



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO  
INTERCAMBIADOR DE EFECTORES FINALES, ADAPTABLE A  
MÁQUINAS DE CONFIGURACIÓN CARTESIANA PARA CUMPLIR  
FUNCIONES DE IMPRESORA 3D, PLOTTER, GRABADOR LÁSER Y  
EXTRUSOR DE MATERIALES EXPERIMENTALES PARA LA  
EMPRESA FABCAD S.A– SAIS 3D**

**AUTOR: CANCHIGNIA SANCHEZ, MARCOS DANIEL**

**DIRECTOR: MSC. GORDÓN GARCÉS, ANDRÉS MARCELO**

**LATACUNGA**

**2019**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, "**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO INTERCAMBIADOR DE EFECTORES FINALES, ADAPTABLE A MÁQUINAS DE CONFIGURACIÓN CARTESIANA PARA CUMPLIR FUNCIONES DE IMPRESORA 3D, PLOTTER, GRABADOR LÁSER Y EXTRUSOR DE MATERIALES EXPERIMENTALES PARA LA EMPRESA FABCAD S.A-SAIS 3D**" fue realizado por el señor **CANCHIGNIA SANCHEZ, MARCOS DANIEL** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

**Latacunga, 12 de julio del 2019**

Firma:

Msc. Andrés Marcelo Gordón Garcés

C.C.: 180369880-0

**DIRECTOR**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, *CANCHIGNIA SANCHEZ, MARCOS DANIEL*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO INTERCAMBIADOR DE EFECTORES FINALES, ADAPTABLE A MÁQUINAS DE CONFIGURACIÓN CARTESIANA PARA CUMPLIR FUNCIONES DE IMPRESORA 3D, PLOTTER, GRABADOR LÁSER Y EXTRUSOR DE MATERIALES EXPERIMENTALES PARA LA EMPRESA ABCAD S.A – SAIS 3D* es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

**Latacunga, 12 de julio del 2019**

Firma:

**Canchignia Sanchez, Marcos Daniel**

C.C.: 050281212-6



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**AUTORIZACIÓN**

*Yo, **CANCHIGNIA SANCHEZ, MARCOS DANIEL**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO INTERCAMBIADOR DE EFECTORES FINALES, ADAPTABLE A MÁQUINAS DE CONFIGURACIÓN CARTESIANA PARA CUMPLIR FUNCIONES DE IMPRESORA 3D, PLOTTER, GRABADOR LÁSER Y EXTRUSOR DE MATERIALES EXPERIMENTALES PARA LA EMPRESA FABCAD S.A – SAIS 3D**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.*

**Latacunga, 12 de julio del 2019**

Firma:

**Canchignia Sanchez, Marcos Daniel**

C.C.: 050281212-6



## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado con todo mi cariño para mi familia; de manera especial a mis padres Marco y Julia; quienes han puesto toda su confianza para lograr un objetivo más en mi vida.

A mi novia Karen Palma por tu apoyo y alentó incondicional para completar este proceso de titulación.

A mis compañeros presentes y pasados de las instituciones laborales a las que me debo por sus palabras de ánimo, sus consejos e ideas que ahora son una realidad y me permiten disfrutar de este peculiar momento.

**Daniel Canchignia**

## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar un abierto agradecimiento, en primer lugar, a Dios por brindarme vida, salud y fortaleza; también hago extenso este reconocimiento a todos los maestros de mi educación superior, quienes me han dado las pautas para mi formación profesional; a cada uno de las personas que han estado pendientes de

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que hacen la empresa FABCAD S.A, por confiar en mí, abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de su establecimiento.

De manera especial agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga por el nivel de formación no solo profesional sino de carácter para enfrentar a la vida laboral, queridos profesores y maestros sus consejos son valiosos y serán aplicados.

**Daniel Canchignia**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### CARÁTULA

|                                  |      |
|----------------------------------|------|
| CERTIFICACIÓN .....              | i    |
| AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD ..... | ii   |
| AUTORIZACIÓN.....                | iii  |
| DEDICATORIA .....                | iv   |
| AGRADECIMIENTO .....             | v    |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS .....       | vi   |
| ÍNDICE DE TABLAS.....            | xii  |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....           | xv   |
| RESUMEN.....                     | xxiv |
| ABSTRACT .....                   | xxv  |

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| 1.1. Planteamiento del problema ..... | 1 |
| 1.2. Antecedentes.....                | 2 |
| 1.3. Justificación e importancia..... | 6 |
| 1.4. Alcance del proyecto .....       | 7 |
| 1.5. Objetivos .....                  | 8 |
| 1.5.1. Objetivo General .....         | 8 |
| 1.5.2. Objetivos Específicos .....    | 8 |
| 1.6. Hipótesis .....                  | 9 |

|   |   |
|---|---|
| 1.7. Variables de la investigación..... | 9 |
| 1.7.1. Variables Independientes.....    | 9 |
| 1.7.2. Variables Dependientes.....      | 9 |

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

|  |    |
|--|----|
| 2.1. Introducción al sistema CNC.....        | 10 |
| 2.1.1. ¿Cómo funciona una máquina CNC? ..... | 11 |
| a. Control de movimiento.....                | 11 |
| b. Programa CNC .....                        | 11 |
| 2.2. Componentes máquina CNC .....           | 13 |
| 2.2.1. Sistema mecánico y sensores.....      | 13 |
| a. Estructura .....                          | 14 |
| b. Sistema de desplazamiento.....            | 16 |
| c. Transmisión.....                          | 19 |
| d. Sensores.....                             | 21 |
| 2.2.2. Sistema eléctrico y electrónico.....  | 25 |
| a. Fuente de poder .....                     | 26 |
| b. Motores.....                              | 26 |
| c. Microcontrolador.....                     | 28 |
| d. Tarjeta CNC .....                         | 28 |
| e. Drivers.....                              | 29 |
| 2.2.3. Software y programación .....         | 30 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| a.     | Firmware placa de control.....                 | 31 |
| b.     | Diseño CAD.....                                | 32 |
| c.     | Software CNC.....                              | 33 |
| 2.3.   | Tecnologías máquinas herramientas CNC.....     | 34 |
| 2.3.1. | Impresora 3D.....                              | 34 |
| a.     | Tecnologías impresión 3D.....                  | 35 |
| 2.3.2. | Grabador láser.....                            | 41 |
| a.     | Tecnologías láser.....                         | 44 |
| 2.3.3. | Potter.....                                    | 47 |
| a.     | Tecnologías plotter.....                       | 47 |
| 2.3.4. | Extrusor de materiales de prueba.....          | 48 |
| a.     | Materiales más comunes extrusor de prueba..... | 48 |
| 2.4.   | Industria 4.0.....                             | 52 |

### **CAPÍTULO III**

#### **DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES**

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 3.1   | Identificación de las necesidades del cliente..... | 54 |
| 3.2   | Especificaciones del producto.....                 | 56 |
| 3.3   | Generación de la arquitectura del sistema.....     | 57 |
| 3.4   | Selección del concepto.....                        | 58 |
| 3.4.1 | Subsistema - Estructura.....                       | 59 |
| 3.4.2 | Subsistema - Motores.....                          | 61 |
| 3.4.3 | Subsistema - Eje X, Y, Z.....                      | 62 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| a.    | Sistema de movimiento eje Y.....                   | 62  |
| b.    | Torque requerido para motor eje Y .....            | 66  |
| c.    | Sistema de movimiento eje X.....                   | 69  |
| d.    | Torque requerido para motor eje X.....             | 73  |
| e.    | Sistema de movimiento eje Z.....                   | 75  |
| f.    | Torque requerido para motor eje Z .....            | 84  |
| 3.4.4 | Subsistema - Mesa de trabajo.....                  | 87  |
| 3.4.5 | Subsistema - Controladora CNC .....                | 90  |
| 3.4.6 | Subsistema - Montaje y conexión de actuadores..... | 93  |
| 3.4.7 | Subsistema – Actuadores.....                       | 100 |
| a.    | Impresora 3D.....                                  | 100 |
| b.    | Plotter .....                                      | 100 |
| c.    | Grabador láser .....                               | 100 |
| d.    | Extrusora de materiales de prueba .....            | 100 |
| 3.5   | Prueba de concepto.....                            | 101 |
| 3.6   | Arquitectura del producto.....                     | 103 |
| 3.7   | Diseño industrial.....                             | 103 |
| 3.8   | Diseño para el ambiente .....                      | 104 |
| 3.9   | Diseño para la manufactura.....                    | 105 |
| 3.10  | Modelado por computadora (Cad 3D).....             | 106 |

## **CAPÍTULO IV**

### **CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN**

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 4.1.   | Construcción de elementos.....                                 | 113 |
| 4.2.   | Instalación de componentes.....                                | 119 |
| 4.2.1. | Instalación Subsistema – Estructura.....                       | 119 |
| 4.2.2. | Instalación Subsistema – Motores.....                          | 121 |
| 4.2.3. | Instalación Subsistema - Eje X, Y, Z .....                     | 123 |
| 4.2.4. | Instalación Subsistema - Mesa de trabajo .....                 | 128 |
| 4.2.5. | Instalación Subsistema - Controladora CNC.....                 | 130 |
| 4.2.6. | Instalación subsistema - Montaje y conexión de actuadores..... | 136 |
| 4.2.7. | Instalación Subsistema – Actuadores .....                      | 138 |
| 4.2.8. | Instalación Subsistema - Energía eléctrica .....               | 145 |
| 4.3.   | Programación y software de control.....                        | 148 |
| 4.4.   | Comunicación software y hardware .....                         | 152 |
| 4.5.   | Configuraciones con los parámetros del proyecto.....           | 155 |
| 4.6.   | Diagrama electrónico y de control .....                        | 158 |
| 4.7.   | Operación de múltiples actuadores.....                         | 159 |
| 4.8.   | Control mediante app Android .....                             | 162 |

## **CAPÍTULO V**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS**

|      |                     |     |
|------|---------------------|-----|
| 5.1. | Precisión .....     | 169 |
| 5.2. | Repetibilidad ..... | 173 |

|       |   |            |
|-------|---|------------|
| 5.3.  | Tiempo de cambio de cabezal incluido cableado ..... | 177        |
| 5.4.  | Detección de cabezales.....                         | 181        |
| 5.5.  | Volumen útil de trabajo.....                        | 182        |
| 5.6.  | Funcionamiento de los actuadores.....               | 186        |
| 5.7.  | Espacio físico ocupado .....                        | 193        |
| 5.8.  | Costos de adquisición.....                          | 197        |
| 5.9.  | Validación de la Hipótesis.....                     | 197        |
| 5.10. | Estudio de mercados.....                            | 198        |
|       | <b>CONCLUSIONES.....</b>                            | <b>206</b> |
|       | <b>RECOMENDACIONES.....</b>                         | <b>209</b> |
|       | <b>FUTUROS TRABAJOS .....</b>                       | <b>211</b> |
|       | <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>             | <b>212</b> |
|       | <b>ANEXOS .....</b>                                 | <b>224</b> |



## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> <i>Códigos G y M más usados</i> .....                                | 12 |
| <b>Tabla 2.</b> <i>Software CAD populares</i> .....                                  | 33 |
| <b>Tabla 3.</b> <i>Software CNC popular</i> .....                                    | 34 |
| <b>Tabla 4.</b> <i>Necesidades del cliente - Impresora 3D</i> .....                  | 54 |
| <b>Tabla 5.</b> <i>Necesidades del cliente - Plotter</i> .....                       | 55 |
| <b>Tabla 6.</b> <i>Necesidades del cliente - Grabador láser</i> .....                | 55 |
| <b>Tabla 7.</b> <i>Necesidades del cliente - Extrusor materiales de prueba</i> ..... | 55 |
| <b>Tabla 8.</b> <i>Necesidades del cliente – Máquina en conjunto</i> .....           | 56 |
| <b>Tabla 9.</b> <i>Especificaciones del producto</i> .....                           | 56 |
| <b>Tabla 10.</b> <i>Descomposición subsistemas del producto</i> .....                | 58 |
| <b>Tabla 11.</b> <i>Selección componentes subsistema - Estructura</i> .....          | 59 |
| <b>Tabla 12.</b> <i>Selección componentes subsistema - Motores</i> .....             | 61 |
| <b>Tabla 13.</b> <i>Guías lineales comerciales THK</i> .....                         | 70 |
| <b>Tabla 14.</b> <i>Longitudes comerciales guías lineales</i> .....                  | 72 |
| <b>Tabla 15.</b> <i>Motores Nema 17 comerciales</i> .....                            | 74 |
| <b>Tabla 16.</b> <i>Diámetros husillos de bolas paso 4mm</i> .....                   | 77 |
| <b>Tabla 17.</b> <i>Relación carga axial aplicada y distancia de recorrido</i> ..... | 81 |
| <b>Tabla 18.</b> <i>Nema 17, ángulo 1.8 °, longitud 42 mm</i> .....                  | 84 |
| <b>Tabla 19.</b> <i>Nema 23, ángulo 1.8 °, longitud 57 mm</i> .....                  | 85 |
| <b>Tabla 20.</b> <i>Nema 34, ángulo 1.8 °, longitud 86 mm</i> .....                  | 86 |
| <b>Tabla 21.</b> <i>Selección componentes subsistema - Controladora CNC</i> .....    | 92 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 22.</b> <i>Selección montaje de cabezales</i> .....                                   | 95  |
| <b>Tabla 23.</b> <i>Distribución pines requeridos</i> .....                                    | 96  |
| <b>Tabla 24.</b> <i>Selección conexión cabezales</i> .....                                     | 98  |
| <b>Tabla 25.</b> <i>Parámetros fabricación 3D componentes proyecto</i> .....                   | 115 |
| <b>Tabla 26.</b> <i>Elementos requeridos subsistema motores</i> .....                          | 123 |
| <b>Tabla 27.</b> <i>Elementos requeridos subsistema Eje XYZ</i> .....                          | 128 |
| <b>Tabla 28.</b> <i>Elementos requeridos subsistema mesa de trabajo</i> .....                  | 129 |
| <b>Tabla 29.</b> <i>Elementos requeridos subsistema placa controladora</i> .....               | 135 |
| <b>Tabla 30.</b> <i>Elementos requeridos subsistema montaje y conexión de actuadores</i> ..... | 137 |
| <b>Tabla 31.</b> <i>Elementos requeridos subsistema actuadores</i> .....                       | 145 |
| <b>Tabla 32.</b> <i>Elementos requeridos subsistema energía eléctrica</i> .....                | 147 |
| <b>Tabla 33.</b> <i>Descripción pines asignados a cabezales</i> .....                          | 159 |
| <b>Tabla 34.</b> <i>Pruebas medición rectángulo corte láser</i> .....                          | 170 |
| <b>Tabla 35.</b> <i>Pruebas de repetibilidad</i> .....   | 173 |
| <b>Tabla 36.</b> <i>Repetibilidad máquinas comerciales</i> .....                               | 173 |
| <b>Tabla 37.</b> <i>Tiempo de cambio de cabezal</i> .....                                      | 178 |
| <b>Tabla 38.</b> <i>Comparación tiempo cambio cabezal</i> .....                                | 178 |
| <b>Tabla 39.</b> <i>Prueba detección cabezal</i> .....   | 181 |
| <b>Tabla 40.</b> <i>Área útil cabezal de impresora 3D</i> .....                                | 183 |
| <b>Tabla 41.</b> <i>Área útil cabezal láser</i> .....  | 184 |
| <b>Tabla 42.</b> <i>Área útil cabezal plotter</i> .....  | 184 |
| <b>Tabla 43.</b> <i>Área útil cabezal extrusor experimental</i> .....                          | 184 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 44.</b> <i>Volumen de trabajo en máquinas comerciales</i> ..... | 185 |
| <b>Tabla 45.</b> <i>Área, peso y consumo eléctrico</i> .....             | 193 |
| <b>Tabla 46.</b> <i>Área, peso y consumo eléctrico accesorios</i> .....  | 194 |
| <b>Tabla 47.</b> <i>Resumen comparación de áreas</i> .....               | 194 |
| <b>Tabla 48.</b> <i>Resumen comparación de consumo eléctrico</i> .....   | 196 |
| <b>Tabla 49.</b> <i>Resumen comparación peso</i> .....                   | 196 |
| <b>Tabla 50.</b> <i>Resumen comparación precio</i> .....                 | 197 |
| <b>Tabla 51.</b> <i>Resumen validación de la hipótesis</i> .....         | 198 |
| <b>Tabla 52.</b> <i>Resultados encuestas aplicadas</i> .....             | 201 |
| <b>Tabla 53.</b> <i>Perfil sociodemográfico</i> .....                    | 202 |
| <b>Tabla 54.</b> <i>Materiales utilizados proyecto</i> .....             | 204 |
| <b>Tabla 55.</b> <i>Gastos Extras</i> .....                              | 205 |
| <b>Tabla 56.</b> <i>Precio Venta Kaly</i> .....                          | 205 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> <i>Funcionalidades FORMAKER</i> .....          | 3  |
| <b>Figura 2.</b> <i>FORMAKET</i> .....                          | 4  |
| <b>Figura 3.</b> <i>Funcionalidades de TRiBOT</i> .....         | 4  |
| <b>Figura 4.</b> <i>TRiBOT</i> .....                            | 5  |
| <b>Figura 5.</b> <i>Funcionalidades Stepcraft 2</i> .....       | 5  |
| <b>Figura 6.</b> <i>Stepcraft 2</i> .....                       | 6  |
| <b>Figura 7.</b> <i>Diagrama de bloques máquina CNC</i> .....   | 10 |
| <b>Figura 8.</b> <i>Estructura línea de comando CNC</i> .....   | 13 |
| <b>Figura 9.</b> <i>Estructura no rígida</i> .....              | 14 |
| <b>Figura 10.</b> <i>Estructura semi rígida</i> .....           | 15 |
| <b>Figura 11.</b> <i>Estructura rígida</i> .....                | 16 |
| <b>Figura 12.</b> <i>Eje lineal</i> .....                       | 17 |
| <b>Figura 13.</b> <i>Barras soportadas</i> .....                | 17 |
| <b>Figura 14.</b> <i>Perfil en V</i> .....                      | 18 |
| <b>Figura 15.</b> <i>Guía en V</i> .....                        | 18 |
| <b>Figura 16.</b> <i>Guía lineal de precisión</i> .....         | 19 |
| <b>Figura 17.</b> <i>Husillo de bolas</i> .....                 | 19 |
| <b>Figura 18.</b> <i>Cremallera y piñón</i> .....               | 20 |
| <b>Figura 19.</b> <i>Correa dentada</i> .....                   | 20 |
| <b>Figura 20.</b> <i>Tornillo y tuerca rosca cuadrada</i> ..... | 21 |
| <b>Figura 21.</b> <i>Sensores tipo potenciómetro</i> .....      | 23 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 22.</b> <i>Funcionamiento sensor capacitivo</i> .....             | 23 |
| <b>Figura 23.</b> <i>Funcionamiento sensor inductivo</i> .....              | 24 |
| <b>Figura 24.</b> <i>Fuente de poder DC</i> .....                           | 26 |
| <b>Figura 25.</b> <i>Esquema motor paso a paso</i> .....                    | 27 |
| <b>Figura 26.</b> <i>Servomotores</i> .....                                 | 27 |
| <b>Figura 27.</b> <i>Estructura microcontrolador</i> .....                  | 28 |
| <b>Figura 28.</b> <i>Controlador CNC</i> .....                              | 29 |
| <b>Figura 29.</b> <i>Drivers para motores CNC</i> .....                     | 29 |
| <b>Figura 30.</b> <i>Etapas de software</i> .....                           | 30 |
| <b>Figura 31.</b> <i>Charles Hull</i> .....                                 | 35 |
| <b>Figura 32.</b> <i>Estereolitografía (SLA)</i> .....                      | 36 |
| <b>Figura 33.</b> <i>Sinterización selectiva por láser (SLS)</i> .....      | 37 |
| <b>Figura 34.</b> <i>Fabricación por filamento fundido (FFF)</i> .....      | 38 |
| <b>Figura 35.</b> <i>Técnica de extrusión directa</i> .....                 | 39 |
| <b>Figura 36.</b> <i>Técnica de extrusión bowden</i> .....                  | 41 |
| <b>Figura 37.</b> <i>Efecto de alta focalización</i> .....                  | 42 |
| <b>Figura 38.</b> <i>Efecto de alta coherencia y baja divergencia</i> ..... | 43 |
| <b>Figura 39.</b> <i>Componentes del láser</i> .....                        | 44 |
| <b>Figura 40.</b> <i>Impresión 3D chocolate</i> .....                       | 49 |
| <b>Figura 41.</b> <i>Azúcar impresa en 3D</i> .....                         | 49 |
| <b>Figura 42.</b> <i>Rosa elaborada en pasta</i> .....                      | 50 |
| <b>Figura 43.</b> <i>Impresión FabClay</i> .....                            | 51 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 44.</b> <i>Impresión con la D-Shape</i> .....                      | 51 |
| <b>Figura 45.</b> <i>Pieza final en mármol</i> .....                         | 52 |
| <b>Figura 46.</b> <i>Kevin Ashton - Entrue World 2015</i> .....              | 53 |
| <b>Figura 47.</b> <i>Generación del concepto</i> .....                       | 57 |
| <b>Figura 48.</b> <i>Estructura chapa metálica FORZA 4</i> .....             | 60 |
| <b>Figura 49.</b> <i>Marco comercial máquina láser CO2</i> .....             | 63 |
| <b>Figura 50.</b> <i>Diagrama fuerza aplicada en la guía del eje Y</i> ..... | 64 |
| <b>Figura 51.</b> <i>Diagrama momento flector en la guía eje Y</i> .....     | 64 |
| <b>Figura 52.</b> <i>Rodamientos lineales Estándar, R0650</i> .....          | 66 |
| <b>Figura 53.</b> <i>Motor nema 17 para eje Y</i> .....                      | 68 |
| <b>Figura 54.</b> <i>Correa dentada GT2</i> .....                            | 69 |
| <b>Figura 55.</b> <i>Guía lineal para eje X</i> .....                        | 70 |
| <b>Figura 56.</b> <i>Diagrama dimensiones guía SRS12M</i> .....              | 70 |
| <b>Figura 57.</b> <i>Diagrama carga aplicada al eje X</i> .....              | 71 |
| <b>Figura 58.</b> <i>Diagrama funcionamiento del eje Z</i> .....             | 75 |
| <b>Figura 59.</b> <i>SFU/RM 1204 husillo de bolas</i> .....                  | 77 |
| <b>Figura 60.</b> <i>Motor 86BHH114-500A-35</i> .....                        | 86 |
| <b>Figura 61.</b> <i>Dimensiones XY mesa de trabajo</i> .....                | 87 |
| <b>Figura 62.</b> <i>Altura Z mesa de trabajo</i> .....                      | 87 |
| <b>Figura 63.</b> <i>Medición del peso - mesa de trabajo</i> .....           | 87 |
| <b>Figura 64.</b> <i>Mesa de trabajo acero inoxidable</i> .....              | 88 |
| <b>Figura 65.</b> <i>Volumen máximo de trabajo</i> .....                     | 89 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 66.</b> <i>Propiedades físicas estimadas</i> .....              | 89  |
| <b>Figura 67.</b> <i>Tarjeta Shield Ramps v1.6</i> .....                  | 90  |
| <b>Figura 68.</b> <i>Tarjeta Rambo v1.4</i> .....                         | 91  |
| <b>Figura 69.</b> <i>Tarjeta GT2560 rev A+</i> .....                      | 92  |
| <b>Figura 70.</b> <i>Pines con resorte</i> .....                          | 97  |
| <b>Figura 71.</b> <i>Conector polarizado con seguro</i> .....             | 97  |
| <b>Figura 72.</b> <i>Cinta tipo BUS</i> .....                             | 98  |
| <b>Figura 73.</b> <i>Conector WGCD 16 pines</i> .....                     | 99  |
| <b>Figura 74.</b> <i>Grado de afinidad con FABCAD S.A</i> .....           | 101 |
| <b>Figura 75.</b> <i>Arquitectura tipo bus</i> .....                      | 103 |
| <b>Figura 76.</b> <i>Área de trabajo XY</i> .....                         | 107 |
| <b>Figura 77.</b> <i>Área de trabajo Z</i> .....                          | 107 |
| <b>Figura 78.</b> <i>Mesa de trabajo cara lisa</i> .....                  | 107 |
| <b>Figura 79.</b> <i>Mesa de trabajo tipo panal de abeja</i> .....        | 108 |
| <b>Figura 80.</b> <i>Propuesta cabezal impresora 3D</i> .....             | 108 |
| <b>Figura 81.</b> <i>Propuesta cabezal láser</i> .....                    | 109 |
| <b>Figura 82.</b> <i>Propuesta cabezal Plotter</i> .....                  | 110 |
| <b>Figura 83.</b> <i>Propuesta cabezal extrusor de prueba</i> .....       | 111 |
| <b>Figura 84.</b> <i>Propuesta acople rápido</i> .....                    | 112 |
| <b>Figura 85.</b> <i>Exportación a formato .stl</i> .....                 | 113 |
| <b>Figura 86.</b> <i>generación de triángulos para la geometría</i> ..... | 114 |
| <b>Figura 87.</b> <i>Importación de pieza a software Slicer</i> .....     | 114 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 88.</b> <i>Visualización del rebanado o slicing</i> ..... | 115 |
| <b>Figura 89.</b> <i>Contenido archivo .gcode</i> .....             | 116 |
| <b>Figura 90.</b> <i>Impresión 3D Anet E10</i> .....                | 116 |
| <b>Figura 91.</b> <i>Lámina para corte láser</i> .....              | 117 |
| <b>Figura 92.</b> <i>Preparación archivo corte láser</i> .....      | 118 |
| <b>Figura 93.</b> <i>Corte láser por CO2</i> .....                  | 118 |
| <b>Figura 94.</b> <i>Piezas cortadas acrílico 4mm</i> .....         | 119 |
| <b>Figura 95.</b> <i>Estructura Forza 4</i> .....                   | 120 |
| <b>Figura 96.</b> <i>Desmontaje componentes antiguos</i> .....      | 120 |
| <b>Figura 97.</b> <i>Ensamble motor eje Y</i> .....                 | 121 |
| <b>Figura 98.</b> <i>Ensamble motor eje X</i> .....                 | 122 |
| <b>Figura 99.</b> <i>Ensamble motor eje z</i> .....                 | 122 |
| <b>Figura 100.</b> <i>Ensamble movimiento eje X</i> .....           | 123 |
| <b>Figura 101.</b> <i>ensamble movimiento eje Y</i> .....           | 124 |
| <b>Figura 102.</b> <i>Ensamble tensor de polea</i> .....            | 124 |
| <b>Figura 103.</b> <i>Ensamble husillo de bolas</i> .....           | 125 |
| <b>Figura 104.</b> <i>Ensamble husillo de bolas</i> .....           | 125 |
| <b>Figura 105.</b> <i>Sujeción inferior</i> .....                   | 126 |
| <b>Figura 106.</b> <i>Sujeción superior</i> .....                   | 126 |
| <b>Figura 107.</b> <i>Ensamble final eje Z</i> .....                | 126 |
| <b>Figura 108.</b> <i>Construcción tensor banda eje z</i> .....     | 127 |
| <b>Figura 109.</b> <i>Circuito movimiento eje Z</i> .....           | 127 |



|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 110.</b> <i>Ensamble mesa sobre pletina</i> .....                | 129 |
| <b>Figura 111.</b> <i>Mesa de trabajo dos caras</i> .....                  | 129 |
| <b>Figura 112.</b> <i>Tarjeta empacada GT2560 rev A+</i> .....             | 130 |
| <b>Figura 113.</b> <i>Ensamble de elementos tarjeta de control</i> .....   | 131 |
| <b>Figura 114.</b> <i>Drivers 2DM556</i> .....                             | 131 |
| <b>Figura 115.</b> <i>Modificación conectores finales de carrera</i> ..... | 132 |
| <b>Figura 116.</b> <i>Modificación placa</i> .....                         | 132 |
| <b>Figura 117.</b> <i>Ensamble LCD y finales de carrera</i> .....          | 133 |
| <b>Figura 118.</b> <i>Diseño de placas electrónicas</i> .....              | 133 |
| <b>Figura 119.</b> <i>Fabricación PCB por láser CO2</i> .....              | 134 |
| <b>Figura 120.</b> <i>Ataque ácido nítrico a PCB de cobre</i> .....        | 134 |
| <b>Figura 121.</b> <i>PCB drivers terminados</i> .....                     | 135 |
| <b>Figura 122.</b> <i>Base universal de actuadores</i> .....               | 136 |
| <b>Figura 123.</b> <i>Acople universal</i> .....                           | 136 |
| <b>Figura 124.</b> <i>Cableado al conector universal</i> .....             | 137 |
| <b>Figura 125.</b> <i>Pines de conexión</i> .....                          | 137 |
| <b>Figura 126.</b> <i>Ensamble impresora 3D Vista1</i> .....               | 138 |
| <b>Figura 127.</b> <i>Ensamble impresora 3D Vista2</i> .....               | 138 |
| <b>Figura 128.</b> <i>Acondicionamiento para extrusor</i> .....            | 139 |
| <b>Figura 129.</b> <i>Ensamblaje extrusor tipo bowden</i> .....            | 139 |
| <b>Figura 130.</b> <i>Ensamblaje motor para extrusor</i> .....             | 140 |
| <b>Figura 131.</b> <i>Diseño CAD cabezal impresora 3D</i> .....            | 140 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 132.</b> <i>Ensamblaje cabezal impresora 3D</i> .....        | 140 |
| <b>Figura 133.</b> <i>Ensamble completo impresora 3D vista 1</i> ..... | 141 |
| <b>Figura 134.</b> <i>Ensamble completo impresora 3D vista 2</i> ..... | 141 |
| <b>Figura 135.</b> <i>Ensamblaje extrusor</i> .....                    | 142 |
| <b>Figura 136.</b> <i>Ensamble cabezal grabador láser</i> .....        | 142 |
| <b>Figura 137.</b> <i>Tubo CO2 50W</i> .....                           | 143 |
| <b>Figura 138.</b> <i>Ensamble tubo CO2</i> .....                      | 143 |
| <b>Figura 139.</b> <i>Alineación tubo láser</i> .....                  | 143 |
| <b>Figura 140.</b> <i>Ensamble cabezal plotter</i> .....               | 144 |
| <b>Figura 141.</b> <i>Cabezales ensamblados</i> .....                  | 144 |
| <b>Figura 142.</b> <i>Cableado por cadena flexible</i> .....           | 145 |
| <b>Figura 143.</b> <i>Extremo de los actuadores</i> .....              | 146 |
| <b>Figura 144.</b> <i>Ensamble cadena flexible</i> .....               | 146 |
| <b>Figura 145.</b> <i>Ensamble fuentes corriente continua</i> .....    | 146 |
| <b>Figura 146.</b> <i>Ensamble fuente tubo láser</i> .....             | 147 |
| <b>Figura 147.</b> <i>Cableado fuente láser</i> .....                  | 147 |
| <b>Figura 148.</b> <i>Inicio MatterControl</i> .....                   | 152 |
| <b>Figura 149.</b> <i>Creación de nueva impresora</i> .....            | 153 |
| <b>Figura 150.</b> <i>Pestaña Printer Setup – Make</i> .....           | 153 |
| <b>Figura 151.</b> <i>Pestaña Printer Setup – Modelo /Nombre</i> ..... | 154 |
| <b>Figura 152.</b> <i>Comunicación serial</i> .....                    | 154 |
| <b>Figura 153.</b> <i>Selección de puerto serial</i> .....             | 155 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 154.</b> <i>Pestaña general</i> .....                          | 155 |
| <b>Figura 155.</b> <i>Características parte1</i> .....                   | 156 |
| <b>Figura 156.</b> <i>Características parte2</i> .....                   | 156 |
| <b>Figura 157.</b> <i>Características código G</i> .....                 | 157 |
| <b>Figura 158.</b> <i>Diagrama eléctrico y de control</i> .....          | 158 |
| <b>Figura 159.</b> <i>Distribución de pines</i> .....                    | 159 |
| <b>Figura 162.</b> <i>Pines impresora 3D</i> .....                       | 160 |
| <b>Figura 161.</b> <i>Pines láser</i> .....                              | 161 |
| <b>Figura 162.</b> <i>Pines plotter</i> .....                            | 161 |
| <b>Figura 163.</b> <i>Pines extrusor materiales de prueba</i> .....      | 161 |
| <b>Figura 164.</b> <i>MatterControl APP</i> .....                        | 162 |
| <b>Figura 165.</b> <i>Conectividad Repetier Informer</i> .....           | 163 |
| <b>Figura 166.</b> <i>Pantalla principal APP</i> .....                   | 164 |
| <b>Figura 167.</b> <i>Pestaña configuración</i> .....                    | 164 |
| <b>Figura 168.</b> <i>Creación nuevo grupo</i> .....                     | 165 |
| <b>Figura 169.</b> <i>Generación de ID</i> .....                         | 165 |
| <b>Figura 170.</b> <i>Aplicación de escritorio Repetier – Host</i> ..... | 166 |
| <b>Figura 171.</b> <i>Pestaña Push – Messages</i> .....                  | 166 |
| <b>Figura 172.</b> <i>Datos de conexión aplicaciones</i> .....           | 167 |
| <b>Figura 173.</b> <i>Selección de eventos para mensajes</i> .....       | 167 |
| <b>Figura 174.</b> <i>Mensaje push enviado</i> .....                     | 168 |
| <b>Figura 175.</b> <i>Recepción de push – messages</i> .....             | 168 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 176.</b> <i>Prueba precisión1</i> .....                          | 169 |
| <b>Figura 177.</b> <i>Ubicación punto de acción cabezales eje XY</i> ..... | 183 |
| <b>Figura 178.</b> <i>Ubicación punto de acción cabezal eje Z</i> .....    | 183 |
| <b>Figura 179.</b> <i>Resultados volumen de trabajo</i> .....              | 185 |
| <b>Figura 180.</b> <i>Rebanado coliseo romano</i> .....                    | 186 |
| <b>Figura 181.</b> <i>Impresión coliseo romano</i> .....                   | 186 |
| <b>Figura 182.</b> <i>Pruebas impresiones 3D 1</i> .....                   | 187 |
| <b>Figura 183.</b> <i>Pruebas impresiones 3D 2</i> .....                   | 187 |
| <b>Figura 184.</b> <i>Fabricación PCB técnica grabado láser</i> .....      | 188 |
| <b>Figura 185.</b> <i>Placa PCB terminada</i> .....                        | 188 |
| <b>Figura 186.</b> <i>Pruebas de corte y grabado láser</i> .....           | 189 |
| <b>Figura 187.</b> <i>Trazo esfera longitudinal y transversal</i> .....    | 189 |
| <b>Figura 188.</b> <i>Trazo técnica lineal ondulatorias</i> .....          | 190 |
| <b>Figura 189.</b> <i>Trazos para pruebas de velocidades</i> .....         | 190 |
| <b>Figura 190.</b> <i>Trazo varios colores diploma</i> .....               | 191 |
| <b>Figura 191.</b> <i>Pesaje de chocolate</i> .....                        | 191 |
| <b>Figura 192.</b> <i>Impresión en chocolate</i> .....                     | 192 |
| <b>Figura 193.</b> <i>Impresión chocolate</i> .....                        | 192 |
| <b>Figura 194.</b> <i>Mallado 5x5</i> .....                                | 193 |
| <b>Figura 195.</b> <i>Análisis de espacio físico</i> .....                 | 195 |
| <b>Figura 196.</b> <i>Cadena de distribución</i> .....                     | 205 |

## RESUMEN

El presente trabajo muestra el diseño e implementación de un mecanismo intercambiador de efectores finales en una máquina CNC de configuración cartesiana con funciones de (impresora 3D, plotter de trazo, grabador láser por CO2 y extrusor de materiales experimentales), estas funciones reutilizan los elementos mecánicos, mientras que la electrónica proporciona características individuales a cada uno de las tecnologías, el cambio entre cabezales se realiza en pocos segundos gracias a un sistema de acople rápido acompañado de un sistema de cableado sencillo pensado para que el usuario final no tenga complicaciones. Como primer paso, se investiga la mecánica de las máquinas CNC y se determina los requerimientos de las tecnologías a utilizar. Se aplica la teoría del diseño y desarrollo de productos en la creación de un concepto funcional. La selección y validación de componentes se realiza con cálculos matemáticos y con matriz de ponderaciones. El control de motores, finales de carrera, sensores de temperatura, señales de activación, entre otros se centraliza a una sola tarjeta de control que tiene en su núcleo un firmware de distribución libre que es modificado para aceptar las funciones de los cabezales. Se muestra la generación de los archivos en códigos G que necesita la máquina y la forma de enviarlos para ser ejecutados. Finalmente se realizan pruebas con cada uno de los cabezales y se determina la validación de la hipótesis planteada en el proyecto.

### **PALABRAS CLAVE:**

- CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO.
- CODIGOS G.
- MÁQUINA HERRAMIENTA.

## ABSTRACT

The present work shows the design and implementation of a final effector interchange mechanism in a CNC machine with cartesian configuration with functions of (3D printer, plotter, CO2 laser engraver and extruder of experimental materials), these functions reuse the mechanical elements, while electronics provide individual characteristics to each of the technologies, the exchange of heads is done in a few seconds thanks to a quick coupling system accompanied by a simple wiring system designed so that the end-user has no complications. As a first step, the mechanics of CNC machines are investigated and the requirements of the technologies to be used are determined. The theory of Design and product development is applied to the creation of a functional concept. The selection and validation of components are done with mathematical calculations and a matrix of weights. The control of motors, limit switches, temperature sensors, activation signals, among others, is centralized to a single computerized numerical control card that has a free distribution firmware in its core that is modified to accept the functions of the heads. It shows the generation of the files in G codes that the machine needs and the way to send them to be executed. Finally, tests are carried out with each of the heads and the validation of the hypothesis proposed in the project.

## KEYWORDS

- COMPUTERIZED NUMERIC CONTROL.
- G-CODE.
- MACHINE TOOL

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Planteamiento del problema

A partir del siglo XVIII con la revolución industrial se presenta el nacimiento de la manufactura y producción en masa. Para el siglo XXI se presenta nuevas tendencias de reducción de costos mediante innovaciones, se habla de industria 4.0 que comprende mayor nivel de automatización a través del uso de la electrónica y la conectividad de los equipos a la web.

Según (Yelitza Izalla Yáñez, 2015) “Inversiones en infraestructura y empresas de manufactura han tenido la responsabilidad de levantar países de la pobreza e impulsarlos a ser potencias mundiales y jugadores importantes en la economía global.”

La problemática se basa en que la manufactura dentro del país no presenta una alternativa que integre diversos procesos en una sola máquina; Causando que la inversión y adquisición de aparatos que trabajan por separado reflejen costos altos de adquisición, importación, mantenimiento, consumo eléctrico e incluso movilización y almacenamiento de espacio físico.

Así mismo la creación de prototipos en máquinas con una sola función incrementan el tiempo de producción debido al traslado del material entre equipos y sitios distintos.

Por otra parte, el uso de software privativo contempla la adquisición de licencias que generalmente no vienen incluidas con la máquina lo que incrementa valores de compra.

En cuanto a la supervisión, los procesos son realizados manualmente, esto implica la presencia de un operador en todo momento como parte del control de calidad y seguridad del proceso.

Finalmente, el limitado acceso a maquinaria CNC en el país para la creación de proyectos universitarios, personales, privados y comerciales reducen la investigación e innovación.

## **1.2. Antecedentes**

Según (David L.P, 2013) la historia se remonta a 1818 con el norteamericano Eli Whitney, quien buscando agilizar la construcción de fusiles en Connecticut con la fabricación de la primera fresadora. La noción del control numérico por computadora surge en la década de 1940 con el inventor norteamericano John T. Parsons quien junto a su empleado Frank L. Stulen implementaron un sistema de referencia para definir las superficies del contorno de las hélices de varias configuraciones de un helicóptero. (MCNC, 2014)

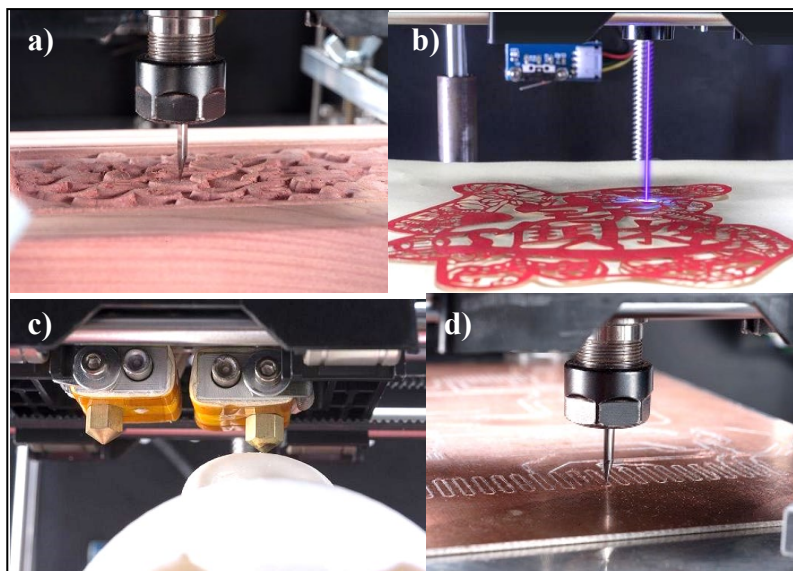
Los equipos de corte láser proceden del año de 1965, al utilizar por primera vez una máquina diseñada por la compañía estadounidense, Western Electric Engineering Research Center para perforar los troqueles de los diamantes. La eficacia de la tecnología de corte láser llevó a los técnicos a adecuar láser por CO<sub>2</sub> para poder cortar materiales no metálicos (SIDEKO, 2015). Para (Ricardo Horcajada, 2015), el control numérico por computador tiene aplicación en el arte a través del dibujo, de esta forma se puede realizar trazos artísticos hasta planos complejos a precisión.

La aplicación más novedosa en la actualidad, pero no tan nueva es la impresora 3D la cual se remonta a 1976 con Charles Hull quien inventa la estereolitografía, para el año 1986 Hull patenta su invento y crea la empresa 3D System. Para el año 2009 sale al Mercado la primera impresora 3D comercializada en forma de kit (Roman Ramirez Israel, 2017).



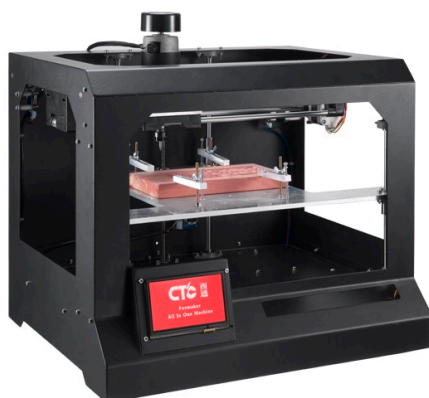
**Estudios científicos realizados sobre el tema:**

a. “FORMAKER” de la empresa China Zhuhai CTC Electronic Co., LTD, dispositivo que incorpora cuatro funcionalidades en una sola máquina; Inicia en la plataforma de crowdfunding Kickstarter (Zhuhai CTC Electronic, 2015) en busca de financiamiento desde el 10 de agosto de 2015 al 9 de septiembre de 2015. Como resultados se menciona la recaudación de 42.275 USD de 50.000 USD estimados con un total de 56 patrocinadores divididos en cuatro grupos por la cantidad aportada con el envío gratuito a cualquier parte del mundo a partir de noviembre de ese mismo año. Para los contribuidores de menos de 250 USD reciben el kit básico láser a los siguientes grupos aumenta el número de módulos y herramientas, el cuarto grupo con aporte mayor de 999 USD son acreedores del kit con todas las funcionalidades y herramientas. La Figura 1 muestra las funcionalidades de FORMAKER: a) Fresadora CNC, b) Grabador Láser, c) Impresora 3-D, d) Grabado PCB.



**Figura 1.** Funcionalidades FORMAKER

Fuente: (Zhuhai CTC Electronic, 2015)



**Figura 2.** FORMAKET

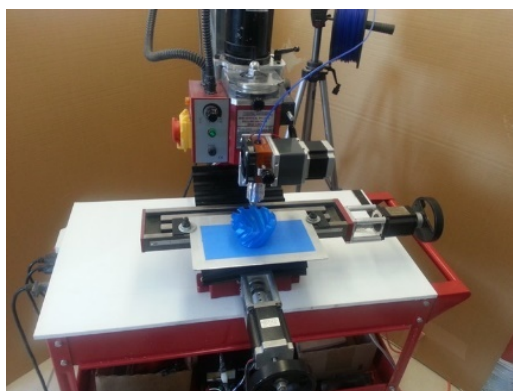
Fuente: (Zhuhai CTC Electronic, 2015)

**b.** “TRiBOT” de la empresa Luminar, máquina herramienta que incluye tres funcionalidades en una sola, el proyecto es publicado en Kickstarter (Luminar Products, 2014) en busca de patrocinio, logra la recolección de 25.444 USD de la meta de 30.000 USD. Entre las principales características presenta una estructura de hierro de 59 Kg, área de trabajo de 28 x 12.7 x 28 cm, uso de software no privativo Linux OS, Linux CNC, MeshCAM, Slic3r. De los 41 patrocinadores tan solo 5 recibirán el kit con las tres funcionalidades y los envíos son tan solo dentro de Estados Unidos de América. En la Figura 3 se muestra las tres funcionalidades de TRiBOT: a) Impresora 3D, b) Fresadora CNC, c) Inyección automática de moldes.



**Figura 3.** Funcionalidades de TRiBOT

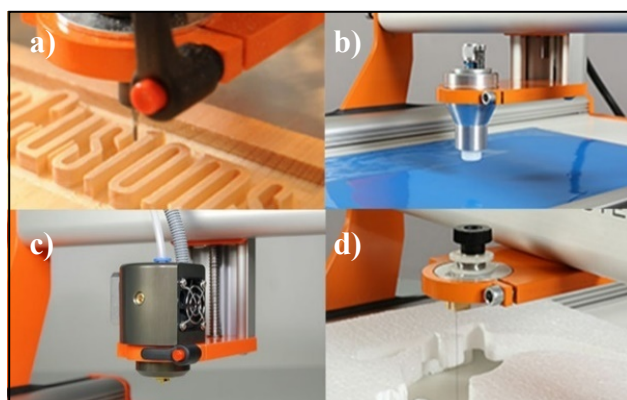
Fuente: (Luminar Products, 2014)



**Figura 4.** TRiBOT

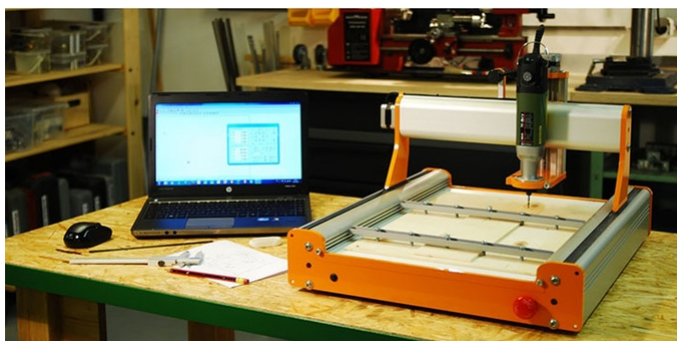
Fuente: (Luminar Products, 2014)

c. “STEPCRAFT 2” de la empresa Stepcraft Inc., máquina para múltiples aplicaciones. El proyecto es publicado en Kickstarter desde el 23 de marzo al 22 de abril del 2015 en busca de patrocinio, logra la recolección de 510.497 USD de la meta de 35.000 USD. Entre las principales características presenta un intercambiador de herramientas propio, es compatible con plataformas como PC, Mac y Linux. Un total de 211 patrocinadores reciben la entrega de la empresa y la cantidad de componentes depende de la cantidad de donación realizada (Stepcraft Inc., 2015). La Figura 5 muestra las funcionalidades de Stepcraft 2: a) fresadora, b) cortadora de vinil, c) impresora 3D, d) cortadora de fomix.



**Figura 5.** Funcionalidades Stepcraft 2

Fuente: (Stepcraft Inc., 2015)



**Figura 6.** Stepcraft 2

Fuente: (Stepcraft Inc., 2015)

### **1.3. Justificación e importancia**

El presente proyecto se enfoca en cumplir lo establecido en el plan nacional para el buen vivir 2017-2021 el cual expresa en el objetivo cinco “*Competitividad para el crecimiento económico sustentable de manera redistributiva y solidaria*” la importancia de desarrollar una economía que incorpore mayor conocimiento y capacidad de innovación. Parte de la invención está en encajar nuevos paradigmas de transformación productiva como los que se encuentran alrededor de la industria 4.0. (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2018)

En cuanto al literal 5.2 se habla de diversificar la producción nacional con el fin de aprovechar la capacidad y recursos disponibles y poder lograr el crecimiento económico y sustentable.

Por otro lado, el literal 5.3 manifiesta la necesidad de impulsar el cambio de la matriz productiva a través de promover la investigación, la innovación y el emprendimiento con un enfoque a las necesidades sociales. (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2018)

Una máquina con múltiples actuadores intercambiables es una oportunidad de incentivar la manufactura en el país, está orientado a personas cuyos emprendimientos se ven limitados al momento de la adquisición de equipos por altos costos.

El proyecto permite al usuario crear prototipos a costos competitivos, el espacio físico requerido es optimizado y se impulsa la investigación e innovación en el país al desarrollar nuevas ideas de negocio. El proyecto tiene un alto grado de factibilidad, la mayor parte de los componentes mecánicos y electrónicos están disponibles en la localidad, para los más complejos se puede optar por tiendas online fuera del país. Los beneficios de incorporar el concepto de producto inteligente (Industria 4.0) se basa en la capacidad de monitorear el proceso, acceder a datos y estadísticas, en conclusión, tener un mejor seguimiento de la producción tiempo real; incluso enviar información y tomar decisiones en lugares alejados a la máquina.

#### **1.4. Alcance del proyecto**

El alcance de este proyecto es la implementación de modulo intercambiador de efectores finales en una máquina CNC de configuración cartesiana para cumplir las funciones de impresora 3D, plotter de trazo, grabador láser por CO2 e impresora de materiales experimentales.

Los actuadores contarán con un mecanismo de acople rápido para la sujeción del cabezal a la estructura en pocos segundos, además tendrán un conector universal de sentido único para que el usuario final no se preocupe del cableado.

El control de cada uno de las funciones será centralizado en una sola tarjeta, de la misma manera el software de control será uno solo, intuitivo, y fácil manejo al usuario. Se creará manuales para el uso y mantenimiento de cada actuador y se explicara con ejemplos la creación de los códigos G para cada funcionalidad.

Finalmente tendrá supervisión del sistema desde una aplicación móvil para comprobar el estado en tiempo real mediante mensajes push.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General**

Diseñar e implementar un módulo intercambiador de actuadores, adaptable a máquinas de configuración cartesiana para cumplir funciones de impresora 3D, plotter, grabador láser y extrusor de materiales experimentales, para el mejoramiento de parámetros de producción en la empresa FABCAD S.A – SAIS 3D.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Conceptualizar las bases técnicas de una máquina CNC, procesos de manufactura, funcionamiento y compatibilidad de distintos actuadores de manera que permita abordar el problema.
- Plantear la mejor alternativa de solución para el intercambiador de actuadores mediante herramientas de ingeniería concurrente para el diseño y desarrollo de productos.
- Diseñar y construir el módulo intercambiador de actuadores con acoples de sujeción.
- Estructurar una interfaz gráfica mediante software de distribución libre para el sistema de control, compatible con la detección y manejo de las funciones de cada actuador.
- Desarrollar el concepto de IoT y Big Data orientado en monitorear el sistema por internet con el uso de aplicación móvil.

## **1.6. Hipótesis**

¿La implementación de un módulo intercambiador de actuadores, adaptable a máquinas de configuración cartesiana para cumplir funciones de impresora 3D, plotter, grabador láser y extrusor de materiales experimentales, tiene incidencia en el mejoramiento de parámetros de producción en la empresa FABCAD SA-SAIS 3D?

## **1.7. Variables de la investigación**

### **1.7.1. Variables Independientes**

- Módulo intercambiador de actuadores

### **1.7.2. Variables Dependientes**

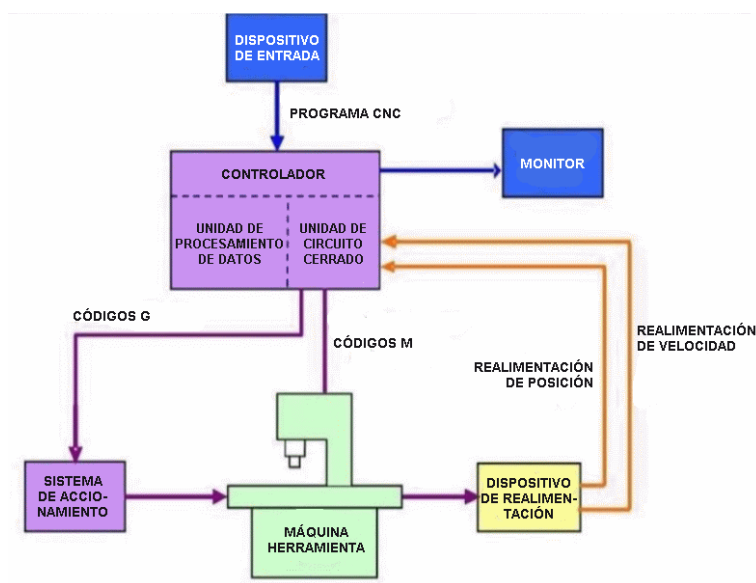
- Mejoramiento parámetros de producción en la empresa FABCAD SA-SAIS 3D

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Introducción al sistema CNC

El control numérico por computadora (o más comúnmente conocido como CNC) es un conjunto de reglas e instrucciones que permite en todo momento tener el control de los movimientos de una máquina-herramienta con gran precisión con la ayuda de un conjunto de ordenes alfa-numéricos (Mecanizados Sinc, 2015), se puede nombrar varias aplicaciones como: fresadora, torno, rectificadora, máquina de corte por láser, por chorro de agua o por electroerosión, estampadora, prensa, brazo robotizado, impresora 3D, etc. La Figura 7 muestra un diagrama de bloques para una máquina CNC típica, provista de motores.



**Figura 7.** Diagrama de bloques máquina CNC

Fuente: (Mecanizados Sinc, 2015)



### **2.1.1. ¿Cómo funciona una máquina CNC?**

El controlador de las máquinas CNC recibe instrucciones de un ordenador y transforma esas líneas de instrucciones en señales eléctricas predestinadas a activar motores que, a su vez, ponen en marcha el sistema de accionamiento. (De Máquinas y Herramientas, 2015)

#### **a. Control de movimiento**

Las máquinas CNC comparten una particularidad en común: tienen dos o más direcciones programables de movimiento denominadas ejes. Un eje de movimiento puede ser lineal (en trayectoria recta) o rotatorio (en una trayectoria circular). Una de las primeras especificaciones que implica la complejidad de una máquina CNC es la cantidad de ejes que tiene. En términos generales, a mayor número de ejes, mayor complejidad. (De Máquinas y Herramientas, 2015)

#### **b. Programa CNC**

Se refiere a un listado secuencial de instrucciones que ejecutará la máquina, las instrucciones se conocen como programa CNC o G-code (por sus siglas en inglés), el cual debe contener toda la información requerida para el mecanizado de la pieza.

