



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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

***TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA
IMPRESORA 3D TIPO CARTESIANA PARA LA
ELABORACIÓN DE PLACAS ELECTRÓNICAS TIPO
SMD”***

AUTOR:

AGUINSACA GARCÍA DIEGO ANTONIO

DIRECTOR: ING. LOZA DAVID

SANGOLQUÍ

2017



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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN.

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA IMPRESORA 3D TIPO CARTESIANA PARA LA ELABORACIÓN DE PLACAS ELECTRÓNICAS TIPO SMD.”*** Realizado por el señor **DIEGO ANTONIO AGUINSACA GARCÍA**, ha sido revisado en su totalidad, el mismo que cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto, me permito acreditarlo y autorizar al señor **DIEGO ANTONIO AGUINSACA GARCÍA** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 02 de marzo de 2017

Atentamente,

Ing. David Loza

DIRECTOR



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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **DIEGO ANTONIO AGUINSACA**, con cédula de identidad N° **110480635-9**, declaro que éste trabajo de titulación titulado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA IMPRESORA 3D TIPO CARTESIANA PARA LA ELABORACIÓN DE PLACAS ELECTRÓNICAS TIPO SMD.**” Ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que éste trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 02 de marzo de 2017

Atentamente:

Diego Antonio

Aguinaca García

C.C. 110480635-9



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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **DIEGO ANTONIO AGUINSACA GARCÍA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación ***“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA IMPRESORA 3D TIPO CARTESIANA PARA LA ELABORACIÓN DE PLACAS ELECTRÓNICAS TIPO SMD.”*** Cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 02 de marzo de 2017

Atentamente:

Diego Antonio

Aguinsaca García

C.C. 110480635-9

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a todos quienes han sido parte de este hermoso camino de aprendizaje, a mis padres, hermanos, amigos gracias a ellos he logrado todo y espero seguir cultivando éxitos para demostrar que en el Ecuador tenemos capacidad.

Diego Antonio Aguirre García

AGRADECIMIENTO

Agradezco a las personas que directa o indirectamente hicieron posible este logro. En especial a los ingenieros de la universidad de las Fuerzas Armadas ESPE que sin duda hacen una gran diferencia, a la Ing. Maribel Maya, al Ing. David Loza, al Ing. Luis Segura, al Ing. Francisco Terneus, más que mis docentes fueron personas que supieron orientarme y ser testigo de su entrega de trabajo, hace que me sienta muy orgulloso y a su vez con muchas ganas de seguir trabajando.

Diego Antonio Aguiñaca García

ÍNDICE

CARÁTULA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE.....	vii
INDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. MOTIVACIÓN Y PROBLEMÁTICA.....	1
1.1.1. Motivación.....	1
1.1.2. Problemática.....	2
1.2. ANTECEDENTES.....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	4
1.4. OBJETIVOS.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. ALCANCE DEL PROYECTO.....	5
1.6. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO.....	9
CAPÍTULO II.....	10
ESTADO DEL ARTE.....	10
2.1. INICIOS DE LA IMPRESIÓN EN 3D.....	10
2.2. TECNOLOGÍAS DE IMPRESIÓN EN 3D.....	13
2.2.1. Estereolitografía SLA.....	13
2.2.2. Sinterizado Selectivo SLS.....	14
2.2.3. Deposición de aglutinante 3DP.....	15
2.2.4. Deposición de material fundido (FDM).....	16
2.3. TINTAS CONDUCTIVAS.....	18

2.3.1.Principio de funcionamiento.	19
2.3.2.Análisis de mercado	21
2.4.MÉTODOS DE MANUFACTURA PARA LA FABRICACIÓN DE PCBS	21
2.4.1.Clasificación de PCBs.....	22
2.5.HITOS REPRESENTATIVOS DE LA IMPRESIÓN 3D.....	25
2.5.1.Primera máquina de impresión 3D. (1992).....	25
2.5.2.Impresión de un riñón funcional. (2002)	25
2.5.3.Nacimiento del proyecto RepRap. (2005)	26
2.5.4.Revolución en la fabricación de prótesis. (2008).....	27
2.5.5.Primero carro impreso en 3D. (2011).....	28
2.5.6.Voxel 8 impresora que imprime con material conductivo (2015).....	28
RESUMEN	30
CAPÍTULO III.....	31
DISEÑO DE LA IMPRESORA.....	31
3.1.PARÁMETROS GENERALES DE DISEÑO	31
3.2.MATRIZ QFD	32
3.2.1.Análisis de resultados de la matriz QFD	35
3.2.2.Propuesta de producto	37
3.2.3.Determinación de subsistemas	37
3.3.DISEÑO CONCEPTUAL.....	38
3.4.SELECCIÓN DE COMPONENTES	41
3.4.1.Subsistema de movilidad.....	41
3.4.2.Subsistema de extrusión	48
3.4.3.Subsistema de mesa de trabajo	52
3.4.4.Subsistema de control	54
3.4.5.Subsistema de alimentación	62
3.4.6.Subsistema de estructura	63
3.5.DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE MOVILIDAD	67
3.5.1.Diseño del sistema de movimiento del eje y.....	68
3.5.2.Diseño de sistema de movimiento del eje x.....	76
3.5.3.Diseño del sistema de movimiento del eje z.....	84
3.5.4.Diseño completo del subsistema de movilidad	88
3.1.DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE MESA DE TRABAJO.....	89
3.1.1.Diseño del alma caliente	90

3.2.DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE ALIMENTACIÓN	93
3.2.1.Dimensionamiento de potencia requerida.....	93
3.3.DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE CONTROL	95
3.3.1.Placa de control	95
3.3.2.Firmware	95
3.3.3.Software	98
3.4.DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE EXTRUSIÓN	99
3.5.DISEÑO DEL SUBSISTEMA ESTRUCTURAL.....	102
RESUMEN	104
CAPÍTULO IV	104
IMPLEMENTACIÓN.....	105
4.1.PROCESO DE CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN	105
4.2.IMPLEMENTACIÓN DE SUBSISTEMA DE MOVILIDAD	106
4.2.1Cortes de piezas en acrílico	106
4.2.2.Impresión de piezas en 3D	108
4.2.3.Ensamble de subsistema de movilidad	111
4.3.IMPLEMENTACIÓN DE SUBSISTEMA DE ALIMENTACIÓN	115
4.3.1.Cableado	115
4.4.IMPLEMENTACIÓN DE SUBSISTEMA DE MESA DE TRABAJO	117
4.5.IMPLEMENTACIÓN DE SUBSISTEMA DE EXTRUSIÓN	120
4.5.1.Impresión 3D de piezas	120
4.5.2.Elaboración de placa electrónica de conexión universal.....	124
4.5.3.Ensamble del subsistema de extrusión	125
4.6.IMPLEMENTACIÓN DE SUBSISTEMA DE CONTROL	127
4.6.1.Placa de control	128
4.6.2.Firmware	129
4.6.1.Software	130
4.7.IMPLEMENTACIÓN DE SUBSISTEMA DE ESTRUCTURA	131
4.7.1.Soporte para doblado de tapa base	131
RESUMEN	135
CAPÍTULO V	136
PRUEBAS Y RESULTADOS	136
5.1.PRUEBAS DIMENSIONALES.....	139
5.1.1.Precisión.....	139

5.1.2.Repetibilidad	140
5.2.PRUEBAS DEL MATERIAL.....	141
5.3.PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	143
RESUMEN	144
CONCLUSIONES	145
RECOMENDACIONES	148
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150
ANEXOS	153
9.1.Manual de operaciones.....	153
9.2.Datasheet de tinta conductiva.....	153
9.3.Datasheet de pasta para soldar.....	153
9.4.Distribución de pines de placa GT2560.....	153
9.5.Lista de materiales para la construcción de la impresora.....	153
9.6.Planos de construcción.....	153

NDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de especificaciones técnicas voltera v-one.....	8
Tabla 2. Métodos de manufactura para la fabricación de pcbs	21
Tabla 3. Parámetros generales para la impresora 3d.....	31
Tabla 4. Resultado de la matriz qfd a las necesidades del cliente.....	35
Tabla 5. Jerarquía de requerimientos técnicos propuestos.....	36
Tabla 6. Subsistemas definidos para la impresora 3d	37
Tabla 7. Resultados a encuestas realizadas a usuarios entre 18 y 40 años	40
Tabla 8. Orden de selección de subsistemas.	41
Tabla 9. Ponderación de criterios de evaluación para el motor	45
Tabla 10. Selección de transmisión de movimiento.....	48
Tabla 11. Selección del mecanismo para la extrusión	51
Tabla 12. Selección de base caliente.....	54
Tabla 13. Selección de tarjeta controladora	58
Tabla 14. Selección de firmware.....	60
Tabla 15. Plataforma de repetier host	61
Tabla 16. Selección de software.....	62
Tabla 17. Selección del método de manufactura	66
Tabla 18. Selección del material para la fabricación de la impresora.....	66
Tabla 19. Motores nema 17 asequibles en el mercado nacional.	76
Tabla 20. Requerimientos para la base caliente	89
Tabla 21. Dimensionamiento de potencia de componentes	93
Tabla 22. Fuente selecciona para la alimentación de la impresora	94
Tabla 23. Principales configuraciones de software matter control	98
Tabla 24. Características de impresión del subsistema de movilidad.....	110
Tabla 25. Materiales para ensamble del subsistema de movilidad	111
Tabla 26. Materiales para ensamble del subsistema de base caliente	119
Tabla 27. Características de impresión del subsistema de movilidad.....	122
Tabla 28. Materiales necesarios para el ensamble del subsistema del extrusor.....	125
Tabla 29. Parámetros de configuración para impresión con tinta conductiva	138
Tabla 30. Resultados de prueba de precisión	140
Tabla 31. Resultados de prueba de repetibilidad	140
Tabla 32. Pruebas de resistividad.....	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Impresora de circuitos electrónicos (en desarrollo).....	6
Figura 2 Voltera V-One imprimiendo un circuito.	6
Figura 3 Voltera V-One funcionalidades.....	7
Figura 4. Circuitos impresos en tinta a base de plata.....	7
Figura 5. De derecha a izquierda: Resina utilizada en la primera impresora 3D-primera pieza creada-primer equipo para imprimir en 3D.	11
Figura 6. Distribución de uso de impresoras 3D en el mundo	12
Figura 7. Tecnología de impresión SLA.	13
Figura 8. Tecnología de impresión SLS.	14
Figura 9. Tecnología de impresión 3DP.	15
Figura 10. Tecnología de impresión FDM.	17
Figura 11. Tintas conductivas.	18
Figura 12. Circuito realizado con esfero Scribe.	19
Figura 13. Compuesto químico de Tinta Scribe.	20
Figura 14. Representación de proceso de impresión en tintas conductivas.	20
Figura 15. Placa de fabricación mixta.	23
Figura 16. Placa de fabricación HDI.....	24
Figura 17 Placa de fabricación HDI.....	24
Figura 18. Chuck Hull fundador de 3D Systems.....	25
Figura 19 Riñón creador por el equipo en California.	26
Figura 20. Adrian Bowye junto a la primera impresora autoreplicada.	26
Figura 21. Impresoras comerciales basadas en proyecto RepRap	27
Figura 22 Entrega de prótesis basada en el personaje IronMan.....	27
Figura 23. Primer Carro impreso en 3D.	28
Figura 24 Impresora Voxel 8 en proceso de impresión 3D	29
Figura 25 Drone impreso en 3D por la impresora Voxel.....	29
Figura 26 Matriz QFD del producto.....	33
Figura 27 Modelo conceptual uno.....	38
Figura 28 Modelo conceptual dos	39
Figura 29 Modelo conceptual tres	39
Figura 30 Diseño conceptual propuesto para la construcción.....	40
Figura 31 Motor a pasos Nema 17	42
Figura 32 Servomotor Dynamixel.....	43
Figura 33 Motor DC Brushless	44
Figura 34 Sistema de transmisión por banda dentada.....	46
Figura 35 Tornillo sin fin de rosca cuadrada	46
Figura 36 Tornillo de bolas	47
Figura 37 Mecanismo tipo jeringa para la extrusión de material	49
Figura 38 Sistema de deposición de material roll on.....	50
Figura 39 Extrusión continua por tornillo	51
Figura 40 Base caliente 12 a 24 voltios.....	52
Figura 41 Cama caliente AC 110 V	53
Figura 42 Controlador GT2560.....	55

Figura 43 Shield Ramps 1.4	56
Figura 44 Tarjeta Rambo	57
Figura 45 Logotipo firmware Marlin	59
Figura 46 Logotipo firmware Repetier	59
Figura 47 Plataforma Matter Control en su versión 1.5.....	60
Figura 48 Impresora 3D fabricada en corte láser.....	63
Figura 49 Impresora fabricada por chapa metálica.....	64
Figura 50 Impresora fabricada con perfiles de aluminio	65
Figura 51. Sistema de movimiento propuesto.	67
Figura 52 Acople para motor 5mm-8mm.....	68
Figura 53 Rodamiento de bolas 608ZZ.....	68
Figura 54 Rodamiento lineal LM8LUU	69
Figura 55 Soporte para rodamiento lineal LM8LUU	69
Figura 56 (a),(b),(c),(d),(e) Proceso de diseño del sistema móvil del eje y	70
Figura 57. Diagramas de cuerpo libre de fuerzas aplicadas en las del eje y	71
Figura 58 Diagrama de momento flector de guías del eje y.	72
Figura 59 (a),(b),(c),(d),(e) Proceso de diseño del sistema móvil del eje x	78
Figura 60. Diagramas de cuerpo libre de fuerzas aplicadas en guías del eje x	79
Figura 61 Diagrama de momento flector de guías del eje x.	80
Figura 62 (a),(b),(c) Proceso de diseño del sistema de movimiento del eje z	85
Figura 63 Posiciones mínima y máxima del sistema de movilidad	88
Figura 64 Vista frontal de cama caliente.	89
Figura 65 Vista frontal de cama caliente.	91
Figura 66 Cable resistivo AC 110 V.	92
Figura 67 Fuente de 150W seleccionada.....	94
Figura 68 Archivo Configuration.h del firmware Marlin	98
Figura 69 Sistema de empuje pistón/engrane	99
Figura 70 Capsula diseñada para el cambio de material rápido.....	100
Figura 71 Capsula diseñada para el cambio de material rápido.....	101
Figura 72 Capsula diseñada para el cambio de material rápido.....	101
Figura 73 Diseño en chapa para doblado de acrílico	102
Figura 74 Ensamble de subsistemas sin tapas	103
Figura 75 Diseño completo de la impresora.....	103
Figura 76 Proceso de construcción en orden de subsistemas.....	105
Figura 77 Plancha 6mm acrílico 600x400mm para corte de piezas.....	106
Figura 78 Perfiles de corte para sistema de movilidad	107
Figura 79 Piezas cortadas en láser del subsistema de movilidad	108
Figura 80 Medida del espesor del material a trabajar.	108
Figura 81 Piezas en formato STL para fabricar con impresión 3D.....	109
Figura 82 Piezas a ser impresas en el software Matter Control	109
Figura 83 Detalle de pieza “soporte central del eje y”.....	110
Figura 84 Pieza “soporte central del eje y” impresa en 3D	111
Figura 85 Sistema de sujeción entre piezas de acrílico.....	112
Figura 86 Ensamble del sistema de movilidad del eje y	113
Figura 87 Ensamble estructural del sistema de movilidad.....	113
Figura 88 Ensamble real de subsistema de movilidad	114

Figura 89 Renderizado del ensamble del subsistema de movilidad	114
Figura 90 Implementación de la fuente de alimentación.	115
Figura 91 Cableado de fuente de alimentación.....	116
Figura 92 Conector externo para extrusor	116
Figura 93 Cableado interno	116
Figura 94 Proceso de enrollamiento de hilo resistivo	117
Figura 95 Columnas del alma de la cama caliente.....	117
Figura 96 Alma resistiva finalizada.....	118
Figura 97 Construcción de platinas de presión.	118
Figura 98 Materiales para el ensamble de la cama caliente	119
Figura 99 Cama caliente armada e implementada	120
Figura 100 Piezas en formato STL del subsistema de extrusión.....	121
Figura 101 Piezas en formato STL del subsistema de extrusión.....	121
Figura 102 Detalle estructural de la pieza “Extrusor”	122
Figura 103 Limpieza de piezas impresas del extrusor	123
Figura 104 Pieza “extrusor” impresa en 3D y modelo renderizado	123
Figura 105 Engrane de 23 dientes cortado en acrílico	123
Figura 106 Diseño de la placa electrónica de distribución de pines	124
Figura 107 Placa de distribución de pines	124
Figura 108 Componentes para sub-ensamblaje 1	126
Figura 109 Sub-ensamblaje 1	126
Figura 110 Componentes para sub-ensamblaje 2	126
Figura 111 Sub-ensamblaje 2.....	127
Figura 112 Ensamblaje del subsistema de extrusión.	127
Figura 113 Conexión de placa de control con componentes de la impresora	128
Figura 114 Conexión de extrusor con placa de control	128
Figura 115 Instalación de rele de estado sólido para la base caliente.	129
Figura 116 Firmware Marlin_v4	129
Figura 117 Software Matter Control conectado con la impresora	130
Figura 118 Materiales para el doblado de la tapa base	131
Figura 119 Tapa base doblada con calor	132
Figura 120 Ensamble de la impresora con el subsistema de base caliente.....	132
Figura 121 Ensamble de la impresora con el subsistema extrusor.....	133
Figura 122 Ensamble de la impresora con tapas cobertores	133
Figura 123 Ensamble completo de la impresora real.....	134
Figura 124 Ensamble completo de la impresora renderizado	134
Figura 125. Circuito de control de luces (probeta)	136
Figura 126. Probeta 1 calibración de impresora	137
Figura 127. Probeta 2 calibración de impresora	137
Figura 128. Probeta 3 calibración de impresora	138
Figura 129. Impresión de probeta con parámetros seleccionados.....	139
Figura 130. Prueba de precisión	139
Figura 131. Distancia entre placa y punta de impresión.	141
Figura 132. Placa fabricada para prueba de resistividad.....	141
Figura 133. Mediciones de resistencia en placa de prueba	142
Figura 134. Placa con microcontrolador fabricada con impresora arel.....	143

RESUMEN

En el presente proyecto se detalla el análisis, diseño y construcción de una impresora 3D con extrusor para tinta conductiva, esta impresora permite fabricar placas electrónicas de tipo SMD de forma rápida y segura, eliminando el uso de ácidos y otros materiales peligrosos que se utiliza en los procesos de fabricación habituales. Como inicio tenemos el contenido teórico necesario para el análisis de la fabricación de la impresora considerando factores importantes como el diseño industrial, aplicabilidad, replicabilidad y unicidad de la máquina. Además haciendo un énfasis en aplicaciones de las impresoras 3D, las tecnologías de impresión 3D y el uso de tintas conductivas. Posteriormente se presenta el análisis de selección de componentes para la construcción, además se muestra el proceso de diseño y construcción de la máquina tanto en la parte de hardware como software. Finalmente, se realizan pruebas de precisión y repetibilidad de la impresora, también, pruebas de resistividad, y funcionalidad de las placas electrónicas fabricadas por la impresora.

PALABRAS CLAVE:

- **IMPRESORA 3D**
- **PLACAS ELECTRÓNICAS SMD**
- **RESISTIVIDAD**
- **STARTUP**
- **FORMATO STL**

ABSTRACT

The present project details the analysis, design and construction of a 3D printer with extruder for conductive ink, this printer allows manufacturing electronic boards of type SMD quickly and safely, eliminating the use of acids and other hazardous materials that is used in The usual manufacturing processes. As a starting point, we have the theoretical content necessary for the analysis of the manufacture of the printer considering important factors such as industrial design, applicability, replicability and uniqueness of the machine. In addition, with an emphasis on 3D printer applications, 3D printing technologies and the use of conductive inks. Subsequently the analysis of selection of components for the construction, in addition it shows the process of design and construction of the machine in the part of hardware as software. Finally, printer accuracy and repeatability tests, as well as resistivity tests, and functionality of the electronic boards manufactured by the printer.

KEYWORDS:

- **3D PRINTER**
- **PRINTER CIRCUIT BOARD SMD**
- **RESISTIVITY**
- **STARTUP**
- **STL FORMAT**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta la justificación e importancia de la construcción de una impresora 3D para la elaboración de placas electrónicas tipo SMD en Sangolquí-Ecuador. Se realiza una revisión cronológica de la tecnología de impresión 3D y los métodos de manufactura para la elaboración de placas tipo SMD; en base a ello se sustenta la problemática y la necesidad de realizar este proyecto. Finalmente se definen los objetivos, el alcance del proyecto y la estructura del documento.

1.1. MOTIVACIÓN Y PROBLEMÁTICA

1.1.1. MOTIVACIÓN

El uso de las impresoras 3D está extendiéndose rápidamente, en los últimos años se han multiplicado las noticias sobre las aplicaciones de estas impresoras en numerosos sectores productivos y por supuesto en la educación. En este contexto se debe citar la mención de Barack Obama en el discurso sobre el estado de la Nación del 2013 donde dice: “La impresión 3D tiene el potencial de revolucionar la manera en que hacemos casi todo”. Su gobierno ha impulsado un plan que busca introducir una impresora 3D en cada aula de Estados Unidos de América. (Ramírez, 2015)

La tecnología de impresión 3D nos permite transformar diseños virtuales en tangibles. Dicho proceso hace pocos años era aplicado a nivel industrial en la construcción de prototipos con un alto costo, lo que hacía complicada la inclusión de esta tecnología en centros educativos.

La motivación surge de la necesidad personal por crear algo realmente práctico y único en el mundo, que pueda integrar la tecnología de impresión en 3D con el proceso de producción de placas electrónicas. Se pretende que este proyecto sienta las bases para un producto comercial de alto impacto. Algunas máquinas industriales en el mercado empezaron como proyectos de titulación, se anhela que este proyecto se convierta en una de ellas.

El desarrollo del proyecto es necesario para los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ya que necesitan tener una herramienta que facilite la elaboración de placas de tipo SMD como una alternativa rápida, sencilla y de bajo costo.

La construcción de la máquina, permite: reflejar gran parte de los conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería mecatrónica, aportar al desarrollo de conocimientos en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y contribuir al cambio de matriz productiva que se está desarrollando dentro del país.

1.1.2. PROBLEMÁTICA

El campo aplicativo de la tecnología de impresión en 3D, ha venido incrementado significativamente, incluso en la medicina y construcción ya existen impresoras 3D, que facilitan el trabajo o procesos de producción en estas áreas. Mientras en el campo de la electrónica actualmente no existe una impresora que facilite la producción de placas electrónicas, que aproveche las ventajas de la tecnología de impresión en 3D.

Más del 90% de placas electrónicas que se fabrican a baja escala, son fabricadas con cobre, debido a su costo y baja resistividad. Existen otras alternativas, talvés no más económicas pero definitivamente más eficientes en temas de producción; alternativas que no han sido abordadas, pero que sin duda contribuirá de gran manera al conocimiento científico y pueden mejorar los procesos de producción actuales.

La construcción de placas electrónicas tipo SMD frecuentemente es una limitante al realizar ciertos proyectos o trabajos electrónicos debido a su pequeño tamaño y precisión, estas placas deben ser fabricadas cuidadosamente. Muchos estudiantes no cuentan con los conocimientos para elaborar una placa electrónica de este tipo, y otros no cuentan con los recursos económicos para hacerlo.

La solución más viable hasta el momento es pagar un alto coste a empresas que brindan este servicio u optar por costosos cursos o talleres donde se aprende a elaborar placas de este tipo.

1.2. ANTECEDENTES

A pocos años de la invención de la impresora de inyección de tinta se empezaron a realizar algunas adaptaciones y avances sobre el concepto de la inyección de tinta que transformaron la tecnología de impresión con tinta a impresión con materiales. (I3D DIGITAL MEDIA, 2012)

Varios años más tarde 1988 S. Scott Crump, fundador de Stratasys, desarrolló la técnica de Fused Deposition Modeling (FDM), que consistía en la creación de objetos tridimensionales mediante la superposición de capas de material fundido que posteriormente solidificaba con la forma deseada. Con el tiempo este método permitió una mayor difusión de la impresión 3D abaratando costes y permitiendo a pequeños usuarios y talleres no industriales tener acceso a esta tecnología para fines propios. (Teleco to walk, 2013)

La revolución tecnológica ha permitido tener un crecimiento sin precedentes, entre los hitos más representativos en las que se han inmerso las impresoras 3D tenemos: en 1999 el primer órgano criado en laboratorio que se implementó en humanos, en 2002 la impresión de un riñón en miniatura completamente funcional y con la capacidad de filtrar sangre y producir orina diluida en un animal, en 2005 el lanzamiento de impresora de código abierto capaz de reproducirse a sí mismo, en 2008 la primera prótesis totalmente impresa en 3D, en 2011 la impresión de joyas en oro y plata, en 2014 la impresión de la primera casa habitable con mezcla de residuos y cemento. (I3D DIGITAL MEDIA, 2012)

Dentro de la investigación de hitos más importantes se encontró un proyecto llamado VOLTERA, que maneja la misma idea del proyecto actual. Es una impresora con capacidad de impregnar tinta de plata sobre una platina no conductiva y dibujar circuitos eléctricos en SMD, incluso puede realizar doble capa con la ayuda de un material plástico. Lastimosamente la impresora VOLTERA aún continúa siendo un proyecto y no es un producto comercial; uno de los obstáculos más grandes que presenta este proyecto es el costo, ya que la impresora está valorada alrededor de los 3000 dólares americanos, y no se pueden hacer adaptaciones para otras aplicaciones. (VOLTERA ONE, 2015)

Con este contexto el presente proyecto se enfoca en desarrollar una impresora 3D para la elaboración de placas electrónicas, creada con software y hardware libre, que permita a los usuarios manejarla de forma fácil y rápida. Actualmente no existe ninguna impresora que ofrezca la facilidad de crear circuitos electrónicos que aproveche la tecnología de impresión 3D, esta es una de principales valores representativos de este proyecto.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La importancia del presente proyecto se basa en la búsqueda de tecnología innovadora que contribuya al campo de la manufactura. La impresora implementará la tecnología de impresión 3D en el proceso de producción de placas electrónicas.

El método más usado para la manufactura y la producción de placas electrónicas en pequeña escala, se hace mediante el uso de cloruro férrico que requiere un conocimiento sobre el área electrónica, y también la supervisión de una persona capacitada. Tener una herramienta que; facilite la producción de este tipo de placas, sea más seguro y no requiera de mayor conocimiento para su uso, contribuirá con el mejoramiento de métodos de aprendizaje en centros educativos de manera significativa. (Salas, Pérez, & Ramírez)

La construcción de una impresora 3D que sea capaz de imprimir con tinta conductiva de manera que facilite la producción de placas electrónicas servirá como herramienta para los estudiantes en el desarrollo de sus conocimientos mediante la realización de prácticas, lo que beneficiará directamente al área de trabajo del Laboratorio de Procesos de Manufactura del Departamento de Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Bajo la iniciativa del cambio de la matriz productiva incentivada fuertemente por el actual gobierno ecuatoriano y los lineamientos del plan del buen vivir que se han establecido en la constitución, es necesario el desarrollo y la creación de productos nuevos y/o productos con un valor agregado que fomenten la producción nacional, aumentando las plazas de trabajo y el desarrollo de la nación. (SENPLADES, 2013)

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

- Diseñar y construir una impresora 3D tipo cartesiana para la elaboración de placas electrónicas tipo SMD.

1.4.2. Objetivos específicos

- Diseñar y construir un robot cartesiano cuyo actuador final sea un extrusor de tinta conductiva.
- Diseñar y construir un extrusor capaz de trabajar con tinta conductiva a una resolución de al menos 0.1mm para la elaboración de circuitos electrónicos.
- Construir un sistema de cambio de actuador sencillo, que no requiera el uso de herramientas.
- Implementar un sistema de interfaz humano máquina (HMI) que permita al usuario el manejo y control de la máquina.
- Diseñar la impresora para que sea de fácil ensamble y no requiera cambios en el cableado o conexiones extras para la adaptación de otros actuadores.
- Implementar un sistema de calibración automática para facilitar el uso de la impresora al usuario y prever posibles daños del actuador.

1.5. ALCANCE DEL PROYECTO

Actualmente no existe ninguna impresora que ofrezca este método para crear placas electrónicas. Existe un “startup” que tiene una idea similar a la que se plantea en este proyecto, en la figura 1 se puede observar dicha impresora, como también sus principales características

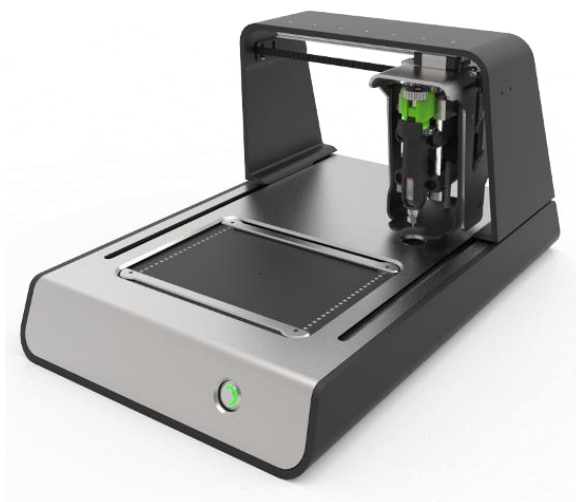


Figura 1 Impresora de circuitos electrónicos (en desarrollo).

Fuente: (VOLTERA ONE, 2015)

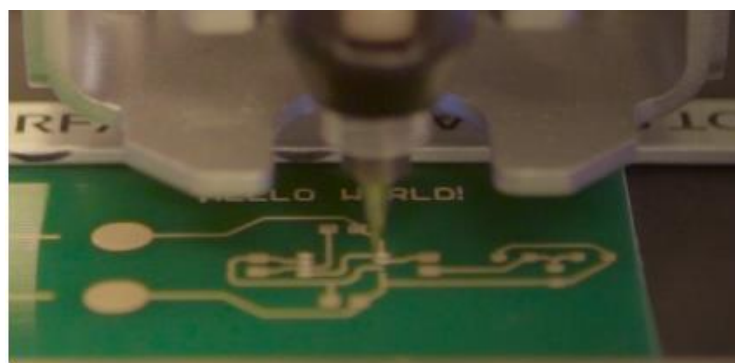


Figura 2 Voltera V-One imprimiendo un circuito.

Fuente: (VOLTERA ONE, 2015)

Voltera V-One crea placas electrónicas de uno o dos capas, para ello se utiliza un archivo en formato Gerber que puede ser exportado desde cualquier software de diseño electrónico. El dispensador suelta una tinta conductora a base de plata para imprimir el circuito deseado. La precisión de esta máquina es excelente aunque aún no se encuentra en el mercado, existen altas expectativas sobre su funcionamiento.

El lanzamiento está previsto para inicios del 2017.



Figura 3 Voltera V-One funcionalidades.

Fuente: (VOLTERA ONE, 2015)

Tiene la capacidad de trabajar con material conductor (tinta de plata), un material no conductor y un material para soldar (estaño) como se observa en la figura 3.

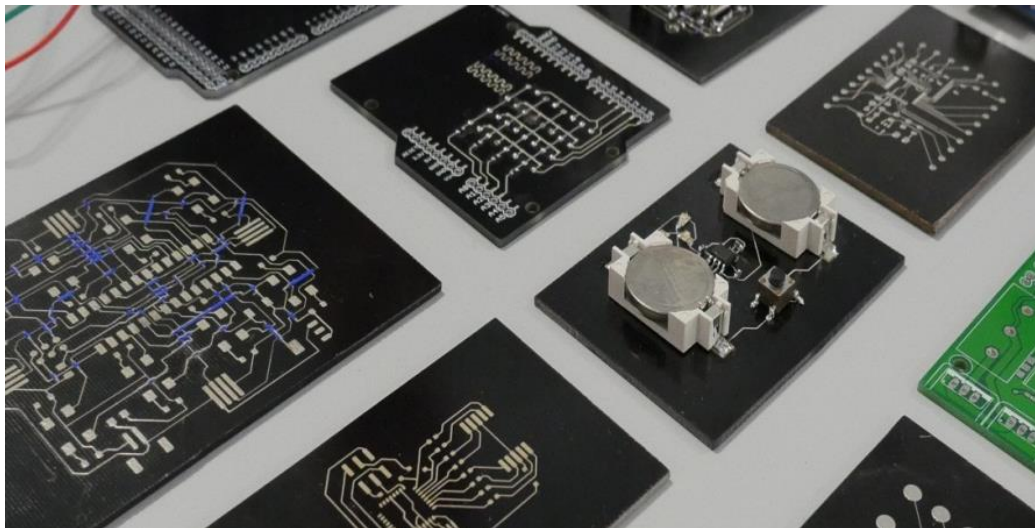


Figura 4. Circuitos impresos en tinta a base de plata.

Fuente: (VOLTERA ONE, 2015)

En la siguiente tabla se pueden apreciar las características principales de dicha impresora.

Tabla 1
Resumen de especificaciones técnicas Voltera V-ONE.

Especificaciones técnicas

Área de trabajo	138mm x 102mm
Dimensiones de la impresora	390mm x 257mm x 207mm
Peso	7 kg.
Max. temperatura de la cama	240°C
Max temperatura del extrusor	215°C
Mínima pista conductiva	0.2mm
Mínima distancia entre pistas	0.8mm
Resistividad	>12mΩ/sq
Conexión	USB

Las características que detallan en la tabla 1, son requerimientos básicos que se tomarán en cuenta para desarrollar la nueva impresora.

El proyecto consiste en realizar el diseño y la construcción de una impresora 3D para la creación de placas electrónicas tipo “SMD”, con una precisión de movimiento en XY de al menos 0.1 mm y en Z de 0.05 mm. El extrusor funcionará con tecnología FMD, contendrá una tinta conductiva que dibujará las pistas sobre una platina de plástico.

La gran cantidad de información sobre impresoras de código abierto, facilitará la construcción del proyecto, ya que existen muchas piezas comerciales que serán utilizadas.

El enfoque está orientado a la fabricación del extrusor y al diseño industrial de la impresora.

1.6. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

El documento está conformado por cinco capítulos. En el primer capítulo se mencionan las generalidades del proyecto, definiendo objetivos y alcance del mismo.

El segundo capítulo aborda las bases de la tecnología de impresión en 3D enfocado a la tecnología FDM, se mencionan también los métodos de manufactura para la producción de placas electrónicas en baja escala, las características de tintas conductivas existentes en el mercado.

En el tercer capítulo se encuentra la fase de diseño, subdividido en el diseño por subsistemas, cada uno con sus respectivos cálculos planos y/o simulaciones.

El cuarto capítulo presenta la etapa de implementación, una vez finalizada la fase de diseño se inicia la construcción.

En el capítulo cinco tenemos las pruebas y resultados del presente proyecto, analizando a detalle toda la estructura mecatrónica, funcionalidad y calidad de placas producidas además de pruebas de resistividad de las mismas.

El capítulo seis muestra las conclusiones y recomendaciones que encontramos a la medida del desarrollo de dicho proyecto.

CAPÍTULO II

ESTADO DEL ARTE

En el capítulo III se hace una reseña sobre el desarrollo e inicios de la tecnología de impresión en 3D, los tipos de tecnología para impresión en 3D y se realiza énfasis en la tecnología FDM. Además, se enumera algunas áreas de aplicación en las que se ha inmerso la impresión 3D en los últimos años, así como sus hitos más representativos. Realizamos un análisis de tintas conductoras existentes en el mercado, sus características y principio de funcionamiento. Por último, una revisión a los métodos de manufactura más usados en el área educativa para la fabricación de placas electrónicas; sus costos, materiales y calidad del producto que se obtiene con cada método de manufactura.

2.1. INICIOS DE LA IMPRESIÓN EN 3D

Es común pensar que la tecnología de impresión 3D es nueva por el gran crecimiento que ha tenido en los últimos años, por la cantidad de publicidad que ha invadido desde la televisión hasta las redes sociales. La verdad es que la impresión 3D es una tecnología que tiene más de tres décadas.

Charles Hull, fundador de 3D System, creó la primera impresora 3D que funcionaba con tecnología SLA, resina líquida que se puede observar en la figura 2.1(a). La tecnología SLA utiliza resinas sensibles a la luz ultravioleta y a partir de ello crea objetos tridimensionales sólidos. El proceso de impresión tarda varias horas en fabricar solamente un modelo como el que se aprecia en la figura 2.1 (b).

En pocos años la tecnología de impresión 3D evolucionó, así como el uso de nuevos materiales que fueran más efectivos y económicos. Antes de 1983 resultaba realmente costoso la fabricación de un prototipo, existían profesionales que trabajaban con el diseño asistido por computador, pero no había aún una herramienta que permita dar vida a este modelo digital, es por ello que Hull conjuntamente con 3D System crearon además el formato de archivo STL, muy utilizado hoy en día, que

permite imprimir en una máquina aquellos diseños realizados en un computador. (3D Systems, 2015)

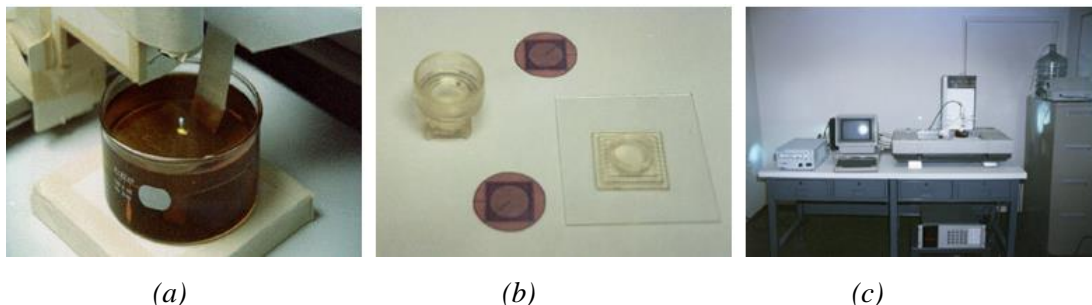


Figura 5. De derecha a izquierda: Resina utilizada en la primera impresora 3D- primera pieza creada- primer equipo para imprimir en 3D.

