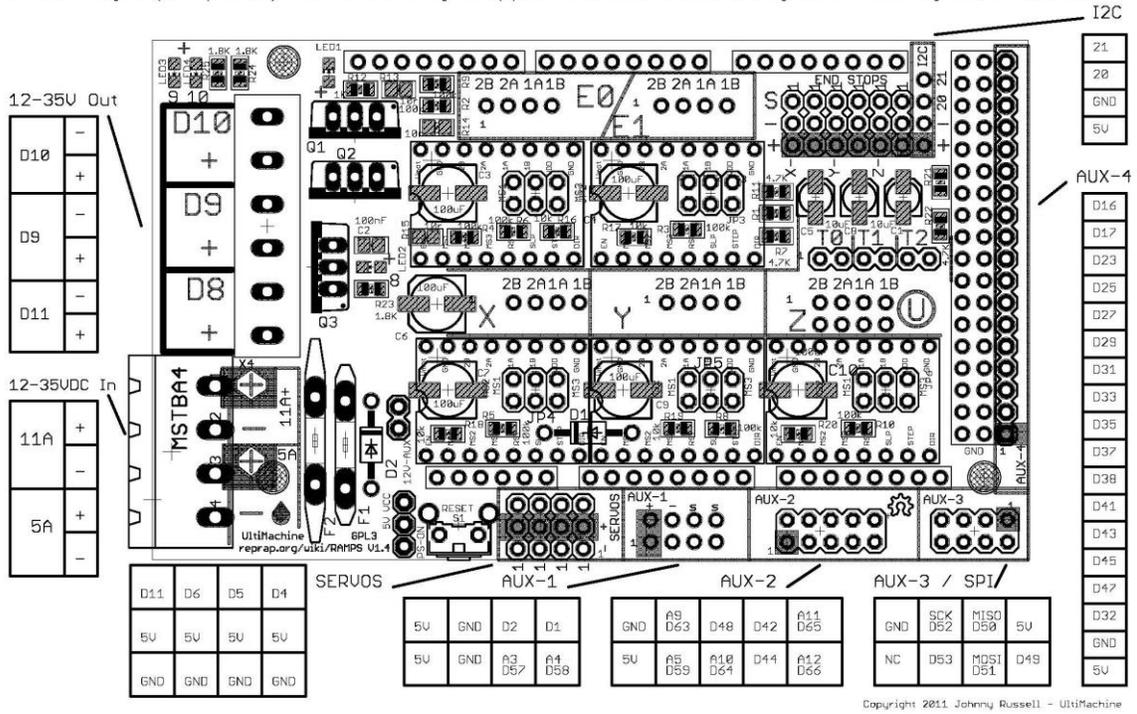
Qty	Part Name	Value	Package
3	C1,C5,C8	10uF	153CLV-0405
1	C2	100nF	C0805
6	C3,C4,C6,C7,C9,C10	100uF	153CLV-0605
2	D1,D2	1N4004	DO41-10
1	F1	MFR500	MFR500
1	F2	MFR1100	MFR1100
1	LED1	green	CHIP-LED0805
3	LED2,LED3,LED4	red	CHIP-LED0805
3	Q1,Q2,Q3	STP55NF06L	TO220BV
5	R1,R7,R11,R21,R22	4.7K (1%)	R0805
8	R2,R3,R4,R5,R6,R8,R9,R10	100k	R0805
1	R12	1K	R0805
3	R23,R24,R26	1.8K	R0806
3	R13,R14,R15	10r	R0805
5	R16,R17,R18,R19,R20	10k	R0805
1	S1	B3F-3100	B3F-31XX
1	U\$2	282837-6	282837-6
1	X4	MSTBA4	MSTBA4
1		0.1" 18x2 pin	
8		0.1" 2x3 pin	
5		0.1" 8x1 pin	
2		0.1" 6x1 pin	
6		0.1" 4x1 pin	
2		0.1" 24x1 female	
4		0.1" 8x1 female	
15		0.1" 2 pin jumper	



RAMPS 1.4 (RepRap Arduino MEGA Pololu Shield)
reprap.org/wiki/RAMPS1.4

GPL v3

Reversing input power, and inserting stepper drivers incorrectly will destroy electronics.