El G-code está escrito en un lenguaje de bajo nivel, estandarizado por las normas 6983 de ISO (Organización Internacional de Normalización) y RS274 de EIA (Alianza de Industrias Electrónicas) y compuesto por instrucciones Generales (código G) y Misceláneas (código M). El programa presenta un formato de frases conformadas por bloques, encabezados por la letra N, donde cada movimiento o acción se realiza secuencialmente y donde cada bloque está numerado y contiene un solo comando como se muestra en la Figura 8. (De Máquinas y Herramientas, 2015)

El código G describe las funciones de movimiento de la máquina (por ejemplo, movimientos rápidos, avances, avances radiales, pausas, ciclos), mientras que el código M describe las funciones misceláneas que se requieren para el mecanizado de la pieza, principales códigos empleados se detallan en la Tabla 1.

**Tabla 1.**  
*Códigos G y M más usados*

| CÓDIGOS G                                       | CÓDIGOS M   |
|---|---|
| G0-G1: Movimiento lineal                        | M0-M1: Parada incondicional                         |
| G2-G3: Movimiento de arco controlado            | M3: Husillo CW / Láser Encendido                    |
| G4: habitar                                     | M4: Husillo CCW / Láser Encendido                   |
| G5: Bézier spline cúbico                        | M5: Husillo / Láser Apagado                         |
| G10: Retraer                                    | M17: Habilitar Steppers                             |
| G11: Recuperar                                  | M18-M84: Desactivar steppers                        |
| G12: limpiar la boquilla                        | M31: Tiempo de impresión                            |
| G20: Unidades en pulgadas                       | M42: Establecer estado del pin                      |
| G21: Unidades milimétricas                      | M73: Configurar el progreso de impresión            |
| G26: Patrón de Validación de Malla              | M82: E Absoluto                                     |
| G27: cabezal de herramientas Park               | M83: E Relativa                                     |
| G28: Auto Home                                  | M104: Ajustar la temperatura de Hotend              |
| G29: Nivelación de la cama (Manual)             | M105: Reportar Temperaturas                         |
| G29: Nivelación de la cama (automática)         | M106: Ajuste la velocidad del ventilador            |
| G29: Nivelación de la cama (unificada)          | M107: ventilador apagado                            |
| G30: Una sola sonda Z                           | M115: Información de Firmware                       |
| G31: trineo de muelle                           | M140: Ajustar la temperatura de la cama             |
| G32: Desacoplar Trineo                          | M201: Configurar la aceleración máxima de impresión |
| G33: Delta Auto Calibración                     | M203: Establecer velocidad de avance máxima         |
| G38.2-G38.3: Probe target                       | M204: Establecer la aceleración de arranque         |
| G42: Mover a la coordenada de malla             | M211: Finales de software                           |
| G53: Mover en Coordenadas de la Máquina         | M420: Estado de nivelación de la cama               |
| G54-G55: Sistema de coordenadas espacio trabajo | M421: Establecer valor de malla                     |
| G90: Posicionamiento absoluto                   | M702: Descargar filamento                           |
| G91: Posicionamiento relativo                   | M999: STOP reiniciar                                |

CONTINÚA 

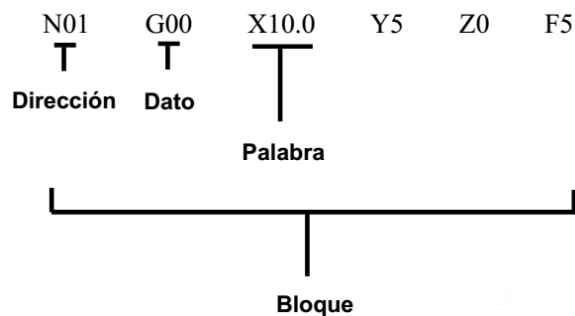
---

G92: Establecer posición

G425: Realizar auto calibración.

---

Fuente: (thinkyhead, 2019)



**Figura 8.** Estructura línea de comando CNC

Fuente: (De Máquinas y Herramientas, 2015)

Las principales ventajas que se tiene en un sistema CNC según (Felipe Díaz del Castillo Rodríguez, 2008) son :

- Seguridad.
- Precisión.
- Aumento de productividad.
- Facilidad en la manufactura.
- Facilidad de operación.

## **2.2. Componentes máquina CNC**

### **2.2.1. Sistema mecánico y sensores**

Una máquina CNC dependiendo de tamaño y aplicación puede tener muchas partes mecánicas diferentes, sin embargo, existen elementos importantes que son esenciales. (Cieszal, 2017)

### a. Estructura

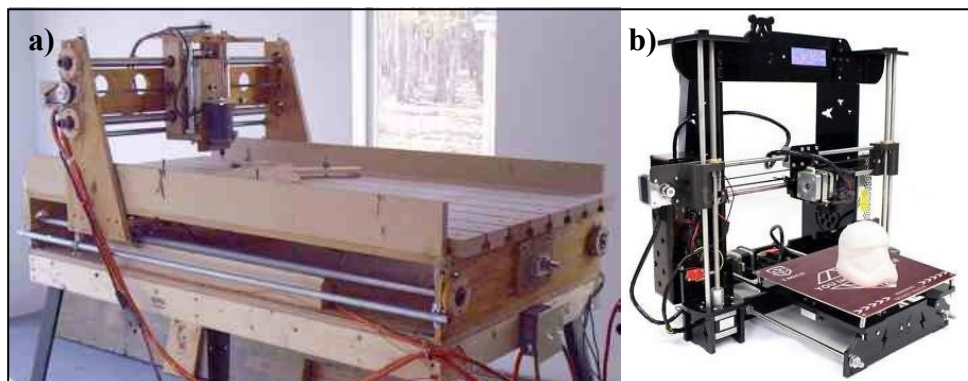
La estructura es conjunto de piezas que soporta los demás elementos y mantiene la rigidez de la máquina, sobre esta van montadas los elementos mecánicos, eléctricos.

La estructura debe ser lo suficientemente resistente para no torcerse y contrarrestar los esfuerzos generados por el movimiento de los ejes. En una impresora 3D, cortador láser, o un plotter no se ejercen grandes esfuerzos en la máquina por lo que solo debe preocuparse de que la máquina sea hecha con un material lo suficientemente rígido para no vibrar. (Cieszal, 2017)

Existen tres métodos tipos para la fabricación de estructuras CNC:

### Estructura en Corte láser

Tecnología en gran auge, mecanizado de piezas sin contacto directo, utiliza materiales blandos como MDF o fibra de densidad media y acrílico en espesores de hasta 15mm. Su principio es sustraer material por incineración del mismo, el proceso es relativamente rápido a otras tecnologías, su precisión es impecable como se muestra en la Figura 9, a) estructura de madera b) estructura de acrílico.

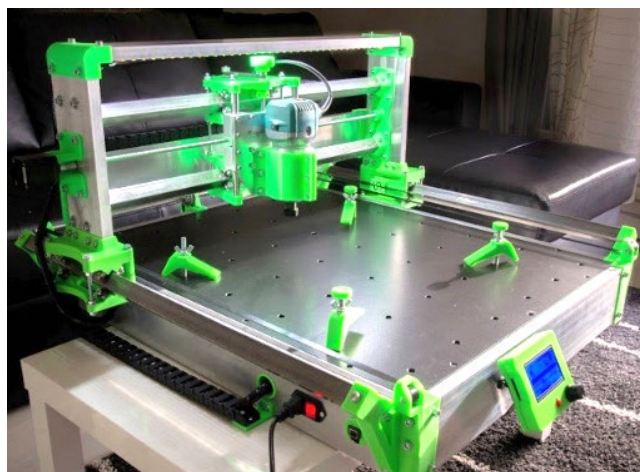


**Figura 9.** Estructura no rígida

Fuente: (Cieszal, 2017)

## Estructura en impresión 3D y ensamblaje de perfiles

Esta técnica consiste en crear estructuras con perfiles de aluminio con estrías. La impresión 3D aportando piezas a la medida que funcionan como juntas y soportes consiguiendo una estructura fácil de implementar y completamente personalizable como se muestra en la Figura 10.



*Figura 10.* Estructura semi rígida

Fuente: (Cieszal, 2017)

En el caso de que la máquina tenga contacto profundo con el material como un router la estructura debe ser de un material igual o más rígido que el que queremos cortar. (Cieszal, 2017)

## Estructura en chapa metálica

Una de las opciones más empleadas para maquinaria industrial, se conforma de perfiles estructurales con planchas cortadas y formadas a medida, tiene alta resistencia a la intemperie, larga duración y buen acabado superficial como se muestra en la Figura 11.



**Figura 11.** Estructura rígida

Fuente: (Eastern Laser, 2017)

### **b. Sistema de desplazamiento**

El sistema de desplazamiento es el encargado de soportar las altas cargas y al mismo tiempo permitir el movimiento de los diferentes ejes en forma lineal, este sistema cuenta con dos elementos: guías lineales y rodamientos, las guías lineales son los elementos que se colocan en toda la trayectoria por donde se permite al eje de la máquina desplazarse, y los rodamientos son los elementos que se desplazan sobre las guías lineales. El precio de estos elementos se determina por la precisión y la eficiencia que estos ofrecen. (Cieszal, 2017)

#### **Ejes lineales**

Muy utilizados, el sistema consiste en una varilla liza soportada por sus extremos con bases como se muestra en la Figura 12, se anclan a la estructura, ideal para sistemas que no ejercen esfuerzos excesivos ya que tienden a pandearse. (Cieszal, 2017)



**Figura 12.** Eje lineal

Fuente: (Cieszal, 2017)

### **Guía lineal soportada**

Las guías lineales soportadas, no son más que una varilla lisa soportada unida a una estructura tipo carril como se muestra en la Figura 13, presenta varias ventajas como reducción de vibraciones, sujeción a lo largo de su pista y mínima flexión, en el mercado se puede adquirir de hasta 8 metros de largo y diámetros de hasta 40mm. (INGIA, 2019)



**Figura 13.** Barras soportadas

Fuente: (INGIA, 2019)

### **Perfil con ranura**

Perfiles diseñados para que un rodamiento llamado V Wheels pueda rodar sobre el sin perder pista, esto permite movimientos lineales como se muestra en la Figura 14. Existen algunas

variaciones como las guías V que utilizan de igual forma los rodamientos V-wheel como se muestra en la Figura 15. (Cieszal, 2017)



**Figura 14.** Perfil en V

Fuente: (Cieszal, 2017)



**Figura 15.** Guía en V

Fuente: (Cieszal, 2017)

### **Guía Lineal de precisión**

Las guías lineales proporcionan movimiento lineal al recircular elementos rodantes entre un riel perfilado y un bloque de apoyo Figura 16. El coeficiente de fricción en una guía lineal es de solo 1/50 en comparación con un deslizamiento tradicional y pueden tomar cargas en todas las direcciones. Con estas características, una guía lineal puede lograr una alta precisión. (Hiwin, 2017)





**Figura 16.** Guía lineal de precisión

Fuente: (Hiwin, 2017)

### c. Transmisión

La transmisión es la parte de la máquina encargada de convertir el movimiento rotativo de los motores en movimientos lineales. Existen varios tipos de transmisiones:

#### Husillo de bolas

Un husillo de bolas es un actuador lineal mecánico que convierte el movimiento de rotación en movimiento lineal Figura 17, tiene mínima fricción y es el más preciso de todos los sistemas, sin embargo, tiene algunos contras. Este sistema es el más costoso de todos, si la máquina es de una longitud considerable el husillo tiende a pandearse lo que repercute en la precisión de la máquina. (Cieszal, 2017)



**Figura 17.** Husillo de bolas

Fuente: (Cieszal, 2017)

## Cremallera y piñón

Este sistema es el más usado en máquinas grandes debido a que se puede obtener increíbles precisiones utilizando un engranaje reductor como se muestra en la Figura 18, es más barato que el husillo de bolas. Sin embargo, el ruido que genera al chocar los dos engranajes es un poco mayor que los otros sistemas. (Cieszal, 2017)



**Figura 18.** Cremallera y piñón

Fuente: (Cieszal, 2017)

## Correa dentada

Este sistema es uno de los más usados en impresoras 3D como se muestra en la Figura 19, su costo es bajo, no requiere mantenimiento, el movimiento es suave y preciso, lo que permite obtener una mejor calidad de impresión. No es conveniente usarlo en máquinas grandes y de gran torque ya que tiende a estirarse al ser sometido a cargas medias perdiendo precisión.(Cieszal, 2017)



**Figura 19.** Correa dentada

Fuente: (Cieszal, 2017)

### **Tornillo de rosca cuadrada**

Este tipo de tornillo son adecuados para la transmisión de potencia y movimiento, tienen un rozamiento elevado por la fricción continua de las superficies de las roscas de tornillo y tuerca como se muestra en la Figura 20. Sus principales ventajas son, bajo costo de fabricación, fácil instalación, poco ruido, sus desventajas, desgaste acelerado, reducción de precisión al desgaste. (Ingemecánica, 2019)



**Figura 20.** Tornillo y tuerca rosca cuadrada

Fuente: (Ingemecánica, 2019)

### **d. Sensores**

Un sensor es un dispositivo que recibe un estímulo externo y responde con variación de una señal eléctrica. El estímulo es la cantidad, propiedad o condición que después de ser recibida se convierte en una señal eléctrica, esto le permite a la máquina tener conocimiento de su estado como el de su entorno. (Fraden, 2010)

#### **Sensor de posición**

La medición de la posición y el desplazamiento de objetos físicos es esencial para muchas aplicaciones: retroalimentación de procesos, evaluación de desempeño, control de tráfico de transporte, robótica, sistemas de seguridad, solo por nombrar algunos. Por posición, nos referimos

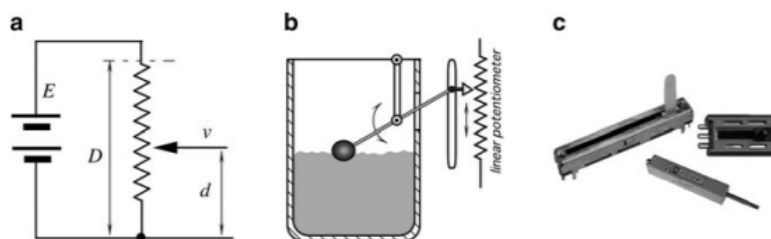
a la determinación de las coordenadas del objeto (lineal o angular) con respecto a una referencia seleccionada. Una distancia crítica se mide con sensores de proximidad.

En efecto, un sensor de proximidad es una versión con umbral de un detector de posición. Un sensor de posición es a menudo un dispositivo lineal cuya señal de salida está a una distancia del objeto de un punto de referencia dado. Sin embargo, un sensor de proximidad es un dispositivo algo más simple, que genera la señal de salida cuando una cierta distancia al objeto se vuelve esencial para una indicación.

Por ejemplo, muchos mecanismos de movimiento en control de procesos y robótica utilizan un sensor de proximidad muy simple pero altamente confiable, el final de carrera. Es un interruptor eléctrico que tiene contactos normalmente abiertos o normalmente cerrados. La señal es una indicación de que el objeto ha alcanzado la posición final donde se coloca el interruptor. (Fraden, 2010)

- **Sensor por potenciómetro**

Un transductor de posición o desplazamiento puede construirse con un potenciómetro giratorio o lineal. El principio de funcionamiento de este sensor se basa en la relación lineal con la longitud del cable. Un objeto en movimiento se acopla mecánicamente cuyo movimiento causa el cambio de resistencia Figura 21. En la mayoría de los circuitos prácticos, una medición de resistencia se reemplaza por una medición de caída de voltaje. (Fraden, 2010)



**Figura 21.** Sensores tipo potenciómetro

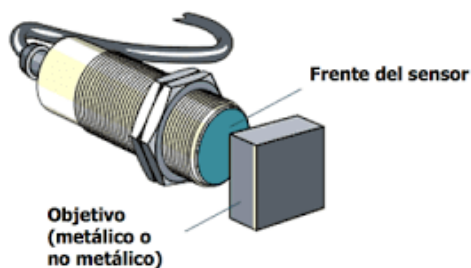
Fuente: (Fraden, 2010)

En la Figura 21 de izquierda a derecha a) potenciómetro como sensor de posición; b) sensor de nivel de fluido con flotador; c) potenciómetro lineal.

- **Sensor capacitivo**

Los sensores de desplazamiento capacitivo tienen aplicaciones muy amplias: se emplean directamente para calibrar el desplazamiento y la posición, y también como bloques de construcción en otros sensores donde los desplazamientos se producen por fuerza, presión, temperatura, etc.

La capacidad de los detectores capacitivos para detectar prácticamente todos los materiales los convierte en una opción atractiva para muchas aplicaciones. La capacitancia es inversamente proporcional a la distancia entre las placas. Cuando la capacitancia cambia, se puede convertir en una señal eléctrica variable. (Fraden, 2010)

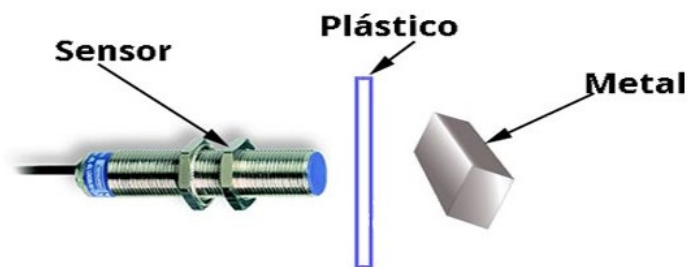


**Figura 22.** Funcionamiento sensor capacitivo

Fuente: (Fraden, 2010)

- **Sensor inductivo y magnético**

Una de las muchas ventajas de usar el campo magnético para detectar la posición y la distancia es que cualquier material no magnético puede ser entendido por la limadura sin perder la precisión de la posición. El acero inoxidable, el aluminio, el latón, el cobre, los plásticos, la mampostería y las maderas pueden penetrarse, lo que significa que la posición precisa con respecto a la sonda en el lado opuesto de una pared se puede determinar casi al instante. Otra ventaja es que los sensores magnéticos pueden funcionar en entornos severos y en situaciones corrosivas, ya que las sondas y los objetivos pueden recubrirse con materiales inertes que no afectarán adversamente los campos magnéticos. (Fraden, 2010)



**Figura 23.** Funcionamiento sensor inductivo

Fuente: (Fraden, 2010)

### **Sensor de temperatura**

Desde tiempos prehistóricos, las personas eran conscientes del calor y trataban de evaluar su intensidad midiendo la temperatura. Quizás el fenómeno más simple y ciertamente más utilizado para la detección de la temperatura es la expansión térmica. Esto forma la base de los termómetros de líquido en vidrio. (Fraden, 2010)

- **Sensores termorresistivos**

Humphry Davy había notado desde 1821 que las resistencias eléctricas de varios metales dependen de la temperatura. William Siemens, en 1871, describió por primera vez el uso de un termómetro de resistencia de platino. En 1887, Hugh Callendar publicó un artículo donde describía cómo usar prácticamente los sensores de temperatura de platino.

Las ventajas de los sensores termorresistivos se encuentran en la simplicidad de los circuitos de interfaz, la sensibilidad y la estabilidad a largo plazo. Todos estos sensores se pueden dividir en tres grupos: RTD, detectores de junta-pn y termistores. (Fraden, 2010)

### **Termistores**

El término termistor es una contracción de las palabras térmica y resistencia. El nombre se suele aplicar a los sensores de óxido metálico fabricados en forma de gotitas, barras, cilindros, escamas rectangulares y películas gruesas. También se pueden fabricar termistores de silicio y germanio. Un termistor pertenece a la clase de los sensores de temperatura absoluta, es decir, puede medir la temperatura que se refiere a una escala de temperatura absoluta. Todos los termistores se dividen en dos grupos: NTC y PTC. Solo los termistores NTC son útiles para mediciones de temperatura de precisión. (Fraden, 2010)

### **2.2.2. Sistema eléctrico y electrónico**

En las máquinas CNC los elementos eléctricos y electrónicos son los que permiten escalar de una simple máquina mecánica - manual a una de control por computadora, entre los principales cabe mencionar:

### a. Fuente de poder

Encargado de otorga energía a los componentes eléctricos y electrónicos para su funcionamiento, la fuente de poder normalmente recibe una carga de 110 o 220 voltios en corriente alterna y convierte a voltajes de corriente continua típicos de 5, 12, 24, 36 voltios.



**Figura 24.** Fuente de poder DC

Fuente: (Eduardo Nuñez, Deimpresoras3d.com, 2019)

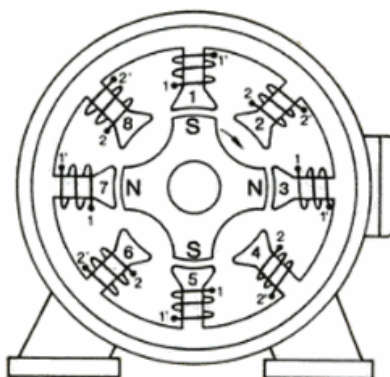
### b. Motores

Son los encargados de transformar la energía eléctrica en energía mecánica la cual es usada para el desplazamiento lineal de los carros ubicados sobre cada eje del sistema CNC, los más utilizados en máquinas CNC son motores a pasos y servomotores.

- **Motores Paso a Paso**

Este tipo de motores son adecuados para pequeñas/medianas aplicaciones. Los tamaños y formatos están normalizados. Los de menor potencia (Nema17) se usan en aplicaciones pequeñas, requieren poco voltaje y el torque puede llegar hasta 4Kg/cm. En el otro extremo los (Nema34), requieren voltajes de 48 a 96 voltios y llegan a torques de 120Kg/cm. (Nema 23) suele ser el formato más habitual con voltajes de 12 a 48 voltios y torques de 30Kg/cm. (Dédalo - Electrónica CNC, 2010)





**Figura 25.** Esquema motor paso a paso

Fuente: (Muller, Electrotecnia de potencia, 2010)

- **Servomotor**

Es la opción "profesional", se usan motores de construcción convencional de escobillas o brushless con control electrónico de posición. Regularmente trabajan acoplados a una reductora de precisión y contienen un sensor de posicionamiento para tramitar la posición. Para completar el sistema una controladora específica coordina la velocidad y aceleración del motor, así como el error de posición. Los torques y sobre todo las velocidades alcanzadas son muy superiores a los otros motores, pero por contra su coste es también bastante elevado. (Dédalo - Electrónica CNC, 2010)

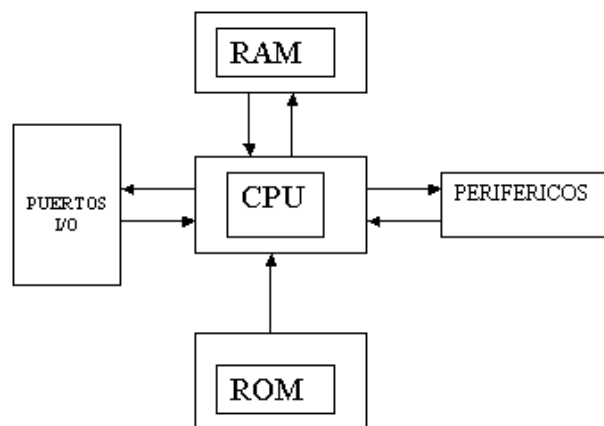


**Figura 26.** Servomotores

Fuente: (Motiontek, Global motion technology, 2017)

### c. Microcontrolador

Se refiere a un circuito integrado de alta escala que contiene todos los componentes fundamentales de un ordenador como se describe en la Figura 27, aunque de limitadas prestaciones y que se suele destinar a gobernar una sola tarea. En su memoria sólo reside un programa que controla el funcionamiento de una tarea determinada, sus líneas de entrada/salida se conectan a los sensores y efectores finales del dispositivo a controlar, debido a su pequeño tamaño, suele ir integrado en el propio dispositivo al que gobierna.(EcuRed, 2019)

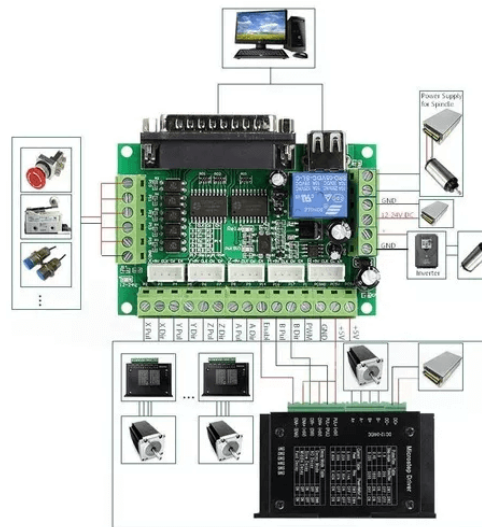


**Figura 27.** Estructura microcontrolador

Fuente: (Electronicaestudio, Que es un microcontrolador, 2018)

### d. Tarjeta CNC

Placa que integra todos los elementos necesarios para controlar la máquina CNC, recibe las órdenes del computador, las procesa y envía a los diferentes actuadores. Así mismo reciben información de finales de carrera, pulsador de emergencia y sensores con el objetivo de monitorear parámetros del funcionamiento de la máquina. Su elección es clave para el óptimo funcionamiento de todo el sistema. Se puede encontrar tarjetas dedicadas a este trabajo como se muestra en la Figura 28. (Dédalo - Electrónica CNC, 2010)



**Figura 28.** Controlador CNC

Fuente: (Threed, tarjeta shield CNC, 2019)

### e. Drivers

Es el elemento encargado de recibir pulsos desde el microcontrolador, los interpreta y envía las ordenes de movimiento a los motores, por tanto, habrá uno por cada motor, algunas placas ya integran el driver, mientras que la mayoría trabajan autónomo de la placa de control.



**Figura 29.** Drivers para motores CNC

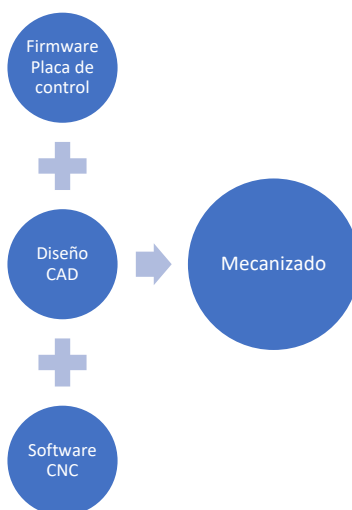
Fuente: (Hood-Daniel & Kelly, 2009)

### 2.2.3. Software y programación

Parte fundamental del sistema CNC, complemento de la parte mecánica y electrónica. Las líneas de códigos son escritas como parámetros del funcionamiento de un microprocesador, se especifica como actuaran los pines de entrada y salida, interpreta las señales de los sensores, realiza cálculos matemáticos y determina las características del mecanizado.

El software se ejecuta en un ordenador o dispositivo móvil, creado para cumplir tareas específicas, programas de alto desempeño se encuentran disponibles con una licencia pagada, sin embargo, en competencia están disponibles software robusto bajo licencia de distribución libre.

Las funciones del software es comunicar al usuario con la máquina CNC, inmerso se encuentra la programación cuya función es recibir información, parámetros y convertir estos datos a lenguaje máquina, transmitirlos y ejecutar un trabajo mecánico, esta comunicación es bidireccional, lo que implica una retroalimentación del estado de sistema a través de sensores en todo momento, esto permite un ajuste del funcionamiento en tiempo real. Existen varias etapas que necesitan software específico para su funcionamiento:



**Figura 30.** Etapas de software

### a. Firmware placa de control

Es el programa que se carga a la tarjeta controladora CNC, las líneas de código contienen cada una de las características para que funcione correctamente la electrónica y la mecánica del CNC, es editable, configurable e indispensable, gestiona todas las actividades en tiempo real de la máquina. Coordina los calentadores, los motores paso a paso, los sensores, las luces, la pantalla LCD, los botones y todo lo relacionado con el proceso. Un firmware bien configurado es suficiente para que el CNC trabaje y procese por si solo los G-code independientemente de un ordenador.

Algunos de los firmwares más usados son:

- **GRBL:** es un software gratuito, de código abierto y alto rendimiento para controlar el movimiento de las máquinas. Gran parte de impresoras 3D de código abierto poseen Grbl en sus núcleos. Se ha adecuado para su uso en cientos de propósitos que incluyen cortadores láser, escritores manuales automáticos, perforadores de agujeros, pintores de graffiti y máquinas de dibujo extrañas. Debido a su rendimiento, simplicidad, Grbl se ha convertido en un pequeño fenómeno de código abierto. (patgadget, 2017)
- **SPRINTER:** los principales desarrolladores de Sprinter son actualmente Kliment, Caru y Midopple, aunque muchos otros contribuyen con sus parches. Este es un firmware para RAMPS y otras configuraciones de componentes electrónicos RepRap. Admite la impresión desde la tarjeta SD, el control activo del calentador térmico y las funciones internas de ATmega. Este trabajo está bajo la licencia GNU GPL v3 o cualquier versión posterior. (kliment, 2019)

- **MARLIN:** es un firmware de código abierto para la familia RepRap de replicadores de prototipos rápidos, popularmente conocido como "Impresoras 3D". Se derivó de Sprinter y GRBL, y se convirtió en un proyecto de código abierto independiente el 12 de agosto de 2011 con su versión Github. Marlin está bajo la licencia GPLv3 y es gratuita para todas las aplicaciones. (jbrazio, 2019)

## **b. Diseño CAD**

El diseño asistido por computadora o (computer aided design) por sus siglas en inglés involucra cualquier tipo de actividad de diseño, que hace uso de la computadora para desarrollar, analizar o modificar un diseño de ingeniería. Los sistemas modernos de CAD están basados en gráficos por computadora. Los gráficos de computadora interactivos denotan un sistema orientado al usuario en el que la computadora se emplea para crear, transformar y mostrar datos en forma de imágenes o símbolos.

El diseñador crea una imagen en la pantalla al ingresar los comandos para llamar a las subrutinas de software deseadas almacenadas en la computadora. En la mayoría de los sistemas, la imagen se construye a partir de elementos geométricos básicos, líneas, círculos, etc. Puede modificarse de acuerdo con los comandos del diseñador, ampliarse, reducirse de tamaño, moverse a otra ubicación en la pantalla, girarse y otras transformaciones. A través de estas herramientas se formulan los detalles requeridos de la imagen. (SARCAR, RAO, & NARAYAN, 2008)

**Tabla 2.**  
*Software CAD populares*

| PROGRAMA CAD | NIVEL        | OS  | PRECIO  | FORMATOS  |
|--------------|--------------|---|---|---|
| 3d Slash     | Principiante | Windows, MacOS, Linux, Raspberry Pi o navegador | Gratuito, versión Premium a partir de 2€ (2 USD) mensuales            | 3dslash, obj, STL   |
| LibreCAD     | Principiante | Windows, MacOS, Linux                           | Gratuito  | dxg, dwg  |
| Fusion 360   | Intermedio   | Windows, MacOS                                  | Gratuito para estudiantes / 318€ (300 USD) anuales para uso comercial | catpart, dwg, dxf, f3d, igs, obj, pdf, sat, sldprt, STL, stp                                  |
| Meshmixer    | Intermedio   | Windows, MacOS, Linux                           | Gratuito  | amf, mix, obj, off, STL   |
| Blender      | Avanzado     | Windows, MacOS, Linux                           | Gratuito  | 3ds, dae, fbx, dxf, obj, x, lwo, svg, ply, STL, vrml, vrml97, x3d                             |
| Solidworks   | Avanzado     | Windows   | 6,000€ para uso comercial   | dwg, dxf, easm, edrw, hsf, igs, obj, p2m, prt, sldasm, slddrt, slddrw, sldprt, step, swj, sym |
| AutoCAD      | Avanzado     | Windows, MacOS                                  | Gratuito para estudiantes / 1.500€ anuales para uso comercial         | dwg, dxf, pdf, dgn, slddrw, iges, step, sldprt/sldasm, ipt/iam, prt/asm, rvt, skp             |

Fuente: (Max von Übel, 2019)

### c. Software CNC

Software que convierte un modelo 2D o 3D en una trayectoria de G-code, el cual es el lenguaje que la máquina CNC interpreta, normalmente el software de control CNC no se encarga del diseño del modelo a mecanizar.

Entre las principales funciones que cumple el software de control CNC esta abrir la comunicación entre el ordenador y la máquina, activación y desactivación de motores, desplazamiento de los ejes, configuración de temperaturas, revisión del puerto serie e incluso ejecutar el G-code desde su interfaz. En esta categoría también existe software de paga y de distribución libre.

**Tabla 3.**  
*Software CNC popular*

| <b>SOFTWARE CNC</b> | <b>NIVEL</b> | <b>OS</b>             | <b>PRECIO</b> |
|---------------------|--------------|-----------------------|---------------|
| RDWorks             | Avanzado     | Windows               | Gratuito      |
| Matter control      | Avanzado     | Windows, MacOS, Linux | Gratuito      |
| Ultimaker Cura      | Avanzado     | Windows, MacOS, Linux | Gratuito      |
| Repetierhost        | Intermedio   | Windows, MacOS, Linux | Gratuito      |
| Inkscape            | Intermedio   | Windows, MacOS, Linux | Gratuito      |
| LightBurn           | Avanzado     | Windows, MacOS, Linux | Pagado        |

Fuente: (Max von Übel, 2019)

### **2.3. Tecnologías máquinas herramientas CNC**

Se describe cuatro tecnologías que serán usadas en el proyecto

#### **2.3.1. Impresora 3D**

Una impresora 3D es una máquina controlada por ordenador capaz de fabricar cualquier forma o geometría por muy compleja que sea. (Adam Jorquera Ortega, 2017)

En 1981, Hideo Kodama, del instituto municipal de investigaciones industriales de Nagoya, publicó su relato de un sistema funcional de creación rápida de prototipos utilizando fotopolímeros. Se construyó un modelo sólido, impreso en capas, cada uno de los cuales correspondía a un corte transversal en el modelo.

Tres años más tarde, en 1984, Charles Hull hizo historia en la impresión 3D al inventar la estereolitografía. La estereolitografía permite a los diseñadores crear modelos 3D utilizando datos digitales, que luego pueden usarse para crear un objeto tangible. (Dana Goldberg, 2018)





**Figura 31.** Charles Hull

Fuente: (IndustryWeek, 2018)

Fabricación aditiva es el nombre técnico que engloba todas las tecnologías de impresión 3D, se trata de la fabricación de objetos tridimensionales por aportación de material en vez de sustracción. En impresión 3D, la base es un archivo digital o modelo en 3D, se aplica distintos procesos de aditivos en los que se sobre ponen capas sucesivas de material para crear un objeto palpable. (Adam Jorquera Ortega, 2017)

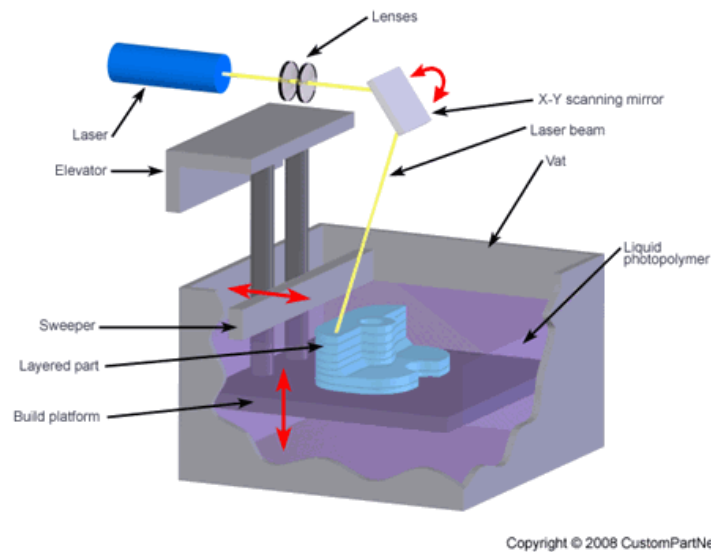
#### **a. Tecnologías impresión 3D**

##### **Fotopolimerización**

Es el sistema de impresión 3D más antiguo que existe. Básicamente consiste en el endurecimiento selectivo de un fotopolímero líquido en una cubeta mediante diversos métodos. (CUSTOMPARTNET, 2019b)

Los 3 tipos de fotopolimerización más comunes son:

- **SLA** (Stereolithography) o Estereolitografía.
- **DLP** (Digital Light Processing) o Fotopolimerización por Luz Ultravioleta.
- Fotopolimerización por **absorción de fotones**.



**Figura 32.** Estereolitografía (SLA)

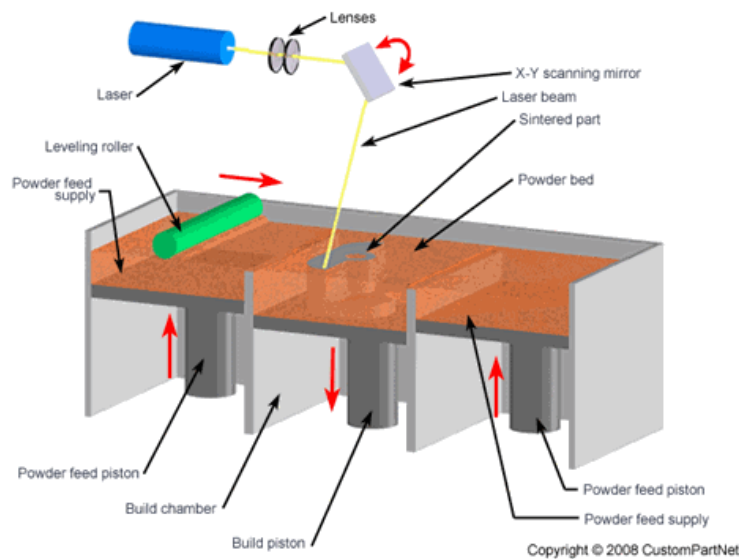
Fuente: (CUSTOMPARTNET, 2019c)

### Fusión de lecho de polvo

Las tecnologías de impresión 3D de Fusión de lecho de polvo (Powder Bed Fusion) consisten básicamente en una capa de polvo (del material con el que se desea construir) al cual se le aplica una fuente de energía térmica que funde con la forma programada capa a capa hasta formar el objeto deseado. (CUSTOMPARTNET, 2019b)

Coexisten 5 procesos que usan la tecnología de fusión de lecho de polvo:

- **EBM** (Electron Beam Melting) o fusión por haz de electrones.
- **SLS** (Selective Láser Sintering) o sinterización selectiva por láser.
- **SHS** (Selective Heat Sintering) o sinterización selectiva por calor.
- **SLM** (Selective Láser Melting) o fusión selectiva por láser.
- **DMLS** (Direct Metal Láser Sintering) o sinterización de metal directa por láser.



**Figura 33.** Sinterización selectiva por láser (SLS)

Fuente: (CUSTOMPARTNET, 2019b)

La principal característica a tener en cuenta en estas tecnologías es la alta resistencia de sus materiales de construcción, ya que son capaces de fabricar modelos en materiales poliméricos, como el nylon o el poliestireno, y también metales como el acero, níquel, titanio y otras aleaciones industriales.

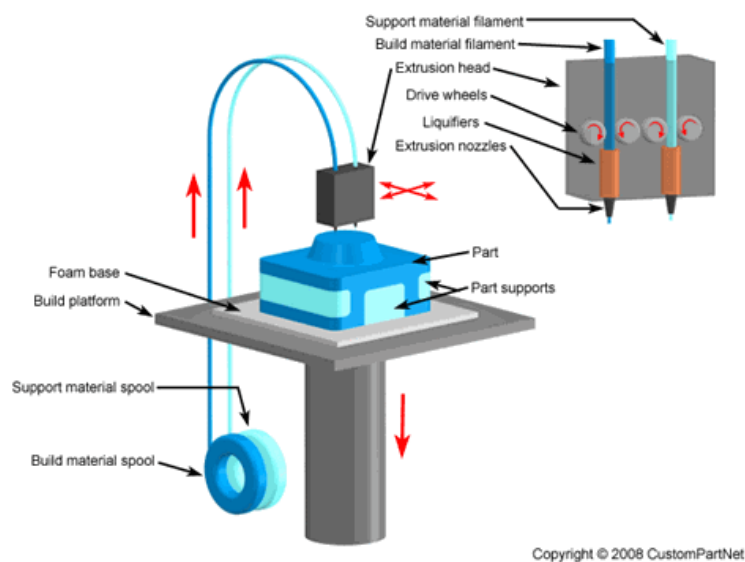
### **Extrusión de material fundido**

Ésta es la tecnología de impresión 3D o fabricación aditiva más extendida gracias a las conocidas como “impresoras 3D de escritorio”, que posee una gran capacidad productiva en entornos profesionales o industriales. Esta tecnología fue inventada por el cofundador de Stratasys, S. Scott Crump, junto a su esposa en 1989.

El proceso que emplea se conoce como FDM (Fused Deposition Modeling) o Modelado por Deposición Fundida, aunque este término está registrado por la mencionada multinacional Stratasys Inc., lo que hace que se conozca también como FFF (Fused Filament Fabrication) o

Fabricación por Filamento Fundido, para evitar problemas legales. (Susana Sanchez Restrepo, 2017). Un año clave para esta tecnología es 2005, cuando el profesor Adrian Browyer inició el proyecto RepRap, el movimiento mundial detrás de la auto replicación de impresoras 3D de código abierto. (Susana Sanchez Restrepo, 2017)

Se utiliza material en forma de filamento polimérico o metálico que se almacena en bobinas, éste es introducido en un cabezal extrusor que se encuentra por encima de la temperatura de fusión del material y puede desplazarse en tres ejes, lo que permite mediante su deposición en una superficie de impresión y la posterior superposición de capas, crear objetos con una precisión limitada.



**Figura 34.** Fabricación por filamento fundido (FFF)

Fuente: (CUSTOMPARTNET, 2019a)

## Existen dos formas de extrusión:

### a) Extrusión directa

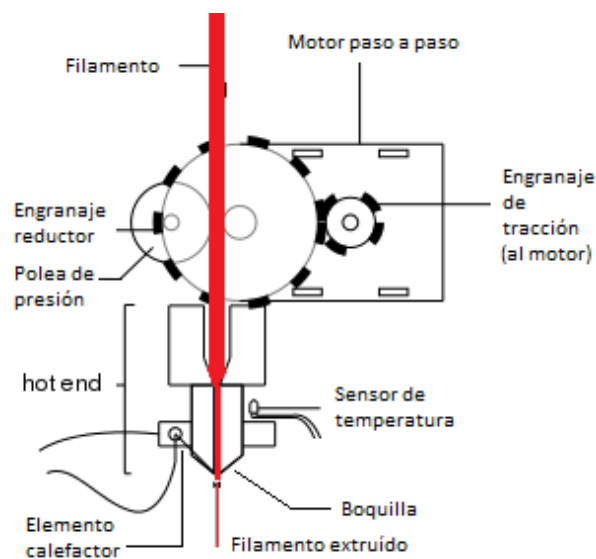
Es el más simple que existe y es muy efectivo, muy recomendable para la iniciación en la impresión 3D. En esta forma de extrusión se pasa el filamento de forma directa desde el motor de arrastre hasta la boquilla pasando por el hotend previamente, como se muestra en la Figura 35. Aquí el conjunto del extrusor es una sola pieza, compacta y más sencilla. (S.O.S. Impresoras, 2014)

#### Ventajas:

- Extrusor compacto
- Fácil comprobación de avería o resolución de atasco
- Totalmente desmontable

#### Desventajas:

- El conjunto es más pesado y eso afecta al desplazamiento de los ejes X y Z



**Figura 35.** Técnica de extrusión directa

Fuente: (3dprinterchat, 2019)

**b) Extrusión Bowden**

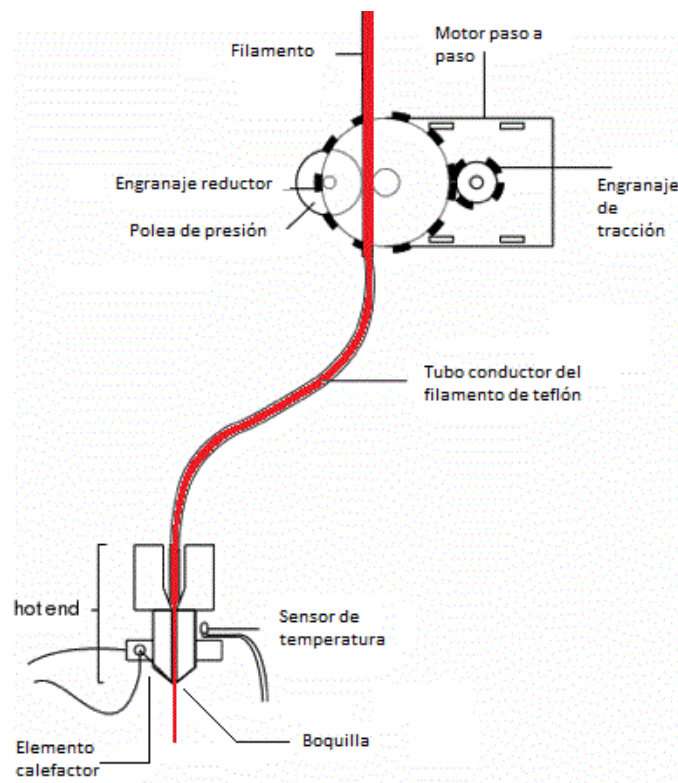
Es similar a la extrusión directa en cuanto a elementos y a cómo se lleva el filamento de la bobina hasta la punta de la boquilla salvo en que el motor de empuje está separado del hotend y el filamento es llevado hasta el carro del eje X mediante una tubería flexible Figura 36. El vocablo Bowden se refiere a la funda de los cables de freno de las bicicletas en inglés y esa es precisamente la característica principal de este sistema. (S.O.S. Impresoras, 2014)

**Ventajas:**

- Al estar separado el motor del hotend, éste es el único que está sobre el carro del eje X y por lo tanto se le añade menos peso al mismo.
- Al poseer menos peso sobre sí el carro del eje X se desplaza con menos dificultad.
- Al utilizarse sobre el carro sólo el hotend éste puede ver su tamaño reducido.

**Desventajas:**

- Es un sistema más complejo de montar y mantener.
- En principio es más susceptible a fallos (más sensible).
- Tiene más posibilidades de sufrir exudación.



**Figura 36.** Técnica de extrusión bowden

Fuente: (3dprinterchat, 2019)

### 2.3.2. Grabador láser

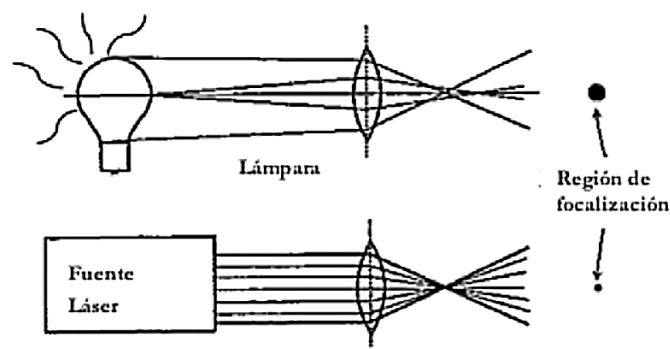
El láser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation - Amplificación de luz por emisión estimulada de radiación) se genera a través del fenómeno de la emisión estimulada de radiación electromagnética. (Campana & Krahmer, 2017)

Lo que diferencia a un láser de otras fuentes de luz, como las bombillas, es el mecanismo físico por el que se produce la emisión de luz, que se basa en la emisión estimulada, en contra de la emisión espontánea que es la responsable de la mayor parte de la luz que vemos (CLPU, 2013). Este particular mecanismo de emisión confiere a la luz unas propiedades muy interesantes (Campana & Krahmer, 2017):

- Los fotones tienen la misma longitud de onda o frecuencia. Esto significa que se consigue un haz **monocromo**.
- Los fotones tienen la misma dirección de propagación, la misma fase en el tiempo y en el espacio. Esto se traduce en que se consigue **alta coherencia y baja divergencia**.
- Los fotones generados tienen la misma energía de los fotones que han impactado el material. Por tal motivo, se consigue la amplificación de energía y, en particular, un haz con **alta energía**.

Además de las propiedades mencionadas, otras características son una consecuencia directa (Campana & Kraemer, 2017):

- Elevada focalización: el rayo láser puede ser concentrado sobre una pequeña área de superficie (Figura 37).

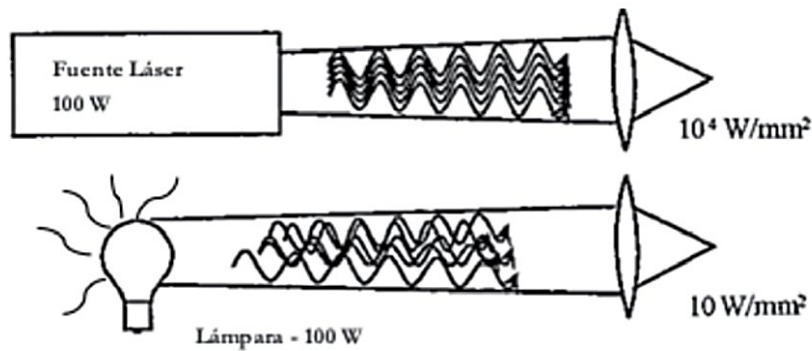


**Figura 37.** Efecto de alta focalización

Fuente: (Campana & Kraemer, 2017)

- La misma potencia producida por un láser permite una más alta densidad de energía (Figura 38).





**Figura 38.** Efecto de alta coherencia y baja divergencia

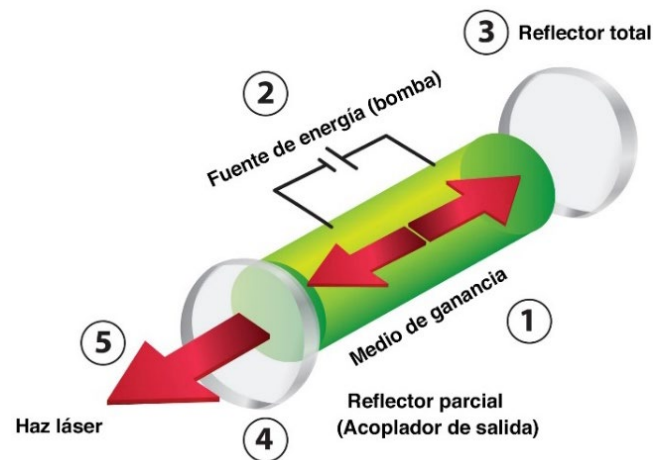
Fuente: (Campana & Kraemer, 2017)

- El láser se puede transportar sin reducción de la energía transportada. La alta coherencia y la baja divergencia permiten el transporte de energía sin dispersión.
- Alta eficiencia de interacción de la radiación electromagnética con los materiales.

En la Figura 38 se realiza la comparación entre una fuente láser y una lámpara con la misma potencia emitida. El medio de ganancia y el resonador determinan la longitud de onda del haz láser y la potencia del láser.

### Componentes del láser:

1. Medio de ganancia capaz de sostener una emisión estimulada
2. Fuente de energía para bombear el medio de ganancia
3. Reflector total para reflejar energía
4. Reflector parcial
5. Salida de haz láser



**Figura 39.** Componentes del láser

Fuente: (Universal laser systems, 2018)

### a. Tecnologías láser

#### Fuentes láser a CO<sub>2</sub>

En el caso de las fuentes a CO<sub>2</sub>, la primera condición para la generación del láser (la emisión estimulada) está satisfecha por la capacidad del gas anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) de emitir radiación electromagnética en el campo del infrarrojo. En el caso de las fuentes en CO<sub>2</sub> la longitud de onda es 10.6  $\mu\text{m}$ .

El medio activo o el medio que puede generar radiaciones láser es propiamente una mezcla de gases: anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>), nitrógeno (N<sub>2</sub>) y helio (He). Cada gas tiene su función: el CO<sub>2</sub> es el medio activo que produce la radiación electromagnética; el N<sub>2</sub> es aquel gas que puede ser excitado con un bombeo eléctrico y después va a excitar el anhídrido carbónico que no puede ser excitado por esta forma; el He tiene la función de reducir la temperatura del medio y sirve para asegurar una baja temperatura de la mezcla de gas a través de un cambio de calor con ambos gases: el CO<sub>2</sub> y el N<sub>2</sub>. La composición de la mezcla típica es esta: CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He - 10:45:45. (Campana & Krahmer, 2017)

### **Fuentes Láser Nd:YAG**

Son fuentes que utilizan un medio activo sólido (se llaman fuentes en el estado sólido) y, en este caso, se trata de un cristal de YAG (granate de Ytrio y Aluminio con fórmula  $Y_3Al_5O_{12}$ ) dopado con un pequeño porcentaje de Neodimio, en la forma  $Nd^{3+}$ , que es el material capaz de generar el rayo Láser. El cristal dopado, cuando es excitado, puede emitir una radiación electromagnética en el campo del infrarrojo. El  $Nd^{3+}$  tiene cuatro niveles de excitación y emite radiación electromagnética cuando baja desde el tercer nivel de excitación hasta el segundo nivel; la emisión de energía para otros niveles de excitación consiste en energía térmica.

Como en el caso de las fuentes en estado gaseoso, es necesario enfriar el cristal para conservar la funcionalidad. (Campana & Kraemer, 2017)

### **Diodos Láser**

Son fuentes láser que se basan en los materiales semiconductores. Se obtienen longitudes de onda desde 0.80 hasta  $0.95\mu m$  que dependen de la temperatura de funcionamiento. Son fuentes muy eficientes con una eficiencia cuántica casi unitaria y una eficiencia global cercana al 30%.

Para conseguir altas potencias es necesario poner juntos un elevado número de diodos (stack) y usar lentes para la integración de la radiación producida.

La distribución de potencia es uniforme y usualmente se distribuye en una región cuadrada o rectangular. Se pueden conseguir potencias de hasta 6.0 kW con una fuente muy compacta y de pequeñas dimensiones. Se pueden transportar a través de fibra óptica. (Campana & Kraemer, 2017)

### **Fuentes Yb:YAG disco**

Cuando se diseña y se realiza un sistema láser, el problema principal es la estabilidad de la cavidad de resonancia o el mantenimiento de la temperatura del medio activo porque este se puede deteriorar o también puede modificar la dimensión y, en consecuencia, la calidad de la radiación emitida.

Si el cristal es producido en una forma de disco y después ese disco se coloca sobre un material que puede disipar calor eficientemente, se consigue una elevada estabilidad del medio activo y se puede obtener una alta potencia emitida.

Este tipo de láser se bombea con diodos, emitiendo una longitud de onda en el campo infrarrojo ( $1.03\mu\text{m}$ ). Se pueden transportar a través de fibra óptica. Un disco de diámetro de 7 mm y espesor de 0.3 mm genera 500W de radiación láser. (Campana & Kraemer, 2017)

### **Fuentes Yb:vidrio en fibra**

La idea es generar la radiación electromagnética en medio de la fibra óptica que puede servir también para el transporte de los rayos láser. El bombeo se obtiene a través de diodos y los espejos son remplazados por dos retículos de Bragg. La fibra, que está dopada con el medio activo Yterbio (YB), tiene una buena conductividad del calor y el enfriamiento se obtiene solo con aire en movimiento para las bajas potencias.

Un módulo de láser generado en fibra va a producir 300W de potencia. La calidad es en promedio buena, pero para conseguir altas potencias es necesario agregar algunos módulos. (Campana & Kraemer, 2017)

### **2.3.3. Potter**

Los plotters son dispositivos utilizados para producir copias impresas de grandes diseños como pueden ser los mapas de construcción, diseños de ingeniería, planos arquitectónicos y gráficos en general. Pueden estar conectados con un sistema informático o tener su propio ordenador interno.

#### **a. Tecnologías plotter**

##### **Plotter de pluma**

Muy utilizados para dibujar planos en arquitectura, topografía u otros sectores técnicos. En la actualidad, gracias a los programas de diseño, se pueden efectuar líneas de diseños artísticos complejos. Demoran más en ejecutar un dibujo complejo, a cambio, prometen una gran calidad y suavidad en las curvas.