Fuente: (3D Systems, 2015)

Más tarde en el año 1988 Scott Crump, fundador de Stratasys, inventa la tecnología FDM mientras mezclaba cera y plástico en su cocina. Esta tecnología tomaría gran importancia varios años después cuando Stratasys lanza al mercado la primera impresora con un costo menor a treinta mil dólares.

La tecnología de impresión FDM marcaría una revolución en aplicaciones, ya que muchos proyectos empezaron a crearse bajo este principio de funcionamiento, puesto que era más sencillo y resultaba más económico.

Actualmente Stratasys es una de las empresas más importantes del mercado en impresión 3D, incluso ha absorbido a otras grandes empresas como Econolyst y MakerBot, esta última muy importante por la distribución de impresoras 3D a muy bajos costos. (Stratasys, 2016)

En el año 2004 la impresión tomaría uno de los hitos más importantes hasta el momento, en este año se crea el proyecto REPRAP, un proyecto creado por el Doctor Adrian Bowyer, un profesor de ingeniería mecánica en la Universidad de Bath en Reino Unido. El proyecto REPRAP es una iniciativa a la creación de una impresora 3D autoreplicable que tenga el potencial de poder mejorarse tanto en Hardware y Software, se encuentra bajo la licencia GNU GPL, una licencia libre que permite a cualquier persona copiar, estudiar, mejorar y distribuir los diseños de cualquier impresora basada en modelos anteriores. Esto permitió que las impresoras 3D RepRap evolucionarán muy rápidamente, puesto que existían un gran conjunto de

personas alrededor del mundo creando y mejorando todo tipo de impresoras 3D. Con el proyecto RepRap nacieron muchas empresas, que utilizaron diseños anteriores para copiar, mejorar, reproducir y vender sus propias impresoras 3D, es por ello que en la actualidad existen un sin número de marcas de impresoras 3D; la gran mayoría de ellas tiene sus raíces de la primera impresora RepRap. (RepRap, 2016). En la figura 6 podemos observar la distribución de impresoras 3D existentes en el mundo, donde se puede observar que al menos un 25% existentes en el mundo son del proyecto RepRap. (AdrianBowyer, 2014).

Algo muy importante de la iniciativa es que muchas de las impresoras han evolucionado tanto que incluso se puede crear una, utilizando impresoras de tinta normal, por la misma razón sus costos han disminuido de gran manera, ahora se puede conseguir una impresora desde los seiscientos dólares. Es por ello que en la actualidad no resultaría difícil encontrar una impresora 3D en un hogar, las personas que han llegado a adquirir impresoras 3D han sido artistas, ingenieros, arquitectos, médicos y aficionados.

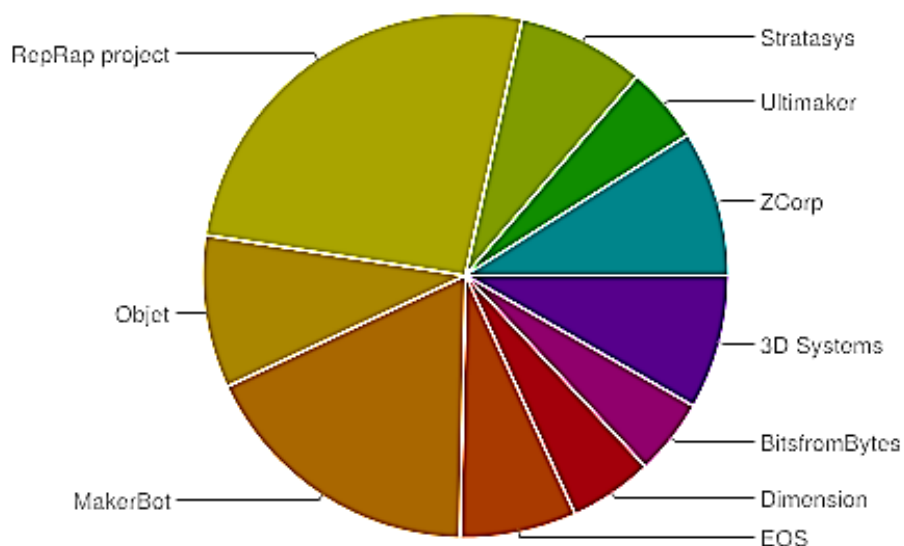


Figura 6. Distribución de uso de impresoras 3D en el mundo

Fuente: (RepRap, 2016)

2.2. TECNOLOGÍAS DE IMPRESIÓN EN 3D

Actualmente existen cuatro tecnologías principales para la impresión en 3D, cada una de ellas utiliza diferentes materiales para la construcción de modelos tridimensionales, por la misma razón cada tecnología tiene sus ventajas y limitaciones

2.2.1. Estereolitografía SLA.

La tecnología de impresión por SLA también conocida como foto-solidificación utiliza como materia prima resinas líquidas también llamadas fotopolímeros. La tecnología consiste en un haz de luz que dibuja el objeto sobre una lámina de resina, realiza este proceso capa a capa hasta crear el diseño deseado. En la figura 7 se puede apreciar las principales partes del proceso de impresión con esta tecnología.

El haz de láser solidifica una capa de la resina líquida mientras el pistón de movimiento sigue bajando, formando así un modelo de capas sucesivas. La graficación del plano en 2D se logra gracias al movimiento de espejos que direccionan el haz de luz.

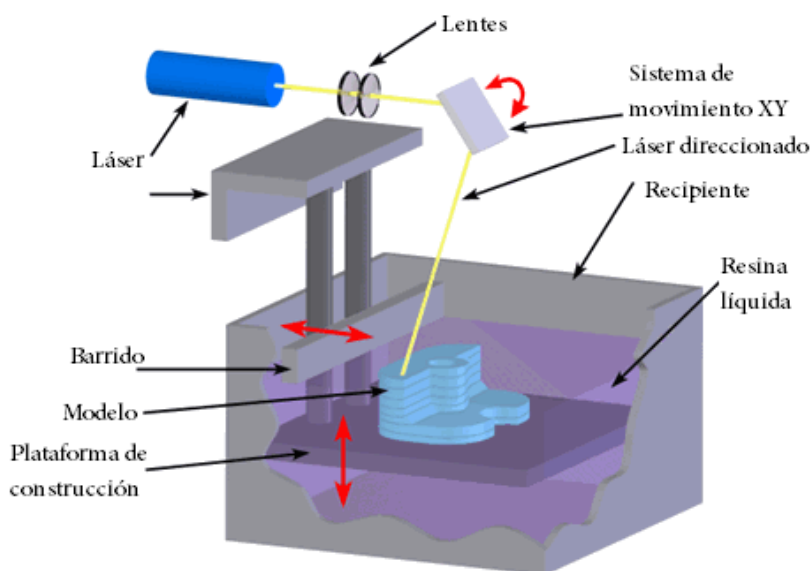


Figura 7. Tecnología de impresión SLA.

Fuente: (CUSTOMPARTNET, 2009)

Una de las principales ventajas de esta tecnología es la calidad de las piezas ya que se puede tener un excelente acabado superficial, por la resolución que presenta el puntero láser. Se puede fabricar complejos modelos y en pequeñas medidas.

Entre las desventajas de esta tecnología están los costos de los consumibles, ya que un litro de resina en promedio está valorado por los ciento cincuenta dólares, así mismo la impresora más económica de esta tecnología está valorada en los cinco mil dólares.

Existe una tecnología muy similar a esta, se denomina DLP, y la diferencia radica en el método de solidificación del material, ya que este utiliza un proyector, que capa a capa solidifica la forma del objeto. Se proyecta la imagen total que se quiere solidificar sobre la lámina de resina líquida. (3D Systems, 2015)

2.2.2. Sinterizado Selectivo SLS.

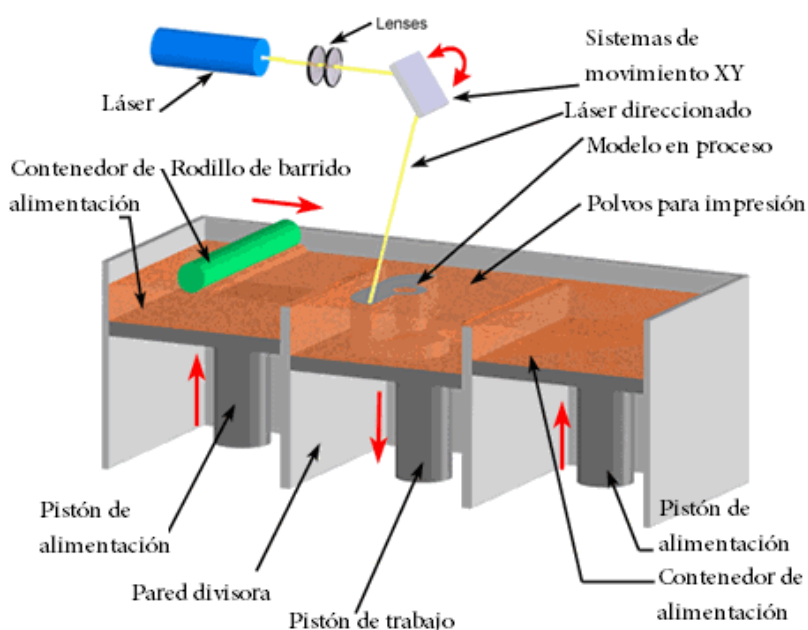


Figura 8. Tecnología de impresión SLS.

Fuente: (CUSTOMPARTNET, 2009)

La tecnología de impresión por SLS es similar a la tecnología de SLA ya que esta también utiliza un haz de luz para solidificar material, la diferencia radica en la materia prima, ya que la tecnología SLS solidifica polvos de diferentes materiales, a

diferencia de SLA que solidifica fotopolímeros. En la figura 8 se puede apreciar el proceso de impresión, este consta de un rodillo alimentador que se mueve colocando a una pequeñísima capa sobre el pistón de fabricación para luego ser solidificada por el láser, esto lo realiza capa por capa.

En esta tecnología una gran ventaja es la cantidad de materiales que se pueden utilizar, existen polvos para realizar piezas flexibles, solidas, e incluso espumosas. La calidad, de las piezas que se fabrican con esta tecnología, es excelente, tiene una precisión de hasta diez micras y los modelos impresos tienen la apariencia de un producto final. La desventaja sobre esta tecnología radica en su precio, la máquina más económica cuesta alrededor de veinticinco mil dólares. (CUSTOMPARTNET, 2009)

2.2.3. Deposición de aglutinante 3DP

La tecnología 3DP es muy similar a la tecnología SLS, la diferencia es que en esta tecnología en cada capa se suelta una sustancia aglutinadora para unir las partículas de polvo que se encuentran en el recipiente, un cabezal de impresión, muy similar a la impresión convencional con tinta, deja aglutinante en las partes que se requiera.

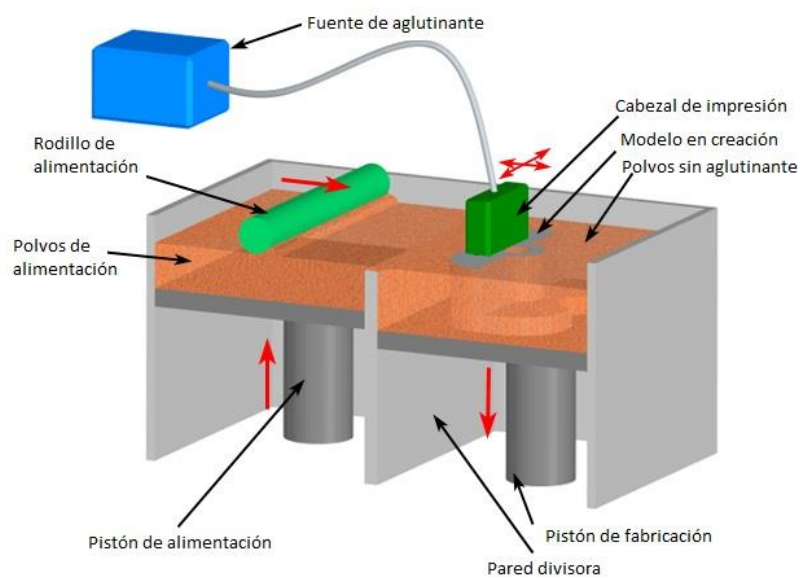


Figura 9. Tecnología de impresión 3DP.

Fuente: (CUSTOMPARTNET, 2009)

Cada vez que el cabeza termina de dibujar la capa un rodillo de alimentación coloca una nueva capa de polvos desde la caja de alimentación, mientras el pistón de fabricación se mueve la misma distancia que el espesor de la capa colocada y el cabezal de impresión vuelve a dibujar la capa respectiva, sus partes las puede visualizar en la figura 9.

Lo que resulta interesante en esta tecnología son los polvos con los que se puede trabajar, ya que esos polvos pueden ser partículas de acero inoxidable o partículas de cobre, con las cuales podremos fabricar una pieza de metal sólido. Las piezas resultantes de esta tecnología deben pasar a post-proceso, ya que el aglutinante une ligeramente las partículas de polvo, pero la pieza puede ser aplastada fácilmente con las manos. Es por ello que en el post-proceso muchas veces se utiliza hornos para poder fusionar el modelo con algún metal, estos se elevan a temperaturas de dos mil grados centígrados. Dando como resultado una pieza de metal sólido.

La desventaja de esta tecnología es que necesita en su mayoría maquinaria para realizar el post-proceso de las piezas, y el costo de esta maquinaria es excesivamente alto. (CUSTOMPARTNET, 2009)

2.2.4. Deposición de material fundido (FDM)

La tecnología más usada a nivel mundial es la FDM, se debe a los costos, pues existen impresoras desde los seiscientos dólares. Esto ha hecho que la venta y uso de estas impresoras se masifique a escala mundial, en gran parte de los centros educativos de tercer nivel disponen de estas impresoras.

Esta tecnología utiliza un rollo de material, en la mayoría de veces materiales plásticos, estos se llevan a un cabezal donde son calentados a una temperatura de doscientos grados centígrados, a esta temperatura el material se funde y se dibuja la capa correspondiente, este material se solidifica instantáneamente.

Muchas de estas impresoras tienen dos extrusores, uno de ellos deposita el material de la pieza y el otro extrusor deposita un material de apoyo que

posteriormente se remueve con facilidad, en la figura 10 puede visualizar la composición de principales partes de las impresoras con esta tecnología.

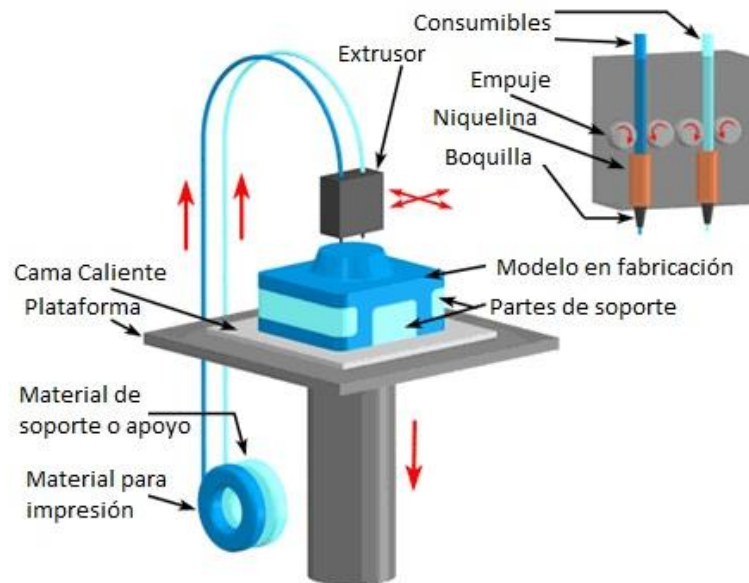


Figura 10. Tecnología de impresión FDM.

Fuente: (CUSTOMPARTNET, 2009)

Una de las desventajas sobre esta tecnología es la calidad de las piezas ya que en ellas se puede observar pequeñas líneas, resultado de las capas de impresión, y la resolución llega hasta las cien micras, claro está que en comparación con precios y calidad. El tema de calidad queda en bajo contexto cuando se analiza el precio, los consumibles plásticos son sumamente económicos, el costo promedio es de cincuenta dólares por cada kilogramo de material.

Es gracias a esta tecnología que muchos proyectos han salido a la luz, ya que utilizando diseños realizados para esta tecnología se han hecho adaptaciones para imprimir en otro tipo de materiales, desde los más llamativos como chocolate hasta células madre. De esta tecnología existe una gran cantidad de información es por ello que casi todos los proyectos de investigación tienen sus cimientos en esta tecnología.

La impresión por material fundido se ha inmerso en algunas interesantes aplicaciones los últimos años entre las cuales se pueden destacar: impresoras de casas, de comida, de circuitos y de dulces.

Existen otras tecnologías de impresión 3D que manejan otro tipo de materia prima y tienen sus ventajas pero todas utilizan el principio de superposición de capas sucesivas para la creación de un modelo tridimensional.

2.3. TINTAS CONDUCTIVAS

Las tintas conductivas que son realizadas con base de materiales conductivos como la plata y el carbono cumplen la misma función que las pistas de cobre en los circuitos electrónicos, estos conducen la corriente eléctrica haciendo posible la transferencia de señales electrónicas. Las aplicaciones de estos tipos de tintas se han expandido de gran manera por el hecho de poder imprimirse sobre superficies flexibles a diferencia del sistema tradicional.

Las tintas conductivas se encuentran en una gran variedad de aplicaciones, dentro de ellas podemos mencionar: células fotovoltaicas, sensores, envases inteligentes, impresión de RFIDs, pantallas flexibles, táctiles y de iluminación. En definitiva gran parte de los dispositivos electrónicos incluye partes fabricadas con tintas conductivas. Para nuestra aplicación podemos observar en la figura 11 un circuito a base de tinta de plata llamada Scribe, vendido fuertemente en el mercado para aplicaciones de este tipo.

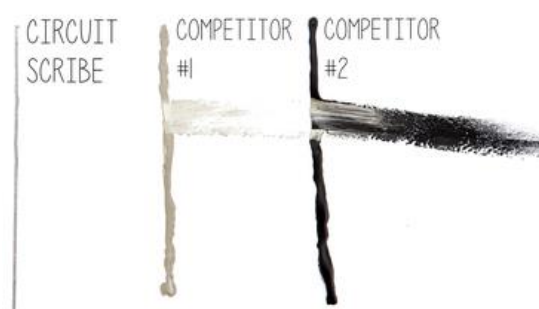


Figura 11. Tintas conductivas.

Fuente: (ELECTRONINKS, 2015)

En los últimos años se han introducido una gran variedad de tintas, cada una de ellas tiene un conjunto de características especiales que las hacen idónea para cada aplicación, es por ello que existe una gran variedad de tintas. En la figura 11

podemos observar tres tipos de la gran variedad de tintas conductivas, una de base de plata y carbono.

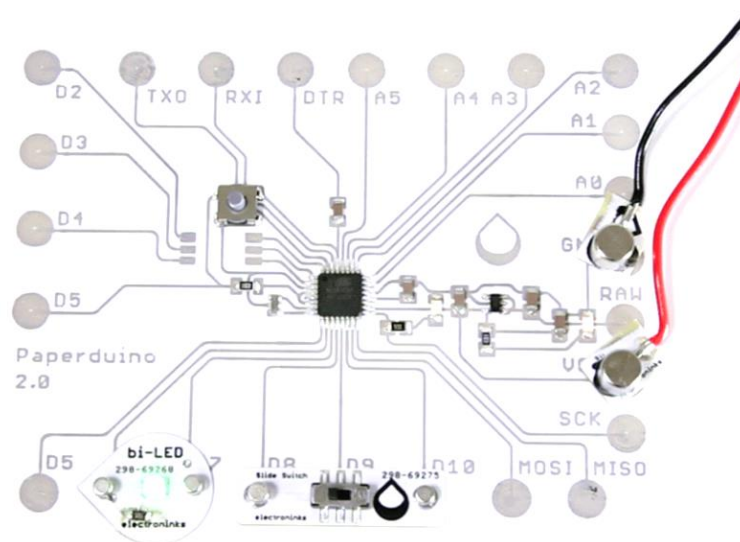


Figura 12. Circuito realizado con esfero Scribe.

Fuente: (ELECTRONINKS, 2015)

Un factor muy importante en el desarrollo de nuevas tintas ha sido la nanotecnología. De hecho, gracias a ella, hoy en día se pueden encontrar en el mercado una gran variedad de tintas que utilizan diferente materia prima entre ellos tenemos: el grafeno, nanotubos de carbono, cobre y plata con lo que se construyen nanocables. (3NEO, 2010)

2.3.1. Principio de funcionamiento.

Dentro de las tintas conductivas existe una gran variedad de materia prima que se utiliza para fabricar las mismas, entre ellos tenemos: plata, carbono, grafeno, partículas de cobre, etc. Cada una de ellas parte del mismo principio para hacer posible su conductividad eléctrica.

Las tintas conductivas están compuestas químicamente por un material conductor, que permite conducir la energía eléctrica, el porcentaje de composición de este material dentro de la tinta así como el mismo material, determinan el coeficiente de resistividad. En la imagen 13 podemos observar la mezcla de los

distintos tipos de químicos que determinan la densidad, viscosidad, resistividad y características generales del producto. No se puede obtener la composición exacta debido a que están guardadas por procesos de patentes y derechos de autor. Sin embargo se sabe que están compuestos por pequeñas partículas de material conductor, que es el que permite la transferencia de señales eléctricas a través del circuito, en la figura 13 se observa la composición química de una de las tintas más famosas en el mercado.



Figura 13. Compuesto químico de Tinta Scribe.

Fuente: (ELECTRONINKS, 2015)

El coeficiente de resistividad es la medida resistiva que tiene una medida superficial de la tinta. Lo ideal es que este coeficiente sea cero o muy próximo a cero, de esta manera tendremos una mínima influencia en el circuito electrónico que se diseñe o se esté creando con la tinta.

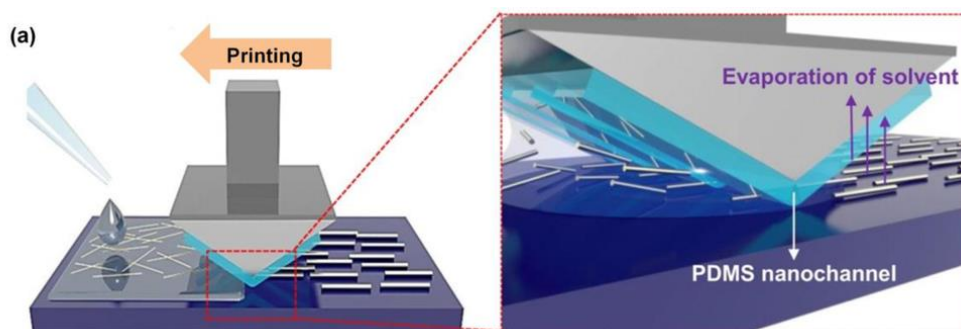


Figura 14. Representación de proceso de impresión en tintas conductoras.

Fuente: (ELECTRONINKS, 2015)

2.3.2. Análisis de mercado

Dentro de la cantidad de marcas con las que se puede trabajar, se han escogido 2 empresas para la selección del material más idóneo para nuestra aplicación.

Estas marcas son Henkel's y Methode Electronics. En el capítulo 3 se hace un análisis sobre la elección de la tinta más adecuada para la construcción de nuestra impresora.

2.4. MÉTODOS DE MANUFACTURA PARA LA FABRICACIÓN DE PCBS

A continuación se presenta una pequeña tabla con las principales características de las técnicas de manufactura de circuitos electrónicos.

Tabla 2
Métodos de manufactura para la fabricación de PCBs

Denominación	Costo	Precisión	Tiempo de fabricación.	Accesibilidad	Suma Total
Tinta indeleble	1	5	1	2	9
Por planchado	2	4	1	1	8
Serigrafía	3	3	3	5	14
Fresado CNC	4	2	5	3	14
Servicio Profesional	5	1	4	4	14

En la tabla 2 se hace una calificación de 1 a 5 a los principales métodos de manufactura existentes. Se califica con 1 a la mejor opción, como por ejemplo: mejor costo, mejor precisión, más asequible, etc.

Es importante notar que el proceso de fabricación por planchado es sin duda el método de manufactura más usado dentro de los establecimientos educativos de ingeniería por las características que se destacan en la tabla 1. Lastimosamente el uso de este método se limita cuando se quiere trabajar con placas que requieren mayor precisión y que además se necesitan hacer con rapidez.

El proceso de fabricación para PCBs de tipo SMD es a través de servicio profesional, en procesos como CNC router, Serigrafía, HDI o de alta densidad, LDI en doble capa, etc. Este tipo de procesos resultan ser bastante costosos y además se requiere una base de conocimientos para el diseño del PCB, y sobre todo el tiempo de fabricación puede llegar a ser varias semanas.

2.4.1. Clasificación de PCBs

En el mercado existen una cantidad exuberante de placas electrónicas, la industria electrónica ha crecido inmensurablemente los últimos años, esto a dado lugar al desarrollo de nuevas tecnologías para la creación de placas electrónicas.

A continuación se puede apreciar una clasificación realizada en base a los usos más comunes de las placas electrónicas.

2.4.1.1. Clasificación por su rigidez

- **Rígido.** La mayor parte de las placas electrónicas del mercado son de un material rígido, uno de los materiales más usados en el mercado es FR4 o comúnmente llamado fibra de vidrio.
- **Flexible.** La cantidad de placas que se generan en materiales flexibles cada vez va en aumento, también llamado FPC este tipo de placas se pueden encontrar en cámaras digitales, teléfonos celulares, consolas de juegos, etc.
- **Mixto.** En gran parte de las aplicaciones se requiere el uso de la mezcla de los dos tipos de placas como se puede observar en la figura 15 la mezcla de los dos tipos de placa.

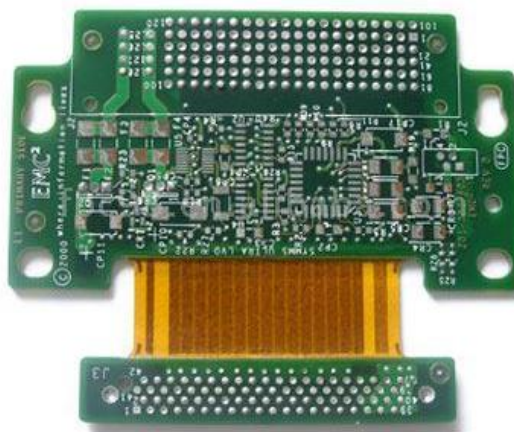


Figura 15. Placa de fabricación mixta.

Fuente: (SMT SHARING, 2013)

2.4.1.2. Por su complejidad

- **Un solo lado.** Las placas de mayor uso en el ámbito estudiantil, este tipo de placas se caracterizan por tener el material en una sola cara, generalmente viene una capa de cobre adherido sobre un material plástico como baquelita o FR4.
- **Doble lado.** A diferencia de la anterior este tipo de placas trae adherido la capa conductiva en las dos caras de la placa, son las más usadas en la fabricación de equipos electrónicos como router, radios, lavadoras, y todo tipo de electrodomésticos. Su diseño se vuelve más complejo que en el de una sola capa debido a la necesidad de PTH que es la metalización de los agujeros que conectan ambas capas conductivas en ciertos puntos específicos
- **Multicapa.** Mucho más complejo que la fabricación de doble lado, para la fabricación de este tipo de placas se requiere maquinaria industrial bastante costosa, ya que este proceso requiere la superposición de capas de cobre y material aislante, todas estas capas se encuentran conectados por agujeros metalizados denominados PTH. Se puede fabricar hasta 6 capas de ruteado.
- **HDI.** Al igual que la anterior estas placas pueden contener muchas placas que se conectan a través de PTH, la importancia de este tipo de placas radica en la eficiencia y en el tamaño, la fabricación de estas placas se realiza con láminas muy finas y permite crear placas con un gran número de capas, gracias a este tipo de placas es porque hoy en día los Smartphone pueden ser tan delgados.

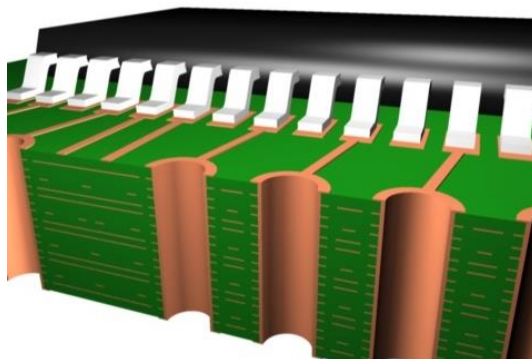


Figura 16. Placa de fabricación HDI

Fuente: (SMT SHARING, 2013)

2.4.1.3. Por su acabado superficial

- **HASL.** El proceso de acabado más económico consiste en sumergir la placa en un baño de material soldable como el estaño, en el cual todas las pistas quedan cubiertas del mismo para su posterior soldado de componentes.
- **OSP.** Consiste en aplicar una fina capa de material orgánico que cubre la toda la placa excepto los espacios donde se ubicarán los pines de los componentes electrónicos, es decir los puntos de soldadura.
- **ENIG.** Es la aplicación de dos capas una de níquel sobre el cobre y una superior muy fina generalmente de oro que protege al níquel de la oxidación, en la figura 17 se puede observar una placa electrónica con el acabado ENIG, este tipo de acabados se utilizan en placas que son expuestas a ambientes propensos a oxidación.

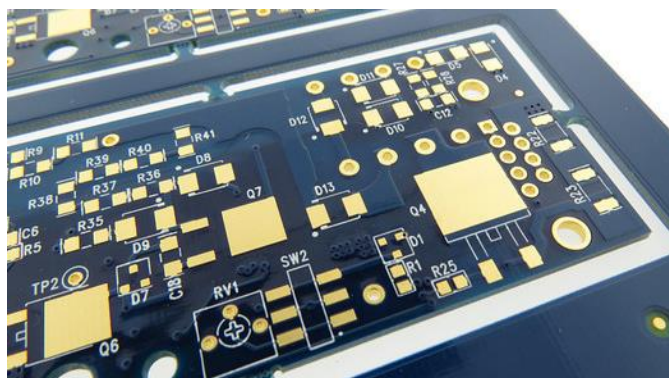


Figura 17 Placa de fabricación HDI

Fuente: (SMT SHARING, 2013)

2.5. HITOS REPRESENTATIVOS DE LA IMPRESIÓN 3D

Enumerar los hitos importantes de la impresión 3D sería un proceso largo, pues en verdad existen una gran cantidad de aplicaciones en las que se ha inmerso la tecnología 3D.

2.5.1. Primera máquina de impresión 3D. (1992)

El primer hito es la creación de la primera máquina 3D, creada por Chuck Hull, el fundador de 3D Systems, también representativo cuando salió a la venta dicha máquina en el año de 1992. Esta máquina era capaz de imprimir a través de la solidificación de una resina líquida que contenía en un recipiente como se puede observar en la siguiente. Esta tecnología se denomina SLA (detallada anteriormente en este capítulo).



Figura 18. Chuck Hull fundador de 3D Systems.

Fuente: (3D Systems, 2015)

2.5.2. Impresión de un riñón funcional. (2002)

En el año 2002 el instituto "Wake Forest Baptist Medical Center", en California EEUU se desarrolló el primer riñón en miniatura, totalmente funcional. Dicho riñón tenía la capacidad de filtrar sangre y producir orina diluida. En la figura 19 se puede apreciar el riñón, pues este fue impreso en 3D a partir de la deposición de células.



Figura 19 Riñón creador por el equipo en California.

Fuente: (sophimania, 2013)

2.5.3. Nacimiento del proyecto RepRap. (2005)

2005- En este año nació el proyecto RepRap dirigido por el Dr. Adrian Bowye. RepRap es una iniciativa de código libre que pretende realizar una impresora 3D auto replicable, cosa que sin duda lo logro, pero lo más importante del proyecto RepRap es que el uso de licencias libres dio paso a que gente de todo el mundo pueda hacer uso de planos e incluso replicar la impresora sin tener que pagar ningún costo por honorarios o algo por el estilo.

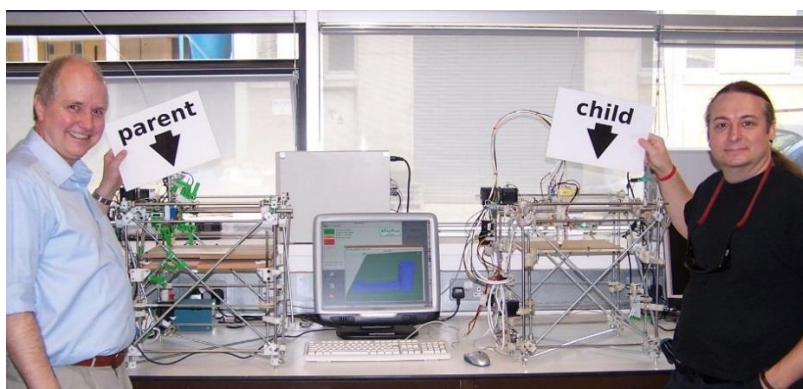


Figura 20. Adrian Bowye junto a la primera impresora autoreplicada.

Fuente: (RepRap, 2016)

El uso de la licencia libre fue sin duda el éxito del proyecto RepRap ya que sucesivamente al proyecto nacieron muchas empresas que utilizaron los diseños para crear sus propios diseños; ellos a su vez se vieron obligados a subir los diseños de igual manera ya que en la licencia libre se estipula que ningún diseño creado con base RepRap puede esconderse o dejar de compartirse. En la figura 21 se puede

observar algunas impresoras comerciales que utilizaron como base el proyecto RepRap.



Figura 21. Impresoras comerciales basadas en proyecto RepRap

Fuente: (3DPRINT, 2015)

2.5.4. Revolución en la fabricación de prótesis. (2008)

La producción de prótesis evolucionó de gran manera, se han creado una infinidad de prótesis totalmente funcionales e incluso han nacido iniciativas dirigidas exclusivamente a la fabricación de prótesis alrededor del mundo, estas iniciativas pretenden unir a la mayor parte de universidades de todo el mundo para que impriman prótesis y las otorguen de manera gratis a personas que las necesitan.

Empresas de impresión 3D como Zortrax han creado diseños libres de modelos de prótesis los mismos que pueden ser impresos por cualquier impresora 3D e incluso realizar mejoras o cambios sobre los diseños.



Figura 22 Entrega de prótesis basada en el personaje IronMan.

Fuente: (Robert Downey Jr. and Albert Manero, 2015)

2.5.5. Primer carro impreso en 3D. (2011)

Urbee se nombra en 2011 al primer carro impreso en 3D, con toda su carrocería impresa en una máquina de gran volumen. La empresa Kor Ecologic presenta este prototipo como una alternativa para el medio ambiente, ya que además este coche es eléctrico y se puede personalizar el diseño acorde al cliente. El costo estimado de este vehículo es de 20000 dólares aunque aún no ha salido a la venta.



Figura 23. Primer Carro impreso en 3D.

Fuente: (korecologic, 2013)

2.5.6. Voxel 8 impresora que imprime con material conductivo (2015)

Se crea la primera impresora que aborda el tema de circuitos electrónicos, VOXEL 8 se llama la impresora que tiene la capacidad de imprimir en plástico y en un material conductivo al mismo tiempo. Se fabricó la impresora con el objetivo de crear dispositivos mixtos como drones o juguetes que tengan incorporado la parte electrónica dentro de la impresión 3D, esta impresora nació como una iniciativa en el portal KickStarter donde tuvo una excelente acogida. En la figura 24 se puede apreciar un modelo impreso por esta máquina. El costo de la máquina oscila entre los 9000 y 17000 dólares americanos según la versión que requiera.

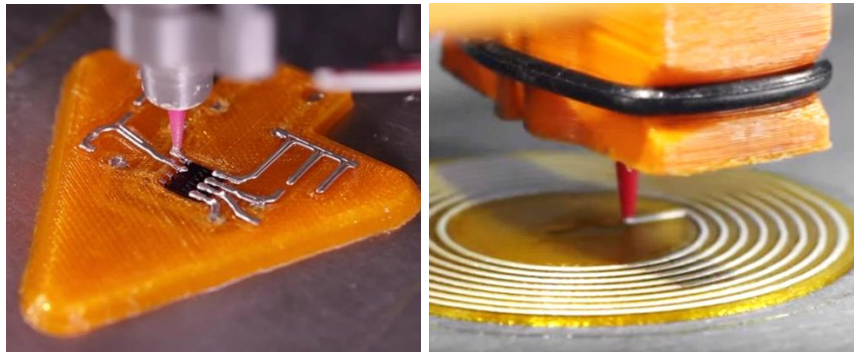


Figura 24 Impresora Voxel 8 en proceso de impresión 3D

Fuente: (Voxel8, 2016)

VOXEL es una impresora 3D que tiene doble extrusor en uno de ellos imprime plástico y en el otro imprime material conductor (estaño), al mismo tiempo, los elementos electrónicos son añadidos manualmente durante el proceso de impresión 3D.

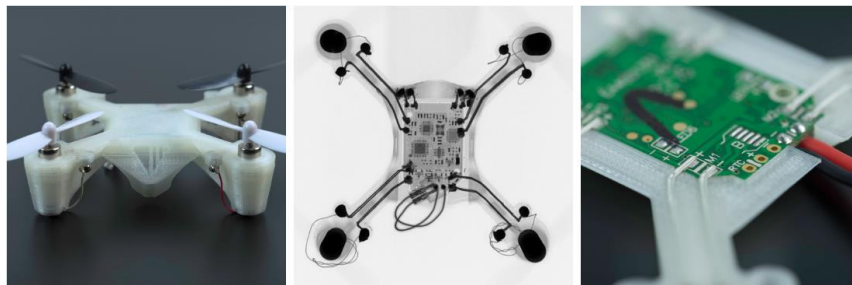


Figura 25 Drone impreso en 3D por la impresora Voxel

Fuente: (Voxel8, 2016)

RESUMEN

La impresión 3D es una tecnología que permite crear diferentes tipos de objetos en tres dimensiones, su principio de funcionamiento es la superposición de capas, estas capas son creadas generalmente por un actuador que deposita el material en la posición correspondiente.