Fuente: RepRap

Anexo 10. Driver DVR8825



Product Folder



Sample & Buy



Technical Documents



Tools & Software



Support & Community



DRV8825

SLVSA73F –APRIL 2010–REVISED JULY 2014

DRV8825 Stepper Motor Controller IC

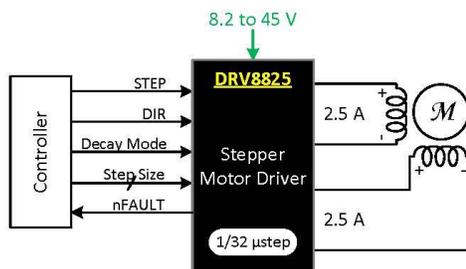
1 Features

- PWM Microstepping Stepper Motor Driver
 - Built-In Microstepping Indexer
 - Up to 1/32 Microstepping
- Multiple Decay Modes
 - Mixed Decay
 - Slow Decay
 - Fast Decay
- 8.2-V to 45-V Operating Supply Voltage Range
- 2.5-A Maximum Drive Current at 24 V and $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Simple STEP/DIR Interface
- Low Current Sleep Mode
- Built-In 3.3-V Reference Output
- Small Package and Footprint
- Protection Features
 - Overcurrent Protection (OCP)
 - Thermal Shutdown (TSD)
 - VM Undervoltage Lockout (UVLO)
 - Fault Condition Indication Pin (nFAULT)

2 Applications

- Automatic Teller Machines
- Money Handling Machines
- Video Security Cameras
- Printers
- Scanners
- Office Automation Machines
- Gaming Machines
- Factory Automation
- Robotics

4 Simplified Schematic



3 Description

The DRV8825 provides an integrated motor driver solution for printers, scanners, and other automated equipment applications. The device has two H-bridge drivers and a microstepping indexer, and is intended to drive a bipolar stepper motor. The output driver block consists of N-channel power MOSFETs configured as full H-bridges to drive the motor windings. The DRV8825 is capable of driving up to 2.5 A of current from each output (with proper heat sinking, at 24 V and 25°C).

A simple STEP/DIR interface allows easy interfacing to controller circuits. Mode pins allow for configuration of the motor in full-step up to 1/32-step modes. Decay mode is configurable so that slow decay, fast decay, or mixed decay can be used. A low-power sleep mode is provided which shuts down internal circuitry to achieve very low quiescent current draw. This sleep mode can be set using a dedicated nSLEEP pin.

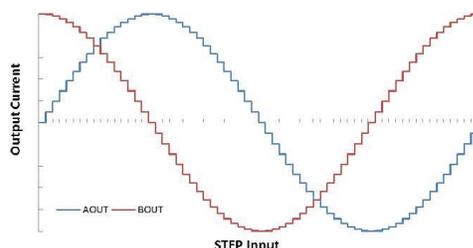
Internal shutdown functions are provided for overcurrent, short circuit, under voltage lockout and over temperature. Fault conditions are indicated via the nFAULT pin.

