

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**



**DISEÑO DE UN SISTEMA PARA COLORIZACIÓN  
AUTOMATIZADA USANDO FORMATO RGB PARA  
IMPRESIONES 3D CON TECNOLOGÍA FDM**

**TESIS**  
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO MECATRÓNICO**

**PRESENTADA POR**

**Bach. BUENO VELIZ, DIEGO AUGUSTO**  
**Bach. DELGADO BOZA, ALVARO GONZALO**

**Asesor: Dr. Ing. SOTELO VALER, FREEDY**  
**LIMA-PERÚ**

**2020**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mi madre, mis abuelos, compañeros, amigos y familiares; quienes me brindaron consejos, apoyo y conocimientos a lo largo de la carrera

Diego Augusto Bueno Veliz

Dedico esta tesis a mis padres, hermanos, compañeros y amigos; quienes me brindaron consejos, apoyo incondicional y conocimientos a lo largo de la carrera.

Alvaro Gonzalo Delgado Boza

## **AGRADECIMIENTO**

Brindamos nuestro más sincero agradecimiento al Dr. Ing. Elmer Córdova Zapata, quien en vida fue nuestro maestro, tutor, y director de escuela, siempre velando por el bienestar del alumnado y la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica. Que en paz descansa.

Diego Augusto Bueno Veliz

Alvaro Gonzalo Delgado Boza

# ÍNDICE GENERAL

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>3</b>
1.1 Problema general.....	4
1.2 Problemas específicos .....	5
1.3 Importancia y Justificación.....	5
<u>1.3.1</u> Importancia .....	5
<u>1.3.2</u> Justificación.....	6
1.4 Alcances y Limitaciones de la Investigación.....	6
1.5 Objetivo general .....	7
1.6 Objetivos específicos.....	7
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
2.1 Antecedentes internacionales .....	8
2.2 Antecedentes nacionales.....	8
2.3 Estructura teórica.....	9
2.3.1 Colorización .....	9
2.3.2 Máquinas CNC.....	10
<u>2.3.2.1</u> Arquitectura de las máquinas CNC.....	11
<u>2.3.2.2</u> Operaciones realizadas por CNC.....	14
2.3.3 Sistemas de impresión .....	17
<u>2.3.3.1</u> Impresión convencional o impresión 2D .....	17
<u>2.3.3.2</u> Impresión 3D.....	18
<u>2.3.3.3</u> Principales tecnologías de Impresión 3D.....	22
2.3.4 Impresión 3D con tecnología FDM .....	25
2.3.5 Técnicas de impresión 3D multicromática con tecnología FDM .....	26
2.3.6 Métodos de purga para impresión 3D multicromática con tecnología FDM.....	28
2.3.7 Filamentos termoplásticos para la impresión 3D FDM.....	30
2.3.8 Lenguajes de programación para máquinas herramientas.....	31
<u>2.3.8.1</u> Código G: .....	31
<u>2.3.8.2</u> Código MSF: .....	33
2.3.9 Controladores .....	35

2.3.10	Motores .....	40
2.3.11	Controladores de código G .....	44
2.3.12	Firmware de interpretación de código G para la tarjeta controladora .....	48
2.3.13	Software de manufactura asistida por computadora para impresión 3D .....	49
<b>CAPÍTULO III: DISEÑO DE SISTEMA COLORIZADOR.....</b>		<b>51</b>
3.1	Colorización y selección de tintas .....	51
3.2	Diseño mecánico .....	56
3.2.1	Diseño mecánico del módulo colorizador.....	56
3.2.2	Diseño mecánico de la carcasa exterior del equipo de control .....	61
3.3	Diseño eléctrico y electrónico .....	64
3.3.1	Selección de computadora.....	67
3.3.2	Selección de controlador de motores .....	67
3.4	Programación y software para el sistema colorizador.....	69
3.4.1	Configuración de firmware en Arduino MEGA: .....	70
3.4.2	Software para conversión de modelo digital en comandos de colorización: .....	70
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>		<b>76</b>
4.1	Comparación de colorización de impresiones 3D del sistema propuesto con colorización a través de equipo Palette:.....	76
4.2	Comparación de recursos y costos:.....	78
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>82</b>
<b>OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>83</b>
<b>Apéndices: Software .....</b>		<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>REFERENCIA BIBLIOGRAFÍAS.....</b>		<b>92</b>
<b>Anexos.....</b>		<b>95</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de tintas y sus características .....	9
Tabla 2. Comparación de principales tecnologías de impresión 3D.....	24
Tabla 3. Comparación de filamentos para impresión 3D FDM.....	30
Tabla 4. Principales comandos del código G.....	33
Tabla 5. Principales comandos del código G.....	34
Tabla 6. Tabla de orden de fases.....	42
Tabla 7. Comparación entre Servo Motor y Motor paso a paso .....	43
Tabla 8. Características necesarias para prueba de impresión.....	51
Tabla 9. Pistola de calor Dewalt D26950 .....	53
Tabla 10. Resultados de pruebas de colorización con tinta solvente y tinta de curado .....	54
Tabla 11. Características de Controladores .....	65
Tabla 12 Ejemplo de código MSF e interpretación .....	71
Tabla 13. Tabla de conversión de código MSF a Código G para ejemplo (A). .....	73
Tabla 14. Tabla de costo de materiales para implementación de Sistema Colorizador.....	75
Tabla 15. Comparación necesidades para de colorización .....	77
Tabla 16 Recursos y costos para impresión 3D monocromática con impresora 3D Flashforge Creator Pro.....	79
Tabla 17 Recursos y costos para impresión 3D Multicromática con sistema colorizador ...	79
Tabla 18 Recursos y costos para impresión 3D Multicromática con equipo Palette.....	80

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de tipos de impresoras 3D.....	3
Figura 2. Esquema de partes funcionales del Palette.....	4
Figura 3. Esquemático de Robot cartesiano.....	11
Figura 4. Máquina CNC Delta.....	12
Figura 5. Esquemático de robot polar.....	13
Figura 6. Máquina CNC paralela.....	13
Figura 7. Esquemático de robot SCARA.....	14
Figura 8. Proceso de fresado.....	15
Figura 9. Operaciones de torneado. ....	16
Figura 10. Proceso de corte láser. ....	16
Figura 11. Proceso de impresión 3D.....	17
Figura 12. Diferencia entre manufactura convencional y manufactura aditiva.....	18
Figura 13. Diferencia en resolución 0.1mm y 0.3mm .....	20
Figura 14. Los 4 patrones de relleno más utilizados.....	21
Figura 15. Efectos del perímetro sólido en una pieza impresa en 3D.....	22
Figura 16. Tecnología FDM de impresión 3D.....	25
Figura 17. Técnica de seguimiento de filamento para impresiones 3D multicromáticas. ....	27
Figura 18. Funcionamiento del Palette de Mosaic Manufacturing.....	28
Figura 19. Método de purgas por pilares laterales para impresión FDM a doble material...29	
Figura 20. Método de purgas por carcasa externa para impresión FDM a doble material...29	
Figura 21. Regla de la mano derecha.....	32
Figura 22. Sistema de control en lazo abierto y cerrado.....	35
Figura 23. Flujo de funcionamiento de un DSP.....	38
Figura 24. Arduino UNO – Diagrama. ....	40
Figura 25. Partes de un Motor eléctrico estator rotor. ....	41
Figura 26. Diagrama de conexiones de A4988 a motor stepper y Arduino.....	43
Figura 27. Diagrama de controlador SmoothieBoard.....	45
Figura 28. Diagrama de controlador RAMPS 1.4 .....	46
Figura 29. Controlador RAMPS con 5 motores y pantalla LCD conectados. ....	47
Figura 30. Tablas que detallan el Microstepping del RAMPS 1.4. ....	47
Figura 31. Comparación de impresiones colorizadas e impresión de control .....	52
Figura 32. Comparación de impresiones colorizadas tras prueba de estabilidad física.....	52
Figura 33. Esquema referencial de recubrimiento de tinta sobre filamento termoplástico ..	55

Figura 34. Sistema colorizador Vista isométrica(a,b) posterior del módulo colorizador. ....	57
Figura 35. El módulo colorizador. (a) Vista lateral con medidas y (b) Vista superior del módulo colorizador con medidas.....	58
Figura 36. Resultado de estudio automático de optimización de topologías.....	59
Figura 37. Diseño final del módulo colorizador .....	59
Figura 38. Diseño final del módulo colorizador .....	60
Figura 39. Modelo de rotor para bomba peristáltica.....	61
Figura 40. Distribución de componentes tentativos.....	62
Figura 41. (a) Módulo de base de la carcasa para equipo colorizador y sus dimensiones y (b) Diseño de tapa de la carcasa para equipo colorizador y sus dimensiones.....	63
Figura 42. (a) Vista isométrica frontal de la carcasa del equipo de control y (b) Vista .....	64
Figura 43 Características resaltantes de motor paso a paso para su elección.....	65
Figura 44. (a) Diagrama de flujo de señales utilizando PIC16F877a y (b) Diagrama de flujo de señales utilizando Arduino Mega.....	66
Figura 45. Diagrama de señales del sistema colorizador, indicando protocolo de comunicación .....	67
Figura 46. Diagrama pictórico de conexiones .....	68
Figura 47. Representación gráfica de instrucciones en código G para bombeo de tintas.....	74
Figura 48. Modelo 3D Benchy colorizado digitalmente en software CANVAS.....	76
Figura 49. Representación gráfica de instrucciones en código G para bombeo de tintas.....	78



## **RESUMEN**

La presente investigación titulada “Diseño de un sistema para colorización automatizada usando formato RGB para impresiones 3D con tecnología FDM” tiene como objetivo el diseño de un sistema mecatrónico capaz de brindar los colores rojo, verde y azul de manera controlada y automatizada a los filamentos termoplásticos utilizados en la impresión 3D

El procedimiento de diseño que fue empleado sirvió para alcanzar el objetivo propuesto, mitigando la necesidad de múltiples cabezales de extrusión en una impresora 3D con tecnología FDM convencional, que no solo disminuye el espacio de trabajo, sino que además aumenta los tiempos y costos de producción. Para esto, se abarcó de forma diferenciada el diseño mecánico, electrónico, y de control que demanda el sistema.

Como resultado de la investigación, fue un correcto diseño mecánico, electrónico y de software para el uso de una impresora 3D con tecnología FDM de un solo extrusor y a su vez la realización de una impresión multicromática.

## **PALABRAS CLAVE**

Modelamiento por Deposición Fundida, FDM, Impresión 3D, Manufactura Digital.

## **ABSTRACT**

This thesis entitled "Design of a system for automated colorization using RGB format for 3D printing with FDM technology" details the research and design procedure of a mechatronic equipment capable of providing the colors red, green and blue in a controlled and automated way to the thermoplastic filaments used in 3D printing.

The design procedure that was used served to achieve the proposed objective, mitigating the need for multiple extrusion heads in a 3D printer with conventional FDM technology, which not only reduces the work space that these machines have, but also increases production times and costs. For this, the mechanical, electronic, and control design required by the system was covered in a differentiated way.

As a result of the investigation, it was possible to correctly design the mechanical and electronic components needed, as well as the software required for use with a single-extruder 3D printer with FDM technology, producing a multichromatic 3D print.

## **KEYWORDS**

Fused Deposition Modeling, FDM, 3D Printing, Digital Manufacturing.

## INTRODUCCIÓN

La impresión 3D es hoy en día una tecnología de fabricación y manufactura que abarca cada vez más terreno en el campo de la ingeniería. Esta permite el prototipado rápido de equipos y sistemas, y tiene un crecimiento en su utilización que ha llevado al mundo a la llamada cuarta revolución industrial.

Siendo esta tecnología una herramienta fundamental en el trabajo cotidiano de un ingeniero mecatrónico en la época contemporánea, se observa aún oportunidades de mejora basadas en la experiencia con otros métodos de manufactura rápida. Una de estas oportunidades es la posibilidad de fabricación a colores. Considerando que las impresoras 3D más utilizadas en la actualidad son aquellas que aplican la tecnología de Modelamiento por Deposición Fundida (FDM por sus siglas en inglés), es de suma importancia notar que se cuenta con un único color por cada cabezal de impresión con el que trabaje la máquina utilizada. Al examinar la evolución de dicha tecnología FDM en el tiempo, se ha buscado brindar la capacidad de imprimir múltiples colores y materiales en una misma máquina, consiguiendo así equipos revolucionarios como el Palette+ de Mosaic Manufacturing o la Prusa i3 Mk.4 de Prusa Research; sin embargo, estos equipos traen consigo la necesidad de contar con todos los colores específicos de material base, o filamentos termoplásticos, que se desean trabajar.

Teniendo en cuenta el rápido avance tecnológico que presenta la época actual, resulta natural la búsqueda de una alternativa eficaz para la impresión 3D con múltiples colores, pero que sea menos costosa, igual de efectiva, y amigable con el medio ambiente.

Es por ello que la presente investigación se expone el diseño satisfactoriamente de un sistema de colorización automatizado usando formato RGB para impresiones 3D en tecnología FDM. Es por ello que la investigación se estructuró de la siguiente manera:

Capítulo I: Planteamiento del problema, donde se expone la problematización, objetivos generales y específicos, la justificación, alcances y limitaciones de la investigación.

Capítulo II: Marco Teórico, donde se describen antecedentes de la investigación, tanto internacionales como nacionales, además las bases teóricas que enmarcan y sirven de guía para el desarrollo de la presente investigación. Se realiza una descripción de la colorización, máquinas control numérico computarizado (CNC), sistemas de impresión, impresión 3D con tecnología FDM, lenguaje de programación para máquinas herramientas, controladores, motores, controladores de código G, firmware de interpretación de código G y software de manufactura asistida por computadora.

Capítulo III: Diseño del sistema colorizador, donde se describe las pruebas de colorización, diseño mecánico del módulo colorizador, diseño electrónico y programación y software para el sistema colorizador.

Capítulo IV: Discusión de resultados donde se comprueban los objetivos propuestos en la presente investigación.

Finalmente, en la investigación se redactan las conclusiones, recomendaciones y se describen las referencias bibliográficas utilizadas, así como apéndices y anexos como información que valida la presente investigación.

## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El presente capítulo describe la problemática de la tesis, se plantean los problemas generales y específicos; se presentan los objetivos generales, específicos, alcances, limitaciones, la importancia y justificación.

La impresión 3D se ha venido desarrollando en los últimos años como un método confiable de prototipado rápido, y en el caso de empresas pequeñas, como proceso de producción a baja escala. Para esto, comúnmente se utiliza la tecnología Fused Deposition Modelling (FDM) de impresión 3D, la cual realiza la fundición de un material termoplástico y lo deposita de manera controlada sobre una superficie plana. Este proceso depende del filamento termoplástico que se utiliza, por lo que en mayoría se obtienen impresiones monocromáticas. Considerando la evolución del uso de esta tecnología en el mundo, se hace relevante contar con la posibilidad de realizar estas impresiones a color. Como menciona Kianoush Hagefat en su tesis titulada “Multi-Color 3D Printing Market Analysis”, la impresión 3D multicromática como proceso en la industria se comenzó a desarrollar desde finales del 2014. Sin embargo, no ha llegado a masificarse en el mercado por sus diversas complejidades.

Diferentes empresas a nivel mundial han respondido a esta necesidad de colorización en impresiones 3D, con alternativas tales como la adición de múltiples extrusores en el cabezal de impresión FDM, a costa de reducir el espacio de trabajo y aumentar exponencialmente el precio final del producto; o tecnologías diferentes, que resultan más costosas. Algunas de estas tecnologías se muestran en la figura 1.

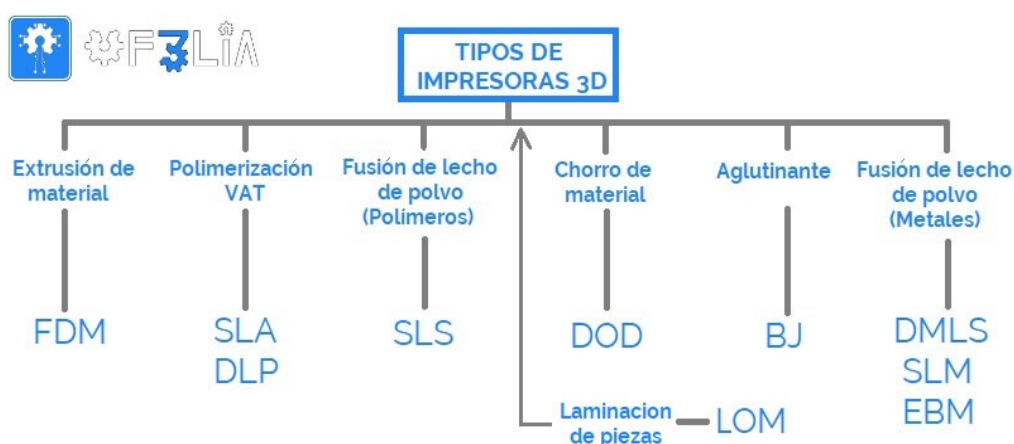
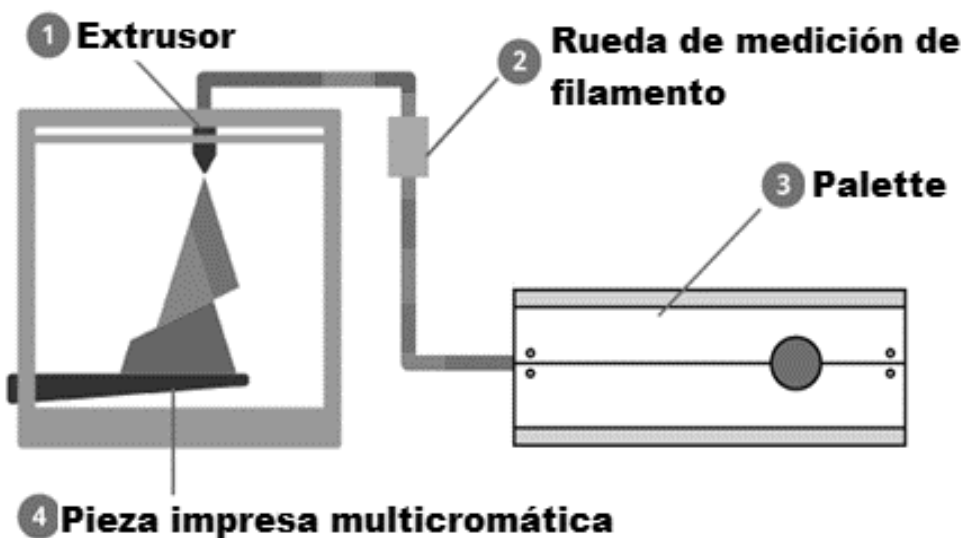


Figura 1. Diagrama de tipos de impresoras 3D

Fuente: Lorenzo. (s. f.). Tipos de impresoras 3D, comparativa y cómo distinguirlas [Gráfico].

Existen además equipos diseñados para ser utilizados en conjunto con una impresora FDM, y que añaden la función de imprimir en múltiples colores sin sacrificar espacio de trabajo, como por ejemplo el Palette de Mosaic Manufacturing, el cual permite la extrusión de hasta 4 colores. Sin embargo, se requiere contar con el filamento o material de impresión 3D del color deseado, además de diseñar de forma especial lo que se va a imprimir. En la figura 2 se muestra el esquema de operación del Palette.

Figura 2. Esquema de partes funcionales del Palette



Fuente: Mosaic Manufacturing Launches the Palette in 3D Printing. (2015).

De esta manera, se puede notar que para obtener impresiones 3D multi cromáticas supone sacrificios como la reducción del espacio de trabajo de la impresora con la cual se trabaja, y una extensión en tiempos de preparación y post procesamiento de los modelos que se desean imprimir. Ambos factores también tienen influencia en el costo de fabricación por pieza impresa.

Considerando lo mencionado, se plantea el diseño de un sistema de colorización RGB para impresiones 3D FDM en proceso, que no utilice múltiples extrusores, permitiendo al usuario el uso total de su espacio de trabajo, y sin alterar considerablemente el costo final del producto.

### 1.1 Problema general

¿Cómo diseñar un sistema para colorización automatizada usando formato RGB para impresiones 3D en tecnología FDM?

## 1.2 Problemas específicos

1. ¿Cómo diseñar el componente mecánico del actuador colorizador y su acople para un único extrusor FDM?
2. ¿Cómo diseñar el sistema electrónico para el sistema colorizador de impresiones 3D en tecnología FDM?
3. ¿Cómo desarrollar el sistema de control para colorización RGB a través de código G?

## 1.3 Importancia y Justificación

### 1.3.1 Importancia

La importancia de este trabajo es que el sistema de colorización RGB para impresiones 3D FDM consiste en la obtención de impresiones 3D multicromáticas sin necesidad de añadir múltiples extrusores que disminuyan el espacio de trabajo de las máquinas, debido a que esta característica limita el tamaño y geometría de las piezas que se pueden fabricar con una impresora 3D. La adición de un extrusor reduce en promedio 2 centímetros cuadrados de espacio de trabajo en ejes X y, únicamente brindando el beneficio de 1 color adicional. Siendo que, hoy en día la impresión 3D con tecnología FDM es la más utilizada para prototipado rápido e iteraciones de un producto en proceso de desarrollo, es sorprendente que el avance de la tecnología se haya visto ralentizada, con mejoras en los últimos 5 años enfocadas únicamente en los sistemas motrices y de control. Contar con la alternativa de obtener impresiones 3D a color directamente de la máquina es útil no solo para disminuir o mitigar completamente los tiempos de post procesamiento manual de las impresiones, sino que además brinda la posibilidad de visualizar oportunidades de mejora en los modelos impresos de manera directa, tanto durante como inmediatamente al finalizar el proceso de impresión.

Finalmente, la sinergia de ventajas que provee un sistema como el propuesto supone una reducción en costos y tiempos, tanto en el proceso mismo de impresión como en los procedimientos de post procesamiento a los que las piezas modeladas con esta tecnología son sometidas.

### 1.3.2 Justificación

Justificación tecnológica: En la actualidad se busca obtener la posibilidad de imprimir múltiples materiales o múltiples colores en un mismo proceso sin sacrificar espacio de trabajo, es por esto que la presente investigación plantea diseñar un sistema automático de colorización que brinde esta última funcionalidad a la máquina.

Justificación medioambiental: Para lograr una impresión 3D multicromática hoy en día, se requiere contar con un stock de filamentos de los colores que se desean. Esto conlleva a almacenar grandes cantidades de estos filamentos termoplásticos por periodos de tiempos extendidos. Si no se tiene el cuidado pertinente, estos filamentos se degradan y dejan de ser utilizables en el proceso de impresión 3D, convirtiéndose en mermas, al ser desechados contribuyen al deterioro del medio ambiente. El sistema propuesto eliminaría la necesidad de contar con dicho stock, por lo tanto, disminuye el riesgo de generar desechos plásticos.

### 1.4 Alcances y Limitaciones de la Investigación

Los alcances de la presente investigación están definidos en función de las siguientes características:

1. Brinda colores Rojo, Verde y Azul al filamento blanco simple antes del ingreso a un extrusor individual.
2. Utiliza una programación especializada separada del código G de la impresión 3D propiamente dicha, para controlar en qué momentos deberá realizar un cambio de color.

Con esto, los alcances son:

1. Este sistema puede ser utilizado por toda impresora 3D con tecnología FDM que cuente con extrusores de accionamiento directo, puesto que estas cuentan con un único ingreso de filamento por la parte superior del cabezal de impresión o extrusor.
2. El sistema mejora su rendimiento en impresoras 3D que cuenten con extrusores de alimentación directa de filamento.

Las limitaciones con las que cuenta el presente sistema son las siguientes, controlar el sistema colorizador con el mismo código G que el proceso de impresión, lo cual



significaría desarrollar un software de CAM que pueda generar el código específico para la función de colorización.

#### 1.5 Objetivo general

Diseñar un sistema para colorización automatizada usando formato RGB para impresiones 3D en tecnología FDM.

#### 1.6 Objetivos específicos

1. Diseñar el componente mecánico del actuador colorizador y su acople para un único extrusor FDM.
2. Diseñar el sistema eléctrico y electrónico para el sistema colorizador de impresiones 3D en tecnología FDM.
3. Desarrollar el sistema de control para colorización RGB a través de código G.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se describe el marco teórico de la tesis donde se menciona los antecedentes más relevantes para el desarrollo de la tesis, las bases teóricas que sustentan y complementan los puntos que se utilizan.

### 2.1 Antecedentes internacionales

Santosh. (2019). En su tesis para obtener el título de Master de Ciencia en Ingeniería Industrial y de Sistemas, titulada “Process planning for concurrent multi-nozzle 3D printing”. Kate Gleason College of Engineering – Nueva York, Estados Unidos, propone el diseño y simulación de un algoritmo de generación de código G para impresiones 3D con 3 o más actuadores o extrusores.

Baumann. (2017). En su tesis para obtener el título de Doctor en Ciencias y Tecnologías, titulada “3D Printing as a service for collaborative engineering”. Institut für Rechnergestützte Ingenieurssysteme – Stuttgart, Alemania, se plantea la implementación y aplicación de una API universal para impresoras 3D con funcionalidades modulares, los cuales además proveen la posibilidad de añadir manualmente código G especial por cada sub proceso al que el modelo se someterá durante la impresión.

Albrecht. (2017). En su tesis para obtener el título de Doctor en Ciencias y Tecnologías, titulada “Modifications to commercial printers to enable multi-material fabrication of 3D cellular scaffolds” – Nueva York, Estados Unidos, detalla el procedimiento de modificación de impresoras 3D comerciales y su firmware de interpretación de código G para la funcionalidad de bio impresión.

### 2.2 Antecedentes nacionales

Bueno y Delgado. (2017). En su paper titulado “Máquina CNC multipropósito utilizando Arduino Mega y controlador RAMPS 1.4”. Universidad Ricardo Palma – Lima, Perú, proponen un sistema de control de efectores finales multi propósito para la manufactura de una pieza, entre los cuales se encuentra un cabezal de impresión 3D con su respectivo algoritmo de interpretación de código G, además del procedimiento de modificación de firmwares existentes para el control de dichos efectores finales.

Maydana y Mamani. (2019). En su tesis para obtener el título profesional de ingeniero electrónico, titulada “Implementación de una impresora 3D y escaneo tridimensional para la fabricación de prótesis para animal canino con problemas de movilidad”. Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Perú, propone la implementación de una impresora 3D y un escáner 3D para la fabricación de prótesis para animal canino menor con problemas de movilidad con la ayuda de un Kinect para el procesamiento de imagen e impresión 3D.

## 2.3 Estructura teórica

### 2.3.1 Colorización

Se le llama “colorización” al proceso de brindar color a un material a través de una sustancia colorante. La sustancia utilizada es llamada tinta, la cual generalmente está conformada por pigmentos disueltos o en suspensión en un medio químico que ayude a depositar dicho pigmento sobre la superficie que se desea colorizar.

Es importante notar que la composición de las tintas las hace tener diferentes aplicaciones, debido a que el medio en que el pigmento se encuentra es un factor determinante en las características de la tinta y el método de aplicación. Es por esto que las tintas se pueden clasificar en tipos según su comportamiento. En la tabla 1 se muestran las principales características de los tipos de tintas más utilizados en la actualidad.

Tabla 1. Tipos de tintas y sus características

Tipos	Composición	Método de colorización	Aplicaciones
Tintas Acuosas	Agua y pigmentos	Deposición del pigmento por secado del agua	Papel y Cartón
Tintas de Sublimación	Solventes químicos reactivos a temperatura y pigmentos	Deposición del pigmento a través de sublimación por calor	Textiles de poliéster

Tintas solventes	Solventes y pigmentos disueltos	Deposición del pigmento por evaporación del solvente	Superficies plásticas
Tintas de curado UV	Resinas fotocurables y pigmentos	Polimerización de la mezcla resina-pigmento sobre una superficie a través de luz UV.	Superficies porosas y semi porosas

Fuente: Elaboración propia.

Las tintas, además, son aplicadas en procesos de impresión, siendo pulverizadas en un cabezal y depositadas de manera controlada por computadora, a través de una máquina de control numérico computacional (CNC), sobre una superficie.

### 2.3.2 Máquinas CNC

El control CNC ha sido utilizado en la industria manufacturera por más de 40 años. Este tipo de control numérico provee a las máquinas la capacidad de operar automáticamente, basándose en un código de letras, números, y caracteres especiales. El programa es traducido en señales eléctricas correspondientes para control de los motores que mueven la máquina. El código puede ser escrito a mano, u obtenido a través de software de CAM (Computer Aided Manufacturing), o Manufactura Asistida por Computadora.

Este tipo de control nos ofrece varias ventajas frente al manejo manual de las máquinas de manufactura. En principio, el hecho de ser automáticamente controladas involucra un programa que brinda las siguientes bondades:

1. Reducción de las partes necesarias para agregar una nueva función a la máquina. Las nuevas funciones pueden ser programadas por Software.
2. El programa puede ser escrito, almacenado y ejecutado directamente en la máquina.

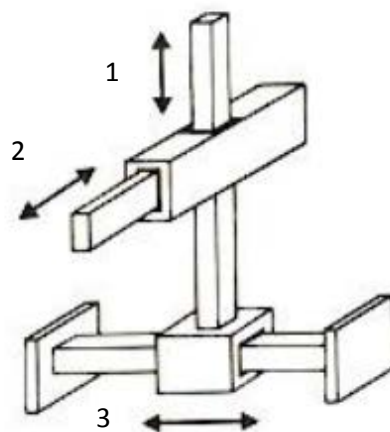
3. Cualquier porción del programa puede ser utilizada de manera independiente, modificada, eliminada, etc.
4. Se puede crear una red de máquinas CNC tal que se obtiene una línea productiva automatizada. (Morched Dallali, 2010, pp. 9-11)

### 2.3.2.1 Arquitectura de las máquinas CNC

Debido a que las máquinas CNC siguen los mismos principios de control del efector final que los robots, estas pueden tener arquitecturas diferentes basadas en el tipo de robot que son. Principalmente tenemos:

#### **Cartesiano:**

Se tienen 3 ejes de movimiento prismático. (X, Y, Z). Su control es sencillo y no requiere de mayor cálculo. Se pueden observar los ejes en la figura 3.



Ejes del robot  
cartesiano

1. Eje Y
2. Eje X
3. Eje Z

Figura 3. Esquemático de Robot cartesiano.

Fuente: 2.1 Introducción TEMA 2. (s. f.). DocPLayer.

Esta arquitectura permite escalamiento teóricamente infinito, que solo se limitará por la potencia de los motores utilizados. La velocidad de movimiento promedio en una máquina de este estilo está entre 20 mm/s y 90 mm/s, dependiendo de la operación que realiza.

Delta:

Se tienen 3 ejes de movimiento prismático. Todos son verticales (eje z), sin embargo, están colocados en un arreglo circular tal que el movimiento conjunto de los tres ejes genera movimientos horizontales en direcciones X y Y. Ver figura 4.

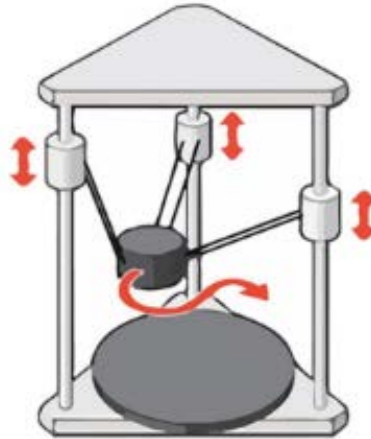


Figura 4. Máquina CNC Delta.

Fuente: Máquina CNC Delta. (s. f.). [Isultración].

Polar:

Se tienen 2 ejes de movimiento prismático (X y Z), y un eje rotacional. En conjunto, estos ejes logran moverse basados en coordenadas polares. La estructura general se observa en la figura 5. Las ventajas de esta máquina frente al resto es su relación volumen máquina – volumen de trabajo. Debido al uso de las coordenadas polares, es capaz de maquinar piezas 3.14 veces más grandes de lo que serían utilizando los mismos ejes prismáticos en arquitectura cartesiana.

Esto se debe a la forma en que los ejes polares se mueven, en contraste con el movimiento cartesiano. Las siguientes fórmulas demuestran las ventajas de un sistema CNC con ejes polares frente a cartesianos:

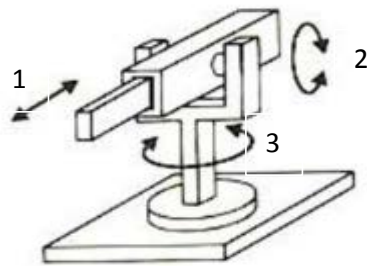
Cartesiana: Eje X = 10 cm, Eje Y = 10 cm.

$$\text{Área} = 10 \text{ cm} * 10 \text{ cm} = 100 \text{ cm}^2$$

Polar: Eje Y = 10 cm, Radio = 10 cm.

$$\text{Área} = \pi * 10^2 \text{ cm}^2 = 314.159 \text{ cm}^2$$

Con lo que observamos que esta arquitectura provee mayor espacio de trabajo que la cartesiana(Figura 5).



Ejes del robot polar

1. Eje Y
2. Eje X
3. Eje Z

Figura 5. Esquemático de robot polar.

Fuente: Máquina CNC Polar. (s. f.). [Ilustración]. DocPlayer.

Paralelo:

Se tienen 2 ejes rotacionales (X e Y), y un eje prismático (Z). Su control puede llegar a complicarse en puntos donde se generan singularidades, no obstante, existe software de control dedicado a evitar ese problema. La Figura 6 nos muestra esta máquina.

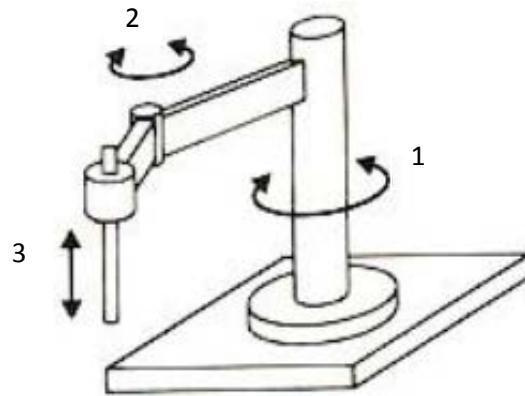


Figura 6. Máquina CNC paralela

Fuente: Máquina CNC Paralela. (s. f.). [Ilustración]. Reprap.

SCARA:

Se tienen 2 ejes rotacionales (X e Y), y un eje prismático (Z). Su control resulta relativamente sencillo frente al resto, exceptuando al cartesiano. Tiene enormes ventajas frente al resto debido a su gran espacio de trabajo y velocidad de movimiento. El primer prototipo de esta máquina se muestra en la figura 7.