Cuentan con un cabezal en el que se implantan elementos de escritura como plumeros, esferos, lápiz, eligiendo los que mejor se adecuen al papel y al resultado deseado. (Plotter HP, 2017)

##### **Plotter de inyección de tinta**

Los plotters de inyección de tinta son impresoras de tinta, pero de gran formato y es el tipo de plotter más extendidos. La mayoría de estos plotters producen impresiones con gran riqueza de colores. Se les denomina plotters porque son capaces de entender las instrucciones de lenguajes específicos de estos (RD-GL, HP-GL, DMPL, etc.). Internamente realizan una conversión de formato vectorial (líneas) a formato ráster (puntos de color).

La calidad y velocidad de estos tipos de plotter es muy similar a las de las impresoras de inyección de tinta. Además, no suelen fabricarse en tamaños menores de A1 ya que para tal finalidad existen impresoras. (Plotter HP, 2017)

### **Plotter electrostático, térmico o láser**

Los plotters electrostáticos, térmicos o láser, suelen ser bastante más caros. Sin embargo, la calidad que ofrecen es similar, aunque con tecnologías distintas entre sí. Un mínimo de estos plotters dibuja en color, siendo el resultado final parecido a la impresión de un fax, aunque tienen un tamaño de punto menor y son más resistentes a la luz y al paso del tiempo. (Plotter HP, 2017)

### **Plotter de corte**

Un plotter de corte está diseñado para dibujar y para cortar vinilo adhesivo, siendo utilizado por profesionales de la rotulación. Algunos modelos permiten cortar materiales más gruesos, como cartulinas o cartones, etc. Podemos encontrar plotters de corte de diversos formatos: de mesa, de corte tangencial, de arrastre, de arrastre por fricción o por tracción. (Plotter HP, 2017)

### **2.3.4. Extrusor de materiales de prueba**

El principio de la impresión es el del modelado por deposición fundida o FDM donde el suministro de material se logra con una jeringa en lugar de un cabezal de extrusión convencional, se abre la posibilidad de crear piezas sorprendentes con diversos materiales. (Susana Sanchez Restrepo, 2017)

#### **a. Materiales más comunes extrusor de prueba**

##### **Impresión en Chocolate**

Ha causado una revolución dentro de la industria culinaria. Hoy en día, varias impresoras 3D están disponibles en el mercado como la CocoJet de 3D Systems y Hershey's o la Choc Creator desarrollada por ChocEdge. (Lucía C., 2017)



**Figura 40.** Impresión 3D chocolate

Fuente: (Lucía C., 2017)

### **Impresión en Azúcar**

Una de las empresas pioneras en utilizar este material fue 3D Systems, para el lanzamiento de su Chef Jet Pro a mediados del 2015, una de las primeras impresoras 3D de comida. Para destacar las posibilidades de la máquina crearon una réplica a escala del Palacio de Versalles hecho únicamente con azúcar. (Lucía C., 2016c)

Una empresa con sede en Hong Kong busco la ayuda del recién graduado del MIT, Victor Leung para la creación de hermosas figuras que a primera vista parecen de cristal, pero realmente están creadas con azúcar impresa en 3D. (Lucía C., 2016a)



**Figura 41.** Azúcar impresa en 3D

Fuente: (Lucía C., 2016a)

## Impresión en Pasta

La marca italiana Barilla dio a conocer la primera impresora 3D capaz de crear pasta fresca con formas increíbles en menos de dos minutos. La impresora requiere para su funcionamiento agua y harina, y se basa en la tecnología FDM, ya que coloca capa a capa la pasta hasta llegar a la forma deseada. (Lucía C., 2016c)



*Figura 42.* Rosa elaborada en pasta

Fuente: (Lucía C., 2016b)

## Impresión en Cerámicos

Los materiales cerámicos están presentes en las aplicaciones médicas, sanitarias o industriales y siendo el material preferido del arte de la mesa (cocina y decoración).

Los objetos cerámicos pueden ser impresos con la técnica de sinterizado selectivo por láser (SLS) a partir de un polvo seco preferiblemente comprimido, o vía la solidificación del material en estado líquido, un proceso similar a la técnica FDM con una cabeza de impresión modificada. (Susana Sanchez Restrepo, 2016)





**Figura 43.** Impresión FabClay

Fuente: (Susana Sanchez Restrepo, 2016)

### **Impresión en Cemento**

El mismo principio de impresión de cerámicos puede ser utilizado para imprimir en cemento o con cualquier otro material compuesto fabricado a partir de una masa húmeda. El MIT Media Lab desarrolló una máquina de impresión 3D con grandes piezas de poliuretano donde el cemento es vertido, que permite la fabricación de puertas, ventanas, muros de construcción, entre otros.

(Susana Sanchez Restrepo, 2016)



**Figura 44.** Impresión con la D-Shape

Fuente: (Susana Sanchez Restrepo, 2016)

## Impresión en Mármol

El proyecto se basa en el desarrollo de una novedosa impresora 3D de curado por luz FFF, que explota las principales ventajas de ambas tecnologías, sin aumentar drásticamente el costo general del equipo. Además, el sistema permite el reciclaje del material de desecho que resulta de la operación y el procesamiento normal de las cuevas de mármol. (Carlo Ruggiero, 2014)



*Figura 45.* Pieza final en mármol

Fuente: (Carlo Ruggiero, 2014)

### 2.4. Industria 4.0

El concepto de Industria 4.0 se presenta como la "cuarta revolución industrial" habiendo seguido una evolución estructurada en las siguientes fases:

- La **primera revolución industrial** fue la que permitió el aumento drástico de la producción gracias a la adopción de la energía del vapor.
- La **segunda revolución** fue la que acarrió la producción en masa gracias al uso de la energía eléctrica.
- La **tercera revolución**, o **revolución digital**, estuvo marcada por el uso de la electrónica y las tecnologías de la información para introducir la automatización de la industria.

- Por último, la **cuarta revolución**, la que conocemos como Industria 4.0, es la que viene marcada por la introducción masiva de los sistemas “ciber-físico” (objetos industriales conectados con sensores y actuadores), la interconexión entre industrias y los interfaces abiertos para los servicios.

El Internet de las Cosas es el componente tecnológico fundamental sobre el que se sienta sus bases el paradigma de la Industria 4.0. El término “Internet de las Cosas” es bastante reciente. Fue en 2009 cuando Kevin Ashton, profesor del MIT en aquel entonces, usó la expresión Internet of Things (IoT) de forma pública por primera vez, y desde entonces el crecimiento y la expectación alrededor del término ha ido en aumento de forma exponencial. (Fundación EOI, 2015)



**Figura 46.** Kevin Ashton - Entru World 2015

Fuente: (LG CNS, 2015)

Raro es el artículo periodístico sobre nuevas tecnologías que no hable del IoT ya sea de forma directa o tangencial. La capacidad de poder conectar cualquier objeto es un concepto que despierta de forma inusual la imaginación.

La popularización de conectividad inalámbrica, ya fuese celular o WiFi, durante el inicio del siglo XXI, permitió por fin presenciar una primera explosión en el crecimiento de los objetos conectados. (Fundación EOI, 2015)

## CAPÍTULO III

### DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Este capítulo describe el procedimiento para la obtención de información y requerimientos planteados de parte de la empresa, además se describe la selección de componentes del proyecto.

#### 3.1 Identificación de las necesidades del cliente

La voz cliente es importante para descubrir necesidades latentes u ocultas, así como necesidades explícitas. Mientras que los detalles del producto son controlados y establecidos en el proceso, se debe interactuar con los clientes y experimentar el producto en su ambiente de uso real. Sin esta experiencia es poco probable que se encuentre soluciones innovadoras a las necesidades del cliente.

Para recopilar datos de las necesidades del cliente se opta por entrevistas y observación del producto en uso dentro de la empresa FABCAD – SAIS3D. (Ulrich & Eppinger, 2013)

**Tabla 4.**  
*Necesidades del cliente - Impresora 3D*

| Impresora 3D       |                      |   |
|--------------------|----------------------|---|
| Importancia        | Característica       | Enunciado de la necesidad                 |
| <b>PRIMARIAS</b>   | Área mesa de trabajo | mayor a 200x200mm                         |
|                    | Altura eje Z         | desplazamiento mayor a 100 mm             |
|                    | Finales de carrera   | en los tres ejes                          |
|                    | Hot-end              | temperatura entre 150 a 270°C             |
|                    | Resolución           | 100 micras                                |
|                    | Mesa                 | temperada y lisa                          |
| <b>SECUNDARIAS</b> | Filamento            | acepte filamento de 1,75mm y 3mm          |
|                    | Ventilación          | disipador de calor y ventilación de capas |
|                    | Software de Control  | distribución libre                        |
|                    | Velocidad            | mayor a 30mm/seg                          |

**Tabla 5.**  
*Necesidades del cliente - Plotter*

| <b>Plotter</b>     |                       |  |
|--------------------|-----------------------|--|
| <b>Importancia</b> | <b>Característica</b> | <b>Enunciado de la necesidad</b>       |
| <b>PRIMARIAS</b>   | Área mesa de trabajo  | mayor a un tamaño A4 (210x297mm)       |
|                    | Calibración           | detección de altura según el material  |
|                    | Actuadores            | aceptar varios diámetros de bolígrafos |
| <b>SECUNDARIAS</b> | Mesa                  | superficie liza                        |
|                    | Sujeción              | sujeción de material a la mesa         |
|                    | Software de control   | distribución libre                     |

**Tabla 6.**  
*Necesidades del cliente - Grabador láser*

| <b>Grabador láser</b> |                       |                                       |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| <b>Importancia</b>    | <b>Característica</b> | <b>Enunciado de la necesidad</b>      |
| <b>PRIMARIAS</b>      | Área mesa de trabajo  | mayor a un tamaño A4 (210x297mm)      |
|                       | Calibración           | detección de altura según el material |
|                       | Potencia              | entre 40 a 80 Watts                   |
|                       | Refrigeración         | enfriamiento de tubo láser            |
|                       | Ventilación           | extracción de humo                    |
|                       | Seguridad             | bomba de aire para extinguir llama    |
| <b>SECUNDARIAS</b>    | Mesa                  | panel de abeja                        |
|                       | Software de control   | distribución libre                    |
|                       | Velocidad             | menor a 60mm/seg                      |

**Tabla 7.**  
*Necesidades del cliente - Extrusor materiales de prueba*

| <b>Extrusor materiales de prueba</b> |                       |                                  |
|--------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| <b>Importancia</b>                   | <b>Característica</b> | <b>Enunciado de la necesidad</b> |
| <b>PRIMARIAS</b>                     | Área mesa de trabajo  | mayor a 200x200mm                |
|                                      | Altura eje Z          | desplazamiento mayor a 100 mm    |
|                                      | Finales de carrera    | en los tres ejes                 |
|                                      | Hot-end               | temperatura entre 25 a 60°C      |
|                                      | Resolución            | entre 300 micras a 800 micras    |
| <b>SECUNDARIAS</b>                   | Materia prima         | en estado líquido viscoso        |
|                                      | Software de Control   | distribución libre               |

**Tabla 8.**  
*Necesidades del cliente – Máquina en conjunto*

| <b>Máquina en conjunto</b> |                       |   |
|----------------------------|-----------------------|---|
| <b>Importancia</b>         | <b>Característica</b> | <b>Enunciado de la necesidad</b>        |
| <b>PRIMARIAS</b>           | Efectores             | cambio rápido y sencillo                |
|                            | Conexión efectores    | plug and play                           |
|                            | Tarjeta de control    | centralizado para todos los efectores   |
|                            | Seguridad             | protecciones eléctricas y mecánicas     |
|                            | Alimentación          | suministro doméstico 110V               |
| <b>SECUNDARIAS</b>         | Limpieza              | materiales fáciles de limpiar           |
|                            | Iluminación           | plataforma de trabajo y área de control |
|                            | Estética              | visualmente limpio y ergonómico         |

### 3.2 Especificaciones del producto

Conjunto de características que explican, con detalles precisos y medibles, lo que el producto tiene que hacer, representan una base sobre lo que el grupo deberá hacer para satisfacer las necesidades del cliente. Una especificación (singular) consiste en una métrica y un valor. (Ulrich & Eppinger, 2013)

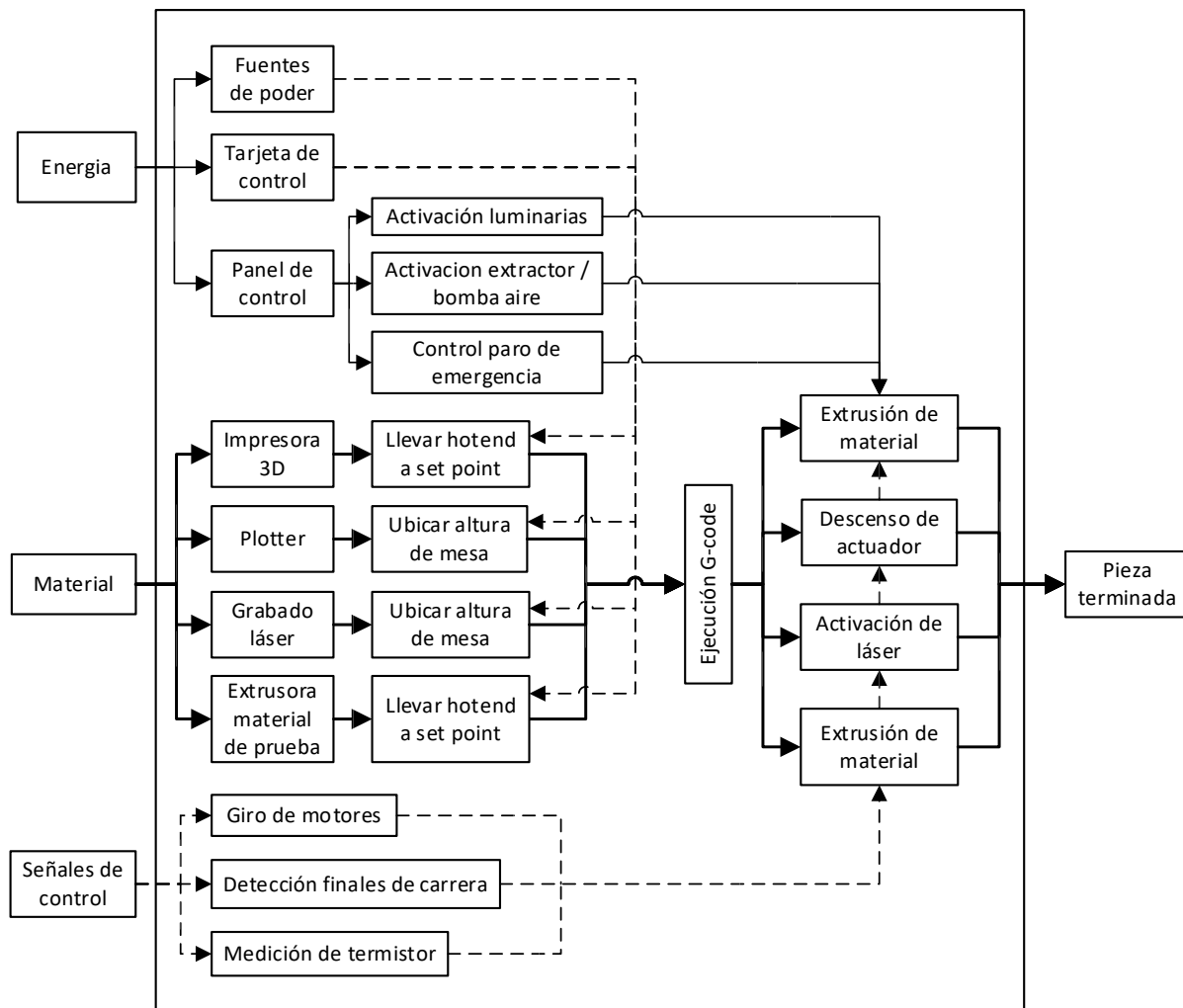
**Tabla 9.**  
*Especificaciones del producto*

| <b>Métrica núm.</b> | <b>Métrica</b>              | <b>Imp.</b> | <b>Unidades</b> | <b>Valor marginal</b> | <b>Valor ideal</b> |
|---------------------|-----------------------------|-------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| 1                   | Carrera útil eje X          | 5           | mm              | >100                  | >300               |
| 2                   | Carrera útil eje Y          | 5           | mm              | >100                  | >300               |
| 3                   | Carrera útil eje Z          | 5           | mm              | >100                  | >150               |
| 4                   | Velocidad desplazamiento XY | 4           | mm/seg          | <60                   | <40                |
| 5                   | Velocidad desplazamiento Z  | 5           | mm/seg          | <20                   | 10                 |
| 6                   | Resolución de trabajo       | 4           | micras          | <600                  | 100                |
| 7                   | Alimentación de energía     | 2           | voltios         | <220                  | 110                |
| 8                   | Rápido cambio de cabezal    | 4           | segundos        | <60                   | <30                |
| 9                   | Precisión y repetibilidad   | 3           | mm              | <0,3                  | <0,2               |
| 10                  | Potencia de láser           | 3           | watts           | >40                   | <80                |
| 11                  | Temperatura de hot-end      | 4           | celsius         | 22 -270               | 35-255             |

Las especificaciones se basan en un análisis de las características de cada una de las máquinas (impresora 3D, plotter, grabador láser, extrusor de prueba) por separado y se trabaja en pro de mejorar las limitaciones de cada tecnología.

### 3.3 Generación de la arquitectura del sistema

El concepto de un producto es una descripción aproximada de la tecnología, principios de trabajo y forma del producto. Es una descripción concisa de la forma en que el producto va a satisfacer las necesidades del cliente. (Ulrich & Eppinger, 2013)



*Figura 47.* Generación del concepto

La Figura 47 representa la función general de la máquina, las líneas continuas finas denotan la transferencia y conversión de energía, las continuas gruesas representan el movimiento de material dentro del sistema y las líneas discontinuas son las señales de flujos de control y retroalimentación dentro del sistema. Esta caja negra representa la función general del producto. (Ulrich & Eppinger, 2013)

### 3.4 Selección del concepto

El reto de diseño de este producto resulta complejo resolverlo como un todo, se opta por la descomposición funcional, que consiste en dividir un problema en partes más sencillas denominadas subsistemas, el resultado final de la descomposición se muestra en la Tabla 10:

**Tabla 10.**  
*Descomposición subsistemas del producto*

| Núm. | Subsistema                       | Funciones   |
|------|----------------------------------|---|
| 1    | Estructura                       | comprende la carcasa y es donde se montan los demás componentes.                        |
| 2    | Motores                          | transforma la energía eléctrica en mecánica para usarla en como desplazamiento lineal.  |
| 3    | Eje X, Y, Z                      | conjunto de elementos mecánicos que permiten el desplazamiento del actuador.            |
| 4    | Mesa de trabajo                  | área sobre la cual los actuadores desarrollan su trabajo.                               |
| 5    | Controladora CNC                 | encargado de enviar y recibir las órdenes para el funcionamiento de todo es sistema.    |
| 6    | Montaje y conexión de actuadores | acoplamiento para el intercambio de actuadores, mecanismo de cableado.                  |
| 7    | Actuadores                       | cabezales que dan características específicas a la máquina.                             |
| 8    | Energía eléctrica                | manejo del flujo constante de voltaje y corriente para el funcionamiento de la máquina. |



La descomposición permite simplificar el estudio del producto al atacar por separado áreas del mismo, se detalla a continuación el análisis y selección de componentes para cada uno de los subsistemas. La dinámica es puntuar con valores absolutos entre cero y cinco, se establece el porcentaje de importancia de la característica y se procede a evaluar la ponderación más alta como solución.

### 3.4.1 Subsistema - Estructura

También conocida como cubierta o carcasa, es la parte sobre la cual se monta todos los componentes de la máquina, sus principales funciones son dar estabilidad a todo el conjunto, proteger partes sensibles, permite fijar elementos, además, es lo primero que se observa el cliente. En el caso de las máquinas CNC existen tres tecnologías que destacan en la manufactura como se describe en el capítulo 2.

**Tabla 11.**  
*Selección componentes subsistema - Estructura*

| Núm. | Característica             | Importancia | Elementos de comparación |             |                           |             |                |            |
|------|----------------------------|-------------|--------------------------|-------------|---------------------------|-------------|----------------|------------|
|      |                            |             | Corte Láser              |             | Impresión 3D y perfilería |             | Chapa Metálica |            |
|      |                            |             | puntos                   | %           | puntos                    | %           | puntos         | %          |
| 1    | Rigidez estructural        | 25%         | 2                        | 0.50        | 4                         | 1.00        | 5              | 1.25       |
| 2    | Costo producción           | 15%         | 4                        | 0.60        | 4                         | 0.60        | 3              | 0.45       |
| 3    | Facilidad de mantenimiento | 10%         | 4                        | 0.40        | 4                         | 0.40        | 3              | 0.30       |
| 4    | Poca vibración             | 25%         | 2                        | 0.50        | 3                         | 0.75        | 5              | 1.25       |
| 5    | Peso                       | 10%         | 4                        | 0.40        | 4                         | 0.10        | 2              | 0.20       |
| 6    | Área de trabajo            | 15%         | 3                        | 0.45        | 3                         | 0.45        | 5              | 0.75       |
|      | <b>Ponderación</b>         | <b>100%</b> |                          | <b>2.85</b> |                           | <b>3.30</b> |                | <b>4.2</b> |

La puntuación es equivalente a: 0 nulo, 1 deficiente, 2 regular, 3 bueno, 4 muy bueno, 5 sobresaliente, (Ulrich & Eppinger, 2013) . Los porcentajes son establecidos por requerimientos de la empresa.

Las tres estructuras están disponibles dentro de la empresa, sin embargo, mediante el análisis en la tabla se demuestra que la carcasa de chapa metálica presenta ventajas físicas y estructurales a las otras dos opciones, el incremento del área de trabajo en fundamental y mantiene la mayor parte de características analizadas exceptuando costo y peso que son aceptables por el hecho de tener una máquina comercial e industrial, por tal motivo se opta por usar una carcasa específica y comercial de una máquina láser marca FORZA 4 como se muestra en la Figura 49.



**Figura 48.** Estructura chapa metálica FORZA 4

Fuente: (Alibaba, 2019)

#### **Características estructura FORZA 4:**

- Peso: 110 Kg
- Costo de fabricación: 700\$
- Dimensiones: L=1200 mm A=730 mm H=580 mm.
- Forma: rectangular con una superior con empuje neumático.
- Área de trabajo: 600mm en X, 400 mm en Y, 330mm en Z.

### 3.4.2 Subsistema - Motores

Son los encargados de dar el desplazamiento en los tres ejes al cabezal de la máquina, deben trabajar largas jornadas, es indispensable tener el control en todo momento de su posición, el torque y las dimensiones juega un papel importante al momento de decidir el motor adecuado.

En el caso de las máquinas CNC existen dos tecnologías que destacan en cuanto a motores como se describe en el capítulo 2.

**Tabla 12.**  
*Selección componentes subsistema - Motores*

| Núm. | Característica            | Importancia | Elementos de comparación |             |                  |             |
|------|---------------------------|-------------|--------------------------|-------------|------------------|-------------|
|      |                           |             | Motor Paso a paso        |             | Motor Servomotor |             |
|      |                           |             | puntos                   | %           | puntos           | %           |
| 1    | Mayor precisión           | 15%         | 5                        | 0.75        | 4                | 0.60        |
| 2    | Mayor torque              | 15%         | 4                        | 0.60        | 5                | 0.75        |
| 3    | Mayor control de posición | 15%         | 4                        | 0.60        | 4                | 0.60        |
| 4    | Menor precio              | 20%         | 4                        | 0.80        | 3                | 0.60        |
| 5    | Menor consumo eléctrico   | 5%          | 4                        | 0.20        | 4                | 0.20        |
| 6    | Menor tamaño              | 25%         | 4                        | 1           | 3                | 0.75        |
|      | <b>Ponderación</b>        | <b>100%</b> |                          | <b>3.95</b> |                  | <b>3.50</b> |

La puntuación es equivalente a: 0 nulo, 1 deficiente, 2 regular, 3 bueno, 4 muy bueno, 5 sobresaliente, (Ulrich & Eppinger, 2013). Los porcentajes son establecidos para optimizar el diseño, la puntuación se basa en información sobre cada tipo de motor. (Son Robots, 2014).

La ponderación de la Tabla 12 muestra las características de los dos tipos, sin embargo, se opta por motores paso a paso tomando en cuenta características como la número seis menor tamaño además de un dato externo a la tabla, las máquinas láser FORZA en su totalidad utilizan motores

paso a paso en el marco de los ejes X-Y, el eje Z de fabrica utiliza un motor de corriente alterna, no dispone de control CNC, simplemente un accionamiento e inversión de giro por pulsadores lo que implica realizar una sustitución a un motor paso a paso.

En el siguiente subsistema se realiza los cálculos para la selección del motor y sus especificaciones en cada uno de los ejes.

### **3.4.3 Subsistema - Eje X, Y, Z**

En el caso de las máquinas CNC existen varias opciones que destacan en cuanto a sistemas de desplazamiento. Para el proyecto se reutiliza el marco de la máquina FORZA 4, para el eje X se utiliza una guía lineal con patín, para el eje Y rodamientos lineales y para el eje Z se busca la mejor alternativa para cambiar el sistema de desplazamiento.

#### **a. Sistema de movimiento eje Y**

Conformado por dos ejes paralelos ubicados cada uno al extremo del marco, sobre ellos se monta los rodamientos lineales que a su vez son fijados a un perfil perpendicular a los ejes, se utiliza un solo motor para el desplazamiento sincronizado de los dos ejes, esto se consigue al trasladar el movimiento desde un extremo del marco al otro con un eje adicional, mediante poleas y bandas dentadas se realiza el desplazamiento lineal en el eje Y, Figura 49.



**Figura 49.** Marco comercial máquina láser CO2

Fuente: (China K&M Outlet Store, 2019)

A continuación, se procede a sustentar el diámetro de los ejes a usar en el eje Y, en las Figura 50 y Figura 51 se analiza la carga generada en los ejes.

### Consideraciones

- Longitud del eje: **400mm** (longitud útil 350mm)
- Masa soporte móvil: **680g** (rodamientos lineales, acoples, perfil transversal, guía eje X)
- Masa de cabezal: **2400g** (considerando el de mayor peso)
- Resistencia a la tensión del acero AISI304 laminado en frío: **540-720MPa (Anexo A)**

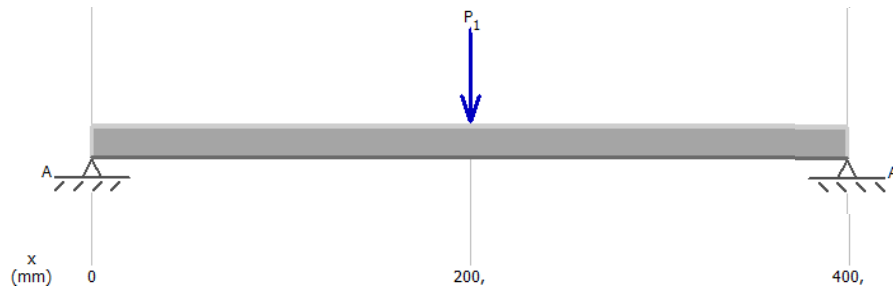
$$Masa\ total = 680\ g + 2400\ g = 3080\ g$$

$$Fuerza\ total = masa\ total * gravedad$$

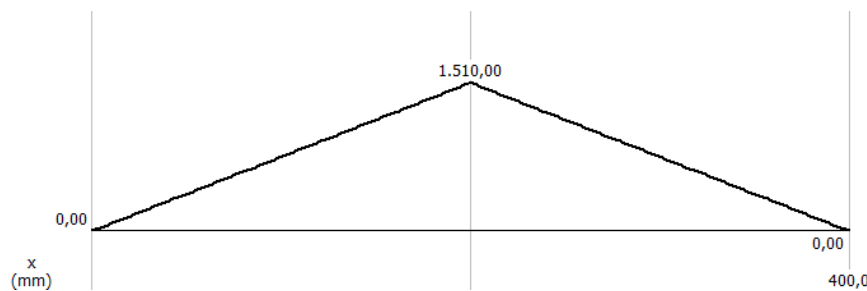
$$Fuerza\ total = 3.08\ Kg * 9.81\ m/s^2 = 30.21\ N$$

La distribución del peso se realiza sobre los dos ejes de tal forma que:

$$\text{Fuerza puntual en apoyos} = \frac{\text{Fuerza total}}{2} = 15.10 \text{ N}$$



**Figura 50.** Diagrama fuerza aplicada en la guía del eje Y



**Figura 51.** Diagrama momento flector en la guía eje Y

Para la continuación del cálculo del diámetro del eje es necesario utilizar el criterio de ED-Goodman (esfuerzo y falla que existen en materiales dúctiles). Usando la ecuación (7-8) del libro diseño en ingeniería mecánica de Shigley (Budynas & Nisbett, 2012) se tiene que  $M_m = T_a = T_m = 0$  debido a que los ejes no están sometidos a torsión, la ecuación queda simplificada a:

$$d = \left( \frac{32 * n * K_f * M_a}{\pi * S_e} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

**Donde:**

- Factor de seguridad  $n = 4$
- Factor de concentración de esfuerzo para flexión  $K_f = 1.7$  (Anexo B)
- Momento flector en el punto crítico  $M_a = 1,51 \text{ Nm}$

- Límite de resistencia a la tensión en un punto crítico  $S_e$
- Esfuerzo último para acero inoxidable AISI304  $S_{ut} = 568 \text{ MPa}$  (Anexo A)

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_e \text{ (Budynas \& Nisbett, 2012)} \quad (2)$$

$$k_a = a * S_{ut}^b \quad (3)$$

$$a = 4,51 \text{ y } b = -0.265 \text{ (Anexo C)}$$

$$k_a = 4,51 * 568^{-0.265}$$

$$k_a = 0.84$$

$$k_b = 1.24 * d^{-0.107} \quad (4)$$

$$k_b = 1.24 * 8^{-0.107}$$

$$k_b = 0.99$$

$$k_c = 1, \text{ por estar sometido a flexión} \quad (5)$$

$$k_d = k_e = k_f = 1 \quad (6)$$

$$S'_e = 0.5 * S_{ut} \quad S_{ut} \leq 1400 \text{ MPa} \quad (7)$$


$$S_e = 0.84 * 0.99 * 0.8 * 1 * 568 = 236.17 \text{ MPa} \quad (2)$$

$$d = \left( \frac{32 * 4 * 1.7 * 1.51}{\pi * 236.17 * 10^6} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

$$d = 7.62 \text{ mm}$$

El diámetro utilizado por el marco en el eje Y es de **12mm**, mediante estos cálculos se confirma su correcta selección, considerando un factor de diseño igual a 4, por lo tanto, no es necesario rediseñar el desplazamiento del eje Y.

### Seleccionar el rodamiento lineal comercial.



| Eje<br>Ø d<br>(mm) | Referencia             |                               | Peso<br>(kg) |
|--------------------|------------------------|-------------------------------|--------------|
|                    | normal<br>KBMT- .. -DD | inoxidable<br>KBMT- .. -DD-NR |              |
| 8                  | R0650 508 00           | R0650 208 30                  | 0,04         |
| 12                 | R0650 512 00           | R0650 212 30                  | 0,08         |
| 16                 | R0650 516 00           | R0650 216 30                  | 0,12         |
| 20                 | R0650 520 00           | R0650 220 30                  | 0,18         |
| 25                 | R0650 525 00           | R0650 225 30                  | 0,43         |
| 30                 | R0650 530 00           | R0650 230 30                  | 0,62         |
| 40                 | R0650 540 00           | R0650 240 30                  | 1,40         |

**Figura 52.** Rodamientos lineales Estándar, R0650

Fuente: (Lineartec, 2019)

### Características

- Casquillo templado y rectificado
- Jaula de guiado
- Bolas de acero de rodamientos
- Retenes integrados

Los coeficientes de fricción  $\mu$  de los rodamientos lineales con lubricación de aceite son de 0,001 – 0,004.

### b. Torque requerido para motor eje Y

El torque o esfuerzo de torsión se traduce como la fuerza que puede hacer el motor en un giro y es una característica fundamental para elegir un motor lo suficientemente fuerte para desplazar el



carro sin dificultad con todo su mecanismo, sustentar con cálculos garantiza el funcionamiento del mismo y permite seleccionar entre opciones comerciales. (Lineartec, 2019)

### Consideraciones

- Masa total ( $m_1$ ) = **3080 g**
- Gravedad ( $g$ ) = **9,8 m/s<sup>2</sup>**
- Coeficiente de rozamiento lineal ( $\mu_1$ ) = **0,004**

$$N_1 = m_1 * g \text{ (Budynas \& Nisbett, 2012)} \quad (8)$$

**$N_1$**  = Normal sobre los ejes.

**$m_1$**  = Masa del sistema extrusor y carro móvil.

**$F_1$**  = Fuerza que ejerce el sistema sobre las guías de los ejes.

$$N_1 = 3,080 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$N_1 = \mathbf{30,184 \text{ N}}$$

$$F_1 = \mu_1 * N_1 \text{ (Budynas \& Nisbett, 2012)} \quad (9)$$

$$F_1 = 0,004 * 30,184 \text{ N}$$

$$F_1 = \mathbf{0,120 \text{ N}}$$

Torque mínimo necesario para desplazar el eje Y por el motor

$$T = F * r \text{ (Budynas \& Nisbett, 2012)} \quad (10)$$

Radio de polea  $r = 16\text{mm}$  (Tecnimikro, 2019)

$$T = 0,120\text{ N} * 1,6\text{ cm}$$

$$T = 0,192\text{ Ncm}$$

El marco comercial utiliza para el movimiento del eje Y un motor nema 17 con el eje doble, la serie es 17HA801Y-22P comprobaremos si sus características son correctas.



*Figura 53.* Motor nema 17 para eje Y

Fuente: (EuropeModels, 2019)

**Especificaciones motor 17HA801Y-22P (EINSTRONIC, 2017)**

- Dimensiones **42x42x45 mm**
- Longitud total del eje **85mm**
- Paso **0.9°**
- Corriente **1.3A**
- Torque **0.25 Ncm**

El torque que se expresa en la hoja de datos supera en mucho al requerido por los cálculos  $0.25\text{ Ncm} > 0.192\text{ Ncm}$  esto asegura el correcto funcionamiento del motor. Para transformar el

movimiento rotacional a lineal hay varias opciones como se muestra en el capítulo 2, por disposición física del mecanismo se utiliza correa dentada GT2 de sincronización está hecha de neopreno y tienen cuerdas de fibra de vidrio como refuerzo. (OpenBuilds, 2016)



**Figura 54.** Correa dentada GT2

Fuente: (OpenBuilds, 2016)

#### **Características (OpenBuilds, 2016)**

- Correa dentada con dientes de un solo lado
- Material: Neopreno, Nylon (cubrimiento), fibra de vidrio (refuerzo)
- Ancho: **5~6mm**
- Temperatura de trabajo: **-34°C a +85°C**
- Punto de quiebre: **516N**
- Tensión de trabajo: **27N**

En cada lado del eje Y la fuerza necesaria es de  $15,10 \text{ N} < 27 \text{ N}$ , lo que asegura su funcionamiento.

#### **c. Sistema de movimiento eje X**

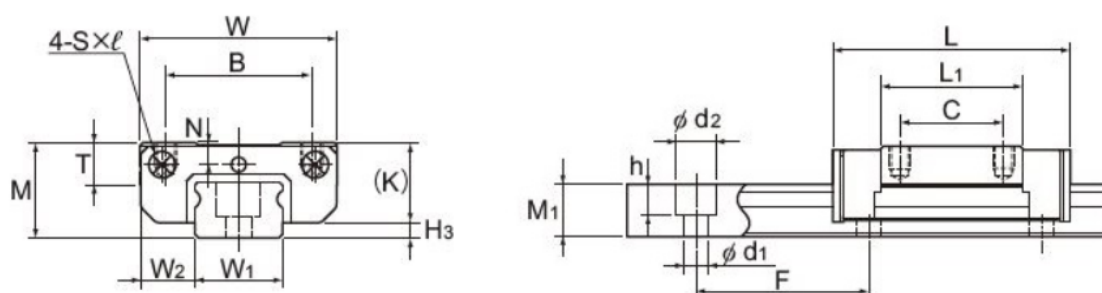
Para este desplazamiento el marco comercial utiliza una guía lineal como se muestra en la Figura 55, se realiza los cálculos para validar su uso y dimensionamiento.



**Figura 55.** Guía lineal para eje X

Fuente: (DEIMPRESORAS3D, 2019)

A partir de sus dimensiones físicas del patín y el carril se busca en el catálogo la serie y características del mecanismo, con estos datos se procede a calcular la carga de trabajo máxima.



**Figura 56.** Diagrama dimensiones guía SRS12M

Fuente: (NorthTHK, 2019)

**Tabla 13.**

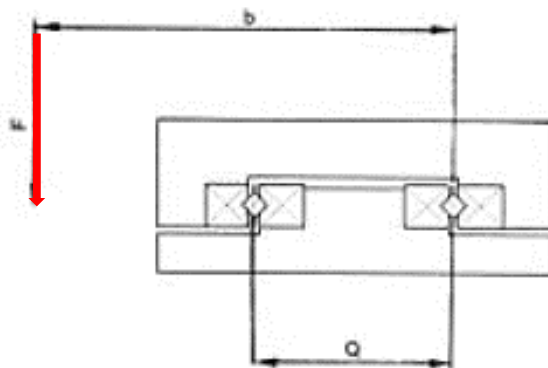
*Guías lineales comerciales THK*

| N° de Modelo. | Dimensiones exteriores |         |            | Dimensiones del bloque |    |          | Dimensiones del carril |                 |      | Capacidad de carga básica |  |
|---------------|------------------------|---------|------------|------------------------|----|----------|------------------------|-----------------|------|---------------------------|--|
|               | Altura M               | Ancho W | Longitud L | B                      | C  | $S * l$  | Pitch F                | $d_1 * d_2 * h$ | c    | $c_0$                     |  |
| SRS7M         | 8                      | 17      | 23.4       | 12                     | 8  | M2 x 2.3 | 15                     | 2.4x4.2x2.3     | 1.51 | 1.29                      |  |
| SRS9XM        | 10                     | 20      | 30.8       | 15                     | 10 | M3 x 2.8 | 20                     | 3.5x6x3.3       | 2,69 | 2,75                      |  |
| SRS12M        | 13                     | 27      | 34.4       | 20                     | 15 | M3 x 3.2 | 25                     | 3.5x6x4.5       | 4    | 3.53                      |  |
| SRS15M        | 16                     | 32      | 43         | 25                     | 20 | M3 x 3.5 | 40                     | 3.5x6x4.5       | 6.66 | 5.7                       |  |

Fuente: (NorthTHK, 2019)

La serie SRS12M es la utilizada en el marco comercial, se extrae más valores del catálogo.

La fuerza aplicada al eje X está ubicada lateralmente saliente y normal a la estructura superior de la mesa como se muestra en la Figura 57.



**Figura 57.** Diagrama carga aplicada al eje X

Fuente: (Rodalsa, 2019)

### Especificaciones (THK General Catalog, 2019)

- $b = 45mm$
- $Q = 12mm$
- $NR = 21$
- $NRP = 21/2 = 10.5$  se considera 10
- $F3$  precarga = 10%
- $F2$  peso de la mesa superior = 0.07 kg
- $Peso$  por riel = 0.4 kg (THK General Catalog, 2019)
- $F = 0,5$  kg peso del mecanismo

$$F1 = \frac{F*b}{Q*NRP} = \frac{0,5\text{ kg}*45mm}{12mm*10} = 0,187\text{ kg} \quad (\text{Budynas \& Nisbett, 2012}) \quad (11)$$

$$F2 = 0,07kg \quad (12)$$

$$F3 = 10\% \text{ de } 0,1875 \text{ kg} = 0,018 \text{ kg} \quad (13)$$

$$\sum F = F1 + F2 + F3 = 0,187 \text{ kg} + 0,07 \text{ kg} + 0,018 = \mathbf{0,276 \text{ kg} < 0.4 \text{ kg}}$$

El peso calculado se reparte para dos filas de rodamientos y es menor al valor nominal de diseño lo que asegura su verificación de funcionamiento, el carril también esta normalizado y se comprueba longitudes comerciales.

**Tabla 14.**  
*Longitudes comerciales guías lineales*

| N ° de Modelo.                                 | SRS7 | SRS7W | SRS9 | SRS9W   | SRS12 | SRS12W | SRS15 | SRS15W |
|--|------|-------|------|---------|-------|--------|-------|--------|
| Longitud estándar del carril (L <sub>0</sub> ) | 70   | 140   | 115  | 140     | 145   | 190    | 190   | 230    |
|  | 85   | 170   | 135  | 170     | 170   | 230    | 230   | 270    |
|  | 100  | 200   | 155  | 200     | 195   | 270    | 270   | 310    |
|  | 115  | 260   | 175  | 260     | 220   | 310    | 310   | 430    |
|  | 130  | 290   | 195  | 290 290 | 245   | 390    | 350   | 550    |
|  |      |       | 275  | 320     | 270   | 470    | 390   | 670    |
|  |      |       | 375  |         | 320   | 550    | 430   | 790    |
|  |      |       |      |         | 370   |        | 470   |        |
|  |      |       |      |         | 470   |        | 550   |        |
|  |      |       |      |         | 570   |        | 670   |        |
| Paso estándar F                                | 15   | 30    | 20   | 30      | 25    | 40     | 40    | 40     |
|  | 5    | 10    | 7.5  | 10      | 10    | 15     | 15    | 15     |
| Longitud máxima                                | 480  | 480   | 1240 | 1430    | 1430  | 1600   | 1600  | 1800   |

Fuente: (NorthTHK, 2019)

La serie SRS12M dispone de longitudes de carriles estándar, 570mm es la longitud seleccionada para esta aplicación.

El carril y el patín utilizados en el marco comercial satisfacen las necesidades del proyecto, como paso siguiente se comprueba el torque necesario para mover el carro del eje X.

#### d. Torque requerido para motor eje X

##### Consideraciones

- Masa total ( $m_1$ ) = **0,6 kg**
- Gravedad ( $g$ ) = **9,8 m/s<sup>2</sup>**
- Coeficiente de rozamiento lineal ( $\mu_1$ ) = **0,004** (Rodalsa, 2019)

$$N_1 = m_1 * g \text{ (Budynas \& Nisbett, 2012)} \quad (14)$$

**N1** = Normal sobre los ejes.

**m1** = Masa del sistema extrusor y carro móvil.

**F1** = Fuerza que ejerce el sistema sobre las guías de los ejes.

$$N_1 = 0,6 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$N_1 = \mathbf{5,88 \text{ N}}$$

$$F_1 = \mu_1 * N_1 \quad (15)$$

$$F_1 = 0,004 * 5,88 \text{ N}$$

$$F_1 = \mathbf{0,023 \text{ N}}$$

Torque mínimo necesario para desplazar el eje Y por el motor

$$T = F * r \text{ (Budynas \& Nisbett, 2012)} \quad (16)$$

Radio de polea  $r = 16\text{mm}$  (Tecnimikro, 2019)

$$T = 0,023\text{ N} * 1,6\text{ cm}$$

$$T = 0,037\text{ Ncm}$$

El marco comercial utiliza para el movimiento del eje X un motor nema 17, comprobaremos si sus características son correctas.

**Tabla 15.**

*Motores Nema 17 comerciales*

| Modelo motor | Peso (g) | Longitud (mm) | Torque (N*cm) |
|--------------|----------|---------------|---------------|
| Nema 17      |          |               |               |
| 17HS1352     | 220      | 34            | 0.26          |
| 17HS4401     | 280      | 40            | 0.36          |
| 17HS1910     | 400      | 48            | 0.50          |
| 17HS6001     | 550      | 60            | 0.80          |

Fuente: (EINSTRONIC, 2017)

El motor con serie 17HS1910 cumple los parámetros requeridos para desplazar el eje X.

**Especificaciones motor 17HS1910 (EINSTRONIC, 2017)**

- Dimensiones **42x42x48 mm**
- Longitud total del eje **85mm**
- Paso **0.9°**
- Corriente **1.7A**
- Torque **0.5 Ncm**

El torque que se expresa en la hoja de datos supera en mucho al requerido por los cálculos  $0.5\text{ Ncm} > 0.037\text{ Ncm}$  esto asegura el correcto funcionamiento del motor.

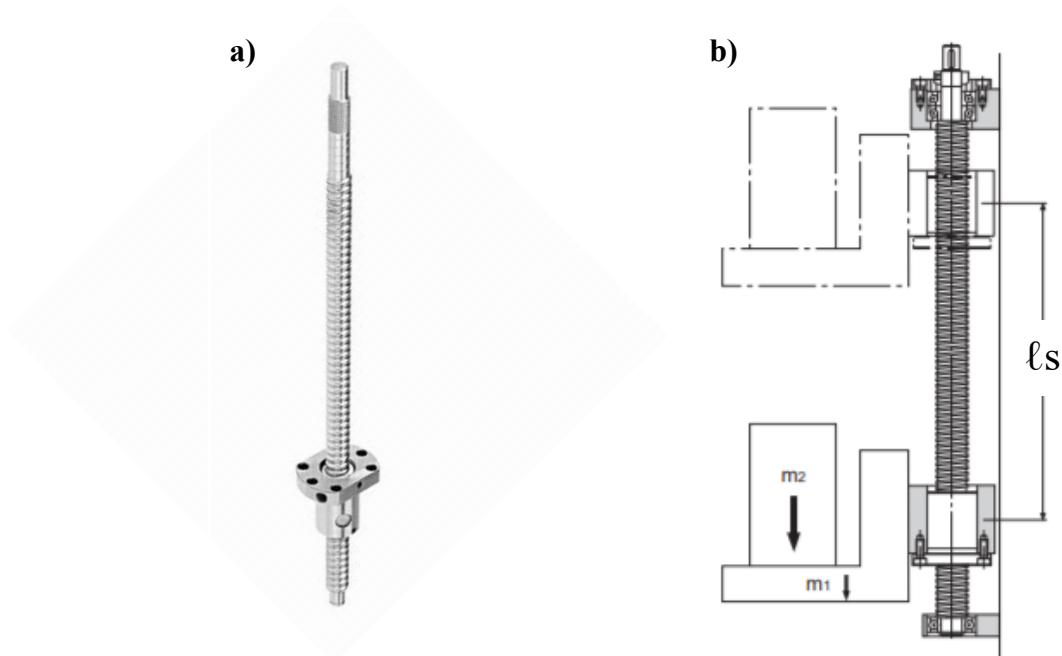


De igual forma que el eje Y para el eje X se utiliza banda dentada de sincronización GT2, la fuerza necesaria es de  $5,88 \text{ N} < 27 \text{ N}$ , lo que asegura su funcionamiento.

#### e. Sistema de movimiento eje Z

El eje Z es muy importante dentro del proyecto, la impresora 3D y el extrusora de materiales de prueba es necesario desplazar con precisión la mesa de trabajo verticalmente, el volumen de trabajo para la cual está diseñada la máquina sobrepasa por mucho al de una impresora 3D convencional.

Por requerimientos de la empresa se opta por husillos de bolas, a pesar de ser el más costoso de los mecanismos de transmisión como se aprecia en el capítulo 2, aporta gran precisión al movimiento del eje, además de ser específicos para mover grandes cargas.



**Figura 58.** Diagrama funcionamiento del eje Z

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

En la Figura 58 a) muestra la representación física del husillo de bolas, b) representa el diagrama de cuerpo libre para el husillo de bolas.

### Selección de un eje de husillo

Longitud de carrera  $\ell_s = 200 \text{ mm}$

Velocidad de rotación nominal:  $150 \text{ min}^{-1}$

Velocidad máxima  $V_{max} = 0,005 \text{ m/s}$

- Consideración de la longitud del eje de husillo

Suponga que la longitud total de la tuerca es de 50 mm y que la longitud al extremo de eje de husillo es de 50 mm. Por lo tanto, la longitud total se determina de la siguiente manera, según una longitud de carrera de 200mm.

$$200 + 50 + 50 = 300 \text{ mm} \quad (17)$$

Por tanto, se supone que la longitud del eje de husillo es de 300 mm.

- Selección del paso

Con una velocidad de rotación nominal del motor de impulso de  $150 \text{ min}^{-1}$  y una velocidad máxima de  $0,005 \text{ m/s}$ , se obtiene el paso del husillo de bolas:

$$\frac{0,005 * 60 * 1000}{150} = 2 \text{ mm} \quad (18)$$

Por lo tanto, es necesario seleccionar un tipo de husillo con un paso de 2mm o mayor.

- Selección del diámetro de eje de husillo

En el **Anexo D** se muestra las combinaciones estándar de eje y el paso del husillo de bolas laminado, se pre selecciona varios diámetros:

**Tabla 16.**  
*Diámetros husillos de bolas paso 4mm*

| <b>Diámetro del eje</b> | <b>Paso</b> |
|-------------------------|-------------|
| 8 mm                    | 4 mm        |
| 10 mm                   | 4 mm        |
| 12 mm                   | 4 mm        |

Se selecciona un diámetro de 12mm con paso 4mm por disponibilidad de stock en la empresa.



**Figura 59.** SFU/RM 1204 husillo de bolas

Fuente: (Chuang Ye Factory Store, 2019)

En el **Anexo E** se muestra las características a detalle del husillo de bolas.

- Selección del método de soporte de eje de husillo

Debido a que el husillo de bolas presupuesto tiene una longitud de carrera de 300mm y se acciona a una velocidad máxima de 0,005 m/s, se debe seleccionar la configuración fija con soporte para el eje del husillo.

### **Cálculo de la carga axial máxima**

Resistencia de la superficie de la guía  $f = 20 N$  (sin carga)

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Masa de la mesa       | $m_1 = 6 \text{ kg}$ (calculo sección 3.4.4)  |
| Masa de trabajo       | $m_2 = 45 \text{ kg}$ (calculo sección 3.4.4) |
| Velocidad máxima      | $V_{max} = 0,005 \text{ m/s}$                 |
| Tiempo de aceleración | $t_1 = 1 \text{ s}$                           |

Aceleración

$$\alpha = \frac{V_{max}}{t_1} = \frac{0,005}{1} = 0,005 \text{ [m/s}^2 \text{]} \text{ (Budynas \& Nisbett, 2012)} \quad (19)$$

Durante la aceleración hacia arriba:

$$F a_1 = (m_1 + m_2) * g + f + (m_1 + m_2) * \alpha \text{ (Budynas \& Nisbett, 2012)} \quad (20)$$

$$F a_1 = (6 + 45) \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 20 \text{ N} + (6 + 45) \text{ kg} * 0,005 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 520 \text{ N}$$

Durante el movimiento uniforme hacia arriba:

$$F a_2 = (m_1 + m_2) * g + f \text{ (Budynas \& Nisbett, 2012)} \quad (21)$$

$$F a_2 = (6 + 45) \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2 + 20 \text{ N} = 520 \text{ N}$$

Durante la deceleración hacia arriba:

$$F a_3 = (m_1 + m_2) * g + f - (m_1 + m_2) * \alpha \text{ (Budynas \& Nisbett, 2012)} \quad (22)$$

$$F a_3 = (6 + 45) \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 20 \text{ N} - (6 + 45) \text{ kg} * 0,005 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 520 \text{ N}$$

Durante la aceleración hacia abajo:

$$Fa_4 = (m_1 + m_2) * g - f - (m_1 + m_2) * \alpha \text{ (Budynas \& Nisbett, 2012)} \quad (23)$$

$$Fa_4 = (6 + 45)kg * 9,8 \frac{m}{s^2} - 20 N - (6 + 45)kg * 0,005 \frac{m}{s^2} = 480 N$$

Durante el movimiento uniforme hacia abajo:

$$Fa_5 = (m_1 + m_2) * g - f \text{ (Budynas \& Nisbett, 2012)} \quad (24)$$

$$Fa_5 = (6 + 45)kg * 9,8 m/s^2 - 20 N = 480 N$$

Durante la deceleración hacia abajo:

$$Fa_6 = (m_1 + m_2) * g + f - (m_1 + m_2) * \alpha \text{ (Budynas \& Nisbett, 2012)} \quad (25)$$

$$Fa_6 = (6 + 45)kg * 9,8 \frac{m}{s^2} + 20 N - (6 + 45)kg * 0,005 \frac{m}{s^2} = 520 N$$

Por ende, la carga axial máxima aplicada sobre el husillo de bolas se expresa de la siguiente manera:

$$Fa_{max} = Fa_1 = 520 N \quad (26)$$

### Carga de deformación del eje del husillo

$\eta_1, \eta_2$  = Factor de acuerdo con el método de montaje (THK, 2019)

|                    |                 |                |
|--------------------|-----------------|----------------|
| Fijo – libre       | $\eta_1 = 0,25$ | $\eta_2 = 1,3$ |
| Fijo – con soporte | $\eta_1 = 2$    | $\eta_2 = 10$  |
| Fijo – fijo        | $\eta_1 = 4$    | $\eta_2 = 20$  |

Distancia entre dos superficies de montaje  $l_a = 400 \text{ mm}$  (estimado)

Diámetro menor de la rosca del eje husillo  $d_1 = 11 \text{ mm}$  (Anexo F)

$$P_1 = \eta_2 * \frac{d_1^4}{\ell_a^2} * 10^4 = 20 * \frac{11^4}{400^2} * 10^4 = 18301 \text{ N (Budynas \& Nisbett, 2012)} \quad (27)$$

### **Carga de tracción y de compresión admisible del eje del husillo**

$$P_2 = 116 * d_1^2 = 116 * 11^2 = 14036 \text{ N (Budynas \& Nisbett, 2012)} \quad (28)$$

Por ende, la carga de pandeo, la carga de tracción y de compresión admisible del eje de husillo superan a la carga axial máxima. Por lo tanto, un husillo de bolas que cumpla con estos requisitos se puede usar sin problema.

- Análisis de la velocidad de rotación admisible

### **Velocidad máxima de rotación**

Diámetro de eje del husillo: 12 mm; paso: 4mm

Velocidad máxima  $V_{max} = 0,005 \text{ m/s}$

Paso  $Ph = 4 \text{ mm}$

$$N_{max} = \frac{V_{max} * 60 * 10^3}{Ph} \text{ (Budynas \& Nisbett, 2012)} \quad (29)$$

$$N_{max} = \frac{0,005 \text{ m/s} * 60 * 10^3}{4 \text{ mm}} = 150 \text{ min}^{-1}$$

- Análisis de la vida útil

### **Cálculo de la distancia de recorrido**

Velocidad máxima  $V_{max} = 0,005 \text{ m/s}$

Tiempo de aceleración  $t_1 = 1 \text{ s}$

Tiempo de deceleración  $t_3 = 1 \text{ s}$

- Distancia de recorrido durante la aceleración (Budynas & Nisbett, 2012)

$$\ell_{1,4} = \frac{V_{max} * t_1}{2} * 10^3 = \frac{0,005 * 1}{2} * 10^3 = 2.5 \text{ mm} \quad (30)$$

- Distancia de recorrido durante el movimiento uniforme (Budynas & Nisbett, 2012)

$$\ell_{2,5} = \ell_s - \frac{V_{max} * t_1 + V_{max} * t_3}{2} * 10^3 \quad (31)$$

$$\ell_{2,5} = 200 - \frac{0,005 * 1 + 0,005 * 1}{2} * 10^3 = 195 \text{ mm}$$

- Distancia de recorrido durante la deceleración (Budynas & Nisbett, 2012)

$$\ell_{3,6} = \frac{V_{max} * t_3}{2} * 10^3 = \frac{0,005 * 1}{2} * 10^3 = 2.5 \text{ mm} \quad (32)$$

Según las condiciones descritas anteriormente, se muestra la tabla de la relación entre la carga axial aplicada y la distancia de recorrido.