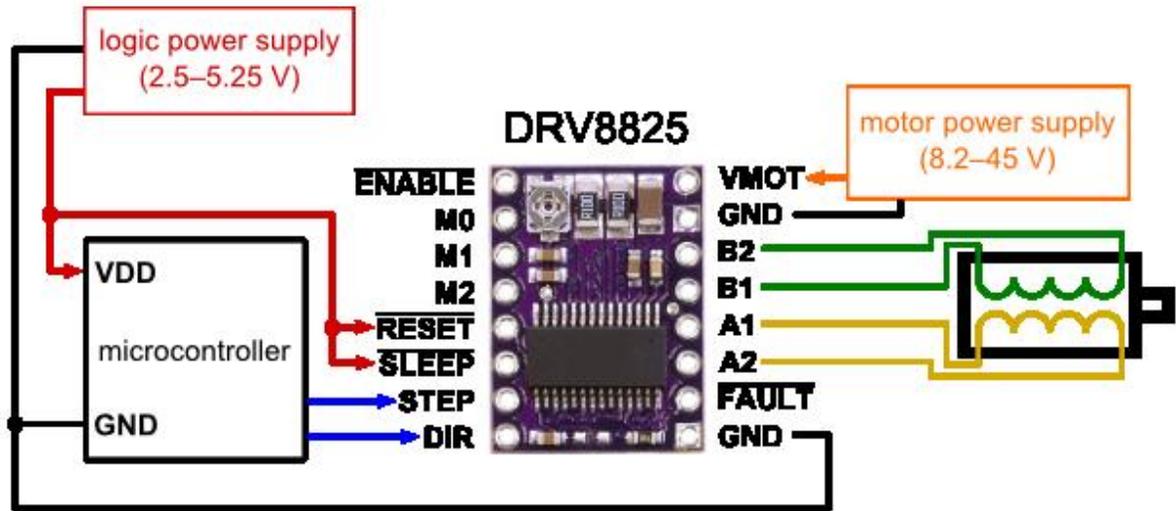
Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
DRV8825	HTSSOP (28)	9.70 mm × 6.40 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Microstepping Current Waveform





Fuente: Texas Instrument

Anexo 11. Cama caliente



Tamaño: 300*200mm

Entrada De energía: 12V- 10A

Agujeros de cobre plateado

Resistencia entre 1.2 y 1.5 ohmios

Máxima temperatura: 100 grados Centígrados.

Fuente: (Alu-Stock, 2017)

Anexo 12. Ventilador**Parámetros:**

Dimensiones: 40x40x10mm

Conector: PH2.0-2P

Voltaje clasificado: CC: 5 V

Corriente nominal: $0.14 \pm 10\%$ Amp

Velocidad nominal: $5500 \pm 10\%$ rpm

flujo de aire: 6.12CFM

ruido: dBA $\pm 24 \pm 10$

Tipo De Cojinete:

vida: 35000 horas

Longitud del cable: 15 cm

peso: 14 g/pcs

Fuente: (Alu-Stock, 2017)

Anexo 13. Fuente de alimentación.



Specifications:

High quality and high performance.
 Protections: overload/over voltage/short circuit.
 Cooling by free air convection.(Can't be used in bathroom.)

Shell Material: Metal case / Aluminum base
 Protection: Shortage Protection, Overload Protection, Over Voltage Protection
 Widely used in Industrial automation, LED display, communications, etc.

Safety Compliance: CCC/ FCC / CE
 Working Temperature: 0~40°C
 Storage Temperature: -20~60°C
 Ambient Humidity: 0~95%
 Non-Condensation