Ejes del robot  
Scara

1. Eje Y
2. Eje X
3. Eje Z

Figura 7. Esquemático de robot SCARA.

Fuente: Máquina CNC SCARA. (s. f.). [Ilustración]. DocPlayer.

### 2.3.2.2 Operaciones realizadas por CNC

Las máquinas CNC son famosas por la versatilidad que permiten en manufactura. Entre los procesos más utilizados en industria tenemos:

Fresado:

Este proceso consiste de mecanizar un material con una herramienta rotativa de alta velocidad, mientras la pieza se mantiene estática. Este proceso es muy utilizado para diferentes materiales como madera, metal, espumas, roca, etc. Como nos comenta la empresa “World Skills” en su artículo “CNC Milling” (2017, extraído de <https://www.worldskills.org/what/career/skills-explained/manufacturing-and-engineering-technology/cnc-milling/>), el fresado CNC puede trabajar una pieza desde un bloque sólido, una pieza pre-maquinada, una pieza forjada, etc. Además, se pueden realizar muchos procesos diferentes a través del fresado, aplicando herramientas variadas, llamadas “fresas”, por ejemplo, la de la Figura 8.



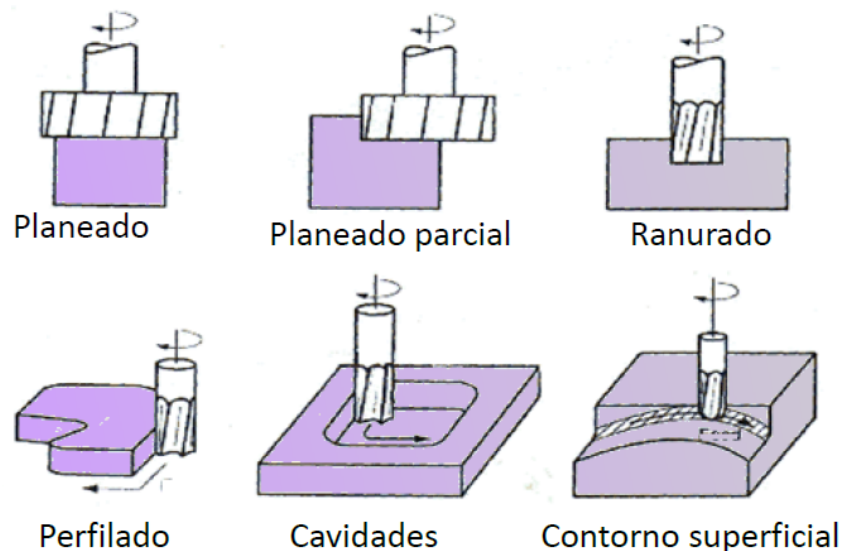


Figura 8. Proceso de fresado.

Fuente: Proceso de Fresado. (s. f.). [Ilustración]. Terratec.

Torneado:

El proceso de torneado es similar al fresado, en la revolución para mecanizar; sin embargo, en este proceso la pieza es la que se rota, mientras la herramienta no. El proceso es ampliamente regularizado a través de las siguientes normas:

1. ISO 9001 and e 14001
2. TS 16949
3. ISO 8062, ISO 286-2, DIN 2768, DIN 1697, etc.
4. OHSAS 18001
5. ISO 5609

Según la empresa “Gestión de Compras”, en su descripción del presente proceso en el artículo de su página web en el enlace: “[www.gestiondecompras.com/es/productos/mecanizado/torneado](http://www.gestiondecompras.com/es/productos/mecanizado/torneado)”, el torneado es un proceso cuyos productos son de amplia importancia en las industrias mecánicas, de telecomunicaciones, automoción, etc.

Por este motivo, el torneado ha sido uno de los procesos más aplicados en manufactura industrial desde inicios del siglo pasado. El proceso lo podemos visualizar en la figura 9.

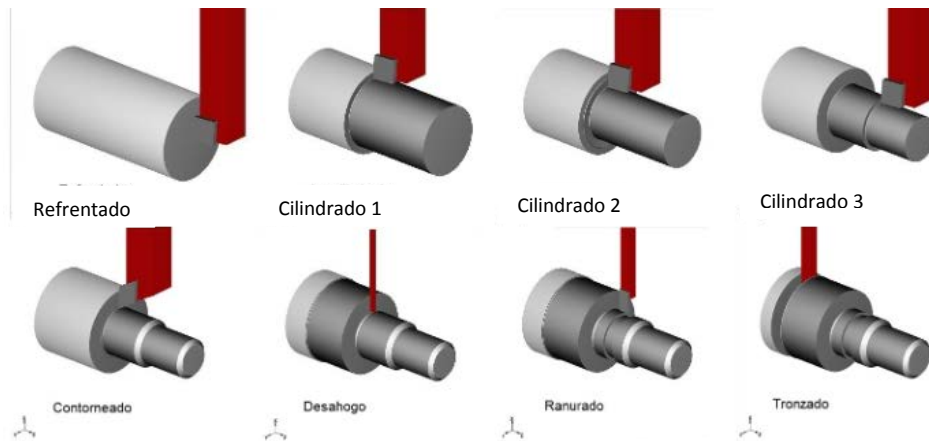


Figura 9. Operaciones de torneado.

Fuente: Operaciones de Torneado. (s. f.). [Ilustración]. Heller.

### Corte láser:

El presente proceso se basa en el enfoque de un láser de alta potencia sobre la superficie de un material, tal que este último se corte a través del camino del láser. Los materiales que se pueden cortar dependen del tipo de láser, y la potencia del mismo.

Tal como se describe en la tesis “Optimization of process parameters of high power co2 laser cutting for advanced materials”, del 2011, el punto focal es el parámetro más importante, dado que afecta directamente la calidad del corte. Además, se puede utilizar la misma máquina para hacer grabados en vez de cortar completamente un material, el proceso del corte láser se visualiza en la figura 10.

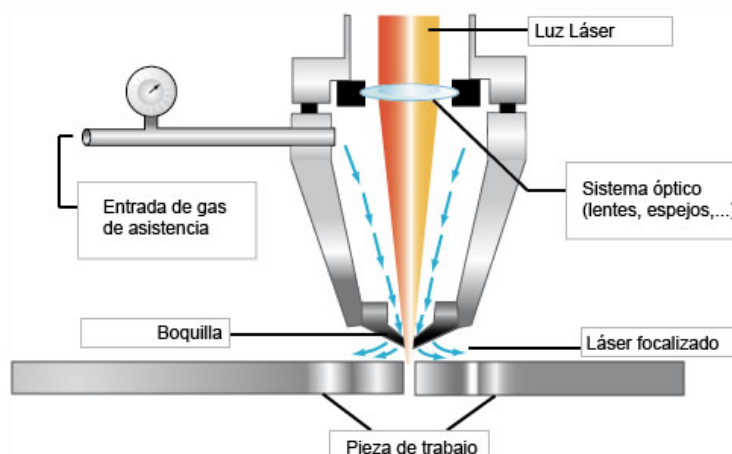


Figura 10. Proceso de corte láser.

Fuente: Proceso de corte laser. (s. f.). [Ilustración]. Maderama.

### Impresión 3D:

La impresión 3D es el proceso por el cual una pieza se forma a través de capas sucesivas de material. Este es un proceso de manufactura aditiva, a diferencia de la anterior mente expuestas. En este proceso se enfoca la presente tesis. Como se puede observar en la figura 11, el proceso es capaz de formar geometrías complicadas en una sola operación, sin necesidad de intervención humana o cambio de la herramienta.

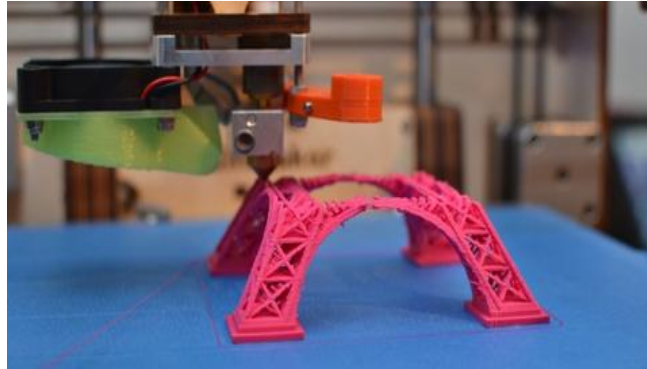


Figura 11. Proceso de impresión 3D.

Fuente: Proceso de Impresión 3D. (s. f.). [Ilustración]. cdn.shopify.

Cabe resaltar que este proceso es relativamente nuevo en comparación al resto, debido a que su primera aplicación en industria se vio en los años 90. Hoy en día es ampliamente utilizado.

### 2.3.3 Sistemas de impresión

#### 2.3.3.1 Impresión convencional o impresión 2D

La impresión 2D es aquella que deposita una tinta sobre diferentes superficies rígidas o flexibles. Esta deposición puede ser de tinta líquida o tóner con láser, y se distribuye por la superficie moviendo su cabezal en eje X, y la superficie impresa en eje Y. (Ansótegui, 2015)

Las impresoras convencionales son mayormente aplicadas para impresiones de texto e imágenes en papel. Sin embargo, también existen tecnologías de impresión 2D sobre maderas, plásticos, y otros. Esta tecnología de impresión simple es la que inspiró el desarrollo de la impresión 3D.

### 2.3.3.2 Impresión 3D

La impresión 3D es una técnica de fabricación denominada aditiva, que se basa en la generación de una pieza tridimensional mediante la adición de material en una superficie a modo de capas secuenciales. Se diferencia de los métodos de manufactura convencional en el principio de funcionamiento, puesto que en vez de retirar material de un bloque base, esta agrega material. En la figura N°12 se muestra el contraste entre la manufactura aditiva y la manufactura tradicional o subtractiva.

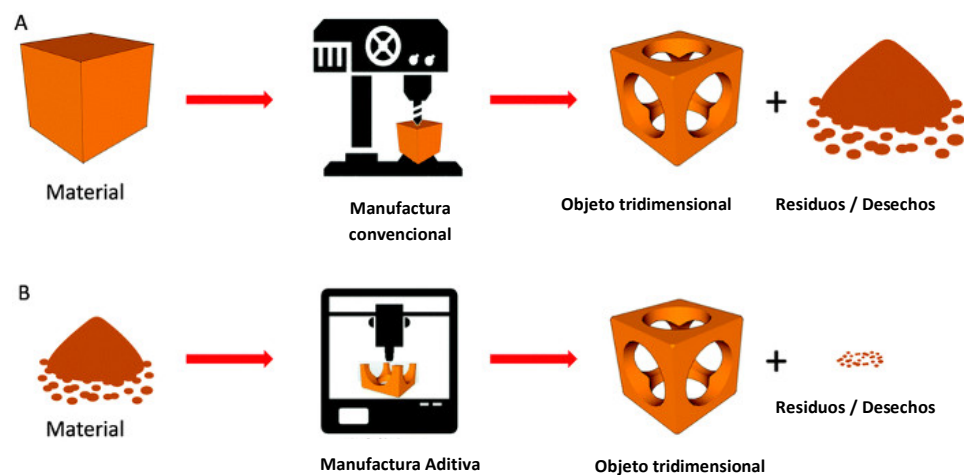


Figura 12. Diferencia entre manufactura convencional y manufactura aditiva

Fuente: Contreras. (2018). Impresión 3D o mecanizado CNC: ¿Cuál es mejor para el prototipaje? 3DNatives.

Como se aprecia en la imagen, el método de manufactura aditiva parece trabajar a la inversa que los métodos de manufactura convencionales. Si bien la impresión 3D como método de fabricación se ha popularizado en los últimos años, no es un concepto nuevo. La primera máquina herramienta de impresión 3D se remonta al año 1984, cuando el norteamericano Charles Hull inventó la estereolitografía, tecnología de impresión 3D conocida como SLA, para dos años después, en 1986, obtener la patente a esta tecnología y fundar la empresa 3D Systems.

Posteriormente, fueron apareciendo otras tecnologías de manufactura aditiva dentro de la categoría de impresión 3D, que se comercializaron en la

industria manufacturera como métodos especializados para prototipado, moldeado, pruebas de concepto, aplicaciones en medicina, entre otros. Las principales tecnologías de impresión 3D en la actualidad son el Modelamiento por Deposición Fundida (FDM por sus siglas en inglés), la Estereolitografía (SLA), el Sinterizado Laser Selectivo (SLS), y el Sinterizado Láser Directo de Metales (DMLS). Si bien estas tecnologías se centran en diferentes materiales, todas utilizan un mismo principio de funcionamiento: La adición consecutiva de capas virtualmente bidimensionales para la formación tridimensional de un objeto. El espesor de las capas impresas es configurable y depende del efector final o extrusor que se utiliza, y es un componente principal de la calidad superficial que tendrá la pieza impresa. Además, la pieza podrá ser impresa completamente sólida o con vacíos en el interior para ahorrar tiempo y material. En el caso de piezas impresas con vacíos en su interior, es posible lograr una durabilidad similar a la de una pieza fabricada con un método de manufactura como fresado o torneado, pero con menor peso.

Una pieza impresa en 3D se compone de 4 partes fundamentales: Las capas superiores, el relleno, las capas inferiores, y las paredes. Estas partes son independientes de la tecnología aplicada, o son limitadas por la misma, tampoco son dependientes del material utilizado, y causan efectos sobre la resistencia mecánica de la pieza, su peso, su capacidad de mantener la misma forma tras aplicación de calor, etc. A su vez, estos componentes cuentan con ciertas propiedades que son configurables en el software de impresión, de tal manera que se puede obtener una impresión 100% configurable según las características físicas que se desean. Entre las principales propiedades tenemos:

1. Resolución: (Milímetros) Define el espesor de capa impresa. Mientras mayor sea el espesor de una capa, menor será la resolución. En la figura 13 se observa la diferencia entre 0.1mm de espesor de capa (izquierda) y 0.3 mm (derecha) en una impresión 3D realizada con tecnología FDM.

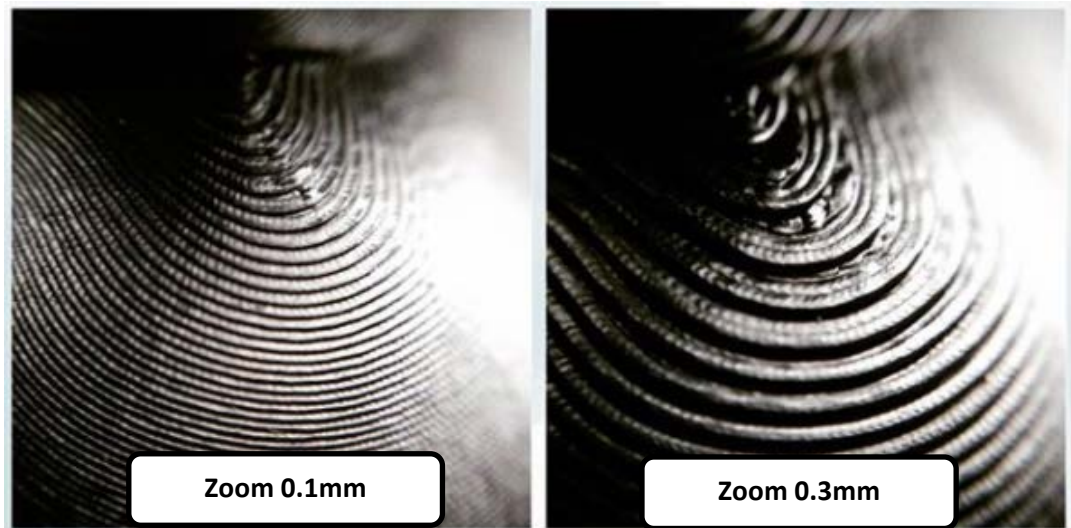


Figura 13. Diferencia en resolución 0.1mm y 0.3mm

Fuente: Elaboración propia

2. Porcentaje de relleno: (%) Define qué tan lleno será el interior de una pieza. Mientras mayor sea el porcentaje de relleno, mayor será el consumo de material y el tiempo de proceso. También aumenta la resistencia mecánica de la pieza, hasta un límite dado por la resistencia misma del material que se utiliza.
3. Patrones de relleno: Define cómo se trazará el relleno de una pieza impresa. Puede ser lineal (relleno generado en dirección de un solo eje) rectangular, triangular, hexagonal (panel de abeja), u otros personalizados. En la figura 14 se observan los 4 patrones de relleno más utilizados en la industria, que poseen características diferentes debido a sus geometrías, por lo tanto, se utilizan en aplicaciones específicas:

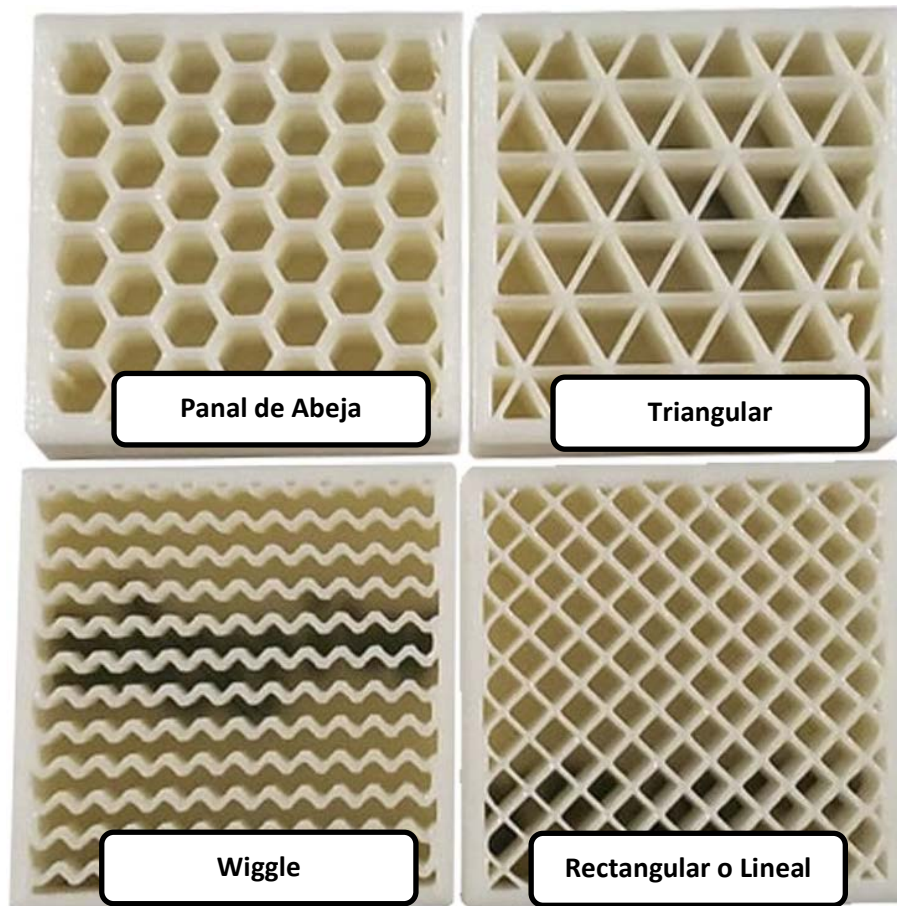


Figura 14. Los 4 patrones de relleno más utilizados

Fuente: Henshaw. (2019). How to Choose an Infill for Your 3D Prints. 3D Printing.com.

El patrón de relleno es la propiedad del relleno que mayor efecto tiene sobre el tiempo que tomará una pieza en imprimirse. Como fue mencionado, además, se aplican patrones diferentes para necesidades diferentes de resistencia mecánica.

**Panal de abeja:** Patrón más popular. Es rápido y provee resistencia mecánica a compresión y tracción en todas las direcciones. Generalmente es acompañado de una mayor cantidad de capas superiores.

**Triangular:** Usado cuando se necesita resistencia especialmente en dirección de las paredes. Este patrón toma un mayor tiempo en imprimir que los otros descritos.

**Wiggle:** No ofrece mucha resistencia mecánica, sino que permite que la pieza se comprima o tuerza. Aplicado generalmente como relleno en piezas flexibles, impresas con termoplásticos elastómeros.



**Rectangular o lineal:** Es el patrón de relleno por defecto de todos los softwares de impresión. Es el más básico, y se compone únicamente de líneas superpuestas que forman rectángulos. Es razonablemente rápido en imprimir, y ofrece una resistencia mecánica promedio a la impresión.

4. Cantidad de perímetros sólidos: (#) Define la cantidad de trazos perimetrales que realizará la máquina de forma consecutiva. Estos trazos brindan mejor calidad superficial y resistencia mecánica a las piezas, debido a que, a diferencia del relleno, suponen interpolaciones curvas vectorizadas y sin pausas o cambios de dirección hasta completar el perímetro completo de la pieza. En la figura 15 se muestra el efecto que tiene el número de perímetros en la pieza impresa.

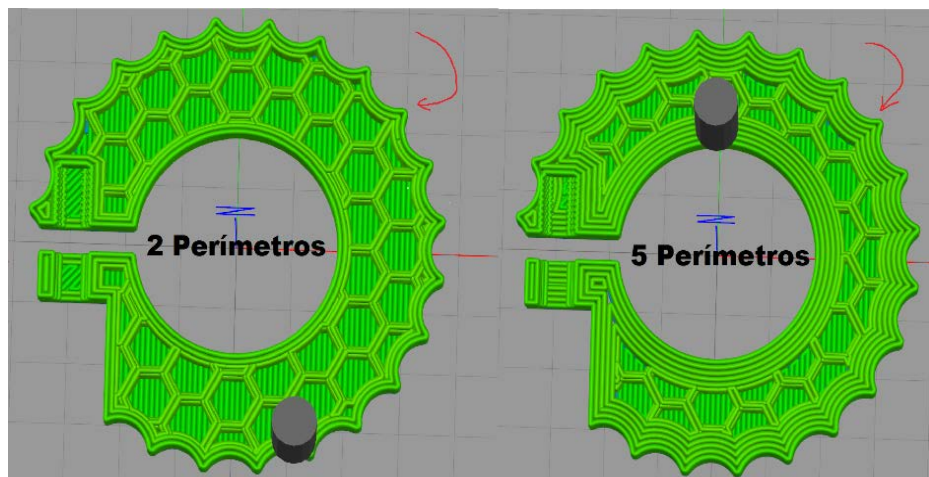


Figura 15. Efectos del perímetro sólido en una pieza impresa en 3D.

Fuente: Elaboración propia.

En conjunto, estas características de la impresión tienen efecto sobre el tiempo de proceso, el material consumido, y la resistencia mecánica de la pieza a esfuerzos en sus 3 ejes. Como ya fue mencionado, estas características son independientes del tipo de tecnología de impresión aplicada. A continuación, se explora las principales tecnologías con las que contamos actualmente para la impresión 3D.

### 2.3.3.3 Principales tecnologías de Impresión 3D

Como se vio en la figura 1 durante la formulación del problema, existen diversas tecnologías de impresión 3D existentes en la actualidad. Las principales diferencias entre estas son los materiales con los que trabajan, por lo tanto, también el método que utiliza para la consecutiva adición de material



sobre la plataforma de impresión. A continuación, en la tabla 2 se muestra una comparación de las principales tecnologías de impresión 3D que se utilizan hoy en día, basada en las características de la máquina en sí y en las características físicas de la pieza procesada con cada una de ellas. En la tabla 2 a continuación se definen las fortalezas y debilidades de estas principales tecnologías de impresión 3D. Las características físicas detalladas en la tabla 2 se obtuvieron a través de pruebas de tracción y compresión con diversos materiales, considerando 100% de relleno de la pieza (interior sólido), resolución o espesor de capa 0.2mm, y 2 extrusiones de perímetros rígidos. Estos parámetros son los parámetros por defecto del software de Manufactura Asistida por Computadora para impresiones 3D FDM, Simplify3D.

Tabla 2. Comparación de principales tecnologías de impresión 3D

	<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>FDM</b>	<b>SLA</b>	<b>SLS</b>	<b>DMLS</b>	<b>INKJET</b>
<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA PIEZA PROCESADA</b>	Resistencia mecánica promedio	32 - 83 MPA	28 - 63 MPA	48 - 55 MPA	230 - 1030 MPA	10 - 100 MPA
	Estabilidad térmica	Baja	Media	Alta	Alta	Baja
	Respuesta a radiación UV	-	Fragilización	-	-	Pérdida de color
	Resolución máxima de la impresión (mm)	0.08	0.03	0.075	0.075	0.08
<b>CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO</b>	Velocidad del proceso	Lenta	Rápida	Media	Media	Lenta
	Facilidad de uso de la tecnología	Muy Fácil	Fácil	Difícil	Difícil	Muy Difícil
	Materiales	Plástico	Resinas foto-curables	Nylon	Metal	Plástico
	Post procesamiento requerido	-	Limpieza y curación con lámpara UV	-	-	-
<b>REQUERIMIENTOS ESPECIALES</b>	Limpieza pre y post impresión	Mínima	Cambio de resina	Cambio de polvo	Cambio de polvo	Mínima
	Mantenimiento del equipo	Mínimo	Mínimo	Limpieza especializada	Limpieza especializada	Mínimo
	Equipos adicionales requeridos	-	Lámpara UV	Cabina de soplado	Cabina de soplado	-

Fuente: Elaboración propia.

Debido a estas características, la presente investigación se enfoca en la tecnología FDM. Esta tecnología utiliza un filamento termoplástico que es derretido en el extrusor y depositado sobre la superficie de impresión de manera controlada a través de un sistema de control numérico computacional (CNC), como se observa en la figura 16.

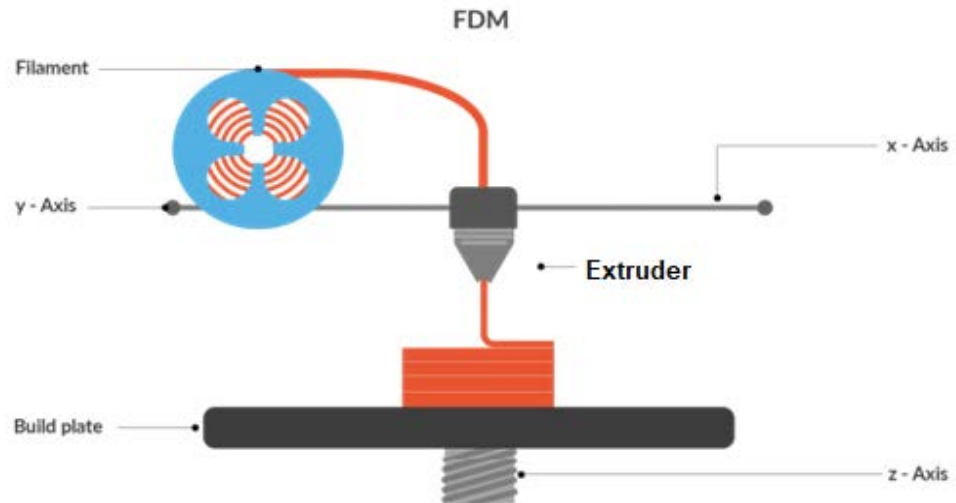


Figura 16. Tecnología FDM de impresión 3D.

Fuente: DRUCKWEGE 3D PRINTING. (s. f.). [Ilustración].

#### 2.3.4 Impresión 3D con tecnología FDM

Esta tecnología aplica el ingreso de un filamento termoplástico por la parte superior del cabezal o extrusor, aplicando un motor de paso que controla la velocidad o “feed rate” al que este filamento se alimenta a la máquina, para luego ser derretido en la punta del extrusor y depositarse capa a capa sobre una cama de impresión o “Build plate”, la cual además puede ser fría o caliente para promover la adherencia del termoplástico y evitar que la pieza se mueva mientras la impresión continúa. El movimiento de la máquina es controlado por un sistema CNC, el cual se compone principalmente de tres ejes de movimiento: X, Y, Z. Existen también impresoras que aplican ejes polares, o mayor cantidad de ejes prismáticos, pero dichas máquinas son poco comunes en el mercado y no brindan beneficios significativos frente al sistema cartesiano convencional.

El movimiento de la máquina se realiza principalmente en los ejes X y Y, debido a que estos componen el plano en que se imprime cada capa del modelo procesado, mientras que el eje Z solo actúa cuando se realiza el cambio a una capa siguiente. De esta manera, el proceso de impresión 3D bajo tecnología FDM

se reduce a una impresión bidimensional sobre la cama de impresión, que al terminar activa una siguiente impresión bidimensional sobre la primera, y así sucesivamente.

Siendo que se cuenta con un único ingreso de material, FDM solo permite extruir un único filamento por proceso, por cada extrusor o cabezal con el que cuente la impresora, limitando el color del modelo final al color del filamento utilizado, en la cual se aprecia el filamento color dorado entrando por la parte superior del extrusor, y que resulta en una impresión completamente dorada.

Esta tecnología se utilizada actualmente para prototipado rápido de equipos, fabricación de prótesis personalizadas, manufactura de moldes para cemento, y diversas otras aplicaciones. El motivo de su popularidad es la sencillez de operación, la cual permite hacer de FDM la tecnología predominante en impresión 3D, y en la que muchas personas piensan cuando escuchan el término.

#### 2.3.5 Técnicas de impresión 3D multicromática con tecnología FDM

Existen diversas técnicas que se pueden aplicar en el proceso de impresión 3D con tecnología FDM para lograr impresiones multicromáticas. Las más utilizadas se detallan a continuación, con sus ventajas y desventajas:

1. Cambio en caliente: esta técnica consiste en cambiar de forma manual el filamento que ingresa a una impresora 3D durante el proceso de impresión. Requiere que el usuario esté atento al momento de realizar el cambio, y lo efectúe oportunamente. La ventaja de esta técnica es que puede aplicarse en cualquier impresora 3D, independientemente de la cantidad de extrusores con la que se cuente. Sus desventajas se definen en función del nivel de experiencia del usuario, dado que, si no se ejecuta el cambio de manera eficiente, puede desencadenar fallas en la impresión por falta de filamento en el extrusor y, por lo tanto, un reproceso. Conlleva también cierto riesgo a la persona que ejecuta la tarea debido a que se trabaja con partes en movimiento y superficies calientes.
2. Pausa en capa: la técnica de pausa en capa consiste en configurar el software de CAM para que el proceso de impresión 3D tenga pausas en los momentos en que se debe cambiar el color o material, seguido de ejecutar manualmente el cambio de filamento tal como en la técnica de hot swapping. La ventaja es que, al pausar automáticamente la impresión, el usuario no necesita estar

atento al proceso en todo momento, sino que puede recibir una alerta si su impresora cuenta con dicha funcionalidad. Además, al estar pausado el proceso, se minimiza el riesgo de afectar la calidad de impresión por falta de filamento en el extrusor. Su desventaja es que requiere la modificación de código G por cada punto en que se desee realizar el cambio, extendiendo así el tiempo de preparación.

3. Seguimiento de filamento o “Chasing”: este método consiste en calcular la longitud de filamento que se utilizará para cada parte de un color diferente, y trozarlo antes de ingresarlo al extrusor, de modo que se tenga estos múltiples segmentos consecutivos a modo de un solo filamento multicolor. Esta es la técnica más compleja y requiere mayor preparación. Un ejemplo de cómo se efectúa se muestra en la figura 17.

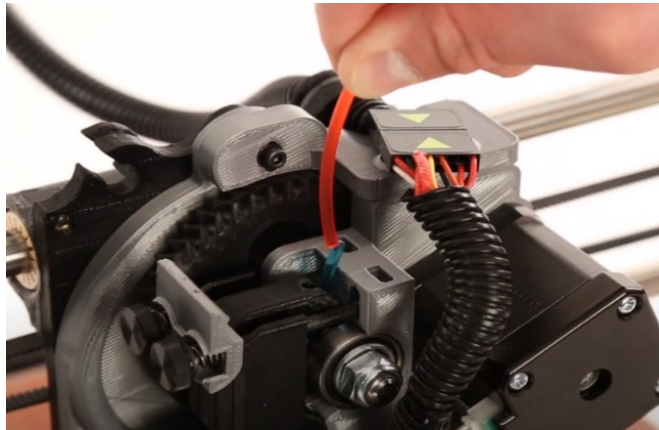


Figura 17. Técnica de seguimiento de filamento para impresiones 3D multicromáticas.

*Fuente: LulzBot. (s. f.). Chasing the filament. [Obtenida del video].*

4. Chasing Automático: es una variante de la técnica convencional de Chasing, desarrollada por la empresa Mosaic Manufacturing, que realiza el cálculo, el seguimiento, y el empalme de forma automática. Se aplica en sus máquinas “Palette”, la cual trabaja con hasta 4 filamentos de diferentes colores en su entrada, tal que entregue en su salida un filamento multicolor específico para el proceso deseado. Su ventaja es que puede utilizarse para cualquier impresora 3D con tecnología FDM independientemente de la cantidad de extrusores con las que cuente. Su desventaja principal, fuera de la inversión inicial, es que se encuentra limitada a procesar un máximo de 4 filamentos por proceso. Se observa el funcionamiento de esta máquina en la figura 18.

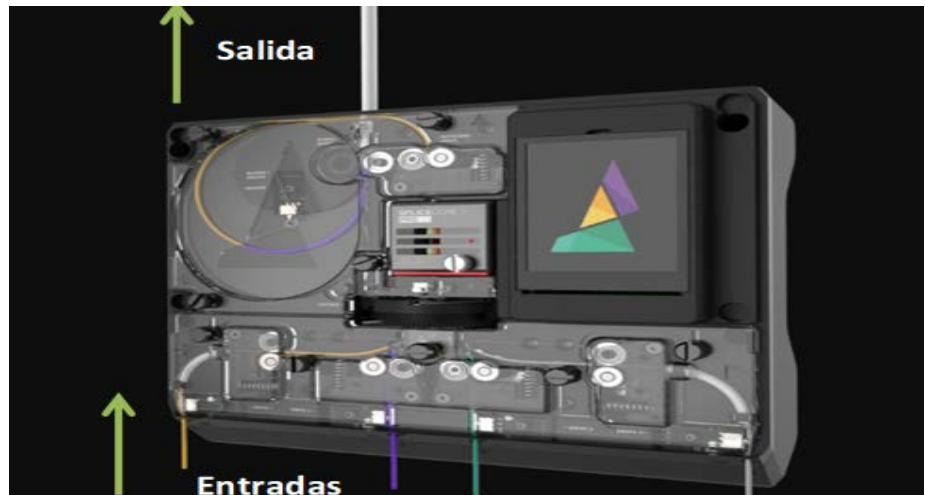


Figura 18. Funcionamiento del Palette de Mosaic Manufacturing

Fuente: 2020 Mosaic Palette 2S: Review the Specs. (s. f.). [Ilustración].