Existe una gran cantidad de tecnologías de impresión 3D, algunas se destacan por resolución de las piezas, y otras por su bajo costo. Las impresoras con tecnología de FDM (Modelador por Deposición Fundida) son sin duda las más asequibles por su costo y por el desarrollo libre, cuando se investiga sobre este tipo de tecnología es sencillo encontrar gran cantidad de información, que permite poder crear nuevos proyectos o mejoras sobre impresoras ya creadas.

La impresión 3D ha evolucionado inmensurablemente los últimos años, abriéndose campo en nuevas aplicaciones, actualmente podemos encontrar impresoras que tienen la capacidad de imprimir la carrocería de un auto o impresoras que trabajan con materiales orgánicos y permiten imprimir órganos totalmente funcionales

El método de fabricación más utilizado dentro de sectores educativos y áreas de ingeniería es el proceso de planchado, cuando se usa este método correctamente se obtienen excelentes resultados, sin embargo, este método no es el más efectivo cuando se requiere fabricar placas electrónicas de tipo SMD que requieren una precisión bastante alta.

Actualmente el mercado de tintas conductivas es amplio, existen tintas que pueden ser usadas como un esfero, otras tintas que permiten trabajar sobre materiales flexibles, algunas utilizan una combinación de plata, carbono y otros materiales. La mayoría de estas tintas presentan una resistividad menor al cobre lo que limita en parte el campo aplicativo, aun así son una muy buena opción cuando se necesita fabricar una placa en poco tiempo y sin muchos recursos.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA IMPRESORA

El capítulo aborda el proceso de diseño de la impresora 3D y los parámetros que se usaron para la construcción. También se realiza un análisis de selección de los componentes mecánicos, eléctricos, sistemas de control y software que conforman la impresora. Por último un análisis estático y térmico para asegurar la funcionalidad.

3.1. PARÁMETROS GENERALES DE DISEÑO

En primera instancia la impresora se diseñó considerando los diferentes elementos que se pueden encontrar en el mercado local. Sin embargo no se descarta la adquisición de componentes en el extranjero.

Tabla 3.

Parámetros generales para la impresora 3D

Parámetros	Detalle
Tamaño de la impresora	Menor a 500x500x500mm. Las limitaciones sobre las dimensiones de la máquina no son totalmente estrictas, es decir que están abiertas a posibles cambios si se requiere.
Área de trabajo	Mínima de 100x100mm. El área de trabajo se ha establecido por la fabricación de placas tipo SMD, y estas son relativamente pequeñas
Usabilidad	PLUG AND PLAY. Se establece que para el uso de la máquina no requiera ningún tipo de mantenimiento inicial como calibración manual o cargar algún tipo de firmware, debe ser tan sencillo como conectar y usar.
Consumo energético	110V. Se trabajará con la línea energética doméstica y una regulación de voltaje DC entre 12 y 24V.
Diseño estético	NO visualización de componentes. Se tomará en cuenta que en el diseño no queden componentes con accesibilidad al usuario y también

	que lleve un diseño minimalista.
Consumibles	Tinta conductiva.
Extrusor	Temperatura de trabajo de 10C a 45C El extrusor debe tener la capacidad de soportar las condiciones adecuadas para la extrusión de tinta conductiva
Cama caliente	Temperatura mínima de 200C La base sobre la que se va a asentar la placa debe tener la capacidad de resistir altas temperaturas sin afectar a el resto de componentes de la impresora
Repetibilidad y precisión	Mínima de 0.1mm Como la fabricación es para placas de tipo SMD se requiere que la precisión sea suficiente para fabricar líneas de conexión muy pequeñas y que no se toquen en ningún punto.
Software de uso	Licencia libre
Software de control	Licencia libre

3.2. MATRIZ QFD

La matriz QFD (Quality Function Deployment) (Quality Progress, 2003). Es un proceso que nos permitirá asegurar la calidad del producto y que satisfaga las necesidades del consumidor. Esta matriz está diseñada para traducir los requisitos del cliente en requisitos técnicos apropiados para el diseño y la construcción de la impresora.

MATRIZ QFD PARA LA FABRICACIÓN DE UNA IMPRESORA 3D DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS

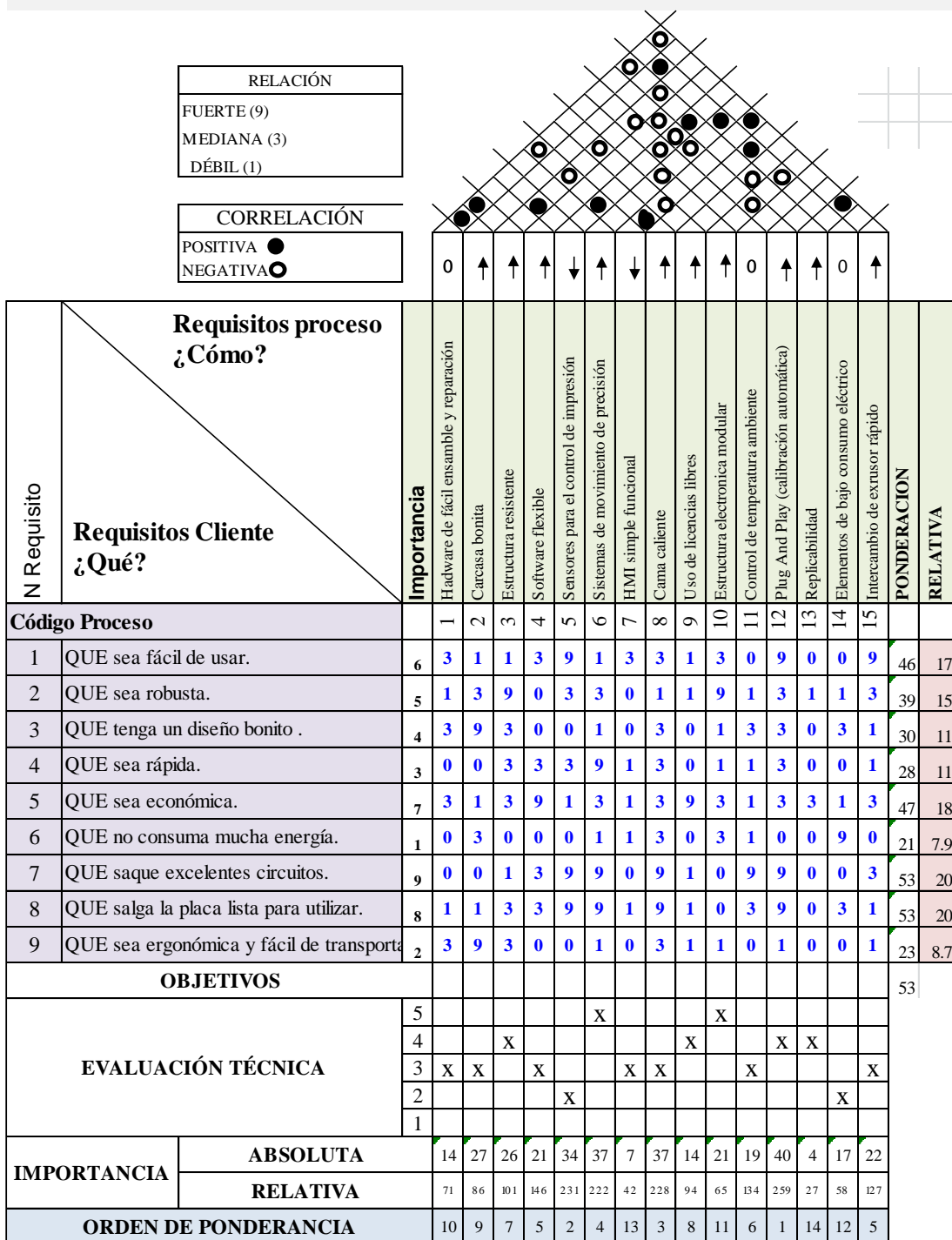


Figura 26 Matriz QFD del producto

Fuente: El autor

Necesidades del usuario

Aquí se detallan los requerimientos del cliente, expresados de forma sencilla. Esto con el objetivo de tener un entendimiento claro de la necesidad del usuario.

¿Cuáles son las características que desea en una máquina de este tipo? es la pregunta que se realizó a potenciales clientes para obtener las necesidades que se detallan a continuación.

- Fácil uso
- Robusta, resistente a pequeños golpes
- Con un diseño estético bonito
- Rápida, tiempo de fabricación menor a una hora
- Económica
- Bajo consumo energético
- Circuitos funcionales
- Sin post-procesos para utilizarla
- Ergonómica y fácil de transportar

Para calificar la importancia de las necesidades del usuario, se tomó en consideración las características de impresoras o máquinas similares que ya se encuentran en el mercado.

Requerimientos técnicos

Son los requerimientos definidos en base a las necesidades del usuario, en otras palabras es la traducción de las necesidades a características técnicas del producto.

- Hardware de fácil ensamble y reparación
- Carcasa bonita
- Estructura resistente
- Software flexible
- Sensores para el control de impresión
- Sistemas de movimiento de precisión
- HMI simple y funcional

- Cama caliente
- Uso de licencias libres
- Estructura electrónica modular
- Control de temperatura ambiente
- Plug And Play (calibración automática)
- Replicabilidad
- Elementos de bajo consumo eléctrico
- Intercambio de extrusor rápido

3.2.1. Análisis de resultados de la matriz QFD

El análisis de la matriz QFD (figura 26) determina cuáles serán los subsistemas de nuestra impresora 3D.

EL análisis de la relación entre las necesidades de los clientes y los requerimientos técnicos permitió definir que necesidades si se deben resolver. En la tabla 4 se detallan las necesidades que se deben resolver con mayor prioridad a la hora de la propuesta del producto.

Tabla 4.

Resultado de la matriz QFD a las necesidades del cliente.

Importancia	Requerimiento
20	Circuitos funcionales
20	Sin post-procesos para utilizarla
18	Económica.
17	De fácil uso
15	Robusta.
11	Con un diseño estético bonito
11	Rápida, tiempo de fabricación menor a una hora
8.7	Ergonómica y fácil de transportar
7.9	Bajo consumo energético

La matriz también hace una correlación entre los requerimientos técnicos, esto permite fortalecerse entre ellos y determinar cuáles son los más idóneos de implementar.

Este método ignora la accesibilidad de componentes en el mercado por lo que ciertos requerimientos técnicos no se pueden implementar, si fuera ese el caso, queda en consideración del diseñador elegir los requerimientos técnicos.

Tomando en cuenta la jerarquía de los requerimientos que se detallan en la tabla 5 se realiza la propuesta del producto, además esto nos permite empezar a delimitar los subsistemas de tendrá nuestro producto.

Tabla 5
Jerarquía de requerimientos técnicos propuestos

Jerarquía	Requerimiento técnico
1	Plug And Play (calibración automática)
2	Sensores para el control de impresión
3	Cama caliente
4	Sistemas de movimiento de precisión
5	Software flexible
5	Intercambio de extrusor rápido
6	Control de temperatura ambiente
7	Estructura resistente
8	Uso de licencias libres
9	Carcasa bonita
10	Hardware de fácil ensamble y reparación
11	Estructura electrónica modular
12	Elementos de bajo consumo eléctrico
13	HMI simple funcional
14	Replicabilidad

3.2.2. Propuesta de producto

Con el análisis de la matriz QFD se establece la propuesta de la impresora 3D con las siguientes características:

- Software fácil de usar, bastante amigable con el usuario.
- No va a requerir de calibración de sus ejes.
- Se contemplará el diseño conceptual para que tenga una buena presentación, y que sea relativamente pequeña.
- Los sistemas de movimiento estarán definidos por sistemas de alta precisión
- Tendrá una cama caliente como base de impresión.
- El extrusor puede ser intercambiable incorporando sistema de cambios con imanes.

3.2.3. Determinación de subsistemas

En la tabla 6 se establecen los subsistemas, resultado de la matriz QFD.

Tabla 6.

Subsistemas definidos para la impresora 3D

Subsistema	Función
Extrusión	Es el subsistema encargado de la deposición del material en la placa
Movilidad	Comprende los motores encargados de la generación de movimiento y el sistema de transmisión de movimiento.
Control	En este subsistema se encuentra el software, firmware y tarjeta electrónica que controla todos los sensores y actuadores de la impresora.
Alimentación	Es la fuente que se encarga de suplir de energía a todos los componentes de la impresora.
Mesa de trabajo	Es la base o también llamada “cama caliente” sobre la cual se encontrara nuestra placa a trabajar.
Estructura	Aquí se encuentra toda la estructura de la impresora y la carcasa. Aquí se define el método de manufactura con el que se fabricará la impresora.

3.3. DISEÑO CONCEPTUAL

Como se mencionó en la propuesta del producto es necesario contemplar el diseño conceptual para que la impresora cumpla las necesidades del usuario. La selección del diseño conceptual se realizó a través de encuestas a los usuarios.

Las propuestas del diseño conceptual se realizaron luego de haber seleccionado el método de manufactura. El análisis de selección se puede observar en el punto 3.5.

Los modelos fueron desarrollados con enfoque a un diseño minimalista. En la figura 27, 28 y 29 se puede observar los 3 diseños propuestos.

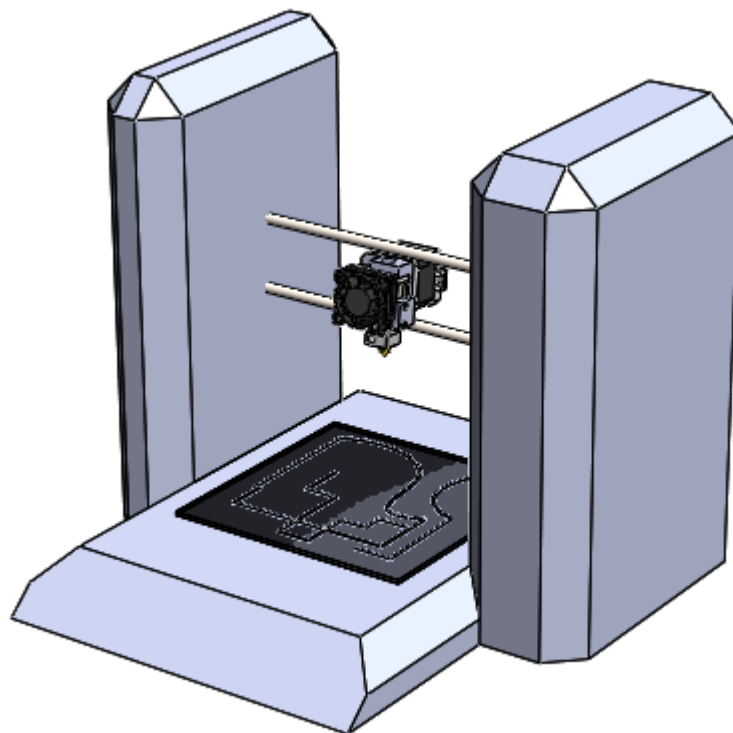


Figura 27 Modelo conceptual uno

Fuente: El autor

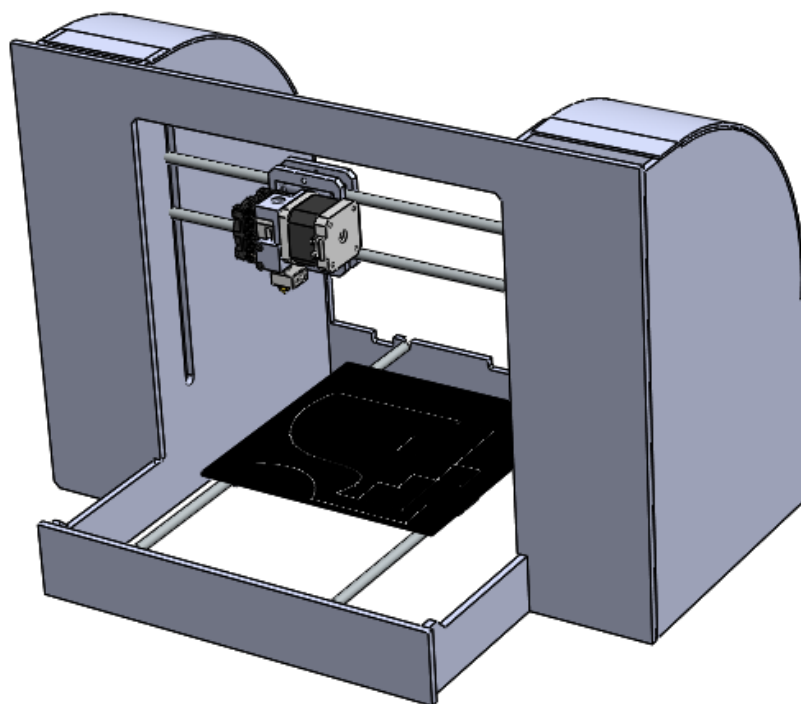


Figura 28 Modelo conceptual dos

Fuente: El autor

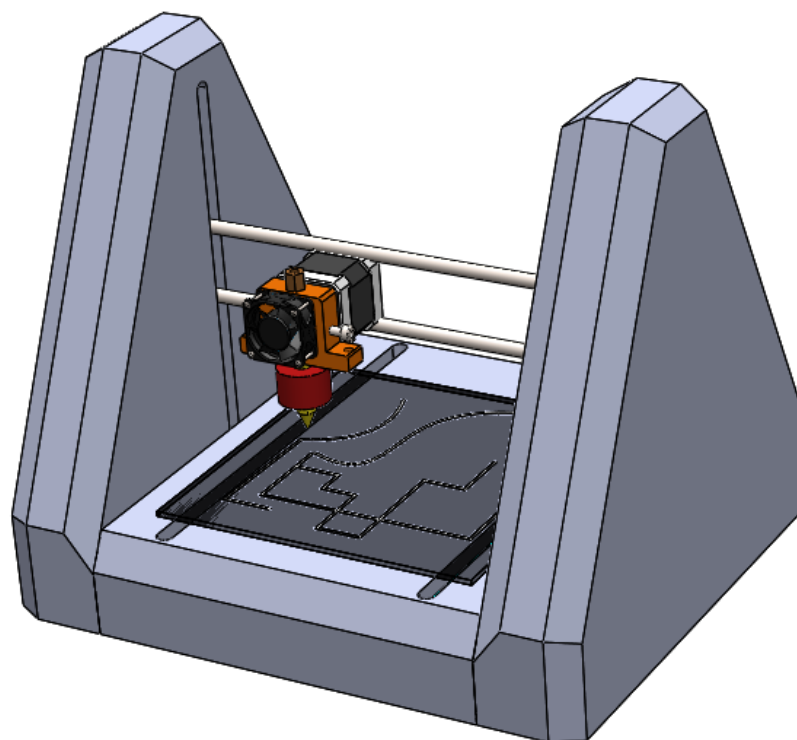


Figura 29 Modelo conceptual tres

Fuente: El autor

Para la selección del diseño a trabajar, se realizaron encuestas a 20 personas entre 18 y 40 años, estas encuestas fueron realizadas online e impresas. En la tabla 7 se presentan los resultados.

Tabla 7.

Resultados a encuestas realizadas a usuarios entre 18 y 40 años

Modelo Conceptual	¿Cuál diseño le parece más estético?	¿Te gustaría tener una de estas máquinas?	Total
Modelo uno	3	1	4
Modelo dos	2	1	3
Modelo tres	13	5	18
Ninguno	2	0	2

Determinado el modelo conceptual a trabajar, se realizó un análisis sobre los posibles materiales con los que se puede trabajar, concluyendo que el material para el trabajo es el acrílico de color blanco lechoso. (El análisis de selección del material y método de manufactura lo puede revisar en la sección de selección de componentes)

Finalmente con los materiales definidos se elabora un diseño conceptual final.

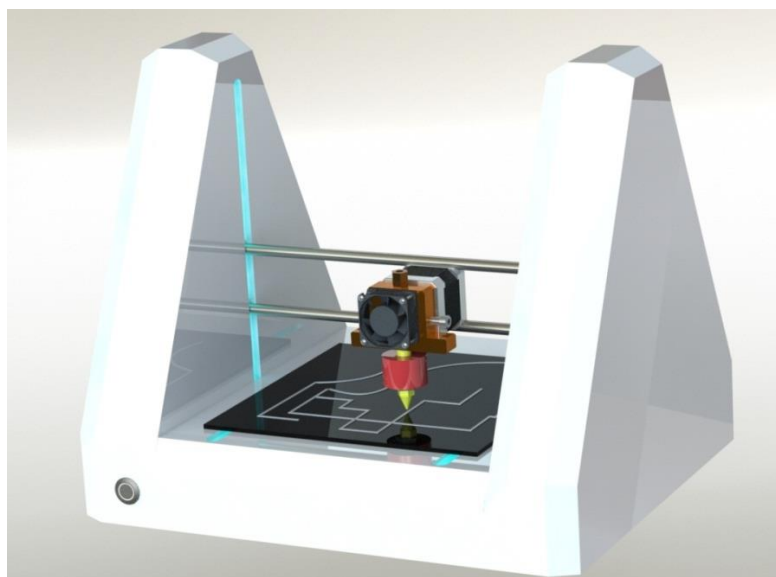


Figura 30 Diseño conceptual propuesto para la construcción

Fuente: El autor

3.4. SELECCIÓN DE COMPONENTES

Las alternativas de componentes para los subsistemas se propusieron haciendo referencia a los materiales que usan las máquinas de impresión 3D, también de la empresa SAIS3D y docentes especializados en el área de manufactura.

La relación de los componentes con los requerimientos técnicos determina el orden de selección de los subsistemas, es decir primero se elegirá los componentes que suplan la mayoría de los requerimientos. En la tabla 8 se observa el orden de selección.

Tabla 8
Orden de selección de subsistemas.

Orden de selección	Subsistema
1	Movilidad
2	Extrusión
3	Mesa de trabajo
4	Control
5	Alimentación
6	Estructura

3.4.1. SUBSISTEMA DE MOVILIDAD

3.4.1.1. Motores

Las alternativas propuestas se hacen en base a estudio de máquinas similares.

Dentro de la gran cantidad de motores existentes en el mercado empezamos seleccionando los motores eléctricos, descartando a motores hidráulicos y neumáticos por el dimensionamiento de fuerza.

Los posibles motores que pueden ser usados para la fabricación de la impresora son:

- Motores a pasos
- Servomotores

- Motor DC
- **Motores a pasos**



Figura 31 Motor a pasos Nema 17

Fuente: (GEEETECH, 2017)

El motor a pasos o también llamado motor paso a paso, se caracteriza por el movimiento rotacional por pequeños incrementos, generados por la energización de sus bobinas.

Seleccionaremos el motor Nema 17, un motor de gran demanda en la industria de impresoras 3D, cabe recalcar que existen muchos dimensionamientos de este tipo de motores, es decir hay algunos que tienen mayor torque que otros, dicho esto, se trabajara con las características del motor Nema 17 de la empresa GEEETECH.

Ventajas	Desventajas
Posicionamiento sin necesidad de sensores	Velocidad de trabajo baja
Económico	Sin posición inicial
Asequible en el mercado nacional	
Usabilidad con muchos drivers	
Alto torque	
Voltaje de trabajo de 12 V y 24 V	

- **Servomotores**



Figura 32 Servomotor Dynamixel

Es un actuador similar a un motor dc, pero este tiene una caja de reducción que aumenta el torque y es capaz de ubicarse en una posición angular específica. El motor seleccionado para este caso es el Dynamixel AX-12A, un motor bastante usado en la industria de la robótica, y se caracteriza por tener un sistema de rotación continua que le permite trabajar en rotación constante.

Ventajas	Desventajas
Posicionamiento sin necesidad de sensores	Velocidad de trabajo muy baja
Control de posición inicial	Moderadamente costoso
Muy alto torque	No asequible en el mercado nacional
Usabilidad	
Voltaje de trabajo de 12 V	

- **Motores DC**



Figura 33 Motor DC Brushless

Fuente: (Ningbo Micro Planetary, 2016)

El más común de todos los motores, es un actuador electro mecánico que convierte la energía eléctrica en un movimiento de rotación continua. Generalmente funcionan a altas revoluciones y bajo torque, es por ello que casi siempre vienen acompañados de un sistema de reducción que permite aumentar el torque y disminuir la velocidad.

Para este caso hemos escogido un motor de la casa comercial Ningbo Micro Planetary, un motor con características ideales para el trabajo con máquinas tipo CNC, con velocidades de trabajo desde 160 a 1000 rpm.

Ventajas	Desventajas
Altas velocidades de trabajo	Difícil control de velocidad
Amplio rango de velocidades de trabajo	Costoso
Muy alto torque	No asequible en el mercado nacional
	Posicionamiento requiere sensores
	Sin control de posición inicial

Tabla 9.

Ponderación de criterios de evaluación para el motor

Parámetro de selección	Motores a pasos	Servomotores	Motor DC
Costo	5	2	3
Precisión	4	5	1
Controlabilidad	5	3	2
Asequibilidad	5	2	3
Control de posición	4	5	1
Fuerza	3	4	5
PONDERACIÓN	26	21	15

De la tabla 7 se determina que la mejor opción en subsistema de movilidad son los motores a pasos, como habíamos determinado en el análisis la selección se hizo con **el motor Nema 17** de la empresa GEETECH.

3.4.1.2. Transmisión de Movimiento

Esta parte del subsistema se encarga de transmitir el movimiento a de los motores a los componentes móviles. Para estos sistemas se propusieron los más comunes en el uso de esta maquinaria:

- Banda dentada
- Tornillo sin fin
- Husillo de bolas

No hay que descartar, que se puede usar una combinación de dos o más sistemas de transmisión; incluso se puede realizar un juego de poleas o reducción de transmisión si fuera necesario.

- **Banda dentada**



Figura 34 Sistema de transmisión por banda dentada

Fuente: (Industrial de Empaque, 2015)

El sistema de transmisión por bandas es uno de los más comunes en la industria de las impresoras 3D, dentro de ellas hemos escogido la banda GT2 que tiene un módulo bastante común de trabajo.

Ventajas	Desventajas
Económica	Transmisión de fuerza baja
Módulo flexible (Usabilidad)	Ajuste por tensión
Asequible en el mercado nacional	
Transmisión directa con el eje del motor	
Precisión de 0.1mm	
Trabaja a un alto rango de velocidades	

- **Tornillo sin fin**



Figura 35 Tornillo sin fin de rosca cuadrada

Fuente: (GEEETECH, 2017)

El sistema de transmisión más usado en máquinas CNC de bajo costo, presenta una gran ventaja para trabajar con ejes de larga longitud. Son ideales cuando se trabaja con elementos que requieren soportar el peso de los actuadores.

En esta ocasión se escogió el tornillo sin fin de rosca cuadrada de paso 2mm, que se encuentra en stock en la tienda SAIS3D.

Ventajas	Desventajas
Resolución menor a 0.1mm	No cede a desviaciones de estructura
Económico	Velocidades medianas
Transmisión de fuerza alto	
Asequible en el mercado	
Mayor robustez	
No necesita de apriete	

- **Husillo de bolas**

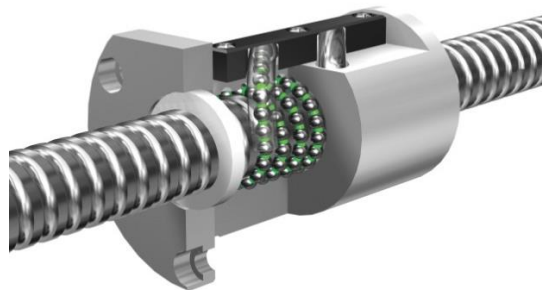


Figura 36 Tornillo de bolas

Fuente: (mhestore, 2016)

Similar al sistema de tornillo sin fin, el carro o sistema móvil tiene interiormente un conjunto de bolas que permiten el movimiento traslacional y evitan el juego entre el tornillo y el carro. Este sistema es muy común en máquinas industriales de alto costo ya que presenta una gran ventaja sobre la precisión del movimiento.

Se escogió el husillo SFU1204 que tiene un diámetro de 12mm y una rosca de paso 0.4mm uno de los más económicos y dimensionado para la aplicación que se requiere..

Ventajas	Desventajas
Resolución menor a 0.01mm	No cede a desviaciones de estructura
Trabajo a velocidades altas	Muy costoso
Transmisión de fuerza muy alto	No asequible en el mercado
Máxima robustez	
Trabajo continuo	
No necesita de apriete	

Tabla 10.

Selección de transmisión de movimiento

Parámetro de selección	Banda dentada	Tornillo sin fin	Husillo de bolas
Costo	5	4	2
Precisión	2	4	5
Transmisión de fuerza	2	4	5
Asequibilidad	5	4	2
Velocidad de trabajo	3	4	5
Robustez	2	4	5
PONDERACIÓN	19	24	24

En la tabla 8 se tiene un empate entre los sistemas de tornillo sin fin y husillo de bolas, lo ideal sería trabajar con el husillo de bolas porque este sistema presenta mayor robustez y precisión. Sin embargo en este caso construiremos la impresora **con tornillos sin fin** por los parámetros de costo y accesibilidad.

3.4.2. SUBSISTEMA DE EXTRUSIÓN

En esta sección abordaremos los posibles mecanismos de extrusión del material, hay que tomar en cuenta que se va a trabajar con un material que es costoso

3.4.2.1. Mecanismo del extrusor

La posibilidad de un extrusor con un actuador por empuje externo queda descartada porque requiere una gran cantidad de material para ser transportada hasta la punta. Únicamente son aptos de implementación los sistemas que sean de extrusión directa.

- Mecanismo tipo jeringa
- Roll on
- Extrusión continua

- **Mecanismo tipo jeringa**



Figura 37 Mecanismo tipo jeringa para la extrusión de material

Fuente: (Zapta, 2015)

Este mecanismo es idéntico al funcionamiento de una jeringa, tiene una sección de almacenamiento de material y un pistón empuja este material que sale a través de una abertura más pequeña. El empuje del pistón se hace a través de un motor con el sistema de tornillo sin fin.

Ventajas	Desventajas
Económico	No se puede retraer el material
Simple de implementar	Riesgo de caída del material por gravedad
Precisión de empuje	Riesgo de quiebre de punta
Control de flujo exacto	
Puntas con diámetro intercambiable	
Fácil limpieza y recarga de material	

- **Roll on**

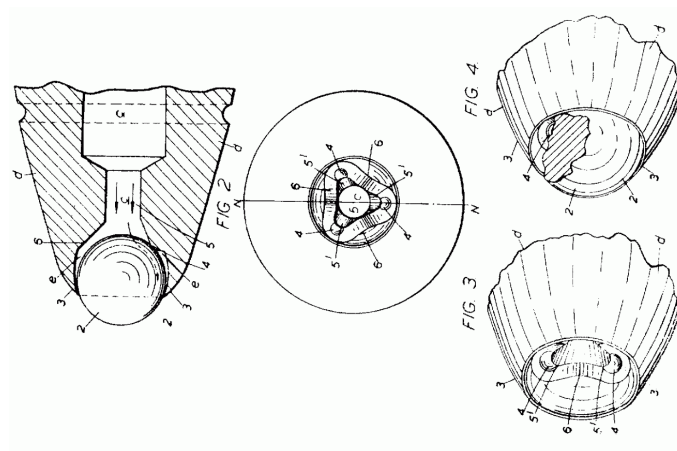


Figura 38 Sistema de deposición de material roll on

Fuente: (GEEETECH, 2017)

Este sistema está inspirado en el funcionamiento de un bolígrafo; una parte de la esfera siempre está en contacto con el material mientras deja una capa de material en la superficie de contacto. Se usa cuando se desea obtener finas capas de material.

Ventajas

Económico
 Capa fina de material
 Sin riesgo de caída del material por gravedad
 Sin riesgo de quiebre de punta

Desventajas

No se puede retraer el material
 No se asegura un grosor de línea constante
 Difícil de implementar
 Densidad del material debe ser exacta
 Riesgo de discontinuidad de línea

- **Extrusión continua**

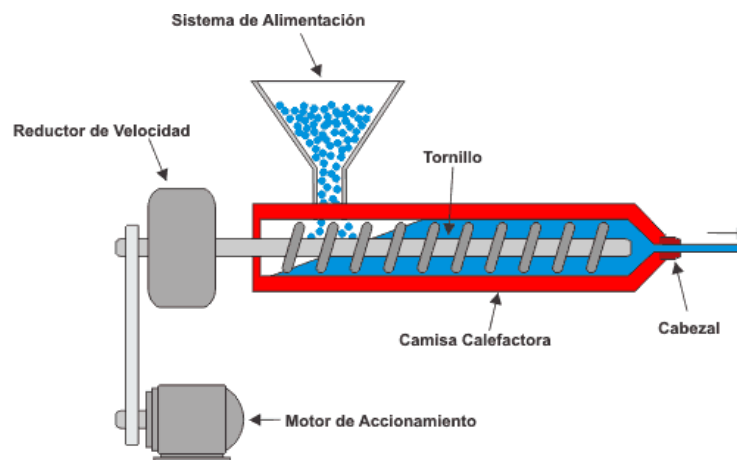


Figura 39 Extrusión continua por tornillo

Fuente: (mhestore, 2016)

El funcionamiento es por el empuje continuo de material dentro del contenedor.

Ventajas

Desventajas

Sin riesgo de quiebre de punta	Riesgo de caída del material por gravedad
Se puede retraer el material	Riesgo de burbujas o espacios vacíos
Se asegura un grosor de línea constante	Difícil de implementar
Se asegura una altura de capa constante	Costoso
	Sistema complejo de limpieza

Tabla 11.

Selección del mecanismo para la extrusión

Parámetro de selección	Mecanismo tipo jeringa	Bola de esfero	Extrusión continua
Costo	5	1	3
Precisión	5	3	4
Construcción	5	1	2
Desperdicio de material	4	5	2
Versatilidad	5	4	3
PONDERACIÓN	24	14	14

Como se puede observar en la tabla 9, existe un gran diferencia entre las 3 posibilidades de construcción, por lo que el **mecanismo tipo jeringa** es el que se utilizará en la construcción del extrusor.

3.4.3. SUBSISTEMA DE MESA DE TRABAJO

Este subsistema está encargado de la base caliente sobre la cual se va a soportar las placas que se van a fabricar.

3.4.3.1. Base Caliente

Esta base caliente debe soportar al menos 200C debido al requerimiento de sinterización del material que se deposita en la placa, además debe tener una capacidad de enfriamiento rápida para poder trabajar con el tiempo de sinterizado.

Debido a la inexistencia de camas calientes con las características requeridas, es necesario la construcción de una cama caliente, el análisis de elegibilidad se realizará en torno a la posibilidad de trabajar con voltaje DC o AC.

- Base resistiva DC 12-24V
- Base resistiva AC 110V
- **Base resistiva DC**



Figura 40 Base caliente 12 a 24 voltios

Fuente: (GEEETECH, 2017)

En la imagen podemos observar el tipo más común de base calientes que utilizan las impresoras 3D, lastimosamente estas camas llegan a temperaturas máximas de 110C, una temperatura muy por debajo de la necesario. El análisis se hace en base a la suposición de una cama construida en aluminio bajo las necesidades requeridas que trabaje en voltaje DC.

Ventajas	Desventajas
Fácil control	Alta demanda de corriente DC
Baja histéresis en la temperatura	Diseño para la distribución de calor
Control único de todo el sistema en DC	
Versátil	

- **Base resistiva AC**

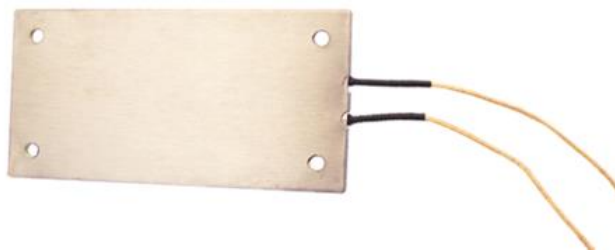


Figura 41 Cama caliente AC 110 V

Fuente: (Termokew)

En la imagen 41 se puede apreciar una niquelina cuadrada para 110V, este tipo de niquelina son fabricadas por algunas empresas, bajo las características que desee el cliente. El análisis se hace en base a la características de una base propuesta por la empresa Omega.

Ventajas	Desventajas
Fácil control	Trabajo combinado de AC y DC
Bajos niveles de corriente	Diseño para la distribución de calor
Excelente distribución de calor	Alta histéresis en la temperatura
	No es versátil
	Requiere dos placas extras para evitar el pandeo

Tabla 12.

Selección de base caliente

Parámetro de selección	Cama resistiva DC	Cama resistiva AC
Costo	5	4
Controlabilidad	4	5
Velocidad de respuesta	5	4
Construcción	5	3
Consumo de energía	3	5
PONDERACIÓN	22	21

En la tabla 12 se observa claramente que la diferencia entre las dos opciones es únicamente de un punto, lo que pone en consideración que cualquier de las dos alternativas puede ser una opción viable de implementar.

En este caso se decidió construir una **base resistiva DC**, pero no se descarta la construcción de una cama resistiva AC si se encuentra algún inconveniente durante la construcción.

3.4.4. SUBSISTEMA DE CONTROL

El subsistema de control se encuentra dividido en 3 partes importantes que son: el firmware, el software, y la tarjeta de control. Todas ellas se relacionan fuertemente y tiene como objetivo comunicar al usuario con la máquina.

Se toma en consideración la compatibilidad con Arduino para cada parte del subsistema de control, debido a la cantidad de información y por mantener licencias libres.