DESCRIPTON

Type	Size (LxWxH)	Weight	Input Voltage
5V 3A 15V	(2.28 x 3.30 x 1.25)" / (5.8 x 8.4 x 3.2)cm	2.61oz/74g	85V-265V
12V 1A 12W	(2.75 x 1.49 x 1.18)" / (7.0 x 3.8 x 3.0)cm	2.57oz/73g	85V-265V
12V 2A 25W	(3.35 x 2.28 x 1.30)" / (8.5 x 5.8 x 3.3)cm	5.29oz/150g	85V-265V
12V 3A 36W	(3.35 x 2.32 x 1.34)" / (8.5 x 5.9 x 3.4)cm	4.34oz/123g	85V-265V
12V 5A 60W	(4.33 x 2.01 x 1.42)" / (11 x 5.1 x 3.6)cm	9.10oz /258 g	85V-265V
12V 8.5A 100W	(7.95 x 3.94 x 1.73)" / (20.2 x 10 x 4.4)cm	15.87oz/450g	85V-265V
12V 10A 120W	(4.41 x 3.07 x 1.46)" / (11.2 x 7.8 x 3.7)cm	8.11oz/230g	85V-265V
12V 12.5A 150W	(7.87 x 3.94 x 1.73)" / (20.0 x 10 x 4.4)cm	16.12oz/457g	85V-265V
12V 15A 180W	(7.79 x 3.85 x 1.69)" / (19.8 x 9.8 x 4.3)cm	20.81oz/590g	85V-265V
12V 20A 240W	(7.75 x 4.25 x 1.92)" / (19.7 x 10.8 x 4.9)cm	27.30oz/774g	85V-265V
12V 30A 360W	(8.46 x 4.52 x 1.96)" / (21.5 x 11.5 x 5)cm	33.86oz/960g	85V-265V
12V 33A 400W	(8.31 x 4.53 x 2.05)" / (21.1 x 11.5 x 5.2)cm	25.29oz/717g	85V-265V
24V 2A 48W	(3.07 x 4.33 x 1.37)" / (7.8 x 11.0 x 3.5)cm	8.68oz/246g	85V-265V
24V 3A 72W	(4.49 x 3.03 x 1.46)" / (11.4 x 7.7 x 3.7)cm	6.28oz/178g	85V-265V
24V 5A 120W	(7.79 x 3.85 x 1.65)" / (19.8 x 9.8 x 4.2)cm	19.15oz/543g	85V-265V
24V 6A 145W	(7.83 x 3.85 x 1.49)" / (19.9 x 9.8 x 3.8)cm	19.57oz/555g	85V-265V
24V 10A 240W	(7.87 x 4.33 x 1.96)" / (20 x 11 x 5.0)cm	26.35oz/747g	85V-265V
24V 14.6A 350W	(4.80 x 8.50 x 1.92)" / (12.2 x 21.6 x 4.9)cm	30.97oz/878g	85V-265V

Fuente: (Alu-Stock, 2017)

Anexo 14. Código para cambio de extrusor

Código utilizado en la Impresión 3D UTN-CIME para realizar las configuraciones necesarias para el funcionamiento de la máquina, los mismos deben ser integrados en el código fuente(.gcode) de forma automática mediante un script, para que la máquina tenga un correcto funcionamiento con los parámetros necesarios de acuerdo a su diseño.

```
;XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
```

```
;Código máquina impresión 3D UTN-CIME
```

```
;Configuraciones de iniciales GCODE
```

```
G90 ;                posición absoluta
M82 ;                Extrusor en modo absoluto
;M190 S50 ;         Temperatura de la cama caliente
M104 T0 S210;       Activa el extrusor T0 a una temperatura de 210C
M104 T1 S210;       Activa el extrusor T1 a una temperatura de 210C
M109 T0 S210;       Activa lenta extrusor T0 a una temperatura de 210C
G28 ;                Home a todos los ejes
G29 ;                Home a todos los ejes
G92 E0 ;            Resetea la posición del extrusor E0
G92 E1 ;            Resetea la posición del extrusor E1
;G1 E-1.0000 F6000; Activa retraccion del material
```

```
;XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
```

```
;XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
```

```
;Código recoge cabezal E0
```

```
G0 F8500 X100 Y200 ;   Posición coordenada x100 y200
G0 F8500 X7 ;         Posición coordenada x7
G0 F8500 Y265 ;       Posición coordenada y256
G0 F8500 X100 ;       Posición coordenada x100
```