5. Múltiples extrusores, la aplicación de múltiples extrusores es finalmente la técnica más utilizada para lograr impresiones 3D FDM multicromáticas. Consiste en la utilización de 2 o más cabezales capaces de extruir filamento en un mismo proceso. Como ya ha sido mencionado, colocar múltiples extrusores disminuye entonces el espacio de trabajo con el que cuenta la máquina base, sacrificando volumen por cantidad de colores / materiales por proceso. Además, esta alternativa no permite la mezcla de colores, sino su impresión individual, y aplica también un método de purgas entre extrusores para evitar contaminación cruzada en las piezas que disminuya la calidad de la pieza final impresa. Este método de purgas puede tomar la forma de torres a los lados de la impresión misma, una carcasa exterior a la pieza, o un balde de purgas exterior a la impresora.

#### 2.3.6 Métodos de purga para impresión 3D multicromática con tecnología FDM

Independientemente de la técnica que se aplique para la impresión 3D multicromática, se observa en las piezas impresas algunos defectos en la calidad superficial. Estos defectos son generados por el material transitorio entre un filamento y el siguiente, y pueden ser tanto mezclas de colores, como vacíos o burbujas en la pieza final. Para evitar estos defectos, se aplican métodos de purga entre los cambios de filamento, que se deshacen de ese material transitorio en una impresión de desecho, tal que no se afecte la calidad

superficial de la pieza que se desea imprimir. Los principales métodos de purga utilizados son los siguientes:

Pilares laterales, consiste en la impresión de pilares rectangulares alrededor de la pieza principal. Estos pilares se imprimen únicamente con el material transitorio en el cambio de filamentos, por lo que no cumplen ninguna función tras el proceso de impresión. Son finalmente desechados. La generación de estos pilares se observa en la figura 19:

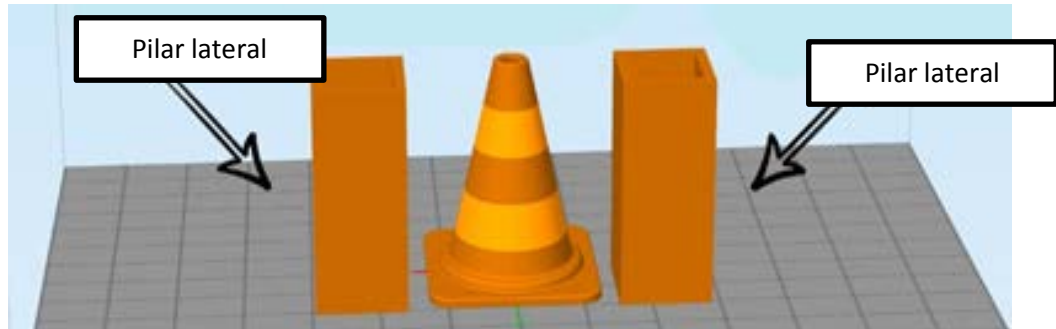


Figura 19. Método de purgas por pilares laterales para impresión FDM a doble material.

Fuente: Purge Wall for dual prints. (s. f.). [Ilustración].

Carcaza externa, el método de purga por carcaza externa se aplica para impresiones multicolor con geometrías complejas. Cumple la misma función que el método anterior, pero en vez de generar pilares adyacentes a la pieza que se imprime, genera una carcasa que rodea la pieza. Un ejemplo de esto se muestra en la figura 20. Al lado derecho se muestra el modelo impreso finalizado, y al lado izquierdo su carcasa externa de purga. Observamos las características de mal acabado superficial con el que cuenta la purga, que no sería aceptable en el modelo final, con lo que se justifica su aplicación.



Figura 20. Método de purgas por carcaza externa para impresión FDM a doble material.

Fuente: 3d print 2 colors – The complete guide. (2018).

Ambos métodos de purga generan una pérdida de material considerable, y supone un subproceso de impresión a pérdida que gasta tiempo y recursos. Por este motivo, muchos diseñan sus piezas a ser impresas de tal forma que no se requieran purgas, realizando cálculos para lograr que el material transitorio se imprima dentro de la pieza. Sin embargo, esto también resulta en un mayor consumo de tiempo de preparación; y, en caso de un error, se debe realizar la impresión nuevamente.

### 2.3.7 Filamentos termoplásticos para la impresión 3D FDM

En lo que al filamento termoplástico respecta, también hay que diferenciar los tipos con los que se puede trabajar. Siendo que esta tecnología solamente requiere que el material base se pueda derretir y depositar, se cuenta con una amplia gama de opciones. En la tabla 3 a continuación, se detallará las características de los más comunes. Consideramos los niveles de flexibilidad donde “1” es rígido y “5” es flexible como una banda elástica.

Tabla 3. Comparación de filamentos para impresión 3D FDM.

<b>Material</b>	<b>Temperatura de fusión</b>	<b>Flexibilidad</b>	<b>Aplicación general</b>	<b>Resistencia Mecánica</b>
<b>PLA</b>	200°C – 220°C	1	Prototipado rápido general de modelos que no requieren alta durabilidad.	65 MPa
<b>ABS</b>	225°C – 245°C	2	Prototipado rápido de modelos que requieren medio – alta durabilidad.	40 MPa
<b>TPU</b>	235°C – 255°C	5	Piezas flexibles, suelas de	26-43 MPa



			zapatos, entre otros.	
			Producciones pequeñas de modelos especializados de alta durabilidad.	
<b>PETG</b>	240°C – 255°C	2		53 MPa

Fuente: Rohringer. (2020). 2020 3D Printer Filament Buyer's Guide. All3DP.

Como observamos, los diferentes materiales cuentan con diferentes características que los hacen más apropiados para ciertas aplicaciones. Sin embargo, las características sobresalientes del PLA, basado en ácido Poliláctico, lo convierten en el filamento termoplástico más utilizado a nivel mundial.

### 2.3.8 Lenguajes de programación para máquinas herramientas

Para que una máquina herramienta pueda funcionar, esta debe ser programada en un lenguaje específico que sirva de interfaz entre el hombre y los circuitos. Este lenguaje de programación tendrá la tarea de comandar el comportamiento de la máquina frente a secuencias predefinidas o indicaciones específicas del usuario.

Para el fin específico de manejar máquinas CNC, se utiliza convencionalmente el denominado código G. Sin embargo, este no es el único disponible para el desarrollo de equipos.

En lo que a la impresión 3D respecta, empresas como Mosaic Manufacturing han desarrollado sus propios lenguajes de programación, con el objetivo de brindar mayor precisión a las indicaciones, y limitar las acciones que una máquina puede tomar para un fin específico. A continuación, se describen estos lenguajes de programación para máquinas herramientas.

#### 2.3.8.1 Código G:

Es el nombre común que se le da al lenguaje de programación de control numérico computacional más utilizado. Se aplica para la manufactura asistida por computadora, controlando el movimiento y las funciones de máquinas automatizadas.

El código G sigue generalmente dos estándares internacionales, la ISO 6983, y la EIA RS274. Estos estándares norman las instrucciones de programación que permiten a una máquina herramienta realizar operaciones particulares. Los movimientos en ejes coordenados son normados por la EIA-267-C, en que se estipula que los movimientos de la herramienta deben ser relativos al sistema coordenado de la pieza estacionaria, esto solo significa que el movimiento se comanda a través de indicaciones de posición absoluta respecto a un punto inicial o punto 0, a diferencia de dictar movimientos incrementales. Para que esto funcione, además, se sigue siempre la regla de la mano derecha para definir los ejes de movimiento de la máquina. En la figura 21 se aprecia la regla de la mano derecha:

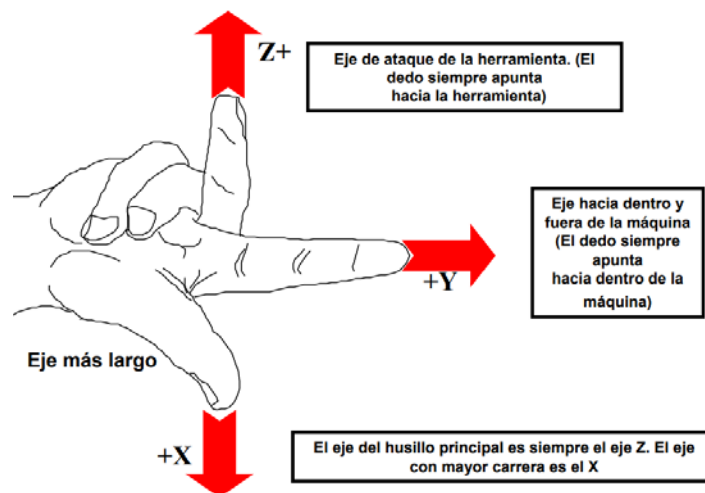


Figura 21. Regla de la mano derecha.

Fuente: Jimenez. (s. f.). Control Numérico por Computadora (CNC).

Los diferentes comandos con los que cuenta el código G se diferencian por el efecto que tienen sobre el la máquina, ya sea movimientos libres, movimientos con corte, encendido o apagado de funciones, velocidades, entre otras. En la tabla 4 se muestran los principales comandos que se utilizan en la programación del código G aplicado a la impresión 3D o una máquina CNC.

Tabla 4. Principales comandos del código G.

<b>Comando</b>	<b>Descripción</b>
G00	Interpolación Lineal Rápida.
G01	Interpolación lineal a la velocidad programada en el registro F.
G02	Movimiento Circular en el sentido horario.
G03	Movimiento Circular en el sentido anti horario
G04	Es una pausa con un tiempo específico.
G17	Selección del Plano X-Y
G18	Selección del Plano X-Z
G19	Selección del Plano Y-Z
G40	Compensación anulada.
G41	Compensación a la Izquierda de la línea de desplazamiento.
G42	Compensación a la Derecha de la línea de desplazamiento.
G70	Unidad de Datos expresados en Pulgadas.
G71	Unidad de Datos expresados en Milímetros.
G90	Desplazamiento en Modo Absoluto.
G91	Desplazamiento en Modo Incremental o Relativo.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, el código G tiene una serie de comandos que controlan tanto el movimiento en ejes X, Y, Z, y sus velocidades, y las funcionalidades de la máquina como lo son los ventiladores, el extrusor, y la cama caliente. Este código, tras ser generado, debe ser interpretado por un controlador electrónico tal que pueda generarse el movimiento, calentamiento, o activación y desactivación de funciones.

#### 2.3.8.2 Código MSF:

Es uno de los lenguajes de programación creados por Mosaic Manufacturing, especializado en el control de máquinas de colorización de su serie Palette. El código se aplica para el control de hasta 4 motores, dictando cuál, cuándo, y cuánto deberá girar cada uno de ellos. Se caracteriza por ser

extremadamente breve, dado que utiliza el concepto de programación de bajo nivel.

Trabaja en sistema hexadecimal para activar funciones físicas en el microcontrolador, como la ejecución temporizada de acciones por medio de un reloj externo, la activación y desactivación de salidas a través de transistores, etc. Para este fin, la tarjeta controladora trabaja con un procesador con arquitectura x86 de 32 bits.

En la tabla 5, se muestra un código en lenguaje MSF completo, para la ejecución de un método de Chasing Automático con 4 filamentos termoplásticos:

Tabla 5. Principales comandos del código G.

Comando	Descripción
MSF1.4	Define la comunicación bajo lenguaje MSF en su versión 1.4
cu:1 PLA;1 PLA;1 ABS;1 ABS;	Define la cantidad de materiales a utilizar y el tipo de material. (El primer y segundo efector corresponden a material PLA, tercer y cuarto efectores corresponden a material ABS).
ppm:421ed6c4	Define la configuración de movimientos, estableciendo la cantidad de pulsos por milímetro para comandar un motor. Este parámetro es proporcional a la velocidad a la que fluye el filamento termoplástico por el extrusor de una impresora 3D.
lo:07d0 ns:0006 np:0000 nh:0000 na:0001	Comandos de inicialización de proceso. Definen el offset de inicio, la cantidad de cambios de color esperados, la cantidad de algoritmos que activa la máquina.

(00,447a0000)	Primera extrusión de filamento, utilizando el efector N°1 (dirección 00), y recorrerá 1000mm.
(01,453b8000)	Segunda extrusión de filamento, utilizando el efector N°2 (dirección 02), y generando el primer empalme por Chasing. Contiene la indicación de expulsar 2000 mm de filamento.

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla anterior, los comandos son simples, y se basan en la ejecución automática del método de Chasing.

### 2.3.9 Controladores

Los controladores son aquellos dispositivos que manejan las variables de un sistema con el fin de obtener una o varias salidas deseadas. Estos son parte de los llamados sistemas de control, los cuales pueden ser de lazo abierto o de lazo cerrado, como se muestra en la figura 22.

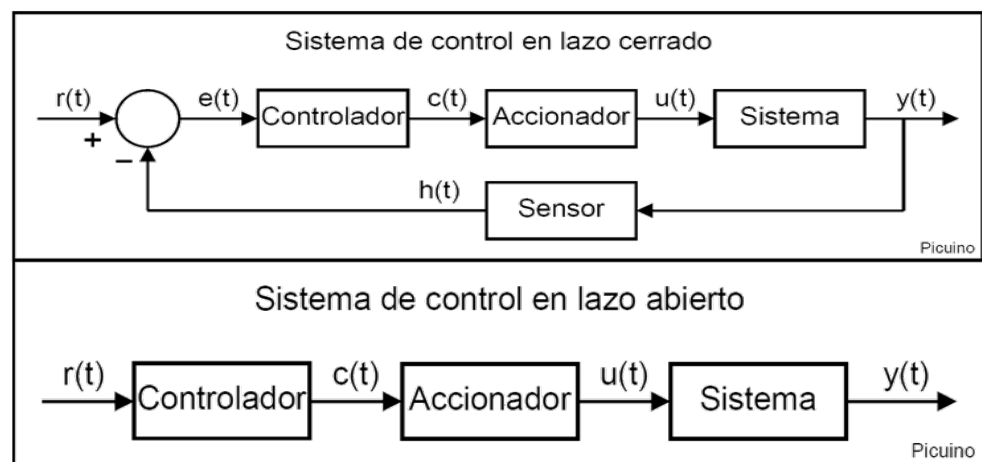


Figura 22. Sistema de control en lazo abierto y cerrado.

Fuente: Pardo. (2020). Control Automático. Sistema de Control. (s. f.).

[Diagrama].

Como se observa en la imagen, el controlador toma una entrada de control que puede ser tanto un valor deseado como el error entre la medida y el valor deseado, tal que la variable controlada del sistema, planta, o proceso, se modifique para llegar a dicho valor deseado. (Kilian, 2015). Esto puede ser aplicado para todo tipo de variables, incluyendo posición, velocidad, y aceleración, las cuales son

características importantes por considerar cuando se desea diseñar una máquina de movimiento comandado por computadora.

Los tipos de controladores varían según la aplicación y pueden ser sistemas mecánicos, circuitos electrónicos sin programación, circuitos electrónicos con programación fija, o circuitos electrónicos programables. Hoy en día, los controladores electrónicos programables son los más comunes, a continuación, se describirá algunos de estos para conocer mucho más sobre su función y cómo es que ayudarán con el proyecto iniciado en el presente trabajo de investigación.

PLC (Programmable Logic Controller):

Computadora que es utilizada para la automatización de industrial, que permite un control más exhaustivo y a diferencia de una computadora normal el PLC está diseñado para un ámbito laboral más robusto, con entradas y salidas programables, reducción de ruido eléctrico, resistencia a la vibración y envío de data en tiempo real. Para lograr entender qué es un PLC, podemos definirlo como un “cerebro”, el cual procesa datos de una máquina, sensores, botones, temporizadores o cualquier señal de entrada para luego controlar los actuadores (pistones, motores, válvulas, etc.) y así poder mantener en control de manera automática en algún proceso industrial. Sin embargo, para que funcione, se controle y logre procesar un sistema, es necesario una pre programación de las tareas a realizar, para esto es necesario un software específico según la marca y el lenguaje de programación que se desee utilizar, donde se tendrá que describir paso a paso cada una de las instrucciones que se procesarán y controlarán. Las partes de un PLC pueden estar integradas o por módulos, estas pueden ser:

1. Una fuente de alimentación, la cual brinda energía eléctrica a la CPU y a las tarjetas del PLC.
2. Unidad de procesamiento central (CPU), el cual se encarga del procesamiento e interpretación de cada una de las instrucciones que el PLC programe.
3. Módulo de entrada, por el cual se manda la retroalimentación al PLC para el procesamiento de datos.
4. Módulo de salida, ya recibida la retroalimentación y haber procesado los datos en base a su programa, este mandará una respuesta a los actuadores para controlar el proceso.

5. Módulos de memoria, donde se almacena el programa del PLC, pueden ser RAM, ROM, PROM, EAROM, NVRAM.

Así mismo, se pueden describir distintos tipos de PLC existentes, dentro de estos se encuentran:

1. Nano: Este tipo de PLC permite manejar entradas y salidas digitales y algunos módulos especiales, integrando la fuente de alimentación, la CPU, entradas y salidas.
2. Compacto: En este caso, se posee la fuente de alimentación, el CPU y los módulos de entrada y salida integradas en un solo módulo principal, lo cual permite el manejo desde pocas entradas y salidas hasta cientos de ellas, pero sin expandir sus modelos supera en tamaño al Nano y tiene gran soporte para módulos especiales como: entradas y salidas analógicas, módulos contadores rápidos, módulos de comunicaciones, interfaces de operador o expansiones de entrada y salida.
3. Modular: Este tipo nos da la ventaja de configurarlo según lo que se necesite, ya que los módulos vienen separados y puede armarse el PLC como se necesitan.

DSP (Digital Signal Processor):

Sistema diseñado para procesar cálculos numéricos a gran velocidad, por lo cual trabaja normalmente para procesar señales analógicas. Hablamos de un microprocesador específico para tratamiento de señales, se encargan de realizar operaciones matemáticas complejas en un instante o ciclo de reloj, dando así un resultado ideal, superando la función de un microprocesador convencional, lo cual es sumamente útil para lograr procesar y representar cada una de las señales analógicas en tiempo real, en un sistema que trabaje de esta forma en tiempo real se reciben muestras, normalmente provenientes de un convertor analógico/digital (ADC). El DSP, sin embargo, necesitará de un convertor analógico/digital en su entrada y un convertor digital/analógico en su salida, así como también una memoria para almacenar los datos con los que se trabajen y

los que el programa ejecutará, este DSP puede trabajar paralelamente con varios datos, un diseño e instrucciones específicas para sí. (Ver figura 23)

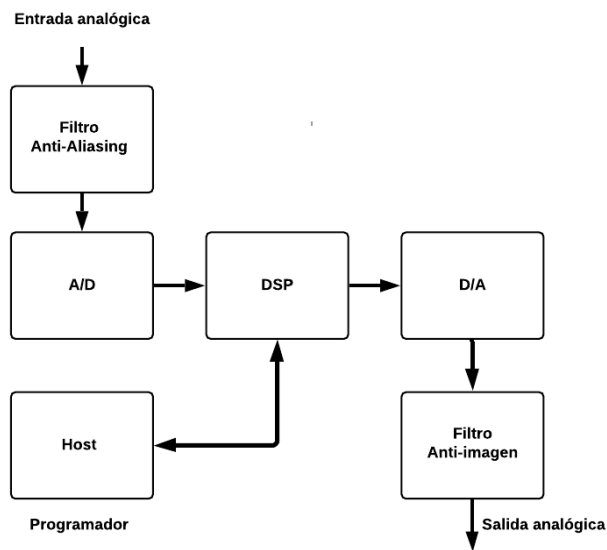


Figura 23. Flujo de funcionamiento de un DSP

Fuente: Elaboracion Propia

PIC (Peripheral Interface Controller):

Circuito a menor escala que cumple con la función de controlar una tarea designada. Podemos explicar diciendo que es un circuito integrado programable que ejecuta órdenes que han sido grabadas dentro de su memoria, está compuesto por varios bloques funcionales que cumple tareas específicas, sus partes son:

1. Memoria ROM (lectura)
2. Memoria RAM (Acceso aleatorio)
3. Líneas de entrada/salida (I/O) o llamadas puertos
4. Microcontroladores PIC – Sistemas microcontrolados
5. Lógica de control (Interactúa con los demás bloques)

Algunas de las ventajas que nos ofrecen los microcontroladores PIC son:

1. **Eficiencia del código:** Permitiendo una gran compactación de los programas.
2. **Rapidez de ejecución:** Con una frecuencia de 20MHz->5 millones de instr./seg.



3. **Seguridad:** En el acceso por la separación de memoria de datos y de programa.
4. **Juego reducido de instrucciones** y de fácil aprendizaje.
5. **Compatibilidad** de pines y código entre dispositivos de la misma familia o sin reducción de las prestaciones internas (muy versátiles).
6. **Variación de versiones** en distintos encapsulados (desde 8 hasta 84 pines) sin reducción de las prestaciones internas (muy versátiles).
7. **Protección** del código.
8. **Herramientas de desarrollo software y hardware** abundantes y de bajo costo.

Arduino:

Si definimos Arduino, podemos decir que se trata de una plataforma abierta que nos ayuda a facilitar el trabajo de programación desde un microcontrolador, hablamos de un hardware libre basado en una placa con un microcontrolador y un software; estos microcontroladores funcionan como una microcomputadora que recibe instrucciones que ayudan a realizar una acción que ha sido previamente programada, leen de los sensores y escriben sobre los actuadores; los microcontroladores más usados dentro de las plataformas Arduino pueden ser el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, ATmega8; un microcontrolador de Arduino posee un interfaz de entrada (donde podemos conectar diferentes periféricos en la placa) y un interfaz de salida (lleva la información procesada en el Arduino a otros periféricos, ya sean altavoces, pantallas u otras placas o controladores). Para poder comprender su función, primero se debe definir los conceptos exactos de un hardware libre y un software libre:

1. **Hardware libre:** son aquellos que tienen especificaciones y diagramas de acceso público, es decir, que cualquiera puede replicarlos, esto nos indica que Arduino tiene la base para que una persona o empresa pueda crear sus propias placas, distintas entre ellas, pero con una misma base para su función.
2. **Software libre:** Aquí los definimos como los programas informáticos con un código que le da acceso a cualquiera para su uso y su modificación.

Por otro lado, el software que posee Arduino es consistente en un entorno de desarrollo que se encarga de implementar el lenguaje de programación de este, dándole así una de sus características, la sencillez y facilidad de uso.

Arduino como tal, tiene distintas funciones ya sea crear elementos autónomos, interactuar con el software o con el hardware de los dispositivos a los que se conecte, automatizar cualquier cosa para crear agentes autónomos, control de luces y dispositivos, etc. Para la presente investigación, se utilizó el controlador Arduino UNO, que es un sistema embebido equipado con pines de entrada y salida, tanto analógicos como digitales. Permite conectarse con diferentes placas de expansión que le añaden funcionalidad según la aplicación en que se utilizará. La programación se hace a través de comunicación serial con una PC o un dispositivo bluetooth, y se utiliza generalmente la interfaz del “Arduino IDE”. (Ver figura 24)

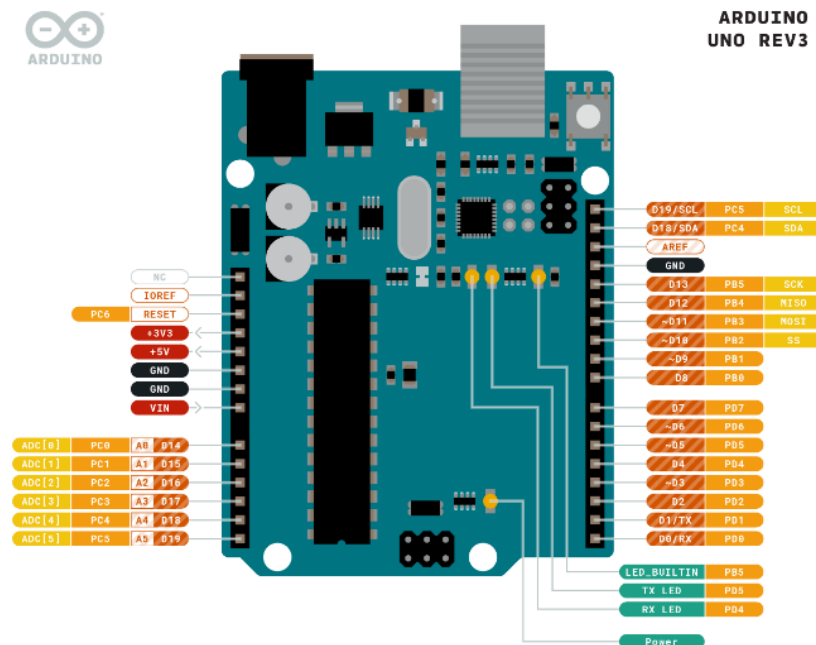


Figura 24. Arduino UNO – Diagrama.

Fuente: Arduino.

### 2.3.10 Motores

Los motores son aquellas máquinas capaces de transformar algún tipo de energía ;eléctrica, de combustión, etc.; en energía mecánica encargado de realizar un trabajo. Existen una variedad de motores, siendo los más comunes:

1. Motores térmicos

## 2. Motores eléctricos

Los motores térmicos, son los que realizan un trabajo a partir de la energía calórica, la cual a su vez se divide en dos tipos, motores a combustión interna o motor de explosión y los motores de combustión externa.

Los **motores eléctricos** son maquinas que realizan un trabajo transformando la energía eléctrica en mecánica, por medio de campos magnéticos, estas máquinas están compuestas por 2 partes, estator y un rotor, ver figura 25.

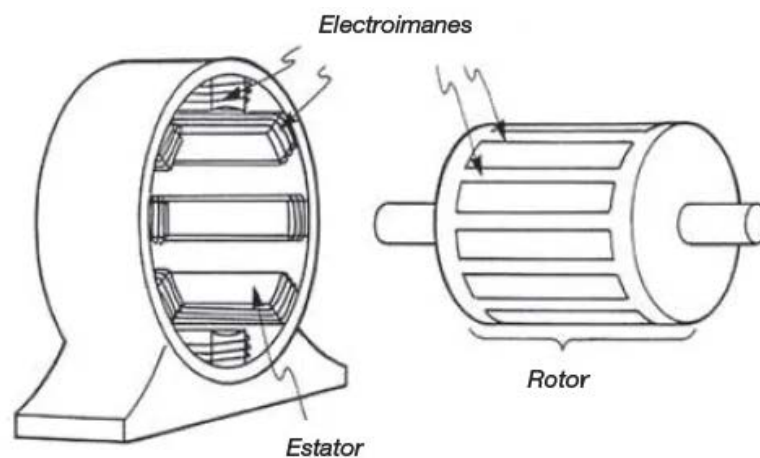


Figura 25. Partes de un Motor eléctrico estator rotor.

Fuente: Motores Síncronos. (s. f.). Formación para la Industria 4.0.

Estos motores son utilizados en varios sectores como; industriales, comerciales, etc.; ya que estos motores son capaces de soportar fuentes de corriente continua y corriente alterna. Algunos de los motores más usados para realizar un trabajo de precisión son:

Motor DC:

Son los motores más elementales dentro de los motores eléctricos, su función principal es de realizar trabajos a velocidad sin control, ya que solo cuentan con rotor y estator, estos son utilizados en muchas máquinas conjuntamente con otros dispositivos para amplificar su rango de precisión y control.

Servomotor:

Es un motor DC que trabaja conjuntamente con un encoder que transforma los giros mecánicos en pulsos digitales interpretado por un controlador de movimiento, gracias a este encoder el motor DC se convierte en un Servomotor que tiene la capacidad de controlar su posición dentro de su rango permitido. Los servomotores son controlados por la modulación por ancho de pulsos (PWM), con esto se sabe en qué posición o dirección y nos da un mejor control del motor.

Motor paso a paso (Stepper):

Máquina electromagnética que transforma los pulsos eléctricos en movimientos angulares, gira por paso o medio paso, dependiendo del control efectuado. Se controla por medio de impulsos procedentes de un sistema digital, es el motor más preciso y por ello se utiliza en el campo de la robótica y para trabajos de suma precisión.

Motor paso a paso unipolar, este motor llega a tener 5 o 6 cables de control. Cuando cuenta con 5 cables es porque 1 de ellos se comporta como común y los otros 4 son para energizar cada bobina del rotor. Cuando cuenta con 6 cables es porque cada par de bobinas cuenta con 1 común diferente.

Motor paso a paso bipolar, generalmente este motor llega a tener 4 cables de control, y para poder utilizarlo adecuadamente se necesita un circuito para facilitar el uso o una energización adecuada como se ve en la tabla 6.

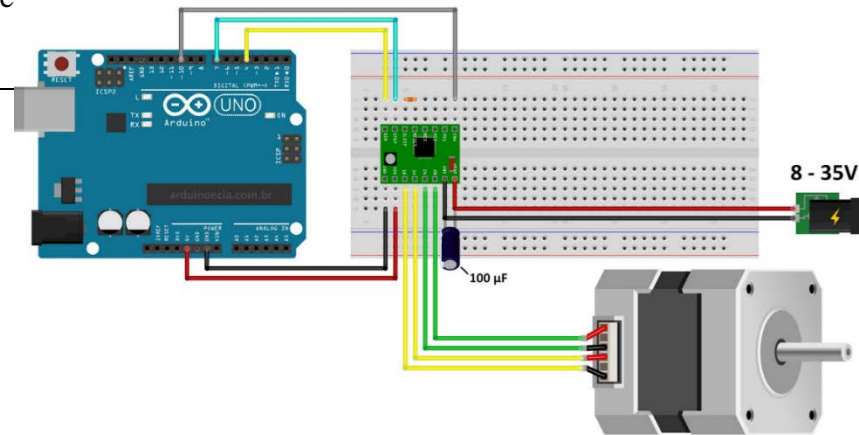
Tabla 6. Tabla de orden de fases. En este caso el motor tendrá un paso angular de 90° y

Paso	Terminal 1 Bobina A	Terminal 2 Bobina A	Terminal 3 Bobina B	Terminal 4 Bobina B
Paso 1	+Vcc	-Vcc		
(Semi)Paso 2	+Vcc	-Vcc	+Vcc	-Vcc
Paso 3			+Vcc	-Vcc

un semipaso de 45° (al excitarse más de una bobina)

Fuente: Elaboración propia.

(Semi)Paso 4	-Vcc	+Vcc	+Vcc	-Vcc
Paso 5	-Vcc	+Vcc		
(Semi)Paso 6	-Vcc	+Vcc	-Vcc	+Vcc
Paso 7			-Vcc	+Vcc
(Semi)Paso 8				



Como se ve en la tabla 6, se alimenta cada bobina para realizar un paso o semi paso y así generar un movimiento adecuado para el trabajo requerido. Esto se evita conectado el motor bipolar a un controlador comercialmente estandarizado como es el A4988, y su conexión con un microcontrolador se visualiza en la Figura 26.

Figura 26. Diagrama de conexiones de A4988 a motor stepper y Arduino.

Fuente: Motores Síncronos.(2019). Formación para la Industria 4.0.

Una vez explicado las características de los motores que se podrían usar en este trabajo de tesis, se compara las características principales para posteriormente elegir el motor más adecuado. (Tabla 7).

Tabla 7. Comparación entre Servo Motor y Motor paso a paso

Características	Servo Motor	Motor Paso a Paso
Costo	Alto	

Fuente: Elaboración propia.

Fiabilidad	Medio, porque tiene un codificador que puede fallar.	Alto, porque no requiere de un codificador que pueda fallar
Dimensiones	Los servomotores están disponibles en una amplia variedad de tamaños.	Los motores paso a paso no tienen tantas selecciones de tamaño como los servomotores en los tamaños grandes
Dificultad para controlar	Poco Complejo	Simple de controlar
Vida de motor	Las escobillas de los servomotores deben cambiarse cada 20000 horas, aproximadamente, de funcionamiento. también los codificadores pueden necesitar ser reemplazados	Los cojinetes de los motores paso a paso son las únicas piezas de desgaste. que le da a los motores paso a paso una ligera ventaja en la vida
Seguridad	Los servomotores pueden funcionar mal si se sobrecargan mecánicamente	Es poco probable que los motores paso a paso se dañen por sobrecarga mecánica

### 2.3.11 Controladores de código G

Código G, es el nombre que se le da al lenguaje de programación más utilizado en tecnología de control numérico, y es aplicado principalmente en automatización.

Si bien es generalmente ejecutado desde una computadora, el controlador que realizará los cambios en voltaje tal que los actuadores se comporten de la manera deseada debe ser capaz de interpretar el código. A los controladores que presentan esta capacidad les llamaremos “Controladores de código G”.

Un controlador de código G puede ser fabricado a través de la programación específica de un controlador convencional, añadiéndole características de control de corriente para motores, sistemas neumáticos, etc.

Por ejemplo, los siguientes controladores son utilizados para el manejo de sistemas CNC de código abierto:

1. SmoothieBoard: Es un controlador de código G hecho especialmente para manejo de máquinas impresoras 3D, fresadoras CNC, o cortadoras láser. Se utiliza en paridad con el firmware Smoothie. En la figura 27 observamos las características de la placa SmoothieBoard.

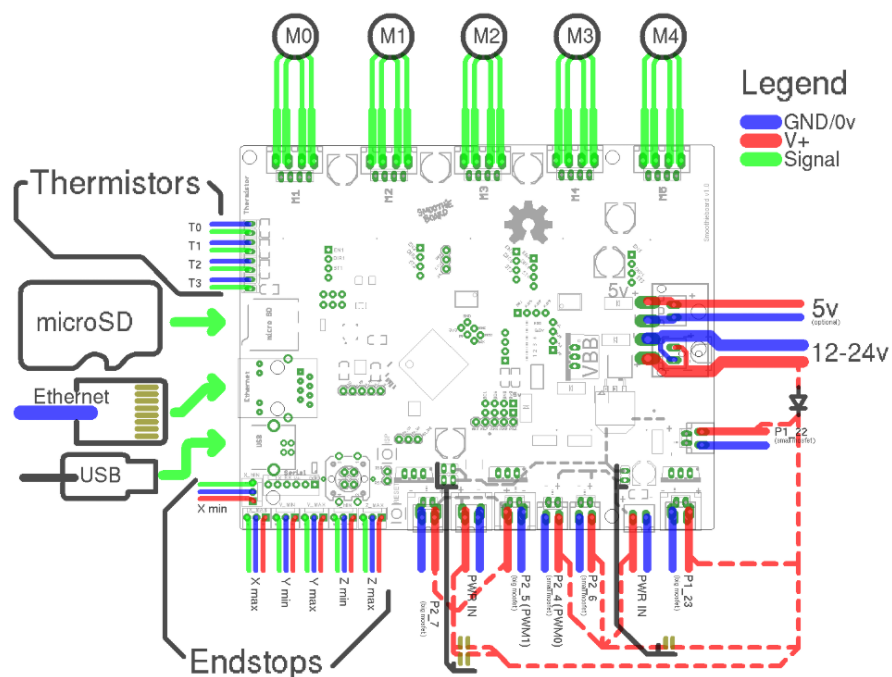


Figura 27. Diagrama de controlador SmoothieBoard

Fuente: Diagrama de controlador SmoothieBoard. (s. f.). [Ilustración]. smoothieware.