3.4.4.1. Tarjeta de control

Primero se sectorizó el mercado a placas que trabajan con el lenguaje de programación de Arduino

Hay que tomar en cuenta las necesidades específicas que se tienen sobre la impresora, como el número de motores necesarios, sistema de alimentación, cantidad

de sensores, tipo de actuadores e incluso la versatilidad de cambios en la máquina. Sobre todas estas necesidades las placas que pueden suplir estas necesidades que se detallan a continuación:

- GT2560 Tarjeta basada en Arduino Mega
- Ramps 1.4 Shield para Arduino Mega
- Rambo Basado en Arduino Mega

- **GT2560**

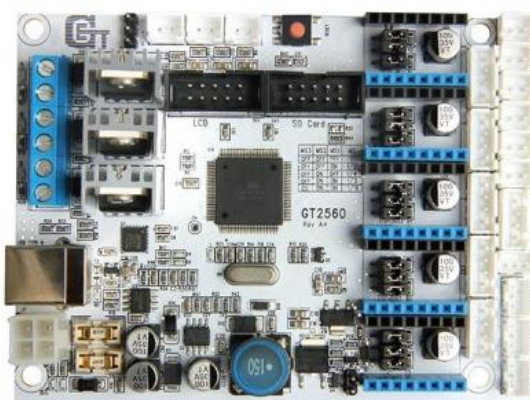


Figura 42 Controlador GT2560

Fuente: (GEEETECH, 2017)

Una tarjeta dedicada para el mercado de impresión 3D, se caracteriza por tener los jacks de conexión segura y una versatilidad para su uso con todo tipo de impresoras 3D. Entre sus características principales tenemos: soporte para 6 motores, 3 actuadores y 6 sensores.

Ventajas	Desventajas
Fácil conexión de componentes	Limitaciones de firmware
Conexión de diferentes driver para motores	Mosfet de control limitados a 10A
Distribución ideal de pines de trabajo	No hay demasiada versatilidad
Económica	
Robusta (sistemas de protección)	

- **Ramps 1.4**



Figura 43 Shield Ramps 1.4

Fuente: (GEEETECH, 2017)

La opción más económica en el mercado a la hora de realizar una máquina tipo CNC. Es un shield que se superpone sobre una placa de Arduino Mega; distribuye los pines de manera en que se pueda colocar drivers controladores, sensores y actuadores con mayor facilidad.

De entre sus características más importantes, está la posibilidad de uso de todos los pines del Arduino Mega. La mayoría de tarjetas más avanzadas son la sinergia de la placa Arduino Mega con el shield Ramps.

Ventajas	Desventajas
Muy económica	No es muy robusta
Conexión de diferentes driver para motores	Mosfet de control limitados a 10A
Usabilidad máxima de la placa	Difícil conexión de componentes (pines simples)
Económica	Necesita el acondicionamiento para sensores y otros componentes
Fácil de conseguir en el mercado local	

- **Rambo**

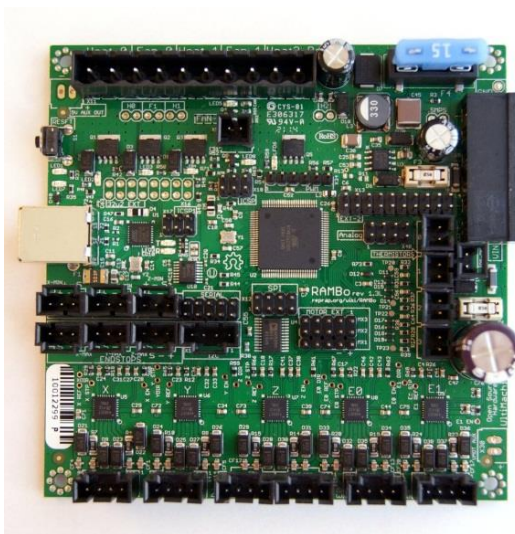


Figura 44 Tarjeta Rambo

Fuente: (Ultimachine, 2017)

Una de las tarjetas más robustas del mercado, se caracteriza por tener sistemas de protección contra cortocircuitos y sobrecorrientes en varias secciones de la placa, además de drivers de motores integrados en la placa que permiten realizar un control de torque a través de programación.

Ventajas	Desventajas
Muy robusta	Costosa
Mosfet para actuadores de hasta 30A	Limitación de cambio de drivers
Fácil conexión de componentes (jacks)	No es muy asequible en el mercado nacional
No requiere acondicionamiento de sensores	Escases de información sobre distribución de pines
Utilización de casi todos los pines del controlador	
Control de torque de motores por software	

Tabla 13.

Selección de tarjeta controladora

Parámetro de selección	GT2560	Ramps 1.4	Rambo
Costo	4	5	2
Controlabilidad	5	4	3
Versatilidad	4	5	3
Accesibilidad	4	5	2
Robustez	4	1	5
PONDERACIÓN	21	20	18

Para la selección del controlador hay que tomar muy en cuenta el factor de robustez, ya que se busca que la máquina se encuentre en un entorno de uso estudiantil e incluso va a ser transportable, es por ello que la robustez es un factor principal de análisis.

La opción Ramps 1.4 queda descartada por su baja ponderación en robustez y se da hincapié a la selección de la tarjeta de control **GT2560**.

3.4.4.2. Firmware

El firmware es el programa que se carga a la tarjeta de control, permite interpretar el código G generado por un software y convertirlo en el movimiento de los ejes y actuadores respectivamente. El firmware es configurable a los requerimientos técnicos del producto, además se pueden incluir clases y librerías para nuevas funcionalidades.

Existen varios firmware de licencia libre que pueden ser utilizados en tarjetas basadas en Arduino, los más usados son los que se detallan a continuación.

- Firmware Marlin 1.0
- Firmware Repetier

- **Marlin**



Figura 45 Logotipo firmware Marlin

Fuente: (EvdZ, 2016)

Basado en el firmware Sprinter, Marlin el firmware oficial del proyecto RepRap. Con licencia GNU GPL v3, permite que cualquier usuario utilice, con la obligación de subir las mejoras o cambios a la plataforma de almacenamiento GitHub. Su uso es común en impresoras cartesianas.

Ventajas	Desventajas
Ideal para impresoras cartesianas	Falta de comentarios en las funciones
Adaptabilidad para muchos software	Compleja inserción de nuevas librerías
Libre sin ningún pago	No tiene un software dedicado

- **Repetier firmware**



Figura 46 Logotipo firmware Repetier

Fuente: (Repetier, 2015)

Se caracteriza por tener un paquete de software dedicado para el uso conjunto de firmware y software. La empresa que oferta Repetier tiene una versión de pago que tiene funcionalidades como mandos remotos.

Ventajas	Desventajas
Flexible para todo tipo de impresoras	Tiene funciones limitadas por la versión de pago
Software dedicado	

Tabla 14.

Selección de firmware

Parámetro de selección	Marlin	Repetier
Versatilidad	5	4
Actualizaciones	4	5
Reprogramable	5	4
Soporte de sensor touch	5	0
PONDERACIÓN	19	13

No existen muchos parámetros de diferenciación, sin embargo el parámetro “soporte del sensor touch” es determinante. La selección de firmware es **Marlin**.

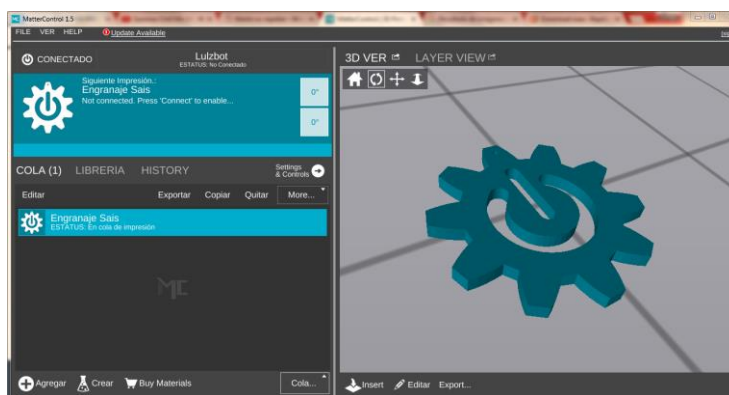
3.4.4.3. Software

Existen varios software que permiten transformar archivos CAD en sentencias de comando llamados códigos G, que son interpretados a través del firmware.

Se diferencian por la capacidad de procesamiento de archivos complejos y el proceso de creación de soportes de un modelo CAD.

- Matter Control
- Repetier Host

- **Matter Control**

**Figura 47** Plataforma Matter Control en su versión 1.5

Fuente: (Matter Control, 2017)

Un software muy versátil, utilizado por más de 25 empresas fabricantes de impresoras 3D. Dentro de sus ventajas competitivas destacan:

- **Plug and Print**, que permite preconfigurar una impresora y no tener la necesidad de cambiar ningún parámetro actualmente dispone de la preconfiguración para más de 100 impresoras.
- **SMS and Email**, tiene un servicio de mensajería para alerta cuando la máquina hay finalizado un trabajo o si necesita monitoreo.
- **Drag and Drop**, tiene una plataforma de trabajo bastante fuerte que contiene herramientas que permite modificar un archivo CAD.
- **Design**, se caracteriza por tener una interfaz muy amigable con el usuario y tiene 3 niveles de configuración, básico, mediano y experto. (Matter Control, 2017)

- **Repetier Host**

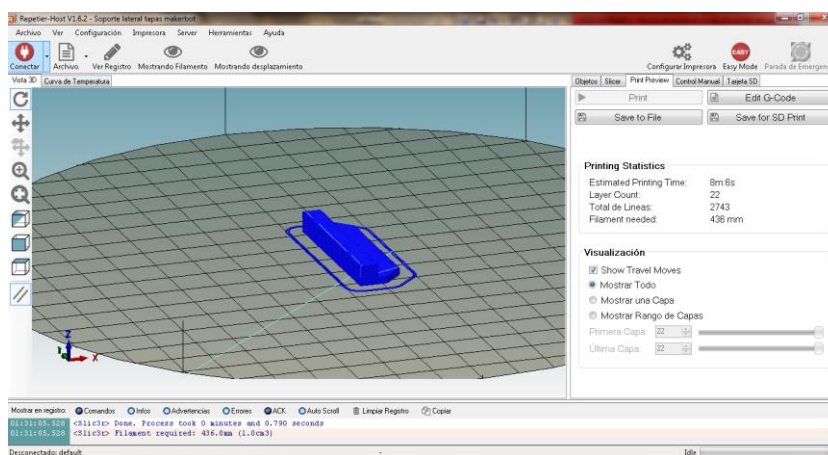


Tabla 15 Plataforma de Repetier Host

Fuente: (Repetier, 2015)

Caracterizado por el uso conjunto con el firmware de la misma empresa, si bien es cierto no tiene la mejor plataforma amigable con el usuario pero dispone de herramientas como el cambio de compiladores para la generación de código G.

- **Soporte para múltiples extrusores**, tiene opción para trabajar hasta con 16 extrusores de diferente material o color
- **Múltiple compilador**, dispone de 3 compiladores muy fuertes como Slic3r, CuraEngine y Skeinforge
- **Full control**, su plataforma avanzada permite configurar una gran cantidad de parámetros para la configuración de una impresión.
- **SMS**, tiene un sistema de estado de la impresión que funciona con un servidor, y se puede acceder desde cualquier parte del mundo.

Tabla 16.

Selección de software

Parámetro de selección	Repetier Host	Matter Control
Amigable	4	5
Herramientas	5	4
Compilador de código	3	5
Reprogramable	1	3
Actualizaciones	3	5
PONDERACIÓN	16	22

El software con el que se va a trabajar es **Matter Control**, sin embargo no se descarta el uso de Repetier Hosta para alguna función en específico.

3.4.5. SUBSISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Para este subsistema existen únicamente dos opciones, 12v y 24v. Se selecciona la **fuentes de 12V** por la compatibilidad de los componentes elegidos anteriormente. La corriente de la fuente se elige con el dimensionamiento de potencia que requiera la máquina.

3.4.6. SUBSISTEMA DE ESTRUCTURA

En este subsistema se aborda la estructura de la impresora, el diseño de su carcasa y el método de manufactura para la construcción de la impresora 3D. El método de manufactura debe encontrarse en las posibilidades económicas establecidas inicialmente.

3.4.6.1. Método de manufactura

El diseño puede combinar alternativas para la construcción como impresión 3D.

- Corte Láser
- Chapa Metálica
- Ensamble de perfiles

- **Corte Láser**

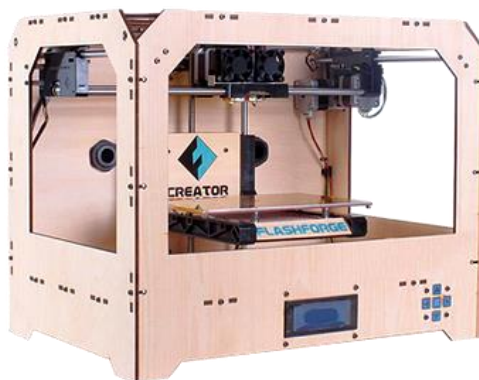


Figura 48 Impresora 3D fabricada en corte láser

Fuente: (Flashforge, 2012)

Es el método de manufactura más usado a nivel general, se caracteriza por su costo en la producción a baja escala, tiene la posibilidad de trabajar con algunos materiales como el acrílico y el mdf.

En Ecuador existen muchas empresas pequeñas que brindan el servicio de corte laser, por lo que ha hecho más sencillo la accesibilidad del servicio.

Ventajas	Desventajas
Económico	Limitaciones de diseño geométrico
Accesible	Limitación de diseño visual
Combinación de diferentes espesores	

- **Chapa Metálica**



Figura 49 Impresora fabricada por chapa metálica

Fuente: (GEEETECH, 2017)

Un método de manufactura usado en máquinas de producción masiva, pero también se utiliza para realizar prototipos aunque su costo es un poco elevado. Permite realizar estructuras bastantes robustas y se obtiene un acabado muy bueno.

Ventajas	Desventajas
Robusto	Diseño no son flexibles
Buen acabado en diseño visual	No muy asequible
Bajas limitaciones de diseño geométrico	Costoso

- **Ensamble de Perfiles**

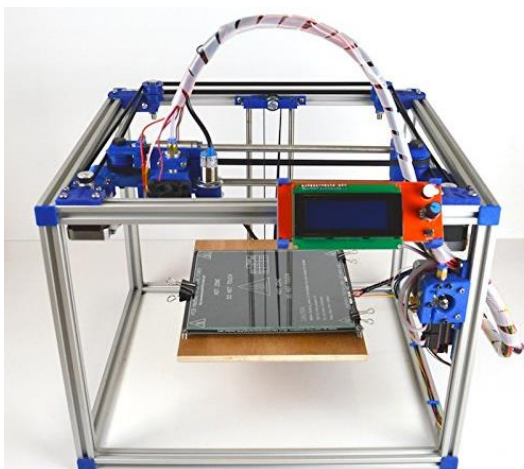


Figura 50 Impresora fabricada con perfiles de aluminio

Fuente: (Flashforge, 2012)

Es una de las opciones más rápidas y más económicas, aunque no tan asequible ya que los perfiles ideales para la construcción de este tipo de máquinas no se encuentran fácilmente en el mercado.

Este método de construcción va de la mano con la tecnología de impresión 3D, ya que gran parte de piezas de acople entre los perfiles de aluminio y otros componentes se imprimen en 3D.

Ventajas	Desventajas
Muy económico	Combinación con impresión 3D
Fácil construcción	No muy asequible
	Diseño visual limitado
	Diseños no muy robustos

Tabla 17.

Selección del método de manufactura

Parámetro de selección	Corte Láser	Chapa Metálica	Ensamble de perfiles
Costo	5	2	4
Libertad de diseño	3	4	2
Accesibilidad	5	2	4
Construcción	4	3	5
Robustez	4	5	3
PONDERACIÓN	21	16	18

En la tabla 16 se establece como método de manufactura el **corte láser**, hay que tomar en cuenta que la elección de este método de manufactura no limita al uso de otros métodos de fabricación como impresión 3D, o el uso mismo de perfiles comerciales; no estamos limitados a utilizar únicamente el corte laser.

Determinado el método de manufactura se realizó un pequeño análisis de selección del material para la construcción de nuestra impresora. En la tabla 17 se observa los posibles materiales para trabajar.

Tabla 18.

Selección del material para la fabricación de la impresora

Material	MDF	Enchapado	Acrílico
Costo	5	3	2
Rigidez	3	4	5
Durabilidad	2	3	5
Estética	2	4	5
PONDERACIÓN	12	14	17

El mejor material para el trabajo es el **acrílico**.

El color que se selecciona después de una previa visita a un local de distribución que dispone de una gran cantidad de colores es: **blanco lechoso**.

3.5. DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE MOVILIDAD

Tomando en consideración los componentes seleccionados para la construcción de la impresora, se establece lo siguiente:

- El sistema de movimiento en el *eje x* se genera por un motor de conexión directa al extrusor
- El sistema de movimiento en el *eje y* se genera por un motor de conexión directa a la base caliente
- El sistema de movimiento del *eje z* es generado por dos motores que elevarán toda la estructura del sistema del eje x.

En la imagen 54 se puede observar los sistemas de movimiento propuestos.

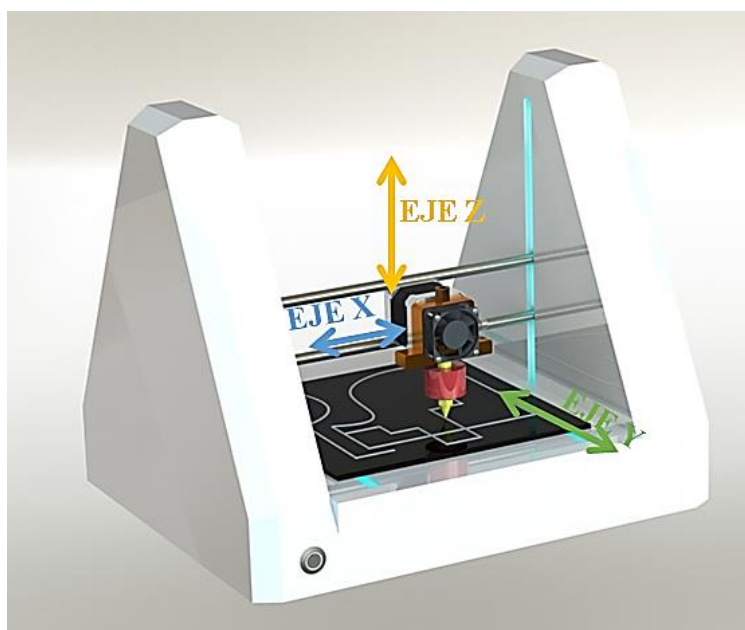


Figura 51. Sistema de movimiento propuesto.

Fuente: El autor

El orden de diseño se realiza en grupos por ejes de movimiento, los primeros sistemas de movimiento en diseñar son determinados por la dependencia de los mismos. El orden de diseño es el siguiente: primero el sistema de movimiento del eje y, después el sistema de movimiento del eje x y finalmente con el sistema de movimiento del eje z.

3.5.1. Diseño del sistema de movimiento del eje y

El sistema se compone de: soporte móvil para la base caliente, guías o ejes sobre el cual se deslizará el soporte, el motor que genera el movimiento para el eje “y” y el tornillo sin fin que transmite el movimiento.

El eje trabajará con dos guías (número mínimo) para el movimiento del soporte y este estará montado en las guías a través de rodamientos lineales.

Para el diseño se seleccionaron los componentes disponibles en el mercado local. Los elementos menos representativos que no se definieron en los subsistemas se escogieron a criterio del diseñador.

- Eje de 8 mm
- Rodamientos lineales LM8LUU con soporte
- Acople motor a tornillo sin fin
- Rodamiento de bolas 608ZZ

Más adelante se valida el uso de estos componentes. Si en un caso alguno de los componentes no cumpla con el factor de seguridad para el diseño propuesto se cambiará por componentes más adecuados.

En las siguientes imágenes se visualizan los componentes comerciales, dibujados en un software CAD que se usaron en el diseño de este sistema de movimiento.



Figura 52 Acople para motor 5mm-8mm



Figura 53 Rodamiento de bolas 608ZZ



Figura 54 Rodamiento lineal LM8LUU

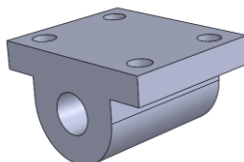
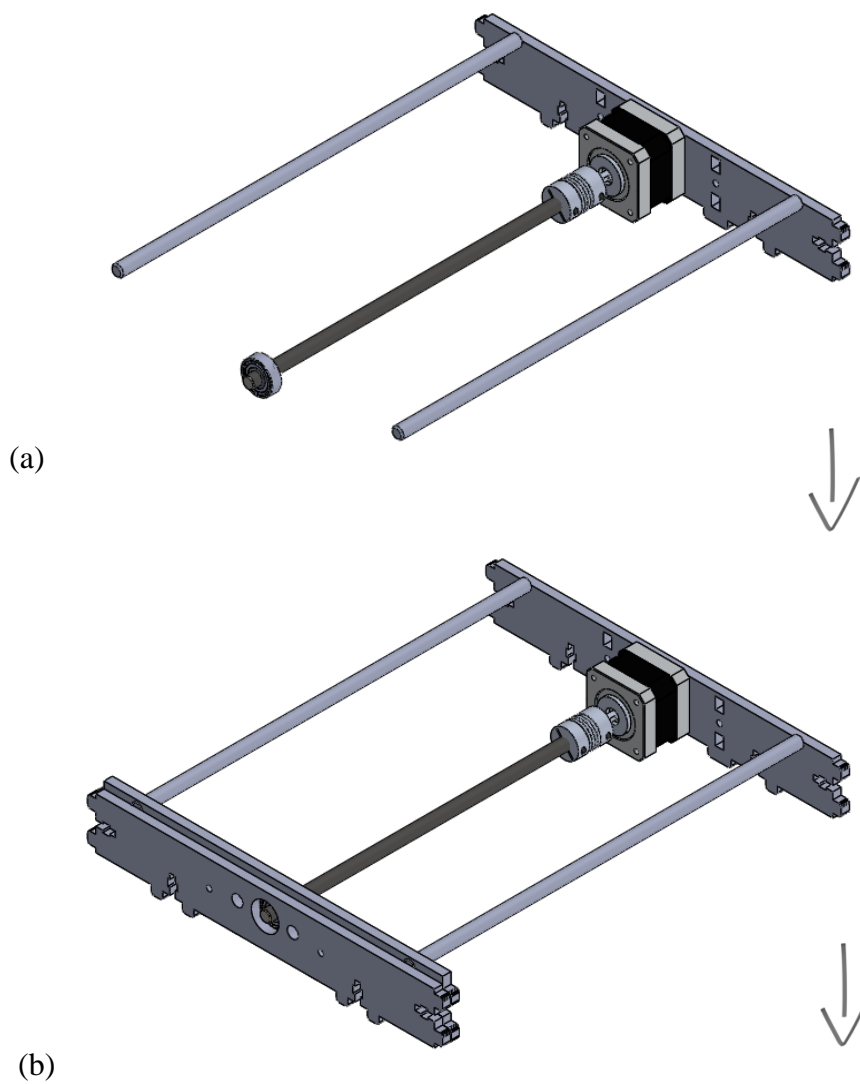


Figura 55 Soporte para rodamiento lineal LM8LUU

En la siguiente figura se puede observar el proceso de diseño del eje y.



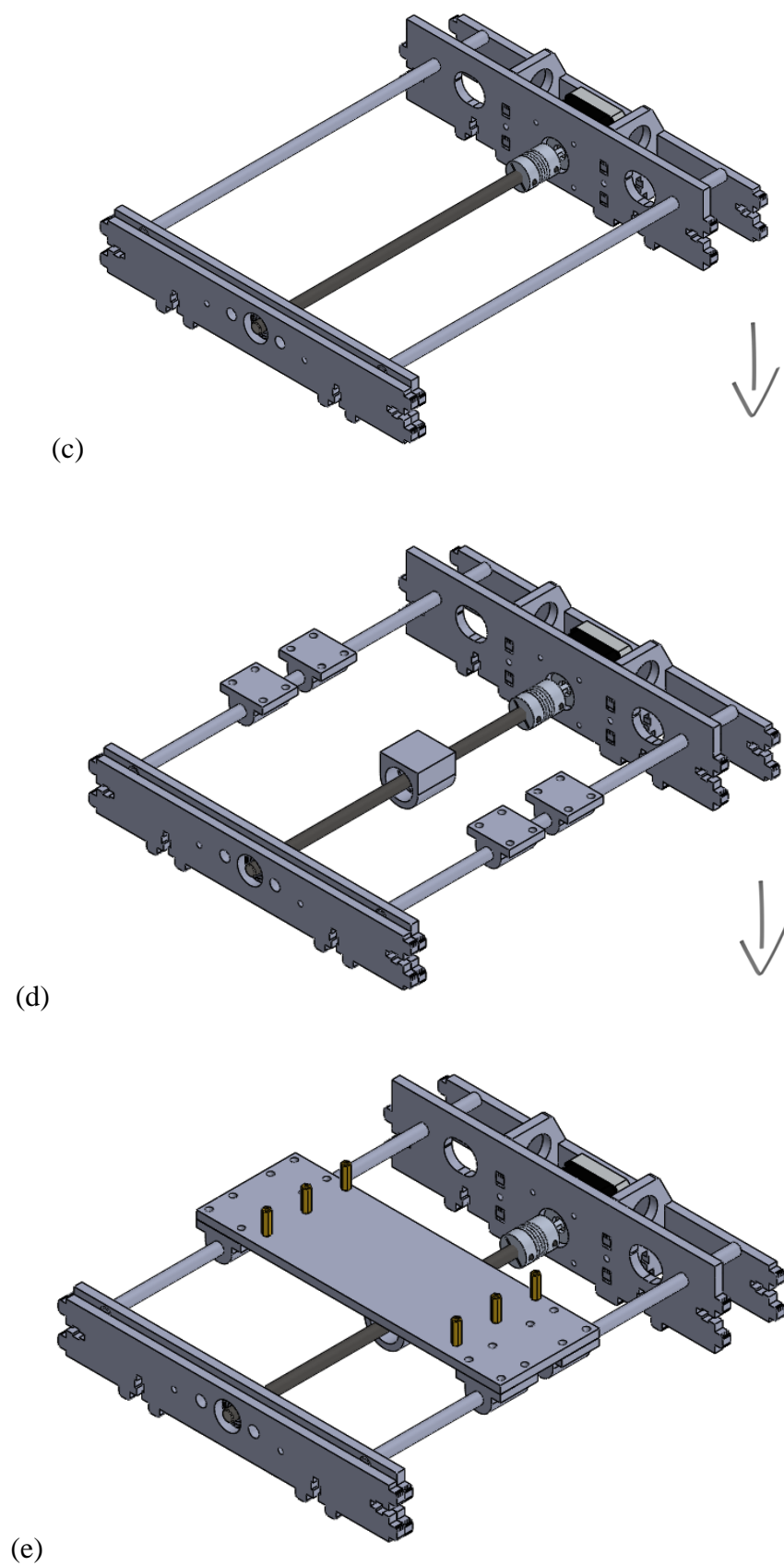


Figura 56 (a),(b),(c),(d),(e) Proceso de diseño del sistema móvil del eje y

3.5.1.1. Diámetro de guías del sistema de movimiento del eje y

A continuación se procede a sustentar el diámetro de los ejes que se seleccionó previamente en el sistema de movimiento.

Consideraciones

- Longitud del eje: **280mm** (área de trabajo de 100mm)
- Masa de base caliente: **1700g** (aproximado de la base de trabajo)
- Masa del soporte móvil: **680g** (rodamientos lineales y soporte de la base)
- Resistencia a la tensión del acero AISI304 laminado en frío: **~620 MPa**

$$\text{Masa Total} = 1700g + 680g = 2380g$$

$$\text{Fuerza Total} = \text{Masa Total} \times \text{Gravedad}$$

$$\text{Fuerza Total} = 2.38Kg \times 9.8 \frac{m}{s^2} = 23.324N$$

$$\text{Fuerza puntual en los apoyos} = \frac{\text{Fuerza Total}}{4} = 5.831N$$

La distribución del peso se realiza sobre los 4 rodamientos lineales que se encuentran separados por 60 mm desde sus centros.

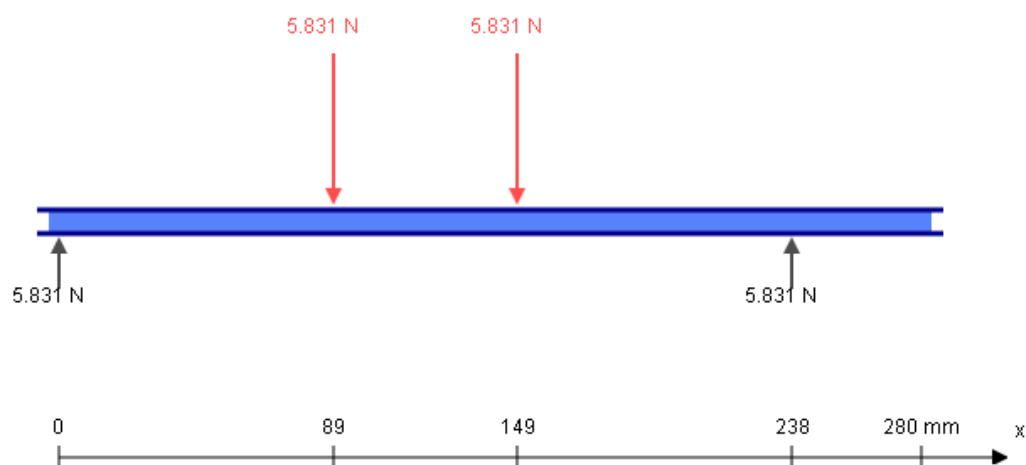


Figura 57. Diagramas de cuerpo libre de fuerzas aplicadas en las guías del eje y .

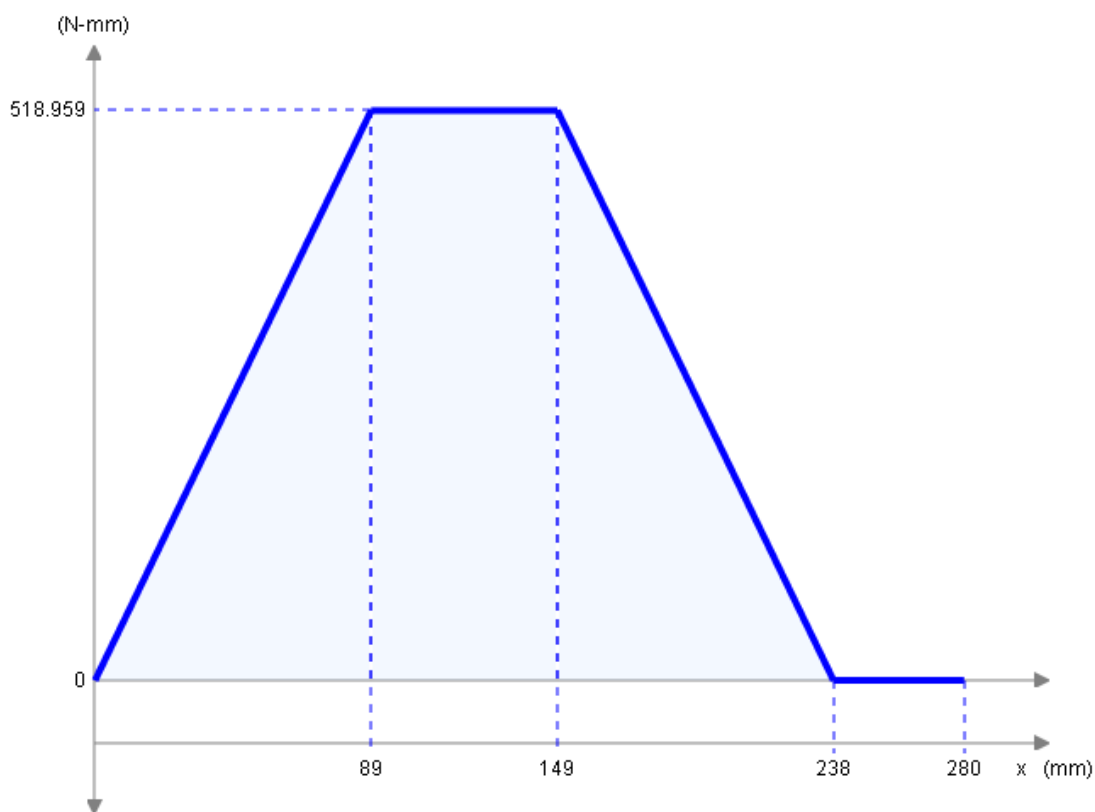


Figura 58 Diagrama de momento flector de guías del eje y.

Para la continuación del cálculo de diámetro del eje necesario se utilizará el criterio de ED-Goodman.

Se considera además que los ejes no se encuentran sometidos a torsión por lo que la ecuación a utilizar se reduce a la siguiente:

Con $M_m = T_a = T_m = 0$

$$d = \left(\frac{32nK_f M_a}{\pi S_e} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Esta ecuación (7-8) es tomada de (SHIGLEY'S, 2008).

Una característica de la impresora es la robustez, es por ello que se tomará un factor de seguridad de 4 para el cálculo de diámetros de ejes.

Las ecuaciones y tablas que se harán referencia a continuación fueron tomadas de (SHIGLEY'S, 2008)

Donde:

n : Factor de seguridad = 4

K_f : Factor de concentración de esfuerzo para flexión = 1.7 (Tabla 7-1)

M_a : Momento flector en el punto crítico = 0.519 N-m

S_e : Límite de resistencia a la tensión en el punto crítico.

S_{ut} : Esfuerzo último para el acero inoxidable AISI 304 = 568MPa (Tabla A-22)

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (\text{Ec. 6 - 18})$$

$$k_a = a S_{ut}^b \quad (\text{Ec. 6 - 19})$$

$$a = 4.51 \text{ y } b = -0.265 \quad (\text{Tabla 6 - 2})$$

$$k_a = 4.51 \times 568^{-0.265}$$

$$k_a = 0.84$$

$$k_b = 1.24 d^{-0.107} \quad (\text{Ec. 6 - 20})$$

$$k_b = 1.24 \times 8^{-0.107}$$

$$k_b = 0.99$$

$$k_c = 1, \text{ por estar sometido a flexión} \quad (\text{Ec. 6 - 26})$$

$$k_d = k_e = k_f = 1$$

$$S'_e = 0.5 S_{ut} \quad S_{ut} \leq 1400 \text{MPa} \quad (\text{Ec. 6 - 18})$$

$$S_e = 0.84 \times 0.99 \times 0.5 \times 568 = 236.17 \text{MPa}$$

$$d = \left(\frac{32 \times 4 \times 1.7 \times 0.519}{\pi \times 236.17 \times 10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\mathbf{d = 5.34mm}$$

El diámetro ideal para las guías sería de 6mm, lastimosamente los componentes para este diámetro no se encuentran en el mercado. Bajo este criterio se determina que la selección del diámetro de 8 mm es correcta.

3.5.1.2. Dimensionamiento de torque requerido del motor para el eje y

En la selección de componentes se estableció que el motor para el trabajo es el nema 17, sin embargo existen varios motores con nominación nema 17, por lo que se debe sustentar la selección de uno de ellos.

En el mercado local se encontraron 3 tamaños diferentes; se puede observar las opciones en la tabla 18.

Para la determinación de torque se considera el rozamiento de los rodamientos lineales $\mu_1=0.007$ mismo coeficiente que fue facilitador por la empresa GEEETECH. El coeficiente del rodamiento rígido de bolas, es tomado de la hoja de especificaciones del fabricante $\mu_2=0.003$

Consideraciones

- Masa de la base caliente y soporte: **2380g**
- Coeficiente de rozamiento rodamientos lineales **$\mu_1=0.007$**
- Coeficiente de rozamiento rodamientos rígidos de bolas **$\mu_2=0.003$**
- Coeficiente de rozamiento del tornillo sin fin **$\mu_3=0.11$**

Cálculo:

$$N_1 = m_1 \times g$$

$$F_1 = \mu_1 N_1$$

g : Aceleración de la gravedad = $9,8 \frac{m}{s^2}$

m_1 : Masa del sistema extrusor y carro móvil

F_1 : Fuerza que ejerce el carro sobre los las guías del eje x

N_1 : Normal sobre el eje

$$N_1 = 2,38kg \times 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$N_1 = 23,324N$$

$$F_1 = 0,007 \times 23,324N$$

$$F_1 = 0,163N$$

Luego determinamos la fuerza necesaria para mover el carro con el sistema del tornillo sin fin.

$$F_2 = \mu_3 F_1$$

F_1 : Fuerza requerida para el movimiento del eje y sin tornillo sin fin

F_2 : Fuerza extra para el movimiento del sistema con tornillo sin fin

μ_3 : Coeficiente de rozamiento del tornillo sin fin

$$F_2 = 0.11 \times 0,163N$$

$$F_2 = 0,018N$$

Finalmente se establece que la fuerza requerida para el movimiento del soporte:

$$F_t = F_1 + F_2$$

$$F_t = 0.163N + 0.018N$$

$$F_t = 0.181N$$

Dada la fuerza mínima requerida para el movimiento de la base caliente a lo largo del eje y, establecemos el torque requerido por el motor, tomando en consideración la relación de movimiento del tornillo sin fin.

$$T = \frac{F \times r}{\phi \times \theta}$$

F: Fuerza mínima requerida

T: Torque mínimo que debe entregar el motor

ϕ : Relación de movimiento del tornillo sin fin

r: Radio de trabajo del tornillo sin fin

θ : Porcentaje de trabajo de motor. (se considera un trabajo constante al 30%)

$$\phi = \frac{\pi \times D}{p}$$

D: Diámetro de trabajo del tornillo sin fin.

p: paso del tornillo sin fin.

$$\phi = \frac{\pi \times 8mm}{2mm}$$

$$\phi = 12,56$$

Entonces:

$$T = \frac{0,181N \times 4cm}{12,56 \times 0.3}$$

$$T = 0.192Ncm$$

El torque requerido para generar el movimiento en el eje y está muy por debajo de la capacidad de cualquiera de los motores nema 17 que se encuentran en la tabla 18. Podemos asegurar que cualquiera de las elecciones que se hagan cumplirá con el trabajo propuesto.

Tabla 19.

Motores Nema 17 asequibles en el mercado nacional.