**Tabla 17.**  
*Relación carga axial aplicada y distancia de recorrido*

| Movimiento   | Carga axial aplicada | Distancia recorrida   |
|--|----------------------|-----------------------|
|  | $Fa_N \text{ (N)}$   | $\ell_N \text{ (mm)}$ |
| N.º 1: Durante la aceleración hacia arriba         | 520                  | 2,5                   |
| N.º 2: Durante el movimiento uniforme hacia arriba | 520                  | 195                   |
| N.º 3: Durante la deceleración hacia arriba        | 520                  | 2.5                   |
| N.º 4: Durante la aceleración hacia abajo          | 480                  | 2,5                   |
| N.º 5: Durante el movimiento uniforme hacia abajo  | 480                  | 195                   |
| N.º 6: Durante la deceleración hacia abajo         | 520                  | 2.5                   |

**Carga axial promedio** (Budynas & Nisbett, 2012)

$$F_m = \sqrt[3]{\frac{1}{2 * \ell_s} (Fa_1^3 * \ell_1 + Fa_2^3 * \ell_2 + Fa_3^3 * \ell_3 + Fa_4^3 * \ell_4 + Fa_5^3 * \ell_5 + Fa_6^3 * \ell_6)} \quad (33)$$

$$F_m = 501,05 \text{ N}$$

**Vida Nominal** (Budynas & Nisbett, 2012)

Capacidad de carga dinámica  $Ca = 1700 \text{ N}$

**Anexo**

Factor de carga  $f_W = 1$  (**Anexo G**)

Carga media  $F_m = 501,05 \text{ N}$

Vida nominal  $L$  (*rev*)

$$L = \left( \frac{Ca}{f_W * F_m} \right)^3 * 10^6 \quad (34)$$

$$L = \left( \frac{1700}{1 * 501,05} \right)^3 * 10^6$$

$$L = 0,39 * 10^9 \text{ rev}$$

**Revoluciones promedio por minuto** (Budynas & Nisbett, 2012)

Cantidad de repeticiones por minuto  $n = 5 \text{ min}^{-1}$

Carrera  $\ell_s = 200 \text{ mm}$

Paso  $Ph = 4 \text{ mm}$

$$N_m = \frac{2 * n * \ell_s}{Ph} = \frac{2 * 5 * 200}{4} = 500 \text{ min}^{-1} \quad (35)$$



**Cálculo del tiempo de vida útil sobre la base de la vida nominal** (Budynas & Nisbett, 2012)

|              |                               |
|--------------|-------------------------------|
| Vida nominal | $L = 0,39 * 10^9 \text{ rev}$ |
|--------------|-------------------------------|

|                                  |                              |
|----------------------------------|------------------------------|
| Revoluciones promedio por minuto | $N_m = 500 \text{ min}^{-1}$ |
|----------------------------------|------------------------------|

$$L_h = \frac{L}{60 * N_m} = \frac{0,39 * 10^9}{60 * 500} = 13000 \text{ h} \quad (36)$$

**Cálculo de la vida útil en distancia de recorrido sobre la base de la vida nominal** (Budynas & Nisbett, 2012)

|              |                               |
|--------------|-------------------------------|
| Vida nominal | $L = 0,39 * 10^9 \text{ rev}$ |
|--------------|-------------------------------|

|      |                     |
|------|---------------------|
| Paso | $Ph = 4 \text{ mm}$ |
|------|---------------------|

$$L_s = L * Ph * 10^{-6} = 52000 \text{ km} \quad (37)$$

**Análisis del par de torsión de rotación** (Budynas & Nisbett, 2012)

- Par de torsión de fricción debido a una carga externa

Durante el movimiento uniforme hacia arriba:

$$T_1 = \frac{Fa_2 * Ph}{2 * \pi * \eta} = \frac{520 * 2}{2 * \pi * 0,9} = 183,91 \text{ N} * \text{mm} \quad (38)$$

Durante el movimiento uniforme hacia abajo:

$$T_2 = \frac{Fa_5 * Ph}{2 * \pi * \eta} = \frac{480 * 2}{2 * \pi * 0,9} = 169,76 \text{ N} * \text{mm} \quad (39)$$

- Momento de inercia

El momento de inercia por longitud de unidad del eje de husillo es  $10,8 * 10^{-4} \text{ kg} * \text{cm}^2 / \text{mm}$ , el momento de inercia del eje de husillo con una longitud total de 300 mm se obtiene de la siguiente manera:

$$J_s = 10,8 * 10^{-4} * 300 = 0,32 \text{ kg} * \text{cm}^2 = 0,32 * 10^{-4} \text{ kg} * \text{m}^2 \quad (40)$$

$$J = (m1 + m2) \left( \frac{Ph}{2 * \pi} \right)^2 * A^2 * 10^{-6} + J_s * A^2 \quad (41)$$

$$J = (6 + 45) \left( \frac{4}{2 * \pi} \right)^2 * 1^2 * 10^{-6} + 0,32 * 10^{-4} * 1^2$$

$$J = 0,37 * 10^{-4} \text{ kg} * \text{m}^2$$

#### f. Torque requerido para motor eje Z

Se describe a continuación la selección del motor para el eje Z, se busca que cumpla las características calculadas, la búsqueda comienza desde Nema 17.

**Tabla 18.**  
Nema 17, ángulo  $1.8^\circ$ , longitud 42 mm

| MODELO        | PAR DE<br>RETENCIÓN | PAR DE<br>RETENCIÓN | RESISTENCIA<br>DE FASE | CORRIENTE<br>DE FASE | INDUCTANCIA<br>DE FASE | INERCIA DEL<br>ROTOR | # DE CABLES | PESO | LONGITUD L |
|---------------|---------------------|---------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|-------------|------|------------|
|               | Oz.in               | N.m                 | Ohm                    | A                    | mH                     | g.cm2                |             | g    | mm         |
| GM42HS40-1704 | 57                  | 0.4                 | 1.5                    | 1.7                  | 2.8                    | 54                   | 4           | 280  | 40         |
| GM42HS48-1304 | 74                  | 0,52                | 3.2                    | 1.3                  | 5.5                    | 68                   | 4           | 350  | 48         |
| GM42HS48-1704 | 74                  | 0,52                | 1.8                    | 1.7                  | 3.2                    | 68                   | 4           | 350  | 48         |
| GM42HS60-1504 | 100                 | 0.7                 | 2.3                    | 1.5                  | 4.6                    | 80                   | 4           | 480  | 60         |
| GM42HS60-2304 | 100                 | 0.7                 | 1.4                    | 2.3                  | 2.5                    | 80                   | 4           | 480  | 60         |

Fuente: (GemsMotor, 2015a)

Las dos opciones de motores son las de mayor momento de inercia

$$80 \text{ g} * \text{cm}^2 = 0.08 * 10^{-4} \text{ kg} * \text{m}^2 < 0,37 * 10^{-4} \text{ kg} * \text{m}^2 \quad \text{no cumple}$$

El mayor valor de momento de inercia en motores nema 17 no cumple con los cálculos, se procede a buscar una opción en Nema 23.

**Tabla 19.**

*Nema 23, ángulo 1.8 °, longitud 57 mm*

| MODELO         | PAR DE<br>RETENCIÓN | PAR DE<br>RETENCIÓN | RESISTENCIA<br>DE FASE | CORRIENTE<br>DE FASE | INDUCTANCIA<br>DE FASE | INERCI A DEL<br>ROTOR | # DE CABLES<br>DE PLOMO | PESO | LONGITUD L |
|----------------|---------------------|---------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|------|------------|
|                | Oz.in               | N.m                 | Ohm                    | A                    | mH                     | g.cm2                 |                         | g    | mm         |
| GM57HS41-1504  | 78                  | 0,55                | 1.2                    | 2                    | 2.5                    | 150                   | 4                       | 470  | 41         |
| GM57HS56-1504  | 128                 | 0.9                 | 3.2                    | 1.5                  | 5.5                    | 280                   | 4                       | 590  | 56         |
| GM57HS56-3004  | 142                 | 1                   | 1.1                    | 3                    | 3                      | 280                   | 4                       | 680  | 56         |
| GM57HS76-3004  | 227                 | 1.6                 | 0.5                    | 3                    | 2.4                    | 440                   | 4                       | 1050 | 76         |
| GM57HS84-3004  | 286                 | 2                   | 0,57                   | 3                    | 2.5                    | 530                   | 4                       | 1130 | 84         |
| GM57HS100-3004 | 343                 | 2.4                 | 0.89                   | 3                    | 3.4                    | 680                   | 4                       | 1250 | 100        |
| GM57HS100-4204 | 343                 | 2.4                 | 0.9                    | 4.2                  | 3.8                    | 680                   | 4                       | 1250 | 100        |
| GM57HS112-3004 | 355                 | 2.5                 | 1.6                    | 3                    | 6.8                    | 800                   | 4                       | 1400 | 112        |

**Nota.** Fuente: (GemsMotor, 2015b)

$$440 \text{ g} * \text{cm}^2 = 0.44 * 10^{-4} \text{ kg} * \text{m}^2 > 0,37 * 10^{-4} \text{ kg} * \text{m}^2 \quad \text{sí cumple}$$

Cualquier motor con características iguales o superiores a esta funcionan para la aplicación, se ha completado la selección. La empresa dispone de un motor nema 34, se analiza sus características con el objetivo de usarlo para el movimiento del eje Z.

**Tabla 20.**

Nema 34, ángulo 1.8 °, longitud 86 mm

| MODELO         | PAR DE<br>RETENCIÓN | PAR DE<br>RETENCIÓN | RESISTENCIA<br>DE FASE | CORRIENTE<br>DE FASE | INDUCTANCIA<br>DE FASE | INERCI A DEL<br>ROTOR | # DE CABLES<br>DE PLOMO | PESO | LONGITUD L |
|----------------|---------------------|---------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|------|------------|
|                | Oz.in               | N.m                 | Ohm                    | A                    | mH                     | kg.cm2                |                         | kg   | mm         |
| GM86HS68-4004  | 369                 | 2.6                 | 0.63                   | 4                    | 3.2                    | 0.85                  | 4                       | 2    | 68         |
| GM86HS98-5004  | 963                 | 6.8                 | 0.5                    | 5                    | 4                      | 1.55                  | 4                       | 3    | 98         |
| GM86HS116-6004 | 1204                | 8.5                 | 0.6                    | 6                    | 6.8                    | 1.8                   | 4                       | 3.5  | 114        |
| GM86HS116-5008 | 822                 | 5.8                 | 0.75                   | 5                    | 3.2                    | 1.8                   | 8                       | 3.5  | 114        |

**Nota.** Fuente: (GemsMotor, 2015c)

Sus características cumplen y sobrepasan las requeridas, lo que garantiza su funcionamiento. En el (Anexo H) se muestra las características a detalle del motor.



**Figura 60.** Motor 86BHH114-500A-35

Fuente: (CNC Router Accessories Store, 2019)

### 3.4.4 Subsistema - Mesa de trabajo



**Figura 61.** Dimensiones XY mesa de trabajo

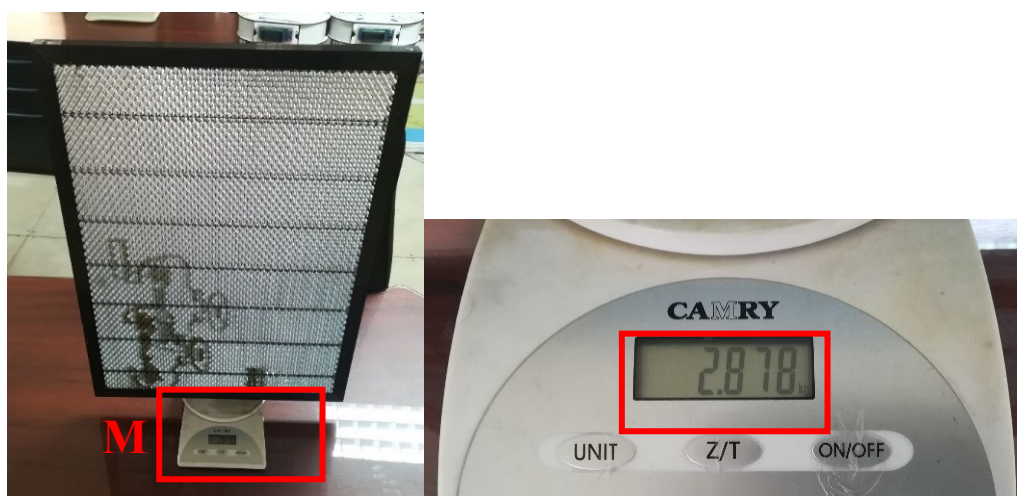


**Figura 62.** Altura Z mesa de trabajo

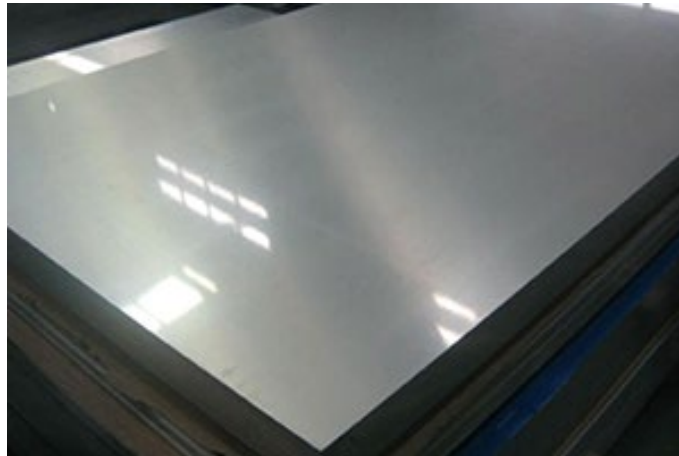
$L = \text{Longitud} = 600 \text{ [mm]}$

$P = \text{Profundidad} = 400 \text{ [mm]}$

$A = \text{Ancho} = 22 \text{ [mm]}$



**Figura 63.** Medición del peso - mesa de trabajo



**Figura 64.** Mesa de trabajo acero inoxidable

Fuente: (DISMETAL, 2019)

#### **Características (DISMETAL, 2019)**

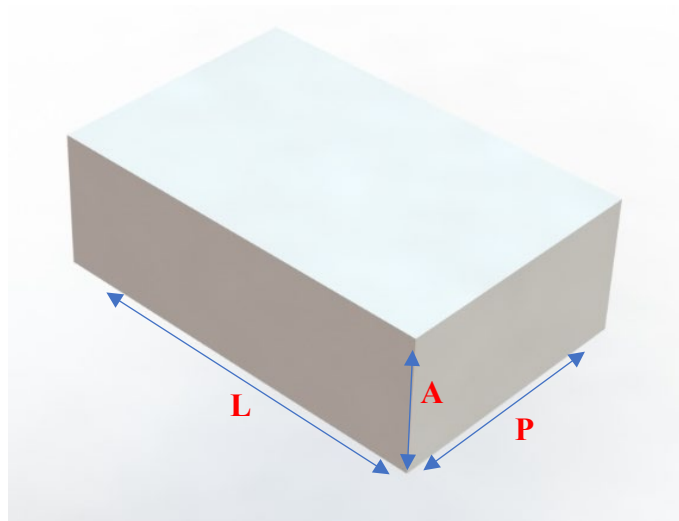
- Material: *AISI* – 316
- Formato: 600x400x2 mm
- Peso: 3,7 kg

$$M = Masa = 2,878 \times 2 = 5,756 [Kg] \approx \mathbf{6[Kg]} \quad (42)$$

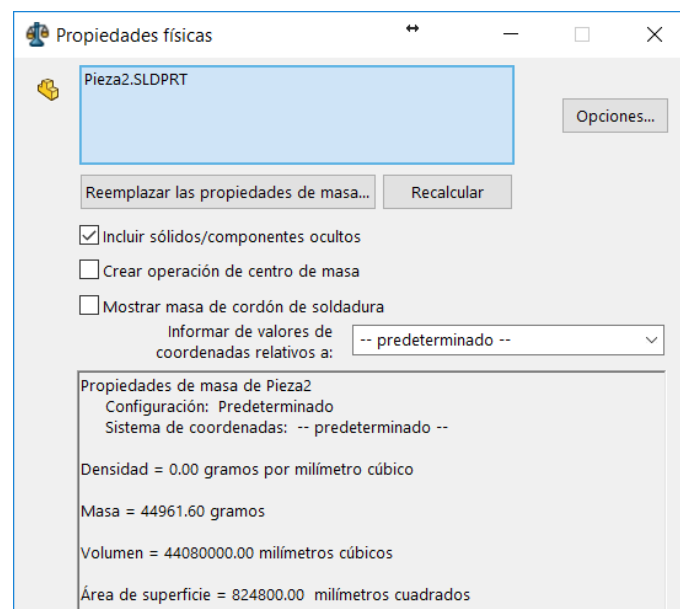
En la Ecuación 42 se duplica el peso por la estructura de soporte inferior y la chapa de acero inoxidable que recubre la cara superior de la mesa.

#### **Cálculo de la carga axial máxima**

Para este análisis se busca determinar el volumen máximo de trabajo, se asume una impresión en 3D completamente solida que abarque las dimensiones máximas permitidas en la máquina Figura 65.



**Figura 65.** Volumen máximo de trabajo



**Figura 66.** Propiedades físicas estimadas

$$\text{Masa} = 44961.60 \text{ [gr]} = 44.9616 \text{ [Kg]} \approx 45 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen} = 44080000.00 \text{ [mm}^3\text{]} = 0.04408 \text{ [m}^3\text{]}$$

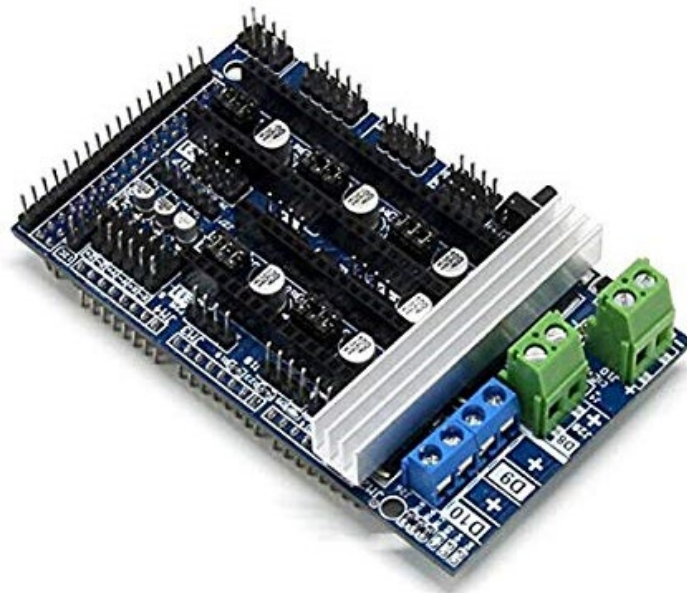
$$\text{Área de superficie} = 824800.00 \text{ [mm}^2\text{]} = 0.8248 \text{ [m}^2\text{]}$$

### 3.4.5 Subsistema - Controladora CNC

En esta sección se determina la tarjeta que tendrá el control de toda la máquina, esta debe ser capaz de controlar de cuatro a cinco ejes, permitir el ingreso de por lo menos tres finales de carrera, manejar de cinco a veinticuatro voltios en corriente continua, seguridades en la salida con optoacopladores, fusibles, manejo de ventiladores por PWM, las tarjetas que cumplen estas características se muestran a continuación.

#### Ramps v1.6

Tarjeta altamente utilizada en proyectos RepRap, básicamente es una tarjeta shield que se monta sobre un Arduino mega para funcionar, está pensada para control de máquinas CNC, su programación es de código abierto, permite conectar hasta cinco motores a pasos, maneja estradas para tres termistores, dispone de entradas para finales de carrera y permite control de tres elementos de potencia mediante mosfet, permite tener mayor control del uso de los pines.



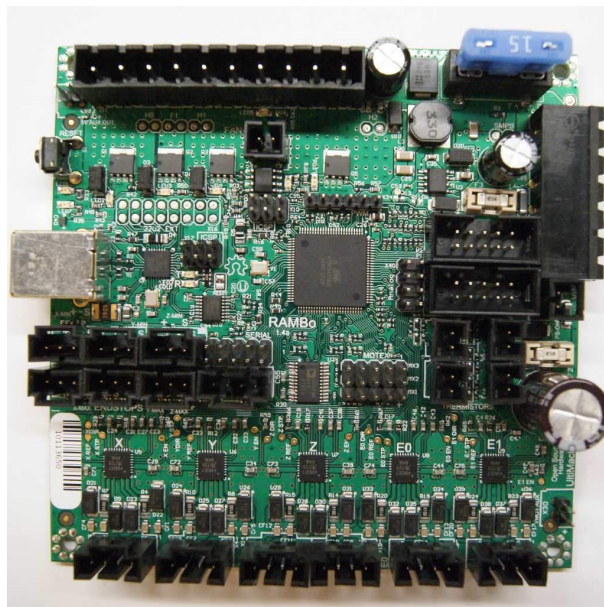
**Figura 67.** Tarjeta Shield Ramps v1.6

Fuente: (RepRap, 2018)



## RAMBo v1.4

La mejora en esta tarjeta es notable, incorpora protecciones eléctricas para cortocircuitos y sobre corriente, la placa cuenta con drivers para motores a pasos de hasta 1.5 A, dispone de conectores en los pines lo que permite una mejor sujeción de las conexiones, el acondicionamiento de los sensores también está incluido en la placa, es mucho más robusta para trabajo en ambientes hostiles.

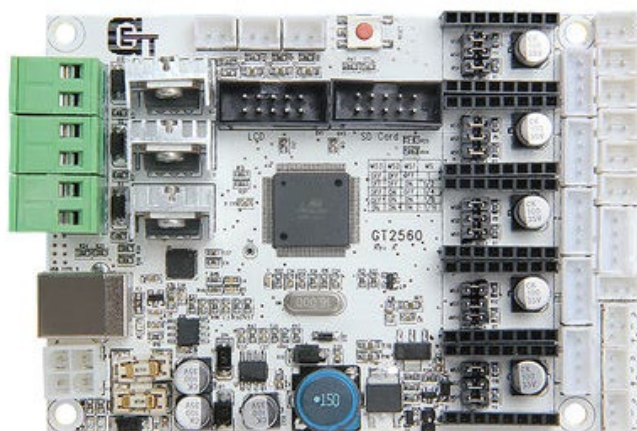


*Figura 68.* Tarjeta Rambo v1.4

Fuente: (UltiMachine, 2019)

## GeeetechGT2560 rev. A+

La placa es una fusión entre Arduino Mega y Ramps 1.4, dando como resultado una tarjeta más compacta, robusta y de mejor aspecto físico, además se ha mejorado sus características de funcionamiento mediante seguridades eléctricas como fusibles, optoacopladores, pines con jacks polarizados, es utilizada comúnmente en impresoras 3D, manejar voltajes de 5,12,24V DC, permite la conexión de pantalla LCD.



**Figura 69.** Tarjeta GT2560 rev A+

Fuente: (Geeetech, 2018)

**Tabla 21.**  
Selección componentes subsistema - Controladora CNC

| Núm. | Característica                   | Importancia | Elementos de comparación |             |             |             |               |            |
|------|----------------------------------|-------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|------------|
|      |                                  |             | Ramps 1.4                |             | Rambo v1.3L |             | GT2560 rev A+ |            |
|      |                                  |             | puntos                   | %           | puntos      | %           | puntos        | %          |
| 1    | Mayor estética visual            | 15%         | 2                        | 0.30        | 3           | 0.45        | 5             | 0.75       |
| 2    | Mejores características técnicas | 25%         | 3                        | 0.75        | 4           | 1.00        | 4             | 1.00       |
| 3    | Mayor información sobre su uso   | 25%         | 4                        | 1.00        | 3           | 0.75        | 5             | 1.25       |
| 4    | Menor costo                      | 10%         | 5                        | 0.50        | 2           | 0.20        | 3             | 0.30       |
| 5    | Mayor robustez                   | 15%         | 2                        | 0.30        | 5           | 0.75        | 4             | 0.60       |
| 6    | Facilidad de Adquisición         | 10%         | 4                        | 0.40        | 4           | 0.40        | 4             | 0.40       |
|      | <b>Ponderación</b>               | <b>100%</b> |                          | <b>3.25</b> |             | <b>3.55</b> |               | <b>4.3</b> |

La puntuación es equivalente a 0 nulo, 1 deficiente, 2 regular, 3 bueno, 4 muy bueno, 5 sobresaliente, (Budynas & Nisbett, 2012). Los porcentajes son establecidos por requerimientos de la empresa.

### **Características GT2560 (Geeetech, 2018)**

- Integra Arduino Mega2560 + rampas 1.4.
- Tamaño compacto y una conexión más estable.
- ATmega2560 como chip de control principal.
- Voltaje de operación es 12V-24V.
- Protección contra sobre corriente, fusible SMD.
- Salida de ventilador tres de 12v.
- MOSFET con disipador de calor.
- Compatibilidad con los controladores paso a paso A4988 / TMC2100 / TMC2208 (3 para los ejes X / Y / Z y 2 para los extrusores).
- Interfaz LCD y tarjeta SD, compatible con LCD2004 y LCD 12864.
- Firmware Marlin, facilidad de uso y alto rendimiento.

#### **3.4.6 Subsistema - Montaje y conexión de actuadores**

Esta parte mecánica y eléctrica es un punto importante dentro del proyecto, se refiere al mecanismo que sujeta el cabezal a la estructura, cuatro tecnologías equivalen a cuatro actuadores que deben ser colocados sobre el marco XY para su funcionamiento, se plantea un requerimiento de fácil y rápido acople de los cabezales para el usuario, además las conexiones eléctricas de igual manera deben ser sencillas y cómodas. Con estos requerimientos se busca opciones viables para implementar.

## **Técnicas para montaje de cabezales**

### **Sujeción por imanes**

Consiste en unir dos piezas en este caso el actuador y la estructura por campo magnético, en este tipo de aplicación se utiliza imanes de neodimio, entre sus ventajas se menciona su alta fuerza de campo magnético, se fabrican en muchas formas y tamaños y en la actualidad son mucho más fáciles de adquirir.

### **Sujeción por tornillo**

Es la conexión típica y más usada en máquinas herramienta, se coloca las dos piezas una junto a la otra y mediante tornillos o pernos que pasan a través de estas normalmente ubicadas en las esquinas se hace presión y quedan sujetas las dos piezas, con esta técnica se consigue una sujeción fuerte y segura.

### **Sujeción por acople de presión**

La técnica consiste en generar un mecanismo macho y un hembra que tiene un sentido de ubicación, normalmente tienen áreas que sobresalen y requieren de presión para encajar por completo y quedan de esta forma fijas las dos partes hasta el momento de generar presión en sentido contrario lo que genera el desacople de las piezas.

**Tabla 22.**  
*Selección montaje de cabezales*

| Núm. | Característica                | Importancia | Elementos de comparación |             |               |             |             |             |
|------|-------------------------------|-------------|--------------------------|-------------|---------------|-------------|-------------|-------------|
|      |                               |             | Por imanes               |             | Por tornillos |             | Por presión |             |
|      |                               |             | puntos                   | %           | puntos        | %           | puntos      | %           |
| 1    | Mejor sujeción                | 25%         | 3                        | 0.75        | 5             | 1.25        | 4           | 1.00        |
| 2    | Menor costo de implementación | 15%         | 2                        | 0.30        | 4             | 0.60        | 5           | 0.75        |
| 3    | Mejor estética visual         | 20%         | 5                        | 1.00        | 4             | 0.80        | 5           | 1.00        |
| 4    | Mayor facilidad de desmontaje | 20%         | 5                        | 1.00        | 2             | 0.40        | 5           | 1.00        |
| 5    | Mayor desgaste al uso         | 20%         | 2                        | 0.40        | 5             | 1.00        | 4           | 0.80        |
|      | <b>Ponderación</b>            | <b>100%</b> |                          | <b>3.45</b> |               | <b>4.05</b> |             | <b>4.55</b> |

La puntuación es equivalente a 0 nulo, 1 deficiente, 2 regular, 3 bueno, 4 muy bueno, 5 sobresaliente, (Budynas & Nisbett, 2012). Los porcentajes son establecidos por requerimientos de la empresa.

En la Tabla 22 se pondera el uso de tres distintas formas de sujeción para los cabezales, el uso de tornillos es la forma más estable de sujetar dos piezas disminuye la factibilidad de un intercambio rápido de cabezales mientras que los imanes añaden versatilidad una de sus desventajas en la fuerza de sujeción que proporcionan los imanes considerando el tamaño reducido de los imanes, por lo tanto, se utiliza un mecanismo de acople por presión que se basa en tolerancias muy bajas para que el encaje de las piezas sea estable.

## Técnicas para conexión de actuadores

Se analiza la cantidad de cables que se requiere para los cuatro cabezales, cuantos se reutilizan y cuantos se reparten de forma específica para cada cabezal. Se plantea simplificar este proceso con un solo conector de tipo plug and play.

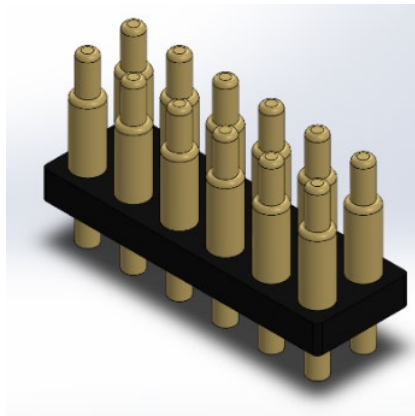
**Tabla 23.**  
Distribución pines requeridos

| Núm. | Descripción señal           | Láser | Impresora 3d | Plotter | Extrusor materiales de prueba |
|------|-----------------------------|-------|--------------|---------|-------------------------------|
| 1    | Negativo (GND)              | *     | *            | *       | *                             |
| 2    | Alimentación (5V+ PWM)      | *     |              | *       |                               |
| 3    | Alimentación (12V+)         | *     | *            |         |                               |
| 4    | Termistor (T+)              | *     | *            | *       | *                             |
| 5    | Resistencia (R+)            |       | *            |         | *                             |
| 6    | Resistencia (R-)            |       | *            |         | *                             |
| 7    | Sensor de altura (H+)       | *     | *            | *       | *                             |
| 8    | Detección de cabezal (P+)   | *     | *            | *       | *                             |
| 9    | Control motor (A+)          |       |              |         | *                             |
| 10   | Control motor (A-)          |       |              |         | *                             |
| 11   | Control motor (B+)          |       |              |         | *                             |
| 12   | Control motor (B-)          |       |              |         | *                             |
| 13   | Traslado control motor (C+) |       | *            |         |                               |
| 14   | Traslado control motor (C-) |       | *            |         |                               |
| 15   | Traslado control motor (D+) |       | *            |         |                               |
| 16   | Traslado control motor (D-) |       | *            |         |                               |

El \* representa el requerimiento del pin para su funcionamiento. Se analiza tres posibles maneras de cumplir este requerimiento.

### **Pines con resorte**

Permite el contacto mediante pines que en su extremo contienen un mecanismo de resorte como se muestra en la Figura 70, esto permite presionar dicho elemento a su contraparte y así cerrar circuito, requiere de una buena alineación para su correcto funcionamiento.



**Figura 70.** Pines con resorte

### **Acople universal**

Utiliza un conector macho y un conector hembra, se los encuentra normalmente con arreglos de dos a veinticuatro pines, disponen de polaridades para una única forma de conexión, además, cuentan con seguros para mejorar la sujeción Figura 71.



**Figura 71.** Conector polarizado con seguro

Fuente: (MUYI, 2019)

## Cinta flexible bus

Comúnmente usada en circuitos de celulares y computadores, utilizan puertos de conexión en cada extremo y mediante una cinta flexible conecta dichos puntos.



**Figura 72.** Cinta tipo BUS

Fuente: (Sites Google, 2019)

**Tabla 24.**  
*Selección conexión cabezales*

| Núm. | Característica                 | Importancia | Elementos de comparación |             |                  |             |                |             |
|------|--------------------------------|-------------|--------------------------|-------------|------------------|-------------|----------------|-------------|
|      |                                |             | Pines con resorte        |             | Acople universal |             | Cinta flexible |             |
|      |                                |             | puntos                   | %           | puntos           | %           | puntos         | %           |
| 1    | Conexión más robusta           | 30%         | 3                        | 0.90        | 5                | 1.50        | 4              | 1.20        |
| 2    | Menor costo                    | 15%         | 4                        | 0.60        | 3                | 0.45        | 4              | 0.60        |
| 3    | Mayor comodidad de implementar | 30%         | 2                        | 0.60        | 5                | 1.50        | 3              | 0.90        |
| 3    | Mejor estética visual          | 10%         | 5                        | 0.50        | 4                | 0.40        | 4              | 0.40        |
| 4    | Mayor resistencia al uso       | 15%         | 3                        | 0.45        | 5                | 0.75        | 3              | 0.45        |
|      | <b>Ponderación</b>             | <b>100%</b> |                          | <b>3.05</b> |                  | <b>4.60</b> |                | <b>3.55</b> |

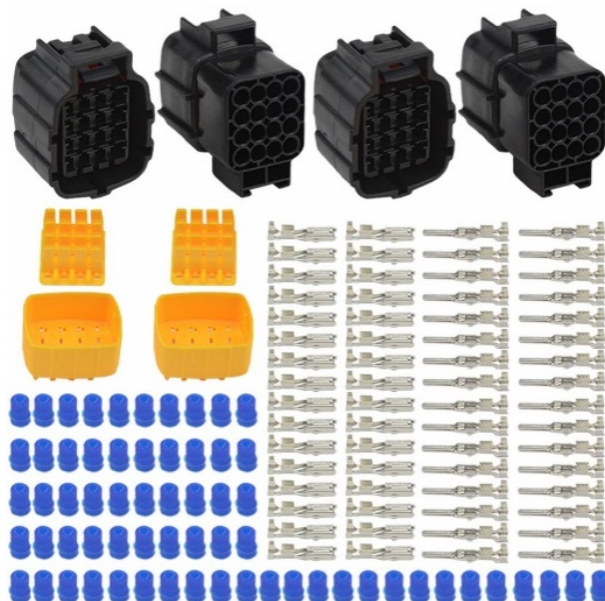
La puntuación es equivalente a 0 nulo, 1 deficiente, 2 regular, 3 bueno, 4 muy bueno, 5 sobresaliente, (Budynas & Nisbett, 2012). Los porcentajes son establecidos por requerimientos de la empresa.



La Tabla 24 muestra que la mejor opción es un acople universal, lo que simplifica el cableado de los cabezales a un solo conector de acople rápido, en total se requiere un conector de 16 pines, la primera opción de pines por resorte es una buena opción sin embargo sus componentes son muy pequeños para la fabricación e implementación, la cinta flexible tipo bus permite flexibilidad sin embargo vienen en configuración plana y ocupan mucho espacio.

### Especificaciones conector universal

- Marca: WGCD.
- Cantidad de pines: 16.
- Conector de cable impermeable: no se ve afectado por agua, suciedad, niebla u otros productos químicos.
- Partes: terminales macho, terminales hembra, sellos de cable de silicona.



**Figura 73.** Conector WGCD 16 pines

Fuente: (WGCD, 2019)

### **3.4.7 Subsistema – Actuadores**

Son básicamente los encargados de dar una característica o una funcionalidad específica a la máquina, los cabezales tienen en común y reutilizan la estructura cartesiana, la mecánica y parte de la electrónica, van montados sobre el eje X y son intercambiables entre sí.

#### **a. Impresora 3D**

En la sección 2.3.1 se muestra los principios de funcionamiento de la tecnología de impresión 3D, así como la Fabricación por Filamento Fundido, esta es la tecnología a utilizar por requerimiento de la empresa.

#### **b. Plotter**

En la sección 2.3.3 se muestra los principios de funcionamiento de la tecnología de plotter, así como el ploteo por pluma, esta es la tecnología a utilizar por requerimiento de la empresa.

#### **c. Grabador láser**

En la sección 2.3.2 se muestra los principios de funcionamiento de la tecnología láser, así como la fuente de tubo CO<sub>2</sub>, esta es la tecnología a utilizar por requerimiento de la empresa.

#### **d. Extrusora de materiales de prueba**

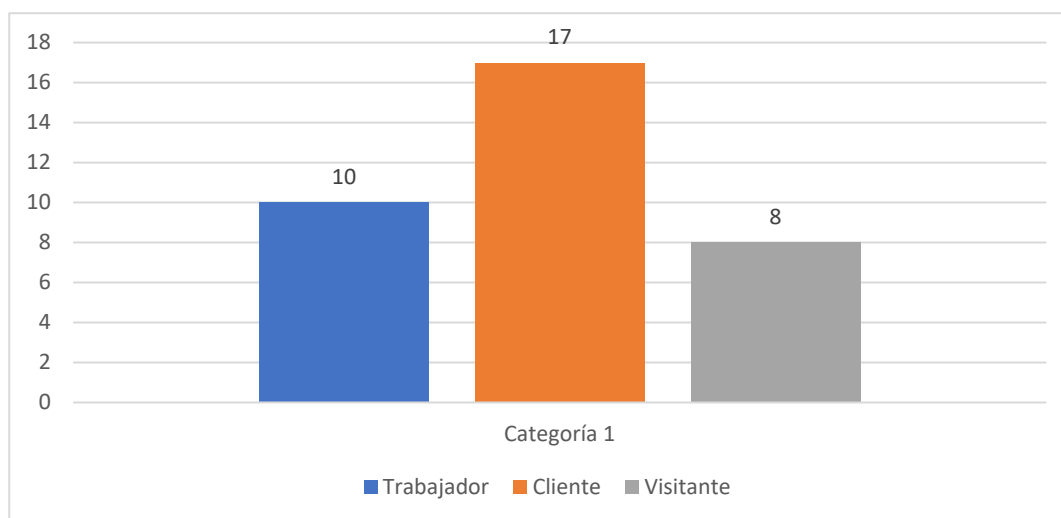
En la sección 2.3.4 se muestra los principios de funcionamiento de la tecnología de impresión de material de prueba, como extrusora de prueba se verifica su funcionamiento con diferentes materiales viscosos.

### 3.5 Prueba de concepto

Con el objetivo de definir mejor el concepto de solución se escoge un grupo de diez personas internas a la empresa y veinte clientes que representan al mercado objetivo del producto. El formato de encuesta es interacción personal con clientes potenciales, mediante descripción verbal, bosquejos, videos y simulaciones se da a conocer el concepto del proyecto.

En el (Anexo I) se muestra el modelo de encuesta aplicado, los resultados se describen a continuación.

#### 1. Grado de afinidad con FABCAD S.A



*Figura 74.* Grado de afinidad con FABCAD S.A

#### 2. Conoce o trabaja con alguna de estas tecnologías:

Impresora 3D 33%

Grabador láser 31%

Plotter 5%

Ninguno 13%

**3. ¿En qué provincia del Ecuador reside?**

De las 35 encuestas, 19 residen en provincias de la sierra, 11 en provincias de la costa y 5 en provincias de la amazonia, no se obtuvo datos de residentes en Galápagos.

**4. ¿Conoce de algún lugar que realicen trabajos con estas tecnologías?**

| Si  | No  |
|-----|-----|
| 70% | 30% |

**5. ¿Trabaja usted de forma independiente?**

| Si  | No  |
|-----|-----|
| 70% | 30% |

**6. Si el producto costara hasta 6000 dólares y pudiera adquirirse en su provincia, ¿qué tan probable es que usted lo compre dentro del año siguiente?**

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| Definitivamente no compraría | 12% |
| Probablemente no compraría   | 15% |
| Podría o no comprar          | 3%  |
| Probablemente compraría      | 39% |
| Definitivamente compraría    | 31% |

**7. ¿Le interesaría observar un prototipo del producto?**

| Si  | No  |
|-----|-----|
| 82% | 18% |

**8. Con base en la explicación del producto, ¿qué tan probable es que usted lo compre dentro del año siguiente?**

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| Definitivamente no compraría | 9%  |
| Probablemente no compraría   | 14% |
| Podría o no comprar          | 7%  |
| Probablemente compraría      | 23% |
| Definitivamente compraría    | 47% |

## 9. ¿Cómo se podría mejorar este producto?

Hay muchas opiniones variadas, las más comunes expresan calibración de altura de mesa, mayor área de trabajo, implementar cabezales de router, impresión UV, colocar pantalla de control táctil.

### 3.6 Arquitectura del producto

El producto está pensado para cumplir una arquitectura modular de bus como se muestra en la Figura 75, esta plantea conecta por medio del mismo tipo de interfase los cabezales de cuatro diferentes tecnologías, cada uno activa y utiliza las funciones que necesita sin afectar a las demás dando flexibilidad al sistema para adaptarse a nuevas tecnologías.



**Figura 75.** Arquitectura tipo bus

Fuente: (Ulrich & Eppinger, 2013)

Se maneja el concepto de estandarización de componentes al poner en común estructura, mecanismos de desplazamiento y electrónica en el proyecto.

### 3.7 Diseño industrial

Casi todos los productos en el mercado se pueden mejorar en una forma u otra con un buen diseño industrial. Todos los productos que usan, operan o ven las personas dependen mucho del diseño industrial (DI) para tener éxito mercantil. (Ulrich & Eppinger, 2013)

Aspectos importantes del diseño industrial aplicado al proyecto:

- **Utilidad:** Las interfases humanas del producto son lo más sencillas posibles, fáciles de usar e intuitivas para el usuario final, esto incluye los menús de la pantalla con textos cortos y precisos con el objetivo de comunicar su función al usuario.
- **Aspecto:** Se toma en cuenta forma, línea, proporción y color para diseñar el proyecto y convertirlo en un todo agradable.
- **Facilidad de mantenimiento:** La distribución de los elementos permite que el mantenimiento sea fácil, seguro e intuitivo, se proporciona luces en áreas cerradas, los cableados se hacen con normas de colores, se utiliza un cableado estructurado dentro de canaletas para mantener el orden.
- **Bajos costos:** Se plantea el uso de cabezales comerciales estandarizados, fáciles de adquirir, reparar y sustituir a un costo bajo y asequible.
- **Comunicación:** el diseño del proyecto busca comunicar la filosofía de la empresa mediante cualidades como limpieza visual de la carcasa, paneles intuitivos, distribución de componentes, simplicidad en el uso de software, planteamiento de la máquina como herramienta para un emprendimiento que se lo puede realizar desde casa.

### 3.8 Diseño para el ambiente

DPA conserva o mejora la calidad y el costo del producto al tiempo que reduce sus efectos en el ambiente. (Ulrich & Eppinger, 2013)

Este tipo de diseño se enfoca en responder tres preguntas:

- **Química de materiales:** ¿Qué sustancias químicas abarcan los materiales especificados?  
¿Son seguras para los seres humanos y el ambiente?

- **Desensamblado:** ¿Pueden separarse los productos al final de su vida útil para reciclar sus materiales?
- **Reciclabilidad:** ¿Tienen los materiales contenido reciclable? ¿Se separan con facilidad en categorías de reciclado? ¿Son reciclables los materiales al final de la vida útil del producto?

El proyecto está constituido en su materia por materiales como metal, plástico, vidrio que suman el 88%, son seguros para el ser humano, sus piezas son completamente desmontables y separadas por tipo de material de reciclaje que pueden ser reutilizados sin problema después de su vida útil, el restante como pinturas, grasas, tubos de CO2 son desechadas a través de empresas calificadas.

### 3.9 Diseño para la manufactura

El éxito económico depende del margen de utilidades obtenidas en cada venta del producto y de la forma en que se puedan vender muchas unidades de éste. El margen de utilidades es la diferencia entre el precio de venta del fabricante y el costo de hacer el producto. Una práctica efectiva del DPM lleva a bajos costos de manufactura sin sacrificar calidad del producto. (Ulrich & Eppinger, 2013)

El proceso de diseño para la manufactura aplicado al proyecto se describe de la siguiente manera:

- **Estimar los costos de manufactura:** Se utilizan elementos estandarizados para evitar elementos personalizados que incrementan el costo, los costos indirectos por importaciones, transporte se reducen al armar conjuntos grandes y realizar una sola importación.

- **Reducir los costos de componentes:** El diseño se lo realiza para disminuir la complejidad en la geometría lo que elimina pasos de procesamiento manteniendo las características funcionales, esto se refleja directamente en el tiempo de fabricación y disminuye el costo de manufactura.

Se utiliza tecnologías de fabricación como la impresión 3D y el corte láser que permite gran flexibilidad de manufactura a costos bajos, materiales como el PLA y acrílico son fáciles de adquirir y mecanizar.

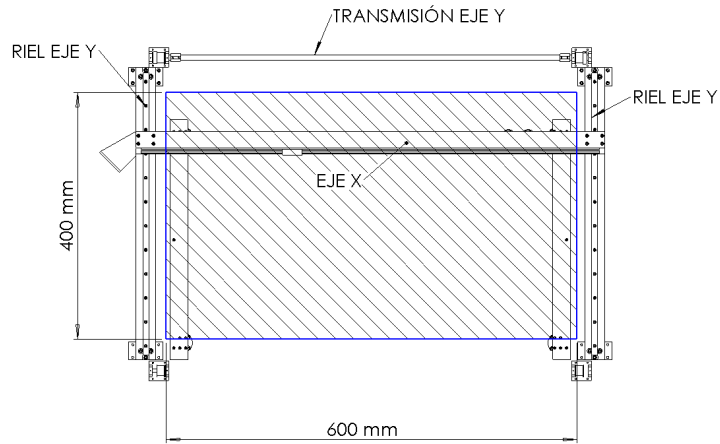
- **Disminuir los costos de ensamble:** Los componentes del proyecto se piensan para un ensamble cómodo, disponen de alineamiento propio, pocos movimientos lineales para su encaje, uso de herramientas estándar, métodos de sujeción normalizados.
- **Reducir los costos de soporte de producción:** Se diseña para utilizar la menor cantidad de piezas y minimizar la complejidad del sistema, esto logra la reducción de inventario y afecta al tiempo de ensamblaje.

### 3.10 Modelado por computadora (CAD 3D)

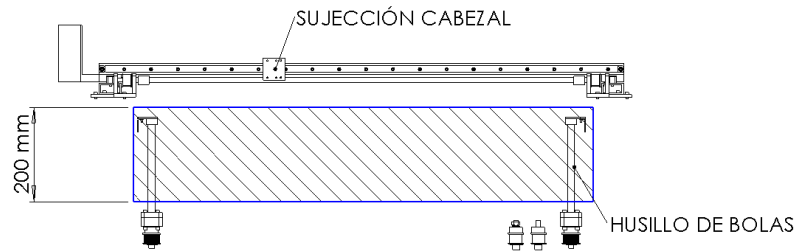
Mediante esta técnica se realiza el diseño de piezas que conforman los cabezales mediante una representación gráfica en tercera dimensión a tamaño real, además el software permite formar ensambles que no es más que el conjunto de piezas aplicando restricciones para simular su comportamiento, distribución, desplazamiento previo a tener modelos fabricados.



## Área de trabajo



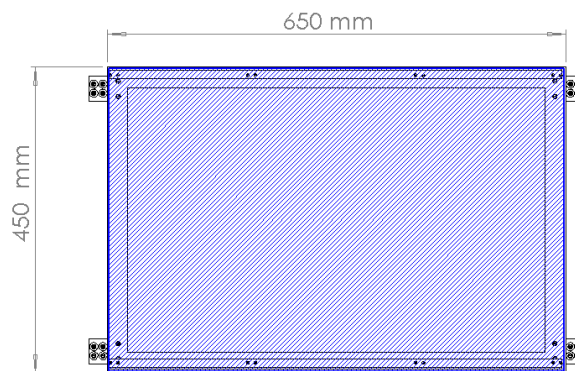
**Figura 76.** Área de trabajo XY



**Figura 77.** Área de trabajo Z

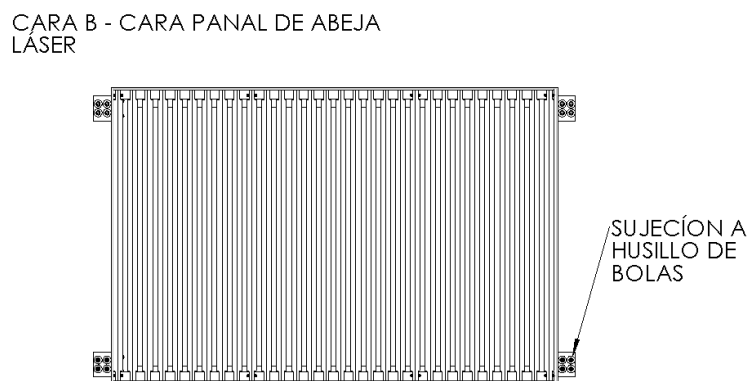
La Figura 78 se muestra las dimensiones de la mesa de trabajo con cara lisa para realizar trabajos con el cabezal de impresión 3D, plotter y extrusora de prueba.

CARA A - LISA  
IMPRESORA 3D - PLOTTER - EXTRUSORA ESPERIMENTAL



**Figura 78.** Mesa de trabajo cara lisa

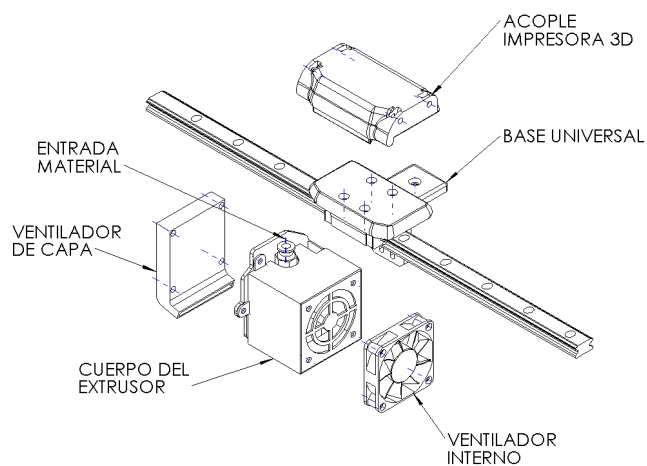
La Figura 79 representa la mesa de trabajo tipo panal de abeja, para el cabezal láser que favorece a la extracción del humo durante el proceso



**Figura 79.** Mesa de trabajo tipo panal de abeja

### Cabezal Impresora 3D

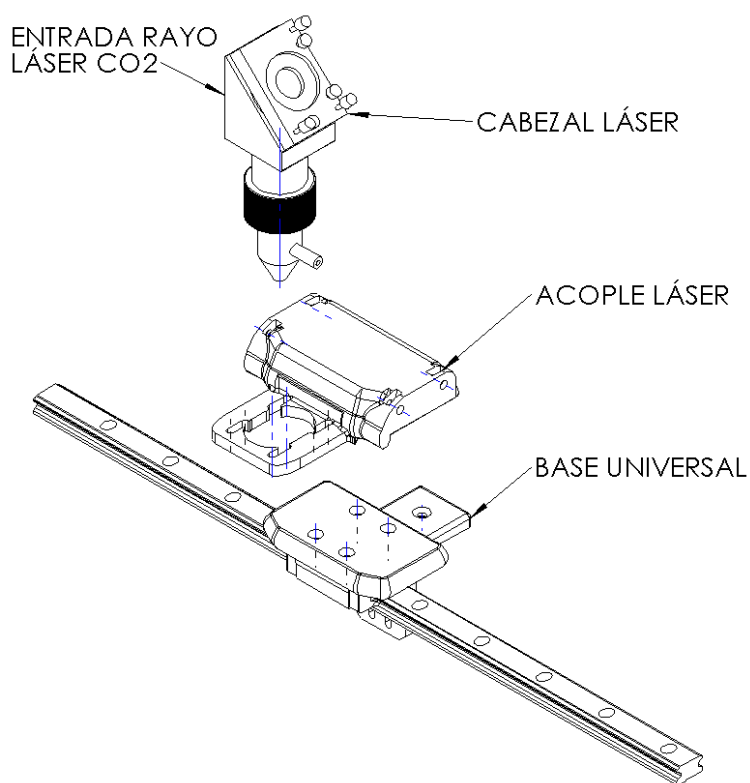
Consta de un acople para unir el cabezal con la base universal, el material pasa desde el carrete a través de un extrusor tipo MK8 que empuja el material hasta el hot-end que se encarga de fundir el material, dispone de una resistencia y un termistor para el control de temperatura, un ventilador se encarga de enfriar el serpentín del mecanismo y el segundo ventilador enfría las capas que son extruidas, Figura 80.



**Figura 80.** Propuesta cabezal impresora 3D

### Cabezal grabador láser

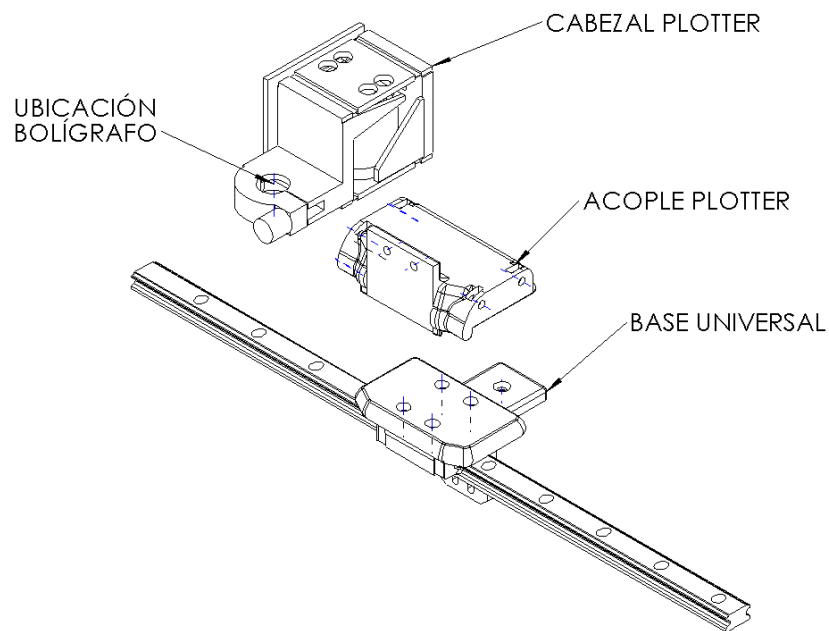
Consta de un acople que permite desplazar el cabezal láser en la dirección Y 10mm esto con el fin de ayudar a la alineación de espejos en el proceso y permite unir el cabezal con la base universal, el rayo láser ingresa por la parte izquierda del cabezal y es enfocado hacia abajo mediante un espejo colocado en el cabezal, dispone de una entrada de aire hacia la salida del láser para extinguir la flama que se origina por la combustión del material Figura 81.



*Figura 81.* Propuesta cabezal láser

## Cabezal Plotter

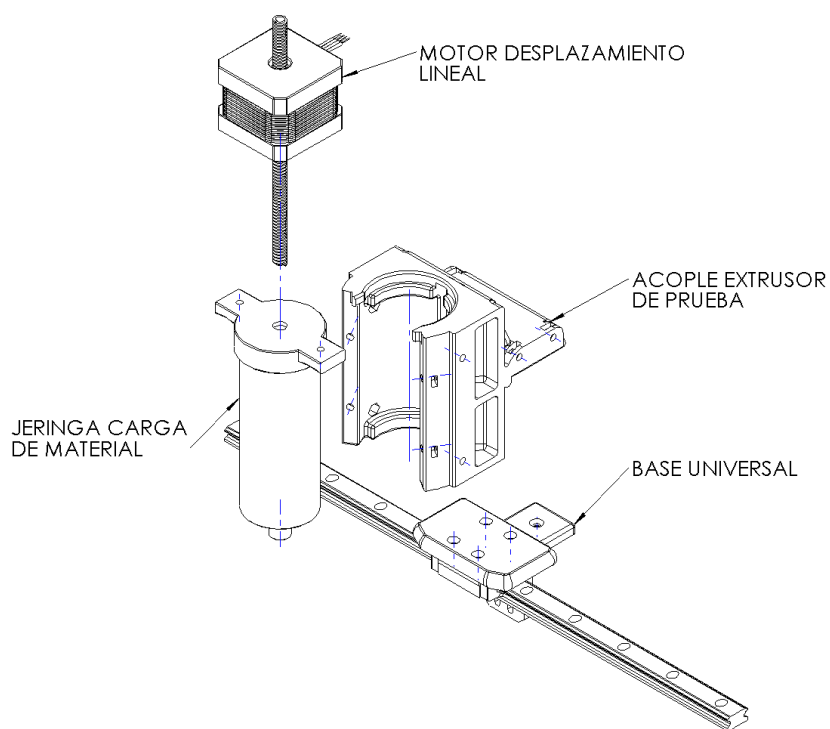
Consta de un acople que une el cabezal plotter con la base universal, los bolígrafos se ubican en la boquilla y se aprietan mediante una tuerca el principio de funcionamiento del cabezal es mediante la aplicación de voltaje a un electro imán que desplaza el mecanismo con el bolígrafo hacia abajo aproximadamente 6mm, lo suficiente para realizar los dibujos, al retirar el voltaje el mecanismo vuelve a su posición original con la ayuda de resortes Figura 82.