2. RAMPS 1.4: Es un controlador de amplia aplicación, que actualmente es considerado el mejor del mercado. Tiene capacidades de impresión 3D principalmente; sin embargo, por el hecho de que el firmware es de código libre, las capacidades del sistema controlador mejoran con el tiempo. Este controlador lo podemos observar en la figura 28.

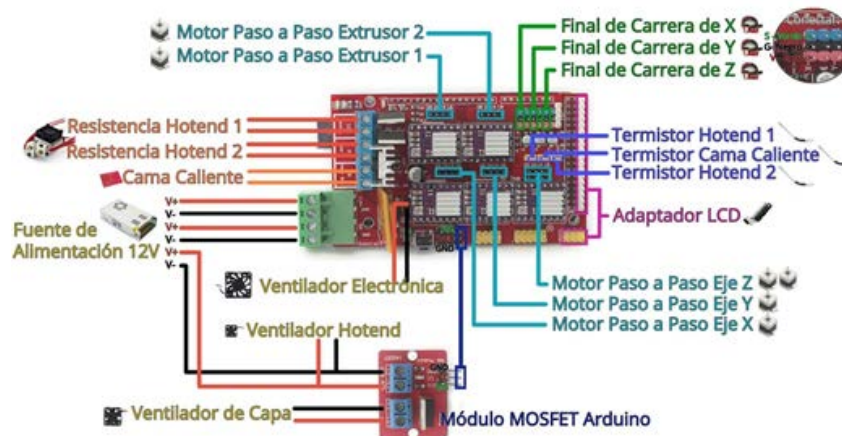


Figura 28. Diagrama de controlador RAMPS 1.4

Fuente: Diagrama de controlador Ramps 1.4. (s. f.). [Ilustración]. Controlador Ramps 1.4.

El controlador RAMPS (RepRap – Arduino Mega Pololu Shield) es un controlador de código libre desarrollado en el proyecto RepRap, el cual está dedicado a desarrollo de hardware y software libre para manufactura CNC, principalmente impresión 3D. Está diseñado para ser utilizado como shield de un Arduino Mega, tal que se obtiene una interfaz entre la PC y la máquina CNC sencilla de utilizar, confiable, replicable y modificable. Consta de controladores Pololu para motores de paso, entrada para sensores de contacto (finales de carrera), controlador de temperatura para extrusores de impresora 3D, conectores para pantalla LCD, espacio para memoria MicroSD, bornes de conexión para energía, y pines de conexión para el Arduino Mega. El controlador es capaz de interpretar el código G que recibe y enviar los voltajes correspondientes a cada motor tal que el movimiento sea preciso y a velocidad determinada. (RepRap Project, RAMPS\_1.4, 2017). Como podremos observar en la figura 29, la interfaz entre el controlador RAMPS, el Arduino Mega, los motores, y la pantalla LCD es sencilla y no requiere de amplios conocimientos de electrónica. Sin embargo,



la geometría de la máquina CNC influirá en la modificación de algunos parámetros en el controlador.

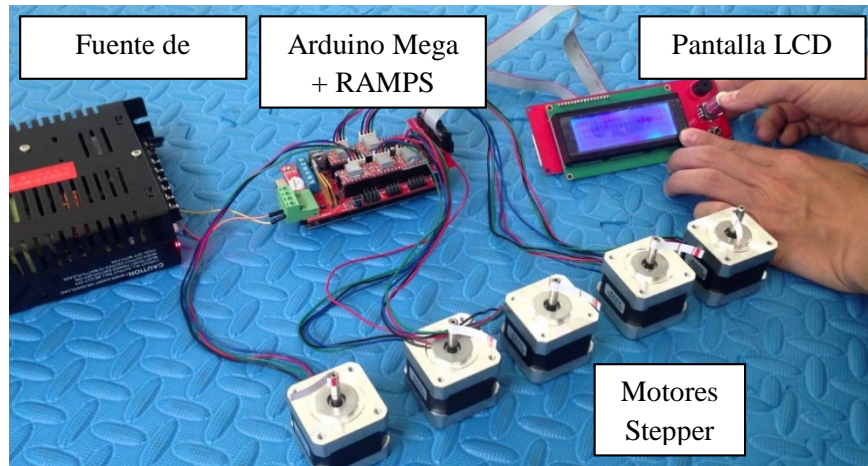


Figura 29. Controlador RAMPS con 5 motores y pantalla LCD conectados.

Fuente: Controlador Ramps. (s. f.). [Ilustración]. Conectando Controlador Ramps.

Además, este controlador es capaz de realizar Microstepping, lo que significa hacer que cada motor de paso no dé un paso completo, sino una porción de este, de tal forma que el ángulo de movimiento es una porción del normal, lo cual finalmente se traduce en una mayor precisión. Está determinado según el módulo que se utilice. Los dos módulos compatibles con RAMPS 1.4 actualmente son el A4988 y el DRV8825.

La configuración de Microstepping se puede calcular según la siguiente fórmula:

$$PRECISIÓN \text{ mm} * PASO \frac{rev}{mm} * 180 \frac{grados}{rev} * MOTOR \frac{paso}{grados} = \text{pasos} (1)$$

Una vez se calcule dicha característica, se colocan un par de jumpers en el RAMPS 1.4 por cada eje, y ya se tiene configurado el Microstepping. El lugar donde se colocan los jumpers se puede observar según las tablas de la figura 30.

A4988			
	MS1 Jumper	MS2 Jumper	MS3 Jumper
Single Step	0	0	0
1/2 Step	1	0	0
1/4 Step	0	1	0
1/8 Step	1	1	0
1/16 Step	1	1	1

DRV8825			
	MS1 Jumper	MS2 Jumper	MS3 Jumper
Single Step	0	0	0
1/2 Step	1	0	0
1/4 Step	0	1	0
1/8 Step	1	1	0
1/16 Step	0	0	1
1/32 step	1	0	1
1/32 step	1	1	1
1/32 step	1	1	1

Figura 30. Tablas que detallan el Microstepping del RAMPS 1.4.

Fuente: Tablas que detallan el Microstepping del RAMPS 1.4. (s. f.). [Grafico]. Ramps 1.4.

### 2.3.12 Firmware de interpretación de código G para la tarjeta controladora

El firmware es el encargado de recibir el código G en la tarjeta controladora, y traducirlo en voltajes tal que los motores se muevan, los calentadores y ventiladores se enciendan, y controlar las diversas configuraciones de seguridad. Para este fin existen varios firmwares disponibles, los cuales incluyen diferentes características modificables por usuario. Algunos de estos son gratuitos y de código libre, mientras otros son de paga. Los más utilizados actualmente son los siguientes:

**Marlin:** es un firmware para control de máquinas CNC basadas en Arduino, que permite manejo cableado por USB o por memoria SD. Este firmware está basado en una mezcla de “GRBL”, otro firmware popular para fresadoras CNC con Arduino, y el firmware “Sprinter”, que se utilizaba para manejo de cortadoras laser. Es esta unión holística la que hace que Marlin sea una poderosa herramienta en el desarrollo de máquinas CNC multifuncionales. Marlin además incluye un manejo inteligente de las aceleraciones de los motores que controlará, con predicción a futuro. Esto significa que el controlador verá 18 movimientos en el futuro para planear las velocidades que debe tomar tal que brinda un movimiento sin vibraciones ni movimientos bruscos.

Actualmente la versión v1.1f, para microcontrolador Atmega328p de 16MHz, trabaja a 115200 o 250000 baudios. Cabe destacar que el manejo de este firmware se hace a través de código G convencional, al que se le agregan algunos comandos para calentadores en caso de impresión 3D. Un ejemplo de código G preparado para este firmware se observa en el anexo N°1. Marlin, además, puede ser controlado enteramente desde un computador como maestro, o puede seguir la secuencia de código G escrita en un archivo de texto dentro de una tarjeta SD. Esto permite que todo el control se realice de manera independiente, sin necesidad de cables ni conexiones a una PC.

Las principales ventajas de Marlin son las siguientes:

1. Completamente configurable a las necesidades del usuario, con todos los parámetros bien documentados.
2. Compatibilidad con virtualmente todas las tarjetas controladoras de 8 bits disponibles en el mercado.

3. Programable a través del ARDUINO IDE, extensamente utilizado por la comunidad de impresión 3D de código abierto.

Su principal desventaja es la incompatibilidad con tarjetas controladoras de 32 bits.

**Sprinter:** es un firmware diseñado para la tarjeta controladora Duet, originalmente utilizada en el desarrollo de las impresoras 3D del proyecto RepRap, de impresoras 3D de código abierto. Este firmware contiene compatibilidad para lector de tarjeta SD, aceleraciones constantes y exponenciales, modificación en la velocidad de extrusión en plena impresión, entre otras. Sprinter actualmente ofrece compatibilidad con las tarjetas RAMPS, Sanguinololu, Teensylu y placas electrónicas de Ultimaker, todas las cuales utilizan chips AVR de 32 bits. Sin embargo, no es posible utilizarlo con otras tarjetas.

**Teacup:** es un firmware sencillo que se configura a través del Teacup Configtool, en vez de editor de texto como el resto de firmwares. Funciona con controladores basados en ATmega de 48 kHz, y ARM de 130 kHz. Teacup brinda por defecto soporte para fresado CNC además de impresión 3D. Como tal, tiene varias de las mismas capacidades que otros firmwares libres. Sin embargo, Teacup tiene problemas con algunos softwares de CAM, cuando las interpolaciones circulares no son configuradas correctamente.

**Smoothie:** es un firmware basado en Grbl, otro firmware bastante utilizado para fresadoras CNC. Smoothie agrega compatibilidad con manejo por internet a través de su módulo ethernet, y permite modificar las características sin necesidad de compilar nuevamente el programa.

Siendo que este firmware se desarrolló como base para la tarjeta Smoothieboard, Smoothie no permite su uso con otras tarjetas como RAMPS. Además, este fue escrito para trabajar principalmente en fresadoras CNC y cortadoras láser.

### 2.3.13 Software de manufactura asistida por computadora para impresión 3D

El software de manufactura asistida por computadora (CAM) es aquel responsable de enviar instrucciones de código G desde una PC hacia una máquina. El envío de instrucciones se realiza de forma secuencial y con esperas para confirmar que la máquina haya recibido la información enviada. Se define su trabajo bajo una comunicación de doble vía. Para el caso de las impresoras 3D

y equipos periféricos a estas, estos programas además tienen la capacidad de tomar un modelo tridimensional y trozarlo en capas para la generación del código G. En la actualidad, los más populares son los siguientes:

**Slic3r:** Es un software gratuito y de código abierto, que permite la conversión de modelos 3D en código G para impresión 3D. Trabaja en compatibilidad con Windows, MacOS y Linux. Por ser uno de los primeros programas en aparecer en el año 2011 junto al proyecto RepRap de impresión 3D de código libre, su interfaz de usuario no es demasiado pulida, y sus capacidades son limitadas a menos que se utilice la línea de comandos.

**Universal Gcode Sender:** UGS es una plataforma gratuita de visualización, edición, y envío de código G usada como interfaz entre PC y controladores CNC con firmwares GRLB, Marlin, TinyG, entre otros. Utiliza una aplicación contenida en Java, que no necesita instalación en la computadora para ser ejecutada, y además es compatible con Windows, OSX, Linux, y Raspberry Pi. Tiene un visualizador de código G con segmentos de línea codificados por colores, y un visor en tiempo real de los comandos enviados de la PC al controlador. UGS también tiene opciones de modificación del código G directamente en la terminal, para optimizar el envío de instrucciones como, por ejemplo: Eliminar comentarios, truncar precisión decimal a un número configurable, convertir arcos (G2/G3) en segmentos de línea, eliminar espacios en blanco, etc.

**Simplify3D:** Es un software profesional de impresión 3D, que toma un modelo 3D en formato STL u OBJ, y lo troza para generar código G compatible con la mayoría de impresoras 3D disponibles en el mercado actualmente. Permite además simular el proceso de impresión 3D, para verificar sus características, el tiempo que tomará, la cantidad de material utilizado, entre otros. No es un software gratuito, por lo que es más utilizado por profesionales y empresas.

## CAPÍTULO III: DISEÑO DE SISTEMA COLORIZADOR

### 3.1 Colorización y selección de tintas

Para poder seleccionar la tinta apropiada, para la aplicación propuesta, se realizaron pruebas de colorización sobre impresiones en proceso, tiñendo el filamento a la entrada de un extrusor en la impresora 3D Flashforge Creator Pro.

Los parámetros evaluados son los siguientes:

1. Homogeneidad y variación del matiz de color entre la tinta y la pieza impresa
2. Efecto de la tinta sobre la calidad de impresión
3. Estabilidad física (Dificultad para remover el color a través de raspado / lijado)
4. Estabilidad térmica (Cambio del color cuando la pieza es expuesta a distintas temperaturas)

Se inicia la prueba con una impresión 3D rectangular plana. Los parámetros de impresión para todos los ensayos son (ver tabla 8):

Tabla 8. Características necesarias para prueba de impresión

Características	Medidas
Espesor de Capa	0.3 mm
Velocidad	75 mm/s
Porcentaje de relleno	15%
Tipo de relleno	Hexagonal
Cantidad de perímetros sólidos	2
Temperatura de extrusión	215 °C
Temperatura de mesa caliente	60 °C

Fuente: Elaboración propia.

El primer modelo impreso es el de control en material PLA, se realizó la impresión de ensayo de colorización manual con tinta solvente (a base de alcohol (a)) y tinta de curado UV (b). Ambas tintas de la marca peruana “Silika Moldes e Insumos”. Estas impresiones y su comparación se aprecian en la figura 31, donde la impresión blanca (c) es la muestra control, la impresión azul es la colorizada con tinta solvente, y la impresión roja es la colorizada con tinta de curado UV.

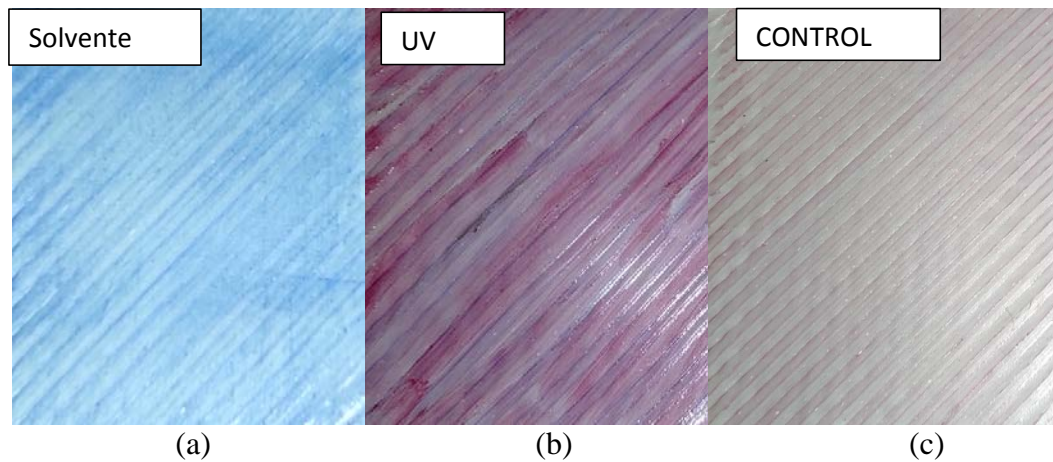


Figura 31. Comparación de impresiones colorizadas e impresión de control donde (a) (b) (c) son los modelos colorizados.

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el color en la pieza colorizada con tinta solvente es homogéneo y del matiz deseado, además de no presentar artefactos superficiales; mientras que aquella colorizada con tinta de curado UV presenta color disparejo.

En la prueba de lijado de la impresión se evaluó la penetración de la tinta en la pieza impresa. El lijado fue realizado con lija de grano 80, haciendo 15 pasadas sobre la superficie de la impresión. Se aprecia el resultado en la figura 32.

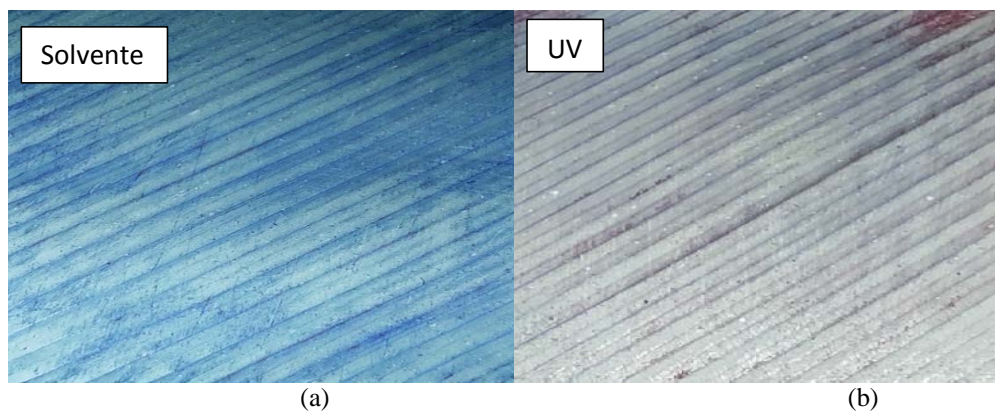



Figura 32. Comparación de impresiones colorizadas tras prueba de estabilidad física  
Entre a y b

Fuente: Elaboración propia

La impresión colorizada con tinta solvente no presenta mayor afectación al lijado, y mantiene su color sin problemas; mientras que la impresión colorizada con tinta de curado UV se peló de la superficie. Finalmente, se compara el resultado a la prueba de estabilidad térmica, realizada con una pistola de calor Dewalt D26950, la cual se observa en la tabla 9.

Tabla 9. Pistola de calor Dewalt D26950

	Especificaciones	Características
	Fabricante	Dewalt
	Peso	0.32onzas
	Modelo	D26950
	Voltaje	120

Fuente: Heat Gun. (s. f.). D26950 | DEWALT.

Esta pistola térmica tiene las siguientes características:

1. Potencia: 1550 W
2. Boquillas intercambiables
3. Rango de temperaturas de trabajo: 49°C – 593°C

Realizamos la prueba aplicando aire caliente a 280°C por 2 minutos, tras esta prueba no se apreció ningún cambio. Los resultados de cada prueba realizada sobre las impresiones colorizadas se resumen en la tabla 10, a través de los siguientes parámetros:

1. Homogeneidad y matiz de color: Define qué tan uniforme es la impregnación de la tinta sobre el filamento termoplástico, y qué matiz resultante se obtiene (Si la tinta es oscura y se mantiene así, o si se aclara).
2. Efecto sobre la calidad superficial: Define el acabado de la pieza impresa, y si este es afectado por la tinta añadida. Por ejemplo, la tinta al ser un material adicional, puede tener características térmicas diferentes, y causar que, durante la extrusión de material, este se deforme; generando así burbujas en la superficie u otros defectos.

3. Impregnación de tinta sobre el filamento: Define qué tan adherida está la tinta, y si esta es fácil de remover por medios mecánicos.
4. Respuesta a cambios de temperatura: Define qué tanto se deforma una pieza al aplicarle temperaturas por encima de su temperatura de fusión.

Tabla 10. Resultados de pruebas de colorización con tinta solvente y tinta de curado

Prueba	Tinta Solvente	Tinta de curado UV
Homogeneidad y matiz de color	Sin cambios	Colorización heterogénea y con variación de matiz de rojo a rosado
Efecto sobre calidad superficial	Mínima	Leves defectos de impresión (Burbujas superficiales)
Impregnación de tinta sobre filamento	Sin cambios importantes	Pelado de la tinta superficial
Respuesta a cambios de temperatura	Sin cambios	Sin cambios

Fuente: Elaboración propia.

En función de esto, se concluyó que la colorización con tinta solvente es la más apropiada para impresiones 3D realizadas con tecnología FDM.

Tras seleccionar la tinta, se calculó la cantidad necesaria para colorizar un metro de filamento termoplástico. Para esto, se consideró lo siguiente:

1. Diámetro de filamento: 1.75mm
2. Longitud: 1 metro

Para definir la ecuación para el cálculo del volumen de tinta que recubre al filamento, consideramos el esquema de la figura 33:



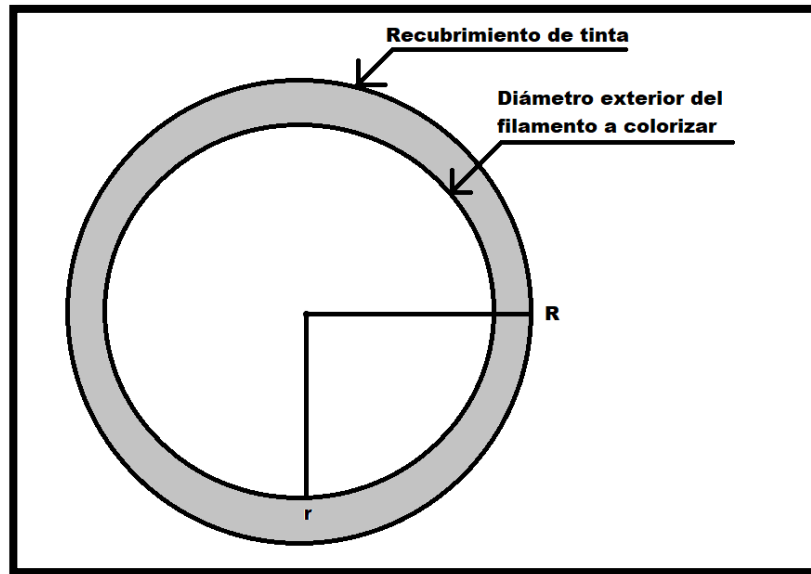


Figura 33. Esquema referencial de recubrimiento de tinta sobre filamento termoplástico

Fuente: Elaboración propia

Basado en este esquema, la ecuación para calcular el volumen a cubrir con tinta está dada por:

$$V = \int_0^L 2 * \pi * R * dl - \int_0^L 2 * \pi * r * dl \quad (2)$$

Donde:

V = Volumen a cubrir con tinta

R = Radio del recubrimiento de tinta

r = Radio del filamento

L = Longitud

De la fórmula (2), se obtiene:

$$V = \pi * R^2 * L - \pi * r^2 * L \quad (3)$$

$$V = \pi * L * (R^2 - r^2) \quad (4)$$

Para efectos del cálculo, asumimos un espesor de recubrimiento de tinta de 0.1 mm. Además, el diámetro del filamento es, por estándar, 1.75mm. También, la longitud del filamento que queremos cubrir para este cálculo es 1 metro = 1000 milímetros.

Por lo tanto:

$$V = \pi * 1000 \text{ mm} * (1.85^2 \text{ mm}^2 - 1.75^2 \text{ mm}^2) = 1130.97 \text{ mm}^3$$

Además, 1 mililitro equivale a  $1000 \text{ mm}^3$ , por lo que resulta:

$$V = 1.13097 \text{ ml}$$

Tras lo cual, se concluye que se requieren aproximadamente 1.13 ml de tinta para colorizar 1 metro de filamento de espesor 1.75mm (Estándar).

### 3.2 Diseño mecánico

El diseño mecánico del sistema colorizador se compone del módulo de colorización y la carcasa exterior del equipo de control. Para ambos casos, se utilizó el software de diseño Fusion 360 de Autodesk. En los siguientes subtítulos se describe el proceso de diseño de cada parte, teniendo en cuenta las dimensiones necesarias para la implementación, y la topología óptima para el sistema.

#### 3.2.1 Diseño mecánico del módulo colorizador

Considerando que el sistema manejará el formato RGB, debe contar con contenedores para tres tintas: Roja, Verde, y Azul. Estos contenedores, además, deben conectarse por mangueras a la entrada de filamento hacia el extrusor. Las dimensiones generales del diseño están basadas en un extrusor de la impresora 3D Flashforge creator pro, tal que tenga máxima compatibilidad con el sistema. También se tomó en cuenta el dimensionamiento de los contenedores, tal que cada uno pueda almacenar una cantidad de tinta suficiente para 500gramos de material, o medio rollo de filamento. Para este fin, se calcula el volumen de tinta necesario para la colorización de 500 gramos de filamento termoplástico PLA, que tiene una densidad de  $1.24 \text{ g/cm}^3$ . Se utiliza PLA para el cálculo puesto que es el material más utilizado. La fórmula para volumen está dada por:

$$V_{Tinta} = 1.13097 \frac{\text{ml}}{L} * L \quad (5)$$

Donde:

$V_{Tinta}$  = Volumen de tinta que se requiere

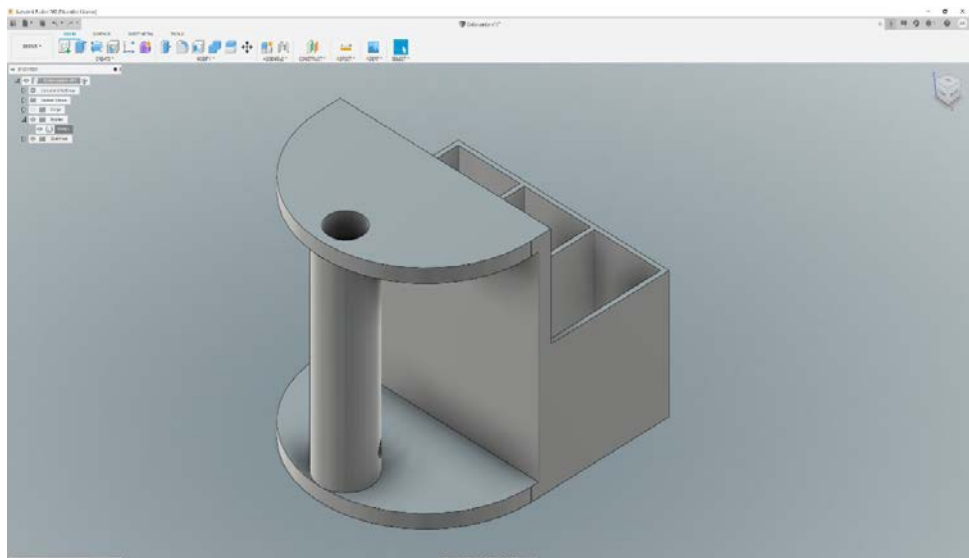
L = Longitud

De (5) se reemplaza L con la fórmula para calcular longitud basada en los 500 gramos requeridos, la densidad ( $1.24 \text{ g/cm}^3$ ), y el diámetro del material estándar ( $1.75\text{mm} = 0.175\text{cm}$ ).

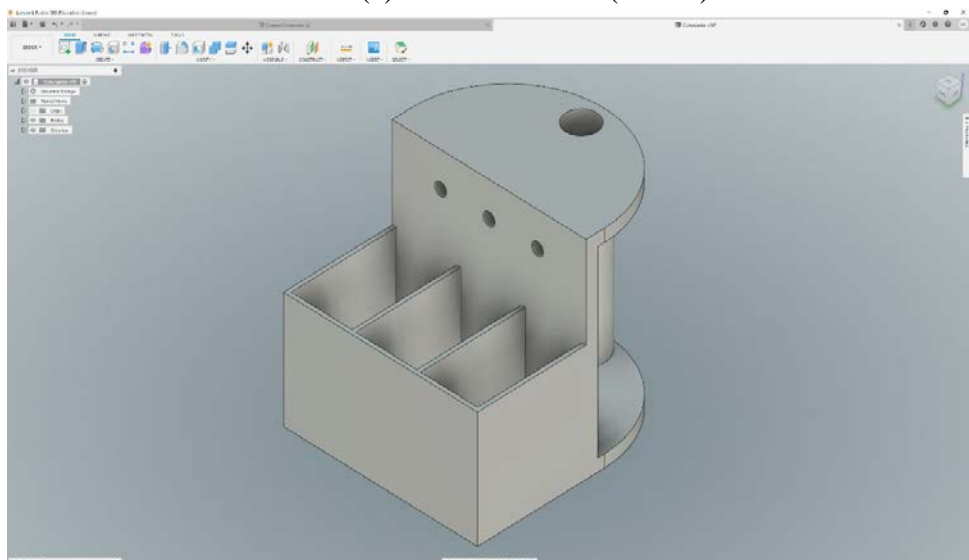
$$V_{Tinta} = 1.13097 \frac{ml}{L m} * \frac{\frac{500 g}{1.24 \frac{g}{cm^3}}}{\pi * \left(\frac{0.175 cm}{2}\right)^2} = 1.13097 \frac{ml}{L m} * \frac{1 m}{100 cm} * \frac{403.23 cm^3}{0.024 cm^2}$$

$$V_{Tinta} = 190.01 ml$$

Se concluye que se requiere una capacidad de 190 ml para lograr el objetivo propuesto. Se procedió entonces al diseño preliminar del módulo colorizador en el software Fusion 360, el cual se observa en la figura 34 (a) y (b).



(a) Vista Isométrico(Frente)



(b) Vista Isométrica (espalda)

Figura 34. Sistema colorizador Vista isométrica(a,b) posterior del módulo colorizador.

Fuente: Elaboración propia mediante Software Fusion 360

Las medidas del módulo corlizador diseñado en Fusion 360 se aprecian en las figuras 35,

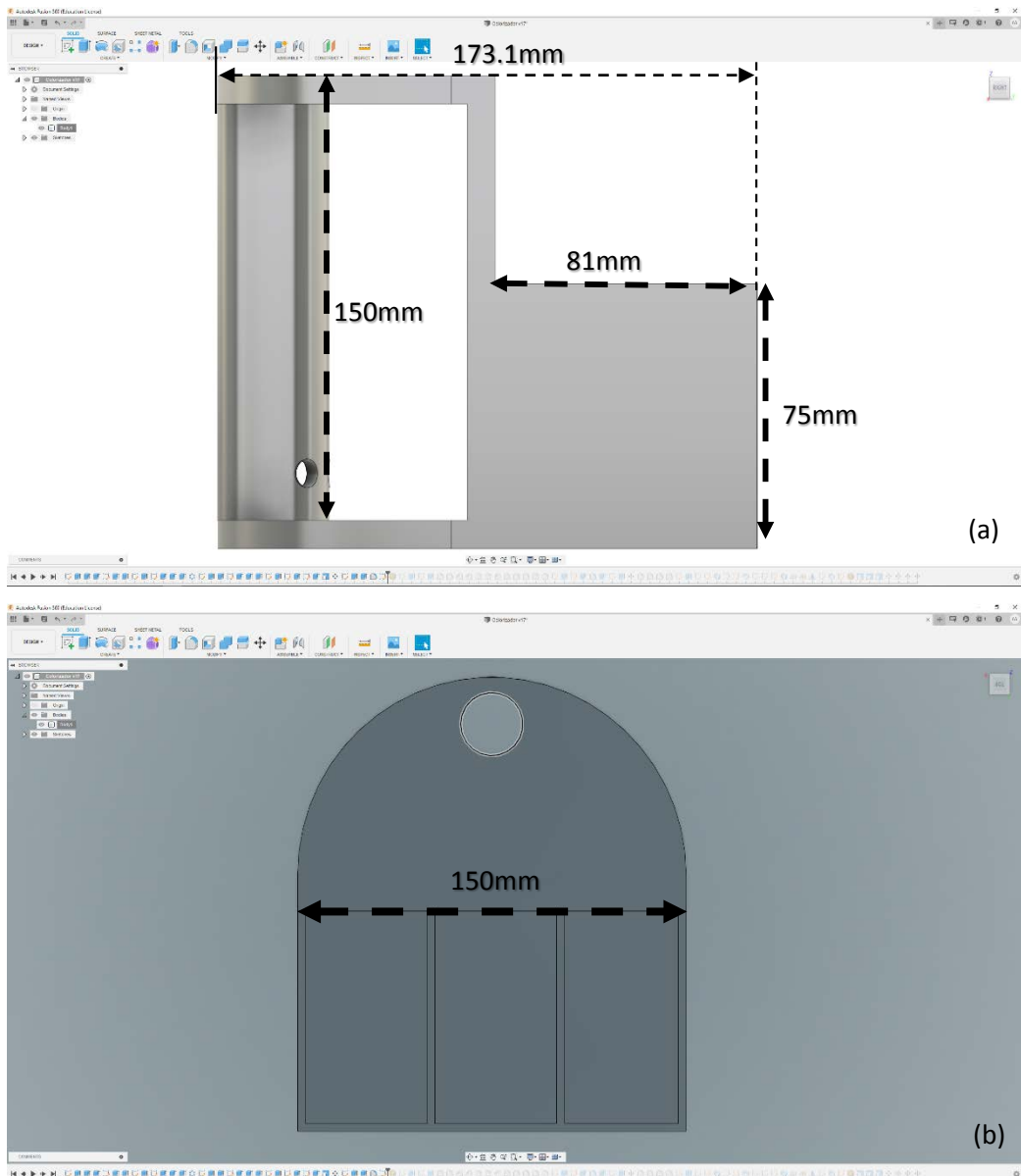


Figura 35. El módulo colorizador. (a) Vista lateral con medidas y (b) Vista superior del módulo colorizador con medidas.

Fuente: Elaboración propia. Mediante Software Fusion 360

Los agujeros que se aprecian en la figura 34 son destinados a sujetar las mangueras a través de las cuales se bombeará la tinta hacia la alimentación de filamento. Según el destino de cada parte del módulo, se procedió a la optimización de topologías a través del estudio de esfuerzos automático del software de diseño. El resultado se observa en la figura 36.