Serie	Torque
Nema 17, 47mm	25 Ncm
Nema 17, 40mm	15 Ncm
Nema 17, 33mm	10 Ncm

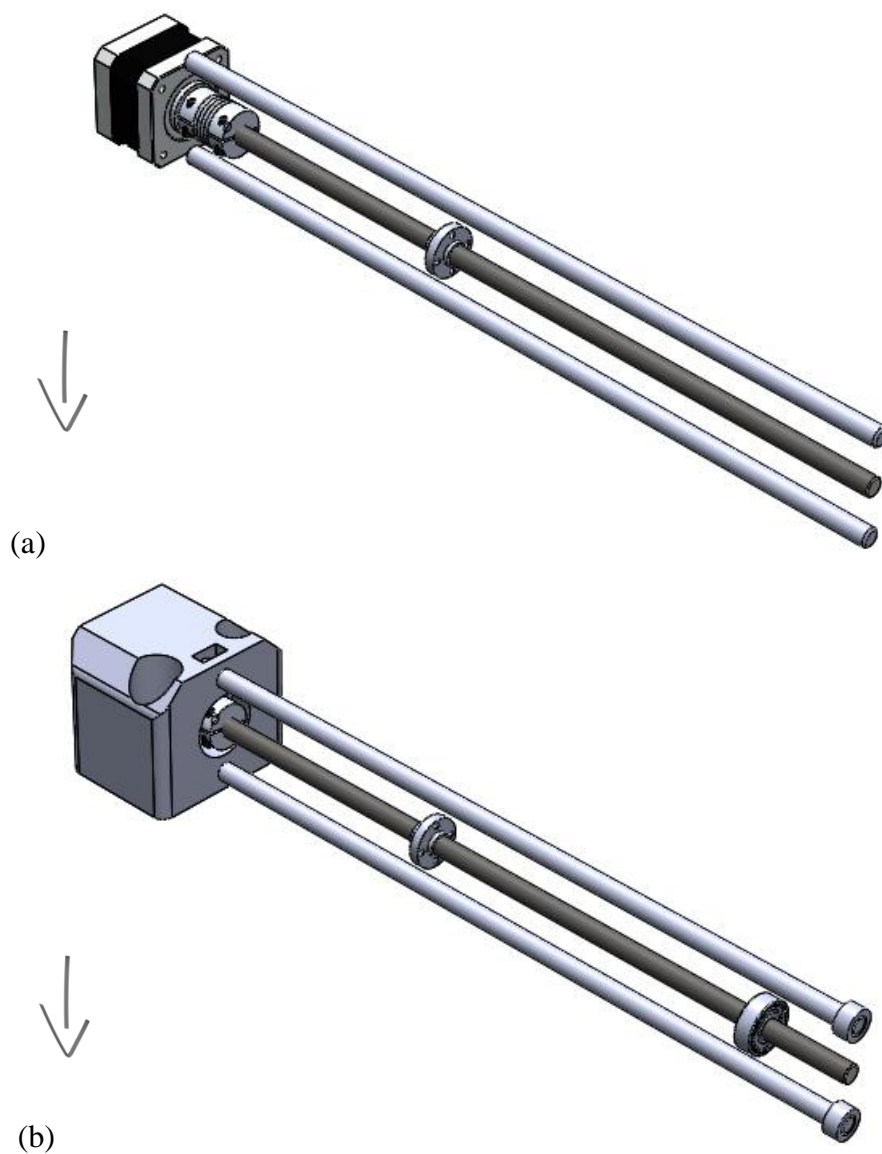
El motor seleccionado para el sistema del movimiento del eje y es Nema 17, 33mm.

3.5.2. Diseño de sistema de movimiento del eje x

Antes de empezar el diseño se debe considerar que el acople entre el carro móvil y el extrusor tiene que ser de fácil cambio, como se había determinado en la propuesta del producto. Bajo esta premisa se decidió realizar un acople con imanes de neodimio que permita la colocación y la extracción del extrusor de manera sencilla.

El sistema de movimiento que comprende el eje x está compuesto por el carro que soportará el extrusor, los ejes sobre el cual se deslizará el carro, el motor que genera el movimiento para el eje x, el tornillo sin fin y las piezas de sujeción del eje x.

Los componentes que se escogieron para el eje x son los mismos que en el eje y.



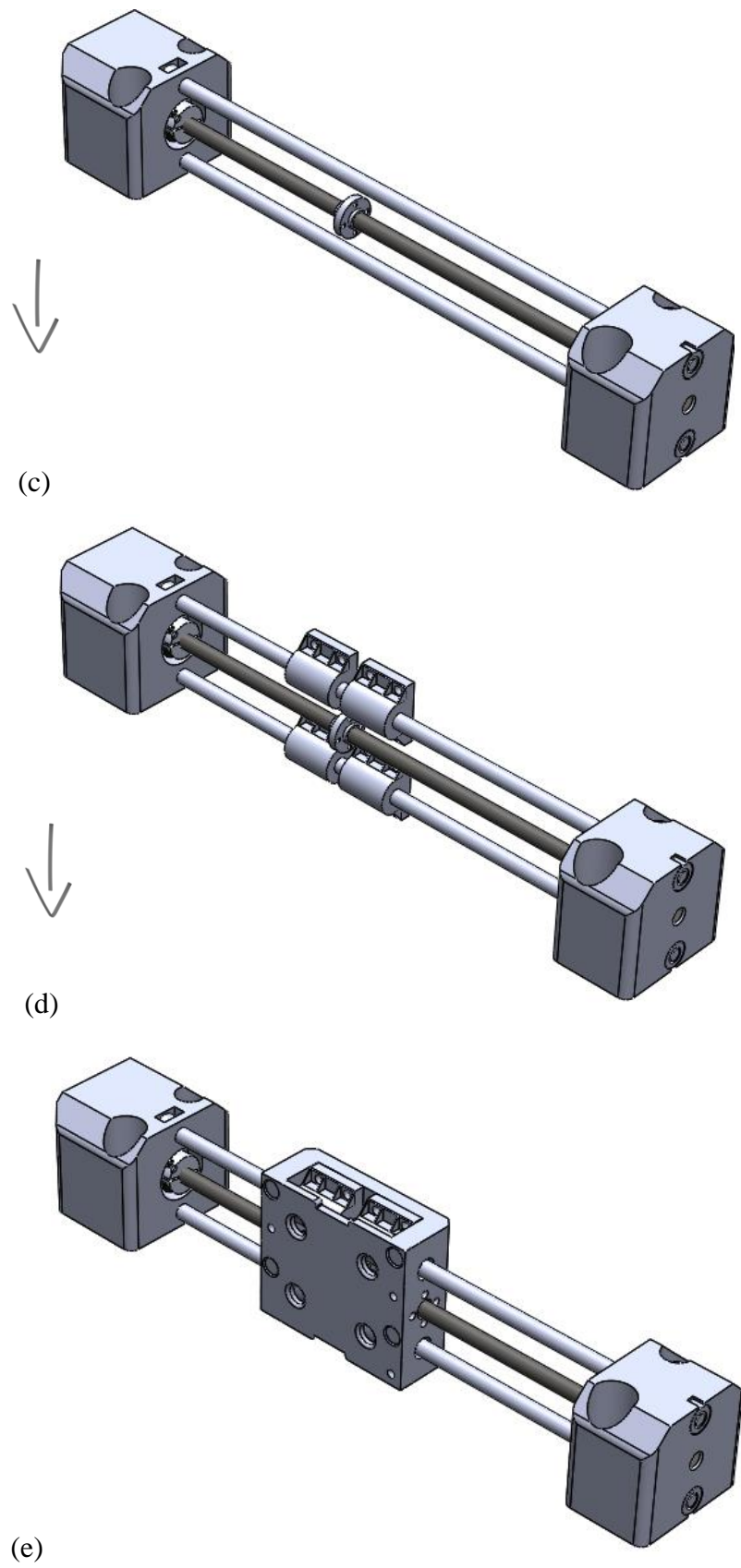


Figura 59 (a),(b),(c),(d),(e) Proceso de diseño del sistema móvil del eje x

3.5.2.1. Diámetro para guías del sistema de movimiento del eje x

A continuación se procede a sustentar el diámetro escogido para el trabajo con los ejes de 8mm como guías del eje x. Gran parte de las consideraciones que se tomaron son similares al sistema de movimiento del eje y.

Consideraciones

Longitud del eje: **300mm** (medida propuesta para un área de trabajo de 100mm)

Masa del extrusor: **900g** (un valor aproximado de todo el sistema del extrusor)

Masa del carro: **850g** (peso máximo de rodamientos lineales y pieza de sujeción)

Resistencia a la tensión del acero AISI 304 laminado en frío: **540 -740 MPa**

$$Masa\ Total = 900g + 850g = 1750g$$

$$Fuerza\ Total = Masa\ Total \times Gravedad$$

$$Fuerza\ Total = 1.75Kg \times 9.8 \frac{m}{s^2} = 17.15N$$

$$Fuerza\ puntual\ en\ los\ apoyos = \frac{Fuerza\ Total}{4} = 4.287N$$

Hay que puntualizar que debido a que la distribución del peso se realiza sobre dos ejes, la fuerza puntual en los apoyos se divide para 4. Además que se distribuirá la carga en dos rodamientos separados por 40 mm

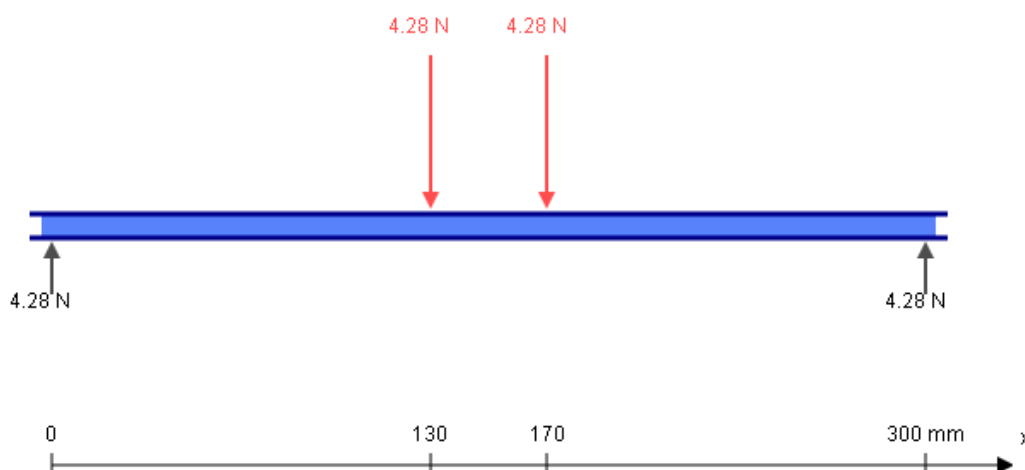


Figura 60. Diagramas de cuerpo libre de fuerzas aplicadas en las guías del eje x .

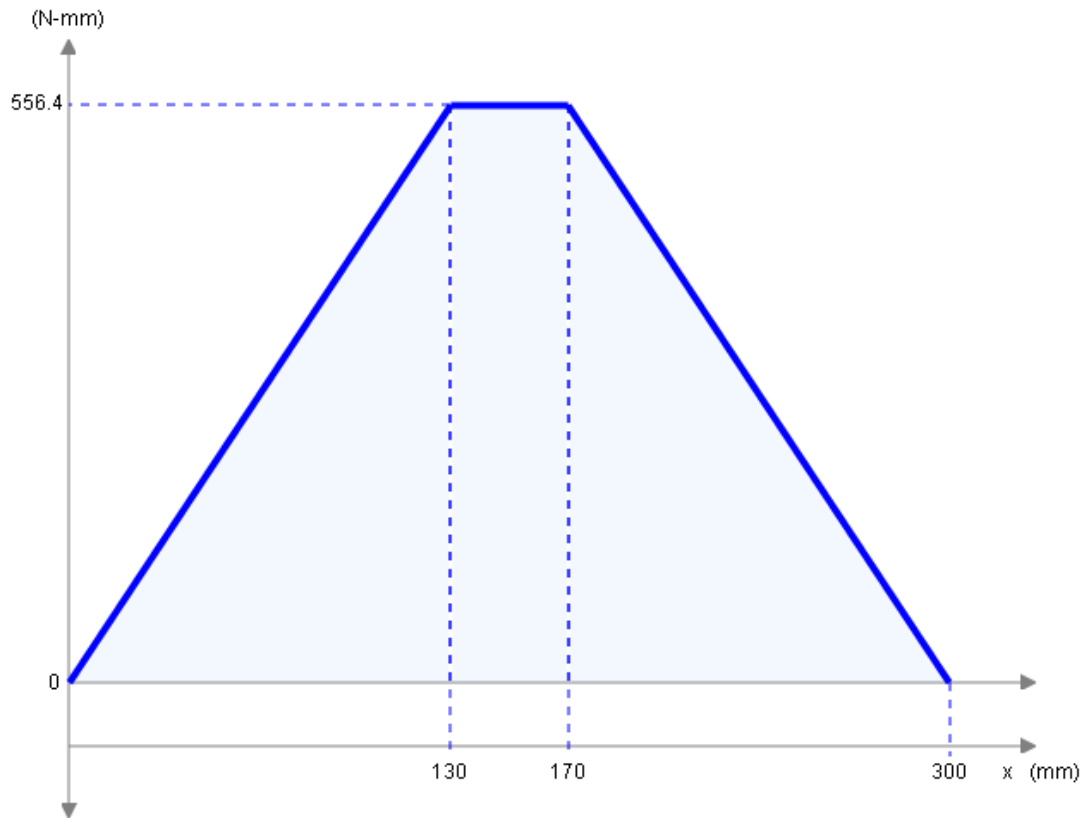


Figura 61 Diagrama de momento flector de guías del eje x.

De igual manera que en el caso anterior se utilizó el criterio de ED-Goodman. Con las mismas consideraciones, al no existir torsión definimos que

$$M_m = T_a = T_m = 0$$

$$d = \left(\frac{32nK_f M_a}{\pi S_e} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Continuamos trabajando con el factor de seguridad de 4.

Donde:

n: Factor de seguridad = 4

K_f : Factor de concentración de esfuerzo para flexión = 1.7 (Tabla 7-1)

M_a : Momento flector en el punto crítico = 0.556 N-m

S_e : Límite de resistencia a la tensión en el punto crítico.

S_{ut} : Esfuerzo último para el acero inoxidable AISI 304 = 568MPa (Tabla A-22)

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (\text{Ec. 6 - 18})$$

$$k_a = a S_{ut}^b \quad (\text{Ec. 6 - 19})$$

$$a = 4.51 \text{ y } b = -0.265 \quad (\text{Tabla 6 - 2})$$

$$k_a = 4.51 \times 568^{-0.265}$$

$$k_a = 0.84$$

$$k_b = 1.24 d^{-0.107} \quad (\text{Ec. 6 - 20})$$

$$k_b = 1.24 \times 8^{-0.107}$$

$$k_b = 0.99$$

$$k_c = 1, \text{ por estar sometido a flexión} \quad (\text{Ec. 6 - 26})$$

$$k_d = k_e = k_f = 1$$

$$S'_e = 0.5 S_{ut} \quad S_{ut} \leq 1400 \text{MPa} \quad (\text{Ec. 6 - 18})$$

$$S_e = 0.84 \times 0.99 \times 0.5 \times 568 = 236.17 \text{MPa}$$

$$d = \left(\frac{32 \times 4 \times 1.7 \times 0.556}{\pi \times 236.17 \times 10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\mathbf{d = 5.46mm}$$

Comprobamos que la selección del diámetro de 8 mm es correcta.

3.5.2.2. Dimensionamiento de torque requerido del motor para el eje x

Para determinar el torque del motor hacemos las mismas consideraciones que en el sistema de movimiento del eje y puesto que se utilizaron los mismos componentes. Para la selección de motores se tienen los tipos de Nema 17 detallados en la tabla 18.

Consideraciones

- Masa del sistema extrusor y carro móvil: **1750g**
- Coeficiente de rozamiento rodamientos lineales **$\mu_1=0.007$**
- Coeficiente de rozamiento rodamientos rígidos de bolas **$\mu_2=0.003$**
- Coeficiente de rozamiento del tornillo sin fin **$\mu_3=0.06$**

Cálculo:

$$N_1 = m_1 \times g$$

$$F_1 = \mu_1 N_1$$

g : Aceleración de la gravedad = $9,8 \frac{m}{s^2}$

m_1 : Masa del sistema extrusor y carro móvil

F_1 : Fuerza que ejerce el carro sobre los las guías del eje x

N_1 : Normal sobre el eje

$$N_1 = 1,75kg \times 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$N_1 = 17,15N$$

$$F_1 = 0,007 \times 17,15N$$

$$F_1 = 0,12N$$

La fuerza necesaria para mover el carro con el sistema del tornillo sin fin es

$$F_2 = \mu_3 F_1$$

F_1 : Fuerza requerida para el movimiento del eje x sin tornillo sin fin

F_2 : Fuerza extra para el movimiento del sistema con tornillo sin fin

μ_3 : Coeficiente de rozamiento del tornillo sin fin

$$F_2 = 0.06 \times 0,12N$$

$$F_2 = 0,0072N$$

Finalmente se establece que la fuerza requerida para el movimiento del carro está dado por la siguiente ecuación:

$$F_t = F_1 + F_2$$

$$F_t = 0.12N + 0.0072N$$

$$F_t = 0.1272N$$

Ahora determinamos el torque requerido por el motor, tomando en consideración la relación de movimiento del tornillo sin fin.

$$T = \frac{F \times r}{\phi \times \theta}$$

F: Fuerza mínima requerida

T: Torque mínimo que debe entregar el motor

ϕ : Relación de movimiento del tornillo sin fin

r: Radio de trabajo del tornillo sin fin

θ : Porcentaje de trabajo de motor. (se considera un trabajo constante al 30%)

$$\phi = \frac{\pi \times D}{p}$$

$$\phi = \frac{\pi \times 8mm}{2mm}$$

$$\phi = 12,56$$

Entonces:

$$T = \frac{0,1272N \times 4cm}{12,56 \times 0.3}$$

$$T = 0.135Ncm$$

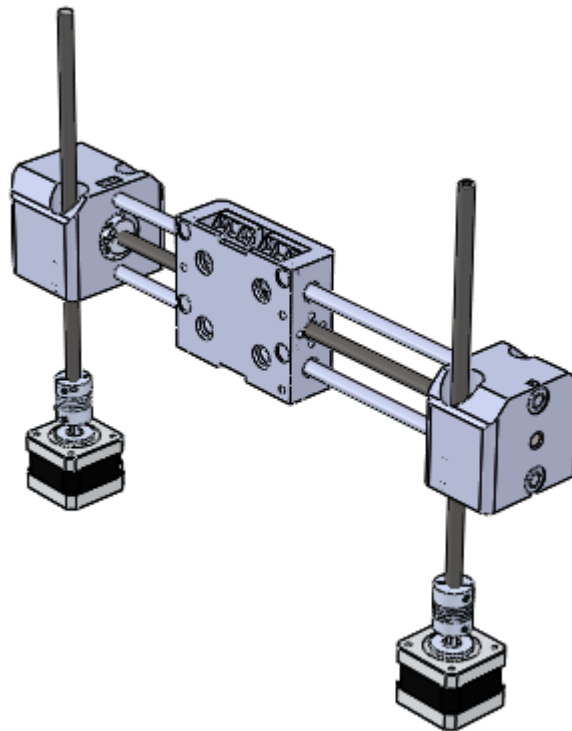
El torque requerido para generar el movimiento en el eje x está por debajo de la capacidad de cualquiera de los motores nema 17 que se encuentran en la tabla 18. Podemos asegurar que la elección del motor cumplirá con el trabajo propuesto.

3.5.3. Diseño del sistema de movimiento del eje z

El sistema de movimiento del eje z, elevará toda la estructura del sistema de movimiento del eje x. Para el diseño de este sistema se requieren dos motores que funcionen sincrónicamente.

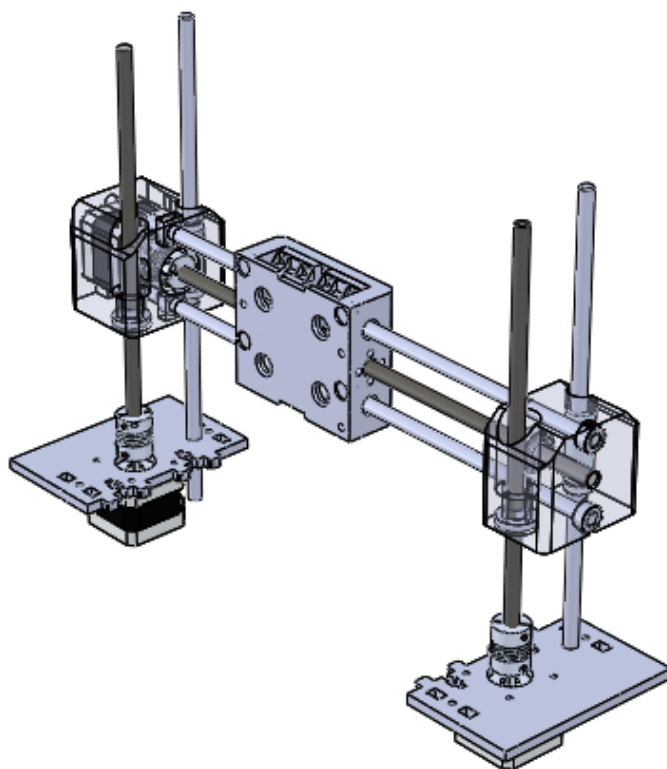
El cálculo del diámetro de ejes no es necesario, las cargas están distribuidas de manera que las guías se ven muy poco afectadas por fuerzas transversales. Los ejes roscados son los puntos de apoyo del sistema de movimiento.

El sustento del cálculo se realiza en el dimensionamiento del torque requerido por el motor para levantar la estructura.

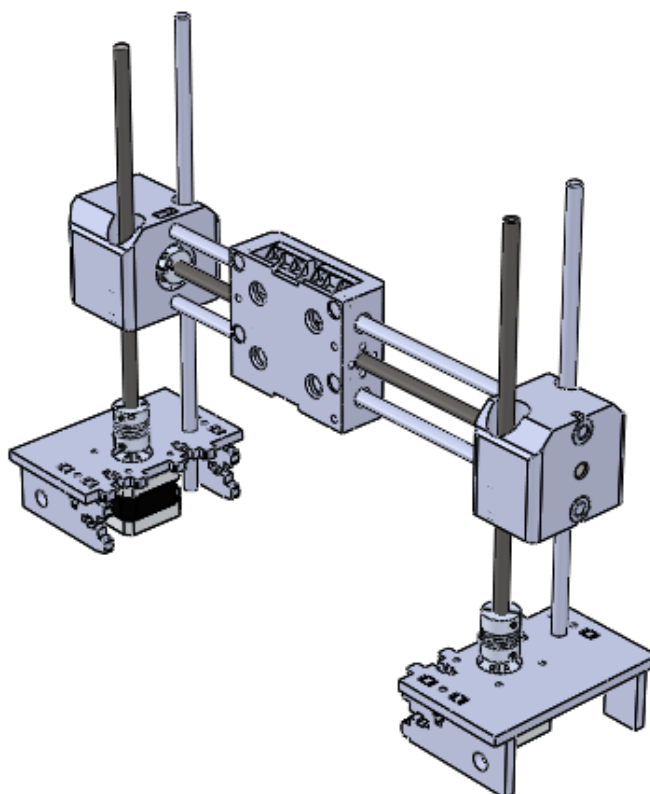


(a)





(b)



(c)

Figura 62 (a),(b),(c) Proceso de diseño del sistema de movimiento del eje z

Se mencionó anteriormente que se obviará el cálculo de diámetro de ejes, debido a la distribución de cargas en el eje z. Procedemos directamente al cálculo del torque requerido por el motor para levantar la estructura móvil.

3.5.3.1. Dimensionamiento de torque de motores para el eje z

Para el dimensionamiento del motor requerido para el empuje del extrusor a través del eje x, es importante notar que ya está definido, se trabajará con el motor nema 17, pero existen de algunas especificaciones, en el mercado están clasificados por 3 tamaños que influyen directamente en el torque máximo del motor. Se puede observar las opciones en la tabla 18.

Consideraciones

Masa del sistema extrusor y carro móvil: 1750g

Coefficiente de rozamiento rodamientos lineales $\mu_1=0.007$

Coefficiente de rozamiento del tornillo sin fin $\mu_3=0.23$

Cálculo:

$$N_1 = m_1 \times g$$

$$F_1 = \mu_1 N_1$$

g : Aceleración de la gravedad = $9,8 \frac{m}{s^2}$

m_1 : Masa del sistema extrusor y carro móvil

F_1 : Fuerza que ejerce el carro sobre los las guías del eje x

N_1 : Normal sobre el eje

$$N_1 = 1,75kg \times 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$N_1 = 17,15N$$

$$F_1 = 0,007 \times 17,15N$$

$$F_1 = 0,12N$$

Luego determinamos la fuerza necesaria para mover el carro con el sistema del tornillo sin fin.

$$F_2 = \mu_3 F_1$$

F_1 : Fuerza requerida para el movimiento del eje x sin tornillo sin fin

F_2 : Fuerza extra para el movimiento del sistema con tornillo sin fin

μ_3 : Coeficiente de rozamiento del tornillo sin fin

$$F_2 = 0.06 \times 0,12N$$

$$F_2 = 0,0072N$$

Finalmente se establece que la fuerza requerida para el movimiento del carro está dado por la siguiente ecuación:

$$F_t = F_1 + F_2$$

$$F_t = 0.12N + 0.0072N$$

$$F_t = 0.1272N$$

Dada la fuerza mínima requerida para el movimiento del sistema de extrusión a lo largo del eje x, establecemos el torque requerido por el motor, tomando en consideración la relación de movimiento del tornillo sin fin.

$$T = \frac{F \times r}{\phi \times \theta}$$

F: Fuerza mínima requerida

T: Torque mínimo que debe entregar el motor

ϕ : Relación de movimiento del tornillo sin fin

r: Radio de trabajo del tornillo sin fin

θ : Porcentaje de trabajo de motor. (se considera un trabajo constante al 70%)

$$\phi = \frac{\pi \times D}{p}$$

D: Diámetro de trabajo del tornillo sin fin.

p: paso del tornillo sin fin.

$$\phi = \frac{\pi \times 8mm}{2mm}$$

$$\varnothing = 12,56$$

Entonces:

$$T = \frac{0,1272N \times 4cm}{12,56 \times 0.7}$$

$$T = 0.0058Ncm$$

El torque requerido para generar el movimiento en el eje x está muy por debajo de la capacidad de cualquiera de los motores nema 17 que se encuentran en la tabla 18. Con ello podemos asegurar que cualquiera de las elecciones que se hagan cumplirá con el trabajo propuesto.

El motor seleccionado para el diseño del sistema del movimiento del eje x es Nema 17, 33mm. A continuación se procede a realizar el diseño del eje con los componentes seleccionados anteriormente.

3.5.4. Diseño completo del subsistema de movilidad

En la figura 63 se observa el ensamble de subsistema de movilidad.

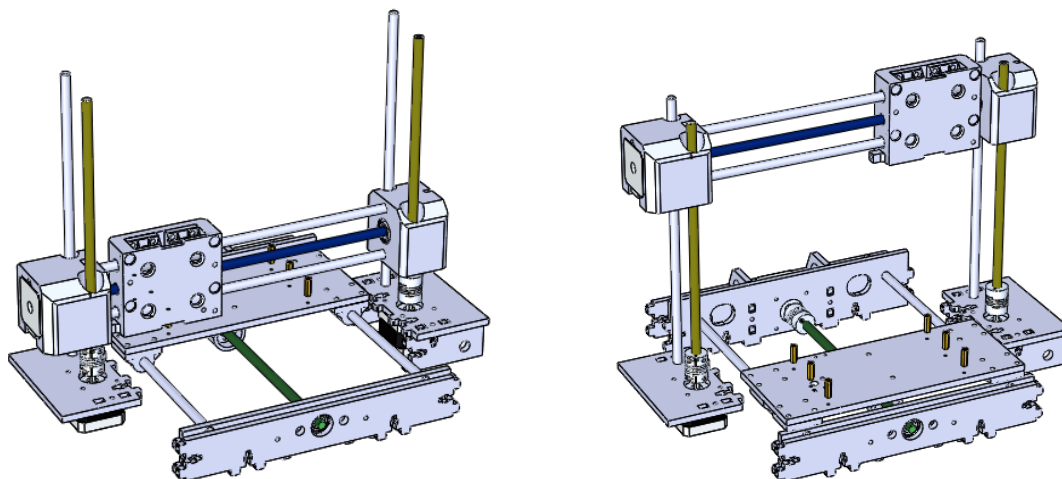


Figura 63 Posiciones mínima y máxima del sistema de movilidad

3.1. DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE MESA DE TRABAJO

En el diseño del subsistema de la cama caliente hay que considerar parámetros esenciales para la construcción. A continuación se detallan los requerimientos técnicos

Tabla 20
Requerimientos para la base caliente

Requerimiento	Valor
Temperatura mínima que debe alcanzar	210 C
Porcentaje de pandeo	<1%
Voltaje de trabajo	AC 110V
Dimensiones	110x110 mm
Tiempo de enfriamiento	>10C/min

Antes de empezar con el diseño de la cama, se debe considerar que la geometría de la misma, hará que la cama funcione como un disipador o enfriador, es por ello y debido al pequeño tamaño requerido, se establece que la fuente debe ser de al menos **300 W**.

Con los requerimientos iniciales se hace una propuesta geométrica.

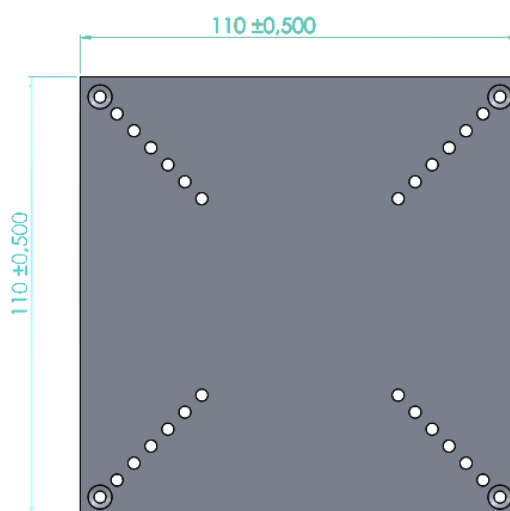


Figura 64 Vista frontal de cama caliente.

3.1.1. Diseño del alma caliente

El diseño del alma caliente, que será la parte principal de nuestra cama caliente se hace un análisis de los cables resistivos en el mercado. Se tuvo las recomendaciones de especialistas en construcción de resistencias calientes y calefones, con la asesoría y los materiales que se utilizan para la fabricación se estableció que:

- El mejor material para la fabricación es la fibra con alambre fino resistivo.
- La potencia por cm^2 de diseño es de $C = 3\text{W}/\text{cm}^2$

Se sabe que

P: 300 W.

A: 121 cm^2

Por lo tanto

$$C = \frac{P}{A}$$

$$C = \frac{300\text{W}}{121 \text{ cm}^2}$$

$$C = 2.48 \frac{\text{W}}{\text{cm}^2} < 3 \frac{\text{W}}{\text{cm}^2}$$

Con el resultado se puede concluir que la fabricación del alma caliente con 300W de potencia es viable.

El diseño geométrico del alma fue propuesto por los especialistas en el área. El diseño del devanado de las columnas y geometría de las mismas se observan en la figura 65.

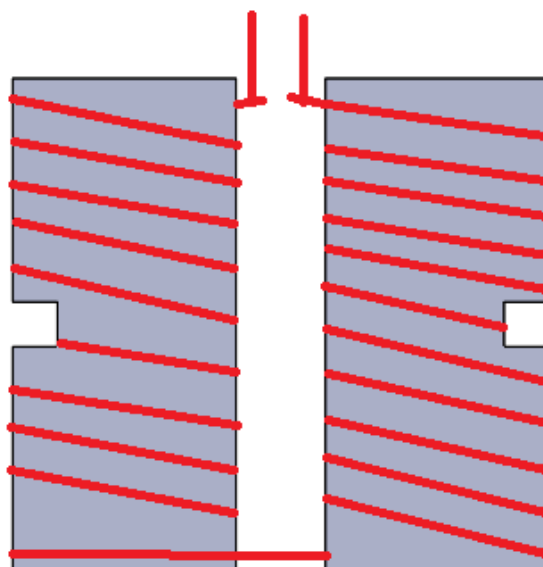


Figura 65 Vista frontal de cama caliente.

Para la selección del cable se considera la longitud necesaria para rodear dos columnas.

Se calcula la longitud de cable con el número de vueltas que rodea a cada columna:

$$L = n \times l \times 2$$

$$L = 25 \times 5 \text{ cm} \times 2$$

$$L = 250 \text{ cm}$$

Además:

$$R = \frac{V^2}{P}$$

$$R = \frac{110^2}{300}$$

$$R = 40.33 \Omega$$

Por lo tanto:

$$\text{Res} = \frac{40.33}{2.5} = \mathbf{16.13 \Omega/m}$$

Con el valor encontrado de resistencia de cable, seleccionamos el mediató inferior, de manera que el cable resistivo seleccionado es de resistencia **11.75 Ω/m** . En la figura 66 se observa las características del cable seleccionado para la fabricación de nuestra alma caliente.

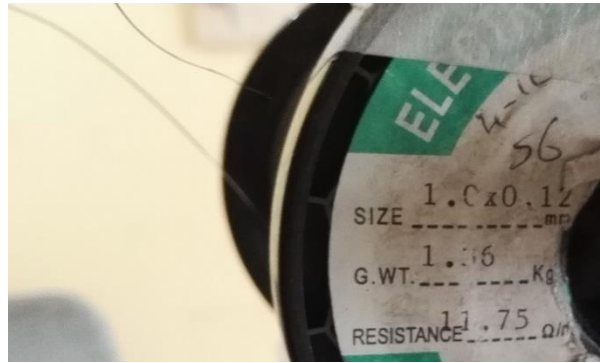


Figura 66 Cable resistivo AC 110 V.

Una vez determinada la geometría de la cama caliente, así como la composición del alma caliente.

Es muy importante notar que existe una relación inversa entre el porcentaje de pandeo y el tiempo de enfriamiento de la cama caliente. Las platinas se seleccionaron de entre los espesores disponibles en una casa de corte metálico.

Para la platina superior se seleccionó latón laminado de 5mm y para la parte inferior el mismo latón pero con un espesor de 2mm. Se escogió latón por el coeficiente de conductividad térmico, ya que la selección de un material como aluminio haría que la platina se caliente más rápido pero al mismo tiempo funcionaría como un disipador.

3.2. DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE ALIMENTACIÓN

En el diseño del subsistema de alimentación se analizan el dimensionamiento de potencia de la fuente, y el calibre de los cables.

Existe una gran cantidad de fuentes en el mercado, algunas de ellas de alta gama que son mejores por su tamaño y por su capacidad. Una vez determinado el dimensionamiento de potencia se seleccionará la fuente idónea.

3.2.1. Dimensionamiento de potencia requerida

En la siguiente tabla se establecen el consumo de corriente máxima por los componentes principales.

Tabla 21
Dimensionamiento de potencia de componentes

Componente	Cantidad	Corriente	Voltaje	Potencia
Nema 17	5	2200 mA	2.8 V	30.80 W
GT2560	1	200 mA	12 V	2.40 W
Luces led	4	220 mA	12 V	10.56 W
A4988	4	150 mA	5 V	3.00 W
Sensor Touch	1	50 mA	5 V	0.25 W
Pulsador de emergencia	1	32 mA	5 V	0.16 W
Relé	1	10 mA	12 V	0.12 W

Potencia requerida: 47.29 W

Antes de seleccionar la fuente con el valor determinado, hay que considerar posibles mejoras que se pueden realizar a la impresora, así como el cambio de motores, o la implementación de un extrusor que requiera calentarse. Para realizar esta estimación se considerará el uso de un extrusor caliente que consume 48 W.

Potencia requerida: 95.29 W

Adicional se considerará un exceso de consumo con una tolerancia del 30% extra. Esto si en un caso un motor se llegará a obstruir, o exista algún sobreconsumo para que la fuente no se vea afectada.

Potencia requerida: 123.87 W

Con el dimensionamiento de la fuente, seleccionamos de la lista de fuentes más pequeñas con el fin de incorporarla dentro de la máquina. Dentro de los fabricantes de fuentes de este tipo se seleccionaron las fuentes para trabajo de iluminaria, mismas fuentes que trabajan con 12 V y existe un rango grande de potencia.

La selección de la fuente es la inmediata superior, en este caso de **150W**

En la siguiente tabla se detallan algunos de los principales parámetros de la fuente seleccionada.



Figura 67 Fuente de 150W seleccionada

Tabla 22

Fuente selecciona para la alimentación de la impresora

Modelo	DC 12V	Material	Aluminio
Voltaje de salida	12 V	Seguridad	IP67 Waterproof
Corriente	12.5 A	Potencia	150 W
Manufactura	China	Marca	Aineuu
Voltaje de entrada	AC 110V	MPN	No aplica
Conector	Single Pin	Tipo de corriente	DC

Un factor importante para el diseño estructural es que la fuente debe ser extraíble, es decir que en un caso de dañarse, la sustitución sea sencilla.

3.3. DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE CONTROL

El diseño del subsistema de control se clasifica en 3 partes importantes: el software, el firmware y la placa de control.

3.3.1. Placa de control

Para el funcionamiento de la impresora se hace un levantamiento de los pines disponibles en la tarjeta de control GT2560.

Con la información del datasheet de la placa que se encuentra adjunto en los anexos, se determina que únicamente se debe realizar la incorporación de una pequeña placa de distribución en los pines que ocupan el lugar de un controlador de motor. La placa está destinada al control de las luces de aviso para que el usuario pueda apreciar cuando la impresora está caliente.

3.3.2. Firmware

En el firmware se realizan todos los cambios para que la impresora funcione correctamente, se configuran desde el número de pasos en relación al movimiento del actuador, hasta las aceleraciones del movimiento. Todo esto se incorpora en un programa principal dentro del firmware Marlin.

A continuación se presenta una lista de los principales cambios realizados en el firmware.