**Figura 82.** Propuesta cabezal Plotter

### Cabezal extrusor de materiales de prueba

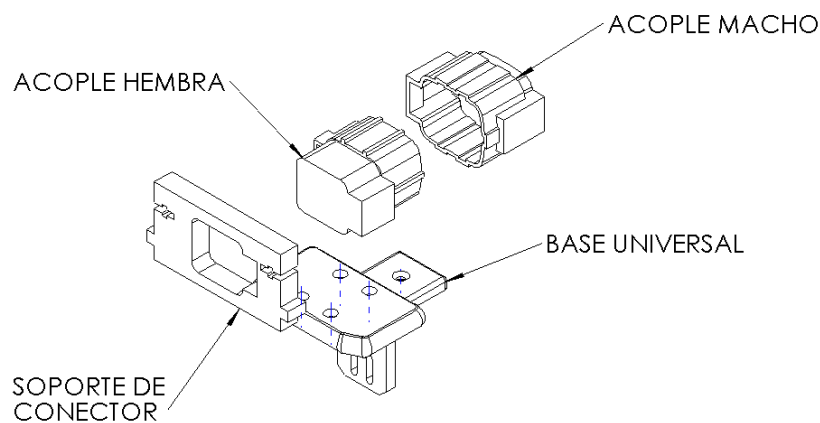
Consta de un acople que une el cabezal tipo jeringa con la base universal, el material es colocado en la jeringa he ingresa por la parte inferior para ser enroscada y quedar lista para su uso, el acople extrusor de prueba tiene el espacio para colocar una resistencia en forma de semi luna que permite calentar los materiales previo la extrusión, el control de temperatura se realiza mediante un termistor ubicado junto a la resistencia, se coloca un motor nema 17 en la parte superior el cual realiza el empuje lineal para producir la extrusión del material Figura 83.



**Figura 83.** Propuesta cabezal extrusor de prueba

## Conector tipo bus

Se utiliza un acople comercial de 16 pines, tiene conexión polarizada y certificación de resistencia al polvo y agua, la creación de un soporte ayuda a ubicar el acople hembra al cabezal, los pines se reparten entre los cuatro cabezales, cada uno utiliza los pines que necesita sin interferir con los demás procesos, Figura 84.



**Figura 84.** Propuesta acople rápido

## RESUMEN

El diseño parte desde las necesidades del cliente, se establece requerimientos de cada tecnología, a continuación, se valida mediante cálculos las características técnicas de los elementos, la selección de componentes se evalúa por puntos ponderados las opciones más factibles encontradas en el mercado, por último se toma en cuenta técnicas de diseño industrial, ambiental y de manufactura para producir una propuesta muy bien sustentada enfocada a satisfacer los requerimientos del cliente, mantener las mejores características posibles con un enfoque industrial y comercial con menor impacto al ambiente dando rentabilidad a la empresa mediante el diseño con un análisis de costos en manufactura.

## CAPÍTULO IV

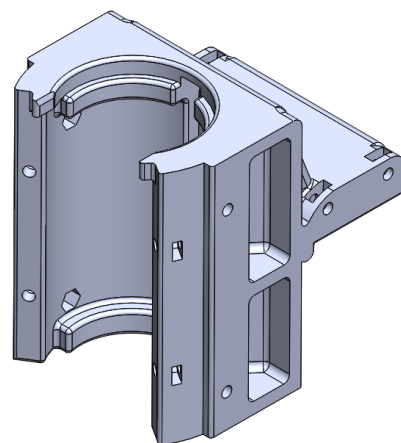
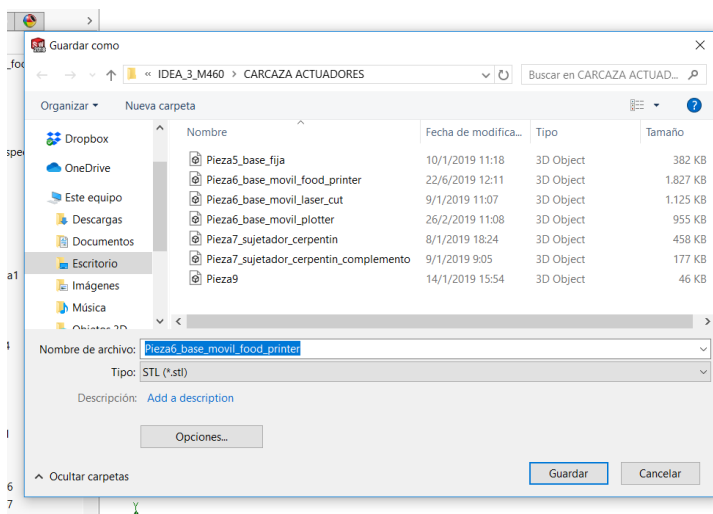
### CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

#### 4.1. Construcción de elementos

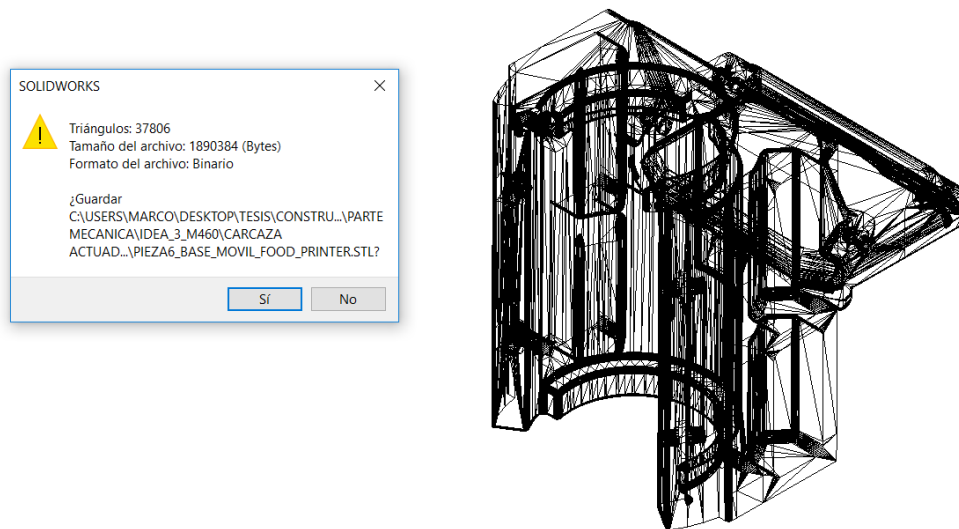
Satisfecho con la funcionalidad de las piezas en el software de dibujo CAD 3D se procede a la fabricación de los modelos. Existe infinidad de tecnologías y técnicas para fabricar estos elementos, se prefiere tecnologías utilizadas dentro de la empresa como son la impresión en 3D y el corte láser, que brindan flexibilidad de producción y un costo mucho menor por ser propio de la empresa, otra ventaja de estas técnicas es la velocidad de reposición sucesiva de prototipos permitiendo corregir a la brevedad detalles que el CAD omite y solo un prototipo físico muestra.

#### Procedimiento impresión 3D

1. Exportar los elementos con la extensión .STL (Standard Triangle Language por sus siglas en inglés), este archivo define la geometría del objeto en 3D. Por lo general los programas de dibujo CAD incorporan la exportación a este formato Figura 85.



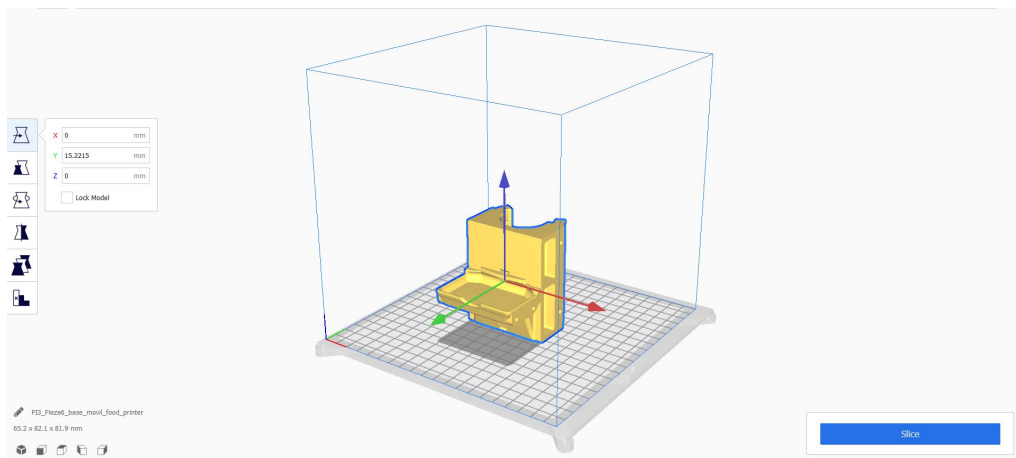
**Figura 85.** Exportación a formato .stl



**Figura 86.** generación de triángulos para la geometría

La generación del archivo .stl no afecta al archivo original, se guarda como otro archivo Figura 86, una vez guardado el nuevo archivo debe ser procesado por un software Slicer.

2. Importar la geometría 3D al software Slicer el cual se encarga de generar capa a capa los comandos para su fabricación, En la Figura 89 se muestra la mesa de trabajo del programa Ultimaker Cura, en este paso podemos mover, rotar, escalar el modelo de trabajo a nuestro gusto.



**Figura 87.** Importación de pieza a software Slicer

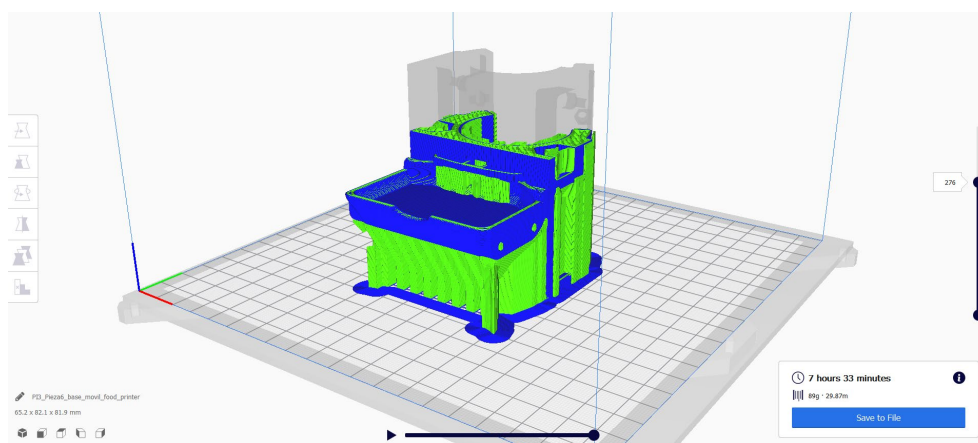


3. La configuración del rebanado o slicing es muy importante, esto define todos los parámetros con los que es construida la pieza, existen infinidad de parámetros, se muestra los más relevantes a tomar en cuenta, Tabla 25.

**Tabla 25.**  
*Parámetros fabricación 3D componentes proyecto*

| Parámetro                | Valor   | Unidades |
|--------------------------|---------|----------|
| Altura de capa           | 0.2     | mm       |
| Altura de capa inicial   | 0.3     | mm       |
| Perímetros               | 3       | unidades |
| Capas superiores         | 4       | unidades |
| Capas inferiores         | 4       | unidades |
| Densidad de relleno      | 20      | %        |
| Patrón de relleno        | zig zag | tipo     |
| Temperatura de impresión | 200     | °C       |
| Temperatura de mesa      | 60      | °C       |
| Velocidad de impresión   | 50      | mm/s     |
| Densidad de soporte      | 50      | %        |
| Patrón de soporte        | zig zag | tipo     |

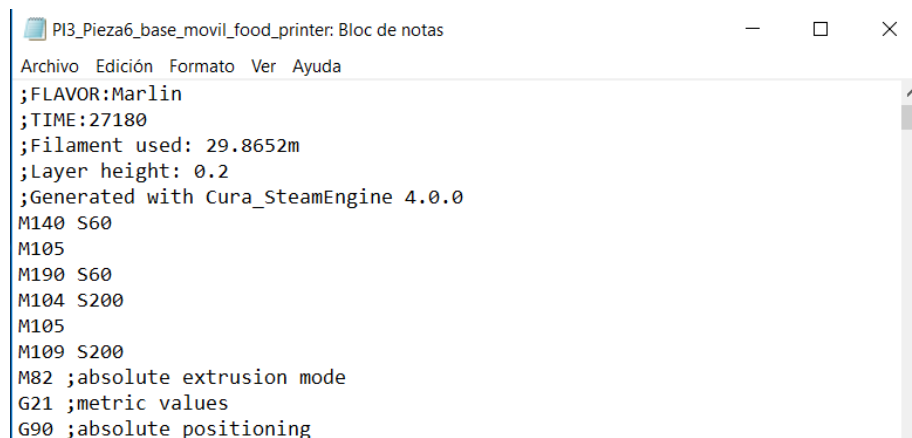
Estos valores son generados para la fabricación de piezas en PLA, para una impresora ANET E10 y son los utilizados para la fabricación de los componentes usados en el proyecto.



**Figura 88.** Visualización del rebanado o slicing

En la Figura 88 se muestra la generación del rebanado o slicing del modelo, además, este tipo de programas muestran información adicional como tiempo de impresión, cantidad de capas, simulación de la impresión y las trayectorias que realizar en cada capa.

4. Se exporta el archivo en formato.G-CODE que es el lenguaje que entiende el controlador de la impresora en este se describe todos los comandos a seguir por la impresora, Figura 89 muestra el contenido de un archivo típico en códigos G.

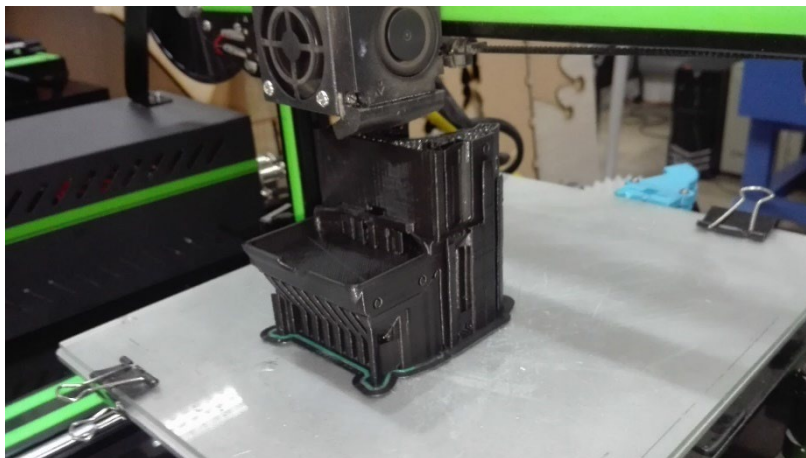


```

PI3_Pieza6_base_movil_food_printer: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
;FLAVOR:Marlin
;TIME:27180
;Filament used: 29.8652m
;Layer height: 0.2
;Generated with Cura_SteamEngine 4.0.0
M140 S60
M105
M190 S60
M104 S200
M105
M109 S200
M82 ;absolute extrusion mode
G21 ;metric values
G90 ;absolute positioning
  
```

**Figura 89.** Contenido archivo .gcode

5. Se copia el archivo GCODE a una tarjeta SD que ingresa en la ranura de la impresora y se ejecuta el archivo desde un menú que incorpora la pantalla LCD.

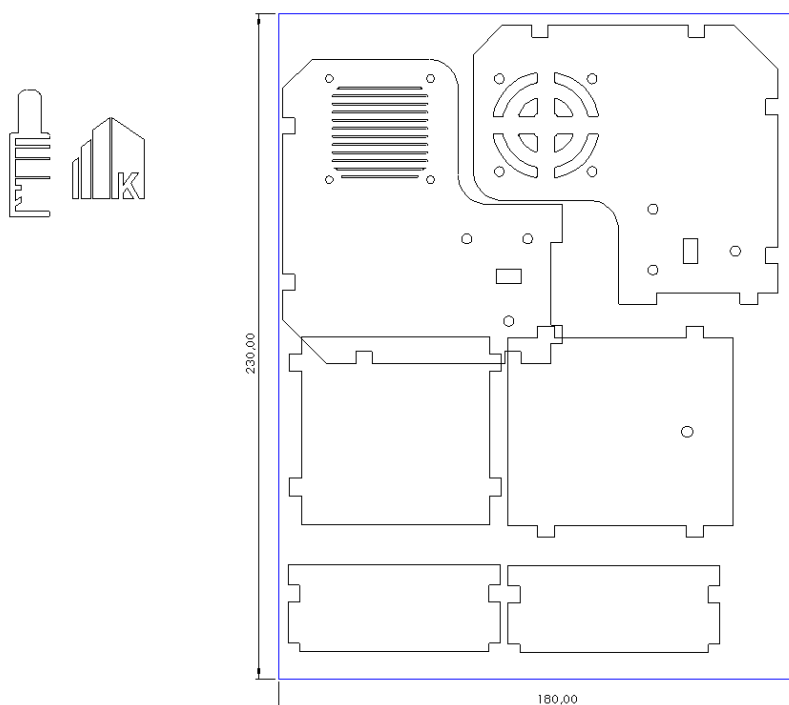


**Figura 90.** Impresión 3D Anet E10

6. Terminado el proceso se retira con cuidado el modelo de la mesa y se limpia los soportes con la ayuda de una pinza y un estilete, este procedimiento se repite con las demás piezas del proyecto.

### Procedimiento corte láser

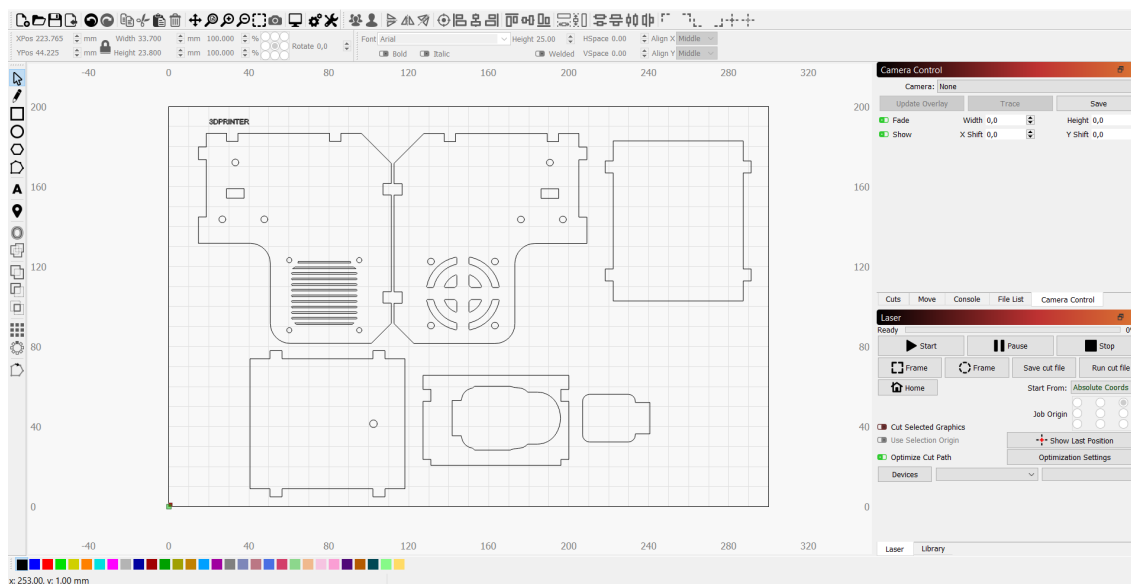
1. El corte al ser en dos dimensiones tan solo necesita una lámina que contenga la vista de interés que se desea mecanizar Figura 91.



**Figura 91.** Lámina para corte láser

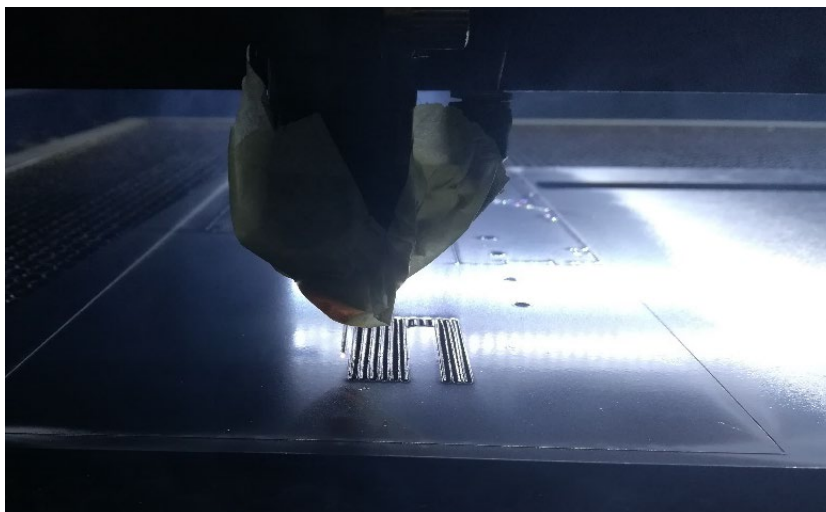
El formato para exportar este tipo de archivo es .dxf que es compatible con los programas de corte láser comerciales, la exportación en dicho formato no afecta al archivo original, lo que permite una edición posterior, este formato transforma la lámina de trazos simples.

2. Importar el archivo al programa de mecanizado y reubicar los trazos dentro del área de trabajo como se muestra en la Figura 92.



**Figura 92.** Preparación archivo corte láser

3. Se envía directo desde la computadora a realizar el corte sobre acrílico negro mate de 4mm, la distancia focal desde la superficie del material a la boquilla es de 20mm a una velocidad de 15mm/s y una potencia de 35% Figura 93.



**Figura 93.** Corte láser por CO2

4. Se retira las piezas cortadas y se limpia con un paño húmedo para eliminar rastros de vapor que quedan sobre las superficies Figura 94, se repite este procedimiento con los demás modelos.



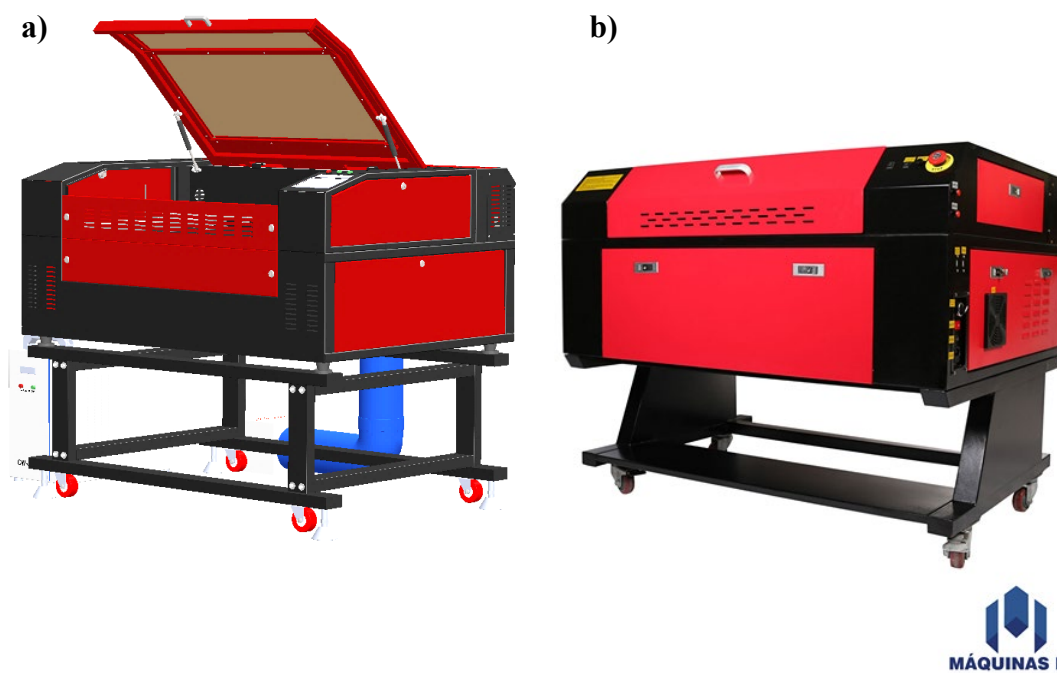
**Figura 94.** Piezas cortadas acrílico 4mm

Un punto muy importante a considerar en el corte láser es las dimensiones finales de las piezas cortadas, siempre es menor al diseñado y este valor aumenta cuando se incrementa el espesor del material y la aumenta la potencia del láser esto se debe a la eliminación de material por el punto focal, se sugiere hacer un offset de 0,20 mm hacia afuera para obtener el modelo con las medidas de diseño.

## **4.2. Instalación de componentes**

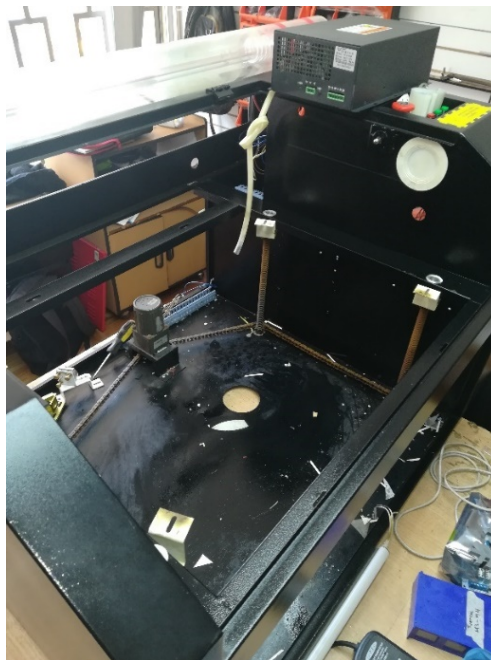
### **4.2.1. Instalación Subsistema – Estructura**

La estructura es de una máquina "Forza 4" comercializada por Máquinas EC se realiza cambios mínimos en la estructura, se adecua las nuevas piezas para ser montadas sobre la estructura ya existente.



*Figura 95. Estructura Forza 4*

En la Figura 95 muestra una comparación entre a) diseño CAD del proyecto y b) foto real de una FORZA 4 de Máquinas EC.

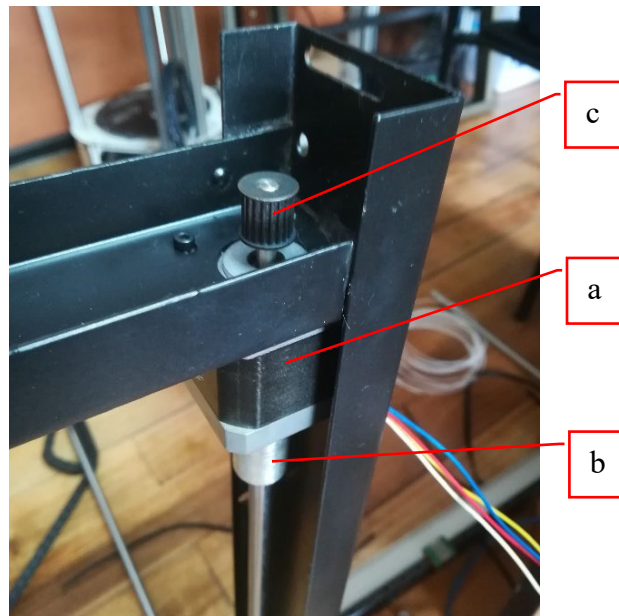


*Figura 96. Desmontaje componentes antiguos*

De desmonta por completo la parte mecánica de la máquina para realizar una limpieza general. En la Figura 96, se retiran elementos eléctricos y electrónicos, para ser reemplazados por nuevos.

#### 4.2.2. Instalación Subsistema – Motores

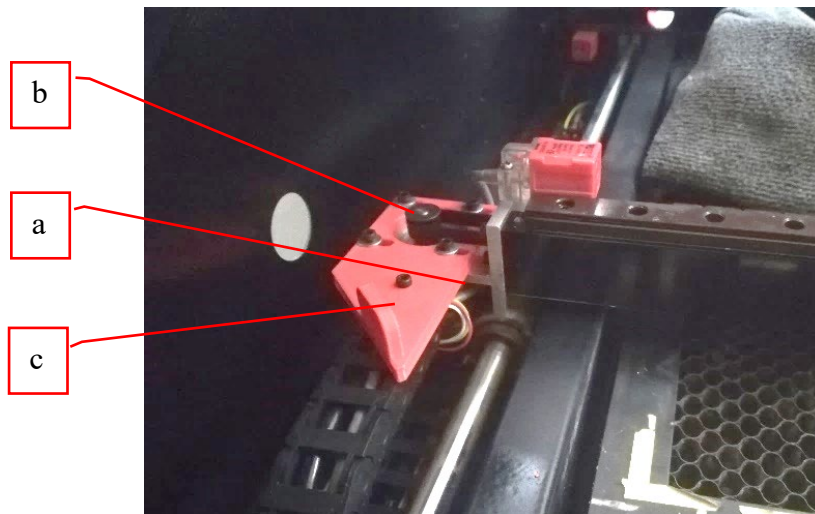
Para el eje Y se ensambla un motor nema 17 con doble eje (a) y mediante un acople flexible (b) se transfiere la potencia al segundo eje, en los extremos del mecanismo se coloca poleas dentadas (c), Figura 97.



**Figura 97.** Ensamble motor eje Y

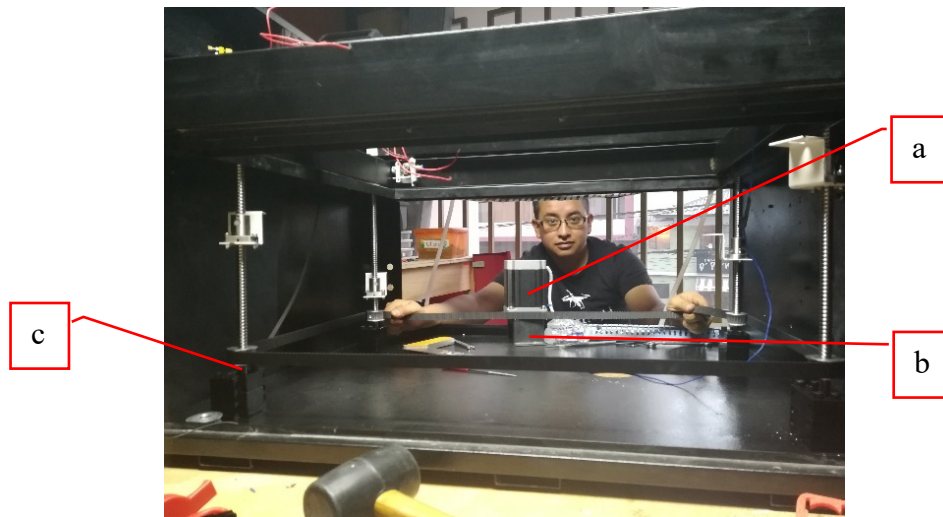
Para el eje x se instala un motor nema 17 en el extremo izquierdo del marco (a) se coloca una polea para banda dentada(b) además se sujeta con pernos el soporte para el espejo de refracción del láser, Figura 98.





**Figura 98.** Ensamble motor eje X

Para el eje Z se instala un motor Nema 34 (a) sobre un soporte metálico (b) para nivelar la altura del eje con respecto a las poleas de los husillos de bolas (c), Figura 99.



**Figura 99.** Ensamble motor eje z



**Tabla 26.**

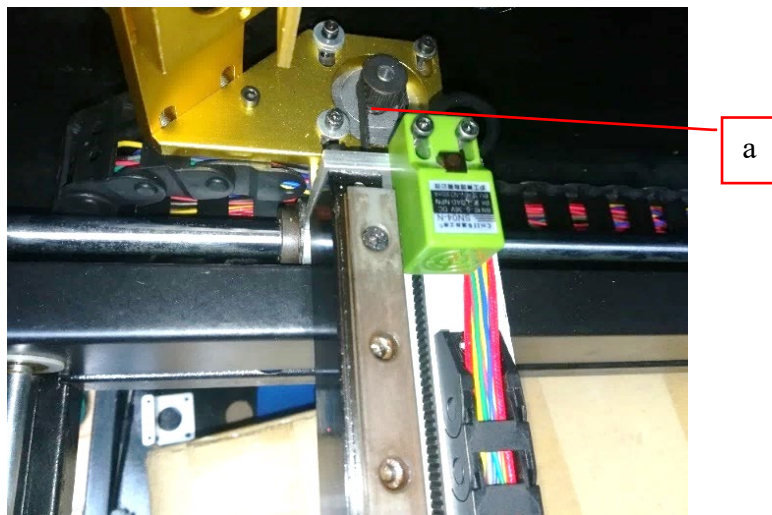
Elementos requeridos subsistema motores

| Pieza                           | Cantidad | Detalle   |
|---------------------------------|----------|-----------|
| Motor nema 17                   | 1        | Comercial |
| Motor nema 17 doble eje         | 1        | Comercial |
| Motor nema 34                   | 1        | Comercial |
| Polea para banda GT2 20 dientes | 2        | Aluminio  |
| Perno M3x20                     | 8        | Acero     |
| Perno M5x35                     | 4        | Acerp     |
| Llave Allen M3                  | 1        | Acero     |
| Llave Allen M5                  | 1        | Acero     |
| Soporte metálico para nema 34   | 1        | Acero     |
| Polea para banda dentada M5     | 1        | Aluminio  |

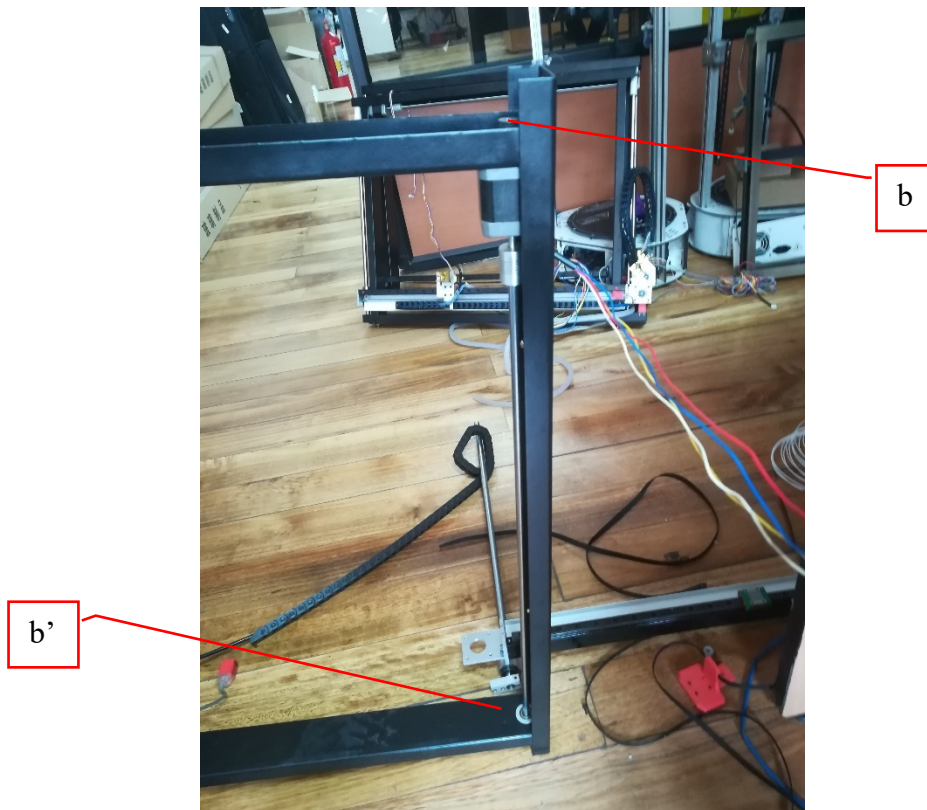
#### 4.2.3. Instalación Subsistema - Eje X, Y, Z

Posterior a la instalación de los motores es necesario transformar el movimiento rotatorio del motor a movimiento lineal, esto se consigue con bandas dentadas a lo largo del eje a trabajar.

En el eje X se utiliza una banda dentada (a), Figura 100, en el eje Y se utiliza doble banda dentada una para cada extremo del eje (b)(b'), Figura 103.

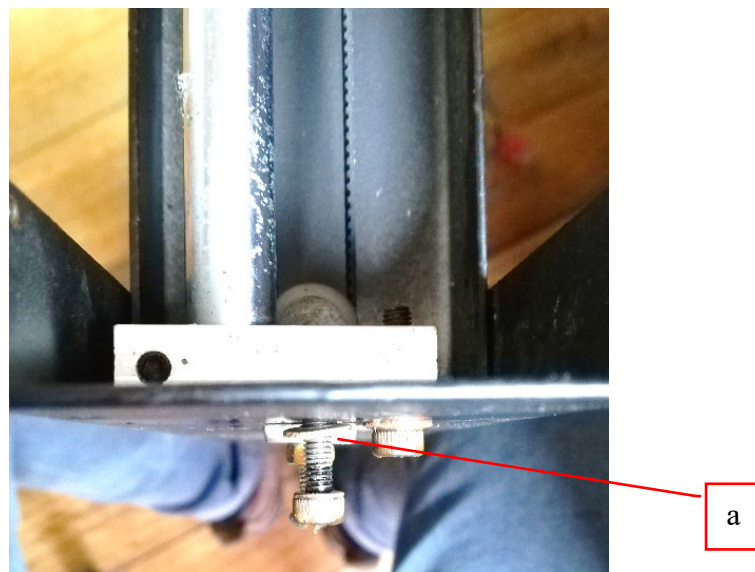


**Figura 100.** Ensamble movimiento eje X



**Figura 101.** ensamble movimiento eje Y

Se utiliza un mecanismo de tensión con polea de nilón para estirar la banda (a), Figura 102.



**Figura 102.** Ensamble tensor de polea

Para el eje Z se instala husillo de bolas en las cuatro esquinas, el ensamble consta del eje del husillo (a), una tuerca (b), pletina para sujetar la cama (c), una polea dentada (d), Figura 103.



**Figura 103.** Ensamble husillo de bolas

Para sujetar los husillos de bolas en los extremos se colocan topes con rodamientos (a) y (a'), Figura 104.



**Figura 104.** Ensamble husillo de bolas

El husillo de bolas queda empotrado por la parte inferior a la estructura Figura 105 y en el parte superior alineado por rodamiento Figura 106.

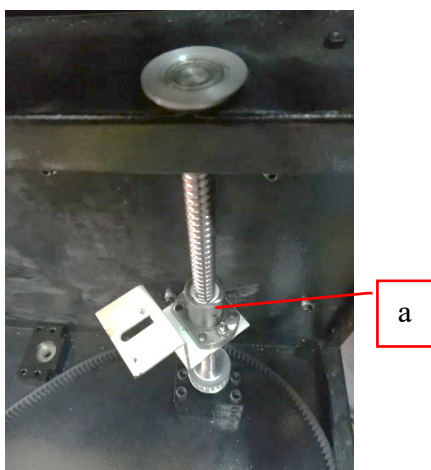


**Figura 105.** Sujeción inferior



**Figura 106.** Sujeción superior

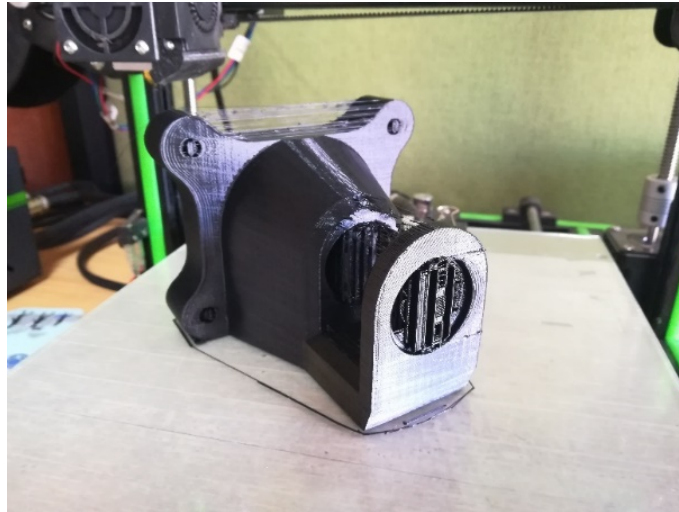
Instalación completa del husillo de bolas, se ubica la banda dentada para transmitir el movimiento (a) Figura 107



**Figura 107.** Ensamble final eje Z



La banda del eje Z utiliza un tensor, este es diseñado en impresión 3D utiliza un eje con polea lisa, en la parte inferior se empotra a la estructura mediante cuatro pernos, Figura 108.



**Figura 108.** Construcción tensor banda eje z

La banda dentada cierra el circuito entre el motor, los cuatro husillos y el tensor, queda de la siguiente manera, Figura 109.



**Figura 109.** Circuito movimiento eje Z

**Tabla 27.**  
*Elementos requeridos subsistema Eje XYZ*

| <b>Pieza</b>              | <b>Cantidad</b> | <b>Detalle</b>                           |
|---------------------------|-----------------|--|
| Husillo de bola           | 4               | d=12mm, paso=4mm, longitud=330mm         |
| Banda dentada GT2         | 2               | Lx=1300mm, Ly=900mm                      |
| Banda dentada M5          | 1               | Lz=3500mm                                |
| Polea lisa                | 2               | Nilón ancho 10mm                         |
| Polea lisa                | 1               | Aluminio ancho 20mm                      |
| Polea dentada             | 4               | d=10mm husillo de bolas                  |
| Polea dentada             | 1               | d=16mm motor nema 34                     |
| Tensor eje XY             | 2               | Chapa metálica con pernoM2x30            |
| Tensor eje Z              | 1               | Impresión 3D                             |
| Perno M10x30              | 4               | Sujeción tensor eje Z a la estructura    |
| Perno M10x50              | 4               | Sujeción soporte nema 34 a la estructura |
| Perno M4x70               | 16              | Sujeción husillo de bola a la estructura |
| Turca de seguridad M10    | 8               | Acero                                    |
| Arandela M10              | 16              | Acero                                    |
| Tuerca de seguridad M4    | 16              | Acero                                    |
| Arandela M4               | 32              | Acero                                    |
| Pasador M3                | 10              | Sujeción poleas a los ejes               |
| Llave Allen M3/M4/M10     | 1               | Acero                                    |
| Llave hexagonal 4 /10/ 11 | 1               | Acero                                    |
| Brocas M3 – M10           | 1               | Perforación de la estructura             |
| Taladro                   | 1               | Eléctrico 110V                           |
| Lima                      | 1               | Redonda                                  |

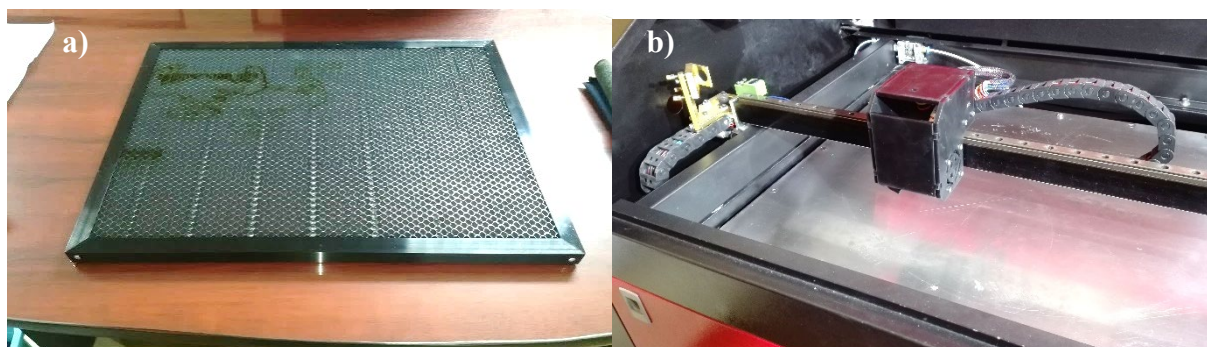
#### **4.2.4. Instalación Subsistema - Mesa de trabajo**

Con la ayuda de pletinas sujetas a las tuercas de los husillos de bolas se ensambla la mesa de trabajo mediante perno y tuerca de seguridad, esto se repite para las cuatro esquinas de la mesa.



**Figura 110.** Ensamble mesa sobre pletina

La mesa de trabajo aprovecha las dos caras, tipo panel de abeja y una lisa mediante una plancha de acero inoxidable.



**Figura 111.** Mesa de trabajo dos caras

En la Figura 111 a) se muestra mesa tipo panel de abeja, b) se muestra mesa lisa.

**Tabla 28.**

Elementos requeridos subsistema mesa de trabajo

| <b>Pieza</b>                | <b>Cantidad</b> | <b>Detalle</b>  |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|
| Mesa tipo panel de abeja    | 1               | 60x40 cm        |
| Plancha de acero inoxidable | 1               | 60x40x0.3cm     |
| Pernos                      | 12              | M3x70           |
| Tuerca                      | 12              | M3 de seguridad |

CONTINÚA →

---

|                 |    |                |
|-----------------|----|----------------|
| Arandela        | 12 | Para M3        |
| Llave Hexagonal | 1  | Acero          |
| Llave Allen M3  | 1  | Acero          |
| Amoladora       | 1  | Disco          |
| Taladro         | 1  | Eléctrico 110V |
| Brocas          | 1  | M3 para metal  |

---

#### 4.2.5. Instalación Subsistema - Controladora CNC

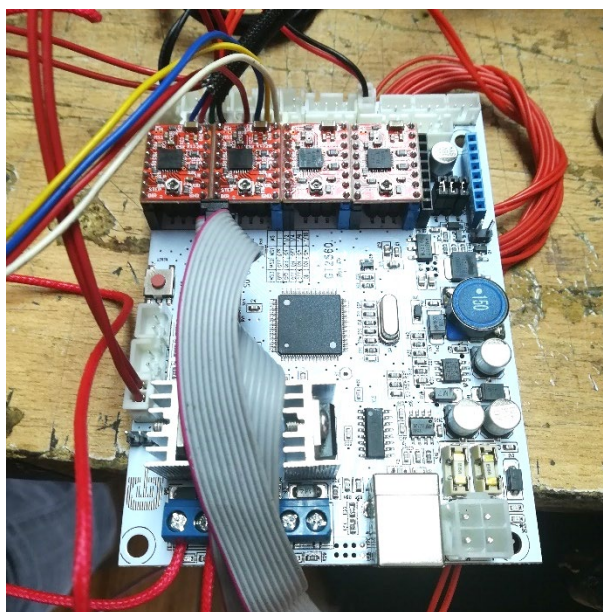
La controladora a utilizar es una GT2560 revA+, está por defecto no trae incluidos drivers, conector de alimentación eléctrica, pantalla LCD, cables tipo bus. Se compra por separado estos elementos, Figura 112.



**Figura 112.** Tarjeta empacada GT2560 rev A+

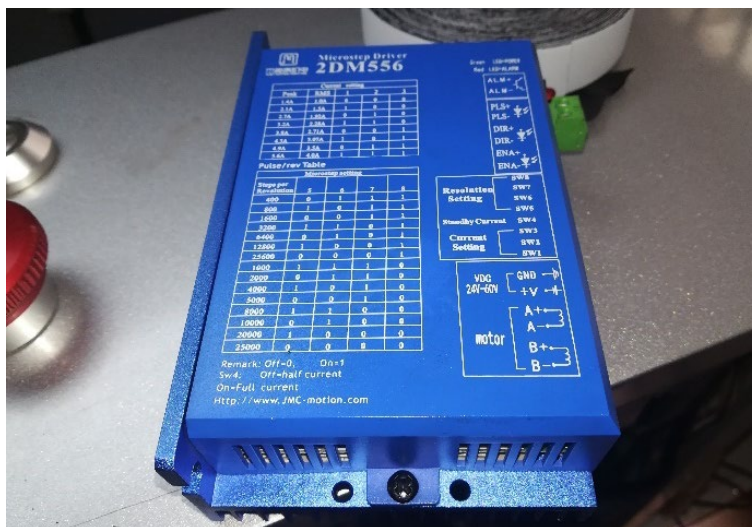
Se ensambla uno a uno los elementos de la tarjeta de control como drivers y cables tipo bus para la pantalla LCD, Figura 113





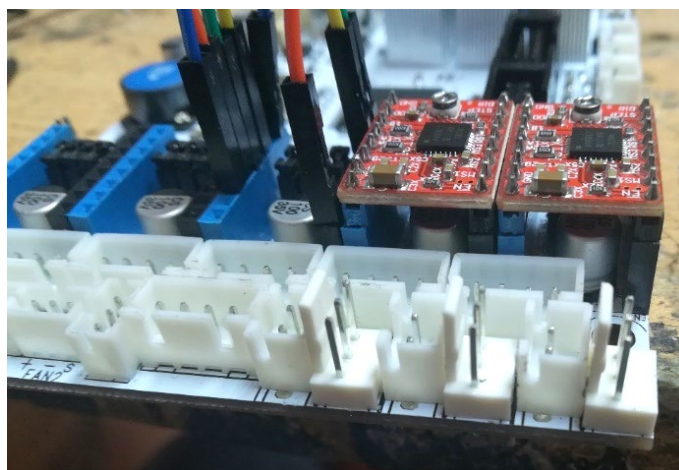
**Figura 113.** Ensamble de elementos tarjeta de control

La corriente requerida por el motor nema 34 es muy alta para ser manejada por drivers A4988 (de color rojo Figura 113) con su pico de corriente de 1.4A, se modifica la placa para reenviar las señales de control a un drivers 2DM556 que maneja corrientes de hasta 5.6A, Figura 114.



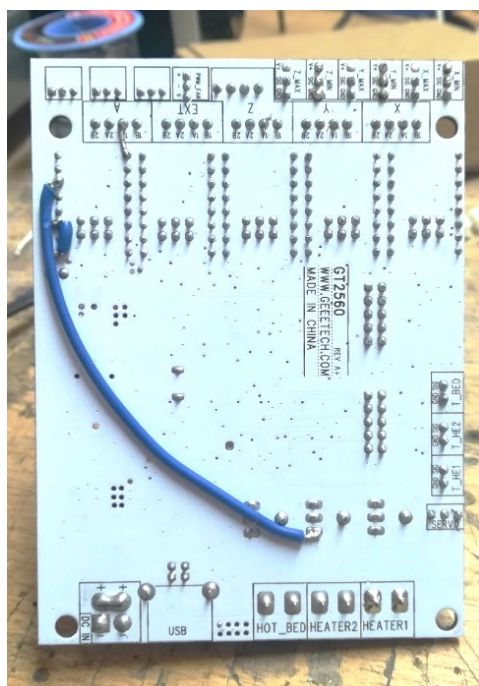
**Figura 114.** Drivers 2DM556

La modificación de los conectores para finales de carrera hace compatible los puertos con los terminales de los sensores inductivos, Figura 115.



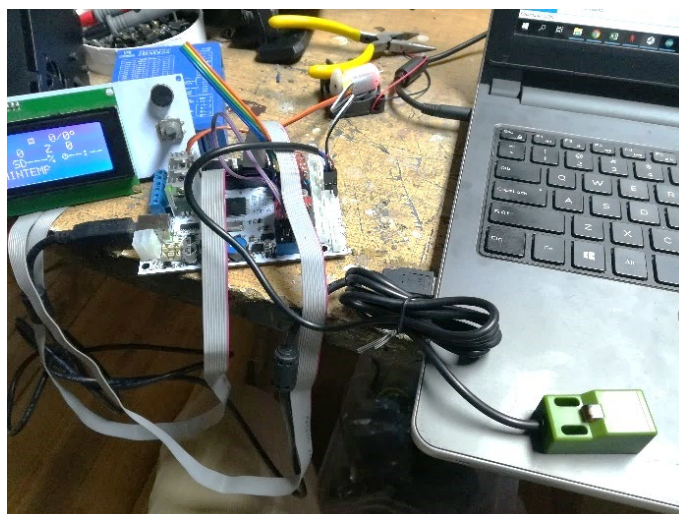
**Figura 115.** Modificación conectores finales de carrera

Por la parte inferior de la placa se hace unas adecuaciones para enviar una señal PWM a través del puerto del segundo extrusor hacia la fuente láser, que se encarga de controlar la potencia del tubo de CO<sub>2</sub> y también se encarga de cerrar el circuito para el electroimán del cabezal plotter.



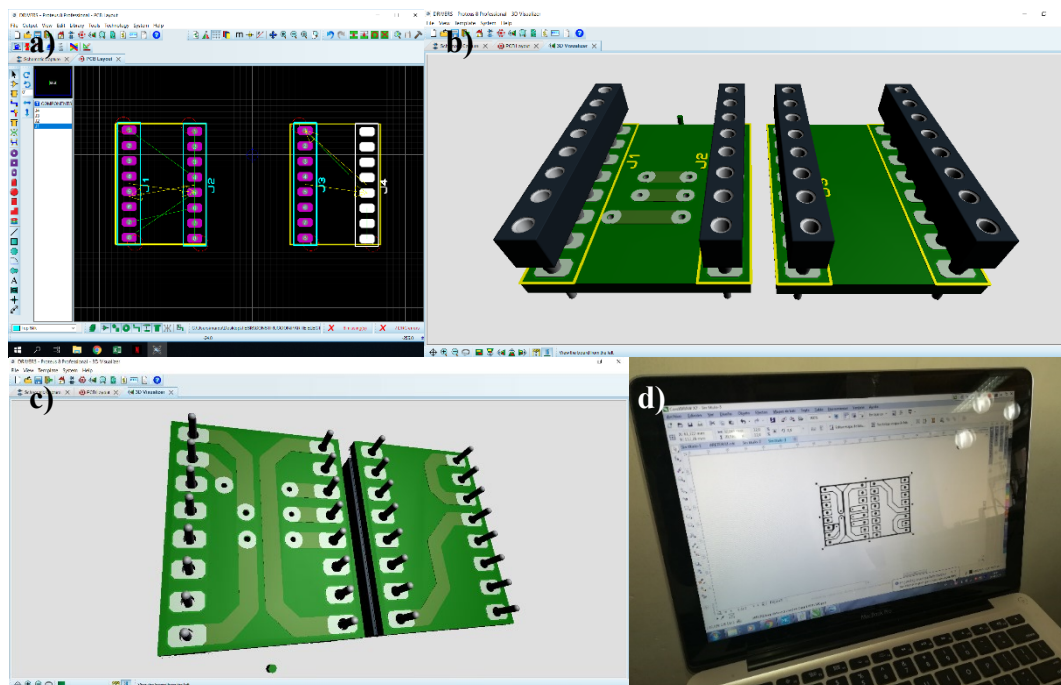
**Figura 116.** Modificación placa

Otros elementos para el correcto funcionamiento de la placa de control son pantalla LCD, finales de carrera inductivos, se comprueba su funcionamiento previo al ensamble, Figura 117.



**Figura 117.** Ensamble LCD y finales de carrera

El control de la fuente láser y del driver 2DM556 requieren la fabricación de PCB's personalizados para ser colocados sobre los sócalos del driver eje Z y extrusor 2 respectivamente para este fin se utiliza el software Proteus para el diseño electrónico Figura 118.