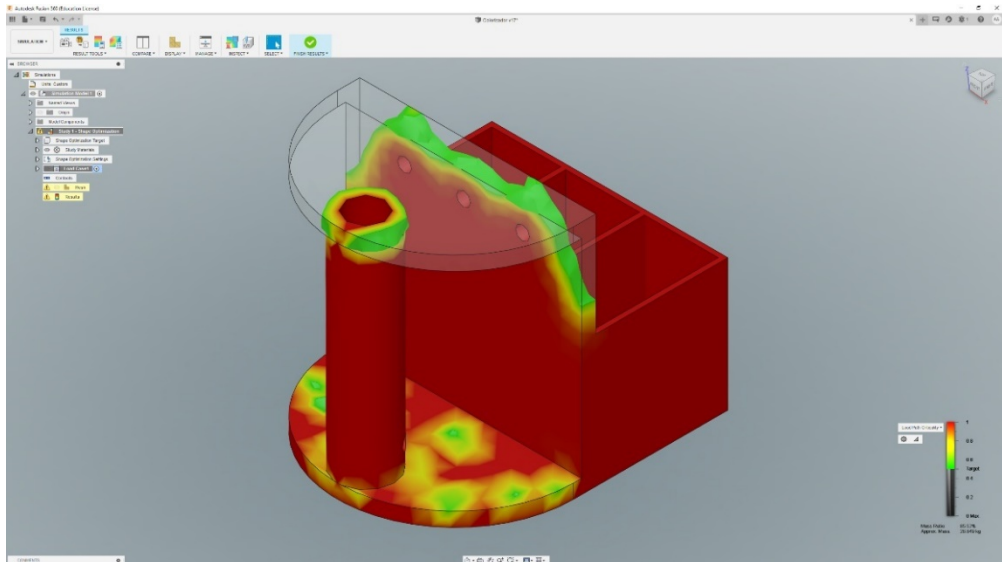


Figura 36. Resultado de estudio automático de optimización de topologías

Fuente: Elaboración propia. Mediante Software Fusion 360

Se observa que la superficie de color rojo es el área que soportará mayores esfuerzos mecánicos debido a la contención de las tintas y el peso de las bombas peristálticas, las cuales están destinadas a impulsar la tinta hacia el filamento. Además, se tomó en cuenta los esfuerzos resultantes de la incorporación del módulo colorizador sobre un extrusor convencional. Teniendo en cuenta el estudio de esfuerzos, se actualizó el modelo a la topología optimizada, obteniendo finalmente el diseño de la figura 37 a continuación:

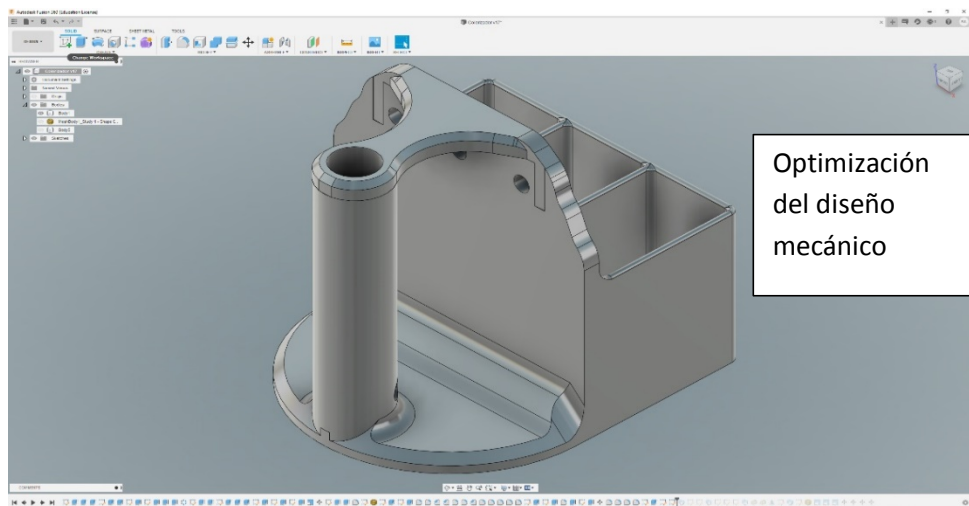
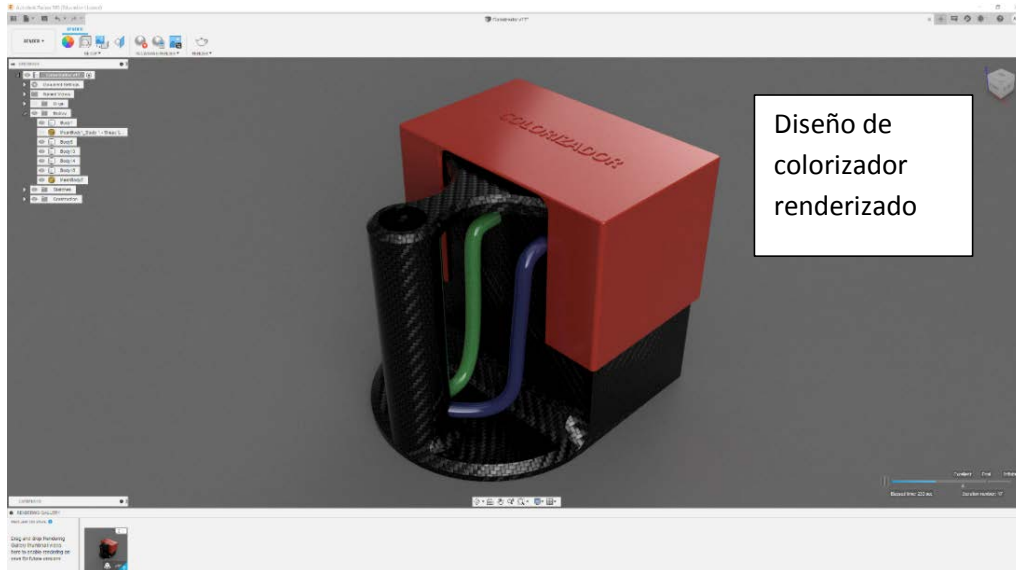


Figura 37. Diseño final del módulo colorizador

Fuente: Elaboración propia. Mediante Software Fusion 360

También se le diseñó una tapa para cubrir los reservorios de tinta y las bombas peristálticas. En función de esto último, el diseño completo, cubierto y con mangueras resulta el que se muestra en la figura 38.

Figura 38. Diseño final del módulo colorizador



Fuente: Elaboración propia. Mediante Software Fusion 360

Los contenedores de tinta tienen una capacidad de 250ml cada uno, permitiendo que una carga completa de un solo contenedor sea utilizada para aproximadamente 221 metros de filamento, lo cual, considerando una densidad promedio de 1.24 g/cm<sup>3</sup> para el material PLA, alcanza para 660 gramos de material.

Además, el módulo colorizador contará con 3 bombas peristálticas. Se propone fabricarlas en base a un modelo impreso en 3D para el rotor, y utilizar un motor Stepper Nema 17 para la función motriz.

El modelo a utilizar es el “Parametric Peristaltic Pump”, modelo parametrizado y configurable al tamaño que se requiera, que fue diseñado por el usuario Drmn4ea de la plataforma Thingiverse. En la figura 39 se muestra este modelo y sus propiedades.

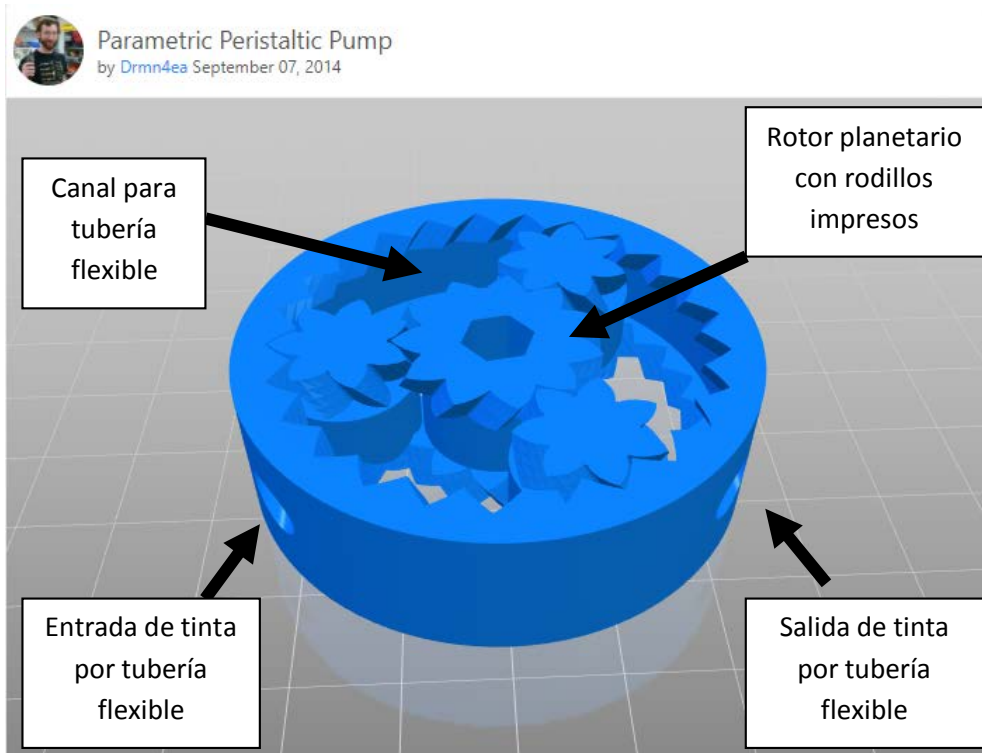


Figura 39. Modelo de rotor para bomba peristáltica.

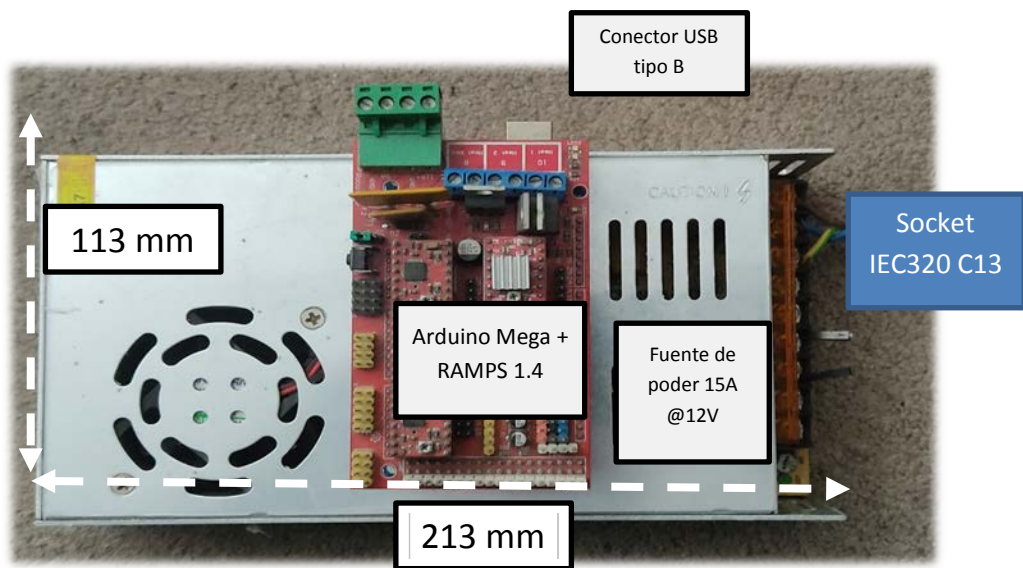
Fuente: Drmn4ea. (2014, 7 septiembre). Parametric Peristaltic Pump [Ilustración].

### 3.2.2 Diseño mecánico de la carcasa exterior del equipo de control

Para efectos de este diseño, se consideró las dimensiones máximas que pueden tener los componentes electrónicos, dependiendo de la tarjeta que se escoja, la fuente de poder requerida, y la ventilación necesaria del sistema. Con este fin, se procedió a hacer la distribución física de componentes modelo, en este caso aplicando una tarjeta Arduino Mega con su shield RAMPS 1.4, y una fuente de poder conmutada de 12 voltios y 15 ampere.

Esta distribución permitió tener una idea del espacio que ocuparán los componentes, la posición de entradas y salidas, y las necesidades de enrutamiento de cableado. Se observa la distribución total de los equipos necesarios para el proyecto, ver figura 40.

Figura 40. Distribución de componentes tentativos



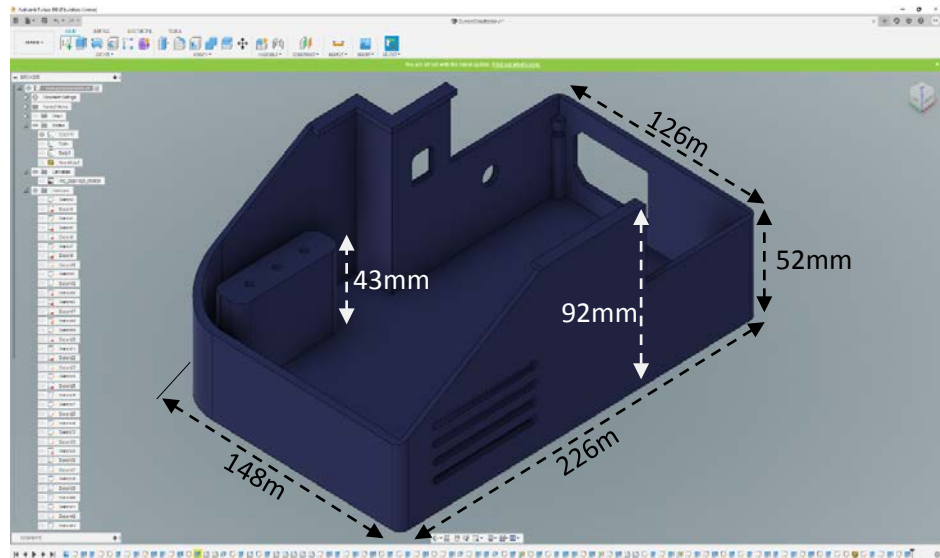
Fuente: Elaboración propia.

En base a la distribución, se considera que el diseño debe tener aberturas para las siguientes entradas y salidas:

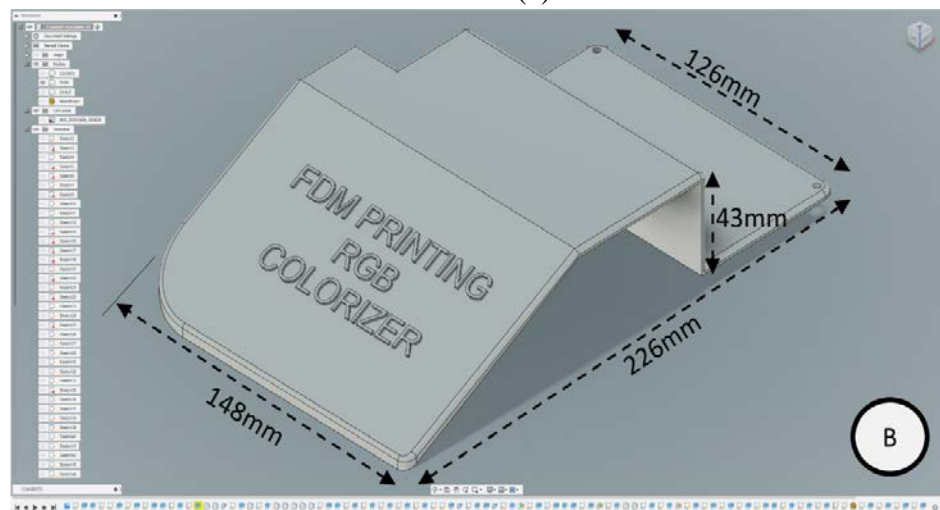
1. Entrada de cable USB tipo B para conectar la PC al Arduino Mega.
2. Entrada para socket IEC320 C13 para la fuente de alimentación, el cual además contará con switch ON/OFF.
3. Salida de cables de alimentación y control de los motores seleccionados. Estos cables irán hacia el módulo colorizador.

Teniendo en cuenta las dimensiones mínimas, un espesor de 3mm, y las aberturas necesarias, se procedió a diseñar la base de la carcasa para el equipo. Se añadió además aberturas para mantener ventilación del mismo, considerando la posición del ventilador propio de la fuente de poder. En la figura 41 (a) y (b) se muestra el diseño de esta base y sus dimensiones.





(a)

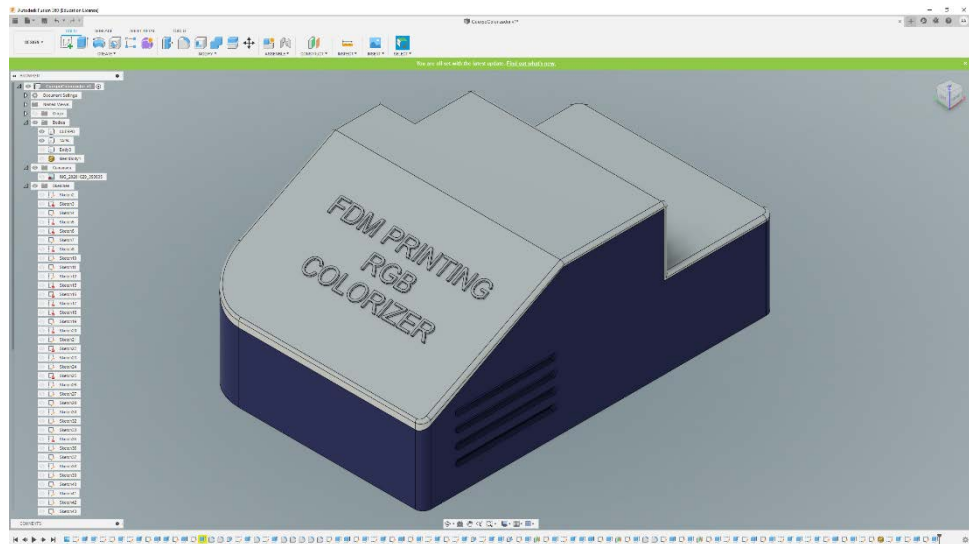


(b)

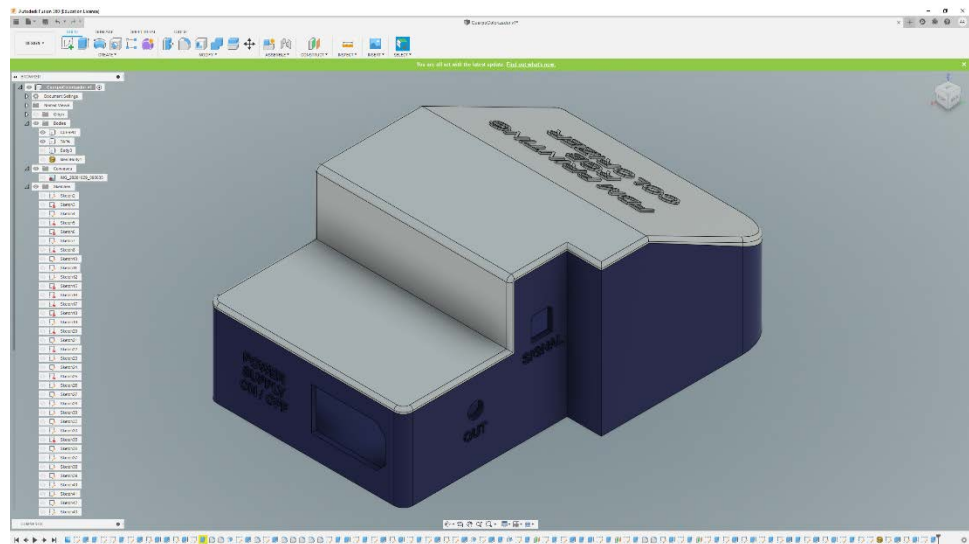
Figura 41. (a) Módulo de base de la carcasa para equipo colorizador y sus dimensiones y (b) Diseño de tapa de la carcasa para equipo colorizador y sus dimensiones.

Fuente: Elaboración propia en software Fusion 360.

El diseño incluye bordes redondeados y chaflanes, además de agujeros y espacios para empernar ambas piezas juntas, con esto, el diseño final armado resulta en lo que se observa en la figura 42 (a) y (b).



(a)



(b)

Figura 42. (a) Vista isométrica frontal de la carcasa del equipo de control y (b) Vista isométrica posterior de la carcasa del equipo de control.

Fuente: Elaboración propia mediante Software Fusion 360

### 3.3 Diseño eléctrico y electrónico

Como se explicó en el marco teórico se sabe que la opción más acertada para este trabajo de precisión es un motor paso a paso, gracias a la simplicidad del control, su costo reducido y su seguridad ante sus fallos mecánicos indicando en la figura 43 basada en la tabla 7 del marco teórico.

Características	Servo Motor	Motor Paso a Paso
Costo	Alto	Alto, porque no requiere de un codificador que pueda fallar
Fiabilidad	Medio, porque tiene un codificador que puede fallar.	Alto, porque no requiere de un codificador que pueda fallar
Dimensiones	Los servomotores están disponibles en una amplia variedad de tamaños.	Los motores paso a paso no tienen tantas selecciones de tamaño como los servomotores en los tamaños grandes
Dificultad para controlar	Poco Complejo	Simple de controlar
Vida de motor	Las escobillas de los servomotores deben cambiarse cada 20000 horas, aproximadamente, de funcionamiento. también los codificadores pueden necesitar ser reemplazados	Los cojinetes de los motores paso a paso son las únicas piezas de desgaste. que le da a los motores paso a paso una ligera ventaja en la vida
Seguridad	Los servomotores pueden funcionar mal si se sobrecargan mecánicamente	Es poco probable que los motores paso a paso se dañen por sobrecarga mecánica

Figura 43 Características resaltantes de motor paso a paso para su elección

Fuente: Elaboración propia

Se consideró un circuito para el control de bombas peristálticas explicamos las alternativas de los controladores en el marco teórico y en la tabla 11 observamos las características fundamentales para la elección del controlador.

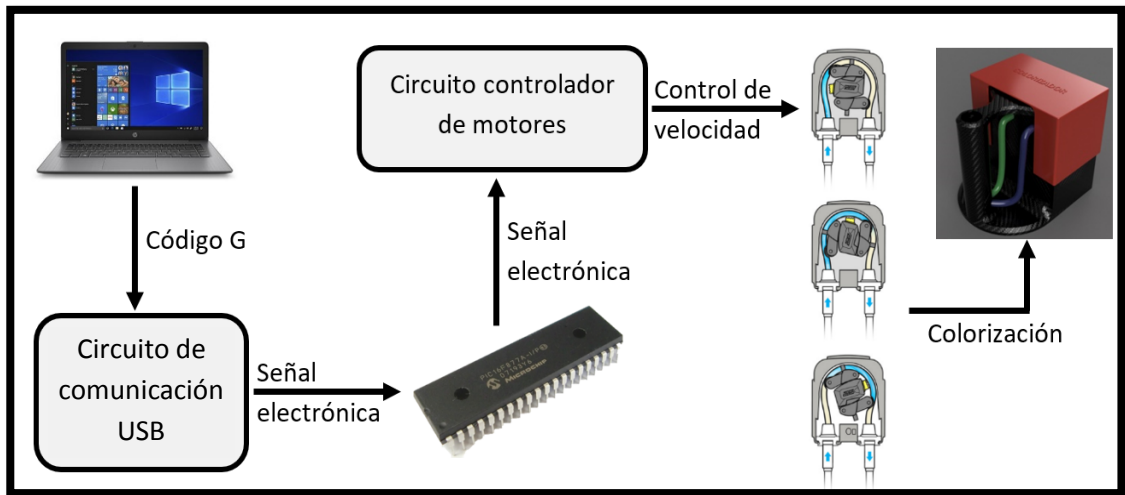
Tabla 11. Características de Controladores

Controlador	Entradas y Salidas	Fuente de Energía
PLC 1200 Siemens	16/12	24VDC
PIC 16f877a	6	5V
Arduino UNO	17	5V/12V

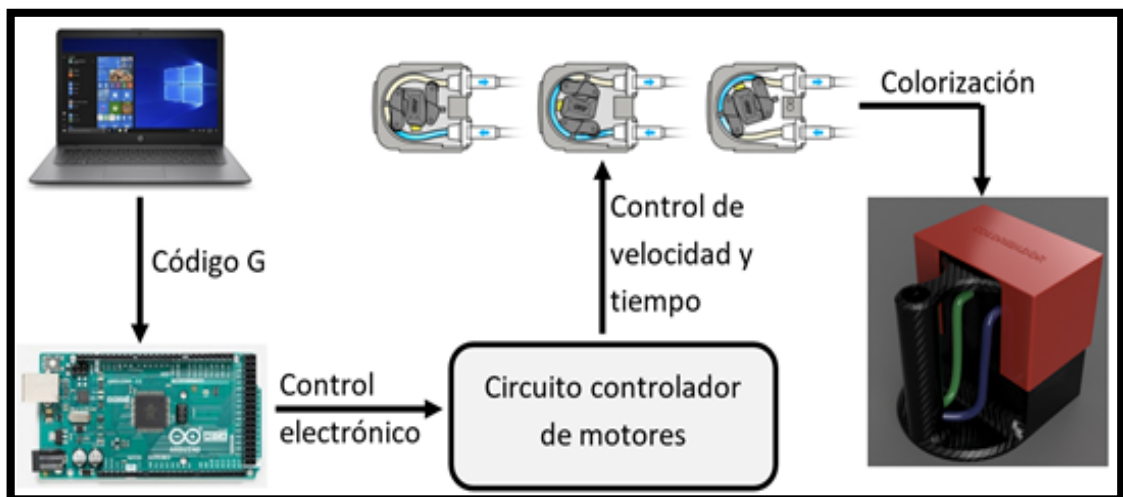
Fuente: Elaboración propia

El PLC como controlador brinda ventajas en su aplicación en industria, pero para el caso de la tesis actual consideramos que, por su peso, tamaño, costo, y capacidad, estaría sobredimensionado y generaría más complicaciones que beneficios.

Para el caso del PIC 16f877a y el Arduino Mega, estas dos opciones son las más prometedoras. Para poder tomar una decisión, se tomó como base la funcionalidad del sistema colorizador, y se plantearon los diagramas de las figuras 44. (a) y (b).



(a)



(b)

Figura 44. (a) Diagrama de flujo de señales utilizando PIC16F877a y (b) Diagrama de flujo de señales utilizando Arduino Mega

Fuente: Elaboración propia. Mediante Software Fusion 360

Para trabajar con el PIC16F877a se debe elaborar circuitos de comunicación USB, los mismos con los que la tarjeta Arduino Mega ya cuenta. Es por estos motivos de simplicidad que se seleccionó el sistema embebido Arduino Mega. Habiendo seleccionado el sistema de desarrollo con el que trabaja el sistema colorizador, se detalla a continuación el procedimiento de decisión seguido para completar el diseño electrónico.

### 3.3.1 Selección de computadora

Este equipo tiene el trabajo de asistir al usuario en el modelamiento 3D en un software de CAD, y su posterior conversión a código G a través de un software de CAM. Dicho código debe ser transmitido a través de puerto USB al controlador principal del sistema.

Los requisitos mínimos de la computadora a utilizar son los siguientes

1. Tarjeta gráfica: Dedicada Nvidia GTX760 o superior.
2. Memoria de tarjeta gráfica: 2GB o más.
3. Sistema operativo: Windows 7 o superior.
4. Procesador: Intel Core i3 / AMD Ryzen 3 o superior.
5. Memoria RAM: 8GB o más.
6. Disco duro: Idealmente disco de estado sólido.

Las características básicas propuestas permitirán al computador procesar rápidamente la información, y realizar las tareas de impresión 3D y colorización en simultáneo.

### 3.3.2 Selección de controlador de motores

Tras la definición de los equipos electrónicos, se define el sistema a través del diagrama de flujo de señales de la figura 45.

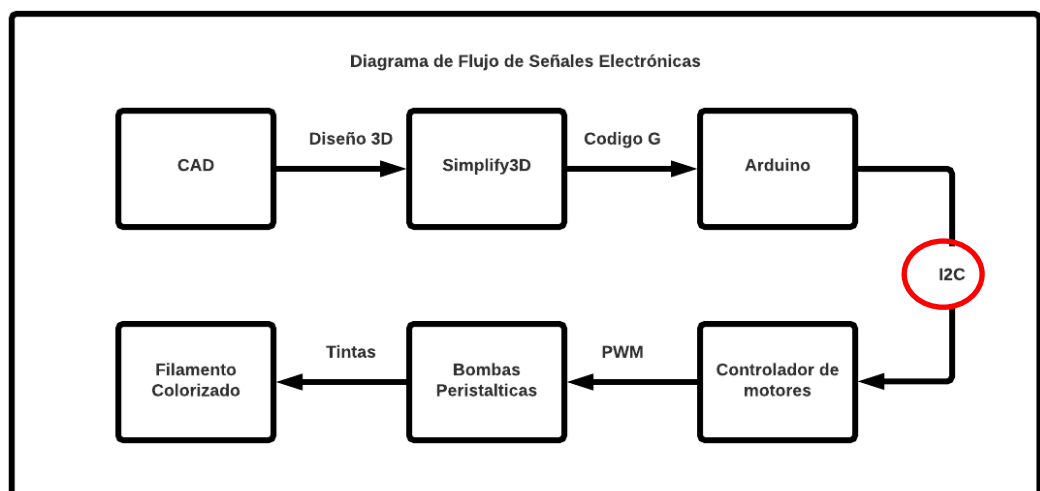


Figura 45. Diagrama de señales del sistema colorizador, indicando protocolo de comunicación

Fuente: Elaboración propia

Se observa entonces que el controlador de motores debe ser capaz de recibir información por comunicación I2C, y controlar las bombas peristálticas a través de PWM, tal que se tenga una modulación de velocidad de las bombas, y por lo tanto de flujo de tinta.

Para este fin seleccionamos el controlador A4988 de pololu, que permite la modulación de velocidad de un motor paso a paso a través de PWM. Con esto, podemos controlar la dosificación de tinta hacia el filamento termoplástico durante el proceso de impresión.

Convenientemente, existe comercialmente una extensión para Arduino que utiliza este circuito integrado para control de motores, y se conecta a manera de shield a la tarjeta del microcontrolador. Es importante resaltar que este shield cuenta con la capacidad de controlar 4 motores en simultáneo. Por lo tanto, se muestra el diagrama de conexiones del controlador con los motores en la figura 46:

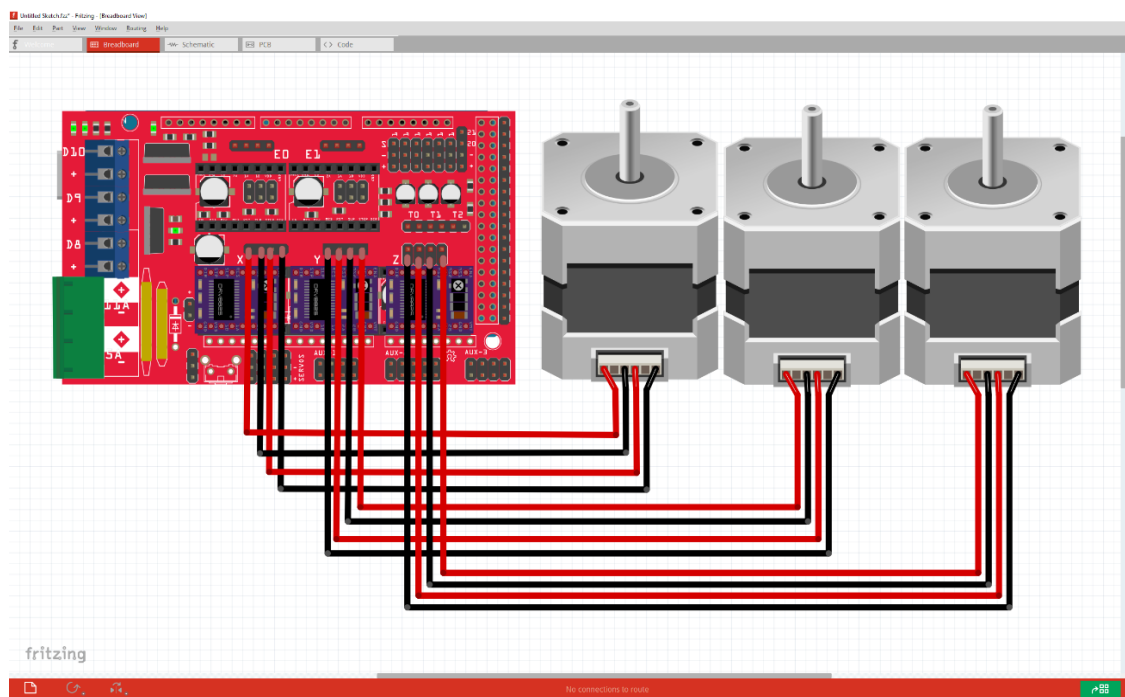


Figura 46. Diagrama pictórico de conexiones

Fuente: Saddam. (2018). DIY Arduino Motor Driver Shield. Circuit Digest.

Habiendo seleccionado los componentes electrónicos, fue posible seleccionar una fuente de poder para el sistema. Para lograr esto, se tienen los siguientes requisitos iniciales para el cálculo:

1. Los motores Stepper para las bombas peristálticas trabajan con 2A@12V cada uno a plena carga.
2. El controlador RAMPS trabaja con 1A@12V.
3. El Arduino Mega recibe su alimentación directa del RAMPS, por lo que no necesita ser energizado por separado.
4. Se desea contar con un factor de seguridad de 1.4, para que la fuente sea capaz de suministrar energía durante los picos de consumo generado por arranque de los motores.

Todo el sistema trabaja a 12V, por lo que se puede calcular el amperaje mínimo indispensable para el sistema a través de la fórmula (6).

$$I = [(I_{\text{MOTOR}} * 3 + I_{\text{RAMPS}}) * 1.4] \quad (6)$$

Donde:

$I_{\text{TOTAL}}$  = Corriente mínima necesaria para el sistema en Amperios.

$I_{\text{MOTOR}}$  = Corriente utilizada por los motores a plena carga en Amperios.

$I_{\text{RAMPS}}$  = Corriente utilizada por el controlador RAMPS en Amperios.

De (4):

$$I = (2 * 3 + 1) * 1.4$$

$$I = 9.8 \text{ A}$$

Por lo que se concluye que se requiere una fuente de poder capaz de suministrar un mínimo de 9.8 Amperios, a 12 Voltios, para energizar el sistema colorizador. Con este fin, se diseña el sistema para utilizar una fuente de poder conmutada capaz de suministrar 10 Amperios a 12 Voltios. Para efectos del cálculo de presupuesto, se seleccionó la fuente SNANSHI POWER SUPPLY modelo S-250-24.

### 3.4 Programación y software para el sistema colorizador

Primero se enfocó la toma de decisiones en la selección de un firmware adecuado para el control de sistema a través del Arduino Mega con la aplicación de la tarjeta RAMPS. Para esto, se consideró los diferentes firmwares disponibles, pero se

concluyó que el más adecuado sería Marlin, debido a su compatibilidad, configuración de código abierto, y simplicidad de modificación de parámetros.