Anexo 15. Imanes de neodimio



Product specification

Product name	Neodymium 25mmX10mmX3mm/M3						
Product Code	NSC0059						
Item	Name	Symbol	SI		CGS		
Shape	Internal Diameter	ID	3.2	mm	0.32	cm	
	Subtitle	S	6.7	mm	0.67	cm	
	Lengh	L	25	mm	2.5	cm	
	Width	W	10	mm	1	cm	
	Height	H	3	mm	0.3	cm	
	Screw	M	3	mm	0.3	cm	
	Dimensional tolerance +/-	ID		0.1	mm	0.01	cm
		L		0.1	mm	0.01	cm
		W		0.1	mm	0.01	cm
		H		0.1	mm	0.01	cm
Direction of magnetization	M	Axial					
Surface treatment	Ni	12	μ m				
Measuring Point	Surface Flux Density	B	218	mT	2180	G	
	Attractive Force	F	4	kgf	4000	gf	
	Magnetic flux density on load point	Bd	322.9	mT	3229	G	
	Total flux	Dia o	0.0000807 3	Wb	8073	Mx	
	Permeance Coefficient	Pc	0.39	Pc	-		
	Operationg Temperature Range	Tw	70	deg C	158	deg F	
	Operationg Temperature Range	Tw	-	deg C	-	deg F	
	Material Characteristics	Material Grade	Neodymium	50			
Remanence		Br	1170-1220	mT	11.7-12.2	kG	
Coercive Forces		Hcb	>868	kA/m	>10.9	kOe	
Intrinsic Coercivity		Hcj	>955	kA/m	>12	kOe	
Maximum energy product		BH	263-287	kJ/m ³	33-36	MGOe	
Temperature Coefficient		Br	-0.12	%/deg C	31.78	%/deg F	
		Hcj	-0.55	%/deg C	31.01	%/deg F	
Max. Operating Temperature		Tw	<80	deg C	<176	deg F	
Curie Temperature		Tc	310	deg C	590	deg F	
Density		P	7.5	kg/m ³	-		
Net Weight	Net	0.00562	kg	5.62	g		
Remark	REACH RoHS Directive						

Fuente:(Corporation, 2016)

Anexo 16. Script para modificar el G-code

Script realizado en Python para inyectar las configuraciones necesarias para poner en marcha a la Impresora 3D UTN-CIME y el correcto funcionamiento del intercambio de extrusores, este script inyecta código fuente a un archivo .gcode, obteniendo un código fuente de salida con la misma extensión pero con los parámetros necesarios para el correcto funcionamiento de la Impresora 3D y el intercambio de los cabezales.

```
#Script Impresora3D UTN CIME
```

```
#Geovanny Ruiz
```

```
gcode = "archivo.gcode"          #Abre el archivo .gcode que se utiliza
```

```
#Caracteres de reemplazo
```

```
char1 = 'START'                  #Bandera de inicio
```

```
char2 = 'Codigo1'                #Inyecta código inicio
```

```
char3 = 'T0'                     #Bandera activación E0
```

```
char4 = 'Codigo2'                #Inyecta código activación E0
```

```
char5 = 'T1'                     #Bandera activación E0
```

```
char6 = 'Codigo3'                #Inyecta código activación E0
```

```
char7 = 'END'                    #Bandera de finalización
```

```
char8 = 'Codigo4'                #Inyecta código finalización
```

```
filer = open(gcode, "r")         #Lee el archivo .code
```

```
filew = open('Imp3DDual.gcode', "w")      #Crea un archivo de salida y lo escribe

buff = filer.read()                       #Buffer para realizar la búsqueda de las banderas

rbuff = buff.replace(char1, char2)        #Reemplaza buffer T0

rbuff2 = rbuff.replace(char3, char4)      #Reemplaza buffer T1

rbuff3 = rbuff2.replace(char5, char6)     #Reemplaza buffer T2

rbuff4 = rbuff3.replace(char7, char8)     #Reemplaza buffer T3

filew.write(rbuff4)                       #Escribe el buffer en el archivo de salida

filer.close()                             #Cierra el archivo de lectura inicial

filew.close()                             #Cierra el archivo de salida a imprimir

#Fin
```

Anexo 17. PLA

Technical Data Sheet

PLA by Innofil3D BV

Filament suitable for all commercially available leading brands 3D FDM/FFF printers

IDENTIFICATION OF THE MATERIAL	
Trade name	Innofil3D PLA
Chemical name	Polylactic Acid
Chemical family	Thermoplastic Polylactic Acid
Use	3D-Printing
Origin	Innofil3D BV