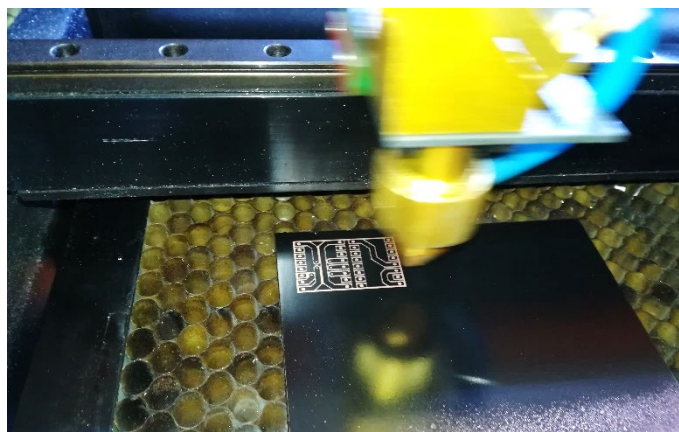


**Figura 118.** Diseño de placas electrónicas



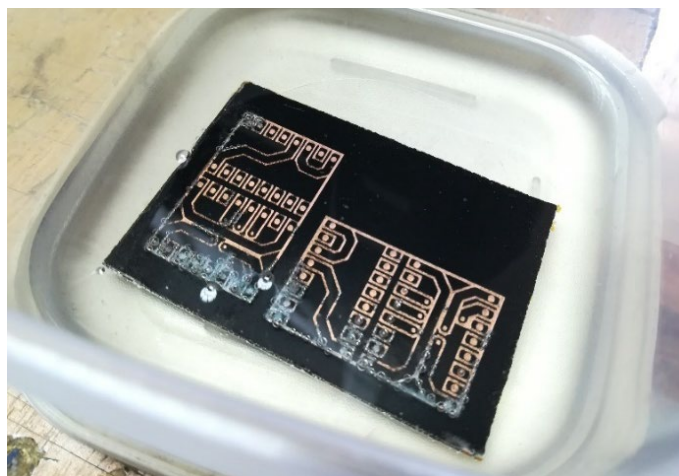
En la Figura 118 se expone el procedimiento de diseño, a) esquema de pines, b) vista 3D superior, c) vista 3D inferior, d) archivo .dxf para grabado.

El archivo es fabricado mediante grabado láser sobre baquelita, su acabado es mucho mejor y más rápido que la técnica tradicional de planchado.



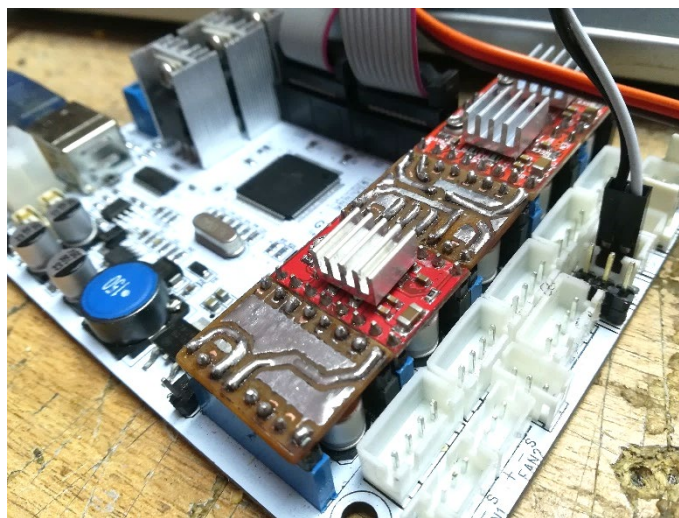
**Figura 119.** Fabricación PCB por láser CO2

El ataque químico se realiza por ácido nítrico al 68% de concentración, la disolución es tres partes de agua una de ácido, es mucho más efectivo que el cloruro férrico.



**Figura 120.** Ataque ácido nítrico a PCB de cobre

Para el acabado final se cubre las pistas con una capa de estaño para evitar la corrosión de cobre por el ambiente, Figura 121.



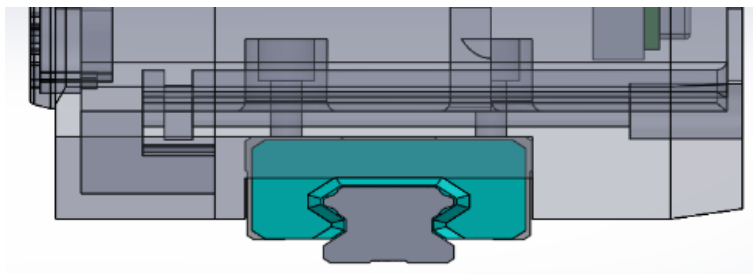
**Figura 121.** PCB drivers terminados

**Tabla 29.**  
*Elementos requeridos subsistema placa controladora*

| <b>Pieza</b>                    | <b>Cantidad</b> | <b>Detalle</b>       |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|
| Placa GT2560 revA+              | 1               | Comercial            |
| Pantalla LCD                    | 1               | Comercial            |
| Finales de carrera              | 3               | Inductivos           |
| Cables tipo bus                 | 2               | LCD y SD             |
| Cable de alimentación eléctrica | 1               | Comercial            |
| Jack 3 pines polarizado         | 3               | Comercial            |
| Cables AWG 12                   | 2               | metros               |
| Drivers A4988                   | 2               | Comercial            |
| Baquelita                       | 1               | Tamaño A5            |
| Ácido Nítrico al 68%            | 100             | ml                   |
| Pintura spray                   | 1               | Color negro          |
| Taladro                         | 1               | Eléctrico 110V       |
| Brocas                          | 1               | M3 acero             |
| Espadines                       | 18              | Comerciales          |
| Cautín                          | 1               | 65W                  |
| Estaño                          | 1               | metros, diámetro 2mm |

#### 4.2.6. Instalación subsistema - Montaje y conexión de actuadores

La base en común para los actuadores es el patín de la guía lineal, sobre este se diseña un acople universal y mediante cuatro pernos queda sujeto al patín, Figura 122, este acople es manufacturado en impresión 3D.

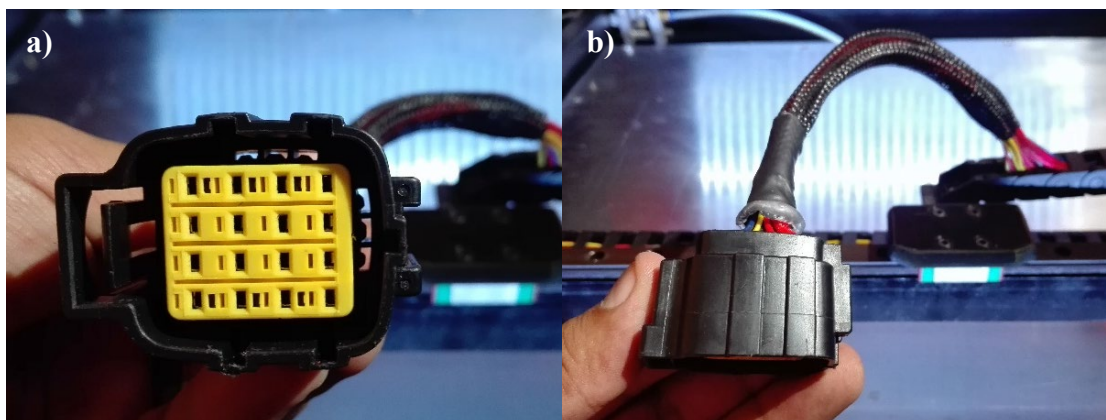


*Figura 122.* Base universal de actuadores

Se complementa el sistema con un acople universal diseñado para encajar a presión. En su parte exterior se da las características para sostener a cada actuador, mediante cuatro tuercas se sujeta este mecanismo a caras laterales de acrílico que conforman la carcasa del cabezal, Figura 123.

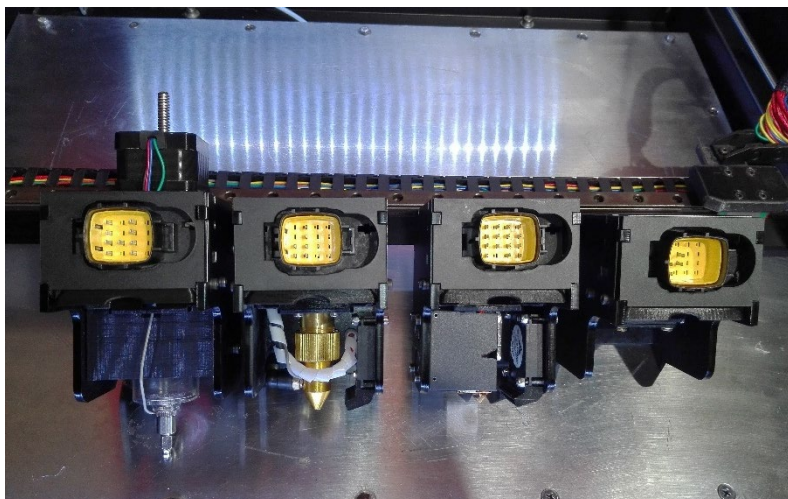


*Figura 123.* Acople universal



*Figura 124.* Cableado al conector universal

La Figura 124 muestra a) vista frontal conector universal, b) vista superior conector universal



*Figura 125.* Pines de conexión

**Tabla 30.**

*Elementos requeridos subsistema montaje y conexión de actuadores*

| <b>Pieza</b>    | <b>Cantidad</b> | <b>Detalle</b> |
|-----------------|-----------------|----------------|
| Perno M3        | 50              | Acero          |
| Turca M3        | 35              | Acero          |
| Llave Allen M3  | 1               | Acero          |
| Conector Macho  | 4               | Comercial      |
| Conector Hembra | 1               | Comercial      |
| Cautín          | 1               | Herramienta    |
| Taladro         | 1               | Eléctrico 110V |
| Broca M3        | 1               | Para metal     |

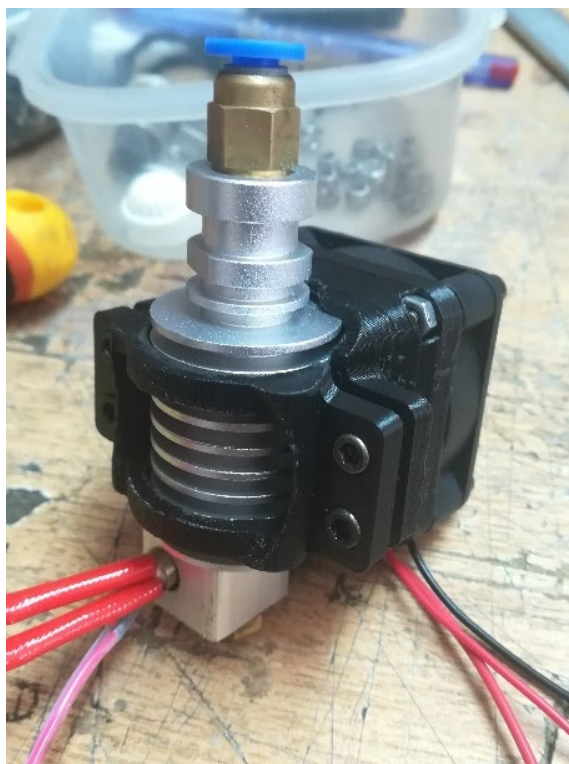


#### 4.2.7. Instalación Subsistema – Actuadores

##### Instalación cabezal Impresora 3D



*Figura 126.* Ensamble impresora 3D Vista1



*Figura 127.* Ensamble impresora 3D Vista2



Este cabezal requiere un extrusor de material tipo bowden que es instala en la cara trasera de la máquina Figura 128.



*Figura 128.* Acondicionamiento para extrusor

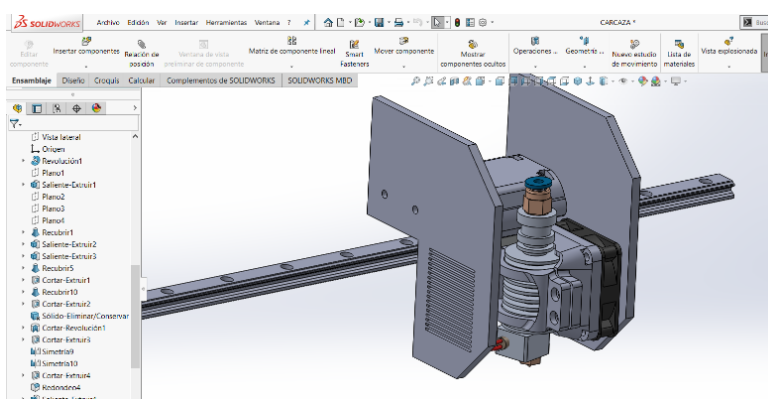


*Figura 129.* Ensamblaje extrusor tipo bowden

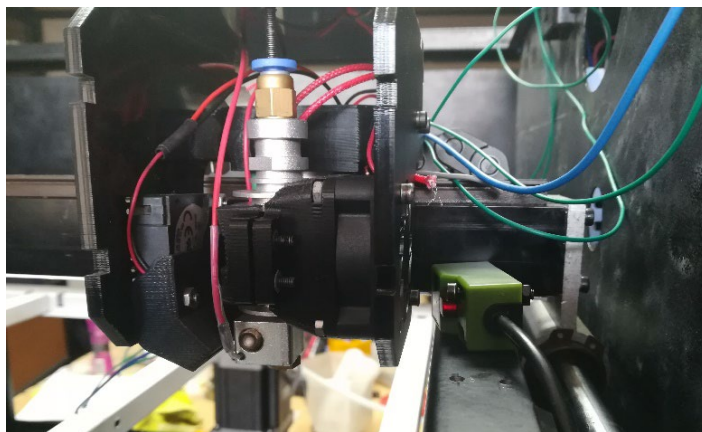


**Figura 130.** Ensamblaje motor para extrusor

La Figura 131 muestra el diseño CAD del cabezal de impresora 3D mientras que en la Figura 132 se muestra el ensamblaje de los componentes sobre el patín del eje X.

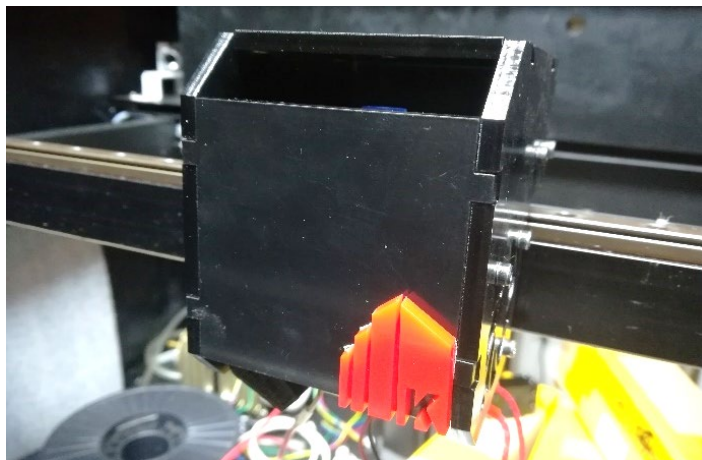


**Figura 131.** Diseño CAD cabezal impresora 3D

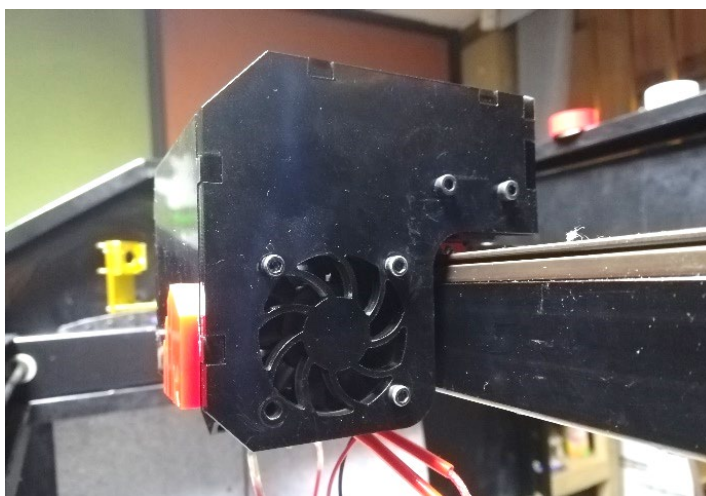


**Figura 132.** Ensamblaje cabezal impresora 3D

La figura muestra el cabezal completamente instalado, incluyendo las tapas que recubren el cabezal y el logo.



*Figura 133.* Ensamble completo impresora 3D vista 1



*Figura 134.* Ensamble completo impresora 3D vista 2

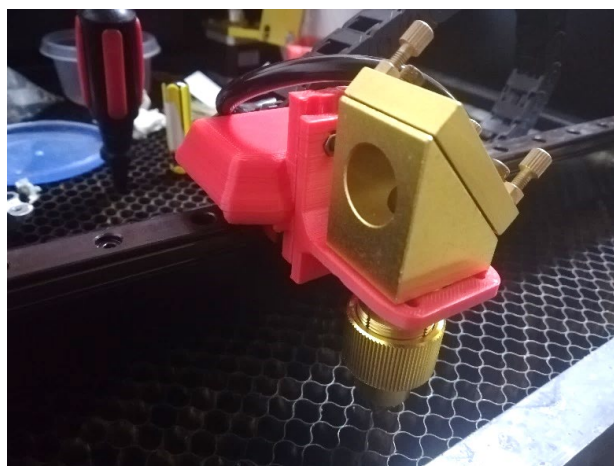
### **Instalación cabezal Extrusor de materiales de Prueba**

Para este cabezal se implementa una jeringa de 50 ml, una resistencia tubular de 30W un termistor para controlar la temperatura y un motor a pasos de movimiento lineal ya que incorpora dentro la turca de avance, Figura 135.



*Figura 135.* Ensamblaje extrusor

## Grabador Láser



*Figura 136.* Ensamble cabezal grabador láser

Esta tecnología requiere de un tubo de CO<sub>2</sub>, que se instala en la parte trasera de la máquina, Figura 137.





*Figura 137.* Tubo CO2 50W

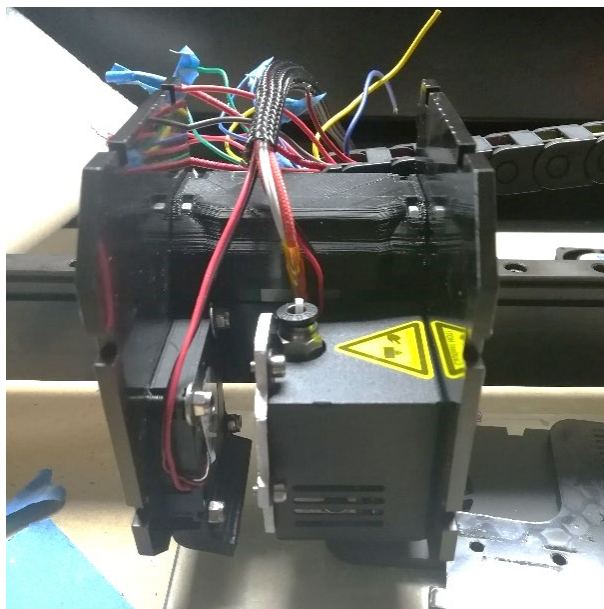


*Figura 138.* Ensamble tubo CO2



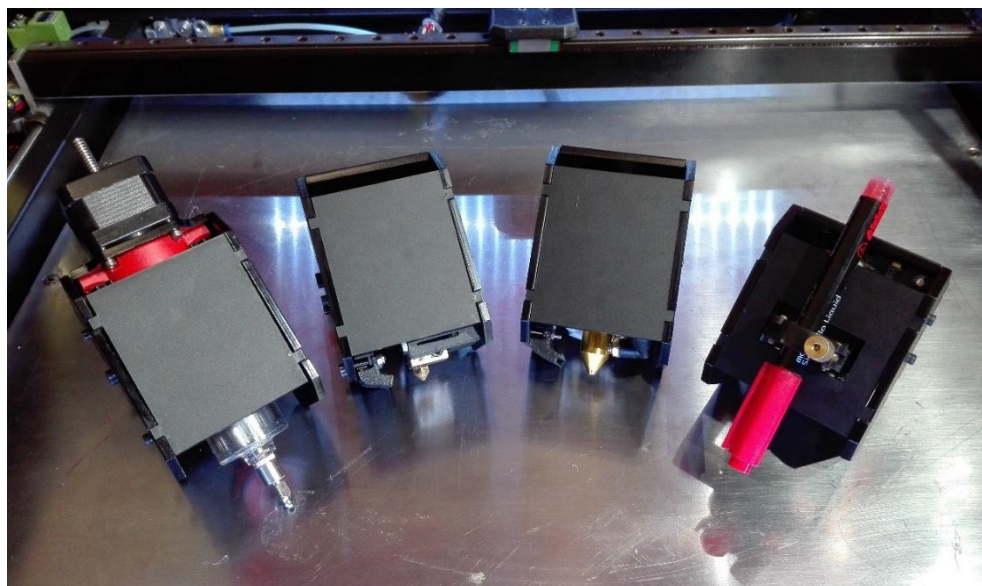
*Figura 139.* Alineación tubo láser

## Instalación cabezal Plotter



*Figura 140.* Ensamble cabezal plotter

La Figura 141 se muestra los cabezales completamente ensamblados, de izquierda a derecha impresora 3D, plotter, grabador láser, extrusor de materiales de prueba.



*Figura 141.* Cabezales ensamblados

**Tabla 31.**  
*Elementos requeridos subsistema actuadores*

| <b>Pieza</b>                | <b>Cantidad</b> | <b>Detalle</b>                 |
|-----------------------------|-----------------|--------------------------------|
| Acople base Universal       | 1               | Impreso 3D                     |
| Acople Universal actuadores | 4               | Impreso en 3D                  |
| Carcaza acrílica            | 4               | Corte láser para cada actuador |
| Perno M3x15                 | 20              | Acero                          |
| Perno M3x25                 | 18              | Acero                          |
| Perno M4x25                 | 14              | Acero                          |
| Turca de seguridad M3       | 10              | Acero                          |
| Turca M3                    | 28              | Acero                          |
| Llave Allen M3/M4           | 1               | Herramienta                    |
| Brocas M3 – M4              | 1               | Perforación de la estructura   |
| Taladro                     | 1               | Herramienta                    |
| Lima                        | 1               | Redonda                        |

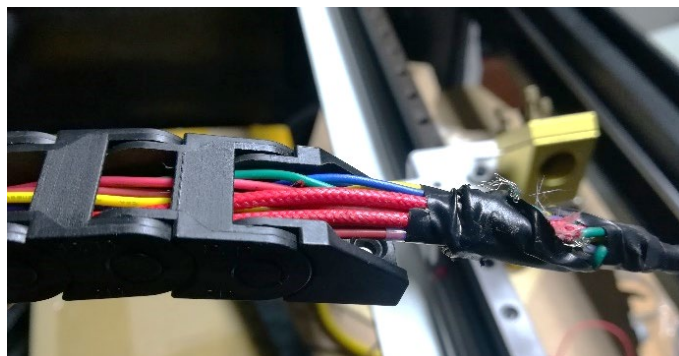
#### **4.2.8. Instalación Subsistema - Energía eléctrica**

Se requiere enviar 16 cables desde el área de control hasta los cabezales, se implementa una cadena plástica flexible para los cables, Figura 142.



**Figura 142.** Cableado por cadena flexible





*Figura 143.* Extremo de los actuadores



*Figura 144.* Ensamble cadena flexible

Las fuentes de alimentación son indispensables y se requiere dos de corriente continua que energiza la parte de control, otra para alimentar la iluminación y el driver para motor Nema 34 y una fuente de corriente alterna que alimenta al tubo de CO<sub>2</sub>, Figura 145.



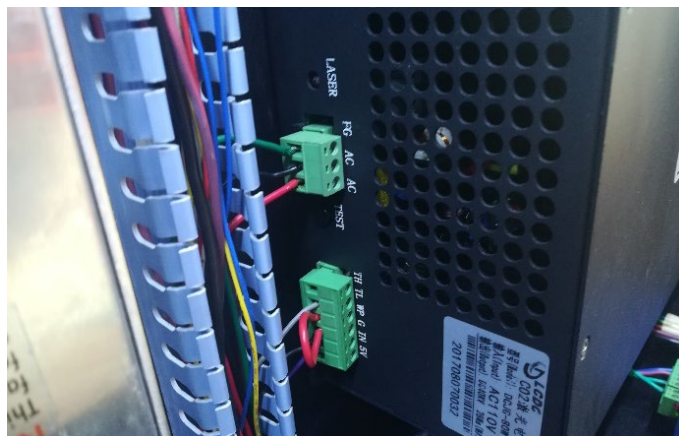
*Figura 145.* Ensamble fuentes corriente continua





**Figura 146.** Ensamble fuente tubo láser

El cableado se lo hace dentro de canaletas industriales y para las puntas se utiliza borneras para una conexión rápida, Figura 147.



**Figura 147.** Cableado fuente láser

**Tabla 32.**  
*Elementos requeridos subsistema energía eléctrica*

| Pieza            | Cantidad | Detalle     |
|------------------|----------|-------------|
| Borneras         | 6        | Comercial   |
| Desarmador plano | 1        | Herramienta |
| Multímetro       | 1        | Herramienta |
| Perno M3x20      | 24       | Acero       |
| Llave Allen M3   | 1        | Acero       |

### 4.3. Programación y software de control

El código base es tomado del repositorio de Marlin y se trabaja sobre la versión *Marlin-PI3\_Pro\_B\_3DTouch (A+)*.

Dentro del código de Arduino las modificaciones se enfocan en el archivo *configuración.h* el cual contiene parámetros específicos de cada máquina.

A continuación, se describe los cambios más importantes que se realizan al software.

- Nombre del investigador y nombre del proyecto.

```
#define STRING_CONFIG_H_AUTHOR "(Daniel Canchignia, Kaly1.0)" // Who made the
changes.
```

- Velocidad de comunicación

```
#define BAUDRATE 250000
```

- Tipo de tarjeta a controlar.

```
#define MOTHERBOARD BOARD_ULTIMAKER
```

- Nombre de visualización.

```
#define CUSTOM_MENDEL_NAME "KALY"
```

- Número de serie.

```
// #define MACHINE_UUID "00000000-7777-0000-0000-000000000000"
```

- Tipo de termistor.

```
//--NORMAL IS 4.7kohm PULLUP!-- 1kohm pullup can be used on hotend sensor, using correct resistor and table
```

- Habilitado de lectura de termistores.

```
#define TEMP_SENSOR_0 1
```

```
#define TEMP_SENSOR_1 1 //MODIFICADO
```

```
#define TEMP_SENSOR_2 0
```

```
#define TEMP_SENSOR_BED 1
```

- Valores mínimos de temperatura para funcionamiento, esto es una seguridad para saber si está conectado los termistores.

```
#define HEATER_0_MINTEMP 5
```

```
#define HEATER_1_MINTEMP 5
```

```
#define HEATER_2_MINTEMP 5
```

```
#define BED_MINTEMP 5
```

```
#define HEATER_0_MAXTEMP 275
```

```
#define HEATER_1_MAXTEMP 275
```

```
#define HEATER_2_MAXTEMP 275
```

```
#define BED_MAXTEMP 150
```

- Este parámetro define la lógica de detección del final de carrera, normalmente abierto o normalmente cerrado.

```
const bool X_MIN_ENDSTOP_INVERTING = true; // set to true to invert the logic of the endstop.
//MODIFICADO
```

```
const bool Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING = true; // set to true to invert the logic of the endstop.
//MODIFICADO
```

```
const bool Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING = true; // set to true to invert the logic of the endstop.
```

```
const bool X_MAX_ENDSTOP_INVERTING = true; // set to true to invert the logic of the
endstop. //MODIFICADO
```

```
const bool Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING = true; // set to true to invert the logic of the
endstop. //MODIFICADO
```

```
const bool Z_MAX_ENDSTOP_INVERTING = true; // set to true to invert the logic of the
endstop. //MODIFICADO
```

- Inversión dirección eje Z.

```
#define INVERT_Z_DIR true // for Mendel set to false, for Orca set to true MODIFICADO
```

- Dirección de movimiento para realizar Home a cada eje

```
// ENDSTOP SETTINGS:
```

```
// Sets direction of endstops when homing; 1=MAX, -1=MIN
```

```
#define X_HOME_DIR -1
```

```
#define Y_HOME_DIR -1
```

```
#define Z_HOME_DIR -1
```

- Pasos por milímetro de cada motor, este parámetro se obtiene de la hoja de especificaciones de cada motor.

```
// default settings
```

```
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT {160,160,1632,95} // MXL, Z M8=1.25, MK8 de 80 a 200
```

- Velocidades máximas para el movimiento de cada motor.

```
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE {400, 400, 4, 25} // (mm/sec)
```

```
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION {1000,1000,20,1000} // X, Y, Z, E maximum start speed for accelerated moves. E default values are good for Skeinforge 40+, for older versions raise them a lot.
```

- Aceleración máxima de avance ejes.

```
#define DEFAULT_ACCELERATION 1000 // X, Y, Z and E max acceleration in mm/s^2 for printing moves
```

- Aceleración máxima de retroceso ejes.

```
#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION 1000 // X, Y, Z and E max acceleration in mm/s^2 for retracts
```

- En la pestaña *pin.es.h* se modifica la asignación de pines para habilitar las funciones de láser.

```
#define Z_MAX_PIN 32 //-1//32 //MODIFICADO
```

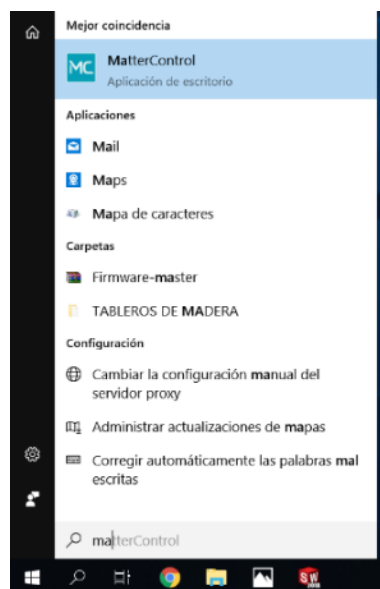
```
#define HEATER_1_PIN 7 //3 MODIFICADO
```

```
#define FAN_PIN 3//7 MODIFICADO
```

#### 4.4. Comunicación software y hardware

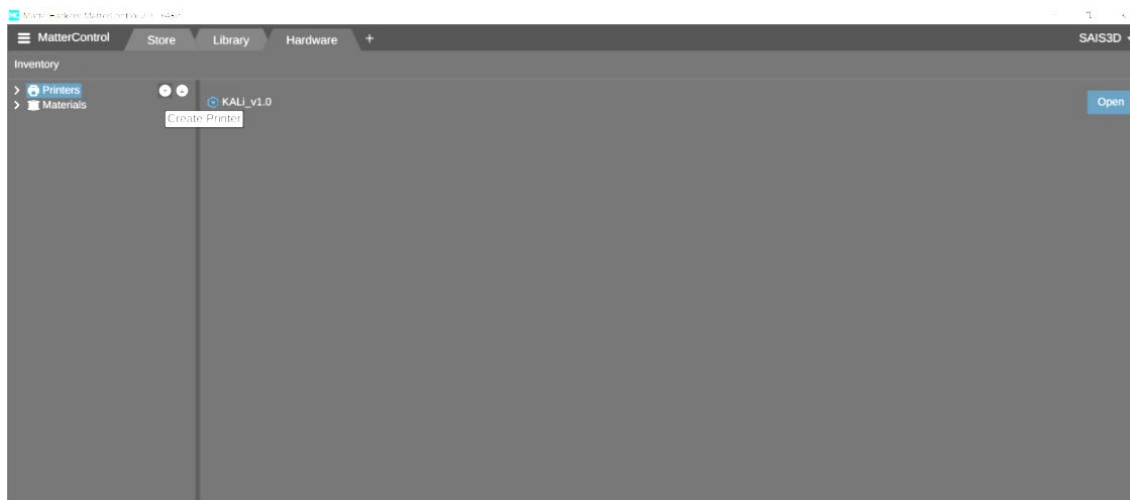
La comunicación se realiza mediante cable USB, para la programación en el IDE de Arduino se debe seleccionar el puerto COM y la tarjeta tipo Atmega2560, de igual forma en el software Slice se enlaza a la tarjeta mediante el puerto COM, en los dos programas es necesario seleccionar la velocidad de baudios a la que trabajara la comunicación. En la figura se muestra la creación y configuración del proyecto dentro de MatterControl como una nueva impresora.

1. Posterior instalación del software, Abrir MatterControl desde el menú inicio.



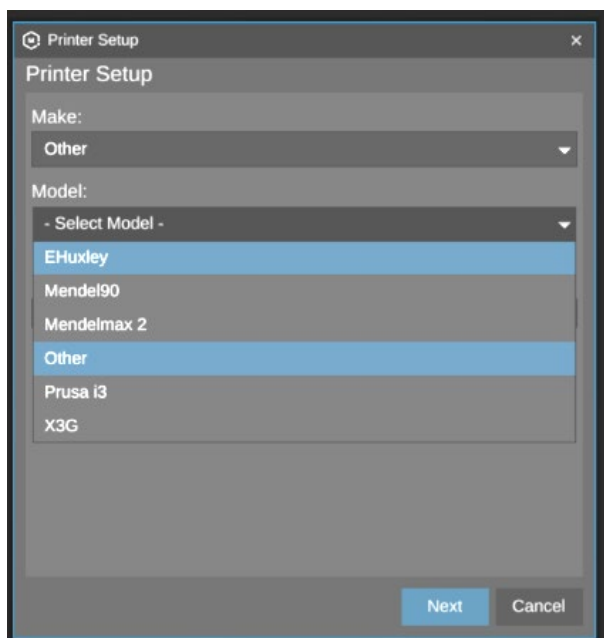
**Figura 148.** Inicio MatterControl

2. La pestaña Hardware nos da la opción de crear nueva impresora, damos clic.



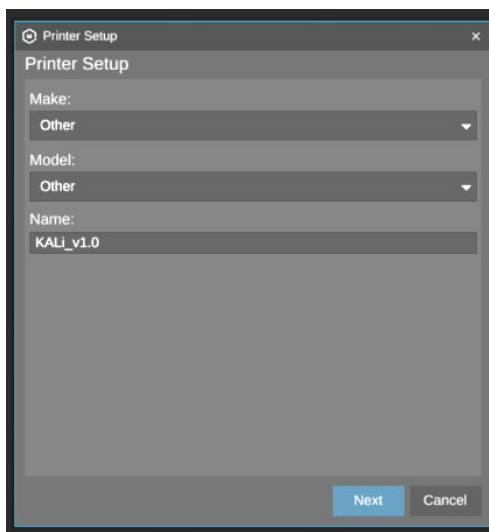
**Figura 149.** Creación de nueva impresora

3. En la pantalla que se genera como primer menú tenemos Make, aquí podemos encontrar las principales empresas comerciales a nivel mundial que crean impresoras 3D, en el caso de proyecto se selecciona la opción Other, Figura 150.



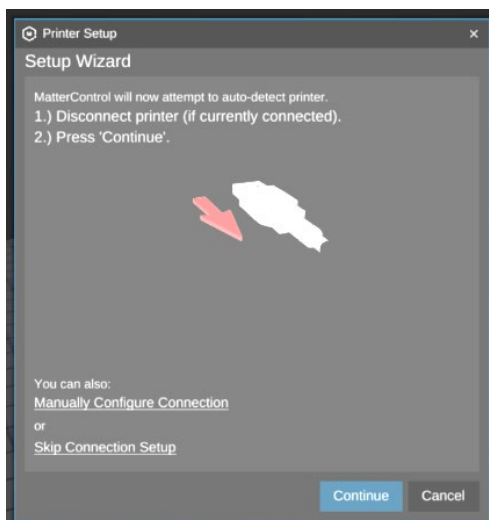
**Figura 150.** Pestaña Printer Setup – Make

4. El segundo menú Model permite elegir entre varias versiones o modelos que las empresas pueden disponer, en el caso del proyecto se selecciona Other, en el tercer menú se coloca un nombre para la nueva impresora, Figura 151.



**Figura 151.** Pestaña Printer Setup – Modelo /Nombre

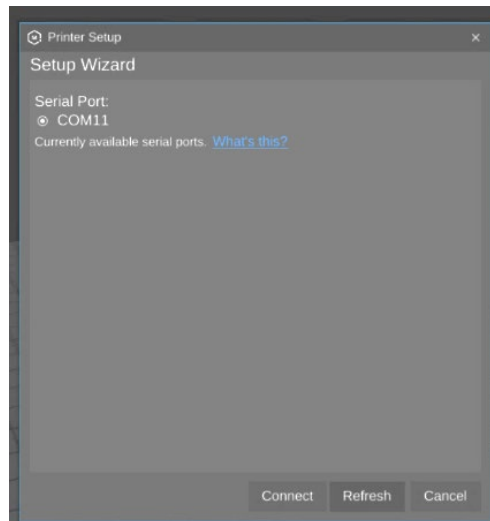
5. La configuración del puerto serial, se lo puede hacer por detección automática conectando en ese momento el cable USB, manualmente seleccionando un puerto específico o da la opción de configurar luego, Figura 152.



**Figura 152.** Comunicación serial



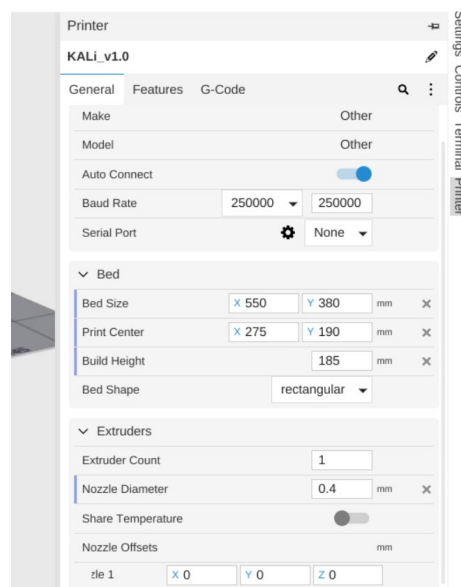
- De preferencia utilizar la opción Conexión manual, esto nos permite elegir el puerto correcto, dado el caso de existir múltiples equipos conectados al mismo tiempo, Figura 153.



*Figura 153.* Selección de puerto serial

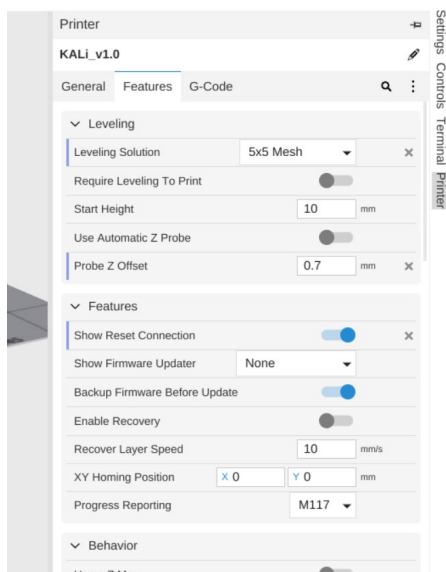
#### 4.5. Configuraciones con los parámetros del proyecto.

- En el costado derecho existe la pestaña **Impresora**, aquí podemos configurar parámetros generales de la impresora, Figura 154.



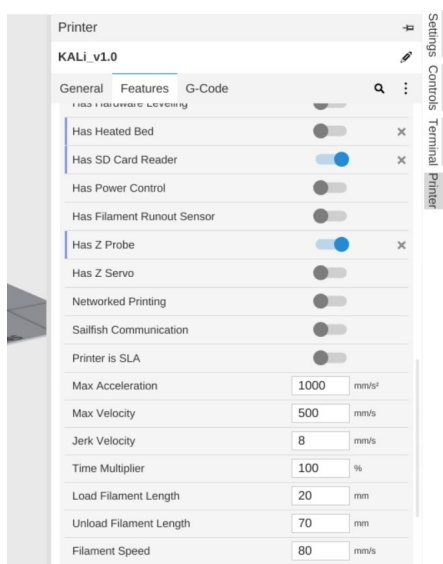
*Figura 154.* Pestaña general

2. La pestaña Características permite el control de habilitación de funciones como nivelación automática de la mesa por mallado, Figura 155.



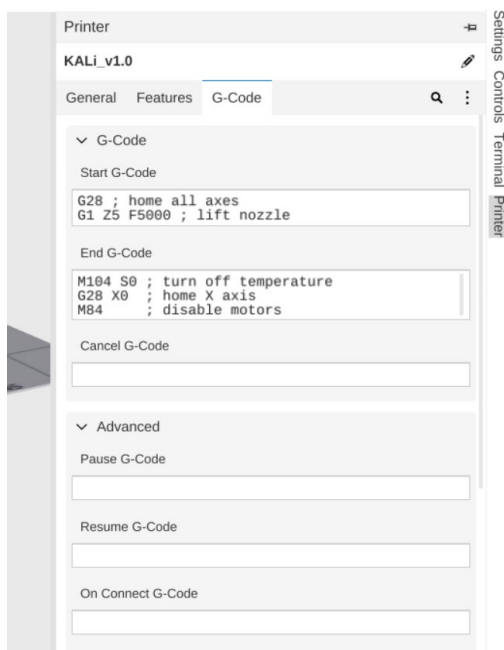
**Figura 155.** Características parte1

3. Otras características permiten decir a MatterControl que no disponemos de cama caliente, que tenemos de sensor para calibrar la mesa, velocidades y aceleraciones máximas del programa.



**Figura 156.** Características parte2

4. La pestaña Código-G permite añadir líneas de código personales antes y después del código de impresión, por ejemplo, la desactivación de los motores al terminar la impresión con el comando M84, Figura 157.



**Figura 157.** Características código G

En la Figura 158 se muestra un diagrama esquemático del cableado eléctrico general de la máquina, se da énfasis al conector universal para los cabezales y se representa por colores las diferentes señales de control y potencia, además, se representan los principales componentes utilizados.

4.6. Diagrama electrónico y de control

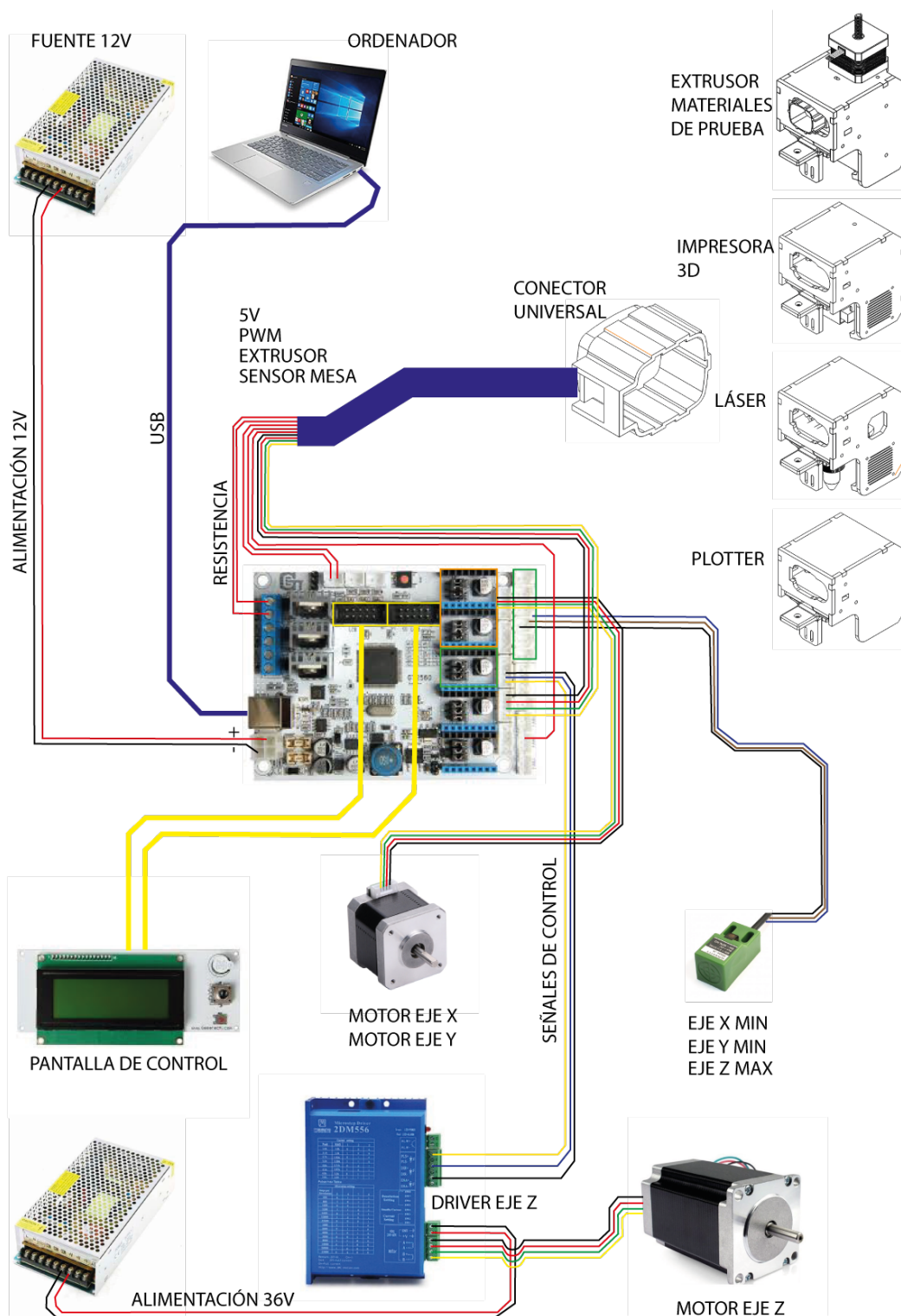
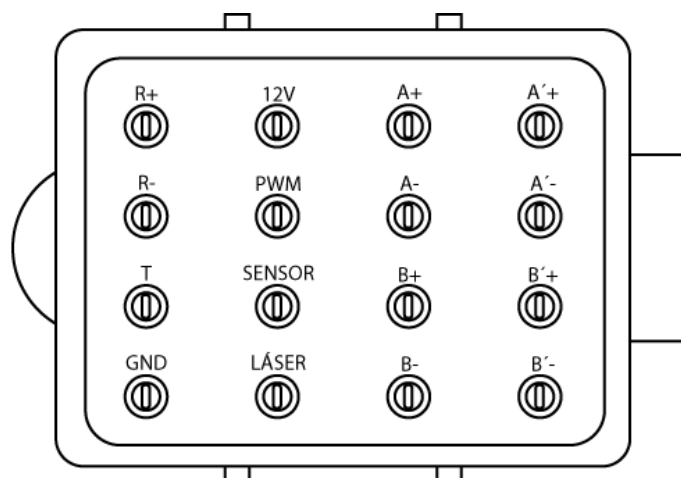


Figura 158. Diagrama eléctrico y de control

#### 4.7. Operación de múltiples actuadores

La máquina está diseñada para trabajar con un solo cabezal a la vez, cada uno de los cabezales utiliza los pines que requiere sin interferir con el control de las demás señales, además, se ha implementado un pin para la activación de la fuente láser, esto asegura el funcionamiento si y solo si está el cabezal láser.

El cambio de cabezal se lo realiza siempre con la máquina apagada o con el paro de emergencia oprimido. La Figura 159 muestra la distribución de pines en el conector universal, la Tabla 33 muestra la descripción de cada uno de los pines.



**Figura 159.** Distribución de pines

**Tabla 33.**

*Descripción pines asignados a cabezales*

| Nombre | Descripción   |
|--------|---|
| R+     | Positivo del circuito opto acoplado, utilizado para generar calentar la resistencia |
| R-     | Negativo del circuito opto acoplado, utilizado para generar calentar la resistencia |
| T      | Positivo del termistor, utilizado para censar la temperatura                        |
| GND    | Negativo para todos los pines excepto la resistencia de calor                       |

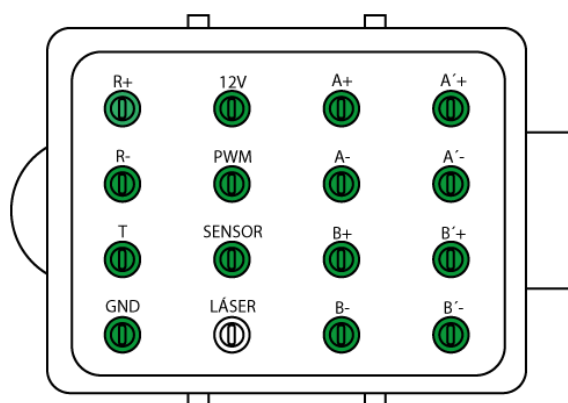
CONTINÚA 

---

|        |  |
|--------|--|
| 12V    | Positivo con voltaje de 12V DC, utilizado para ventiladores  |
| PWM    | Positivo con voltaje variable de 0-5V DC, utilizado para control de potencia de láser y alimentar el electroimán del plotter                       |
| SENSOR | Positivo ser circuito de censado de altura, utilizado para cerrar circuito con la mesa metálica y comprobar ubicación de la punta de los cabezales |
| LÁSER  | Positivo del circuito activación láser, utilizado para activar la fuente del tubo láser  |
| A+     | Pines del circuito extrusor, utilizados para mover el motor a pasos del cabezal extrusor de materiales de prueba                                   |
| A-     |  |
| B+     |  |
| B-     |  |
| A'+    | Pines del circuito extrusor, utilizado para reenviar la señal hacia el extrusor tipo bowden  |
| A'-    |  |
| B'+    |  |
| B'-    |  |

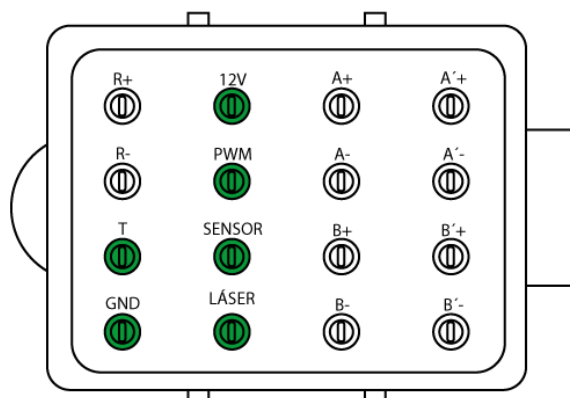
---

### Pines utilizados por el cabezal Impresora 3D



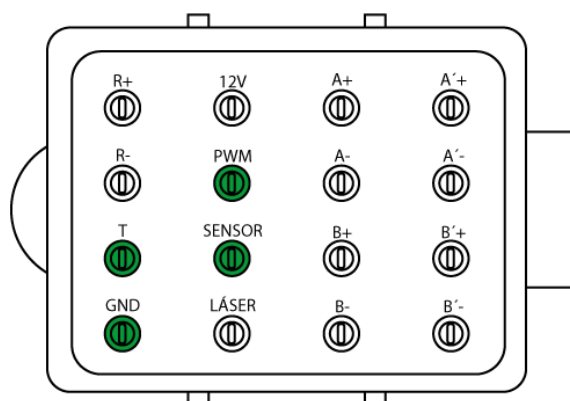
**Figura 160.** Pines impresora 3D

### Pines utilizados por el cabezal Láser



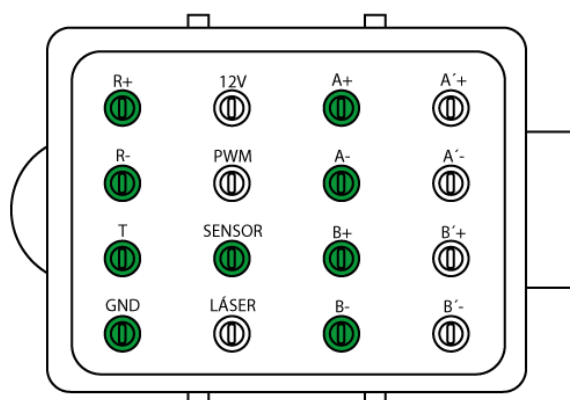
*Figura 161.* Pines láser

### Pines utilizados por el cabezal Plotter



*Figura 162.* Pines plotter

### Pines utilizados por el cabezal Extrusor materiales de prueba



*Figura 163.* Pines extrusor materiales de prueba

#### 4.8. Control mediante app Android

Los programas tipo Slicer no solo están disponibles para plataformas de escritorio, también tienen una versión tipo APP compatible con la plataforma Android e IOS, no disponen de todas las características que la versión de escritorio, sin embargo, tienen la ventaja de poder comunicar y enlazar el monitoreo y control del proceso mediante wifi a la aplicación de escritorio.

MatterControl ha desarrollado su APP para Android, MatterHackers lo vende integrado en una Tablet con un armazón de goma, Figura 164.

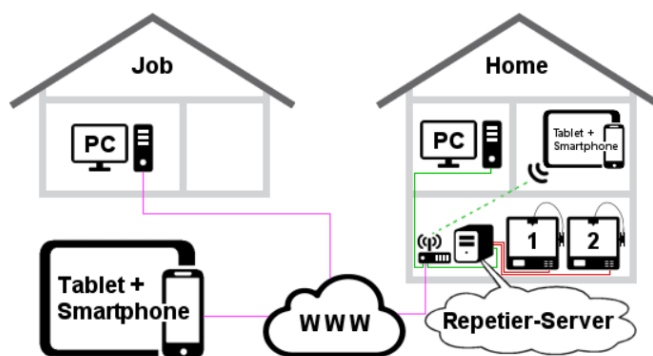


**Figura 164.** MatterControl APP

Fuente: (MatterHackers, 2019)

La forma de comunicación es mediante cable USB lo que vuelve independiente a la máquina para no depender de un ordenador, la APP mantiene la capacidad de generar el rebanado de las piezas, la conectividad wifi propio de la Tablet permite acceder a internet descargas modelos, importarlos a la APP y generar el G-code. La APP utiliza la cámara del dispositivo para capturar imágenes del proceso y subirlas a la nube, otra ventaja es la creación de alertas al instante de terminar el proceso de manufactura.