#### 3.4.1 Configuración de firmware en Arduino MEGA:

La función central del Arduino es recibir el código G enviado por la computadora e interpretarlo, de Marlin. Dicha interpretación resultará en el control de entradas y salidas de la tarjeta, y dará las instrucciones al controlador de motores RAMPS para encender o apagar las bombas peristálticas.

Se realizó además la configuración del firmware en la pestaña de “config.h”, al abrir el código de Marlin en el ARDUINO IDE para darle los siguientes parámetros:

1. Cantidad de extrusores: 0
2. Temperaturas mínimas: 20°C (Ambiente)
3. Cama caliente: NO
4. Sensores: NO
5. Límites de movimiento: NO

Con estas modificaciones, el firmware interpretará el código G únicamente para movimiento en ejes cartesianos, y no tomará en cuenta acciones de extrusión o calentamiento. Como se configura el firmware para no contar con sensores, se trabaja en lazo abierto, siendo esto así, podemos basarnos directamente en el código G que se va a procesar para la ejecución de tareas de colorización.

#### 3.4.2 Software para conversión de modelo digital en comandos de colorización:

Se tomó los comandos generados por el software CANVAS de Mosaic Manufacturing, el cual utiliza el código llamado MSF, en su versión 1.4. Este código se produce a partir de un modelo pintado digitalmente en formato RGB, y lo aplica con números hexadecimales para que la máquina que comanda interprete los colores correctamente. En función a esto, es posible generar un código MSF y traducirlo a un lenguaje que el hombre pueda entender. En la siguiente tabla 12 se muestra un código MSF y su decodificación en lenguaje humano.



Tabla 12 Ejemplo de código MSF e interpretación

<b>CÓDIGO MSF</b>	<b>INTERPRETACIÓN</b>
MSF1.4	MSF1.4
cu:1 PLA;1 PLA;1 PLA;0;	Materiales Usados: PLA, PLA,
ppm:421ed6c4	PLA, Unused
lo:07d0	Pulsos Por MM:
ns:000c	39.709733786110064
np:0000	Desfase de Carga: 2000
nh:0000	Cuenta de Cambios: 12
na:0001	Cuenta de Confirmaciones: 0
(00,430c0000)	Cuenta de Cambios en Caliente: 0
(02,435c0000)	Número de Algoritmos: 1
(00,43960000)	(0, 140) Color 1 por 140mm
(02,43be0000)	(2, 220) Color 3 por 80mm
(01,43e60000)	(0, 300) Color 1 por 80mm
(02,44070000)	(2, 380) Color 3 por 80mm
(00,441b0000)	(1, 460) Color 2 por 80mm
(02,442f0000)	(2, 540) Color 3 por 80mm
(01,44430000)	(0, 620) Color 1 por 80mm
(02,44570000)	(2, 700) Color 3 por 80mm
(01,446b0000)	(1, 780) Color 2 por 80mm
(00,447f0000)	(2, 860) Color 3 por 80mm
	(1, 940) Color 2 por 80mm
(11,40000000,40000000,0)	(0, 1020) Color 1 por 80mm
	Comando de finalización
	Características totales:
	Color 1: 0.38 m
	Color 2: 0.24 m
	Color 3: 0.40 m
	Total: 1.02 m

Fuente: Elaboración propia

Tras esta interpretación, se puede convertir el código MSF en código G para el control de 3 motores con movimientos incrementales. Para realizar esta conversión, se considera las siguientes características:

1. Color 1 será rojo, y será expulsado por la bomba peristáltica N°1 representada en código G por el eje “X”.
2. Color 2 será verde, y será expulsado por la bomba peristáltica N°2 representada en código G por el eje “Y”.
3. Color 3 será azul, y será expulsado por la bomba peristáltica N°3 representada en código G por el eje “Z”.
4. La cantidad de pasos por milímetro de los motores Stepper será configurada en función al código MSF, según el parámetro de “Pulsos por milímetro”.

Con estas consideraciones, se armó una tabla de conversión entre código MSF y código G, generada en función a la investigación del software realizada. Para efectos del ensayo de conversión de código MSF a código G, se utiliza un código MSF aleatorio y corto. Se puede observar en la tabla 13.

Tabla 13. Tabla de conversión de código MSF a Código G para ejemplo (A).

<b>Comando</b>	<b>Interpretación</b>	<b>Color</b>	<b>Distancia Incremental (mm)</b>	<b>Distancia absoluta (mm)</b>	<b>G Code</b>
(00,430c000)	(0, 140)	1	140	140	G1 X140 Y0 Z0
(02,435c000)	(2, 220)	3	220	80	G1 X140 Y0 Z80
(00,4396000)	(0, 300)	1	300	80	G1 X220 Y0 Z80
(02,43be000)	(2, 380)	3	380	80	G1 X220 Y0 Z160
(01,43e6000)	(1, 460)	2	460	80	G1 X220 Y80 Z160
(02,4407000)	(2, 540)	3	540	80	G1 X220 Y80 Z240
(00,441b000)	(0, 620)	1	620	80	G1 X300 Y80 Z240
(02,442f000)	(2, 700)	3	700	80	G1 X300 Y80 Z320
(01,4443000)	(1, 780)	2	780	80	G1 X300 Y160 Z320
(02,4457000)	(2, 860)	3	860	80	G1 X300 Y160 Z400
(01,446b000)	(1, 940)	2	940	80	G1 X300 Y240 Z400
(00,447f000)	(0, 1020)	1	1020	80	G1 X380 Y240 Z400

Fuente: Elaboración propia

Este código G generado en función del MSF es ahora exportable a través de Universal Gcode Sender al sistema colorizador, tal que se ejecuten las acciones de bombeo de tinta hacia el extrusor de la impresora 3D durante proceso. El

bombeo de la tinta está representado por movimientos lineales de los ejes X, Y, y Z, como se observa en la figura N°47 a continuación.

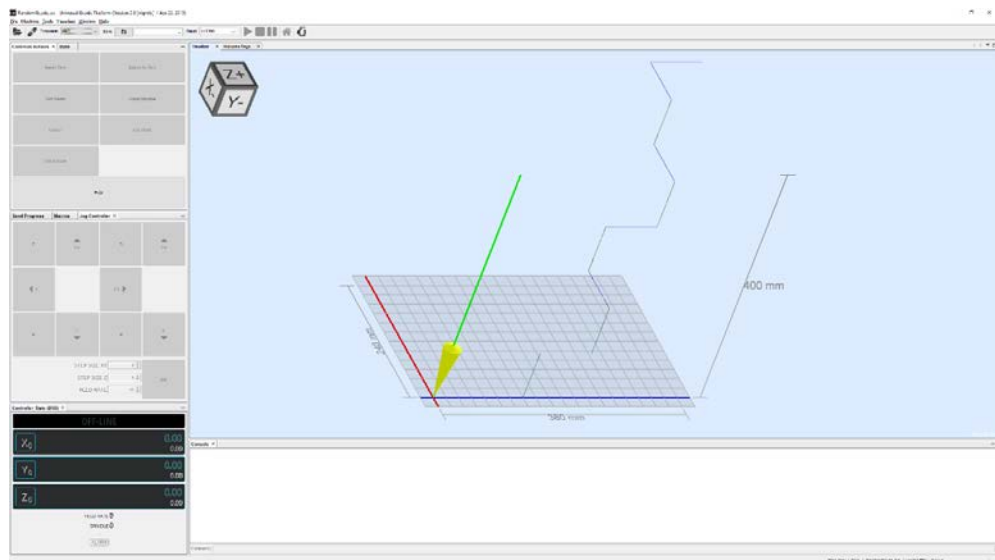


Figura 47. Representación gráfica de instrucciones en código G para bombeo de tintas

Fuente: Elaboración propia mediante software UGS.

Como se observa en la figura 47, el código G generado por traducción de MSF es válido, y permite el control preciso de las tres bombas peristálticas de manera independiente.

### 3.5 Costos del diseño mecatrónico:

El presente diseño, al ser implementado, tendrá el siguiente costo de implementación, detallado en la tabla 14.

Tabla 14. Tabla de costo de materiales para implementación de Sistema Colorizador.

Módulo	Item	Marca y Modelo	Cantidad	Unidad de medida	Precio Unitario (S/.)	Precio Total (S/.)
Mecánica	Motor Stepper Nema 17	GETECH - 42BYGHW818	3	Unidad	120	360
	Misceláneos (Tornillos, tuercas, cintillos)	-	1	Paquete	100	100
Eléctricidad y Electrónica	Microcontrolador Arduino MEGA	Arduino	1	Unidad	185	185
	Controlador de motores RAMPS 1.4	Nylamp - SHD_RAMPS	3	Unidad	30	90
	Filamento PLA para impresión 3D (1Kg)	ESUN	3	Kilogramo	120	360
	Cable flexible 14 AWG	-	30	Metro	5	150
	Fuente de poder de 12V y 10A	SNANSHI - S-250-24	1	Unidad	130	130
Software	Simplify3D para impresión 3D	Simplify3D	1	LICENCIA	300	300
	CANVAS para colorización digital	Mosaic Manufacturing	1	LICENCIA	0	0
	CHROMA para exportación de modelo colorizado a código MSF	Mosaic Manufacturing	1	LICENCIA	0	0
	UNIVERSAL GCODE SENDER para envío de código G a sistema colorizador	Código Libre	1	LICENCIA	0	0
Insumos	Alcohol Isopropílico (1L)	-	3	Litro	30	90
	Tinta azul a base de alcohol (1L)	Banger	1	Litro	171	171
	Tinta roja a base de alcohol (1L)	Banger	1	Litro	171	171
	Tinta verde a base de alcohol (1L)	Banger	1	Litro	171	171
Servicios	Trabajo de impresión 3D de carcasa exterior del equipo colorizador	-	1	Unidad	350	350
	Trabajo de impresión 3D de módulo colorizador	-	3	Unidad	70	210
	Trabajo de impresión 3D de rotor de bomba peristáltica	-	3	Unidad	30	90
	Trabajo de grabado láser para imprimir circuito en placa de baquelita	-	4	Unidad	25	100
	Trabajo de grabado láser en carcasa y cabezales de colorización	-	8	Unidad	20	160
<b>Total</b>						<b>3188</b>

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El propósito fundamental de este capítulo es comparar los resultados obtenidos en el presente diseño con metodologías y técnicas ya utilizadas para colorizar piezas impresas en 3D con tecnología FDM. Uno de los principales dispositivos que permite colorizar las impresiones 3D es el Palette.

### 4.1 Comparación de colorización de impresiones 3D del sistema propuesto con colorización a través de equipo Palette:

Para comparar los procedimientos y resultados de la colorización bajo el sistema colorizador diseñado en la presente tesis contra un equipo existente como es el Palette de Mosaic Manufacturing, se ejecuta el proceso de generación de código G con ambos métodos. El modelo a utilizar es el llamado “3D Benchy”, que se muestra colorizado en la figura 48.

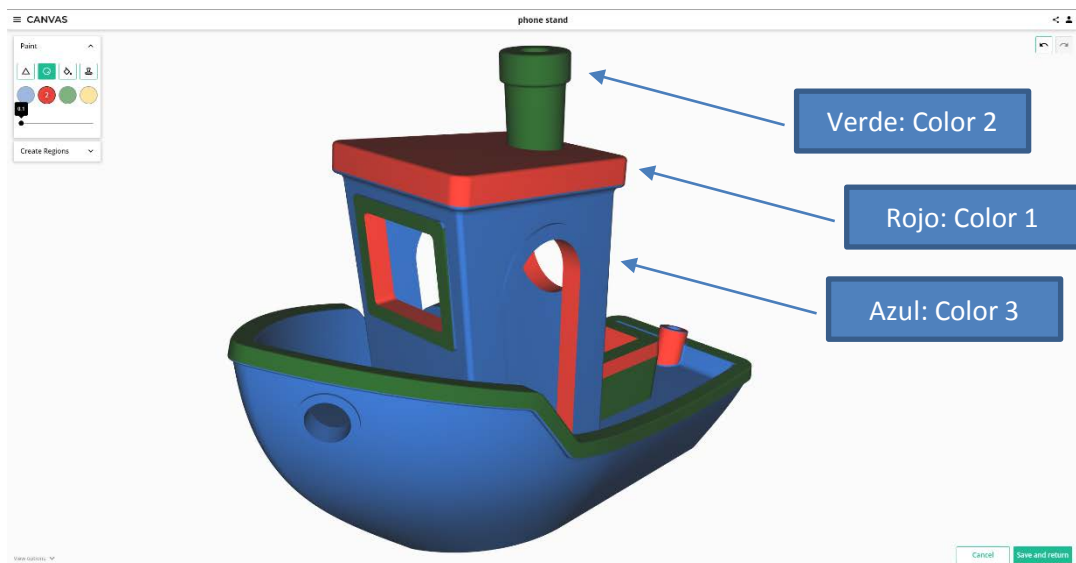


Figura 48. Modelo 3D Benchy colorizado digitalmente en software CANVAS.

Fuente: Elaboración propia mediante software CANVAS.

Este modelo fue creado por la comunidad de la página web de impresión 3D “Thingiverse” como prueba estándar de impresiones 3D.

Los requerimientos para ejecutar la colorización de este modelo con ambos métodos propuestos se muestra en la tabla 15.

Tabla 15. Comparación necesidades para de colorización mediante Sistema Colorizador propuesto y dispositivo existente Palette

Equipo	Sistema Colorizador	Palette
Cantidad de material requerido	1 rollo de filamento blanco	3 rollos de filamento termoplástico: 1 de cada color.
Compatibilidad con materiales	Todos	Materiales rígidos / No elásticos o flexibles
Software a utilizar	Canvas, Chroma, Traductor a Gcode, UGS.	Canvas, Chroma.
Capacidad de mezclar matices	El hardware tiene la capacidad de hacerlo, pero falta implementación en software.	Hardware no lo permite

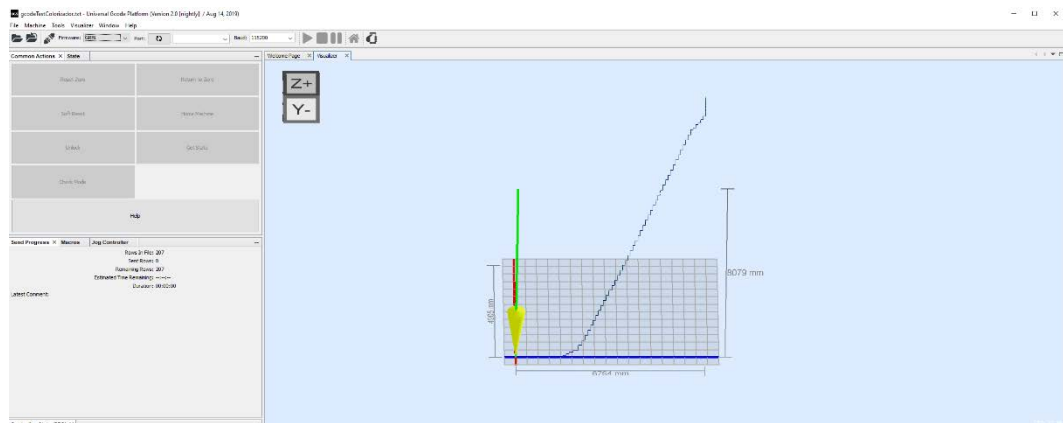
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar, el sistema colorizador permite mayor flexibilidad en el uso de filamento termoplástico, debido a que solo requiere filamento blanco, mientras que el Palette requiere colores específicos. Además, como el Palette realiza cambios en un proceso que requiere aplicar calor a los filamentos, esto no es compatible con filamentos elásticos o flexibles; sin embargo, el procedimiento con Palette es más sencillo e intuitivo. Cabe resaltar que el sistema colorizador permitiría la mezcla de matices para lograr una gama virtualmente infinita de colores una vez que se implemente el software adecuado para generar los comandos de activación de bombas en simultáneo.

Se dio color al modelo 3D a través del software CANVAS, que permite pintar digitalmente los triángulos que componen a la figura tridimensional digital. Después, permite exportarlo a código MSF, resultando en el código del apéndice N°1: Código MSF para colorización de 3D Benchy. Después, el código MSF se traduce a código G con la tabla de conversión elaborada. El resultado se muestra en el apéndice N°2: Código G traducido para colorización de 3D Benchy.

Gracias a esta conversión a código G, se puede entonces enviar los comandos al Arduino Mega a través del software Universal GCode Sender. Al hacer esto, se observa que el código es funcional y provee la funcionalidad de dar movimiento a los tres ejes cartesianos que representan el bombeo de tinta, como se observa en la figura 49.

Figura 49. Representación gráfica de instrucciones en código G para bombeo de tintas



Fuente: Elaboración propia con software Universal Gcode Sender.

Al observar que el código G, generado, sí corresponde a movimientos consecutivos de ejes X, Y, y Z, Con lo que se concluye que el software funciona y es capaz de controlar los motores a través del código G generado por traducción de MSF. A través del mismo Universal Gcode Sender, se puede conectar el sistema colorizador por USB tipo B, y enviar estas instrucciones secuencialmente al Arduino Mega, para que se bombee tinta hacia el filamento termoplástico. Cabe destacar que al mismo tiempo se debe iniciar el proceso de impresión 3D convencional.

El resultado final es la obtención de la pieza impresa en 3D a color como se definió en el software Canvas.

#### 4.2 Comparación de recursos y costos:

Para evaluar la factibilidad del sistema colorizador diseñado, se comparó los recursos necesarios y costos asociados para la impresión 3D multicromática con el sistema colorizador y el dispositivo Palette. Para efectos de precios básicos, se considera la impresora 3D Flashforge Creator Pro, y el filamento termoplástico PLA de la marca Hatchbox, además, se tomó como referencia el modelo 3D “3DBenchy”, a velocidad de impresión de 75mm/s.



Los recursos utilizados para una impresión 3D monocromática con el equipo y material indicado, y los costos asociados, se muestran en la tabla 16:

Tabla 16 Recursos y costos para impresión 3D monocromática con impresora 3D Flashforge Creator Pro

<b>Concepto</b>	<b>Recurso</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo total S/.</b>
Material	Filamento PLA Hatchbox	S/. 120 / Kg	16.09 gr	1.93
Materiales adicionales	-	-	-	-
Tiempo	Minutos	-	26 min	-
Energía eléctrica	Energía para impresora 3D	S/. 0.455 / KwH	600 W	0.12
<b>Total</b>				<b>S/. 3.11</b>

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de material y el tiempo requerido fueron extraídos del cálculo realizado por el software de CAM Simplify3D. Como se observa, el costo asociado al proceso es relativamente bajo.

Con estos datos base, se procedió a la evaluación de impresión 3D con el sistema colorizador y con el Palette, ver tabla 17 y 18.

Tabla 17 Recursos y costos para impresión 3D Multicromática con sistema colorizador

<b>Concepto</b>	<b>Recurso</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo total S/.</b>
Material	Filamento PLA Hatchbox	S/. 120 / Kg	16.09 gr	1.93
Materiales adicionales	Tinta a base de alcohol 3 colores	S/.171 / L	19.69 ml	3.37

Tiempo	Minutos	-	26 min	-
Energía eléctrica	Energía para impresora 3D	S/. 0.455 / Kwh	600 W 120W	0.14
	Energía para sistema colorizador			
<b>Total</b>				<b>S/. 5.44</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18 Recursos y costos para impresión 3D Multicromática con equipo Palette

Concepto	Recurso	Costo unitario	Cantidad	Costo total S/.
Material	Filamento PLA Hatchbox 3 colores	S/. 120 / Kg	30.59 gr	3.67
Materiales adicionales				
Tiempo	Minutos	-	53 min	-
Energía eléctrica	Energía para impresora 3D	S/. 0.455 / Kwh	600 W 60W	0.57
	Energía para equipo Palette			
<b>Total</b>				<b>S/. 4.24</b>

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el costo de impresión multicromática con el sistema colorizador genera un aumento del 75% al costo de impresión monocromática base, pero no tiene efecto sobre la velocidad de impresión debido a que la colorización es un proceso simultáneo a la impresión. En contraste, el proceso con el equipo Palette supone un aumento del costo de 36%, un 90% de material desechado, y aumento del tiempo en 103%, debido al tiempo que demora el equipo en realizar los cambios dentro del Palette, y la necesidad de pilares laterales a la impresión, además, se utiliza más material, que termina como desecho. Cabe resaltar que, para piezas más grandes, el aumento en tiempo será más pronunciado, y puede llegar a ser insostenible; además de incrementar en mucha mayor medida el consumo energético del proceso. Asimismo, aumentaría el consumo de material, generando la necesidad de adquirir más rollos de filamento del color preciso necesario para evitar diferencias en el color final.

## CONCLUSIONES

De la presente investigación, podemos citar las siguientes conclusiones:

1. Ha sido posible diseñar un case y circuito electrónico que cumpla con las funciones adecuadas para el envío de tinta a las paredes del filamento, permitiendo un cambio de color y a su vez una impresión colorizada.
2. Ha sido posible obtener la cantidad de tinta adecuada para el colorizado de una pieza de impresa en 3D dependiendo de la cantidad de filamento a usar.
3. Ha sido posible generar la conversión del código MSF, otorgado de Canvas de una pieza 3D en formato RGB, a un código G para el envío al controlador y que este pueda realizar un trabajo adecuado para dar como resultado la impresión 3D colorizada.
4. Ha sido posible reducir el impacto ambiental. por generador de mermas. ya que la implementación del sistema colorizador da como resultado el uso de un solo filamento para la impresión a color y no varios filamentos, permitiendo una reducción de pérdida de material para el cliente y para el medio ambiente.
5. Gracias a la implementación de conversión de código MSF a código G, es posible dosificar tinta de más de un color al mismo tiempo, en cantidades diferentes, para generar una mezcla de colores usando formato RGB.

## **OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES**

1. Siendo que la conversión del código MSF a código G para el sistema colorizador usando el programa de Canvas es complejo, se recomienda realizar los arreglos indicados en la tesis para su implementación.
2. El impacto ambiental es de gran envergadura. Se recomienda presentar el proyecto las empresas impresión 3D con el fin de generar una conciencia de reducción de merma a la hora de realizar sus trabajos.
3. Se recomienda aplicar el sistema para colorización automatizada usando formato RGB para impresiones 3D con tecnología FDM en una impresora 3D piloto donde se verificarán los cálculos teóricos mostrados en la tesis. En ella se deberá registrar el paso a paso de la implementación y sus complicaciones durante la instalación y pruebas.
4. Está pendiente la implementación de un software capaz de tomar un modelo 3D digital a color y convertirlo en instrucciones de colorización en formato RGB con toda su gama de colores definida.
5. Se recomienda realizar limpiezas básicas de conservación a las bombas peristálticas por lo menos 1 vez al mes para evitar deterioro forzado.

## APENDICES

### Apéndice 1

Código G de inicialización de impresión 3D

M73 P0 ; enable build progress

G162 X Y F3000 ; home XY maximum

G161 Z F1200 ; home Z minimum

G92 Z-5 ; set Z to -5

G1 Z0 ; move Z to 0

G161 Z F100 ; home Z slowly

M132 X Y Z A B ; recall home offsets

M135 T1 ; load left extruder offsets

G1 X140 Y75 Z0.5 F800 ; move to wait position right hand side of the table

G130 X20 Y20 Z20 A20 B20 ; lower stepper Vrefs while heating

M126 S[fan\_speed\_pwm]

M140 S[bed0\_temperature] T0

M134 T0 ; stabilize bed temperature

M104 S[extruder1\_temperature] T1

M133 T1 ; stabilize left extruder temperature

G130 X127 Y127 Z40 A127 B127 ; default stepper Vrefs

G92 A0 B0 ; zero extruders

G1 Z0.4 ; position nozzle

M135 T1 ; left tool

G1 X135 Y75 Z0.2 F1200 ; move over bed

G1 X60 Y72 E20 F1200 ; purge nozzle

;G1 X50 Y72 Z0.2 F600 ; slow wipe

;G1 X50 Y72 Z0.5 F1200 ; lift

G92 A0 B0 ; zero extruders

M73 P1 ;@body (notify GPX body has started)

Apéndice 2

MSF1.4	(00,4614c6bc)	(00,465462ce)	(00,468a16ae)
cu:1Blue Filament;1Red	(02,46160db8)	(02,4655a69e)	(02,468abd98)
ment;1Dark Green	(01,4617652d)	(01,46570b19)	(00,468b6815)
ment;0;	(02,4618aa99)	(02,46584d8a)	(02,468c0df9)
ppm:41a00000	(00,461a0fb0)	(00,4659b58e)	(01,468caf95)
lo:000f	(02,461b5697)	(02,465af980)	(00,468d6310)
ns:00cf	(01,461caf44)	(01,465c5ddc)	(01,468e098d)
np:002f	(02,461df57f)	(02,465da06d)	(00,468ec15d)
nh:0000	(00,461f599d)	(00,465f084f)	(01,468f7def)
na:0001	(02,46209b38)	(02,46604ec5)	(02,46901e47)
(00,44d49133)	(01,4621f964)	(01,4661b07d)	(00,4690d14f)
(01,44e05a5b)	(02,46233fd1)	(02,4662f371)	(02,469174fc)
(00,44ed58f4)	(00,4624a39e)	(00,46645aec)	(01,46921f89)
(01,44f9221b)	(02,4625e9c3)	(02,46659b7c)	(00,4692c21a)
(00,45035de3)	(01,462743e2)	(01,466702f4)	(02,4693701a)
(01,45094278)	(02,4628899b)	(02,46684684)	(01,46941ee4)
(00,4512d81a)	(00,4629edcb)	(00,4669ad5c)	(02,4694db77)
(01,4518bcae)	(02,462b3325)	(02,466af3c2)	(01,46959051)
(00,45244cb2)	(01,462c8e94)	(01,466c5519)	(02,46964ce3)
(02,45295fac)	(02,462dd511)	(02,466d995c)	(01,4696f71d)
(01,452ec0d3)	(00,462f3862)	(00,466eff73)	(02,46979b98)
(02,4533df38)	(02,46308014)	(02,46704637)	(01,469845c7)
(00,453b3823)	(01,4631d9c0)	(01,4671a6c7)	(02,469a4741)
(02,45404fdc)	(02,46331e9a)	(02,4672ec0e)	(11,40000000,400
(01,4545ab14)	(00,46348359)	(00,4674510c)	00,0)
(02,454aba7d)	(02,4635c776)	(02,467597a2)	
(00,4551f6ba)	(01,46372679)	(01,4676f7ed)	
(02,45570f47)	(02,46386736)	(02,46783b20)	
(01,455c62ac)	(00,4639cf44)	(00,4679a1e4)	
(02,45616d42)	(02,463b14ad)	(02,467ae71e)	
(00,45680535)	(01,463c741f)	(01,467c47f8)	
(02,456d1483)	(02,463db9c6)	(02,467d8bd5)	



(01,45726c44)	(00,463f1dfc)	(00,467ef172)	
(02,45777d92)	(02,46406609)	(02,46801b74)	
(00,457d789b)	(01,4641c3f3)	(01,4680cb21)	
(02,45814293)	(02,4643099e)	(02,46816d2a)	
(01,4583f399)	(00,46446dc9)	(00,46822086)	
(02,45867d2a)	(02,4645b5ac)	(02,4682c0b6)	
(00,45895af6)	(01,4647148c)	(01,468372b0)	
(02,458bdf92)	(02,46485a8d)	(02,46841300)	
(01,458e9290)	(00,4649be55)	(00,4684c830)	
(02,45911eaf)	(02,464aff0c)	(02,468569f3)	
(00,4593e979)	(01,464c65f8)	(01,46861a48)	
(02,45966c85)	(02,464daa4d)	(02,4686babc)	
(01,4599217b)	(00,464f1018)	(00,46876fc5)	
(02,459bab75)	(02,465053de)	(02,4688125f)	
(00,459e6de3)	(01,4651b858)	(01,4688c1ce)	
(02,45a0fa41)	(02,4652faa7)	(02,468964b1)	

Apéndice 3: Código G de colorización para el 3D Benchy de prueba.

G1 X1701 Y0 Z0	G1 X3134 Y1149 Z1542
G1 X1701 Y94 Z0	G1 X3134 Y1235 Z1542
G1 X1805 Y94 Z0	G1 X3134 Y1235 Z1622
G1 X1805 Y188 Z0	G1 X3232 Y1235 Z1622
G1 X1914 Y188 Z0	G1 X3232 Y1235 Z1702
G1 X1914 Y282 Z0	G1 X3232 Y1322 Z1702
G1 X2068 Y282 Z0	G1 X3232 Y1322 Z1783
G1 X2068 Y376 Z0	G1 X3336 Y1322 Z1783
G1 X2253 Y376 Z0	G1 X3336 Y1322 Z1863
G1 X2253 Y376 Z81	G1 X3336 Y1409 Z1863
G1 X2253 Y462 Z81	G1 X3336 Y1409 Z1944
G1 X2253 Y462 Z163	G1 X3438 Y1409 Z1944
G1 X2371 Y462 Z163	G1 X3438 Y1409 Z2025
G1 X2371 Y462 Z244	G1 X3438 Y1495 Z2025
G1 X2371 Y548 Z244	G1 X3438 Y1495 Z2106
G1 X2371 Y548 Z325	G1 X3539 Y1495 Z2106
G1 X2486 Y548 Z325	G1 X3539 Y1495 Z2187
G1 X2486 Y548 Z407	G1 X3539 Y1582 Z2187
G1 X2486 Y633 Z407	G1 X3539 Y1582 Z2268
G1 X2486 Y633 Z488	G1 X3637 Y1582 Z2268
G1 X2591 Y633 Z488	G1 X3637 Y1582 Z2348
G1 X2591 Y633 Z569	G1 X3637 Y1669 Z2348
G1 X2591 Y719 Z569	G1 X3637 Y1669 Z2429
G1 X2591 Y719 Z650	G1 X3731 Y1669 Z2429
G1 X2687 Y719 Z650	G1 X3731 Y1669 Z2510
G1 X2687 Y719 Z730	G1 X3731 Y1756 Z2510
G1 X2687 Y805 Z730	G1 X3731 Y1756 Z2591
G1 X2687 Y805 Z812	G1 X3822 Y1756 Z2591
G1 X2778 Y805 Z812	G1 X3822 Y1756 Z2671
G1 X2778 Y805 Z893	G1 X3822 Y1843 Z2671
G1 X2778 Y891 Z893	G1 X3822 Y1843 Z2752
G1 X2778 Y891 Z975	G1 X3912 Y1843 Z2752
G1 X2867 Y891 Z975	G1 X3912 Y1843 Z2832
G1 X2867 Y891 Z1056	G1 X3912 Y1930 Z2832
G1 X2867 Y977 Z1056	G1 X3912 Y1930 Z2913

G1 X2867 Y977 Z1137	G1 X4002 Y1930 Z2913
G1 X2956 Y977 Z1137	G1 X4002 Y1930 Z2993
G1 X2956 Y977 Z1218	G1 X4002 Y2018 Z2993
G1 X2956 Y1063 Z1218	G1 X4002 Y2018 Z3074
G1 X2956 Y1063 Z1298	G1 X4091 Y2018 Z3074
G1 X3045 Y1063 Z1298	G1 X4091 Y2018 Z3156
G1 X3045 Y1063 Z1379	G1 X4091 Y2104 Z3156
G1 X3045 Y1149 Z1379	G1 X4091 Y2104 Z3237
G1 X3045 Y1149 Z1460	G1 X4181 Y2104 Z3237
G1 X3134 Y1149 Z1460	G1 X4181 Y2104 Z3318
G1 X4181 Y2190 Z3318	G1 X5251 Y3152 Z5190
G1 X4181 Y2190 Z3400	G1 X5251 Y3152 Z5271
G1 X4270 Y2190 Z3400	G1 X5251 Y3241 Z5271
G1 X4270 Y2190 Z3482	G1 X5251 Y3241 Z5351
G1 X4270 Y2276 Z3482	G1 X5341 Y3241 Z5351
G1 X4270 Y2276 Z3563	G1 X5341 Y3241 Z5432
G1 X4359 Y2276 Z3563	G1 X5341 Y3330 Z5432
G1 X4359 Y2276 Z3644	G1 X5341 Y3330 Z5513
G1 X4359 Y2363 Z3644	G1 X5431 Y3330 Z5513
G1 X4359 Y2363 Z3726	G1 X5431 Y3330 Z5595
G1 X4448 Y2363 Z3726	G1 X5431 Y3418 Z5595
G1 X4448 Y2363 Z3807	G1 X5431 Y3418 Z5676
G1 X4448 Y2450 Z3807	G1 X5521 Y3418 Z5676
G1 X4448 Y2450 Z3888	G1 X5521 Y3418 Z5756
G1 X4537 Y2450 Z3888	G1 X5521 Y3508 Z5756
G1 X4537 Y2450 Z3970	G1 X5521 Y3508 Z5837
G1 X4537 Y2537 Z3970	G1 X5610 Y3508 Z5837
G1 X4537 Y2537 Z4051	G1 X5610 Y3508 Z5919
G1 X4626 Y2537 Z4051	G1 X5610 Y3596 Z5919
G1 X4626 Y2537 Z4133	G1 X5610 Y3596 Z6000
G1 X4626 Y2623 Z4133	G1 X5700 Y3596 Z6000
G1 X4626 Y2623 Z4215	G1 X5700 Y3596 Z6082
G1 X4715 Y2623 Z4215	G1 X5700 Y3684 Z6082
G1 X4715 Y2623 Z4296	G1 X5700 Y3684 Z6163
G1 X4715 Y2711 Z4296	G1 X5789 Y3684 Z6163
G1 X4715 Y2711 Z4376	G1 X5789 Y3684 Z6245

G1 X4805 Y2711 Z4376	G1 X5789 Y3772 Z6245
G1 X4805 Y2711 Z4457	G1 X5789 Y3772 Z6326
G1 X4805 Y2799 Z4457	G1 X5878 Y3772 Z6326
G1 X4805 Y2799 Z4538	G1 X5878 Y3772 Z6408
G1 X4894 Y2799 Z4538	G1 X5878 Y3860 Z6408
G1 X4894 Y2799 Z4621	G1 X5878 Y3860 Z6489
G1 X4894 Y2886 Z4621	G1 X5967 Y3860 Z6489
G1 X4894 Y2886 Z4702	G1 X5967 Y3860 Z6571
G1 X4983 Y2886 Z4702	G1 X5967 Y3948 Z6571
G1 X4983 Y2886 Z4784	G1 X5967 Y3948 Z6652
G1 X4983 Y2974 Z4784	G1 X6056 Y3948 Z6652
G1 X4983 Y2974 Z4866	G1 X6056 Y3948 Z6732
G1 X5072 Y2974 Z4866	G1 X6056 Y4037 Z6732
G1 X5072 Y2974 Z4946	G1 X6056 Y4037 Z6813
G1 X5072 Y3063 Z4946	G1 X6146 Y4037 Z6813
G1 X5072 Y3063 Z5028	G1 X6146 Y4037 Z6894
G1 X5161 Y3063 Z5028	G1 X6146 Y4125 Z6894
G1 X5161 Y3063 Z5109	G1 X6146 Y4125 Z6974
G1 X5161 Y3152 Z5109	G1 X6237 Y4125 Z6974
G1 X5161 Y3152 Z5190	G1 X6237 Y4125 Z7055
G1 X6237 Y4213 Z7055	
G1 X6237 Y4213 Z7136	
G1 X6326 Y4213 Z7136	
G1 X6326 Y4213 Z7220	
G1 X6411 Y4213 Z7220	
G1 X6411 Y4213 Z7303	
G1 X6411 Y4294 Z7303	
G1 X6501 Y4294 Z7303	
G1 X6501 Y4377 Z7303	
G1 X6593 Y4377 Z7303	
G1 X6593 Y4471 Z7303	
G1 X6593 Y4471 Z7383	
G1 X6683 Y4471 Z7383	
G1 X6683 Y4471 Z7464	
G1 X6683 Y4557 Z7464	
G1 X6764 Y4557 Z7464	

G1 X6764 Y4557 Z7551	
G1 X6764 Y4644 Z7551	
G1 X6764 Y4644 Z7646	
G1 X6764 Y4734 Z7646	
G1 X6764 Y4734 Z7740	
G1 X6764 Y4820 Z7740	
G1 X6764 Y4820 Z7822	
G1 X6764 Y4905 Z7822	
G1 X6764 Y4905 Z8079	

## REFERENCIA BIBLIOGRAFÍAS

- Albrecht, L. (2017). *“Modifications to commercial printers to enable multi-material fabrication of 3D cellular scaffolds”* – Nueva York, Estados Unidos.
- Alexandrea, P. (2017). *“The Complete Guide to Stereolithography (SLA) in 3D Printing”*. <https://www.3dnatives.com/en/stereolithography-explained100420174>.
- All3dp. *“2020 Mosaic Palette 2S: Review the Specs”*. <https://all3dp.com/1/mosaic-palette-2s-review-specs-3d-printer/>.
- Ansótegui, J. (2015, 30 abril). *“IMPRESIÓN 3D VS IMPRESIÓN 2D - Estudio sobre similitudes tecnológicas”* - Impresoras 3D. Imprimalia 3D.
- Baumann, F. (2017). *“3D Printing as a service for collaborative engineering”*. Institut für Rechnergestützte Ingenieursysteme. Stuttgart, Alemania.
- Bueno, D y Delgado, A. (2017). *“Máquina CNC multipropósito utilizando Arduino Mega y controlador RAMPS 1.4”*. Universidad Ricardo Palma – Lima, Perú
- DruckWege. (2018, 25 abril). *“Fused Deposition Modelling (FDM)”*. <https://druckwege.de/en/home-en/technology/fused-deposition-modelling-fdm>.
- Duppaliwar, A. (2018, Julio 11). *“5 Key Trends in 3D Printing Materials”*. MarketResearch. <https://blog.marketresearch.com/5-key-trends-in-3d-printing-materials>.
- Easy 3D Home. (2018, 4 diciembre). *“3d print 2 colors – The complete guide”*. <https://www.easy3dhome.com/3d-print-2-colors/>.
- Kilian, C. (2015). *“Modern Control Technology”*. California: Cengage Learning.
- Llamas, L. (2019, 19 diciembre). *“QUÉ ES EL G-CODE Y SU IMPORTANCIA EN LA IMPRESIÓN 3D”*. <https://www.luisllamas.es/que-es-el-g-code-y-su-importancia-en-la-impresion-3d/>.
- LulzBot. (2017, 27 octubre). *“Tutorial — Multi-Color 3D Printing Techniques”*. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=8JplBO-tils>.