- `#define STRING_CONFIG_H_AUTHOR "(DiegoAguinsaca, Marlin1.0)"`

Define el nombre del autor de la impresora que se almacena en la eeprom

- `#define BAUDRATE 250000`

Define la velocidad de comunicación serial con dispositivos externos

- `#define MOTHERBOARD BOARD_ULTIMAKER`

Selecciona el tipo de tarjeta a trabajar en este caso la GT2560 es una réplica de la tarjeta ultimaker

- `#define CUSTOM_MENDEL_NAME "AREL"`

Define el nombre de la impresora

- `#define EXTRUDERS 1`

Define la cantidad de extrusores a usar

- `#define TEMP_SENSOR_BED 1`

El tipo de sensor que se usará para la detección de temperatura en nuestro caso un NTC de 100k. Si en un caso no dispone o no aplica se selecciona 0.

- `#define BED_MAXTEMP 350`

Establece el valor máximo de temperatura que puede alcanzar la cama caliente, después de este valor se reseteará automáticamente.

- `#define X_HOME_DIR -1`

- `#define Y_HOME_DIR -1`

- `#define Z_HOME_DIR 1`

Define la posición para el home, 1 significa posición máxima y 0 posición mínima

- `#define X_MAX_POS 110`

- `#define X_MIN_POS -18.5`

- `#define Y_MAX_POS 110`

- `#define Y_MIN_POS -26.5`

- `#define Z_MAX_POS 40`

- `#define Z_MIN_POS 0`

Los límites que se establecen para el movimiento sobre la plataforma, también llamada área de trabajo.

- `#define ENABLE_AUTO_BED_LEVELING`

Habilita el uso de calibración automática.

- `#define AUTO_BED_LEVELING_GRID_POINTS 3`

Define el número de puntos en una línea para el levantamiento de superficie.

- `#define LEFT_PROBE_BED_POSITION 22`

- `#define RIGHT_PROBE_BED_POSITION 88`

- `#define BACK_PROBE_BED_POSITION 88`
- `#define FRONT_PROBE_BED_POSITION 22`

Setea los puntos extremos del cuadrado donde se realizará la calibración automática.

- `#define X_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER 0`
- `#define Y_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER 20`
- `#define Z_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER -2.55`

Setea la posición del sensor con referencia de la punta de extrusión

- `#define XY_TRAVEL_SPEED 1200`

Define la velocidad en mm/min de la traslación del plano XY durante la calibración.

- `#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT {400,400,2560,286}`

Define el número de pasos que debe tener el motor {x,y,z,e} para desplazarse 1mm en el eje correspondiente.

- `#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE {30,30,2,10}`

Define la velocidad de desplazamiento máxima de cada eje.

- `#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION {10,10,200,200}`

Establece los valores máximos de aceleración, expresado en mm/s²

- `#define TEMP_STAT_LEDS`

El soporte para la configuración de luces para el control de temperatura.

- `#define SERVO_ENDSTOP_ANGLES {0,0, 0,0, 10,90}`

Posición del sensor durante la calibración.

Es una lista de los cambios más representativos que se realizaron en el firmware para las adaptaciones de la impresora. Por fines prácticos no se detallan todo el código cargado en el firmware, pero en el programa digital se encuentran los comentarios de cada sentencia modificada.

Los subprogramas modificados fueron: `configuration.h`, `pin.h`, `marlin.cpp`.

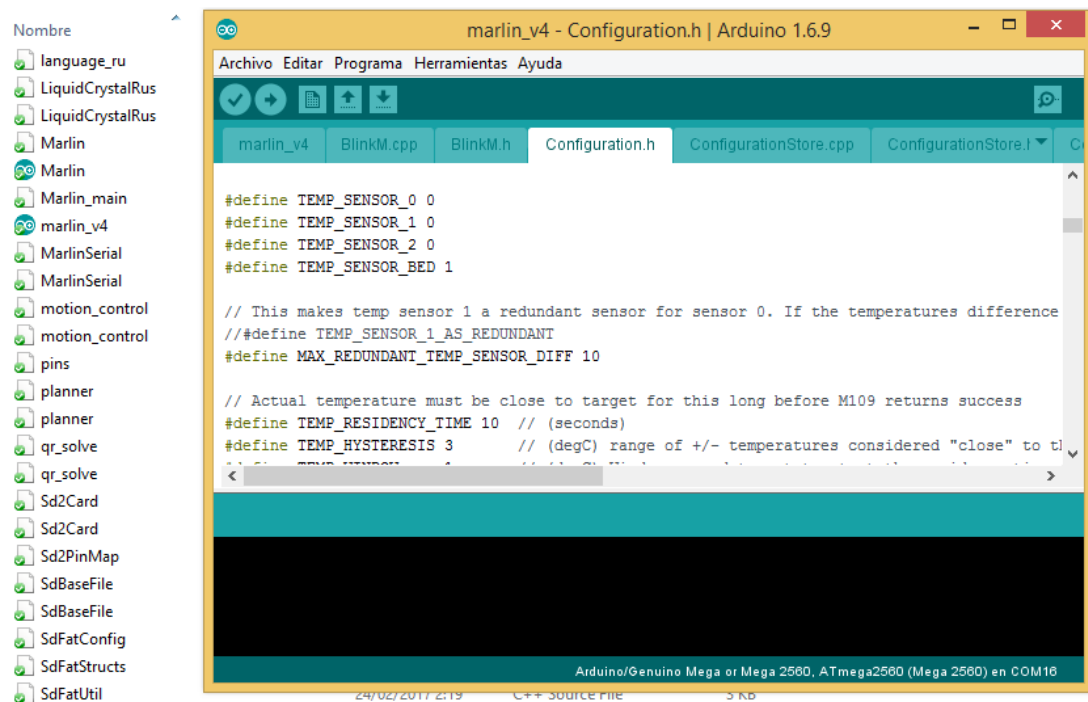


Figura 68 Archivo Configuration.h del firmware Marlin

3.3.3. Software

Los cambios que se deben realizar en el software van acorde a las configuraciones cargadas con el firmware.

En el software se limita también las dimensiones de trabajo, comportamiento del material, control de temperatura y otras características necesarias para la impresión.

En la siguiente tabla se presenta un detalle de los principales cambios realizados en el software Matter Control para la comunicación con nuestra tarjeta de control.

Tabla 23
Principales configuraciones de software Matter Control

Parámetro	Valor
Velocidad de comunicación	250000 Baudios
Temperatura de extrusión	0C y 230C para sinterizado
Dimensiones de trabajo	100x100 mm
Diámetro de punta	0.2 mm
Velocidad máxima de impresión	1mm/s

3.4. DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE EXTRUSIÓN

Para el subsistema de extrusión se empezó a trabajar con un sistema de empuje pistón/engrane que se muestra en la figura 69, el sistema tiene una precisión de 0.01mm ideal para nuestra aplicación. Con el uso del sistema de extrusión se realizaron los diseños correspondientes.

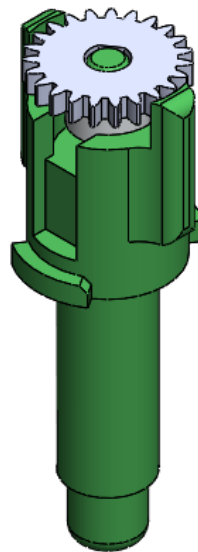


Figura 69 Sistema de empuje pistón/engrane

El diseño se enfocó en realizar un sistema de fácil extracción por lo que se usaron imanes de neodimio tanto para la unión de la capsula del material con el motor del extrusor, así como de todo el extrusor al subsistema de movilidad.

En la imagen 70 se puede apreciar el diseño realizado para la capsula contenedora del material, esta capsula fue diseñada para imprimirse en 3D por el nivel de complejidad. Dispone de dos imanes de neodimio que sirven para la sujeción de la pieza con el resto del extrusor.

Inicialmente se diseñó la capsula con 4 imanes, pero debido a la influencia de los campos magnéticos sobre el sensor touch, se realizó un estudio magnético donde se eliminaron dos imanes.

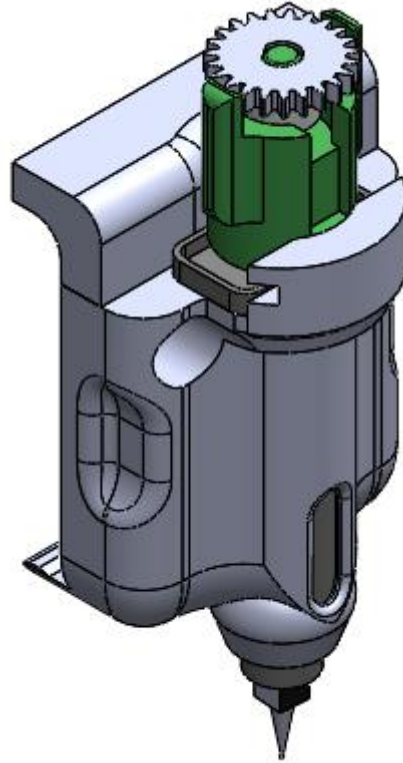


Figura 70 Capsula diseñada para el cambio de material rápido

Una vez culminado el diseño de la cápsula se procede a realizar el acople entre la cápsula y el sistema de movimiento del eje X, este acople debe contenedor además el motor que genera el movimiento al pistón.

Para la sujeción de esta pieza se utilizaron 2 guías para asegurar el encaje de las piezas, y 4 imanes de neodimio formando un cuadrado.

En la figura 71 se puede observar el acople diseñado, que de igual manera se debe fabricar en 3D por el nivel de complejidad.

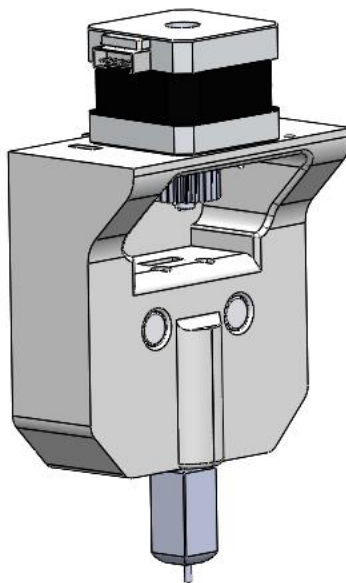


Figura 71 Capsula diseñada para el cambio de material rápido

En la figura 72 se puede observar finalmente el diseño del extrusor completo, montado al sistema de movimiento del eje x.

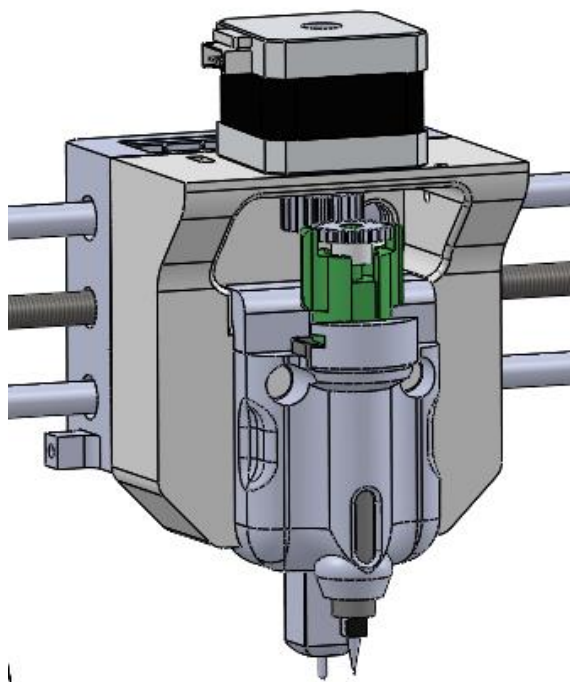


Figura 72 Capsula diseñada para el cambio de material rápido

3.5. DISEÑO DEL SUBSISTEMA ESTRUCTURAL

En el diseño estructural hay que tomar en cuenta que se ha ido desarrollando en el transcurso del diseño como tal, es así que lo que no ha sido englobado en los demás subsistemas, será completado en este subsistema.

Las tapas son diseñadas para doblarse en chapa metálica para poder darle una apariencia curva. En la figura 74 se observan la chapa metálica diseñada para la tapa de la base. Así como su matriz de doblado

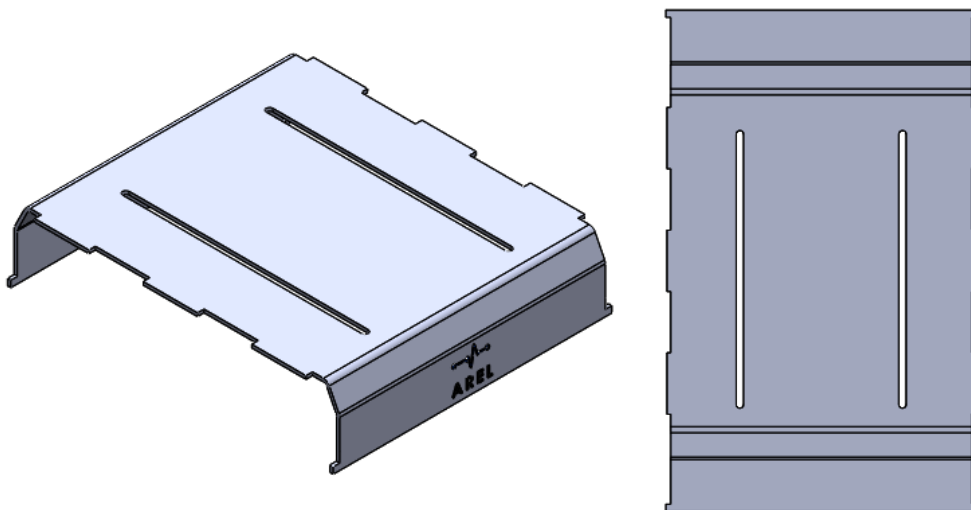


Figura 73 Diseño en chapa para doblado de acrílico

De la misma forma se diseñaron las tapas de las columnas derecha e izquierda.

Además el diseño estructural incorporó la unión de todos los subsistemas, ya que aquí se incorporan las necesidades geométricas y ordenamiento de los componentes para seguir en la misma línea geométrica del diseño conceptual.

En las figuras 74 y 75 se pueden observar el diseño completo incorporando todos los subsistemas.

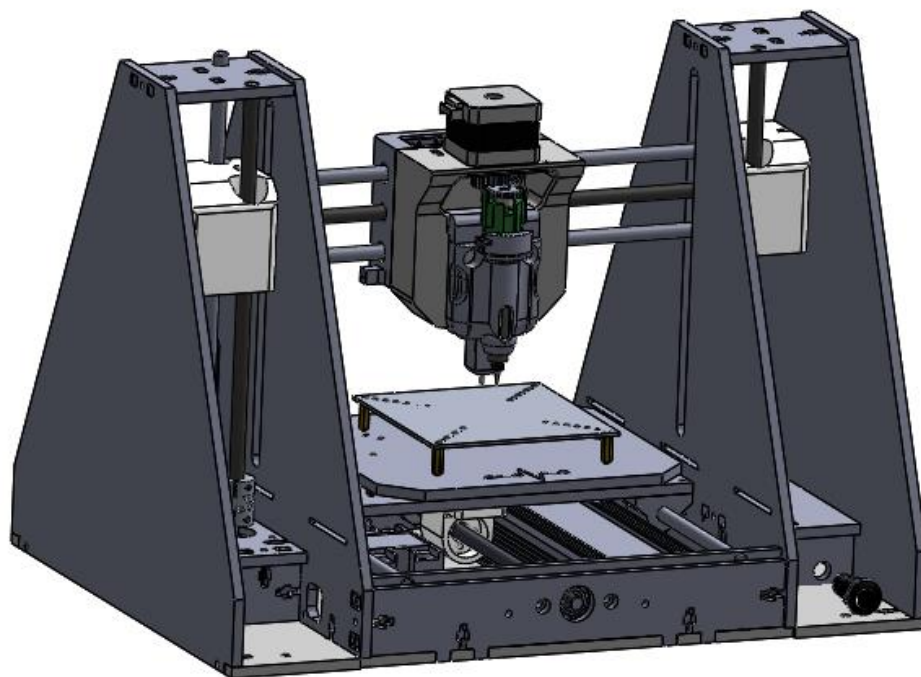


Figura 74 Ensamble de subsistemas sin tapas

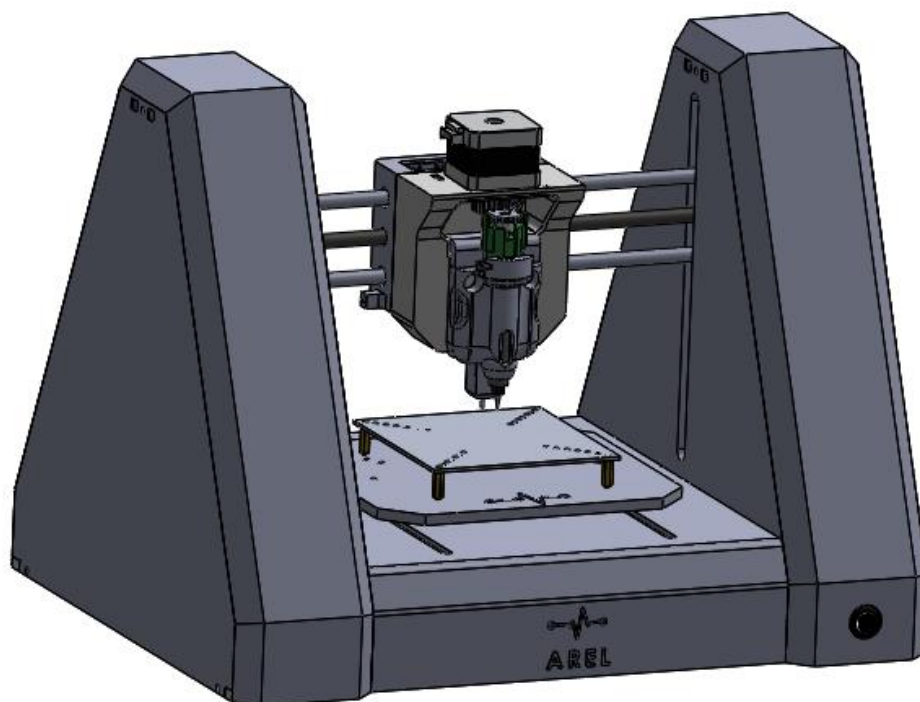


Figura 75 Diseño completo de la impresora

RESUMEN

El diseño de la impresora se realizó en base a un análisis de las necesidades de los clientes para garantizar que la impresora está alineada con lo que quiere el usuario. Para el análisis se utilizó la matriz QFD que evalúa estos factores y al final nos permite estructurar nuestro proyecto en subsistemas. Los subsistemas determinados son: Subsistema de movilidad, de extrusión, de alimentación, de mesa de trabajo, de estructura y de control.

Antes de empezar con el desarrollo del diseño de cada subsistema se realizó la selección de componentes que conformarán la impresora. Se evaluó al menos 3 propuestas para cada subsistema, haciendo un pequeño análisis de ventajas y desventajas se logró determinar la mejor opción.

Con los componentes seleccionados para se empezó a diseñar la impresora por subsistemas, el orden de diseño se estableció en relación de dependencia entre subsistemas. Se empezó diseñando el subsistema de movilidad.

El subsistema de movilidad está compuesto por 3 ejes, XYZ cada uno de los ejes fue diseñado para funcionar con tornillo sin fin, y las piezas de sujeción fueron desarrolladas con tecnología corte láser e impresión 3D.

El subsistema de alimentación, que corresponde a la fuente de poder se diseñó para que pueda ser extraída sin necesidad de desarmar la impresora, el dimensionamiento de corriente dio como resultado la selección de una fuente de 150W.

En el subsistema de mesa de trabajo se diseñó la cama caliente con características como: temperatura de alcance $>210\text{C}$, potencia $>300\text{W}$, voltaje de trabajo AC 110V. Para el diseño de la cama caliente se consultó con una fábrica de calefones y resistencias eléctricas, aquí se dispusieron de algunos materiales con los que se pudo diseñar de manera idónea la cama caliente.

El subsistema de extrusión fue diseñado con un actuador pistón/engrane que funciona con el principio de la jeringa. Las piezas de soporte fueron diseñadas para ser impresas en 3D y se diseñó un sistema de fácil cambio de material con el uso de imanes de neodimio. Además se instaló un sensor touch para hacer el levantamiento de la base, y tener una malla exacta sobre la superficie que se va a trabajar.

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN

En el presente capítulo se detalla el proceso de construcción y ensamble de cada uno de los componentes de la impresora.

4.1. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

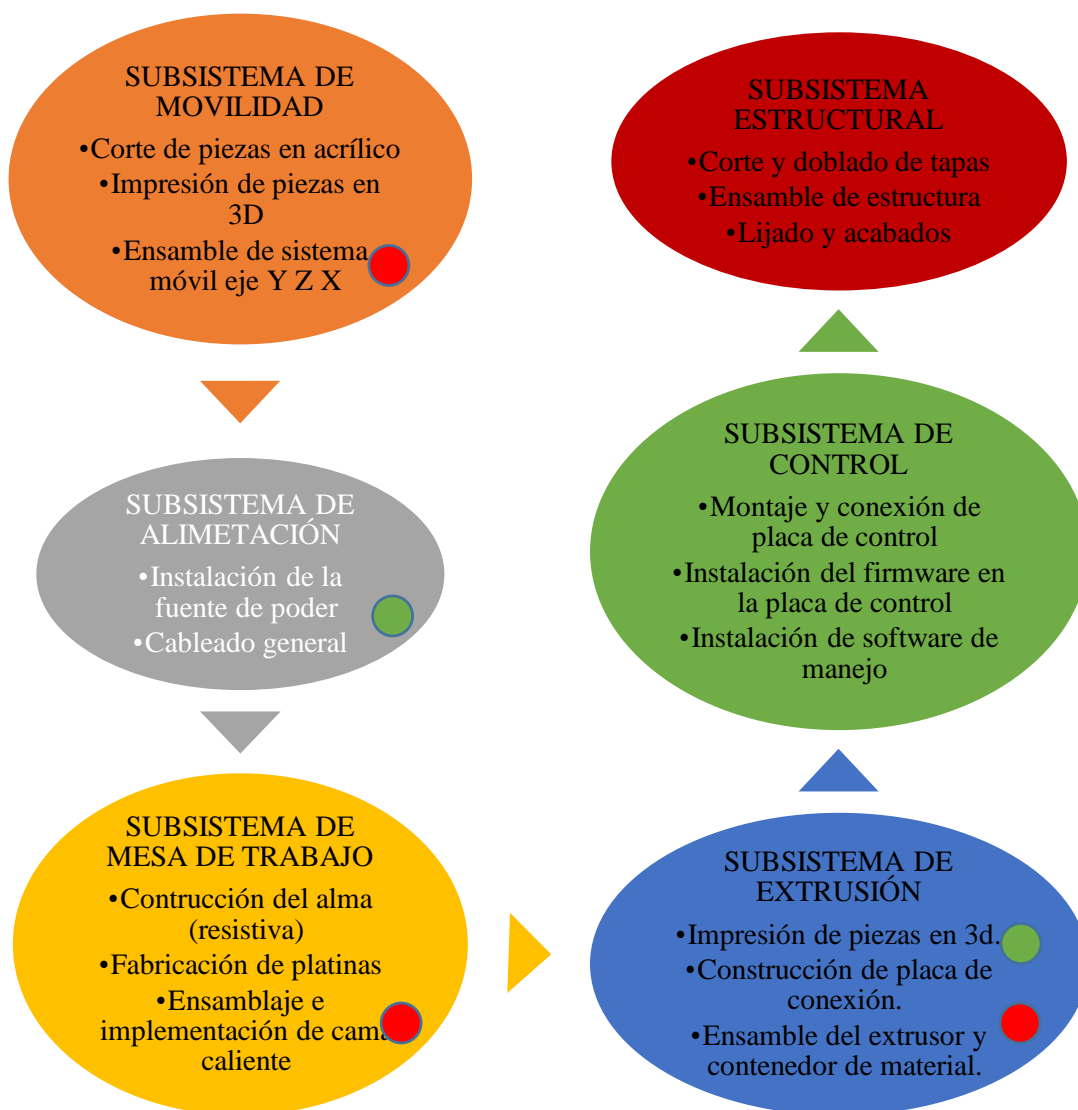


Figura 76 Proceso de construcción en orden de subsistemas.

En la figura 76 se puede observar el proceso que se siguió para la construcción de la impresora, la construcción se clasificó por subsistemas. Sin embargo existes procesos de que se deben trabajar en paralelo. Los pequeños círculos de colores representan las actividades que corresponden a procesos que se incluyen en dos o más subsistemas.

4.2. IMPLEMENTACIÓN DE SUBSISTEMA DE MOVILIDAD

4.2.1. Cortes de piezas en acrílico

Para la implementación del subsistema de movilidad se empezó por realizar los cortes de las piezas en acrílico que son necesarios para el ensamble. En la imagen 69 se observan los perfiles de las piezas que se cortaron.

El material usado para el corte es acrílico de 6mm de espesor de color blanco lechoso. Las piezas tuvieron que ser distribuidas en planchas de 600x400mm, esta limitación se dio por la máquina en la que se realizaron los cortes. En la figura 77 se observa la plancha de corte antes de ser trabajada en la maquinaria laser.

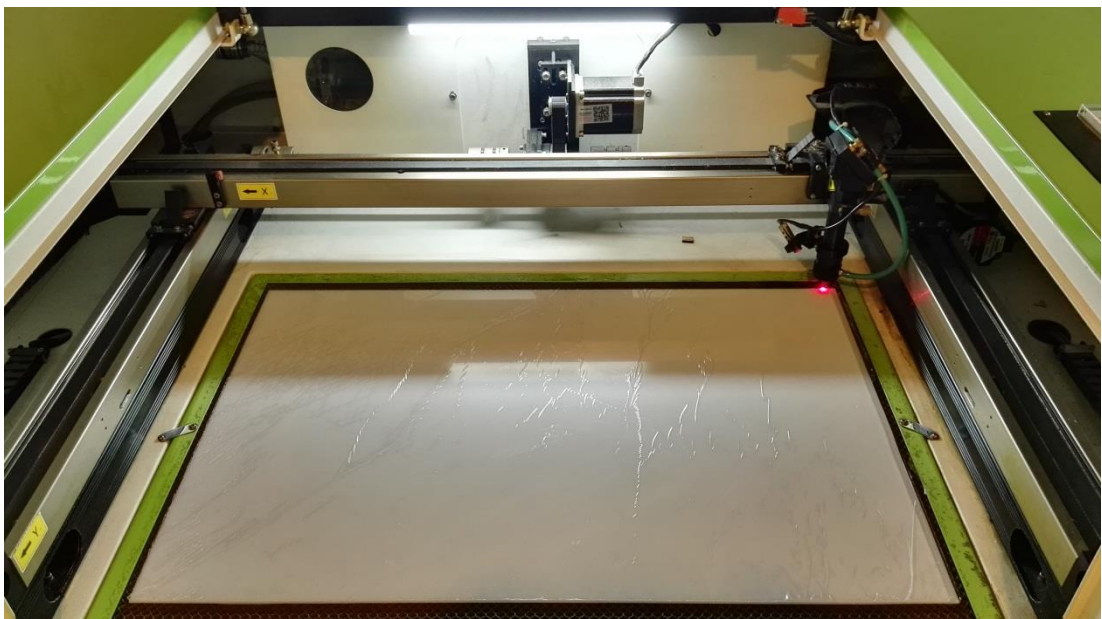


Figura 77 Plancha 6mm acrílico 600x400mm para corte de piezas

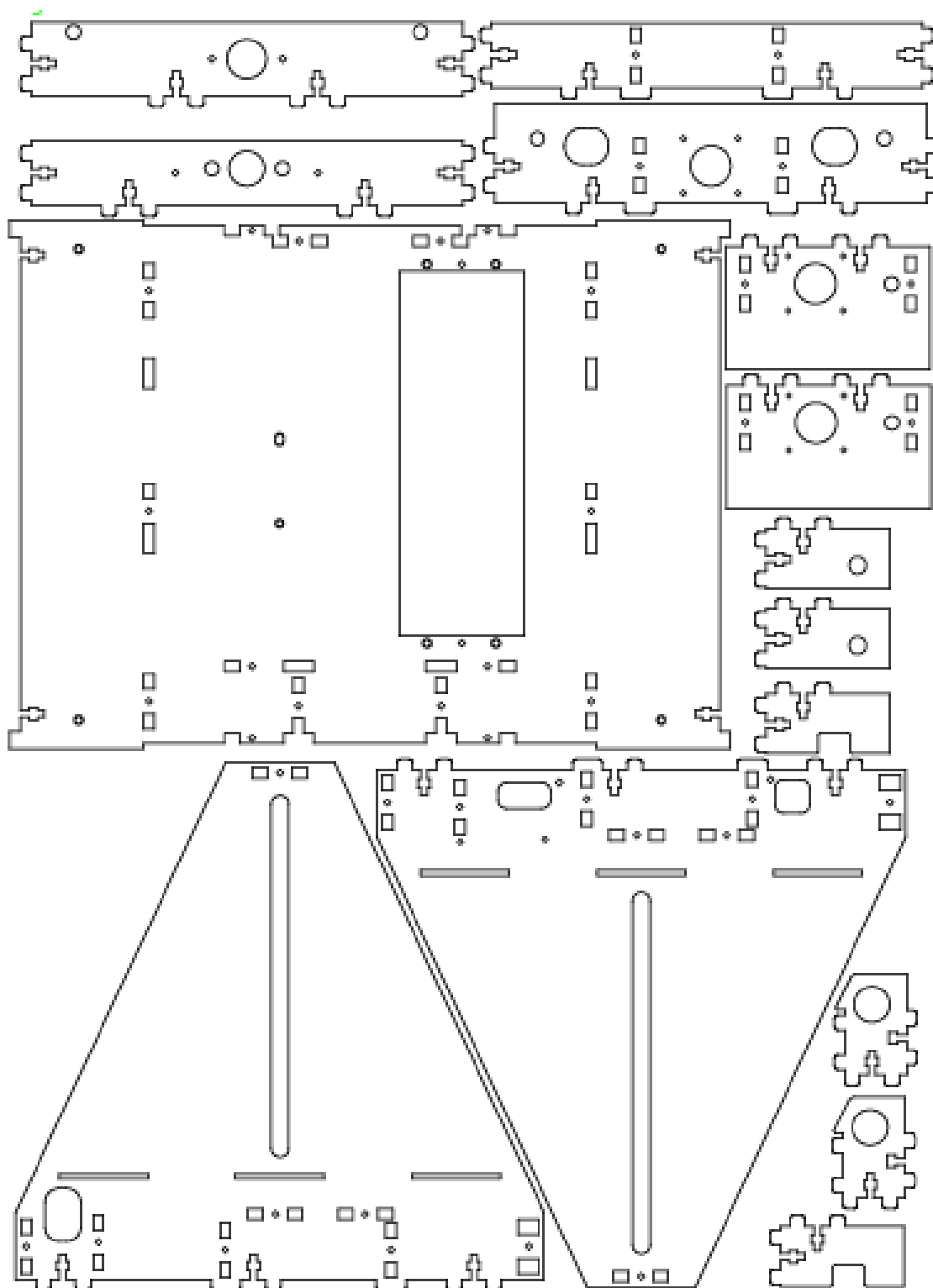


Figura 78 Perfiles de corte para sistema de movilidad

En la figura 79 se puede observar algunas piezas del ensamble cortadas, se cambió la tolerancia que se había propuesto que el espesor del material con el que se trabajó mantenía una tolerancia de $\pm 0.4\text{mm}$.

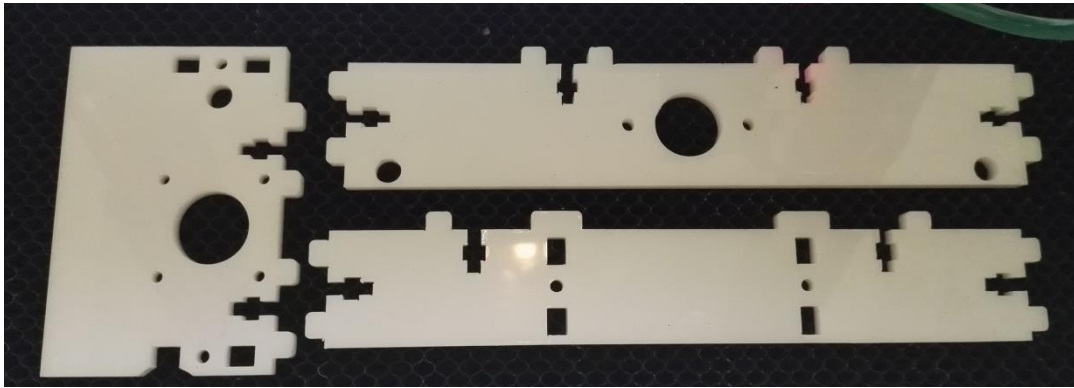


Figura 79 Piezas cortadas en láser del subsistema de movilidad

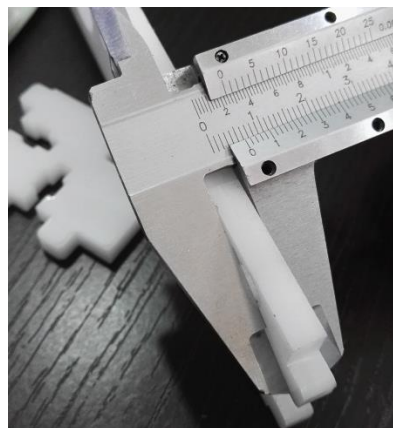


Figura 80 Medida del espesor del material a trabajar.

4.2.2. Impresión de piezas en 3D

Para la fabricación de las piezas impresas se realizó un pequeño análisis de material, en el que se definió entre ABS y PLA. EL PLA presenta mayor facilidad al momento de imprimir y menor riesgo de pandeo o deformación de medidas.

En la siguiente figura se puede observar las piezas que se fabricaron con tecnología de impresión 3D para el subsistema de movilidad, la mayoría de piezas tuvieron que ser lijadas posteriormente para que el encaje de la pieza sea el adecuado.

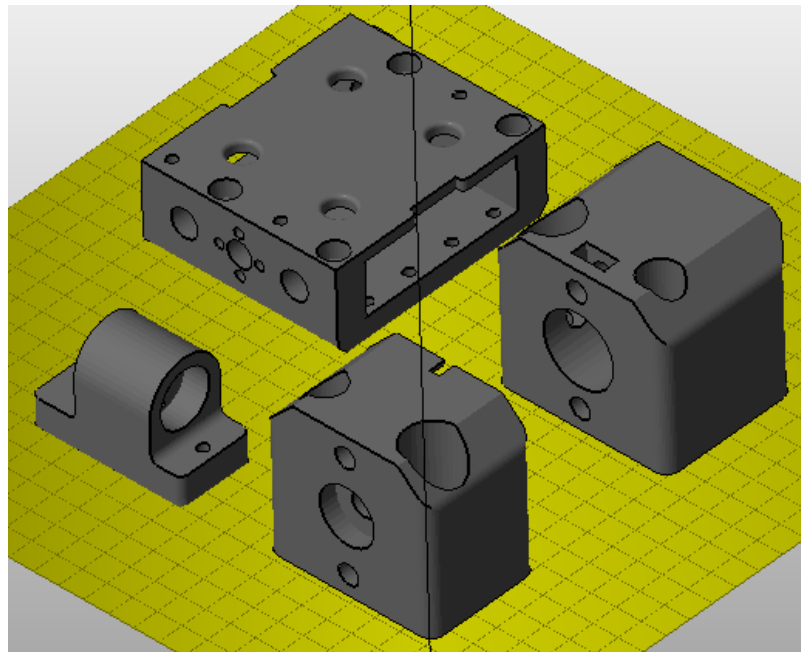


Figura 81 Piezas en formato STL para fabricar con impresión 3D

La fabricación de estas piezas se realizó con la impresora Rostock Max V2. Se escogió esta máquina por la tolerancia de las medidas en especial en agujeros internos $\pm 0.1\text{mm}$.

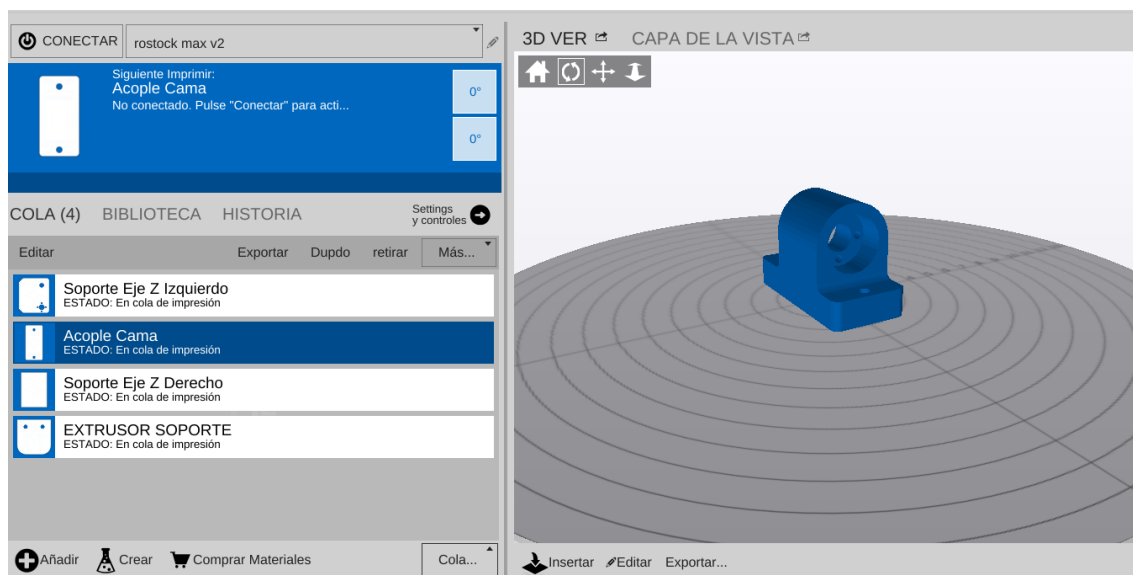


Figura 82 Piezas a ser impresas en el software Matter Control

Las características de impresión como relleno y sentido de impresión, número de capas y otros parámetros fueron establecidos con el software Matter Control. Estas se encuentran detalladas en la tabla 24.