**Figura 165.** Conectividad Repetier Informer

Fuente: (Repetier, 2019)

La segunda opción es la APP de Repetier Host llamada Repetier Informer que ofrece informes, mensajes push rápidos al teléfono o Tablet donde ha sido instalado la APP, los eventos que permite ser el programa son:

- Imprimir Iniciado
- Imprimir en pausa
- Impresión detenida
- Imprimir Terminado
- Errores fatales
- Rebanado terminado
- Progreso cada x minutos / horas

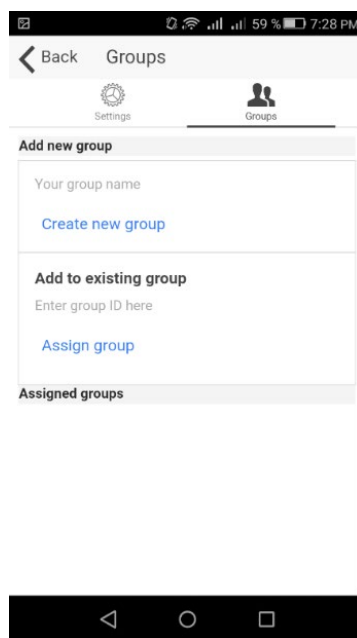
## Configuración APP móvil

1. Instalar Repetier – Informer en el dispositivo Android, abrir la APP, Figura 166.



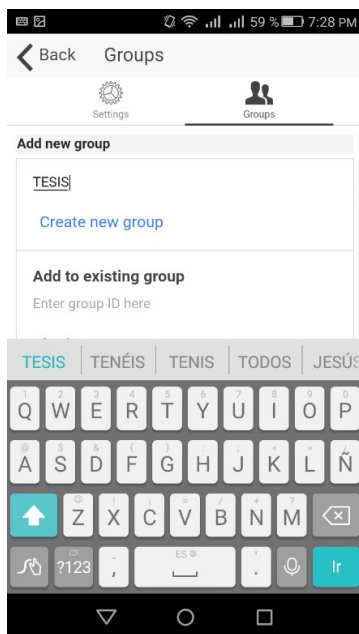
**Figura 166.** Pantalla principal APP

2. Acceder a la pestaña de configuración, Figura 167.



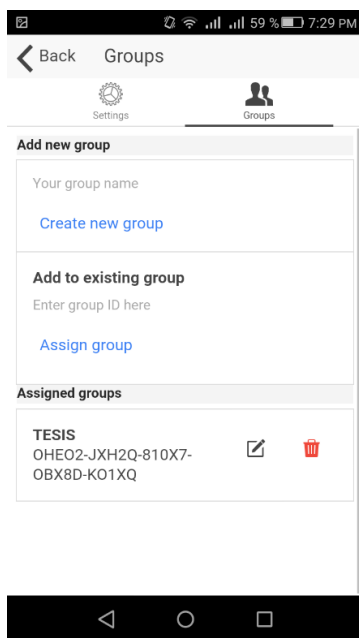
**Figura 167.** Pestaña configuración

3. Ingresar un nombre "TESIS" para crear un grupo, Figura 168.



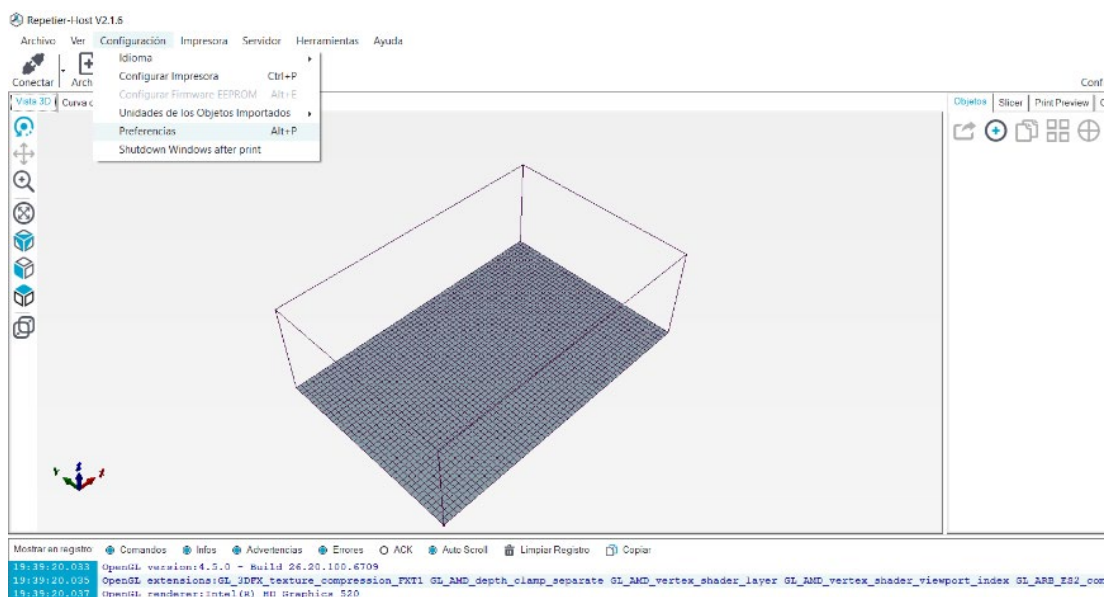
**Figura 168.** Creación nuevo grupo

4. La aplicación genera un ID que enlaza la aplicación de escritorio con el APP Android, Figura 169.



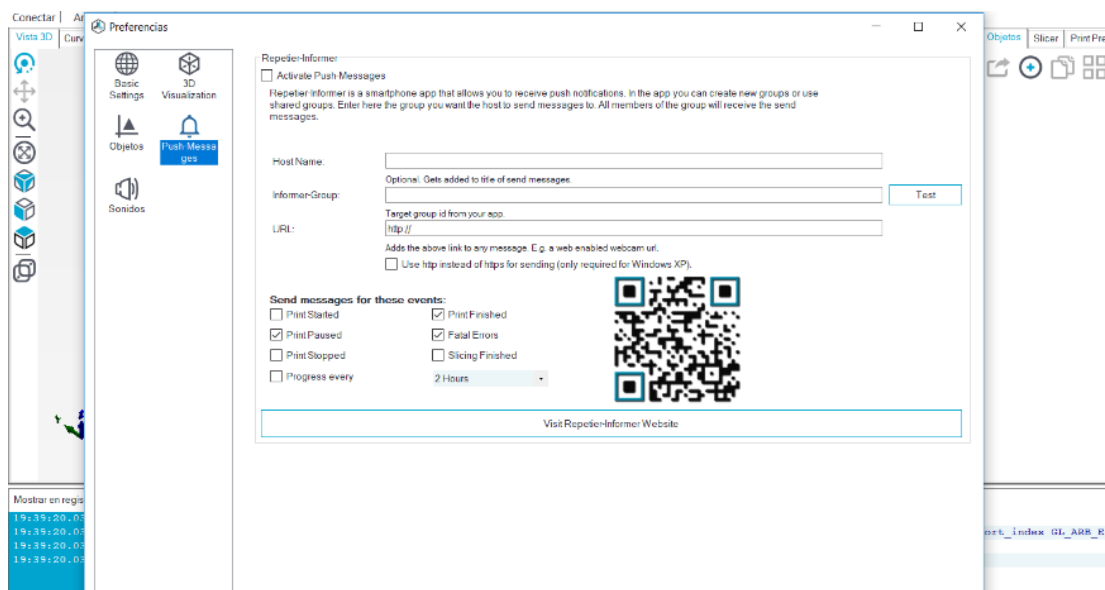
**Figura 169.** Generación de ID

5. Abrir la aplicación Repetier – Host de escritorio y dirigirse a la pestaña Configuración – Preferencias, Figura 170.



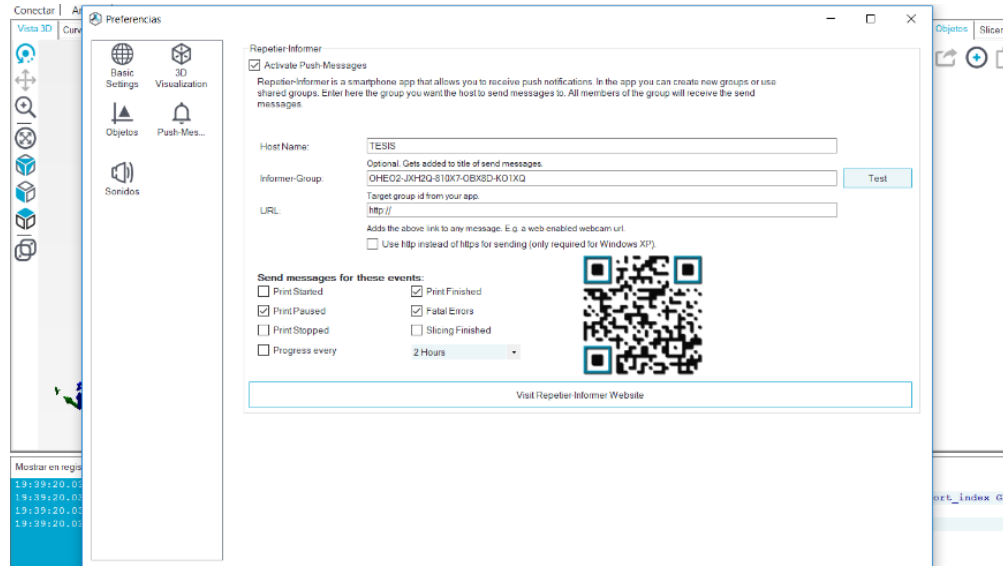
**Figura 170.** Aplicación de escritorio Repetier – Host

6. En la parte izquierda elegir la pestaña Push – Messages.



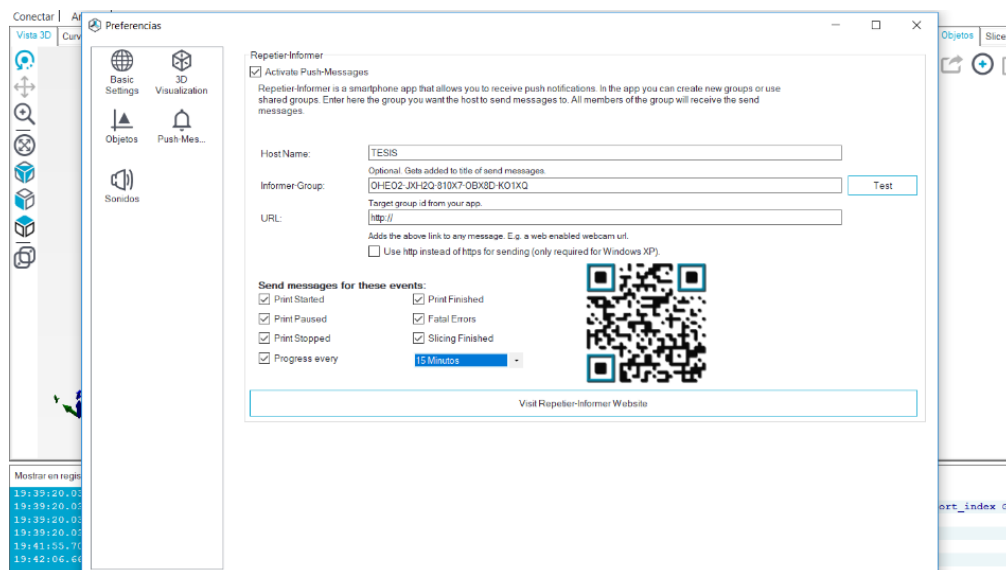
**Figura 171.** Pestaña Push – Messages

7. Ingresar un nombre para el Host y copiar el ID generado por la APP Android, esto enlaza las dos aplicaciones, Figura 172.



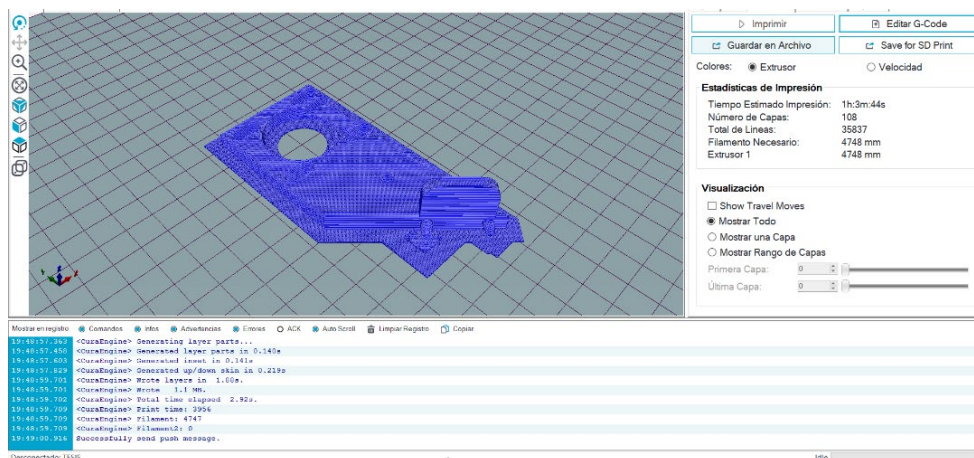
**Figura 172.** Datos de conexión aplicaciones

8. El menú en la parte inferior muestra los eventos que serán enviados por mensajes, se marca con un check todos los espacios, adicional en la parte derecha existe el botón Test para comprobar la conexión mediante un mensaje de prueba, Figura 173.



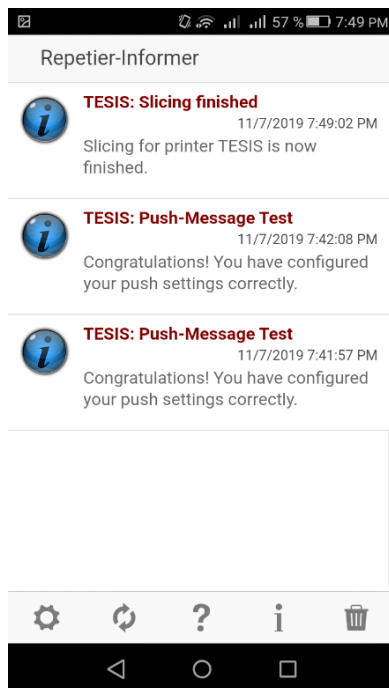
**Figura 173.** Selección de eventos para mensajes

9. La importación de una pieza permite rebanarla y probar el envío de mensaje al terminar el proceso, una vez finalizado el proceso de Rebanado en el área de notificaciones se muestra el envío de mensaje, Figura 174.



**Figura 174.** Mensaje push enviado

10. En la APP Android podemos comprobar la recepción de los mensajes, se configura la recepción de mensajes para cada 15 mins,



**Figura 175.** Recepción de push – messages

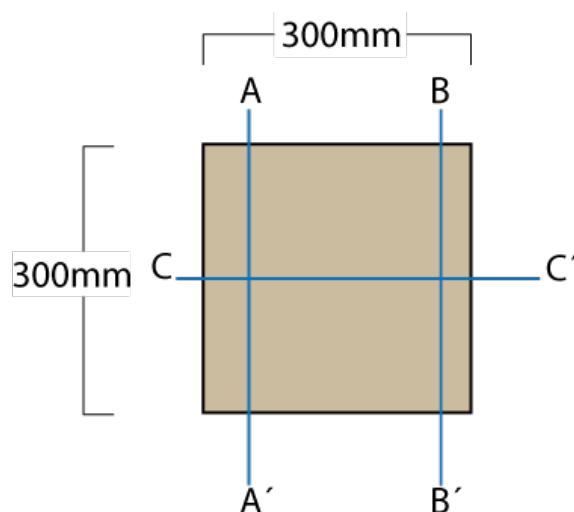
## CAPÍTULO V

### PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se describe las pruebas realizadas y el método de evaluación aplicado para validar el correcto funcionamiento y cumplir con los requisitos planteados. Los puntos clave se relacionan con el mejoramiento de los parámetros de producción como son precisión, repetibilidad, tiempos de cambio de cabezales incluido cableado, detección de cabezales, volumen de trabajo, funcionamiento de los actuadores, espacio físico ocupado por la maquinaria, costos de adquisición.

#### 5.1. Precisión

El procedimiento consiste en cortar 5 cuadros y 5 círculos con el cabezal láser a la misma potencia y realizar tres medidas para comprobar la precisión de las dimensiones en relación al modelo digital. El cuadrado tiene dimensiones de 300x300mm Figura 176. La diferencia entre las distancias se registra con un calibrador electrónico.



*Figura 176.* Prueba precisión1

**Tabla 34.**  
*Pruebas medición rectángulo corte láser*

| Prueba N° | A -A'  | B -B'  | C -C'  | Longitud<br>X | X <sup>2</sup>     |
|-----------|--------|--------|--------|---------------|--------------------|
|           | [mm]   | [mm]   | [mm]   | [mm]          | [mm <sup>2</sup> ] |
| 1         | 299,60 | 299,50 | 300,20 | 299,77        | 89862,05           |
| 2         | 299,85 | 300,10 | 299,85 | 299,93        | 89958,00           |
| 3         | 300,15 | 299,64 | 300,25 | 300,01        | 90006,00           |
| 4         | 300,27 | 300,05 | 299,76 | 300,03        | 90018,00           |
| 5         | 299,70 | 299,80 | 300,18 | 299,89        | 89934,01           |

Mediante el uso del método estadístico *t-student* (Moncada-Jiménez, 2005) se analiza la validación de la hipótesis con respecto al parámetro de Precisión.

### **Paso 1. Escribir la hipótesis**

Simbólicamente, la hipótesis nula y la hipótesis alternativa se representaría así:

$$H_0: \mu = 300 \text{ (medida original de diseño)}$$

$$H_1: \mu \neq 300 \text{ (medida original de diseño)}$$

$H_0$ : No existen diferencias significativas entre el promedio de puntajes obtenidos en la prueba de medición de un rectángulo cortado por láser y la medida original de diseño.

$H_1$ : Existen diferencias significativas entre el promedio de puntajes obtenidos en la prueba de medición de un rectángulo cortado por láser y la medida original de diseño.

### **Paso 2. Se ejecutan los cálculos preliminares**

Cálculo de promedio y la desviación estándar para el grupo de datos.

$$n = 5$$



$$\sum X = 1499,63$$

$$\sum X^2 = 449778,07$$

$$\bar{x} = \frac{\sum X}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{1499,63}{5}$$

$$\bar{x} = 299,93$$

$$s^2 = \frac{\sum X^2 - \left[ \frac{(\sum X)^2}{n} \right]}{n - 1}$$

$$s^2 = \frac{449778,07 - \left[ \frac{(1499,63)^2}{5} \right]}{5 - 1}$$

$$s^2 = 0,0109$$

$$s = \sqrt{s^2}$$

$$s = \sqrt{0,0109}$$

$$s = 0,1043$$

**Paso 3. Se establece la zona de rechazo de  $H_0$**

Pero antes, se debe obtener los grados de libertad:

$$g.l. = \text{número de observaciones} - 1$$

$$g.l. = 5 - 1 = 4$$

Se establece el nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$  para una prueba de dos colas. Finalmente, se busca en la tabla de valores críticos para la *prueba t*, **Anexo J**.

$$t_{vc} = \pm 2,776.$$

**Paso 4. Se resuelve la fórmula para la prueba  $t$** 

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s\bar{x}}$$

$$s\bar{x} = s/\sqrt{n}$$

$$s\bar{x} = 0,1043/\sqrt{5}$$

$$s\bar{x} = 0,0466$$

Ahora, se puede obtener el valor de  $t$ :

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s\bar{x}}$$

$$t = \frac{299,93 - 300}{0,0466}$$

$$t = -1,5864$$

**Paso 5. Se decide si se acepta o se rechaza  $H_0$** 

La regla de decisión es simple. Si el valor de  $t > t_{vc}$ , entonces se rechaza  $H_0$ . Por el contrario, si el valor  $t < t_{vc}$ , se mantiene  $H_0$ .

$$t = -1,5864; t_{vc} = -2,776$$

$$t < t_{vc}, \text{ por lo tanto, se acepta } H_0$$

**Paso 6. Se redacta una conclusión**

Por medio de la prueba *t-student* de una muestra, no se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el promedio de las longitudes obtenidos en la prueba de medición ( $\bar{x} = 299,93 \text{ mm}$ ) y la longitud de diseño ( $\bar{x} = 300 \text{ mm}$ ). En promedio, los cuadrados cortados por láser no miden menos que el diseñado.

## 5.2. Repetibilidad

El procedimiento consiste en marcar 10 veces el mismo punto sobre una base de MDF con el cabezal plotter. La diferencia entre las distancias se registra con un calibrador electrónico.

**Tabla 35.**  
*Pruebas de repetibilidad*

| Prueba N°  | Mediciones            |                                  |
|------------|-----------------------|----------------------------------|
|            | X                     | X <sup>2</sup>                   |
|            | [mm]                  | [mm <sup>2</sup> ] $\times 10^3$ |
| 1          | 0,020                 | 0,400                            |
| 2          | 0,010                 | 0,100                            |
| 3          | 0,015                 | 0,225                            |
| 4          | 0,020                 | 0,400                            |
| 5          | 0,020                 | 0,400                            |
| 6          | 0,010                 | 0,100                            |
| 7          | 0,015                 | 0,225                            |
| 8          | 0,005                 | 0,025                            |
| 9          | 0,010                 | 0,100                            |
| 10         | 0,020                 | 0,400                            |
| $\Sigma =$ | 1,45 $\times 10^{-2}$ | 2,38 $\times 10^{-4}$            |

**Tabla 36.**  
*Repetibilidad máquinas comerciales*

|               | ANET E10     | FORZA 4      | AXIDRAW      | PROCUSINI    |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|               | [mm]         | [mm]         | [mm]         | [mm]         |
| Repetibilidad | <b>0,015</b> | <b>0,010</b> | <b>0,100</b> | <b>0,100</b> |

Fuente: (Procusini, 2019), (Anet 3D Printer, 2019), (AxiDraw, 2019), (Forza láser, 2019).

Mediante el uso del método estadístico *t-student* (Moncada-Jiménez, 2005) se analiza la validación de la hipótesis con respecto al parámetro de Repetibilidad.

Para el análisis se toma el menor valor descrito en la Tabla 37, lo que significa realizar una comparación con la máquina que describe el mejor valor para repetibilidad.

### **Paso 1. Escribir la hipótesis**

Simbólicamente, la hipótesis nula y la hipótesis alternativa se representaría así:

$$H_0: \mu = 0,010$$

$$H_1: \mu \neq 0,010$$

$H_0$ : No existen diferencias significativas entre el promedio de puntajes obtenidos en la prueba de repetibilidad y el mejor valor de repetibilidad según la Tabla 36.

$H_1$ : Existen diferencias significativas entre el promedio de puntajes obtenidos en la prueba de repetibilidad y el mejor valor de repetibilidad según la Tabla 36.

### **Paso 2. Se ejecutan los cálculos preliminares**

Cálculo de promedio y la desviación estándar para el grupo de datos.

$$n = 10$$

$$\sum X = 0,145$$

$$\sum X^2 = 0,002$$

$$\bar{x} = \frac{\sum X}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{0,145}{10}$$

$$\bar{x} = 0,015$$

$$s^2 = \frac{\sum X^2 - \left[ \frac{(\sum X)^2}{n} \right]}{n - 1}$$

$$s^2 = \frac{0,002 - \left[ \frac{(0,145)^2}{10} \right]}{10 - 1}$$

$$s^2 = 3,028 \times 10^{-5}$$

$$s = \sqrt{s^2}$$

$$s = \sqrt{3,028 \times 10^{-5}}$$

$$s = 5,50 \times 10^{-3}$$

**Paso 3. Se establece la zona de rechazo de  $H_0$**

Pero antes, se debe obtener los grados de libertad:

$$g.l. = \text{número de observaciones} - 1$$

$$g.l. = 10 - 1$$

$$g.l. = 9$$

Se establece el nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$  para una prueba de dos colas. Finalmente, se busca en la tabla de valores críticos para la *prueba t*, **Anexo F**.

$$t_{vc} = \pm 2,262.$$

**Paso 4. Se resuelve la fórmula para la *prueba t***

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s\bar{x}}$$

$$s\bar{x} = s/\sqrt{n}$$

$$s\bar{x} = 5,50 \times 10^{-3} / \sqrt{10}$$

$$s\bar{x} = 1,74 \times 10^{-3}$$

Ahora, se puede obtener el valor de  $t$ :

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s\bar{x}}$$

$$t = \frac{0,015 - 0,010}{1,74 \times 10^{-3}}$$

$$t = 2,5861$$

**Paso 5. Se decide si se acepta o se rechaza  $H_0$**

La regla de decisión es simple. Si el valor de  $t > t_{vc}$ , entonces se rechaza  $H_0$ . Por el contrario, si el valor  $t < t_{vc}$ , se mantiene  $H_0$ .

$$t = 2,5861; t_{vc} = 2,262$$

$t > t_{vc}$ , por lo tanto, se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$

**Paso 6. Se redacta una conclusión**

Por medio de la prueba *t-student* de una muestra, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el promedio de los puntajes obtenidos en la prueba de repetibilidad con el cabezal plotter ( $\bar{x} = 0,015 \text{ mm}$ ) y el de una máquina comercial Forza 4 ( $\bar{x} = 0,010 \text{ mm}$ ). En promedio, la repetibilidad de la Forza 4 es mayor que el proyecto.

Se hace un segundo ejercicio para comparar la repetibilidad con una impresora Anet E10.

Ahora, se obtiene el valor de  $t_1$ :

$$t_1 = \frac{\bar{x} - \mu_1}{s\bar{x}}$$

$$t_1 = \frac{0,015 - 0,015}{1,74 \times 10^{-3}}$$

$$t_1 = -0,2873$$

$$t_1 = -0,2873; t_{vc} = 2,262$$

$t_1 > t_{vc}$ , por lo tanto, se acepta  $H_0$

Por medio de la prueba *t-student* de una muestra, no se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el promedio de los puntajes obtenidos en la prueba de repetibilidad con el cabezal plotter ( $\bar{x} = 0,0145 \text{ mm}$ ) y el de una máquina comercial Anet E10 ( $\bar{x} = 0,015 \text{ mm}$ ). En promedio, la repetibilidad del proyecto no mejor al de una Anet E10.

### **5.3. Tiempo de cambio de cabezal incluido cableado**

El procedimiento está diseñado para ser realizado por una sola persona y consiste en quitar la alimentación eléctrica a la máquina presionando el paro de emergencia, levantar la tapa principal, desplazar manualmente el cabezal hacia una posición cercana y cómoda para el usuario, sujetar el cabezal firmemente con una mano, al mismo tiempo oprimir el broche de seguridad del conector con la otra mano y tirar hacia atrás para desacoplar el conector universal, con la ayuda de las dos manos sujetar el cabezal y realizar un giro en el sentido de las manecillas del reloj hasta percibir la liberación del cabezal. Colocar el siguiente cabezal sobre la base universal y realizar un giro en sentido contrario a las manecillas del reloj hasta percibir el acople por presión, con una mano mantener la sujeción y con la otra realizar la conexión del acople eléctrico empujando hasta percibir el anclaje del broche de seguridad, energizar la máquina girando el paro de emergencia.

Los tiempos se registran para 10 usuarios con la ayuda de un cronómetro. Los resultados se muestran en la *Tabla 37*.

**Tabla 37.**  
*Tiempo de cambio de cabezal*

| Prueba N° | CAMBIO DE CABEZAL |                          |
|-----------|-------------------|--------------------------|
|           | X                 | X <sup>2</sup>           |
|           | [segundos]        | [segundos <sup>2</sup> ] |
| 1         | 37,72             | 1422,80                  |
| 2         | 40,15             | 1612,02                  |
| 3         | 35,05             | 1228,50                  |
| 4         | 36,52             | 1333,71                  |
| 5         | 42,89             | 1839,55                  |
| 6         | 51,54             | 2656,37                  |
| 7         | 45,98             | 2114,16                  |
| 8         | 32,80             | 1075,84                  |
| 9         | 46,75             | 2185,56                  |
| 10        | 37,23             | 1386,07                  |
| $\sum =$  | 40,66             | 1685,46                  |

Se compara este tiempo promedio con el cambio de cabezal de una máquina láser y una impresora 3D comerciales dentro de la empresa Tabla 38.

**Tabla 38.**  
*Comparación tiempo cambio cabezal*

|                 | FORZA 4      | ANET E10      | AXIDRAW    | PROCUSINI  |
|-----------------|--------------|---------------|------------|------------|
|                 | [segundos]   | [segundos]    | [segundos] | [segundos] |
| Tiempo promedio | <b>85,00</b> | <b>145,00</b> | -          | -          |

Mediante el uso del método estadístico *t-student* (Moncada-Jiménez, 2005) se analiza la validación de la hipótesis con respecto al parámetro tiempo de cambio de cabezal.

Para el análisis se toma el menor valor descrito en la Tabla 39, lo que significa realizar una comparación con la máquina que describe el cambio de cabezal más rápido.



### Paso 1. Escribir la hipótesis

Simbólicamente, la hipótesis nula y la hipótesis alternativa se representaría así:

$$H_0: \mu = 85$$

$$H_1: \mu \neq 85$$

$H_0$ : No existe diferencia significativa entre el promedio de puntajes obtenidos en la prueba de cambio de cabezal del proyecto y el del cambio de cabezal de una Forza 4.

$H_1$ : Existe diferencia significativa entre el promedio de puntajes obtenidos en la prueba de cambio de cabezal del proyecto y el del cambio de cabezal de una Forza 4.

### Paso 2. Se ejecutan los cálculos preliminares

Cálculo de promedio y la desviación estándar para el grupo de datos.

$$n = 10$$

$$\sum X = 406,63$$

$$\sum X^2 = 16854,59$$

$$\bar{x} = \frac{\sum X}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{406,63}{10}$$

$$\bar{x} = 40,66$$

$$s^2 = \frac{\sum X^2 - \left[ \frac{(\sum X)^2}{n} \right]}{n - 1}$$

$$s^2 = \frac{16854,59 - \left[ \frac{(406,63)^2}{10} \right]}{10 - 1}$$

$$s^2 = 35,53$$

$$s = \sqrt{s^2}$$

$$s = \sqrt{35,53}$$

$$s = 5,96$$

**Paso 3. Se establece la zona de rechazo de  $H_0$**

Pero antes, se debe obtener los grados de libertad:

$$g.l. = \text{número de observaciones} - 1$$

$$g.l. = 10 - 1 = 9$$

Se establece el nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$  para una prueba de dos colas. Finalmente, se busca en la tabla de valores críticos para la *prueba t*, **Anexo F**.

$$t_{vc} = \pm 2,262$$

**Paso 4. Se resuelve la fórmula para la *prueba t***

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s\bar{x}}$$

$$s\bar{x} = s/\sqrt{n}$$

$$s\bar{x} = 5,96/\sqrt{10}$$

$$s\bar{x} = 1,89$$

Ahora, se puede obtener el valor de  $t$ :

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s\bar{x}}$$

$$t = \frac{40,66 - 85}{1,89}$$

$$t = -23,52$$

**Paso 5. Se decide si se acepta o se rechaza  $H_0$**

La regla de decisión es simple. Si el valor de  $t > t_{vc}$ , entonces se rechaza  $H_0$ . Por el contrario, si el valor  $t < t_{vc}$ , se mantiene  $H_0$ .

$$t = -23,52; t_{vc} = -2,262$$

$t < t_{vc}$ , por lo tanto, se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$

**Paso 6. Se redacta una conclusión**

Por medio de la prueba *t-student* de una muestra, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el promedio de los tiempos obtenidos en la prueba de cambio de cabezal del proyecto ( $\bar{x} = 40,66 \text{ seg}$ ) y el del cabezal de una Forza 4 ( $\bar{x} = 85 \text{ seg}$ ). En promedio, el tiempo de cambio de los cabezales del proyecto es menor que el mejor tiempo de la Tabla 39.

**5.4. Detección de cabezales**

El procedimiento consiste en acoplar 10 veces cada uno de los cabezales al conector universal y comprobar la detección del mismo a través de la pantalla LCD. Los resultados se muestran en la Tabla 39.

**Tabla 39.**

*Prueba detección cabezal*

| Cabezales | Pruebas |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Detecciones |           | Porcentajes |           |
|-----------|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|-----------|-------------|-----------|
|           | 1       | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | Positivos   | Negativos | Positivos   | Negativos |
| Cabezal   |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |             |           |             |           |
| Impresora | si      | si | si | si | si | si | si | si | no | si | 9           | 1         | 90%         | 10%       |
| 3D        |         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |             |           |             |           |
| Cabezal   | si      | si | si | si | si | si | si | si | si | si | 10          | 0         | 100%        | 0%        |

CONTINÚA 

---

|            |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |          |       |      |
|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----------|-------|------|
| Láser      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |          |       |      |
| Cabezal    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |          |       |      |
| Plotter    | si | si | si | si | si | no | si | si | si | si | 9 | 1        | 90%   | 10%  |
| Cabezal    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |          |       |      |
| Extrusor   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |          |       |      |
| materiales |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |          |       |      |
| de prueba  | si | no | si | si | si | si | si | si | si | si | 9 | 1        | 90%   | 10%  |
|            |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   | Promedio | 92,5% | 7,5% |

---

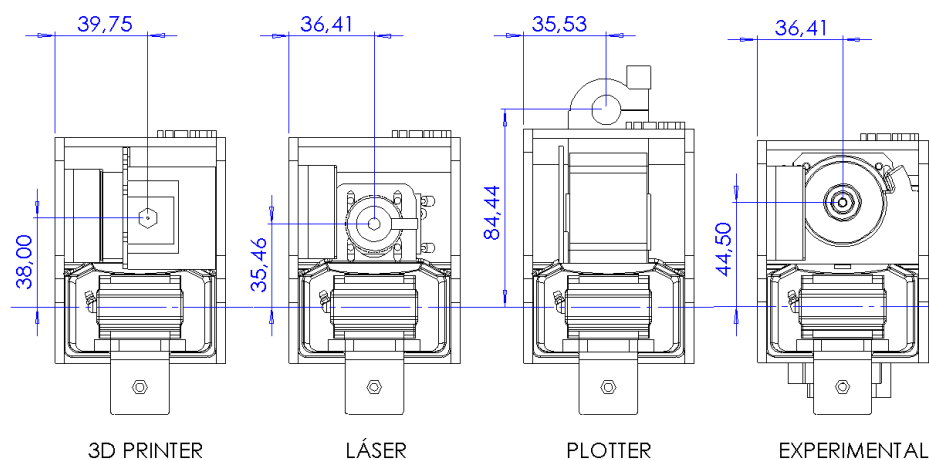
Los resultados muestran que el 92,5% de las pruebas tienen un resultado positivo a la detección de los cabezales, el 7,5% resultan en no detección adecuada del cabezal, se ha realizado un ajuste interno de los pines para eliminar este porcentaje, al final se ha obtenido un 100% de la detección de los cabezales.

### **5.5. Volumen útil de trabajo**

El procedimiento consiste en enviar el cabezal a los límites mínimos y máximos posibles de cada eje y medir las dimensiones que cada uno de los cabezales puede alcanzar.

#### **Volumen Eje XY**

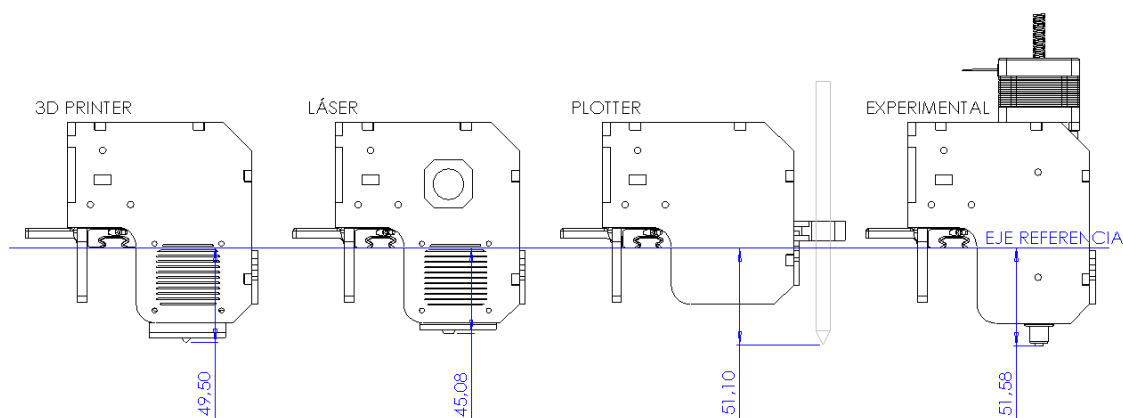
Se determina la ubicación del punto de acción de cada actuador tanto en la coordenada X como la coordenada Y, Figura 177.



**Figura 177.** Ubicación punto de acción cabezales eje XY

### Volumen Eje Z

Se determina la ubicación del punto de acción de cada actuador en la coordenada Z, Figura 178.



**Figura 178.** Ubicación punto de acción cabezal eje Z

**Tabla 40.**

Área útil cabezal de impresora 3D

|       | Punto de acción | Longitud mesa | Longitud real | % útil | Volumen total      |
|-------|-----------------|---------------|---------------|--------|--------------------|
|       | [mm]            | [mm]          | [mm]          | [mm]   | [cm <sup>3</sup> ] |
| Eje X | 39,75           | 600,00        | 520,50        | 87%    |                    |
| Eje Y | 38,00           | 400,00        | 362,00        | 91%    | 34,95              |
| Eje Z | 49,50           | 235,00        | 185,50        | 79%    |                    |

**Tabla 41.**  
*Área útil cabezal láser*

|       | Punto de acción | Longitud mesa | Longitud real | % útil | Volumen total |
|-------|-----------------|---------------|---------------|--------|---------------|
|       | [mm]            | [mm]          | [mm]          | [mm]   | [cm3]         |
| Eje X | 36,41           | 600,00        | 527,18        | 88%    |               |
| Eje Y | 35,46           | 400,00        | 364,54        | 91%    | 36,50         |
| Eje Z | 45,08           | 235,00        | 189,92        | 81%    |               |

**Tabla 42.**  
*Área útil cabezal plotter*

|       | Punto de acción | Longitud mesa | Longitud real | % útil | Volumen total |
|-------|-----------------|---------------|---------------|--------|---------------|
|       | [mm]            | [mm]          | [mm]          | [mm]   | [cm3]         |
| Eje X | 35,53           | 600,00        | 528,94        | 88%    |               |
| Eje Y | 84,44           | 400,00        | 315,56        | 79%    | 30,70         |
| Eje Z | 51,10           | 235,00        | 183,90        | 78%    |               |

**Tabla 43.**  
*Área útil cabezal extrusor experimental*

|       | Punto de acción | Longitud mesa | Longitud real | % útil | Volumen total |
|-------|-----------------|---------------|---------------|--------|---------------|
|       | [mm]            | [mm]          | [mm]          | [mm]   | [cm3]         |
| Eje X | 36,41           | 600,00        | 527,18        | 88%    |               |
| Eje Y | 44,50           | 400,00        | 355,50        | 89%    | 34,38         |
| Eje Z | 51,58           | 235,00        | 183,42        | 78%    |               |

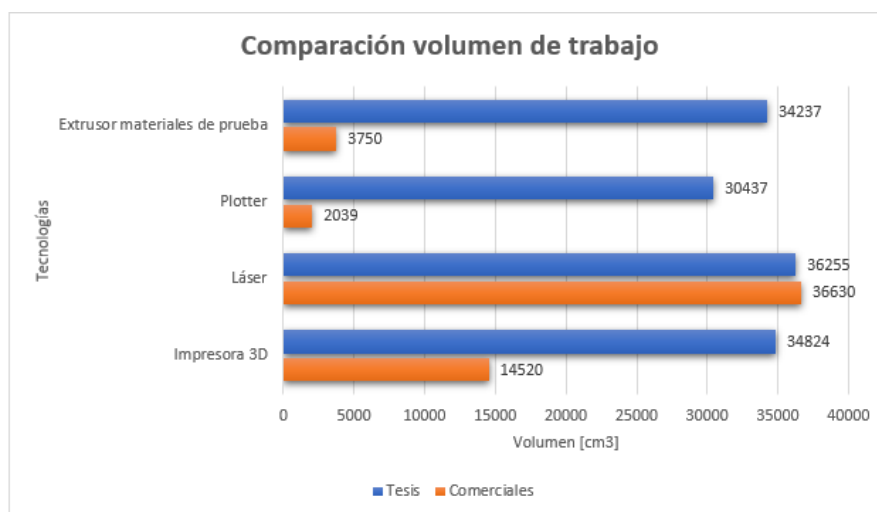
La longitud real en x se obtiene al restar de la longitud de la mesa dos veces el valor del punto de acción esto se debe a que el punto de acción no puede alcanzar los extremos de la mesa. Para el eje Y, Z la longitud real se obtiene restando de la longitud de mesa el valor del punto de acción.

En la Tabla 44, se realiza una comparación de las longitudes útiles de trabajo de máquinas comerciales.

**Tabla 44.**  
*Volumen de trabajo en máquinas comerciales*

|                            | Cabezal Impresora 3D |       | Cabezal Láser |       | Cabezal Plotter |       | Cabezal Extrusor materiales de prueba |       |
|----------------------------|----------------------|-------|---------------|-------|-----------------|-------|---------------------------------------|-------|
|                            | Anet E10             | Tesis | Forza 4       | Tesis | AxiDraw         | Tesis | ProCusini                             | Tesis |
|                            | [mm]                 | [mm]  | [mm]          | [mm]  | [mm]            | [mm]  | [mm]                                  | [mm]  |
| Eje X                      | 220                  | 520   | 550           | 527   | 279             | 528   | 250                                   | 527   |
| Eje Y                      | 220                  | 362   | 370           | 364   | 430             | 315   | 150                                   | 355   |
| Eje Z                      | 300                  | 185   | 180           | 189   | 17              | 183   | 100                                   | 183   |
| Volumen [cm <sup>3</sup> ] | 14520                | 34824 | 36630         | 36255 | 2039            | 30437 | 3750                                  | 34237 |
| Incremento                 |                      | 140%  |               | -1%   |                 | 1392% |                                       | 813%  |

**Nota.** Extraído de (Procusini, 2019), (Anet 3D Printer, 2019), (AxiDraw, 2019), (Forza láser, 2019).

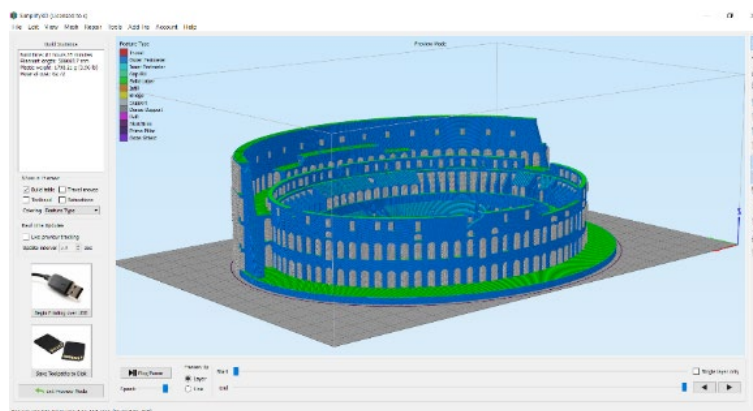


**Figura 179.** Resultados volumen de trabajo

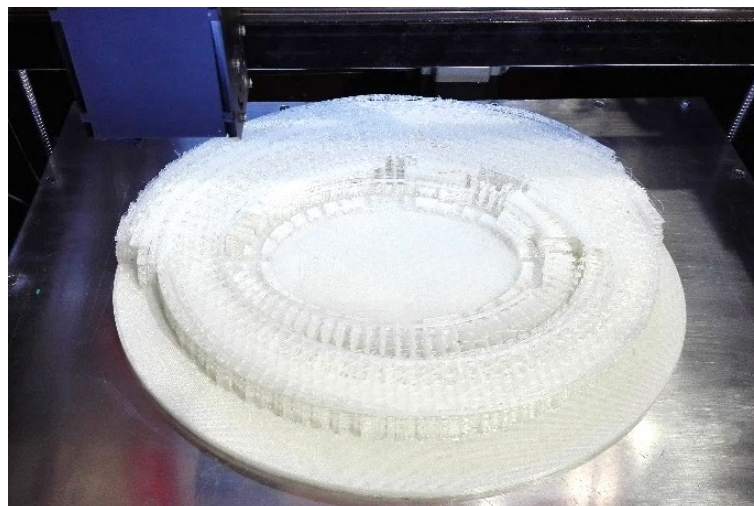
En la Figura 179 se muestra el volumen resultante del proyecto, para el extrusor de materiales de prueba se obtiene un incremento del 813%, para el plotter se obtiene un incremento del 1392%, para el grabador láser se obtiene un decremento del -1%, para la impresora 3D se obtiene un incremento del 140%.

## 5.6. Funcionamiento de los actuadores

### Funcionamiento Impresión 3D

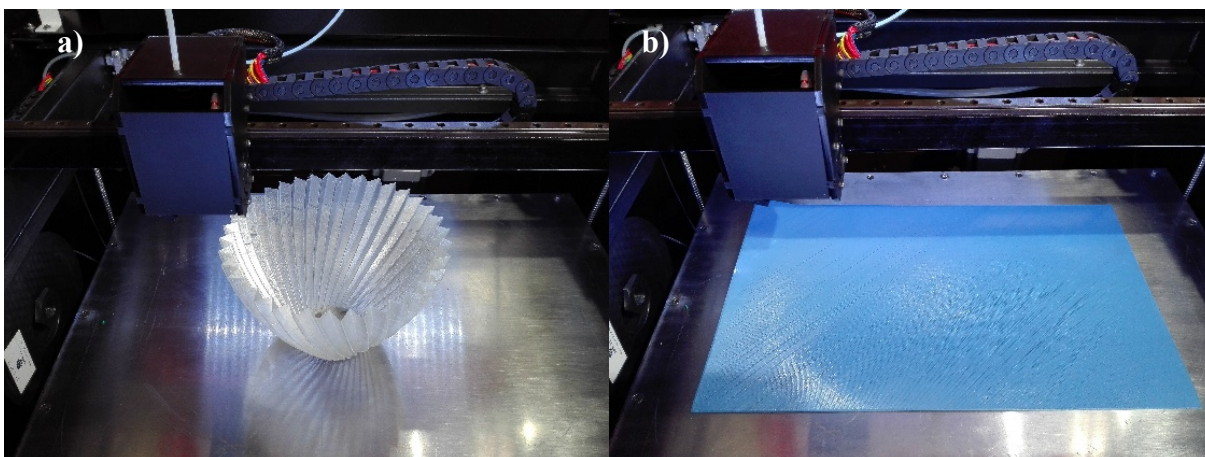


*Figura 180.* Rebanado coliseo romano



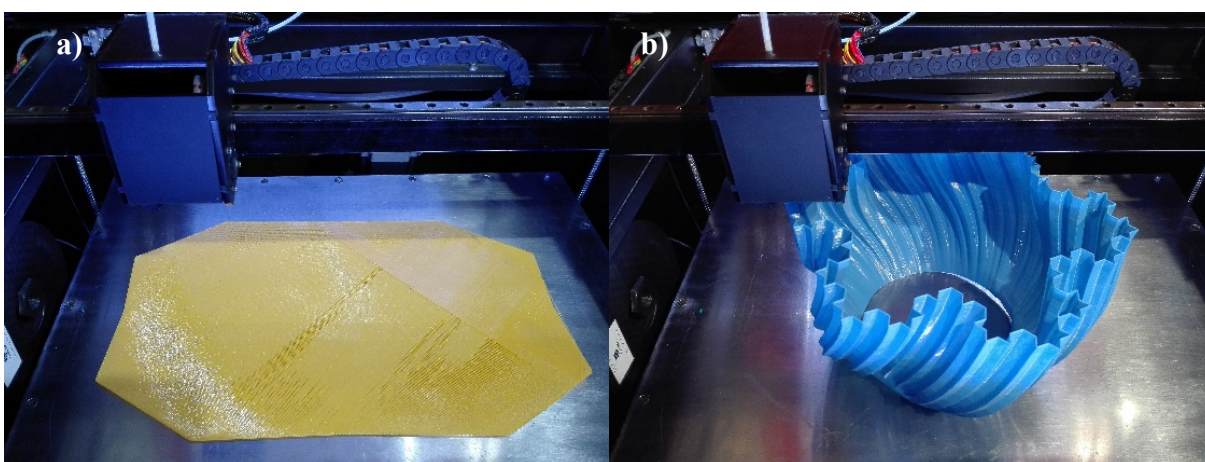
*Figura 181.* Impresión coliseo romano





**Figura 182.** Pruebas impresiones 3D 1

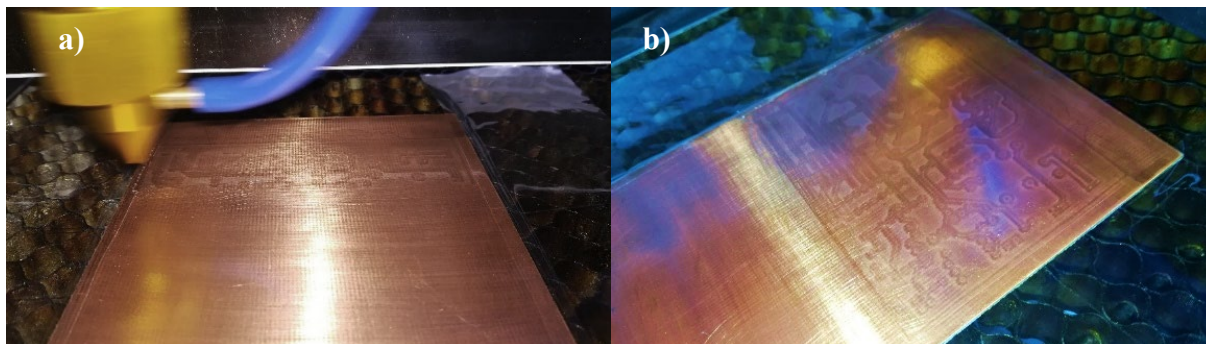
La Figura 182 a) muestra la impresión de un jarrón en material PLA natural, b) muestra una impresión de un servilletero en materia PLC celeste.



**Figura 183.** Pruebas impresiones 3D 2

La Figura 183 a) muestra la impresión de un servilletero octogonal de color naranja, b) muestra la impresión de una maceta con puntas en forma de estrella en material PLA celeste.

## Funcionamiento Grabado láser



**Figura 184.** Fabricación PCB técnica grabado láser

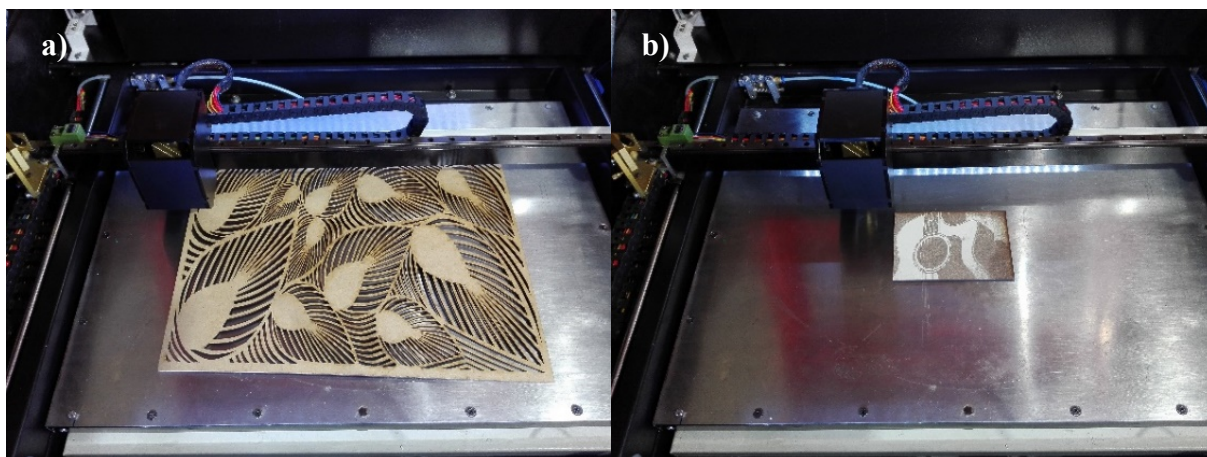
La Figura 184 a) muestra el grabado láser de una placa PCB, b) muestra el grabado terminado de una placa PCB.



**Figura 185.** Placa PCB terminada

La Figura 185 muestra la placa PCB terminado y lista para su uso.

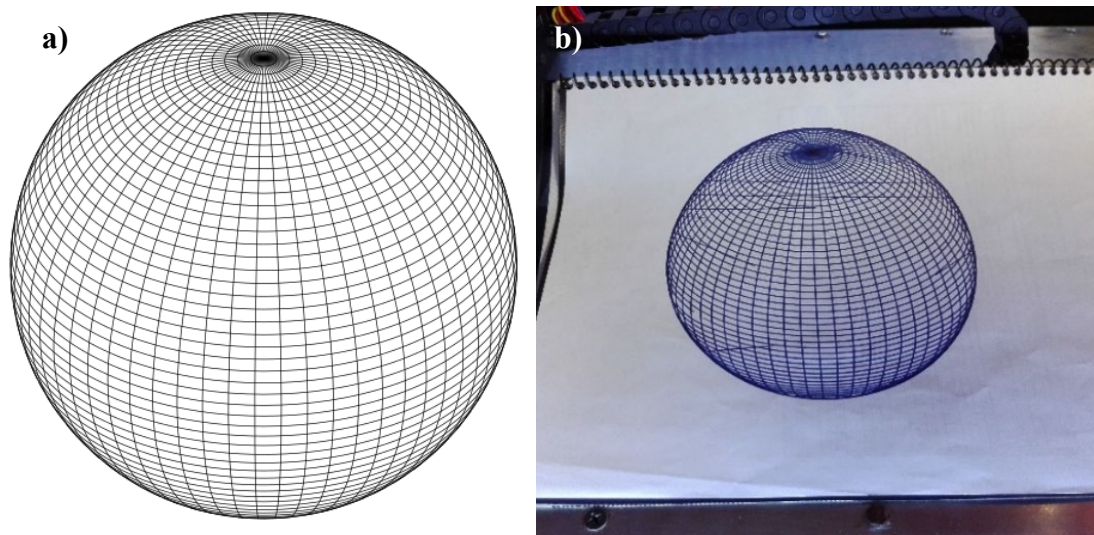




**Figura 186.** Pruebas de corte y grabado láser

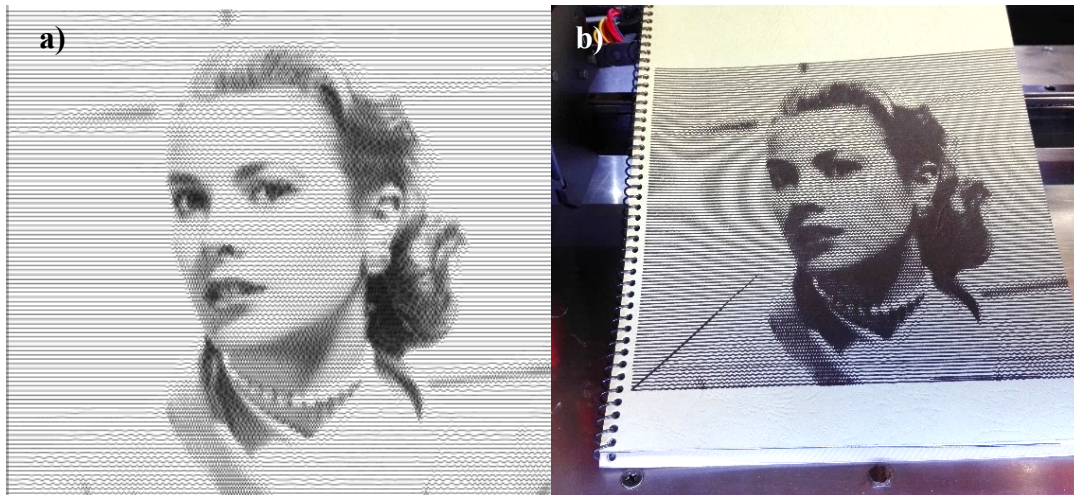
La Figura 186 a) muestra un cuadro realizado con corte láser, b) muestra un mecanizado tipo grabado láser.

### **Funcionamiento Plotter**



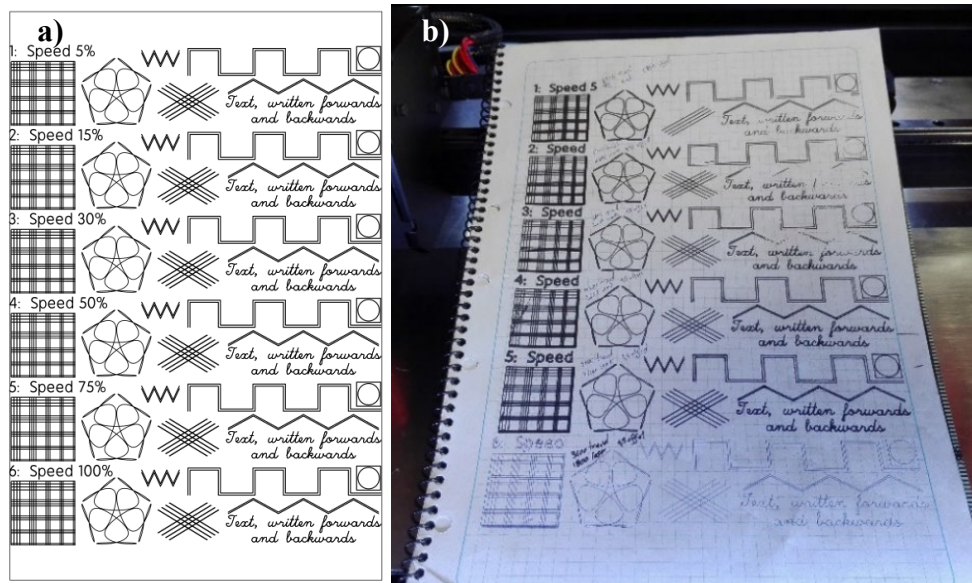
**Figura 187.** Trazo esfera longitudinal y transversal

La Figura 187 a) muestra el diseño de una esfera con líneas longitudinales y transversales, b) muestra el mecanizado de la esfera.