Mhatre, Paritosh Santosh, (2019). "*Process Planning for Concurrent Multi-nozzle 3D Printing*" Thesis. Rochester Institute of Technology.

Pardo, C. (2020, marzo). "Control Automático".  
<https://www.picuino.com/es/arduprog/control-auto.html>.

Simplify3D. "Purge Wall for dual prints - Simplify3D User Forum".  
<https://forum.simplify3d.com/viewtopic.php?t=1266>.

Superstore, P. D. "Creator Pro Dual Head. 3D Printer Superstore".  
<https://3dprintersuperstore.com.au/products/flashforge-creator-pro>.

Tenco DDM. "3D Printing Technologies". <http://tenco-online.com/3d-printing-techniques/>.

Introducción TEMA 2. (s. f.). DocPlayer. <https://docplayer.es/16277041-Introduccion-tema-2-morfologia.html>.

Máquina CNC Delta. (s. f.). [Ilustración]. PrintSpace3D. <https://www.printspace3d.com>

Máquina CNC Polar. (s. f.). [Ilustración]. DocPlayer. <https://docplayer.es/16277041-Introduccion-tema-2-morfologia.html>

Máquina CNC Paralela. (s. f.). [Ilustración]. Reprap.  
[https://reprap.org/mediawiki/images/d/d2/Morgan\\_Pro2](https://reprap.org/mediawiki/images/d/d2/Morgan_Pro2)

Máquina CNC SCADA. (s. f.). [Ilustración]. DocPlayer. <https://docplayer.es/16277041-Introduccion-tema-2-morfologia.html>

Proceso de Fresado. (s. f.). [Ilustración]. Terratec. <https://terratec.pe/images/fresado.jpg>

Proceso de Torneado. (s. f.). [Ilustración]. Interempresas.  
<https://www.interempresas.net/FotosArtProductos/P71793.jpg>

Proceso de corte laser. (s. f.). [Ilustración]. Maderama. <https://maderame.com/wp-content/uploads/2015/08/corte-laser-madera.jpg>

Proceso de Impresión 3D. (s. f.). [Ilustración]. cdn.shopify.  
[https://cdn.shopify.com/s/files/1/1099/7842/files/impresora-3d\\_large.jpg?11494912412664876294](https://cdn.shopify.com/s/files/1/1099/7842/files/impresora-3d_large.jpg?11494912412664876294)

Diagrama de controlador SmoothieBoard. (s. f.). [Ilustración]. smoothieware.  
<http://smoothieware.github.io/Webif-pack/documentation/web/html/smoothieboard.html>

Diagrama de controlador Ramps 1.4. (s. f.). [Ilustración]. Controlador Ramps 1.4.  
<https://proyectos-con-arduino.com/impresora-3d/>

Sistema de Control. (s. f.). [Diagrama]. Sistemas de control.  
<https://www.picuino.com/es/arduprog/control-auto.html>

Controlador Ramps. (s. f.). [Ilustración]. Conectando Controlador Ramps.  
<https://i.ytimg.com/vi/J0cgVfiTAC0/maxresdefault.jpg>.

X. (2018, 19 septiembre). Print. XYZmaker.  
<http://wiki.xyzprinting.com/xyzmaker/en/xyzmaker-printer-plugin/>.

X. (2018b, octubre 1). Service. XYZmaker 3DKit.  
<http://wiki.xyzprinting.com/xyzmaker3dkit/en/service/>.



## **Anexos**

*Anexo 1: Manual de usuario de equipo Palette+*



# PALETTE<sup>+</sup>™

## QUICK START GUIDE

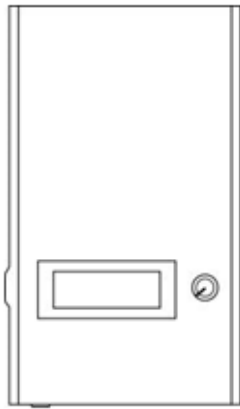
Downloaded from [www.Manualslib.com](http://www.Manualslib.com) manuals search engine

# Critical Warnings

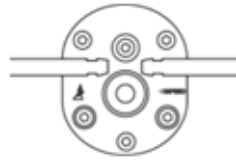
## SERIOUSLY, THESE ONES ARE REALLY IMPORTANT

- 1 NEVER plug Palette+ into a computer (USB) while Palette+ is powered on.** The only time you need to connect Palette+ with your computer is to update firmware.
- 2 Don't touch Palette+'s hot tool when it's hot.** It hurts!
- 3 Palette+ is only compatible with 1.75mm filament.**
- 4 Do not perform any maintenance on Palette+'s internal systems while Palette+ is powered on** (or risk electrical shock or injury, and potentially damage to Palette+).
- 5 In the rare instance that you hear Palette+'s drives skipping (or any other unusual clicking noises), do not force filament into Palette+.** Cancel the print, unload filament, and unplug Palette+, then remove the top cover to check for jams or blockages.

# Contents



Palette+



Scroll Wheel



Power supply



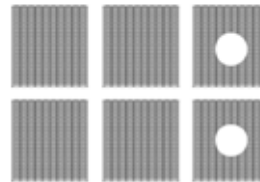
Power supply cord



Filament bar



Additional splicing tubes (x2)



Velcro squares (x6)



USB cable



Small guide tube for Bowden printers



Preloaded SD card



Spool Pal clips



Screwdriver

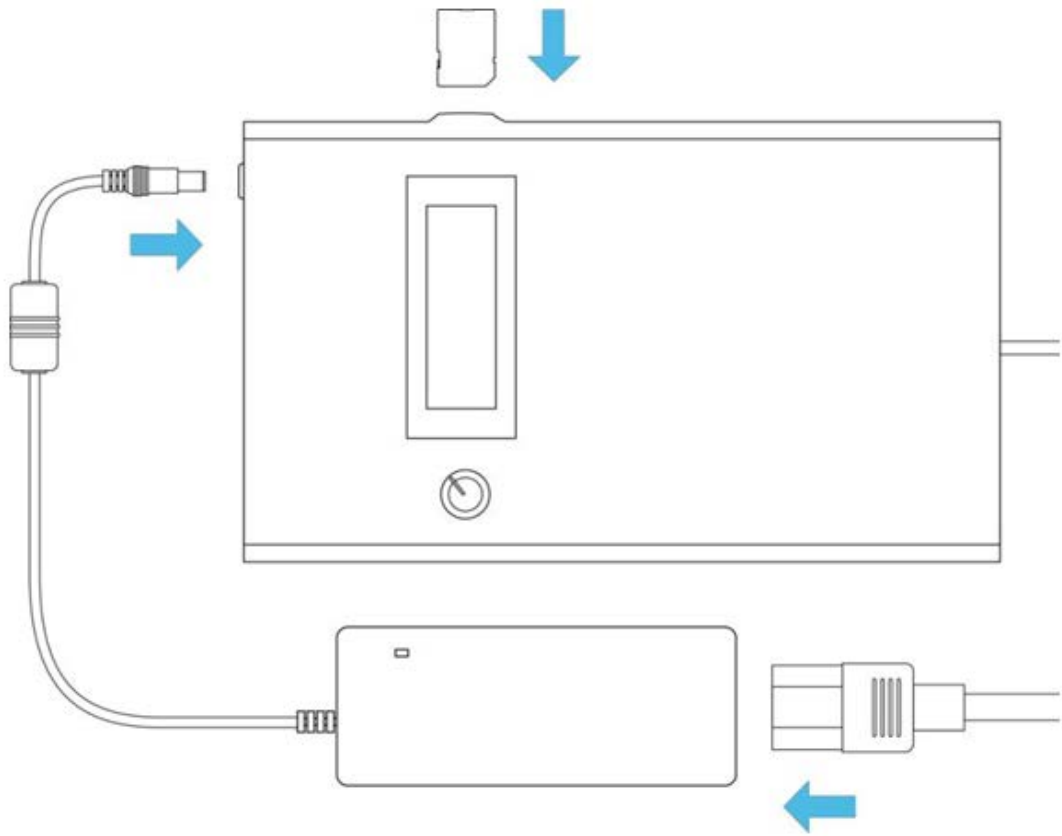


Guide tube clip

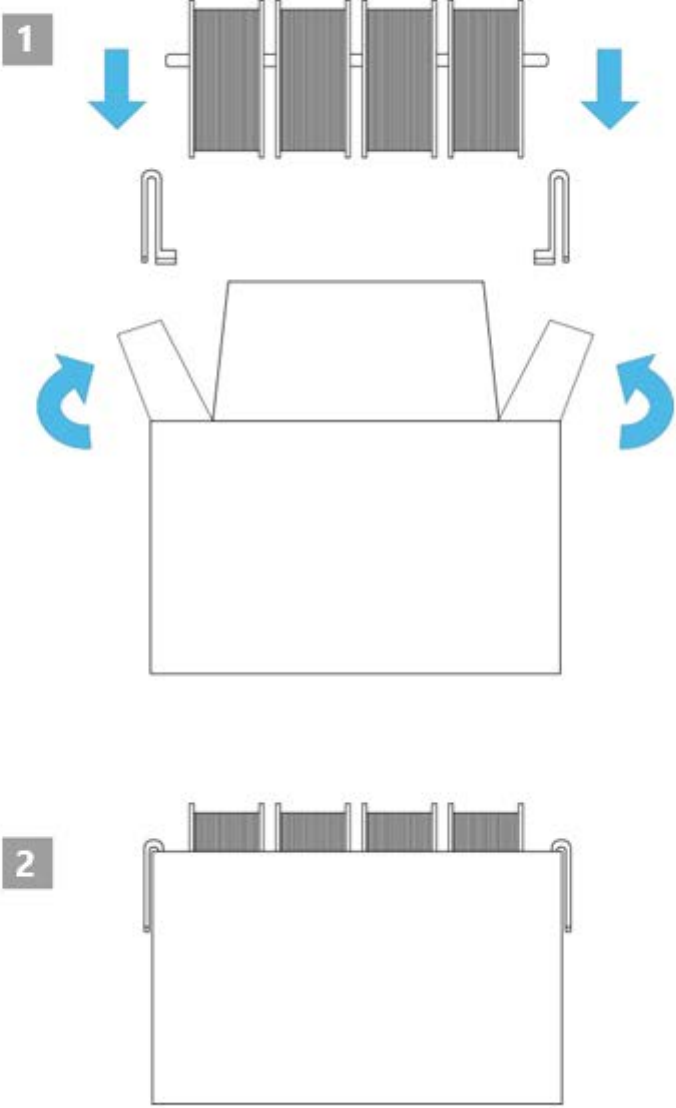


Clear PLA filament

## Set Up Your Palette+

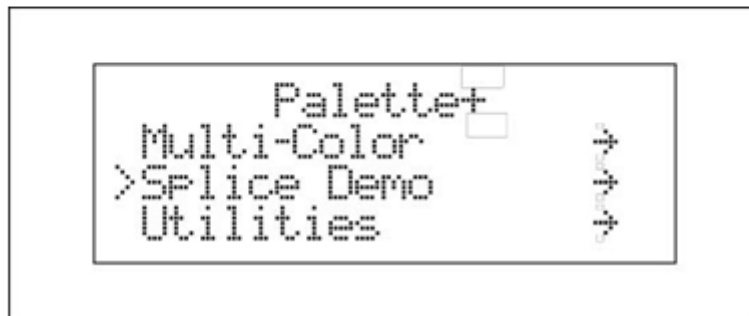


# Set Up Your Spool Holder



# Splice Mode

On Palette+'s screen, select "Splice Demo".

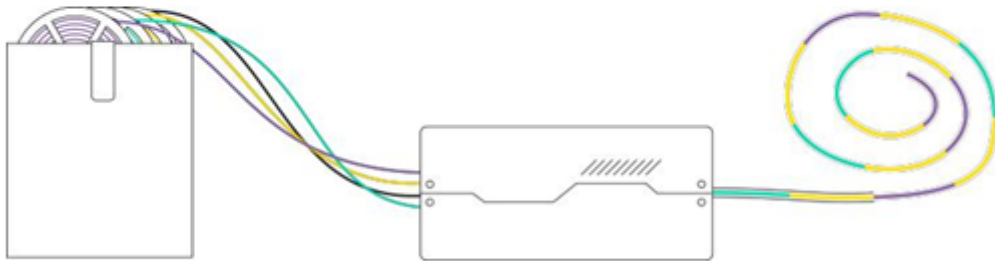


Select "Without Printer".



# Load PLA Filament

- 1** Select Demo-2c for 2 colors, Demo-3c for 3 colors, or Demo-4c for 4 colors.
- 2** Following instructions on Palette+, and load filament into drives.
- 3** Palette+ will heat up and begin to create splices.

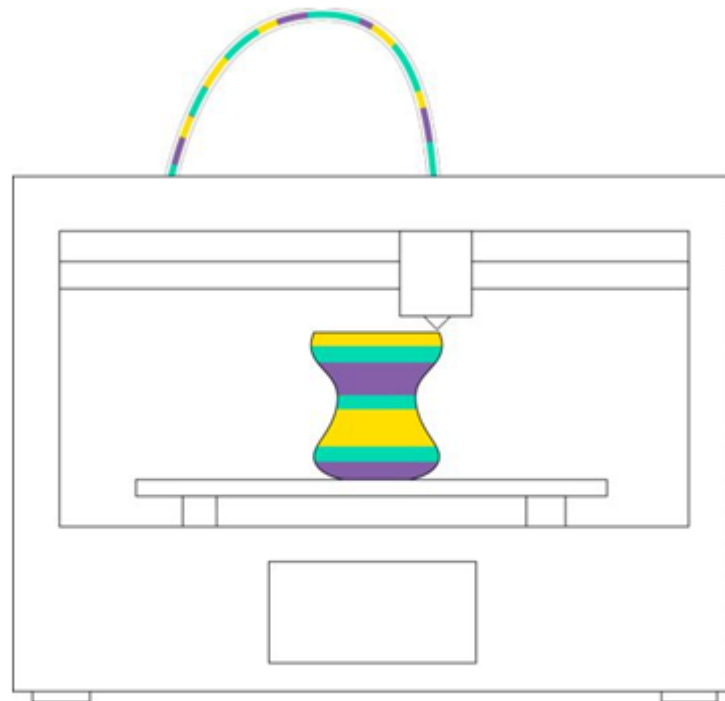


# Layered Print

## **CONGRATULATIONS!**

You've created spliced filament!

This filament can be fed into your printer and used on any model to create a layered print.





## What's Next?

Now that you've created a layered print, you're ready to create your own precise multi-color prints!



### **DOWNLOAD CHROMA**

Please visit <http://mm3d.co/chroma> to download Chroma. Once installed you will find further setup instructions!

# Best Practices

- **Maintenance:** Clean your Palette+'s drive gears as needed (about as often as you clean your printer's drive gears)
- Ensure filament spools can unspool without too much force
- For optimal performance, use filament from the same manufacturer – they tend to splice and stick together best!
- Ensure printer and slicer settings are well-tuned for single-material prints before attempting Palette+ prints

# Resources & Help

**MULTI-MATERIAL:** <http://mm3d.co/multimaterial>

Splicing and print setting guidance for multi-material prints

**RESOURCES:** <http://mm3d.co/resources>

Alternative guide tube clips

Multi-body modeling & slicing videos

**SUPPORT:** <http://mm3d.co/support>

Troubleshooting

Help Centre

## Anexo 2 Especificaciones del equipo Palette+:

### Specifications



The Palette 2 Pro with its top cover removed (Source: Top3DShop)

Here are the specs laid out, as provided by Mosaic:

- **Supported feedstock size:** 1.75-mm FDM filament (Ultimaker adapter available)
- **Filament production speed:** 166-280 mm/min
- **Ambient operating temperature:** 15-30 °C (60-86 °F)
- **Compatible operating systems:** Windows, Mac, Linux (Tested on Ubuntu 16.04)
- **Splicing technology:** Splice Core Pro 1.0, Solid State Splicer
- **Data interface:** Canvas Hub (USB) or SD card
- **Control interface:** 3.2" color touchscreen (240 x 320 pixels)
- **Unit weight:** 3.6 kg (7.9 lbs)
- **Unit dimensions:** 23 x 20.4 x 8.4 cm (9" x 8" x 3.3")
- **Shipping weight:** 7.1 kg (15.6 lbs)
- **Shipping box:** 41 x 27 x 23 cm (16" x 11" x 9")
- **Power requirements:** 12 V DC, 3 A
- **Power adapter input requirements:** 100-240 V (50/60 Hz), 1.5 A
- **Power adapter compatibility:** USA, UK, AU, EU
- **Consumables**
  - Filament: Not included
  - Splice Core Pro Tubes: 5 included
- **Provided limited warranty:** 24 months or 50,000 splices
- **Update connection:** USB (cable included)
- **Compatibility:** (Check out the [full list from Mosaic.](#))

### Anexo 3 Tabla comparativa de filamentos para impresión 3D



SMARTFIL<sup>®</sup>  
by smart materials 3D

## 3D PRINTING FILAMENTS COMPARISON

	PRINTING TEMPERATURE	BED TEMPERATURE	PRINT DIFFICULTY	STRENGTH	FLEXIBILITY	DURABILITY	RESISTANCE TO TEMPERATURE	SOLUBLE	FOOD SAFE
PLA	200 220 240	0 60	●●●	●●●	●●●	●●●	60	✗	✓
PLA 3D850	200 210 220	0 60	●●●	●●●	●●●	●●●	75	✗	✓
PLA 3D870	200 210 220	0 60	●●●	●●●	●●●	●●●	75	✗	✗
EASY PRINT	190 200 210	0 60	●●●	●●●	●●●	●●●	55	✗	✓
WOOD	200 220 240	0 60	●●●	●●●	●●●	●●●	60	✗	✗
BOUN	210 220 230	0 60	●●●	●●●	●●●	●●●	65	ACETONA	✗
ABS	230 240 250	80 100	●●●	●●●	●●●	●●●	100	ACETONA	✓
ABS HIGH IMPACT	230 240 250	80 100	●●●	●●●	●●●	●●●	100	ACETONA	✗
ABS FIREPROOF	210 220 230	80 100	●●●	●●●	●●●	●●●	95	ACETONA	✗
ABS MEDICAL	230 240 250	80 100	●●●	●●●	●●●	●●●	100	ACETONA	✓
FLEX	215 225 235	0 100	●●●	●●●	●●●	●●●	105	✗	✗
HIPS	225 235 245	80 100	●●●	●●●	●●●	●●●	100	D-LIMONENO	✓
PETG	215 235 255	60 90	●●●	●●●	●●●	●●●	85	✗	✓
PP	210 220 230	60 100	●●●	●●●	●●●	●●●	60	✗	✓
NYLSTRONG	245 255 265	95 110	●●●	●●●	●●●	●●●	210	✗	✗
GLACE	205 220 235	70	●●●	●●●	●●●	●●●	75	ALCOHOL	✗
CLEAN	190 220 250	—	—	—	—	—	—	—	—
SUPPORT	210 240 270	70 100	●●●	●●●	●●●	●●●	—	D-LIMONENO	✗



+34 953 041 993

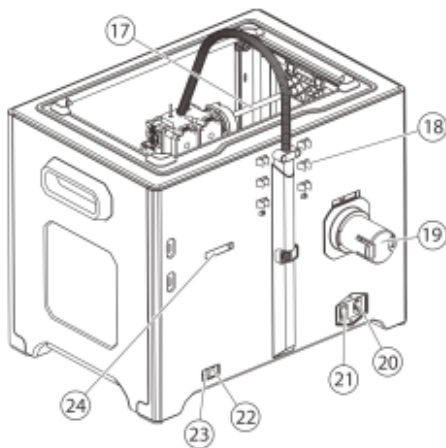
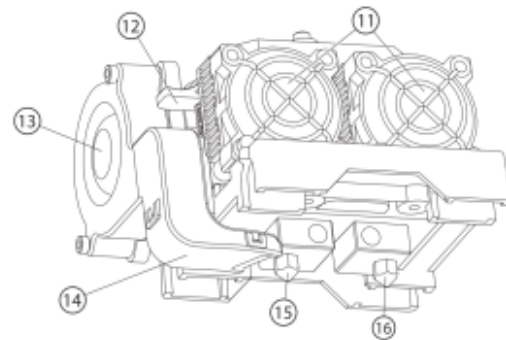
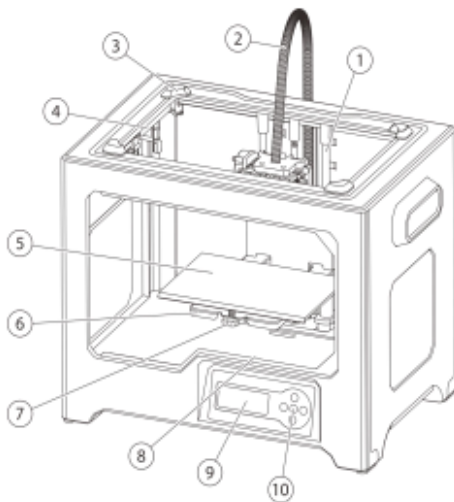
✉ info@smartmaterials3d.com

www.smartmaterials3d.com

## Chapter 2: About Creator Pro

### 2.1 About Your Creator Pro

#### 2.1.1 Views



- |                        |                               |
|------------------------|-------------------------------|
| 1.Z-axis guide rod     | 13.Turbofan                   |
| 2.Extruder cable bunch | 14.Turbofan baffle            |
| 3.Slot                 | 15.Left nozzle                |
| 4.Y-axis guide rod     | 16.Right nozzle               |
| 5.Build plate          | 17.X-axis guide rod           |
| 6.Build platform       | 18.Filament guide tube buckle |
| 7.Leveling knob        | 19.Spool holder               |
| 8.SD card slot         | 20.Power input                |
| 9.LCD panel            | 21.Power switch               |
| 10.Buttons             | 22.Reset button               |
| 11.Cooling fan         | 23.USB input                  |
| 12.Spring presser      | 24.Spool holder slot          |

## 2.1.2 Accessories

Along with your Creator Pro 3D printer, the box also contains the followings:

### **On the top of the PE foam sheet, you'll find:**

- Filament guide tube\*2
- Quick start guide\*1
- User guide\*1
- Build tape\*2
- Leveling card\*1
- After-sales service card\*1

### **Within the accessory PE foam**

- Power cable \*1
- USB cable\*1
- Spool holder\*2
- Dual extruder\*1
- Tool bag(Allen Wrench/Leveling knob/Bolt/Stamping Wrench/Unclogging Pin Tool)
- Extruder's accessory kit(Bolt/Turbofan baffle)
- SD card \*1
- Grease\*1

### **Under Creator Pro's build platform:**

- Filament\*2
- Lid\*1

### 2.1.3 Terms

Build Plate	The surface on which the Creator Pro builds an object.
Build Tape	The blue tape that covers Creator Pro's build plate so that the object can adhere to the build plate well.
Build Volume	The three dimensional amount of space that an object will use once it is completed. The largest build volume of Creator Pro is 227*148*150
Leveling Knobs	Knobs under the build platform that are used for adjusting the distance between the nozzle and build plate.
Extruder	The device that draws the filament from the spool, melts it and extrudes it through a nozzle onto the build plate.
Nozzle	Also called "print head", which located at the bottom of the extruder where heated filament is squeezed out.
Cooling Fan	To cool the outer assembly of the extruder and gear motor
Filament Intake	An opening located at the top of the extruder.
Filament Guide Tube	A plastic piece that guides the filament from the filament box to the filament intake
Unclogging Pin Tool	A tool that used for cleaning and unclogging the extruder
Stamping Wrench	A tool that used for seizing the nozzle's metal cube



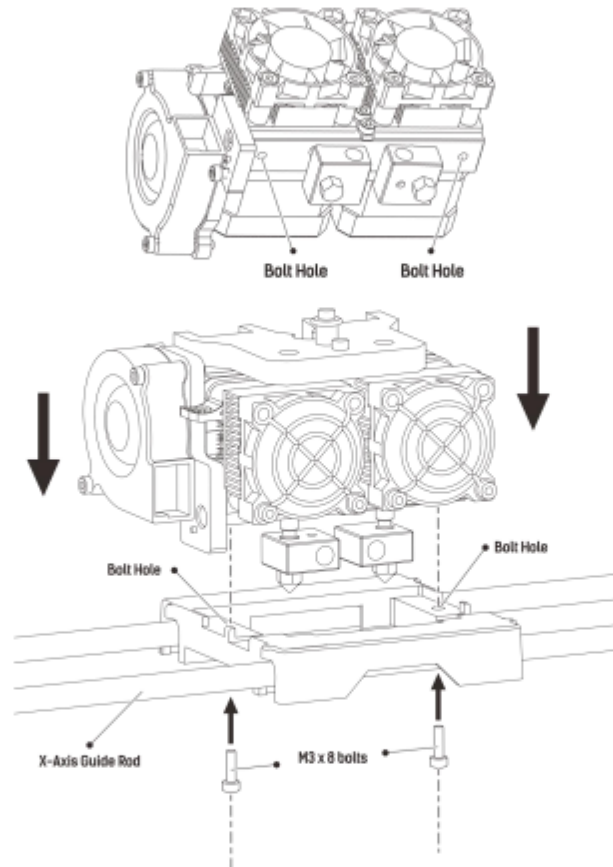
## 2.1.4 Parameters

Name	Creator Pro
Number of Extruder	2
Print Technology	Fused Filament Fabrication (FFF)
Screen	LCD Panel
Build Volume	227×148×150mm
Layer Thickness	0.1 - 0.2mm
Build Precision	±0.1-0.2mm
Positioning Precision	Z axis 0.0025mm; XY axis 0.011mm
Filament Diameter	1.75mm (±0.07)
Nozzle Diameter	0.4mm
Build Speed	10-200 mm/s
Software	FlashPrint/Simplify3D/Makerware/ReplicatorG
Support Formats	Input:3MF/STL/OBG/FPP/PNG/JPG/JPEG Output:X3G
OS	Win xp/Vista/7/8/10、 Mac OS、 Linux
Device Size	526*360*403(550)mm
NET Weight	14.8Kg
AC Input	100V-240V/4.5A-2.5A
Connectivity	USB Cable, SD Card



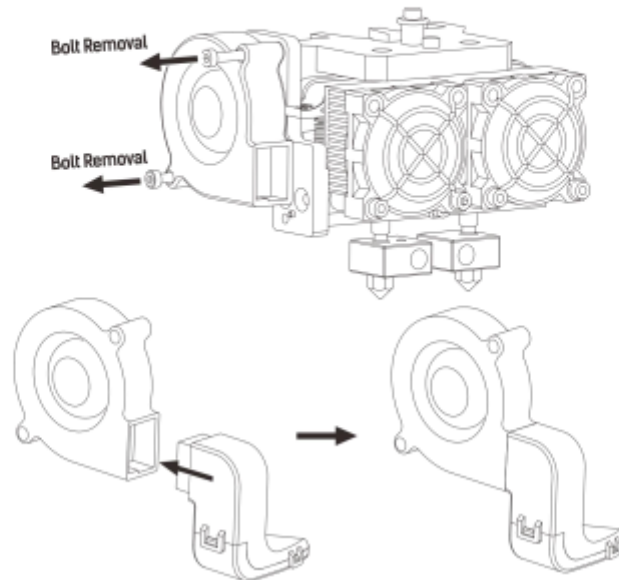
## Chapter 4: Hardware Assembly

First, you need two M3\*8 bolts from the extruder's accessories kit (including bolts and turbofan baffle), and the 2.5mm Allen Wrench. Lower the build plate as much as possible, hold the extruder by both sides, take it out of the accessory sleeve and position it on the extruder support with the fan facing forward. Align the screw holes and fasten with the two short silver bolts (see 4-1).

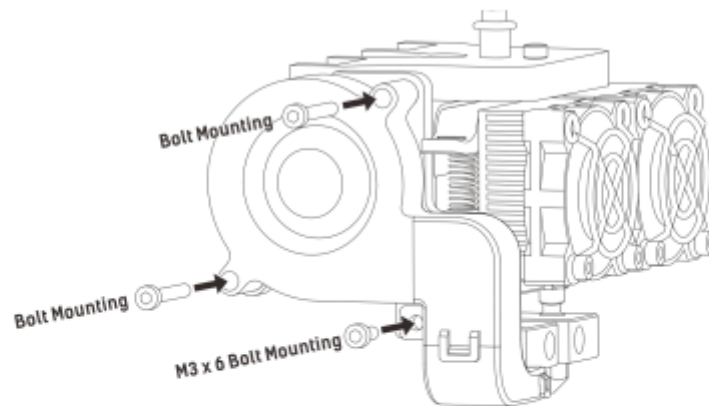


4-1

(4-2) Unscrew the two turbofan bolts and take out the turbofan baffle to install.(Note: Beside the turbofan bolt hole locates a small hole. You need to insert the bump of turbofan baffle to this hole) Take out a M3 x 6 bolt and a 2.5mm Allen Wrench to secure the turbofan baffle onto the extruder. (4-3)Finally, screw the two turbofan bolts.



4-2



4-3

# Chapter 6: About Software

This chapter talks about the basic function of FlashPrint. For more information about advanced function, you can browse our website [www.flashforge.com](http://www.flashforge.com).

## 6.1 Software Installation

### 6.1.1 Software Acquisition

**Method 1:** To get the installation package from the SD card in the accessory kit.

**Method 2:** Open the link below to download the installation package:

<http://www.flashforge.com>

**Steps: Support---Downloads---FlashPrint---Choose Software Version---**

**Download**

### 6.1.2 Software Installation and Start-up

1. Decompress the zipped file or start the installation program, and then install the software according to the direction.
2. Start the software with the start menu shortcut or by clicking the software icon.(See 6-1)



6-1

## 6.2 Exploring FlashPrint

### 6.2.1 Machine Type Selection

Attention! After starting FlashPrint, you need to select the target machine type first.