Tabla 24

Características de impresión para las piezas del subsistema de movilidad

Característica	Detalle
Espesor perimetral	1.5 mm
Espesor de capa inferior	2 mm
Espesor de capa inferior	2 mm
Geometría de relleno	Rombo
Densidad de relleno	50%
Altura de capa	0.2 mm

En la siguiente figura 83 se puede observar una capa intermedia donde se aprecia la estructura de impresión. En color verde se muestra el espesor perimetral y de color rojo el relleno. En la parte derecha de la imagen se puede apreciar el tiempo y material que requiere para la fabricación de la pieza.

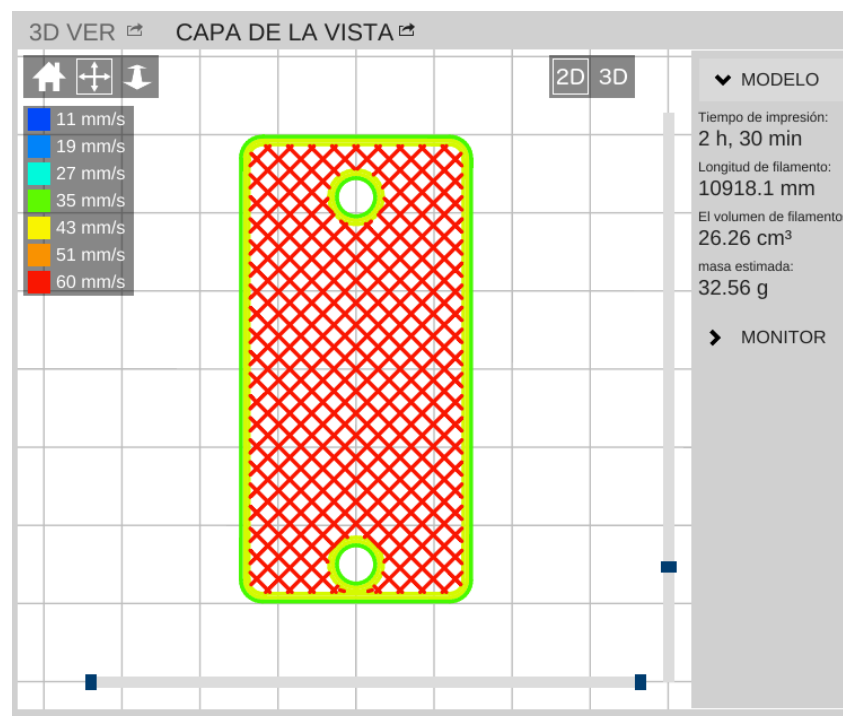


Figura 83 Detalle de pieza “soporte central del eje y”

Finalmente en la siguiente figura se presenta de la pieza “soporte central del eje y” impresa con el modelo diseñado en software. Es importante aclarar que la pieza que estuvo sometida a un post proceso de limpieza y lijado para mejorar el aspecto visual.

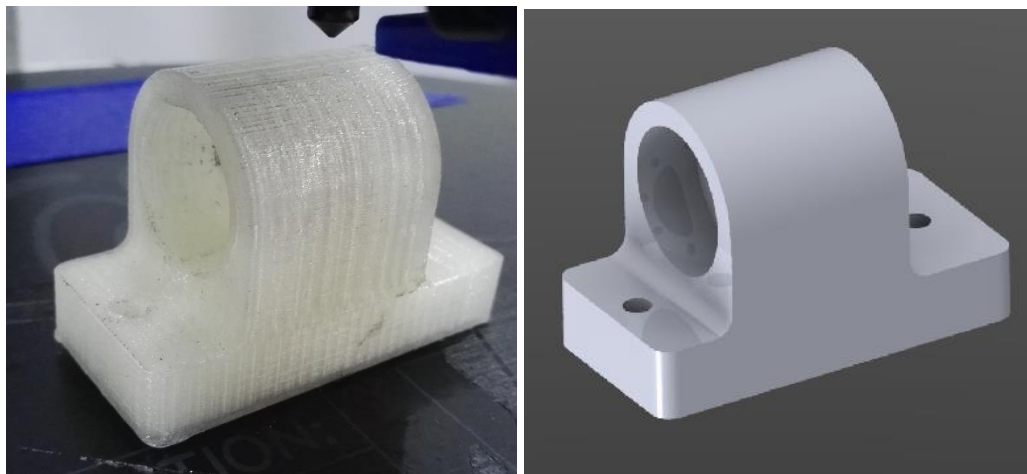


Figura 84 Pieza “soporte central del eje y” impresa en 3D

Con las 4 piezas impresas y las piezas fabricadas en corte láser se procede al ensamble del subsistema de movilidad.

4.2.3. Ensamble de subsistema de movilidad

Para el ensamble del subsistema de movilidad se requirieron una serie de materiales que se encuentran detallados en la tabla 20.

Tabla 25

Materiales para ensamble del subsistema de movilidad

Pieza	Cantidad	Origen o método de fabricación
Soporte central del eje y	1	PLA / Impresión 3D
Soporte eje z derecho	1	PLA / Impresión 3D
Soporte eje z izquierdo	1	PLA / Impresión 3D
Soporte sistema móvil eje x	1	PLA / Impresión 3D
Base	1	Acrílico / Corte láser
Soporte superior Nema	2	Acrílico / Corte láser
Pared derecha	1	Acrílico / Corte láser

Pared izquierda	1	Acrílico / Corte láser
Soporte lateral nema trasero	2	Acrílico / Corte láser
Soporte lateral nema izquierdo	2	Acrílico / Corte láser
Soporte lateral nema derecho	2	Acrílico / Corte láser
Soporte delantero	1	Acrílico / Corte láser
Soporte trasero	1	Acrílico / Corte láser
Soporte eje pared	1	Acrílico / Corte láser
Soporte superior nema eje y	2	Acrílico / Corte láser
Pernos M4x16 con tuerca de presión	+30	Acero
Pernos M3x10	16	Acero
Motores Nema 17	4	-----
Acoples de eje 5/8 mm	4	Aluminio
Ejes guía de 8mm	6	Acero dulce
Rodamientos lineales LM8LU	12	----
Acoples para rodamientos lineales	8	ABS
Ejes roscado para transmisión de movimiento	4	Acero
Rodamiento de bolas 608ZZ	1	----
Anillos de sujeción 8mm	12	Aluminio
Imanes 9x6mm	4	Neodimio

Una vez cortadas las piezas de acrílico se procedió al ensamble, el encaje entre piezas de acrílico se diseñó para que se haga con pernos M4x16 con tuerca de presión, para evitar el afloje entre piezas por las constantes vibraciones.



Figura 85 Sistema de sujeción entre piezas de acrílico

Con todas las piezas cortadas, materiales y herramientas correspondientes, procedemos al ensamble del sistema de movilidad, se empieza por ensamblar el sistema de movilidad del eje Y.

En la siguiente figura se puede observar un renderizado del ensamble con el ensamble real de la máquina.

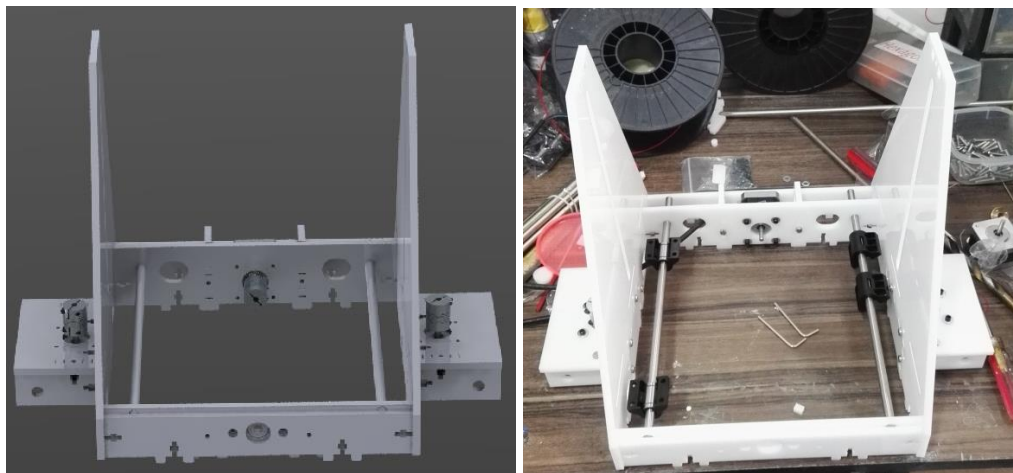


Figura 86 Ensamble del sistema de movilidad del eje y

En las siguientes imágenes se presenta el ensamble del subsistema de movilidad, se menciona además que en el diseño se consideró la facilidad de armado, el proceso de armado tiene que seguir un orden específico.

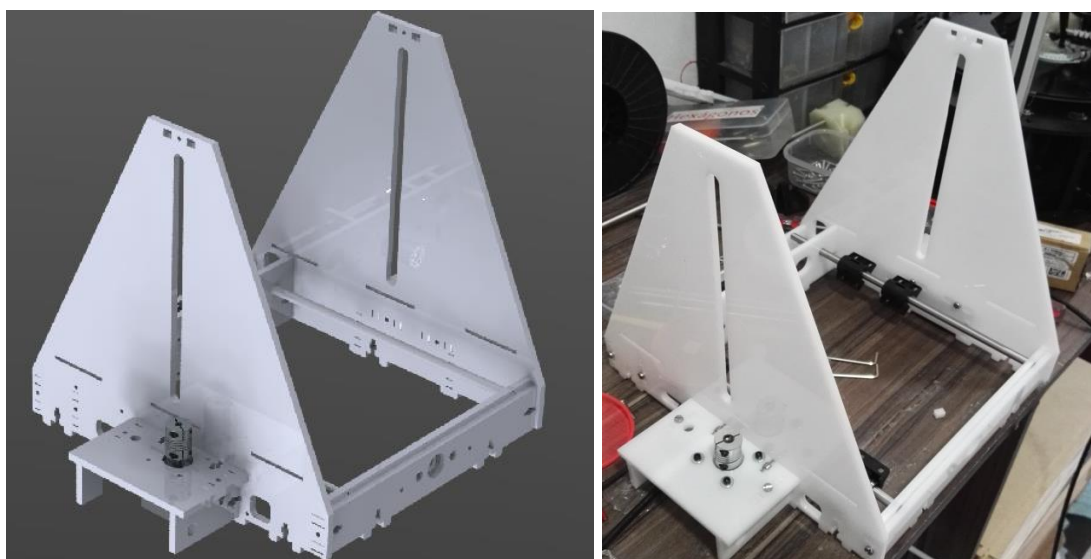


Figura 87 Ensamble estructural del sistema de movilidad

Durante el proceso de ensamblaje del sistema de movilidad se implementó el cableado, el subsistema de alimentación, ya que el proceso de ensamblaje requería que estos subsistemas se ensamblaran paralelamente.

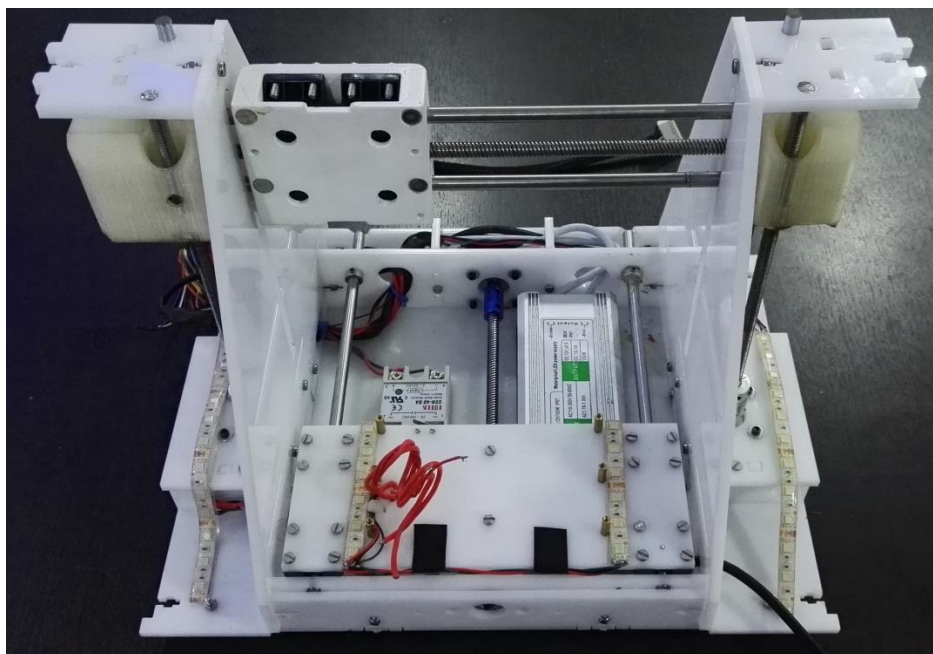


Figura 88 Ensamble real de subsistema de movilidad

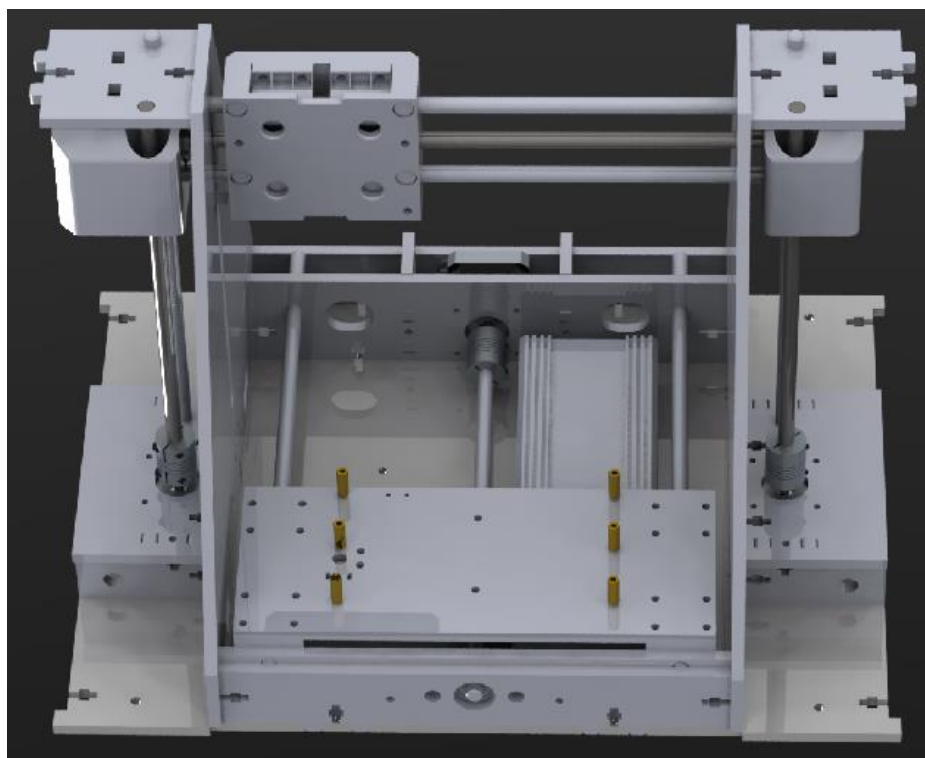


Figura 89 Renderizado del ensamble del subsistema de movilidad

4.3. IMPLEMENTACIÓN DE SUBSISTEMA DE ALIMENTACIÓN

La implementación del subsistema de alimentación se realizó paralelamente al subsistema de movilidad.

Los principales componentes son la fuente y el cableado de la impresora. En la figura 90 se puede observar la incorporación de la fuente de alimentación.

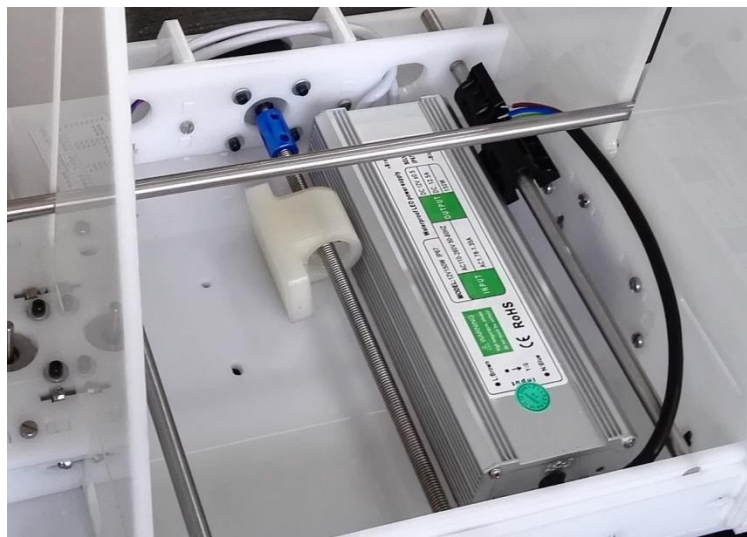


Figura 90 Implementación de la fuente de alimentación.

4.3.1. Cableado

EL cableado se realizó con varios calibres de cable, estos dependieron del dimensionamiento de corriente que requiere cada cable, el rango de cables entre 12 y 22 AWG. También se utilizó cable con fibras de plata y cubierta térmica, ideal para la conducción de corriente en la base caliente.

Todos los empalmes de cables se cubrieron con cinta termo-ajustable para disminuir cualquier riesgo de contacto. Además en los cables con terminales de conexión se implementaron conectores diferentes, de modo que si algo se desconecta, sea muy sencillo identificar el conector correspondiente.

Por último los cables que quedan fuera de la estructura de la impresora fueron cubiertos con fibras cubrecables para que no dañe el aspecto visual.

Todos los cables se encuentran debidamente asegurados con correas de sujeción para evitar el desgarramiento u obstrucción con los sistemas de movimiento.

En las siguientes figuras se puede observar el cableado de todo el sistema donde se pueden identificar jacks, cobertores, cintas termo-ajustables, correas de sujeción, dimensionamiento de cableado, y diferenciación de función por color.



Figura 91 Cableado de fuente de alimentación.



Figura 92 Conector externo para extrusor

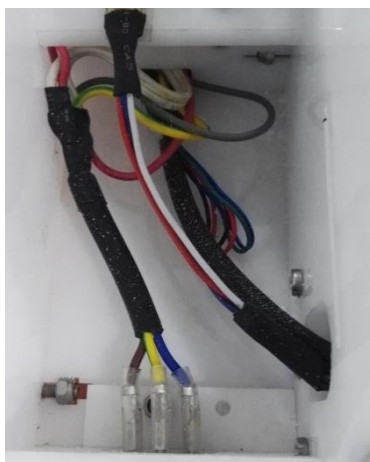


Figura 93 Cableado interno

4.4. IMPLEMENTACIÓN DE SUBSISTEMA DE MESA DE TRABAJO

La fabricación de la mesa de trabajo o también llamada “cama caliente” se realizó en un taller de elaboración de calefactores, en el cual tenían los materiales adecuados para la construcción de la cama caliente.

En las siguientes imágenes se describe la construcción del alma de la cama caliente, que está hecha a base de hilo resistivo y láminas de fibra no conductora.

Se armó el alma tomando en cuenta los agujeros para la posterior sujeción de la cama con los platos de presión que cubrirían la cama caliente.

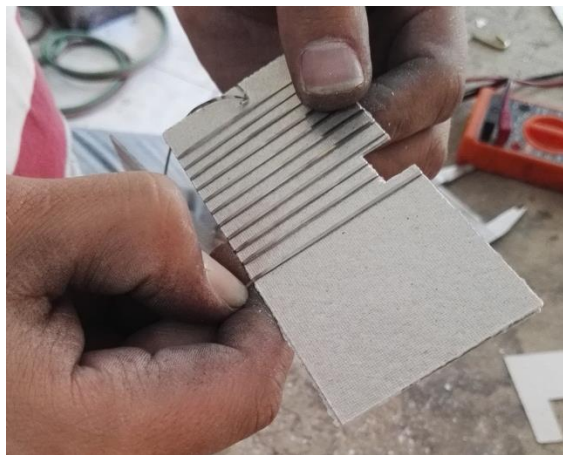


Figura 94 Proceso de enrollamiento de hilo resistivo

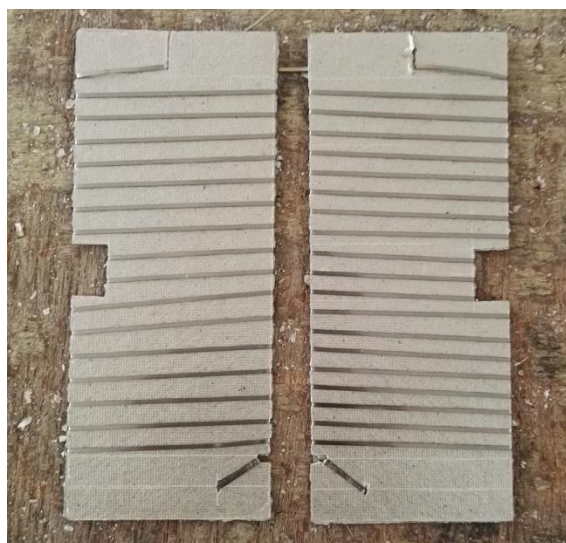


Figura 95 Columnas del alma de la cama caliente

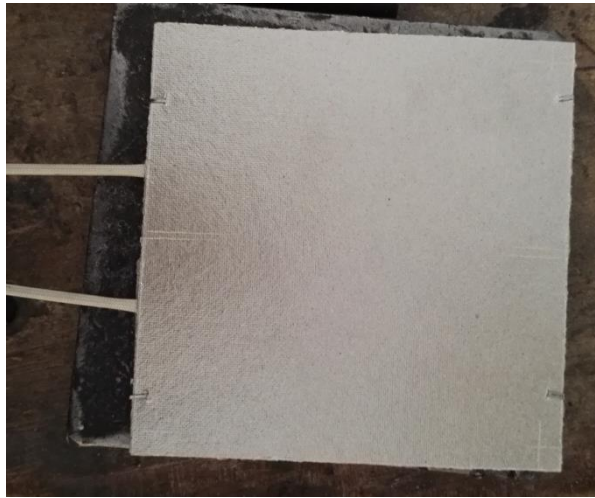


Figura 96 Alma resistiva finalizada

Una vez que se construyó el alma de la cama, se procedió a la implementación de las placas de presión que cubrirán el alma, estas son estrictamente necesarias debido a las altas temperaturas a las que se encontrará expuesto. En el capítulo 3 se hace el cálculo del espesor mínimo en latón para que la placa no se pandee con la exposición de calor o el continuo trabajo.

Estas platinas fueron cortadas con una cizalladora industrial, y trabajadas posteriormente con un taladro de mesa para la elaboración de agujeros.



Figura 97 Construcción de platinas de presión.

Una vez finalizada las platinas se procede al ensamble y terminado de la cama caliente en la tabla 26 se enumeran los elementos necesarios para el ensamble de la misma.

Tabla 26

Materiales para ensamble del subsistema de base caliente

Pieza	Cantidad	Origen o método de fabricación
Alma caliente	1	(hilo resistivo+fibra)
Platina superior 3mm	1	Latón laminado
Platina inferior 2mm	1	latón laminado
Silicona de alta temperatura	10 g	----
Pernos M3 avellanada	4	INOX
Tuercas de presión M3	4	Acero
Sensor NTC 100K	1	----
Cobertores térmicos para cable	1	Fibra
Pintura de alta temperatura	1	----
Cinta térmica	2	----

Antes de proceder al ensamble de la cama es importante mantener una superficie muy limpia y lisa para el trabajo con la silicona y la pintura por lo que se le dio una mano de lija a las platinas de latón.

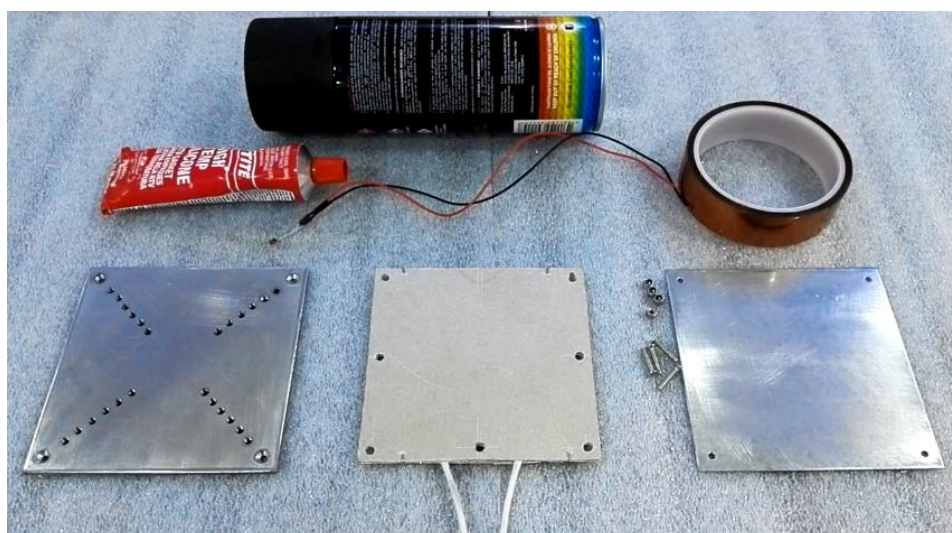


Figura 98 Materiales para el ensamble de la cama caliente

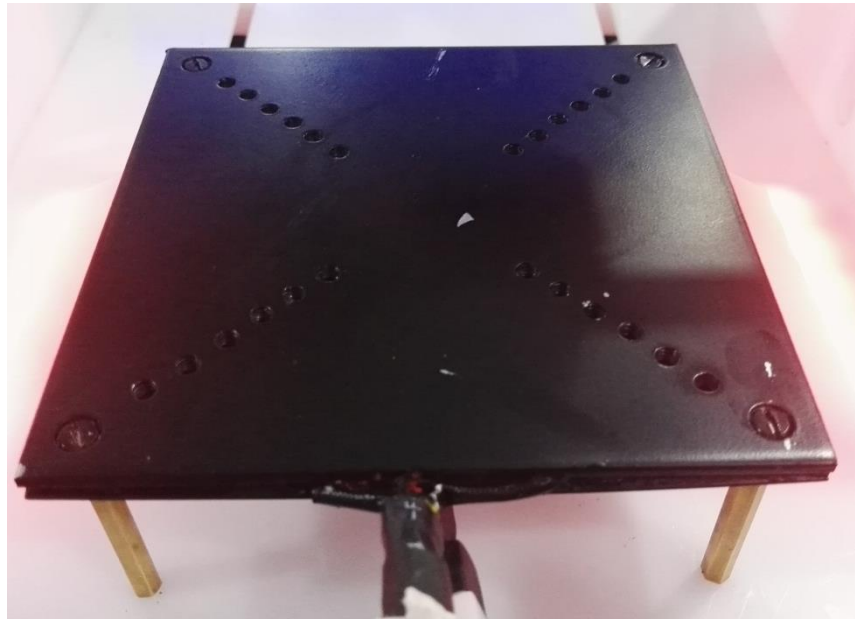


Figura 99 Cama caliente armada e implementada

4.5. IMPLEMENTACIÓN DE SUBSISTEMA DE EXTRUSIÓN

Para la elaboración del subsistema del extrusor se divide en 3 partes importantes, la impresión 3D de las piezas, el ensamble y la fabricación de la placa electrónica de distribución de pines.

4.5.1. Impresión 3D de piezas

Las piezas del subsistema de extrusión serán fabricadas en PLA color blanco para un posterior lijado y pulido. Se escoge PLA ya que el sistema extrusor no estará expuesto a temperaturas mayores a 30C.

En la siguiente figura se puede observar las piezas que se fabricaron con tecnología de impresión 3D para el subsistema de movilidad, la mayoría de piezas tuvieron que ser lijadas posteriormente para que el encaje de la pieza sea el adecuado.

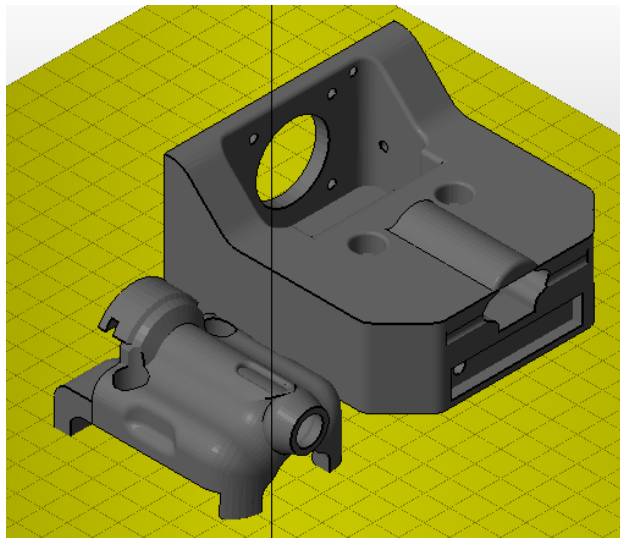


Figura 100 Piezas en formato STL del subsistema de extrusión.

A continuación las piezas son exportadas al software Matter Control donde se eligen las características de impresión, en la tabla número 27 se puede observar los parámetros seleccionados para la impresión de estas dos piezas. En la figura 101 se puede observar el sentido de impresión de las piezas.

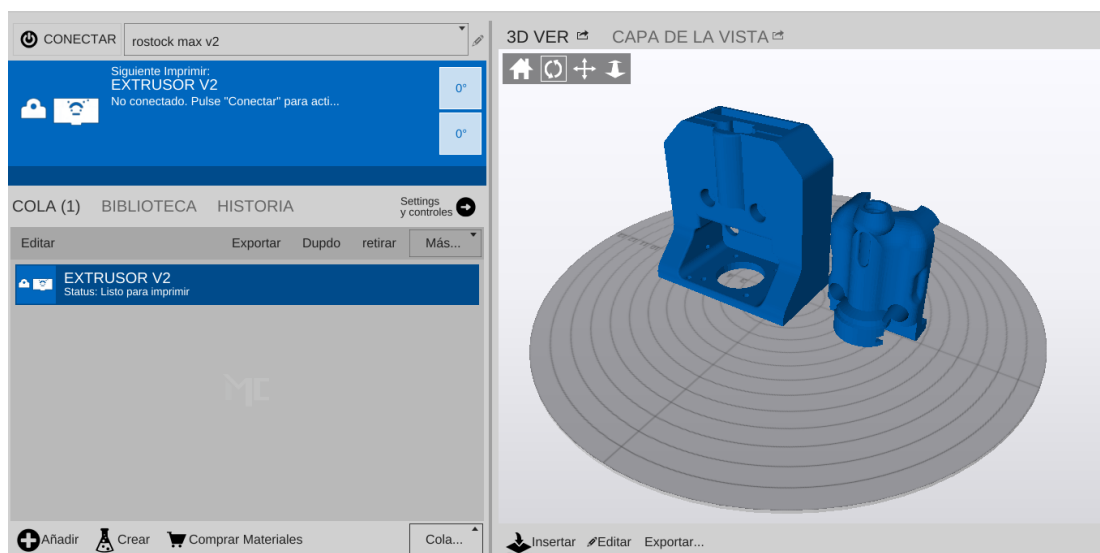


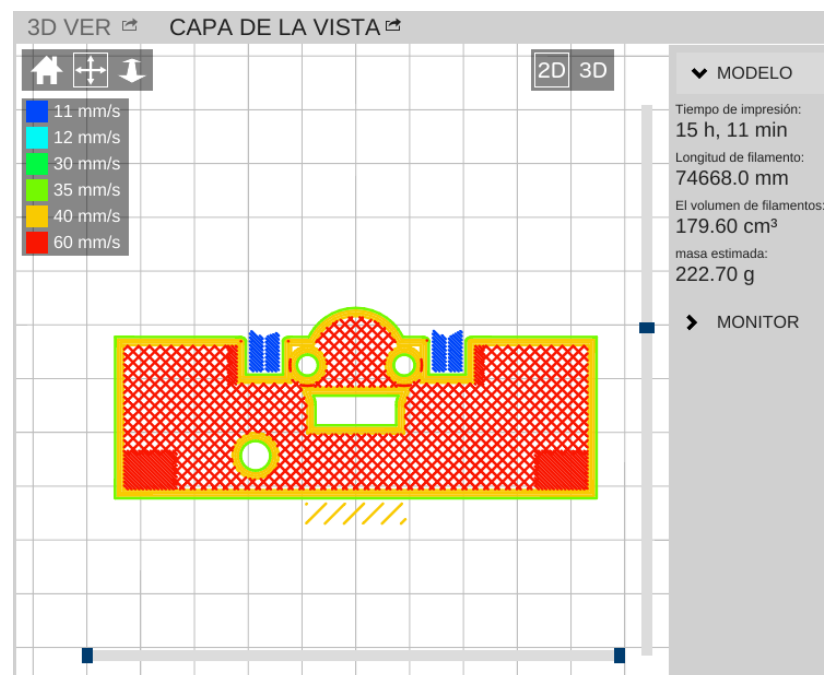
Figura 101 Piezas en formato STL del subsistema de extrusión.

Tabla 27

Características de impresión para las piezas del subsistema de movilidad

Característica	Detalle
Espesor perimetral	2 mm
Espesor de capa inferior	2 mm
Espesor de capa inferior	2 mm
Geometría de relleno	Rombo
Densidad de relleno	70%
Altura de capa	0.2 mm

En la siguiente figura se observa una capa intermedia donde se puede apreciar la estructura de impresión. En color verde y amarillo se encuentra el espesor perimetral y de color rojo el relleno, en color azul el material de soporte. En la parte derecha de la imagen se puede ver el tiempo y material que requiere para la fabricación de la pieza.

**Figura 102** Detalle estructural de la pieza “Extrusor”

Las piezas fueron sometidas a un post proceso de limpieza y lijado como se muestra en la siguiente figura, esto se hace para eliminar las rugosidades y dejar las piezas en las medidas correctas.



Figura 103 Limpieza de piezas impresas del extrusor

Finalmente en la siguiente figura se presenta de la pieza “extrusor” impresa con el modelo diseñado en software.

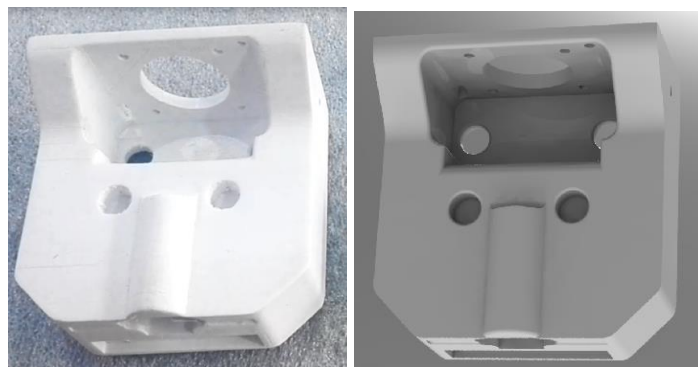


Figura 104 Pieza “extrusor” impresa en 3D y a la derecha modelo renderizado

Además de las piezas impresas se requirió el corte laser de un engrane de 23 dientes de módulo 0.8 con ángulo de incidencia de 20° . Este engrane fue fabricado en acrílico transparente de 12mm y sirve para la transmisión de movimiento entre el motor del extrusor y el pistón de empuje de la jeringa.

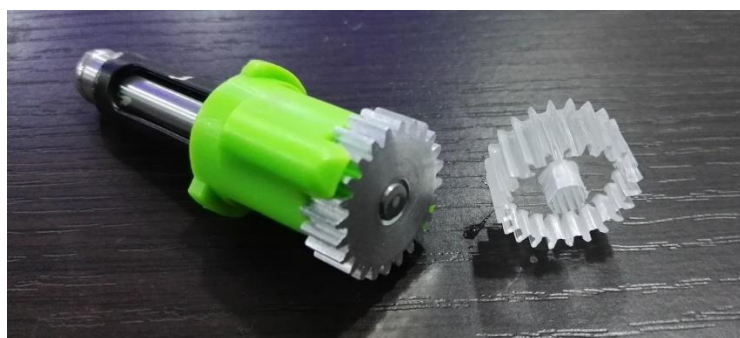


Figura 105 Engrane de 23 dientes cortado en acrílico

4.5.2. Elaboración de placa electrónica de conexión universal

Como se esta trabajando con acoples rápidos de la misma manera existe un acople universal para la conexión de cualquier actuador. Para la distribución de conexiones de los diferentes componentes del extrusor con el conector universal hace falta una placa electrónica.

A continuación se puede ver el diseño de la distribución de pines para el extrusor.

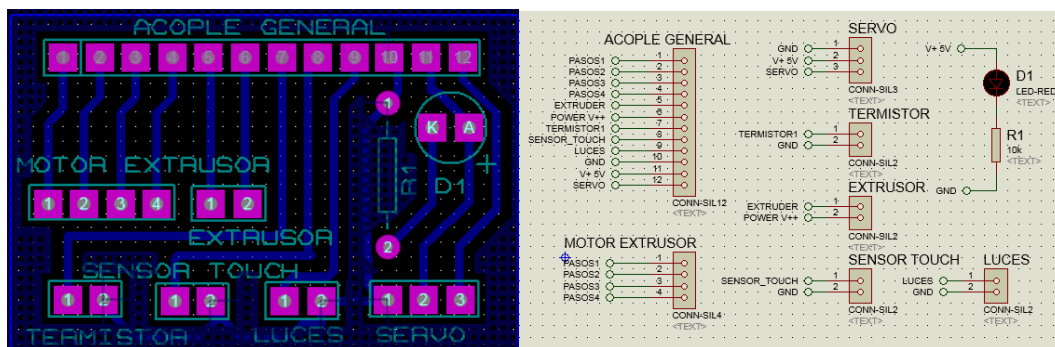


Figura 106 Diseño de la placa electrónica de distribución de pines

Una vez diseñado se procede a la construcción de la placa electrónica, con el método de manufactura convencional, utilizando cloruro férrico.



Figura 107 Placa de distribución de pines

4.5.3. Ensamble del subsistema de extrusión

Una vez que sea culminado con la fabricación de las piezas para el subsistema de extrusión procedemos al ensamble, hay que tomar en cuenta que el subsistema está dividido en dos sub-ensamblajes. Uno de ellos contiene el sensor, el motor, las conexiones, luces. El segundo sub-ensamblaje contiene únicamente el contenedor de tinta conductiva, la punta y el sistema de empuje.