**Figura 188.** Trazo técnica lineal ondulatorias

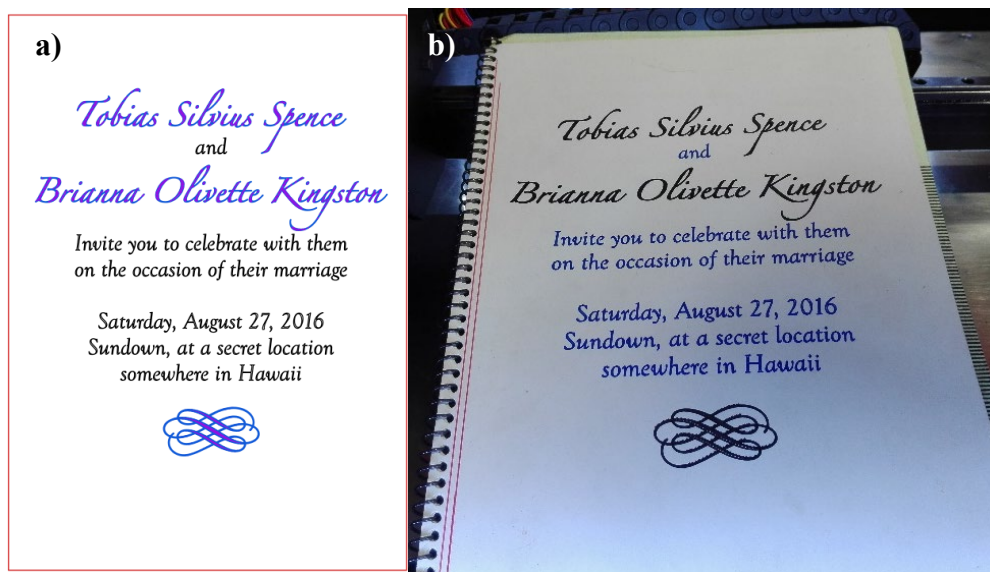
La Figura 188 a) muestra el diseño de un rostro con técnica de líneas ondulatorias, b) muestra el mecanizado del rostro.



**Figura 189.** Trazos para pruebas de velocidades

La Figura 189 a) muestra el diseño de patrones para probar a diferentes velocidades, b) muestra el mecanizado de los patrones a diferentes velocidades.





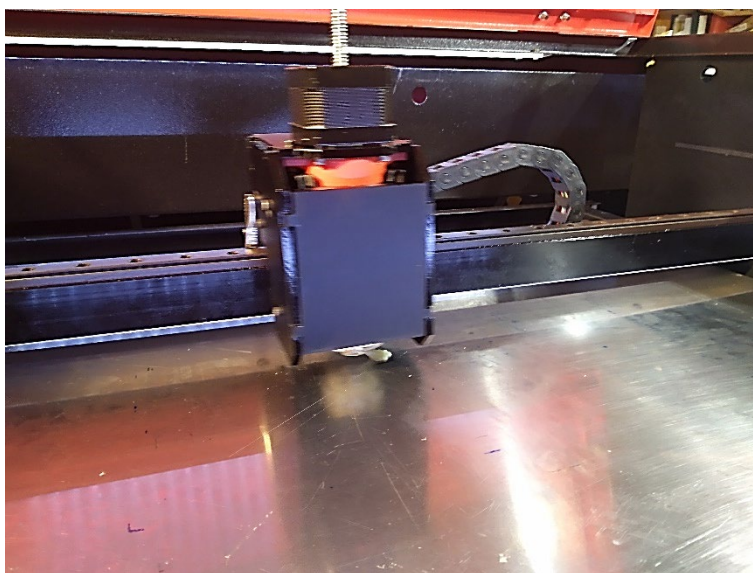
**Figura 190.** Trazo varios colores diploma

La Figura 190 a) muestra el diseño de un diploma con diferentes colores, b) muestra el mecanizado del diploma aplicando varios colores.

### Funcionamiento Extrusor de materiales de prueba



**Figura 191.** Pesaje de chocolate

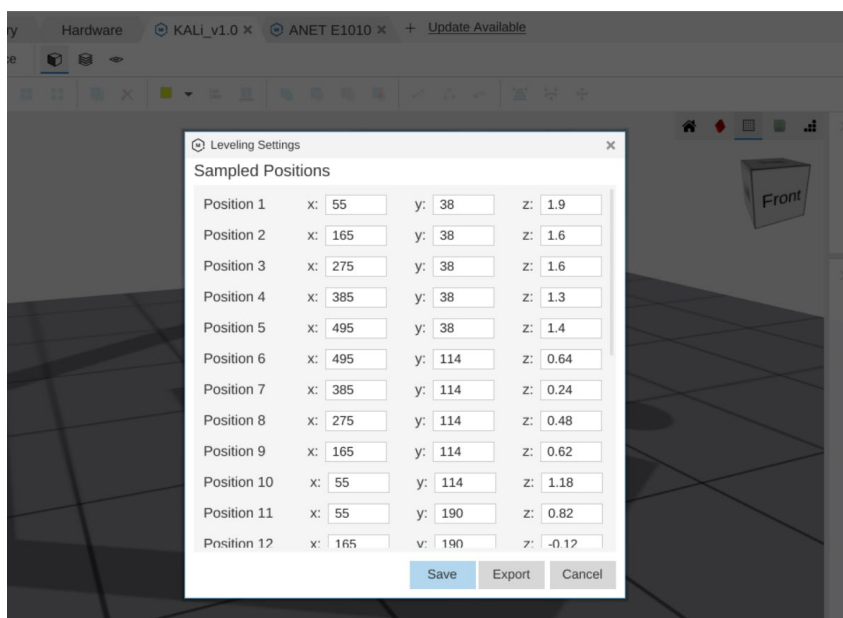


*Figura 192.* Impresión en chocolate



*Figura 193.* Impresión chocolate

Un factor a analizar en las pruebas es la superficie física de trabajo, el software asume que la superficie es completamente plana, sin embargo, en la realidad esto no es tan fácil de conseguir debido a pandeos en el material, mientras más grande es el área mayor son la cantidad de variaciones, la solución implementada en el proyecto es una técnica de levantamiento de mallado que se realiza entre la punta de cualquiera de los cabezales y la mesa de trabajo.



**Figura 194.** Mallado 5x5

La Figura 194 muestra los puntos en la superficie para realizar una compensación del eje Z durante el proceso, se puede configurar para ser realizado antes de cada mecanizado o tener un mallado inicial almacenado aplicable a todos los mecanizados.

### 5.7. Espacio físico ocupado

El procedimiento consiste en determinar al área que ocupa el proyecto con sus accesorios y comparar contra el área total que ocupa las cuatro máquinas comerciales.

**Tabla 45.**

*Área, peso y consumo eléctrico*

|           | Eje X<br>[mm] | Eje Y<br>[mm] | Eje Z<br>[mm] | Peso<br>[kg] | Fuente de alimentación<br>[W] |
|-----------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------------------------|
| Anet E10  | 405           | 440           | 495           | 9,6          | 100                           |
| Forza 4   | 1200          | 730           | 580           | 110          | 700                           |
| AxiDraw   | 550           | 450           | 220           | 2,2          | 45                            |
| ProCusini | 600           | 600           | 650           | 9,0          | 102                           |
| Tesis     | 1000          | 730           | 970           | 113          | 730                           |

Fuente: (Procusini, 2019), (Anet 3D Printer, 2019), (AxiDraw, 2019), (Forza láser, 2019).

**Tabla 46.***Área, peso y consumo eléctrico accesorios*

|                | Eje X | Eje Y | Eje Z | Peso | Fuente de alimentación |
|----------------|-------|-------|-------|------|------------------------|
|                | [mm]  | [mm]  | [mm]  | [kg] | [W]                    |
| Chiller CW3000 | 270   | 470   | 370   | 12   | 108                    |
| Bomba de aire  | 283   | 147   | 173   | 5,8  | 135                    |

**Nota.** Extraído de (Procusini, 2019), (Anet 3D Printer, 2019), (AxiDraw, 2019), (Forza láser, 2019).

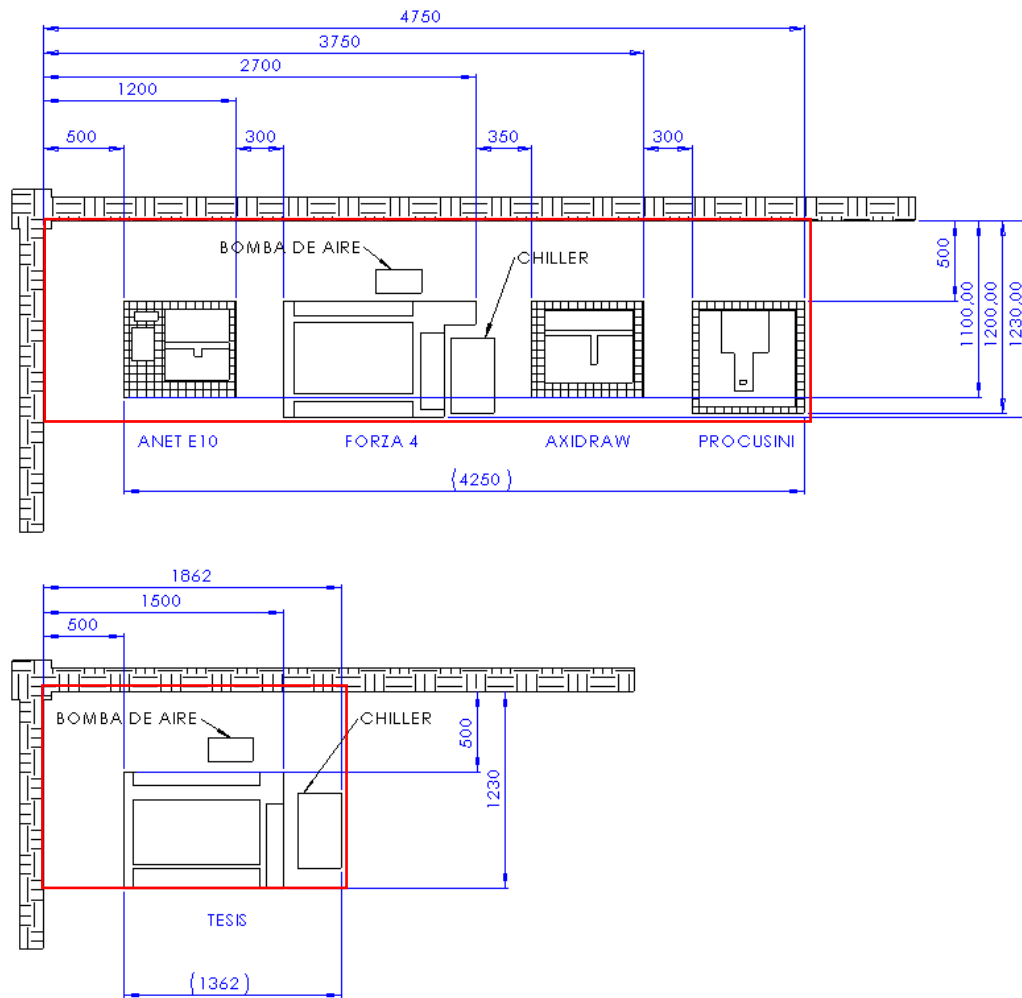
**Tabla 47.***Resumen comparación de áreas*

|                        | Anet E10 | Forza 4 | AxiDraw | ProCusini | Chiller CW3000 | Bomba de aire       | Área total |
|------------------------|----------|---------|---------|-----------|----------------|---------------------|------------|
| Área [m <sup>2</sup> ] | 0,178    | 0,876   | 0,248   | 0,360     | 0,127          | 0,042               | 1,83       |
| Tesis                  |          |         |         |           |                |                     |            |
| Área [m <sup>2</sup> ] | 0,730    | -       | -       | -         | 0,127          | 0,042               | 0,899      |
|                        |          |         |         |           |                | <b>Optimización</b> | <b>51%</b> |

En la *Tabla 47* se resume la optimización del área generada por el proyecto, además de estos valores, físicamente las máquinas tienen que ubicarse como se muestra en la Figura 195 dejando un espacio hacia la pared y una separación entre máquinas, esto genera un segundo análisis del espacio utilizado.

Para este ejercicio se hace una representación gráfica desde una vista superior con las medidas exactas para cada máquina comercial.





**Figura 195.** Análisis de espacio físico

Área cuatro máquinas  $4750 \times 1230 = 5,84m^2$

Área tesis  $1862 \times 1230 = 2,29m^2$

**Reducción de espacio 61%**



## 5.8. Costos de adquisición

**Tabla 50.**  
*Resumen comparación precio*

|                              | Anet E10 | Forza 4 | AxiDraw | ProCusini | Chiller<br>CW3000 | Bomba<br>de aire | Consumo<br>total |
|------------------------------|----------|---------|---------|-----------|-------------------|------------------|------------------|
| Dólares<br>americanos [\$\$] | 650,00   | 5500,00 | 318,75  | 2812,50   | 340,00            | 65,00            | 9686,25          |
|                              | Tesis    |         |         |           |                   |                  |                  |
| Dólares<br>americanos [\$\$] | 6500,00  | -       | -       | -         | 340,00            | 65,00            | 6905,00          |
|                              |          |         |         |           |                   |                  | 29%              |

Fuente: Marketing – FABCAD S.A.

## 5.9. Validación de la Hipótesis

### Hipótesis

¿La implementación de un módulo intercambiador de actuadores, adaptable a máquinas de configuración cartesiana para cumplir funciones de impresora 3D, plotter, grabador láser y extrusor de materiales experimentales, tiene incidencia en el mejoramiento de parámetros de producción en la empresa FABCAD SA-SAIS 3D?

### Variables de la investigación

- **Variables Independientes:** Módulo intercambiador de actuadores
- **Variables Dependientes:** Mejoramiento parámetros de producción en la empresa FABCAD SA-SAIS 3D

Mediante el uso del método estadístico *t-student* se analiza la validación de la hipótesis (Moncada-Jiménez, 2005)

**Tabla 51.**  
*Resumen validación de la hipótesis*

|                               | Máquinas separadas | Mejora | Referencia  |
|-------------------------------|--------------------|--------|---|
| Precisión                     |                    | -0,44% | ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. |
| Repetibilidad                 |                    | -0,4%  | ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. |
| Tiempo de cambio de cabezales |                    | 71,95% | Tabla 38  |
| Detección de cabezal          |                    | 92,5%  | Tabla 39  |
| Volumen de trabajo            | Anet E10           | 140%   | Tabla 44  |
|                               | Forza 4            | -1%    |   |
|                               | AxiDraw            | 1392%  |   |
|                               | ProCusini          | 813%   |   |
| Área física ocupada           |                    | 51%    | Tabla 47  |
| Consumo eléctrico             |                    | 18%    | Tabla 48  |
| Peso                          |                    | 7%     | Tabla 49  |
| Precio                        |                    | 29%    | Tabla 50  |

La *Tabla 52* muestra el mejoramiento de parámetros de producción que se consigue con la implementación del módulo intercambiador de actuadores, lo que permite validar la hipótesis como correcta y favorable.

### 5.10. Estudio de mercados

Consta de “la determinación y cuantificación de la demanda y la oferta, el análisis de los precios y el estudio de la comercialización” (Baca Urbina, 2010), para este fin se recolectaron datos de fuentes primarias y secundarias relacionadas con los objetivos propuestos.

#### Objetivos del estudio de mercados

- Establecer el perfil del público objetivo.
- Determinar el precio de venta adecuado de acuerdo a costos de producción y precios de la competencia.
- Determinar y cuantificar la demanda potencial y a su vez un estimado de producción.
- Determinar estrategias comerciales acordes a las percepciones de consumidores potenciales.

### **Proceso de Investigación de Mercados**

#### **1. Determinación de la fuente de datos**

La presente investigación cuenta con datos de fuentes primarias como secundarias. Se utilizaron de forma primordial los datos primarios obtenidos de la cartera de clientes de la empresa FABCAD S.A debido a que representan a nuestro público objetivo.

A continuación, se detallan las fuentes primarias utilizadas en la presente investigación:

- Aplicación de encuestas a clientes de la empresa FABCAD S.A.

#### **2. Recolección de datos**

Se emplearon datos secundarios levantados por la empresa; los cuales se utilizaron para complementar el perfil de consumidor.

La recolección de datos de fuentes primarias para el estudio se realizó mediante la aplicación de encuestas a los clientes de FABCAD S.A para lo cual se solicitó el permiso para realizar las encuestas a la empresa antes mencionada.

## Muestra

Para determinar el número de encuestas a realizar la fórmula que se debe aplicar por ser una población finita es:

$$n = \frac{Z_a^2 * p * q}{d^2} \text{ (Budynas \& Nisbett, 2012)}$$

### Donde:

$$N = 97$$

Z = 1.96 porcentaje de confiabilidad de 95%

$$p = 0.5$$

$$q = 0.5$$

$$E = 7\%$$

$$n = \frac{(97)^2(0.5)(0.5)}{(0.07)^2}$$

$$n = 65$$

Esto nos indica que debemos realizar 65 encuestas a los clientes de FABCAD S.A

### 3. Formulación de la encuesta

La encuesta se formuló en base a las necesidades de innovación de las herramientas para generación de emprendimientos, misma que se aplicó en las instalaciones de FABCAD S.A en la ciudad de Quito, sector la Floresta, Av. Toledo N23-158 y Madrid edificio MÁQUINAS EC. Con las encuestas se pretende determinar la aceptación y demanda de la máquina KALY. También se

busca encontrar cualidades comunes entre los encuestados para determinar adecuadamente el perfil de consumidor al que iría dirigido la máquina.

La encuesta dirigida a los clientes de FABCAD S.A cuenta con un total de 9 preguntas. Una de las preguntas es abierta para que el encuestado coloque su edad. De las 8 preguntas restantes, 6 son de opción múltiple, 2 son dicotómicas (SI /NO).

#### 4. Resultados de la investigación

El análisis de los datos se lo realiza por medio de frecuencias, para conocer los valores tanto absolutos como porcentuales. A continuación, se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos en la encuesta, Tabla 53.

**Tabla 52.**  
*Resultados encuestas aplicadas.*

| DATOS  | Valores   | %      |
|--|-----------|--------|
| Sexo   | M         | 66,50% |
|  | F         | 33,50% |
| Rango más alto de edad                                   | 28        | 14,4%  |
|  | 29        | 7,4%   |
|  | 40        | 4,8%   |
|  | 31        | 6,4%   |
|  | 48        | 2,7%   |
| Tiene un emprendimiento                                  | 33        | 10,6%  |
|  | SI        | 100,0% |
| Conoce de innovación con tecnología láser e impresión 3D | SI        | 82,0%  |
|  | NO        | 18,0%  |
| Medios de comunicación                                   | Facebook  | 77,7%  |
|  | Google    | 42,6%  |
|  | Instagram | 36,2%  |

CONTINÚA 

|                          |  |       |
|--------------------------|--|-------|
|                          | Prensa/Revistas                                    | 29,3% |
|                          | Funcionalidad de la máquina                        | 81,4% |
| Aspectos muy importantes | Beneficios complementarios                         | 66,0% |
|                          | Presentación                                       | 59,6% |
|                          | \$4.500,00   | 55,9% |
| Precio                   | \$6.000,00   | 36,7% |
|                          | \$7.500,00   | 7,4%  |
|                          | Sí, después  | 53,7% |
| Compraría el producto    | Sí, a corto plazo                                  | 26,1% |
|                          | Probablemente                                      | 16,5% |
|                          | Falta de capital                                   | 46,3% |
|                          | Falta de conocimiento para el manejo de la máquina | 35,6% |
| Razón para no comprar    | Productos sustitutos                               | 17,6% |
|                          | Desconocimiento del mercado                        | 10,5% |

## 5. Perfil de Consumidor

El Perfil de consumidor está basado tanto en la información recopilada en las encuestas como en el análisis de la información proporcionada por FABCAD S.A. Además, para la definición final del perfil de consumidor se realizaron los siguientes análisis que compilan toda la información encontrada:

**Tabla 53.**  
*Perfil sociodemográfico*

| Edad              | 28-48 años                                 |
|-------------------|--|
| Sexo              | M - F                                      |
|                   | Quehaceres Domésticos                      |
| Profesión / Cargo | Ventas                                     |
|                   | Arte (diseño, publicidad, entretenimiento) |
|                   | Mensajeros - Repartidores                  |
| Clase Social      | Media - Baja                               |



Al análisis realizado, se describe el Perfil del Consumidor para la máquina Kaly:

Se caracterizan por ser personas emprendedoras de diversas profesiones, en su mayoría hombres entre 28 y 48 años de edad activos en redes sociales cómo Facebook, Google, Instagram e internet; que se mantienen informados en temas relacionados a innovación con tecnología láser e impresión 3D.

## **6. Estrategia Comercial**

A continuación, se detalla la estrategia comercial definida para el presente proyecto, esta se basa en los diferentes ejes del marketing.

## **7. Precio**

Para el análisis del precio de la máquina Kaly se ha tomado como referencia el precio que el consumidor está dispuesto a pagar, dato que se obtuvo de la encuesta (pregunta 7), donde predomina que los consumidores estarían dispuestos a pagar entre \$4.500,00, seguidos estrechamente por los que están dispuestos a pagar entre \$6.000,00; por esto se considera oportuno que el precio de venta al público no supere los \$7.500,00. Adicionalmente se realiza un análisis de precios basado en los costos de fabricación para poder encontrar un precio adecuado para el mercado.

Para realizar el análisis basado en los costos se debe considerar todos los gastos en los que se incurrió para a la fabricación de la máquina. Estos costos se detallan en las siguientes tablas:

**Tabla 54.**  
*Materiales utilizados proyecto*

| MATERIALES      |                                    |                        |                    |
|-----------------|------------------------------------|------------------------|--------------------|
| <i>Cantidad</i> | <i>Concepto / Descripción</i>      | <i>Precio Unitario</i> | <i>Importe</i>     |
| 1               | estructura                         | \$ 500,00              | \$ 500,00          |
| 4               | husillo de bolas                   | \$ 107,50              | \$ 430,00          |
| 1               | marco eje XY                       | \$ 400,00              | \$ 400,00          |
| 1               | nema 34                            | \$ 92,50               | \$ 92,50           |
| 1               | bandas dentadas                    | \$ 45,00               | \$ 45,00           |
| 1               | mesa panal de abeja                | \$ 100,00              | \$ 100,00          |
| 1               | plancha acero inoxidable           | \$ 100,00              | \$ 100,00          |
| 3               | finales de carrera inductivo       | \$ 3,00                | \$ 9,00            |
| 1               | tarjeta gt2560 REVA+               | \$ 52,50               | \$ 52,50           |
| 1               | driver 2dm556                      | \$ 166,75              | \$ 166,75          |
| 4               | driver a4988                       | \$ 4,60                | \$ 18,40           |
| 1               | lcd con lector de tarjeta sd       | \$ 46,25               | \$ 46,25           |
| 1               | fuentes 12v 30 <sup>a</sup>        | \$ 25,00               | \$ 25,00           |
| 1               | fuentes 36v 30 <sup>a</sup>        | \$ 25,00               | \$ 25,00           |
| 1               | fuentes 50w 100v                   | \$ 260,00              | \$ 260,00          |
| 1               | cabezal láser                      | \$ 10,00               | \$ 10,00           |
| 1               | extrusor impresora 3d              | \$ 28,00               | \$ 28,00           |
| 1               | electroimán plotter                | \$ 40,00               | \$ 40,00           |
| 1               | extrusor tipo jeringuilla          | \$ 60,00               | \$ 60,00           |
| 300             | horas de impresión 3d con material | \$ 2,50                | \$ 750,00          |
| 100             | horas corte láser con material     | \$ 0,60                | \$ 60,00           |
| 1               | materiales eléctrico y mecánico    | \$ 150,00              | \$ 150,00          |
| 2               | tiras led                          | \$ 5,00                | \$ 10,00           |
| <b>TOTAL</b>    |                                    |                        | <b>\$ 3.378,40</b> |

**Tabla 55.**  
*Gastos Extras*

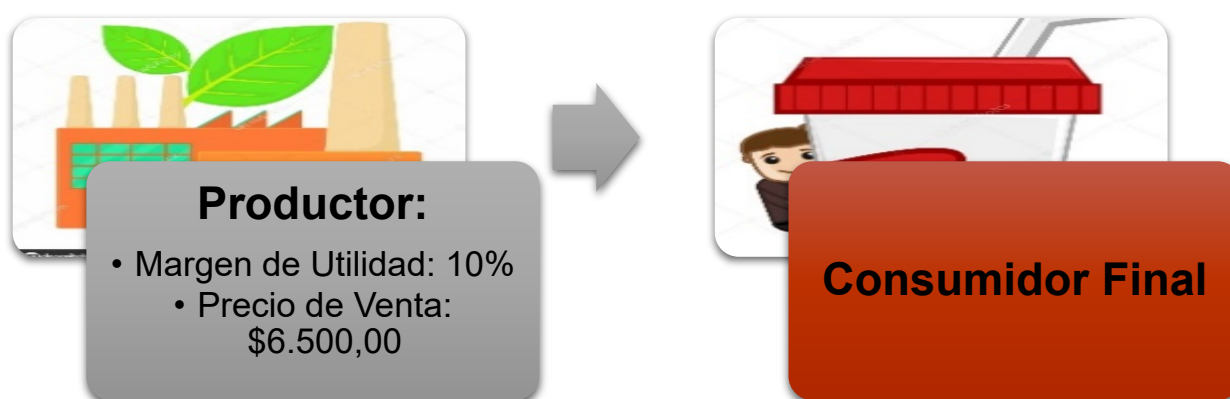
| GASTOS          |                               |                        |                   |
|-----------------|-------------------------------|------------------------|-------------------|
| <i>Cantidad</i> | <i>Concepto / Descripción</i> | <i>Precio Unitario</i> | <i>Importe</i>    |
| 12              | Internet                      | 21                     | \$ 252,00         |
| 1               | Herramientas mecánicas        | 1000                   | \$1.000,00        |
| 12              | Honorarios y alimentación     | 250                    | \$3.000,00        |
| 1               | Ordenador                     | 1200                   | \$1.200,00        |
| <b>TOTAL</b>    |                               |                        | <b>\$5.452,00</b> |

**Tabla 56.**  
*Precio Venta Kaly*

| PRECIO DE VENTA        |                    |
|------------------------|--------------------|
| Total, materiales      | \$ 3.378,40        |
| Total, gastos          | \$ 1.769,60        |
| 10% margen de utilidad | \$ 572,00          |
| IVA                    | \$ 780,00          |
| <b>P.V.P</b>           | <b>\$ 6.500,00</b> |

## 8. Distribución

La máquina Kaly será comercializada en las instalaciones de FABCAD S.A directamente al consumidor Final, dando como resultado final la siguiente cadena de distribución.



**Figura 196.** Cadena de distribución

## CONCLUSIONES

- Se lleva a la práctica los conceptos de una máquina CNC, se incorpora efectivamente las técnicas de manufactura manteniendo en común para los cuatro procesos la configuración cartesiana de la máquina base.
- Mediante un análisis de ingeniería concurrente y desarrollo de productos se analiza y determina la mejor opción para el diseño del intercambiador de actuadores, pensado en el usuario final para la simplificación del proceso que es un intercambiador con base universal que acepta cuatro cabezales que quedan funcionales mediante un acople rápido.
- El mecanismo de acople rápido consta de dos partes, la primera una base universal que se une al patín montado en el eje X, este permanece fijo en espera de un segundo acople ubicado en el cabezal que se adapta a presión con un giro en sentido antihorario.
- Las interfaces gráficas implementadas al proyecto permiten tomar el control de la máquina desde un ordenador y desde una pantalla LCD que se ubica en la parte frontal de la estructura en tiempo real, sobre estas se muestran datos y valores de interés para comprender el estado del proceso como temperaturas, funciones activadas, posición de los ejes, velocidades de trabajo entre otras, además dispone de alertas para la detección a la conexión de cabezales.
- La comunicación entre la máquina herramienta y una aplicación Android permite el monitoreo de inicio a fin del proceso, esta técnica permite recibir alertas directamente a varios dispositivos con información periódica y concisa por lo tanto es necesario disponer de internet en el ordenador que trabaja como servidor asimismo en el dispositivo al que se desee que llegue la información.

- El cabezal de impresora 3D es tipo bowden que aligera el peso sobre el riel del eje X, el extrusor se instala en la parte posterior de la máquina y recibe el material tipo filamento mediante una manguera de teflón. El carrete con el filamento se encuentra instalado dentro de la estructura al costado izquierdo.
- El cabezal láser incorpora un tubo de 50W por CO2 que es capaz de cortar materiales no metálicos hasta una profundidad de 6mm. El tubo esta instalado en la parte posterior de la máquina y recibe las señales de una fuente ubicada la parte derecha de la estructura. El transporte del rayo láser se realiza mediante refracción con espejos hasta la punta del cabezal.
- El cabezal plotter cuenta con un mecanismo de electro imán que desciende un promedio de 10mm al ser excitado con un voltaje de 5V para realizar su trabajo, en el frente del cabezal se encuentra un mecanismo de sujeción que acepta bolígrafos, lápices entre otros de un diámetro máximo de 15mm.
- El cabezal extrusor de materiales de prueba incorpora una jeringa de 50ml, esta ingresa por la parte inferior y se enrosca para quedar funcional, en la parte superior del cabezal se ubica un motor que realiza el empuje para la extrusión. El cabezal cuenta con una resistencia y un termistor para el control de temperatura del proceso.
- El control de todas las tecnologías se hace desde una sola tarjeta de control que habilita las funciones dependiendo del cabezal colocado, se implementa la detección de altura o z mínimo al cerrar circuito entre la punta de cada uno de los cabezales y la mesa metálica.
- Las pruebas realizadas en el capítulo cuatro muestran la optimización conseguida con respecto a máquinas comerciales, además el proyecto es completamente replicable y escalable, esto

significa que se puede adaptar a otras máquinas de configuración cartesiana y puede aceptar más tecnologías basadas en CNC.

- La máquina es utilizada en su totalidad a través de software de distribución libre desde su etapa de diseño hasta la generación del código G, esto implica ahorro en licencias al llevar los programas a múltiples ordenadores.
- Los componentes del proyecto cumplen cumplan los márgenes de diseño y practican con normas de reciclaje, además están estandarizados lo que facilita conseguir repuestos.
- No se descarta a futuro construir modelos mediante técnicas como corte en chapa metálica, inyección de plástico, mecanizado de aluminio entre otras en busca de mejores propiedades físico mecánicas que las utilizadas al momento.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda encender la bomba de aire y el extractor al momento de utilizar el corte láser, esto evita que el material entre en ignición por el calor generado en el proceso.
- Comprobar el correcto funcionamiento del Chiller que cumple el papel de enfriar el tubo de CO<sub>2</sub> al recircular agua a través de él, esto evita mermar la vida del tubo.
- Se recomienda limpiar las puntas de los actuadores previo envío a home, esto garantiza la efectividad de la detección de altura al cerrar circuito entre el cabezal y la mesa.
- Se recomienda quitar la energía eléctrica previo el cambio de cabezal para evitar cortos en los pines al desacoplar el conector universal, esto se puede realizar mediante el paro de emergencia ubicado en la parte superior de la estructura.
- Se recomienda manejar con precaución la tecnología láser, esta utiliza una fuente de alimentación que eleva el voltaje a 15000V para el uso correcto del tubo de CO<sub>2</sub>, además el rayo láser es invisible al ojo humano por lo que puede generar quemaduras al introducir algún material en su línea de acción.
- Se recomienda utilizar materiales viscosos como chocolate, pure, pastas en el extrusor de materiales de prueba para evitar derrames sobre la mesa, adicional se puede utilizar ventiladores de capa para solidificar de mejor manera los materiales sobre la mesa.
- Se recomienda realizar un mantenimiento periódico a los elementos móviles, lubricar guías y rodamientos ayudan a un adecuado desempeño del movimiento.
- Los motores permiten elevar las velocidades considerablemente sin embargo se recomienda no elevar las velocidades de mecanizado por encima de 60mm/seg para evitar vibraciones en especial en curvas cerradas presentes en los diseños.

- Se recomienda en el uso del cabezal de plotter no utilizar materiales sin sujeción a la mesa, la fricción del bolígrafo puede mover el material y generar desplazamientos no deseados, para este fin se puede utilizar imanes.



## FUTUROS TRABAJOS

Se plantea como futuras mejoras al proyecto los siguientes temas:

- Implementar una cámara web sobre el área de trabajo, esto favorece a tener un mejor control de área que se puede utilizar, al enviar imágenes e incluso video inalámbricamente.
- Mejorar la estética de los cabezales con carcasas manufacturadas en plástico ABS por soplado de molde.
- Utilizar una tarjeta de control que incorpore la tecnología wifi, esta puede conectarse directamente a la red dando acceso en tiempo real la máquina de forma inalámbrica e incluso a través de internet desde lugares externos a la locación de la máquina.
- Comprobar la factibilidad del uso de nuevas tecnologías como impresión UV, corte por hilo y ruteado de materiales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3dprinterchat. (2019). DIRECT EXTRUSION. Recuperado 22 de mayo de 2019, de 3D Printer Chat website: <https://3dprinterchat.com/3d-printer-extruder-ideal-resolution/direct-extrusion/>
- Adam Jorquera Ortega. (2017). *Fabricación digital: Introducción al modelado e impresión 3D*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- Alibaba. (2019). Máquinas Cortadora De Grabado Láser Co2 60x40 Cm 6040 50 W 60 W 80 W - Buy Máquinas Láser Co2... Máquinas Láser Co2 60x40 China Grabado Láser Máquina Product on Alibaba.com. Recuperado 11 de junio de 2019, de Wwww.alibaba.com website: [//www.alibaba.com/product-detail/maquinas-cortadora-de-grabado-laser-co2\\_62091910004.html](http://www.alibaba.com/product-detail/maquinas-cortadora-de-grabado-laser-co2_62091910004.html)
- Anet 3D Printer. (2019, 07). 3D printer E10”3d printer Manufactor”Shenzhen Anet Technology Co.,Ltd. Recuperado 21 de julio de 2019, de [http://www.anet3d.com/ProductsStd\\_168.html](http://www.anet3d.com/ProductsStd_168.html)
- AxiDraw. (2019, 07). AxiDraw V3 / A3. Recuperado 21 de julio de 2019, de <https://shop.evilmadscientist.com/890>
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (9a. Ed.)*. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=knWJDAAAQBAJ>
- Campana, G., & Kraemer, D. (2017). *Aplicaciones industriales de la tecnología láser*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30193.07526>

Carlo Ruggiero. (2014). Marble EcoDesign. Recuperado 27 de mayo de 2019, de <http://www.marbleecodesign.com/#!>

China K&M Outlet Store. (2019). Doble ejes herramienta de dibujo X Y etapa de cama flex cable cuadrado carril guía de CO2 de sellos máquina de grabado láser-in Partes de máquinas de carpintería. Recuperado 15 de junio de 2019, de Aliexpress.com website: [https://es.aliexpress.com/item/33004774398.html?src=ibdm\\_d03p0558e02r02&sk=AYNZbMb&aff\\_platform=aaf&aff\\_trace\\_key=9dab8c154b9c4a16870034721907b685-1560638623448-03658-AYNZbMb&af=&cv=&cn=&dp=](https://es.aliexpress.com/item/33004774398.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=AYNZbMb&aff_platform=aaf&aff_trace_key=9dab8c154b9c4a16870034721907b685-1560638623448-03658-AYNZbMb&af=&cv=&cn=&dp=)

Chuang Ye Factory Store. (2019). SFU/RM 1204 husillo de bolas 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600mm + 1204 Ballnut + BK10 /soporte de extremo BF10 para piezas cnc. Recuperado 26 de junio de 2019, de Aliexpress.com website: [https://es.aliexpress.com/item/32974312046.html?src=ibdm\\_d03p0558e02r02&sk=AYNZbMb&aff\\_platform=aaf&aff\\_trace\\_key=f8cb25fce70d47938b6a9089ca9d0079-1561567716920-07560-AYNZbMb&af=&cv=&cn=&dp=](https://es.aliexpress.com/item/32974312046.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=AYNZbMb&aff_platform=aaf&aff_trace_key=f8cb25fce70d47938b6a9089ca9d0079-1561567716920-07560-AYNZbMb&af=&cv=&cn=&dp=)

Cieszal. (2017, abril 9). Tema 2.3.-Componentes mecanicos de una maquina CNC. Recuperado 30 de abril de 2019, de CNC DIY website: <https://cncdiyblog.wordpress.com/2017/04/09/primera-entrada-de-blog/>

CLPU. (2013). ¿Qué es un láser? | CLPU. Recuperado 24 de mayo de 2019, de Centro de láseres pulsados website: <https://www.clpu.es/divulgacion/bits/que-es-un-laser>

CNC Router Accessories Store. (2019). Modelo 86BHH114 500A 35 Motor paso a paso de 2 fases 68kgf. Cm (6.8N.m) 5A eje 14mm \* 35mm Nema34 híbrido motor paso a paso-in Motores

Paso a Paso. Recuperado 26 de junio de 2019, de Aliexpress.com website:  
[https://es.aliexpress.com/item/32794182353.html?src=ibdm\\_d03p0558e02r02&sk=&aff\\_platform=&aff\\_trace\\_key=&af=&cv=&cn=&dp=](https://es.aliexpress.com/item/32794182353.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platform=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp=)

CUSTOMPARTNET. (2019a). Fused Deposition Modeling (FDM). Recuperado 30 de mayo de 2019, de <https://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>

CUSTOMPARTNET. (2019b). Rapid Prototyping Selective Laser Sintering (SLS). Recuperado 30 de mayo de 2019, de <https://www.custompartnet.com/wu/selective-laser-sintering>

CUSTOMPARTNET. (2019c). Rapid Prototyping Stereolithography (SLA). Recuperado 30 de mayo de 2019, de <https://www.custompartnet.com/wu/stereolithography>

Dana Goldberg. (2018, 04). Historia de la impresión 3D: es más antigua de lo que piensas. Recuperado 22 de mayo de 2019, de <https://www.autodesk.com/redshift/history-of-3d-printing/>

David L.P. (2013, 09). HISTORIA DE LA FRESADORA CNC Y COMPLEMENTOS. Recuperado 29 de abril de 2019, de <https://davisls-web-com.webnode.mx/news/historia-de-la-fresadora-cnc-y-complementos1/>

De Máquinas y Herramientas. (2015, 12). Introducción a la tecnología CNC. Recuperado 30 de abril de 2019, de De Máquinas y Herramientas website:  
<https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/introduccion-a-la-tecnologia-cnc>

Dédalo - Electrónica CNC. (2010, 02). Motores CNC | El taller de Dédalo. Recuperado 6 de mayo de 2019, de <http://tallerdedalo.es/web/MundoCNC/Motores>

DEIMPRESORAS3D. (2019). Guías lineales de impresoras 3D. Recuperado 15 de junio de 2019, de Deimpresoras3d website: <http://deimpresoras3d.com/guias-lineales-de-impresoras-3d/>

DISMETAL. (2019). Dismetal PLANCHAS DE ACERO INOXIDABLE. Recuperado 26 de junio de 2019, de <https://dismetal.ec/productos/planchas/acero-inoxidable>

Eastern Laser. (2017). Máquina de corte por láser de cabezal doble ETD-1610 LÁSER DEL ESTE. Recuperado 8 de junio de 2019, de <http://www.etlaser.com/product/ETD-1610-model-double-heae-laser-cutting-machine.html>

EcuRed. (2019). Microcontroladorâ€”EcuRed. Recuperado 6 de mayo de 2019, de <https://www.ecured.cu/Microcontrolador>

EINSTRONIC. (2017). *Stepper motor Nema 17 catalogue*. Recuperado de <https://einstronic.com/wp-content/uploads/2017/06/NEMA17-Stepper-Motor-Catalogue.pdf>

EuropeModels. (2019). Motor pas cu pas pentru axele XY (láser 40, 50 W)â€”EuropeModels.EU. Recuperado 15 de junio de 2019, de [http://www.europemodels.eu/p\\_8057\\_Motor+pas+cu+pas+pentru+axele+XY+\(laser+40,+50+W\)/](http://www.europemodels.eu/p_8057_Motor+pas+cu+pas+pentru+axele+XY+(laser+40,+50+W)/)

Felipe Díaz del Castillo Rodríguez. (2008, 05). *PROGRAMACIÓN AUTOMÁTICA DE MAQUINAS CNC*. Recuperado de [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m4/master\\_cam.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m4/master_cam.pdf)

Forza láser, R. (2019, 07). Máquina Láser Forza 4. Recuperado 21 de julio de 2019, de Maquinas

Laser Ecuador website: <http://www.maquinasec.com/producto/maquina-laser-forza4/>

Fraden, J. (2010). *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications, Fourth Edition*. 681.

Fundación EOI. (2015, 11). Las tecnologías IoT dentro de la industria conectada 4.0 | EOI.

Recuperado 27 de mayo de 2019, de <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/21125/las-tecnologias-iot-dentro-de-la-industria-conectada-40>

Geeetech. (2018, 06). GT2560â”Wiki Geeetech. Recuperado 27 de junio de 2019, de

<http://www.geeetech.com/wiki/index.php/GT2560>

GemsMotor. (2015a). NEMA 17 Stepper Motor Manufacturer. Recuperado 25 de junio de 2019,

de NEMA Stepper Motors, PSC Motors| GEMS Motor website:

<http://gemsmotor.com/nema-17-stepper-motor>

GemsMotor. (2015b). NEMA 23 Stepper Motor Manufacturer. Recuperado 26 de junio de 2019,

de NEMA Stepper Motors, PSC Motors| GEMS Motor website:

<http://gemsmotor.com/nema-23-stepper-motor>

GemsMotor. (2015c). NEMA 34 Stepper Motor Manufacturer. Recuperado 26 de junio de 2019,

de NEMA Stepper Motors, PSC Motors| GEMS Motor website:

<http://gemsmotor.com/nema-34-stepper-motor>

Hiwin. (2017). Guías linealesâ”Huntley, Illinois- Corporación HIWIN. Recuperado 1 de mayo

de 2019, de <https://www.hiwin.com/linear-guideways.html>

Hood-Daniel, P., & Kelly, J. F. (2009). *Build Your Own CNC Machine*.

<https://doi.org/10.1007/978-1-4302-2490-7>

IndustryWeek. (2018). Take 5: Q&A with Chuck Hull, Co-Founder, 3D Systems |

IndustryWeek. Recuperado 22 de mayo de 2019, de

<https://www.industryweek.com/technology/take-5-qa-chuck-hull-co-founder-3d-systems>

Ingemecánica. (2019). Tornillos de potencia. Recuperado 6 de mayo de 2019, de

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn131.html>

INGIA. (2019). Barras soportadas. Recuperado 1 de mayo de 2019, de [https://ingia.com.ar/barras-](https://ingia.com.ar/barras-soportadoras)

[soportadoras](https://ingia.com.ar/barras-soportadoras)

jbrazio. (2019, mayo 5). What is Marlin? Recuperado 16 de mayo de 2019, de Marlin Firmware

website: <http://marlinfw.org/docs/basics/introduction.html>

kliment. (2019). GitHubâ€”Kliment / Sprinter: Firmware para impresoras RepRap y dispositivos

similares. Recuperado 16 de mayo de 2019, de <https://github.com/kliment/Sprinter>

LG CNS. (2015, 04). Entrue World 2015, Kevin Ashton's Keynote Speech | LG CNS Blog |

Creative & Smart. Recuperado 27 de mayo de 2019, de

[http://www.lgcnsblog.com/features/entrue-world-2015-kevin-ashtons-keynote-](http://www.lgcnsblog.com/features/entrue-world-2015-kevin-ashtons-keynote-speech/#sthash.nYpw13MR.dpbs)

[speech/#sthash.nYpw13MR.dpbs](http://www.lgcnsblog.com/features/entrue-world-2015-kevin-ashtons-keynote-speech/#sthash.nYpw13MR.dpbs)

Lineartec. (2019). Soluciones para control de movimiento | Lineartec. Recuperado 14 de junio de

2019, de <http://www.lineartec.com.ar/catalogos/7RodamientosLinealesBosch.pdf>

- Lucía C. (2016a, 09). Azúcar impresa en 3D que crea magníficas obras de arteâ€”3Dnatives. Recuperado 27 de mayo de 2019, de <https://www.3dnatives.com/es/azucar-impresa-en-3d-16092016/>
- Lucía C. (2016b, 05). Barilla crea una impresora 3D para pastaâ€”3Dnatives. Recuperado 27 de mayo de 2019, de <https://www.3dnatives.com/es/barilla-impresora-3d-pasta-11052016/>
- Lucía C. (2016c, 06). Top 12 con los materiales de impresión 3D más sorprendentesâ€”3Dnatives. Recuperado 27 de mayo de 2019, de <https://www.3dnatives.com/es/materiales-impresion-3d-sorprendentes-210320172/>
- Lucía C. (2017, 04). Cómo imprimir chocolate en 3D desde casaâ€”3Dnatives. Recuperado 26 de mayo de 2019, de <https://www.3dnatives.com/es/como-imprimir-chocolate-en-3d-desde-casa/>
- Luminar Products. (2014). TRiBOT 3D Print, CNC Mill, Auto-Mold machine in one machine. Recuperado 29 de abril de 2019, de Kickstarter website: <https://www.kickstarter.com/projects/889592677/tribot-3d-print-cnc-mill-auto-mold-machine-in-one>
- MatterHackers. (2019). MatterControl T7X - Standalone 3D Printer Controller (Refurbished). Recuperado 10 de julio de 2019, de MatterHackers website: <https://www.matterhackers.com/store/printer-accessories/mattercontrol-touch>
- Max von Übel. (2019, febrero 8). Los 30 mejores programas CAD 3D/2D gratis de 2019. Recuperado 17 de mayo de 2019, de All3DP website: <https://all3dp.com/es/1/mejores-programas-cad-gratuito-programas-diseno-cad-2d-3d/>



MCNC. (2014, 07). Historia y evolución del CNC | Industrias y Empresas. Recuperado 29 de abril de 2019, de <http://www.industriasyempresas.com.ar/node/2088>

Mecanizados Sinc. (2015, junio 23). Qué es el CNC - control numérico por computadora. Recuperado 30 de abril de 2019, de Mecanizados Sinc website: <https://www.mecanizadossinc.com/cnc-control-numerico-por-computadora/>

Moncada-Jiménez, J. (2005). *Estadística: Para las ciencias del movimiento humano*.

MUYI. (2019). MUYI 5&nbsp;Kit 2&nbsp;Pin Way 20-16&nbsp;AWG Arn&eacute;s de cables con conectores impermeables IP67&nbsp;AMP, impermeable PA66&nbsp;, cubierta de nylon, enchufes terminales de 1,5&nbsp;mm AC/DC, enchufe conector negro: Gateway. Recuperado 30 de junio de 2019, de [https://www.amazon.com/MUYI-Waterproof-Connector-1-5mm-Terminal/dp/B01A6LTK44/ref=sr\\_1\\_3?\\_\\_mk\\_es\\_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=plug+connector&qid=1561921957&s=gateway&sr=8-3](https://www.amazon.com/MUYI-Waterproof-Connector-1-5mm-Terminal/dp/B01A6LTK44/ref=sr_1_3?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=plug+connector&qid=1561921957&s=gateway&sr=8-3)

NorthTHK. (2019). THK SRS12M - Guías de movimiento linealâ”Productosâ”Rodamientos lineales THK, rodamientos THK, rodamientos guía THK, husillo de bolas THK,. Recuperado 16 de junio de 2019, de <http://www.norththk.com/THK-srs12m--1442>

OpenBuilds. (2016, 04). OpenBuilds Mexico | Correa dentada GT2 (2GT 2mm). Recuperado 16 de junio de 2019, de <https://openbuilds.com.mx/producto/correa-dentada-gt2-2gt/>

patgadget. (2017, 05). Gnea/grbl. Recuperado 16 de mayo de 2019, de GitHub website: <https://github.com/gnea/grbl>

- Plotter HP. (2017, 01). Tipos de Plotter según su tecnología. Blog Plotter HP. Recuperado 25 de mayo de 2019, de <https://plotter-hp.com/tipos-plotter-segun-tecnologia/>
- Procusini. (2019, 07). Procusini. Recuperado 21 de julio de 2019, de Procusini website: <https://www.procusini.com/downloads/?lang=es>
- Repetier. (2019). Repetier-Host Documentation. Recuperado 10 de julio de 2019, de Repetier Software website: <https://www.repetier.com/documentation/repetier-host/>
- RepRap. (2018, 12). RAMPAS 1.6. RepRap. Recuperado 27 de junio de 2019, de [https://reprap.org/wiki/RAMPS\\_1.6](https://reprap.org/wiki/RAMPS_1.6)
- Ricardo Horcajada. (2015). USO DE MAQUINARIA CNC PARA DIBUJO. Recuperado 29 de abril de 2019, de El uso del software libre en la teoría y práctica artística website: [http://softwarelibrebellasartes.blogspot.com/p/uso-de-maquinaria-cnc-para-dibujo\\_8.html](http://softwarelibrebellasartes.blogspot.com/p/uso-de-maquinaria-cnc-para-dibujo_8.html)
- Rodalsa. (2019). Ejemplo de cálculo y verificación de las cargas |. Recuperado 15 de junio de 2019, de [http://www.rodalsa.net/?page\\_id=1924](http://www.rodalsa.net/?page_id=1924), [http://www.rodalsa.net/?page\\_id=1924](http://www.rodalsa.net/?page_id=1924)
- Roman Ramirez Israel. (2017, 08). Impresión 3D Impresión 3D. Recuperado 29 de abril de 2019, de [https://www.academia.edu/35148173/Impresi%C3%B3n\\_3D\\_Impresi%C3%B3n\\_3D](https://www.academia.edu/35148173/Impresi%C3%B3n_3D_Impresi%C3%B3n_3D)
- SARCAR, M. M. M., RAO, K. M., & NARAYAN, K. L. (2008). *Computer Aided Design and Manufacturing*. PHI Learning Pvt. Ltd.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2018, 05). Consejo Nacional de Planificación evaluó avances del Plan Nacional de Desarrollo. Recuperado 29 de abril de 2019, de

<http://www.planificacion.gob.ec/consejo-nacional-de-planificacion-evaluacion-avances-del-plan-nacional-de-desarrollo/>

SIDECO. (2015, 10). Cómo funciona una máquina de corte láser. Recuperado 29 de abril de 2019, de <https://sideco.com.mx/como-funciona-una-maquina-de-corte-laser2/>

Sites Google. (2019). LA PARTE INTERNA DEL COMPUTADOR. Recuperado 30 de junio de 2019, de <https://sites.google.com/site/laparteinternadelcomputador/>

Son Robots. (2014, junio 23). Motores, servomotores y motores paso a paso. Recuperado 12 de junio de 2019, de SonRobots.com website: <https://sonrobots.com/arduinos/motores-servomotores-y-motores-paso-a-paso/>

S.O.S. Impresoras. (2014, 11). Así funciona la extrusión en las impresoras 3D | S.O.S IMPRESORAS. Recuperado 22 de mayo de 2019, de <https://ecoimpresion.wordpress.com/2014/11/27/asi-funciona-la-extrusion-en-las-impresoras-3d/>

Stepcraft Inc. (2015). Stepcraft 2: Universal Desktop CNC / 3D Printer / Laser. Recuperado 29 de abril de 2019, de Kickstarter website: <https://www.kickstarter.com/projects/stepcraft2/stepcraft-2-universal-desktop-cnc-3d-printer-for-e>

Susana Sanchez Restrepo. (2016, 07). Materiales cerámicos y orgánicos en 3Dnatives. Recuperado 27 de mayo de 2019, de <https://www.3dnatives.com/es/descubriendo-los-materiales-de-la-impresion-3d-ceramicos-y-organicos-22072015/>

Susana Sanchez Restrepo. (2017, 10). FDM o modelado por deposición fundida, te explicamos todo! - 3Dnatives. Recuperado 26 de mayo de 2019, de <https://www.3dnatives.com/es/modelado-por-deposicion-fundida29072015/>

Tecmikro. (2019). Polea GT2 para motor Nema 17â€”Tecmikro Ecuador. Recuperado 15 de junio de 2019, de <https://tecmikro.com/motores/509-polea-gt2-para-motor-nema-17.html>

thinkyhead. (2019, julio 11). Linear Move. Recuperado 11 de julio de 2019, de Marlin Firmware website: <http://marlinfw.org/docs/gcode/G000-G001.html>

THK. (2019). *Husillos de bolas. 503ES*, 488.

THK General Catalog. (2019). *LM Guide General Catalog*. Recuperado de [https://abh30.com/thk/E\\_01\\_LMGuide/HTML5/pc.html#/page/152](https://abh30.com/thk/E_01_LMGuide/HTML5/pc.html#/page/152)

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y desarrollo de productos: Quinta edición*. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=XwJyswEACAAJ>

UltiMachine. (2019). RAMBo 1.4. Recuperado 27 de junio de 2019, de UltiMachine website: <https://ultimachine.com/products/rambo-1-4>

Universal laser systems. (2018). Laser\_diagram\_2la.jpg (1711×1252). Recuperado 24 de mayo de 2019, de [https://cdn.ulsinc.com/assets/images/portals/learn/5a0b5e8776b674319210eaaf/laser\\_diagram\\_2la.jpg](https://cdn.ulsinc.com/assets/images/portals/learn/5a0b5e8776b674319210eaaf/laser_diagram_2la.jpg)

WGCD. (2019). Amazon.com: WGCD 5 kits 16 Pin Way impermeable enchufe de conector eléctrico para coche automotriz: Gateway. Recuperado 30 de junio de 2019, de

[https://www.amazon.com/WMYCONGCONG-Waterproof-Electrical-Connector-Automotive/dp/B07HJ1FRV3/ref=sr\\_1\\_6?\\_\\_mk\\_es\\_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=16+pin+connector&qid=1561920930&s=gateway&sr=8-6](https://www.amazon.com/WMYCONGCONG-Waterproof-Electrical-Connector-Automotive/dp/B07HJ1FRV3/ref=sr_1_6?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=16+pin+connector&qid=1561920930&s=gateway&sr=8-6)

Yelitza Izalla Yáñez. (2015, marzo 20). La importancia de la manufactura. Recuperado 29 de abril de 2019, de Analitica.com website: <https://www.analitica.com/opinion/la-importancia-de-la-manufactura/>

Zhuhai CTC Electronic. (2015, 09). Formaker 4-in-1 CNC Mill, Laser, PCB, 3-D Printer All-In-One. Recuperado 29 de abril de 2019, de Kickstarter website: <https://www.kickstarter.com/projects/662229155/formaker-4-in-1-cnc-mill-laser-pcb-3-d-printer-all>

# ANEXOS



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor **CANCHIGNIA SANCHEZ, MARCOS DANIEL**.

En la ciudad de Latacunga, a los 25 días del mes de julio del 2019.

**Aprobado por:**

Ing. Andrés Gordón Garcés

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

Ing. Darío Mendoza Chipantasi

**DIRECTOR DE CARRERA**



Dr. Rodrigo Vaca Corrales

**SECRETARIO ACADÉMICO**