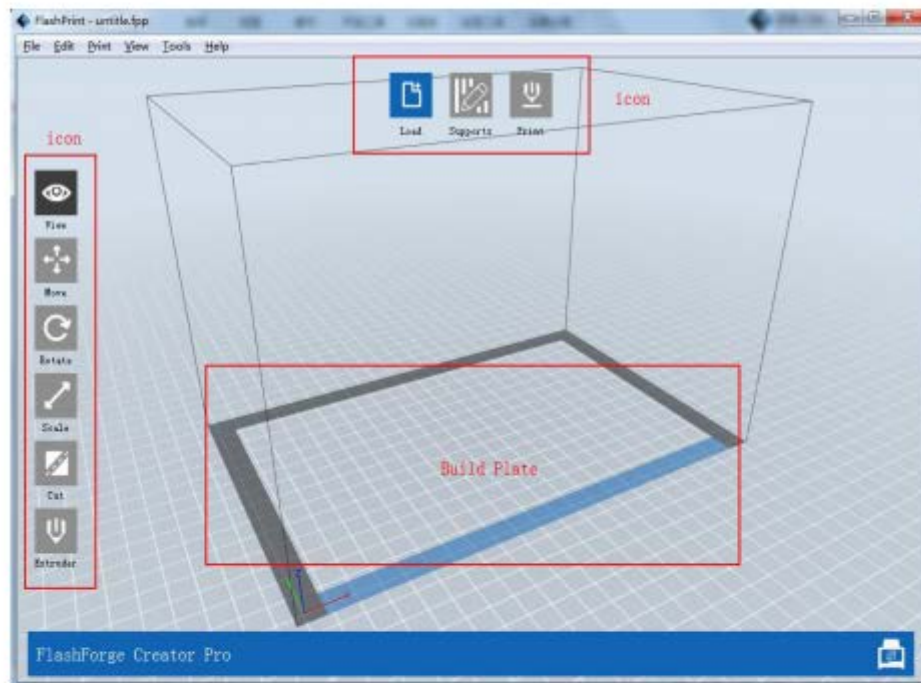
When you start FlashPrint, a dialog box will pop up. Just need to select FlashForge Creator Pro in the machine type list and click **[OK]**. You can also change the machine

type via clicking **[Print]**--**[Machine type]**. Please see graphic 6-2:











6-2

## 6.2.2 Software Introduction



6-3

	Load files.
	Enter into the support edit mode
	Print it directly with your Creator Pro or export to your USB Stick
	View FlashPrint home screen from one of six viewing angles
	Move model around on XY- axis; shift+click to move along Z axis
	Turn and rotate your model
	Scale the size of your object
	Cut model into several parts

### 6.2.3 Loading

You can load a model file or Gcode file into your FlashPrint by the following six methods:

**Method 1:** Click the **Load** icon on the main interface. Then select the object file.

**Method 2:** Select the file for loading and drag the file to the main interface of the software.

**Method 3:** Click **[File]--[Load File]**. Then select the object file for loading.

**Method 4:** Click **[File]--[Examples]** to load the example files

**Method 5:** Click **[File]--[Recent Files]** to load the files opened recently.

**Method 6:** Select and click-drag the target file to the icon of FlashPrint.

**Note:** 3D models can be stored as **.STL, .OBJ, and .FPP file** and support editing by FlashPrint.

## Generating Rilievo

Load a png, jpg, jpeg, bmp picture file into the FlashPrint. And the following dialogue box (6-4) will pop up. The setting box includes settings for shape, mode, maximum thickness, base thickness, bottom thickness, width, height, top diameter and bottom diameter.

Shape: including plane, tube, canister and lamp.

Mode: including “darker is higher” and “lighter is higher”.

Maximum thickness: Z value of the model

Base thickness: The minimum raft thickness and the default value is 0.5mm

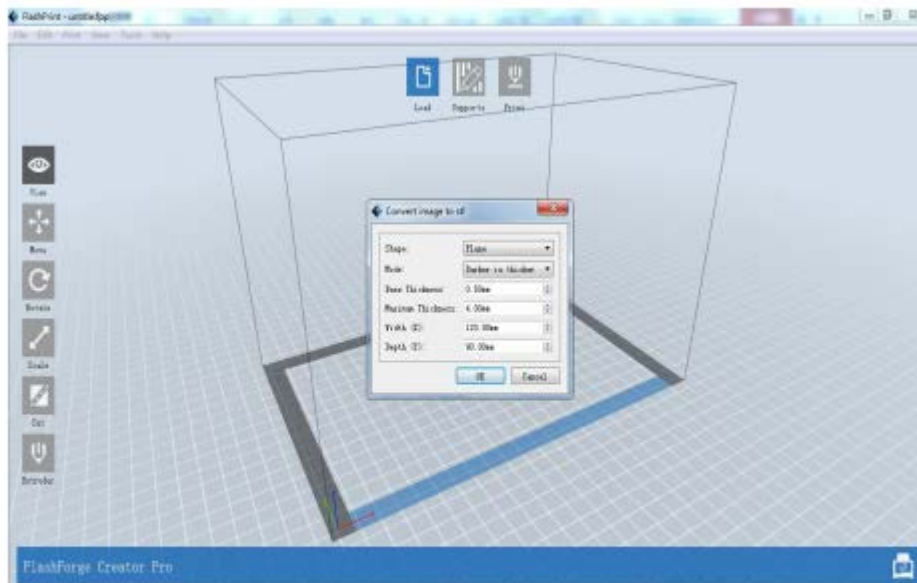
Width: X value of the model

Depth: Y value of the model

Bottom thickness: For tube, canister and lamp to set up bottom thickness

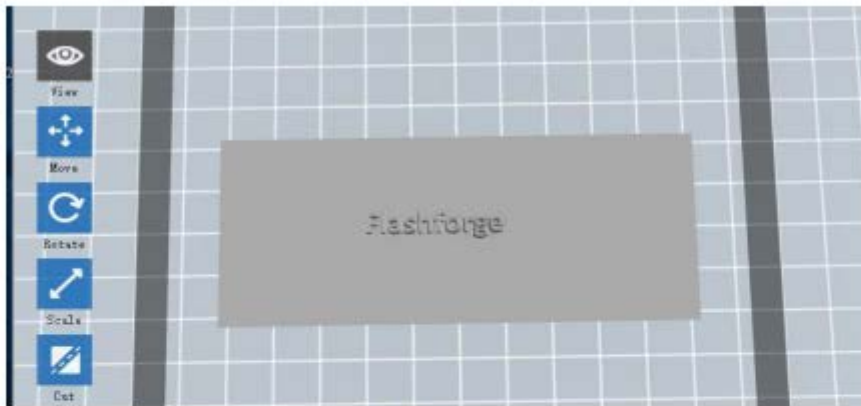
Top diameter: For tube, canister and lamp to set up the top diameter

Bottom diameter: For tube, canister and lamp to set up the bottom diameter

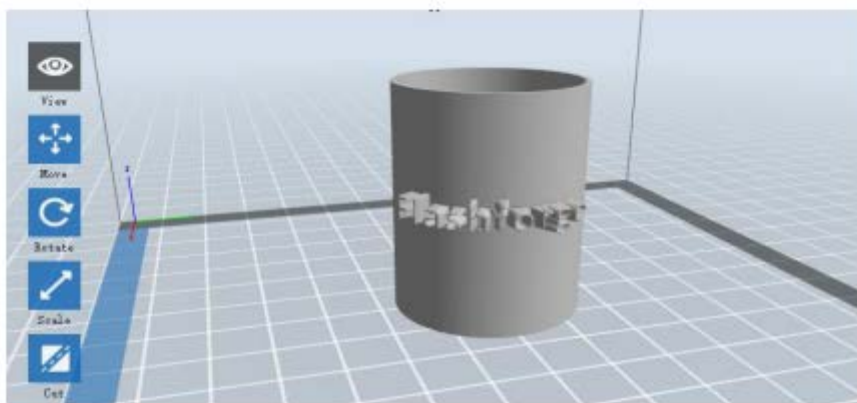


6-4

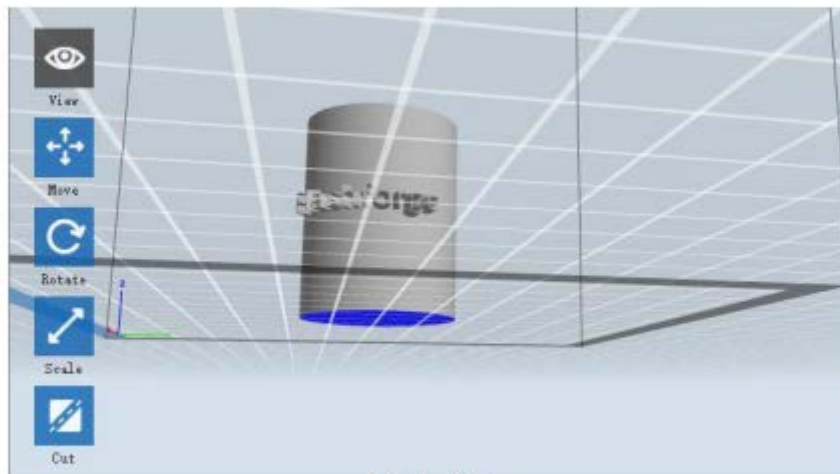




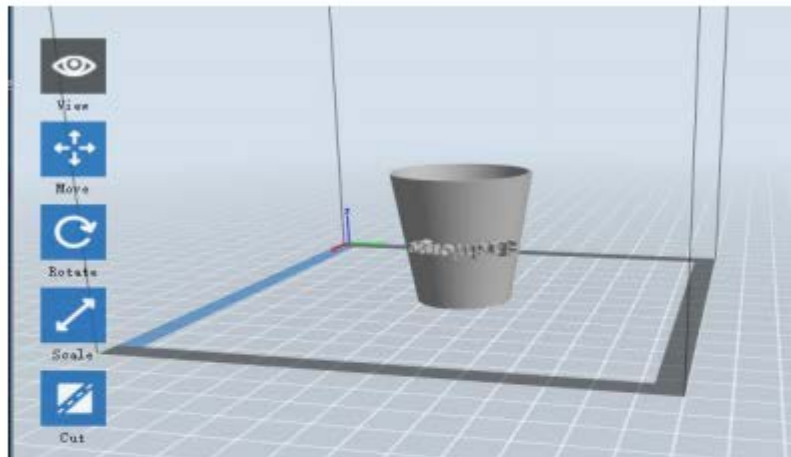
Plane 6-5



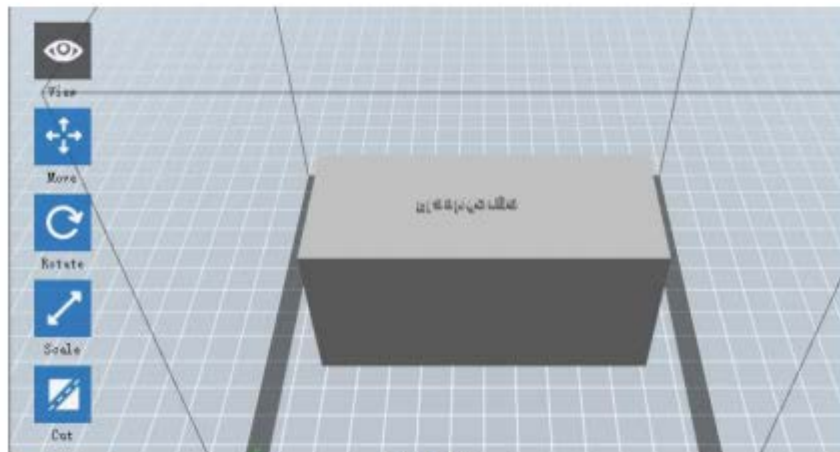
Tube 6-6



Canister 6-7



Lamp 6-8



Seal 6-9

## 6.2.4 Views

### ① Changing views

Change model views by moving, rotating, scaling.

#### • Drag

Click the **[View]** icon and then you can move the object by the following three methods:

**Method 1:** Hold down the left mouse button and drag.

**Method 2:** Hold down the mouse wheel and scroll up and down.

**Method 3:** Hold down the **Shift** key, hold down the right mouse button and drag.



# RAMPS 1.4 Assembly Guide

3D Printer Czar

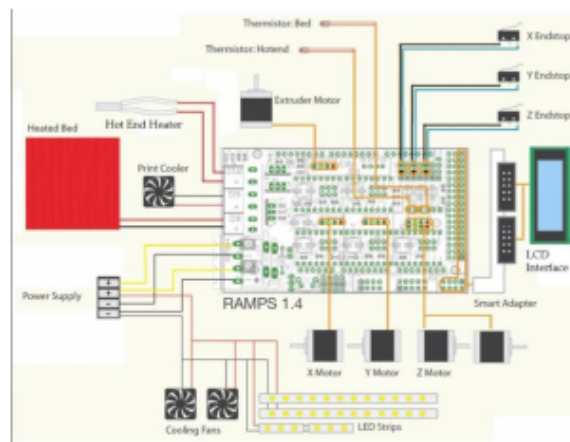
Version 1

## Table of Content

Getting to know RAMPS 1.4 -----	3
Insert jumpers to RAMPS 1.4-----	4
Connect the boards-----	4
Crimp Connectors-----	5
Connect the Power Supply-----	6
Connect the Rest-----	7

## Getting to know RAMPS 1.4

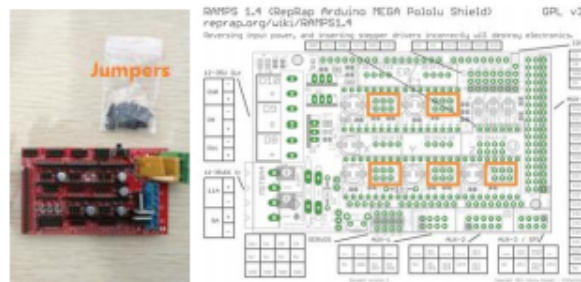
RAMPS 1.4 is probably the most widely used electronics for RepRap machines as of March 2014. It consists of a RAMPS 1.4 shield, an Arduino Mega 2560 board (or a clone), and a max of five Pololu Stepper drivers. It can control up to 5 stepper motors with 1/16 stepping precision and interface with a hotend, a heatbed, a fan (or a second hotend), a LCD controller, a 12V (or 24V with appropriate modification) power supply, up to three thermistors, and up to six end stoppers.



RAMPS 1.4 Schematic, taken from [www.makerfarm.com](http://www.makerfarm.com)

## 1. Insert jumpers to RAMPS 1.4

The jumpers (in the plastic bag below) control the precision of the motor movement. To have the most precise stepping (1/16 micro stepping), insert three jumpers to each of the areas outlined below:

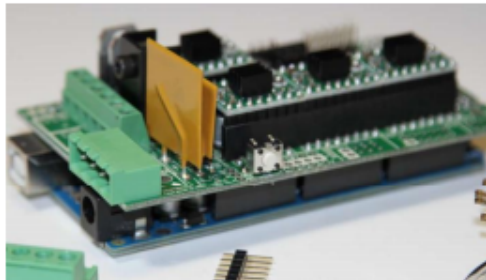


Install all jumpers to the orange area to ensure the most precise stepping

If you would like to learn about other modes of stepping (full stepping, half stepping, 1/8 stepping, etc.), please refer to this article: <http://www.nmbtc.com/step-motors/engineering/full-half-and-microstepping.html>. These modes are not suitable for 3D printer motion control, but could be useful for other projects.

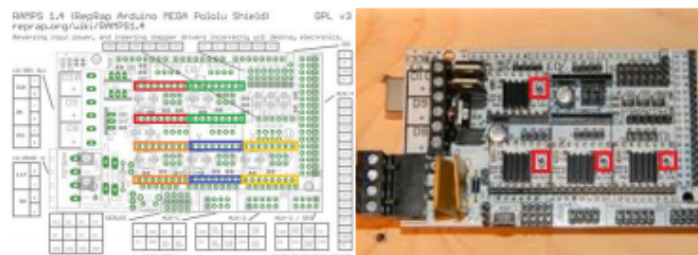
## 2. Connect the Boards

Stack the RAMPS 1.4 shield on top of the Arduino Mega 2560 board. Make sure the orientation is correct as shown above. The Mega 2560 board's USB side is directly under RAMPS 1.4 shield's "D8 D9 D10" area.



Stack up the RAMPS 1.4 shield on top of Mega 2560 Board

Next stack the Pololu steppers on top of the RAMPS 1.4 shield. **MAKE SURE THE ORIENTATION IS CORRECT AS SHOWN BELOW!** The potential meter (outlined in red on the right picture below) should be facing away from the "D10 D9 D8" side on the RAMPS 1.4 shield. We have heard numerous cases where these steppers got fried because of incorrect orientation. Install the heat sinks on the Pololu steppers, and make sure the heat sink are not touching multiple components on the Pololu stepper (the clearance could be small, but it is there!)



Install the five Pololu steppers in the boxed pins shown on the left picture. Make sure the potentiometer on the Pololu stepper is away from the side labeled "D10 D9 D8".

### 3. Crimp Connectors

Motors, hotend thermistor, and the heatbed thermistor have bare wires. You need to crimp the Dupont connector pins and attach the connector shells. It might be easy to use a crimping tool (the best place to find one is Ebay or Radio shack), but needle nose pliers also work. This Instructables article gives a detailed step by step guide to crimping connectors: <http://www.instructables.com/id/How-to-Make-A-Quality-Crimped-Joint/>

When crimping the motor connectors, follow the **Black-Green-Blue-Red** order. If you find the motor spinning the opposite direction later, simply disconnect and flip the connector (make sure you do this while the power is off, otherwise you risk frying the Pololu boards).

The thermistor connector does not have a particular orientation.

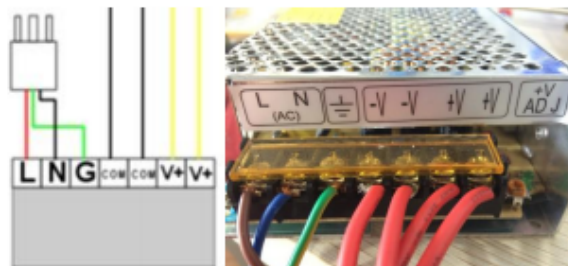
#### 4. Connect the Power Supply

If you are in a region with 110V outlet, first open the case and and switch to the 110V mode.

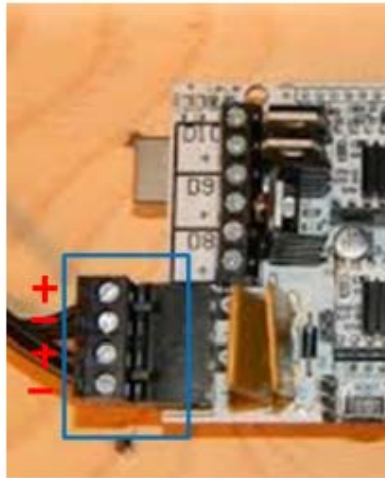


Switch to the correct voltage before use.

Cut the end of the power plug (not included in the kit) to reveal the three wires: Brown, Blue, Green (you might get a different set of colors depending on your power plug. If that's the case, use a multi-meter to determine the L, N, and G nodes). Strip these wires and connect them to the power supply unit's L, N, G nodes respectively. Untighten the screws and slide the stripped wires underneath, and retighten them. Give the wires a gentle pull to make sure they are tightened properly.

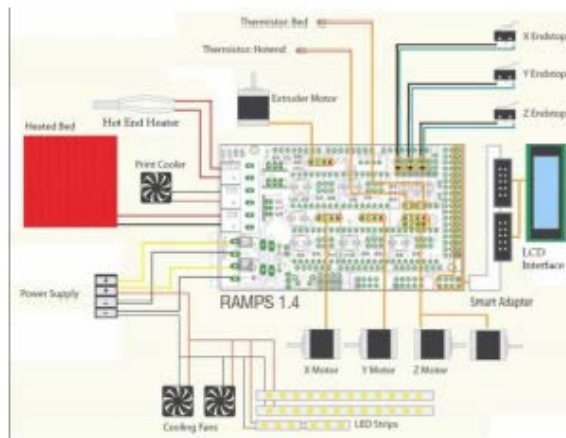


Get four spare wires and connect them on the two Com(V-) and the two V+ nodes. Connect the other ends to the RAMPS 1.4 shield's power input nodes:

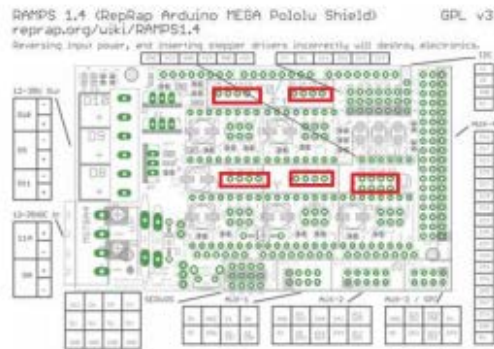


The first one on the bottom is COM(-V), then V+, then Com, then V+ again as shown above.

## 5. Connect Motors, Thermistors, Hotend, Heatbed, and Fan.



If you find motors spinning in a different direction, please switch the power off and simply flip the motor connector. There are two connectors in parallel for Z axis, since most RepRap machines use two motors to move in Z direction.



Top left: extruder 1. Top right: extruder 2. Bottom left: X-motor. Bottom middle: Y-motor. Bottom right: Z-motors.

There are three thermistor connector pins. From left to right: extruder 1, heatbed, and extruder 2. These are not polarity-sensitive.



From left to right: Extruder 1 thermistor, heat bed thermistor, and extruder 2 thermistor

Plug in extruder 1 heater to D10, heatbed heater to D8, and fan(or a second extruder) to D9. Only the fan is polarity-sensitive.



RAMPS 1.4 (RepRap Arduino MEGA Pololu Shield) GPL v3  
reprap.org/wiki/RAMPS1.4



From top to bottom: extruder heater 1, fan, and heated bed heater.

The mechanical endstoppers are polarity sensitive. Solder wires to the "COM" and "NC" leads. Connect these two leads to the top two rows in the endstopper area outline below, with COM on the bottom and NC on top. From left to right, each column corresponds to xmin, xmax, ymin, ymax, zmin, and zmax. If you are using optical end stopper, then you will need all three pins. You only need to connect all max or all min end stoppers. The other limit will be specified in your firmware.

RAMPS 1.4 (RepRap Arduino MEGA Pololu Shield) GPL v3  
reprap.org/wiki/RAMPS1.4



From left to right: X-min, X-max, Y-min, Y-max, Z-min, and Z-max.

Finally, connect the LCD smart controller to the specified pins.

RAMP5 1.4 (RepRap Arduino MEGA Pololu Shield) GPL v3  
reprap.org/wiki/RAMP51.4



# Anexo 6 Hoja de datos de motor paso a paso nema 17

## Quick Reference NEMA size 17 1.8° 2-phase stepper motor



### Notes and Warnings

Installation, configuration and maintenance must be carried out by qualified technicians only. You must have detailed information to be able to carry out this work.  
 • Unexpected dangers may be encountered when working with this product!  
 • Incorrect use may destroy this product and connected components!  
 For more information, go to [www.imshome.com](http://www.imshome.com)

### Specifications

1.5 Amp motors	Single length	Double length	Triple length
Part number	M-1713-1.5 • (1)	M-1715-1.5 • (2)	M-1719-1.5 • (3)
Holding torque	oz-in	32	80
	N-cm	23	42
Detent torque	oz-in	1.7	2.1
	N-cm	1.2	1.5
Rotor inertia	oz-in-sec <sup>2</sup>	0.000538	0.0008037
	kg-cm <sup>2</sup>	0.038	0.057
Weight	oz	7.4	8.1
	grams	210	230
Phase current	amps	1.5	1.5
Phase resistance	ohms	1.3	2.1
Phase inductance	mH	2.1	5.0

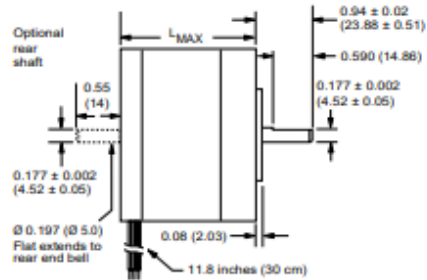
(1) Indicate S for single-shaft or D for double-shaft. Example M-1713-1.5S

### Wiring and Connections

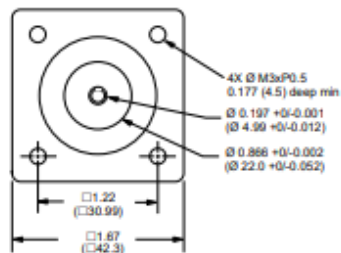
Signals and wire colors	
Phase A	Red
Phase A'	Blue
Phase B	Green
Phase B'	Black

### Mechanical Specifications

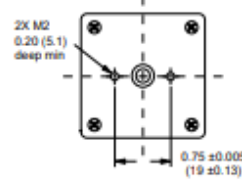
Dimensions in inches (mm)



### FRONT VIEW



### REAR VIEW (Reduced)



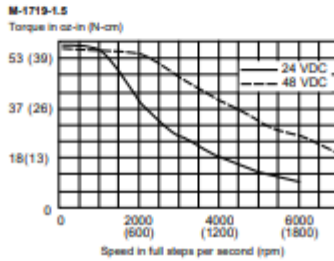
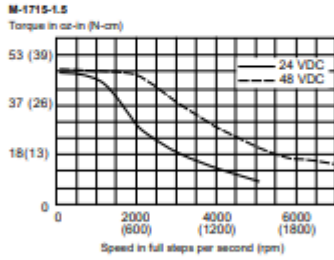
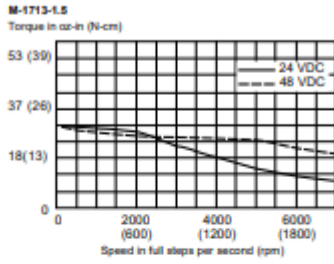
Motor stack length inches (mm)	Single	Double	Triple
LMAX	1.34 (34.0)	1.57 (40)	1.89 (48)

### Part Numbers

Example:	M - 1 7 1 3 - 1.5 S
Stepper motor frame size	M - 1 7 1 3 - 1.5 S
M-17 = NEMA 17 (1.7"/42 mm)	
Motor length	M - 1 7 1 3 - 1.5 S
13 - = single stack	
15 - = double stack	
19 - = triple stack	
Phase current	M - 1 7 1 3 - 1.5 S
1.5 = 1.5 Amps	
Shaft	M - 1 7 1 3 - 1.5 S
S = single, front shaft only	
D = double, front and rear shafts	
Optional optical encoder (1)	M - 1 7 1 3 - 1.5 E S 1 0 0
ES = Single-end	
ED = Differential	
Line count	
100, 200, 250, 400, 500 or 1000 (2)	

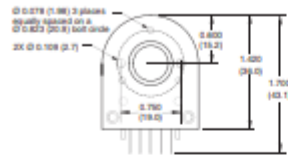
(1) An encoder replaces the shaft designator in the part number.  
 (2) All encoders have an index mark, except the 1000 line count version.

**Torque-speed performance**  
Measured at 1.5 Amps RMS



**Optical Encoder Option**

Dimensions in inches (mm)



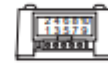
Connectivity single-end encoder



wire	function
1 Brown	Ground
2 Violet	Index
3 Blue	Channel A
4 Orange	+5 VDC input
5 Yellow	Channel B

optional interface cable available: ES-CABLE-2

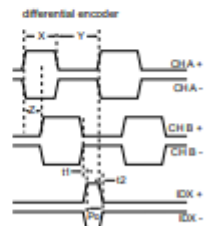
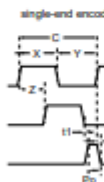
differential encoder



pin	function	pin	function
1	no connect	6	Channel A+
2	+5 VDC input	7	Channel B-
3	Ground	8	Channel B+
4	no connect	9	Index-
5	Channel A-	10	Index+

interface cable included

Timing



Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Units
Cycle error			3	5.5	%
Symmetry		130	180	230	°
Quadrature		40	90	140	°
Index pulse width	Po	60	90	120	µs
Index rise (after Ch A or B rise)	t1	-300	100	250	ns
Index fall (after Ch A or B fall)	t2	70	150	1000	ns

C One cycle: 360 electrical degrees (°e).  
 X/Y Symmetry: the measure of the relationship between X and Y, nominally 180°.  
 Z Quadrature: the phase lead or lag between channels A and B, nominally 90°.  
 Po Index pulse width, nominally 90 µs.  
 t1 Index rise time, nominally 100 ns.  
 t2 Index fall time, nominally 150 ns.  
 NOTE: Rotation is as viewed from the cover side of the encoder.

# Anexo 7 Hoja de datos de SNANSHI POWER SUPPLY modelo S-250-24



250W Single Output Switching Power Supply

**S-250** series



**Features :**

- AC input range selected by switch
- Protections: Short circuit / Overload / Over voltage
- Forced air cooling by built-in DC fan
- 100% full load burn-in test
- Fixed switching frequency at 60KHz
- Low cost
- High reliability
- 2 years warranty



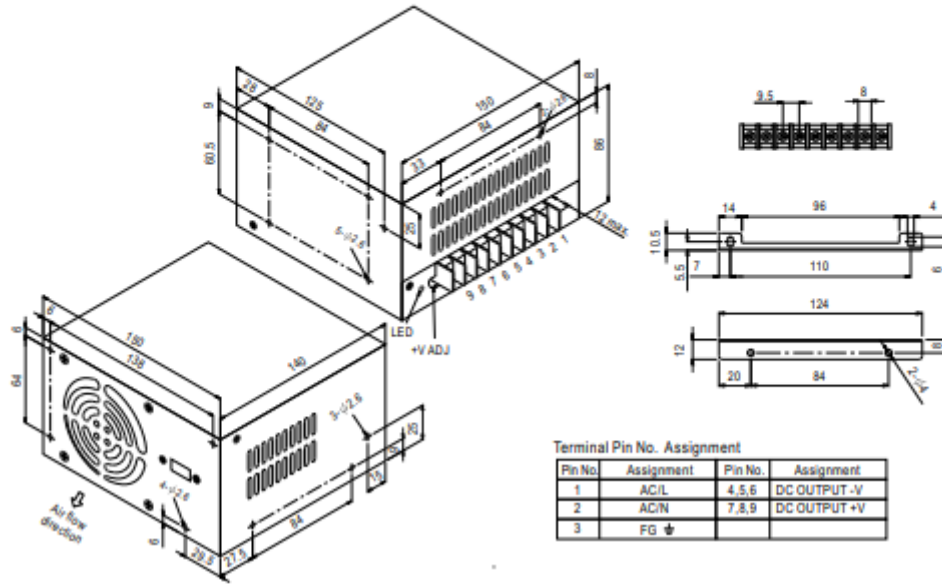
**SPECIFICATION**

MODEL	S-250-5	S-250-12	S-250-15	S-250-24	S-250-27	S-250-48	
OUTPUT	DC VOLTAGE	5V	12V	15V	24V	27V	48V
	RATED CURRENT	40A	18A	15A	10A	9A	5.2A
	CURRENT RANGE	0 - 40A	0 - 18A	0 - 15A	0 - 10A	0 - 9A	0 - 5.2A
	RATED POWER	200W	216W	225W	240W	243W	249.6W
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	80mVp-p	120mVp-p	120mVp-p	120mVp-p	150mVp-p	200mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	4.75 - 5.5V	10.8 - 13.2V	13.5 - 16.5V	21.5 - 26.4V	24.3 - 29.7V	43.2 - 52.8V
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±2.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	LINE REGULATION	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	LOAD REGULATION	±1.0%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	SETUP, RISE TIME	800ms, 50ms at full load					
HOLD TIME (Typ.)	19ms at full load						
INPUT	VOLTAGE RANGE	90 - 132VAC / 175 - 264VAC Selected by switch					248-370VDC
	FREQUENCY RANGE	47 - 63Hz					
	EFFICIENCY (Typ.)	74%	79%	80%	81.5%	82%	82%
	AC CURRENT (Typ.)	4.8A/115VAC		2.8A/230VAC			
	INRUSH CURRENT (Typ.)	COLD START 45A/230VAC					
LEAKAGE CURRENT	<2mA/ 240VAC						
PROTECTION	OVER LOAD	105 - 135% rated output power Protection type : Hiccup mode, recovers automatically after fault condition is removed					
	OVER VOLTAGE	5.75 - 6.75V	13.8 - 16.2V	17.25 - 20.25V	27.6 - 32.4V	31.05 - 36.45V	55.2 - 64.8V
ENVIRONMENT	WORKING TEMP.	-10 - +60°C (Refer to "Derating Curve")					
	WORKING HUMIDITY	20 - 90% RH non-condensing					
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-20 - +85°C, 10 - 95% RH					
	TEMP. COEFFICIENT	±0.03%/°C (0 - 50°C)					
	VIBRATION	10 - 500Hz, 2G 10min./1cycle, 60min. each along X, Y, Z axes					
SAFETY	SAFETY STANDARDS	UL60950-1 approved					
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:3KVAC		I/P-FG:1.5KVAC		O/P-FG:0.5KVAC	
	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG:100M Ohms / 500VDC / 25°C / 70% RH					
OTHERS	MTBF	238.9K hrs min. MIL-HDBK-217F (25°C)					
	DIMENSION	150*140*86mm (L*W*H)					
	PACKING	1.15Kg, 8pcs/10.2Kg/0.97CUFT					
NOTE	1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 230VAC input, rated load and 25°C of ambient temperature. 2. Ripple & noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uf & 47uf parallel capacitor. 3. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation.						

File Name: S-250-SPEC 2011-08-23

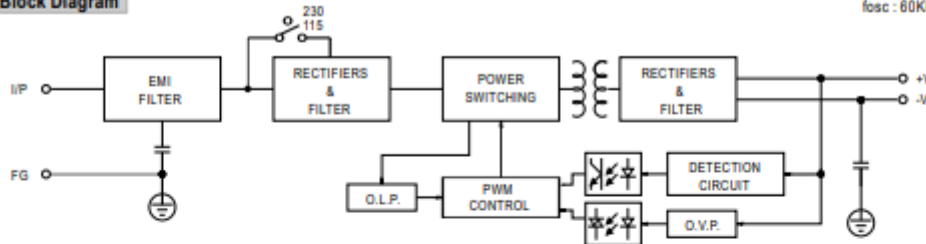
**Mechanical Specification**

Case No. 907C Unit:mm

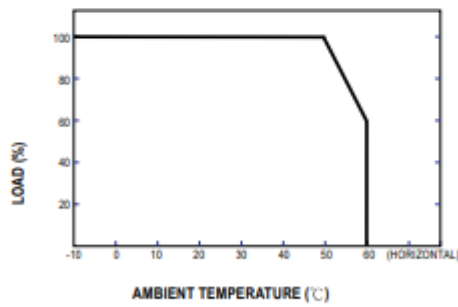


**Block Diagram**

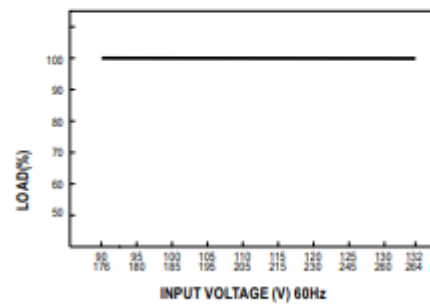
fosc : 60KHz



**Derating Curve**



**Static Characteristics**



## **Mouser Electronics**

Authorized Distributor

Click to View Pricing, Inventory, Delivery & Lifecycle Information:

### MEAN WELL:

[S-250-12](#) [S-250-15](#) [S-250-24](#) [S-250-27](#) [S-250-48](#) [S-250-5](#)