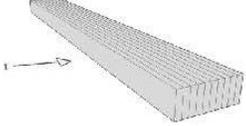
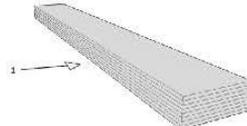
GUIDELINE FOR PRINT SETTINGS	
Nozzle temperature	220 ± 10 °C
Bed temperature	Approx. 60 °C
Bed modification	Tape or glue below 60 °C
Active cooling fan	YES (up to 100%)
Layer height	0.08 - 0.2 mm
Shell thickness	0.4 - 0.8 mm
Print speed	40 - 80 mm/s

Settings are based on a 0.4 mm nozzle

MATERIAL PROPERTIES		Test Method
Melt temperature	145 - 160 °C	ASTM D3418
Glass transition temperature	~ 60 °C	ASTM D3418
Melt Flow Rate ¹	6.09 g/10min	ISO 1133
Melt Volume Rate ¹	6.73 cm ³ /10min	ISO 1133
Density	1.26 g/cm ³	ASTM D1505
Odor	Odorless	/
Solubility	Insoluble in water	/

¹Test conditions: T = 210 °C; m = 2.16 kg

MECHANICAL PROPERTIES TENSILE TEST			Test Method ISO 527	
All test specimens were printed using an Ultimaker 2+ under the following conditions: Printing temperature: 210 °C Heated bed temperature: 60 °C Print speed: 40 mm/s Number of shells: 2 Infill under 45°	 Printed vertical (Z-axis)		 Printed horizontal (X,Y-axis)	
	Infill	50%	100%	50%
Tensile strength (MPa)	13.6 ± 2.6	28.8 ± 4.2	24.1 ± 0.6	38.1 ± 0.9
Force at break (MPa)	13.4 ± 2.5	28.6 ± 4.1	23.9 ± 0.7	36.3 ± 1.2
Elongation at max force (%)	0.7 ± 0.2	1.1 ± 0.3	2.2 ± 0.1	2.1 ± 0.0
Elongation at break (%)	0.7 ± 0.2	1.1 ± 0.3	2.4 ± 0.1	2.8 ± 0.2
Relative tensile strength (MPa/g)	1.5 ± 0.3	2.4 ± 0.4	2.7 ± 0.1	3.3 ± 0.1
Emodulus (MPa)	2028 ± 59	3150 ± 54	1760 ± 38	2852 ± 88

MECHANICAL PROPERTIES IMPACT TEST		Test Method ISO 179		
All test specimens were printed using an Ultimaker 2+ under the following conditions: Printing temperature: 210 °C Heated bed temperature: 60 °C Print speed: 40 mm/s Number of shells: 2 Infill under 45° 1 →: impact direction	 Charpy (en)		 Charpy (ep)	
	Infill	100%	100%	100%
Impact strength (kJ/m ²)	14.2 ± 0.7	13.1 ± 0.7	13.1 ± 0.7	13.1 ± 0.7
Impact energy (mJ)	521.5 ± 26.8	501.7 ± 31.1	501.7 ± 31.1	501.7 ± 31.1

Fuente: innofil3d

Anexo 18. Manual de usuario



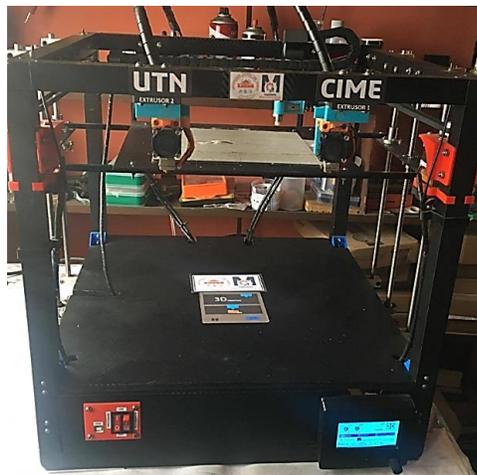
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

MANUAL DE USUARIO



AUTOR: Geovanny Xavier Ruiz Imbat

INFORMACIÓN GENERAL

El sistema intercambiador de cabezal para impresoras 3D, es un prototipo cuyo fin es permitir la impresión de piezas en dos colores o varios tipos de material, logrando obtener piezas con mejor acabado y sin perder calidad.

FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento del sistema intercambiador de cabezales para impresoras 3D se conforma de varias partes, que son: Sistema de desplazamiento, actuadores, extrusores, intercambiador de extrusor, tarjetas de control, mesa.

-El sistema de desplazamiento está conformado por carriles lineales, bandas dentadas, y tornillos sinfín. Proporciona un desplazamiento de 20 cm en cada uno de los ejes.

-Los actuadores empleados son motores a pasos NEMA 17, los cuales proporcionan movimientos de precisión de 1.8° por paso.

-Los extrusores utilizados imprimen con una resolución de 0,4 mm por capa, proporcionando buena calidad de impresión.

-El intercambiador de cabezales es desarrollado mediante acoples impresos en PLA y que se unen mediante imanes N50.

-Las tarjetas de control empleadas es una Ramp 1.4 con sus respectivos drivers.

PRECAUCIONES

El uso incorrecto del sistema intercambiador de cabezales puede ocasionar daños al operador y/o a la impresora 3D, tome en cuenta las siguientes recomendaciones:

Verifique que todos los cables estén correctamente conectados.

Verifique que la mesa de impresión esté correctamente nivelada.

Use una fuente de alimentación de 12V y 20A como mínimo.

La impresión máxima puede ser de 20cm x20cm x20cm.

Antes de iniciar la impresión procure calentar los extrusores a 220° centígrados.

Asegúrese de insertar el filamento hasta ver brotar material por la boquilla de impresión del extrusor.

Una vez iniciada la impresión evite introducir objetos extraños que obstaculicen el desplazamiento del cabezal de impresión.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

El sistema intercambiador de cabezales consta de las siguientes especificaciones técnicas.

Espacio de trabajo: 20cm X 20cm X 20cm.

Alimentación: 12V a 20 A

Material de impresión: PLA-ABS-FILAFLEX

Tarjeta de control: Ramp 1.4

Driver: DVR8825

Precisión: 99%

MANTENIMIENTO

Los problemas de funcionamiento que pueden presentarse en el sistema intercambiador de cabezales se describen en las siguientes tablas:

MANTENIMIENTO CORRECTIVO		
PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN
LA IMPRESORA NO ENCIENDE	Cables desconectados	Verifique los cables de alimentación.
	Los switch están apagados	Accione los switch de accionamiento.
	Los conectores no están bien colocados.	Verificar el cableado eléctrico.
LA IMPRESIÓN NO INICIA	Los extrusores no están calientes	Pre caliente los extrusores a 220° centígrados
	No ha cargado el modelo al sistema	Cargue el código g del modelo a imprimir.
	El sistema no se a nivelado	Realice un home al sistema.
LA IMPRESIÓN SE DETUVO	El cable de datos se desconectó.	Verifique el cable de datos, de ser posible realice la impresión a través de un tarjeta sd.

	El filamento se atascó.	Retire y vuelva a introducir el filamento.
--	-------------------------	--

MANTENIMIENTO PREVENTIVO		
PIEZA	DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO
Poleas.	Engrasado.	Mensual.
Rodamientos.	Revisión y engrasado.	Anual.
Extrusor.	Limpieza.	Semanal.
Carriles lineales.	Engrasado.	Semestral.
Eje z.	Revisión y engrasado.	Mensual.
Garganta del extrusor.	Limpieza y ajuste.	Semanal.
Cableado.	Revisión de conexiones.	Diario.
Acople lineal.	Reajuste.	Mensual.
Finales de carrera.	Revisión y ajuste.	Semanal.
Sensor inductivo.	Revisión de conexión y censado.	Semanal.
Termistor.	Reajuste.	Mensual.
Ventiladores.	Limpieza y engrasado.	Trimestral.

Anexo 19. PLANOS