En las siguientes imágenes se puede observar el ensamble de cada una de las partes mencionadas.

Los materiales para el sub-ensamblaje 1 y 2 están detallados en la tabla 24

Tabla 28

Materiales necesarios para el ensamble del subsistema del extrusor

Pieza	Cantidad	Origen o método de fabricación
Extrusor	1	PLA / Impresión 3D
Soporte contenedor	1	PLA / Impresión 3D
Engrane 23 12mm	1	Acrílico / Corte láser
Pernos M3x25 con tuerca de presión	2	Acero
Motores Nema 17	1	-----
Sensor Touch	1	-----
Resortes 5x20mm	2	-----
Pernos M3x5	4	Acero
Luces RGB 10cm	1	-----
Sistema de empuje, engrane-pistón	1	-----
Nozzle 0.2mm	1	-----
Contenedor de tinta conductiva	1	-----
Imanes 9x6mm	8	Neodimio
Placa de distribución de pines	1	-----



Figura 108 Componentes para sub-ensamblaje 1

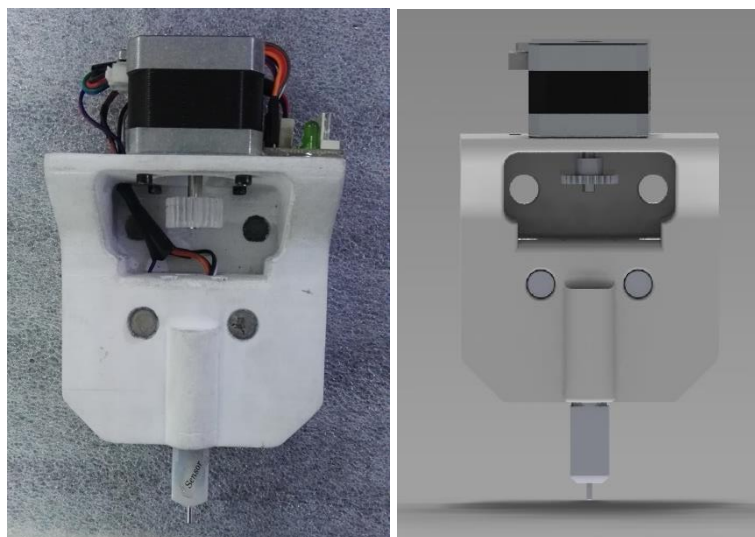


Figura 109 Sub-ensamblaje 1



Figura 110 Componentes para sub-ensamblaje 2

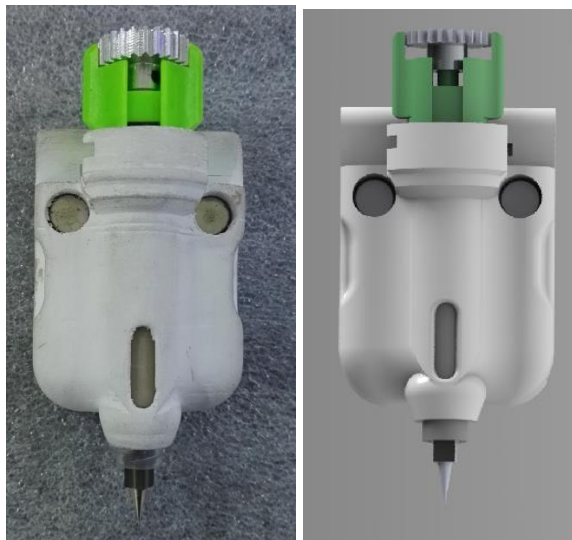


Figura 111 Sub-ensamblaje 2

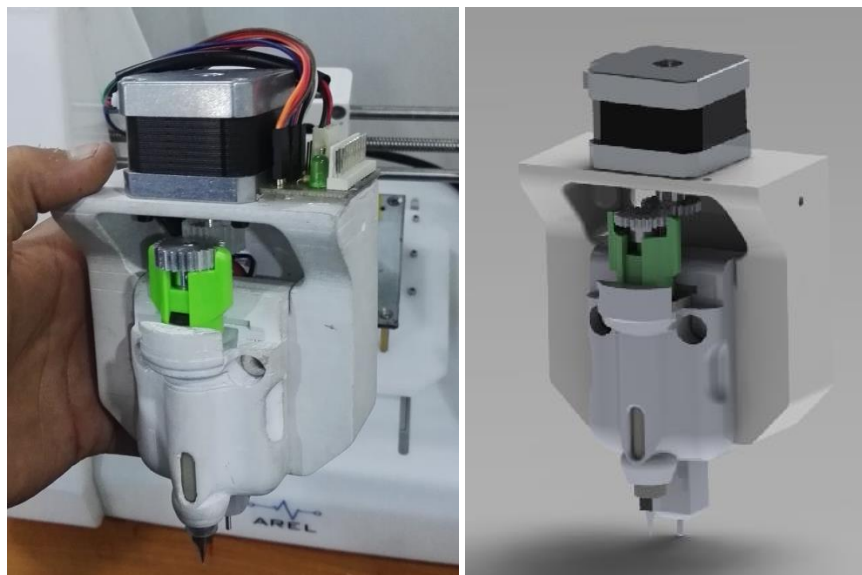


Figura 112 Ensamblaje del subsistema de extrusión.

4.6. IMPLEMENTACIÓN DE SUBSISTEMA DE CONTROL

La implementación del subsistema se clasifica en 3 partes importantes, el software, el firmware y la instalación de la placa de control.

4.6.1. Placa de control

La implementación de la placa de control, consiste en el cableado y conexión de todos los componentes que conforman la impresora, en orden del plano eléctrico propuesto en el capítulo 3.



Figura 113 Conexión de placa de control con componentes de la impresora

Los drivers que se usaron para el control de los motores a pasos son los A4988, se escogió estos drivers en el capítulo 3 en la sección de diseño. Durante la implementación se calibraron estos drivers para que trabajen con corrientes menores a 0.8 A.

Hay que tomar en cuenta que todos los cables tienen jacks adecuados para su función, de modo que si se desconectan todos los cables, no hay forma de conectarlos mal o provocar daños en la placa.

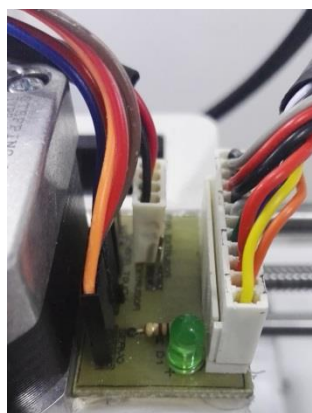


Figura 114 Conexión de extrusor con placa de control

Para el control de temperatura de temperatura se usó un relé de estado sólido que se muestra en la siguiente figura. El control es únicamente ON/OFF.

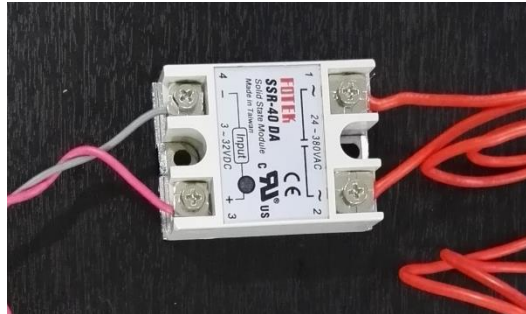


Figura 115 Instalación de relé de estado sólido para la base caliente.

4.6.2. Firmware

Para la implementación del firmware, se cargó el programa de Arduino “Marlin” que fue configurado correctamente en el capítulo 3 con las características de la impresora. Se debe seleccionar la tarjeta “Arduino Mega 2560”.

Antes de cargar el programa se recomienda también borrar la memoria eeprom de la tarjeta de control.

```

marlin_v4 | Arduino 1.0.6
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
marlin_v4 BlinkM.cpp BlinkM.h Configuration.h ConfigurationStr... cp
/* -*- c++ -*- */
/*
   Reprap firmware based on Sprinter and grbl
   Copyright (C) 2011 Camiel Gubbels / Erik van
   This program is free software: you can redist
   it under the terms of the GNU General Public
   the Free Software Foundation, either version
   (at your option) any later version.
   This program is distributed in the hope that
   but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the im
   MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR P
Compilando el Sketch...
11 Arduino Mega 2560 or Mega ADK on COM115

```

Figura 116 Firmware Marlin_v4

4.6.1. Software

Para el manejo correcto de la impresora se necesita el programa Matter Control. La configuración de la impresora y parámetros para la impresión se seleccionaron en el capítulo 3. Tanto la configuración de la máquina como del material se puede exportar y usar en cualquier otro computador de forma sencilla.

El software Matter Control se conecta a internet y con el inicio de sesión permite guardar la configuración de la impresora, y poder utilizar tu impresora en otro computador sin necesidad de configurar nuevamente, solo iniciando sesión.

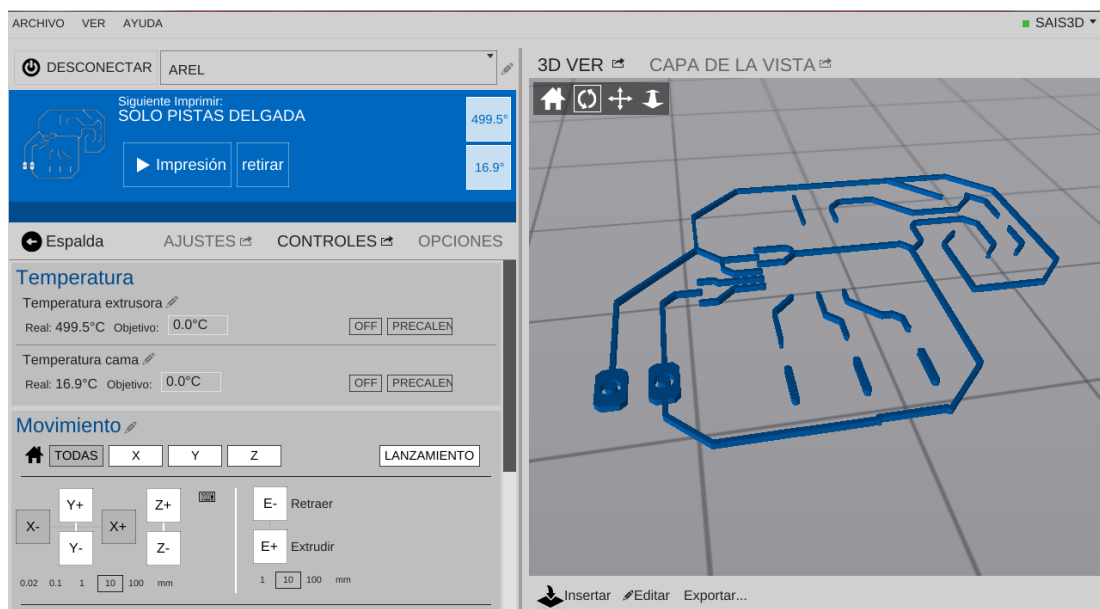


Figura 117 Software Matter Control conectado con la impresora

El software admite únicamente archivos en formato STL, estos archivos se pueden generar con varios software de diseño electrónico. Se debe consultar si existe esa posibilidad en el programa de diseño que se esté creando el circuito.

El programa Proteus 8.1+ tiene la posibilidad de exportar el modelo en un formato CAD, en la siguiente figura se puede observar un ejemplo de diseño que ha sido trabajado en la impresora.

4.7. IMPLEMENTACIÓN DE SUBSISTEMA DE ESTRUCTURA

El subsistema estructural se ha ido implementando paralelamente a los subsistemas anteriores ya que algunos subsistemas, en especial el de movilidad, requerían que se arme la parte estructural de la impresora.

Se hará énfasis en la construcción de las tapas de la impresora, ya que algunas de ellas requerían una base de doblado para poder adquirir una forma curva como se había propuesto en el diseño conceptual.

4.7.1. Soporte para doblado de tapa base

Para poder dar la forma curvada a la tapa de la base se requiere una matriz de doblado, la misma se construyó en corte láser en MDF de 5.5mm enchapado.

En la siguiente figura se puede la matriz de doblado junto a la plancha de acrílico que requiere ser doblada, esta plancha fue diseñada con el método de chapa metálica para asegurar las medidas correctas en el doblado.

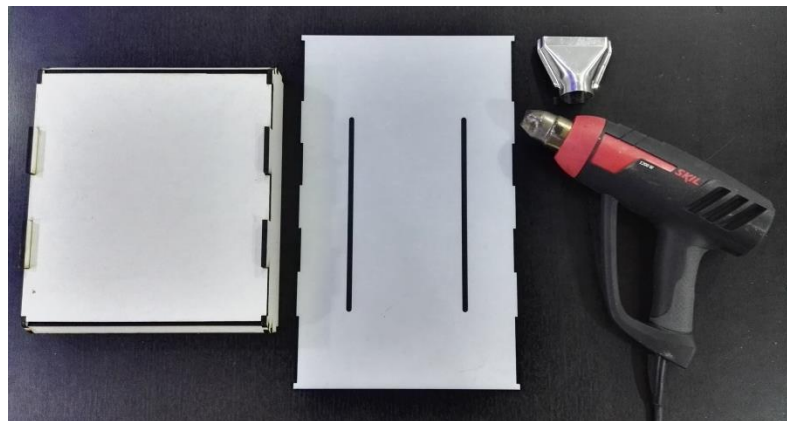


Figura 118 Materiales para el doblado de la tapa base

Para poder doblar la tapa se utilizó una pistola de calor, la temperatura ideal de doblado es de 220C, por lo que se usó pedazos de madera para dejar expuesta únicamente el filo a doblar.

En la figura 102 se observa la tapa base después del proceso de doblado.

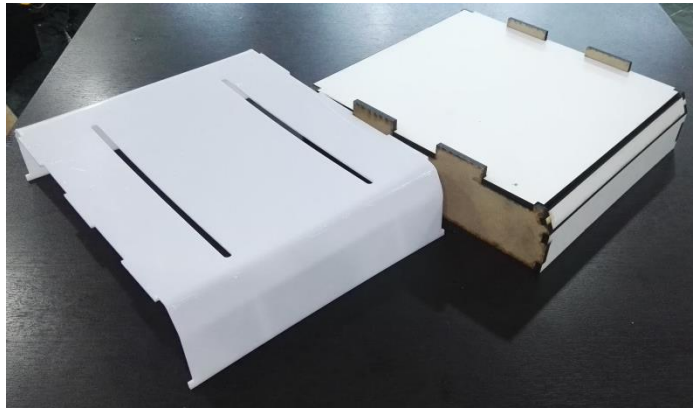


Figura 119 Tapa base doblada con calor

En las siguientes figuras se muestra el proceso de ensamble de todos los subsistemas, incluyendo el subsistema estructural.

Como habíamos mencionado en el capítulo anterior, todas las piezas se diseñaron para que puedan ser extraíbles sin necesidad de desoldar o romper alguna pieza.

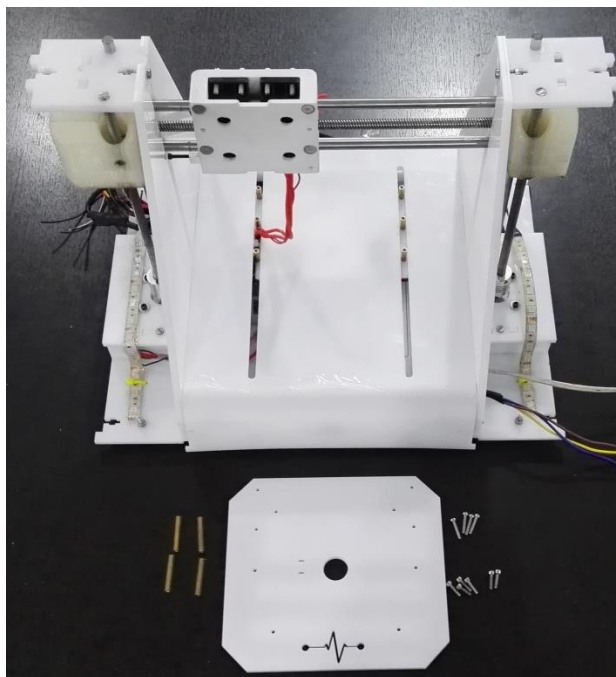


Figura 120 Ensamble de la impresora con el subsistema de base caliente

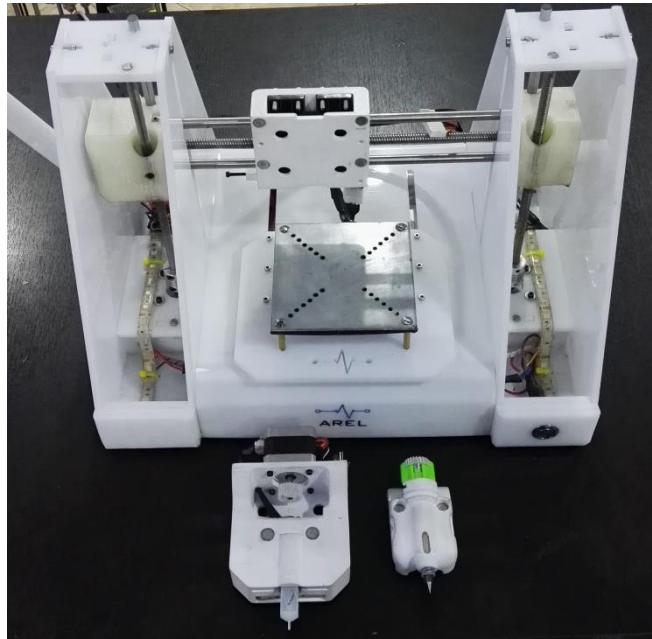


Figura 121 Ensamble de la impresora con el subsistema extrusor

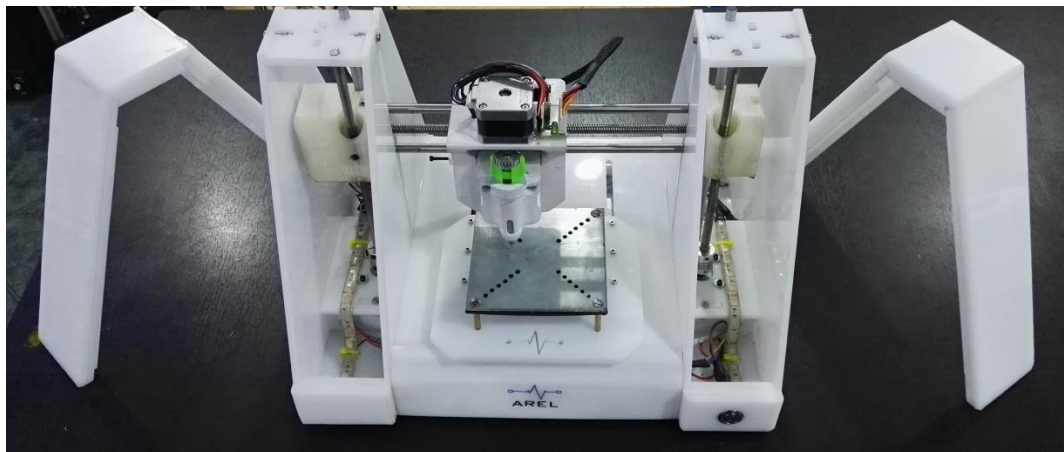


Figura 122 Ensamble de la impresora con tapas cobertores

En la figura 106 se puede apreciar finalmente el ensamble completo de la impresora, además en la figura 107 se muestra también el modelo renderizado que fue diseñado.

Las tapas laterales fueron diseñadas para encajar a presión y no disponen de ningún sistema de sujeción, para extraerlas únicamente hay que halar hacia arriba como se muestra en la figura 105.



Figura 123 Ensamble completo de la impresora real

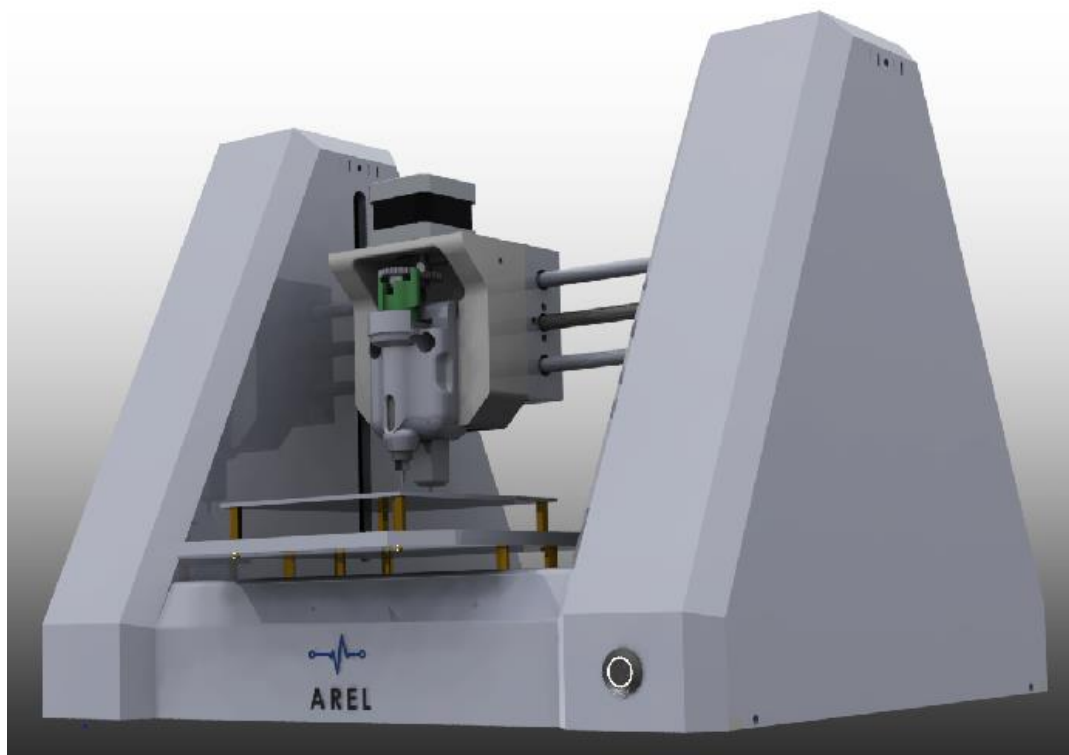


Figura 124 Ensamble completo de la impresora renderizado

RESUMEN

La construcción de la impresora se realizó por subsistemas. El orden de fabricación se estableció en relación a la dependencia entre cada uno.

Gran parte de las piezas se fabricaron en corte láser e impresión 3D. El material usado para las piezas en corte láser fue acrílico blanco lechoso de 6mm y el material para las piezas de impresión 3D fue PLA.

Se inició con la construcción del subsistema de movilidad en el siguiente orden YXZ, para la construcción se utilizó sistemas de transmisión por tornillo sin fin.

Una vez implementado el sistema de movilidad se procedió al cableado y ubicación de componentes electrónicos. En el cableado se colocaron jacks en todos los terminales de los cables y también se los identificó por colores.

Culminado el cableado se procedió a la colocación de la fuente, el sistema de colocación de la fuente fue diseñado de forma externa, si en un caso llegara a quemarse, no se requiere desarmar ninguna otra pieza de la impresora.

La construcción del extrusor integra el uso de imanes con el objetivo de crear un sistema de fácil extracción, fue necesario un estudio de los campos magnéticos para que no influyan en el funcionamiento del sensor touch. El sistema de extrusión se construyó con tecnología de impresión 3D, debido su complejidad.

El sistema de transmisión entre el pistón y el motor se hizo con engranes rectos fabricados en corte láser. Para eliminar cualquier posibilidad de vibraciones, se sometió a las todas las piezas impresas a un post proceso de lijado.

La construcción de la base caliente se la realizó en un taller dedicado a la producción de calefactores, en la que se disponían de los materiales requeridos para la fabricación de la cama con las especificaciones propuestas, 300W y una masa menor a 1kg eran algunas de las características principales para la fabricación. La base caliente fue diseñada para trabajar con voltaje AC y una corriente pico de 15A.

Finalmente se construyó la estructura de la impresora con el mismo material acrílico, específicamente las tapas superiores, laterales y cobertores. Todos ellos con métodos de extracción sencilla, adicional se colocaron las luces en los bordes de la base caliente y en las columnas centrales de la impresora, con el objetivo de comunicar al usuario cuando existe un peligro, estas luces se encenderán de color rojo.

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

El presente capítulo pone a prueba las placas fabricadas con la impresora 3D y el funcionamiento general de la impresora. Tomando en cuenta los factores más predominantes en la fabricación de una placa electrónica. Aquí se analiza la resistividad de las pistas y funcionamiento en diferentes aplicaciones.

Debido a la naturaleza de la tinta conductiva, se necesitaron realizar varias pruebas de test para encontrar las configuraciones idóneas para trabajar con esta tinta.

El circuito usado para la calibración es el que se muestra en la figura.

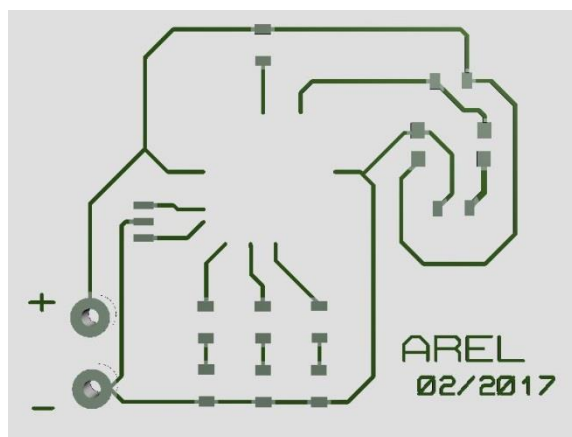


Figura 125. Circuito de control de luces (probeta)

En las siguientes figuras (126, 127, 128) se presentan las 3 probetas realizadas para la calibración de extrusión del material, retracción de movimiento, velocidad de impresión, altura de pista, entre otros parámetros que definen la calidad de impresión.

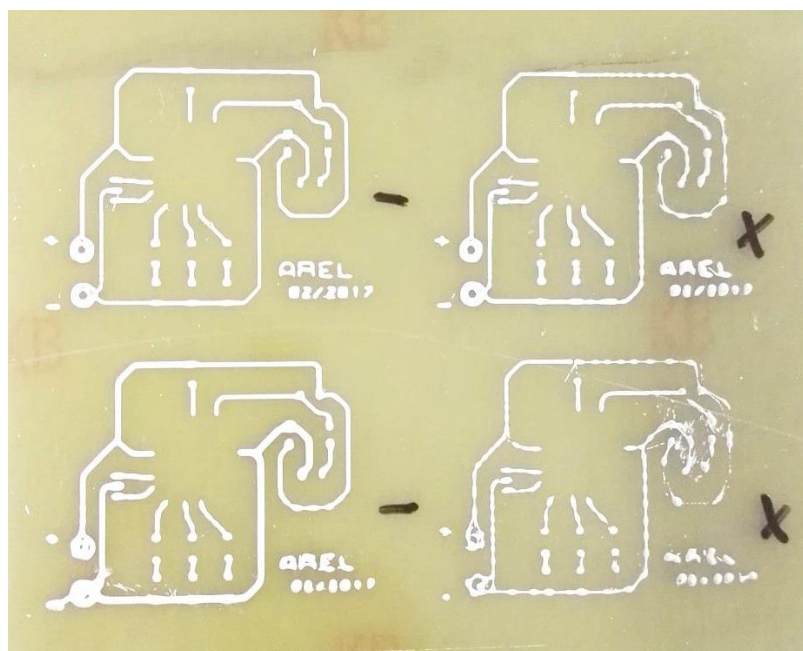


Figura 126. Probeta 1 calibración de impresora

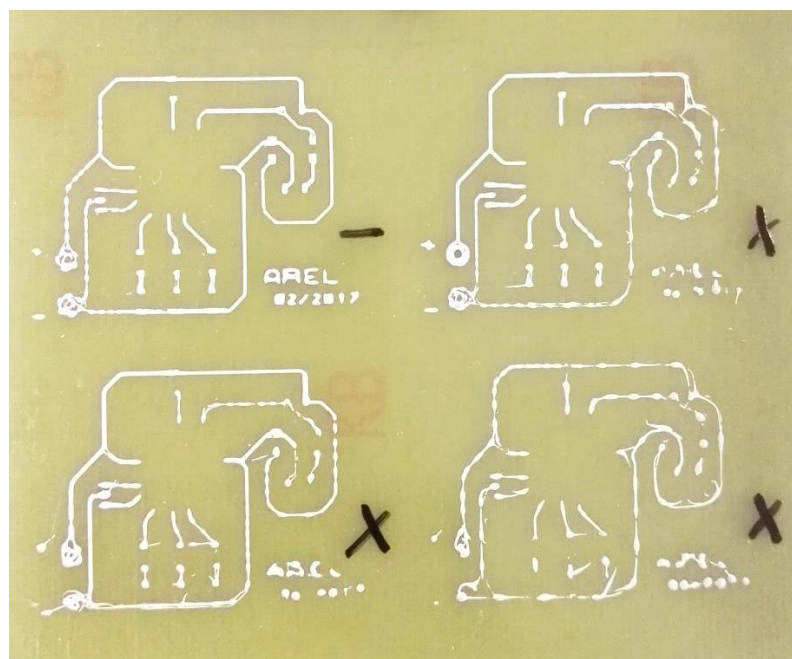


Figura 127. Probeta 2 calibración de impresora

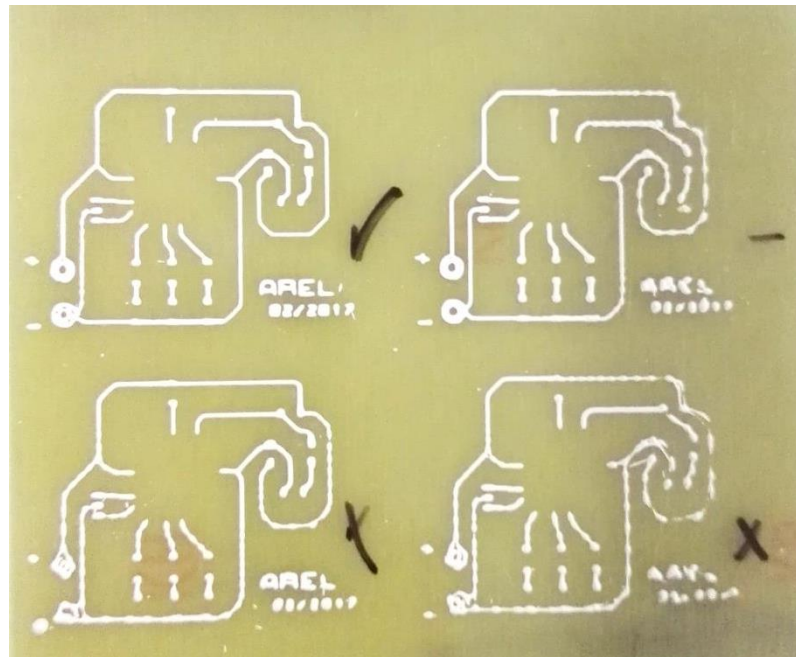


Figura 128. Probeta 3 calibración de impresora

La calibración con las probetas permitió obtener los parámetros ideales para trabajar con la tinta conductiva selecciona, en la tabla 29 se detallan los parámetros seleccionados.

Tabla 29

Parámetros de configuración para impresión con tinta conductiva

Parámetro	Valor
Altura de capa	0.1mm
Velocidad de impresión	1 mm/s
Distancia de retracción Z	2 mm
Retracción de material	5 mm
Relleno	Concéntrico
Longitud de reinicio en islas	0.03 mm
Extrusión de inicio	1 mm
Diámetro de material	3.5 mm
Velocidad de retracción	20 mm/s
Temperatura de impresión	0 C
Temperatura de sinterizado	230 C

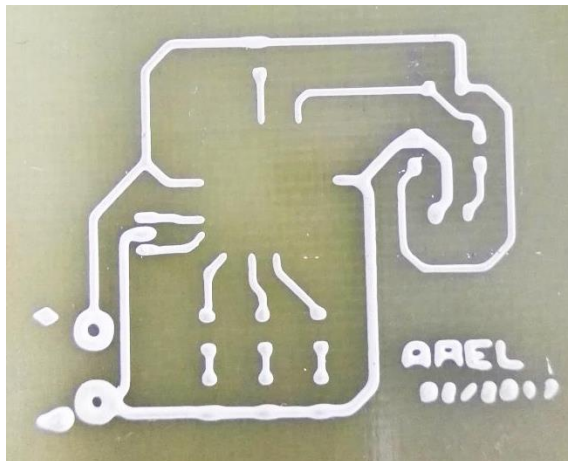


Figura 129. Impresión de probeta con parámetros seleccionados

5.1. PRUEBAS DIMENSIONALES

En las pruebas dimensionales se clasifican en: precisión y repetibilidad.

5.1.1. Precisión

La precisión fue determinada con el dimensionamiento de pistas de varios espesores como se muestra en la figura 119.

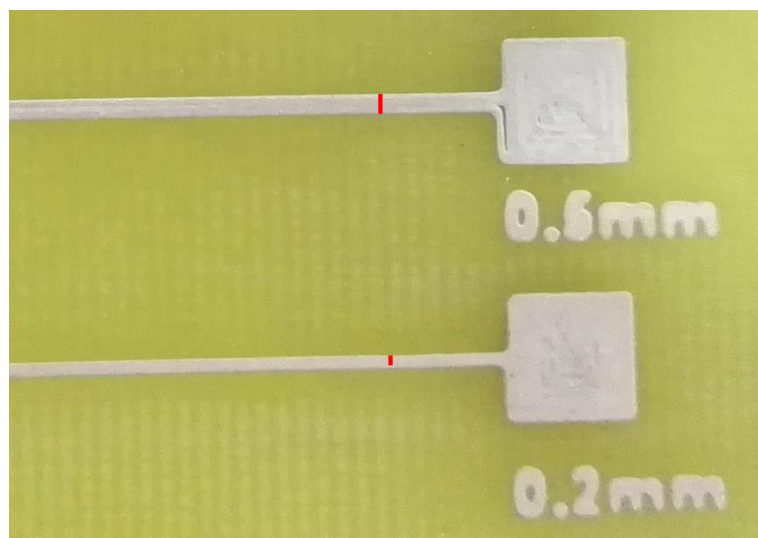


Figura 130. Prueba de precisión

Los resultados de la prueba se encuentran tabulados en la tabla 26, se realizó 3 probetas, en cada probeta existen 5 líneas de diferente espesor.

Tabla 30
Resultados de prueba de precisión

Espesor de línea	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Desvíos
4 mm	4.06 mm	4.04 mm	4.04 mm	+0.14 mm
2 mm	2.08 mm	2.08 mm	2.06 mm	+0.22 mm
1 mm	1.04 mm	1.02 mm	1.00 mm	+0.06 mm
0.5 mm	0.58 mm	0.60 mm	0.54 mm	+0.22 mm
0.2 mm	0.28 mm	0.26 mm	0.26 mm	+0.20 mm
Total desviación				+0.74 mm
Desviación promedio				+0.05 mm

La precisión de la impresora es de +- 0.08 mm

5.1.2. Repetibilidad

Para la prueba de repetibilidad se imprimió 5 veces un punto en la base. Para cada impresión, la máquina debía volver a la posición de home. La diferencia de distancia entre puntos se midió con un calibrador electrónico.

Tabla 31
Resultados de prueba de repetibilidad

Prueba	Distancia entre puntos
1	0.40 mm
2	0.02 mm
3	0.14 mm
4	0.18 mm
5	0.14 mm

La repetibilidad de la impresora es de +- 0.4 mm

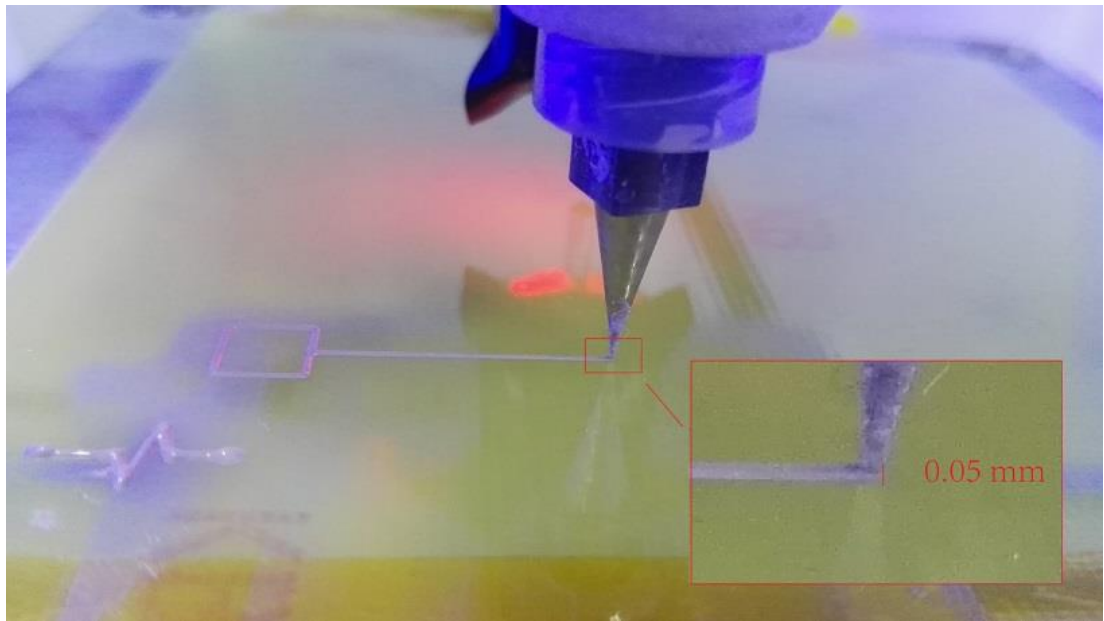


Figura 131. Distancia entre placa y punta de impresión.

5.2. PRUEBAS DEL MATERIAL

El análisis funcional del material es extenso y le compete a la casa fabricante de la tinta. En esta sección, únicamente verificaremos que los valores de resistencia establecidos por el fabricante sean similares, y que no vayan a influir en el funcionamiento de la placa a fabricar.



Figura 132. Placa fabricada para prueba de resistividad

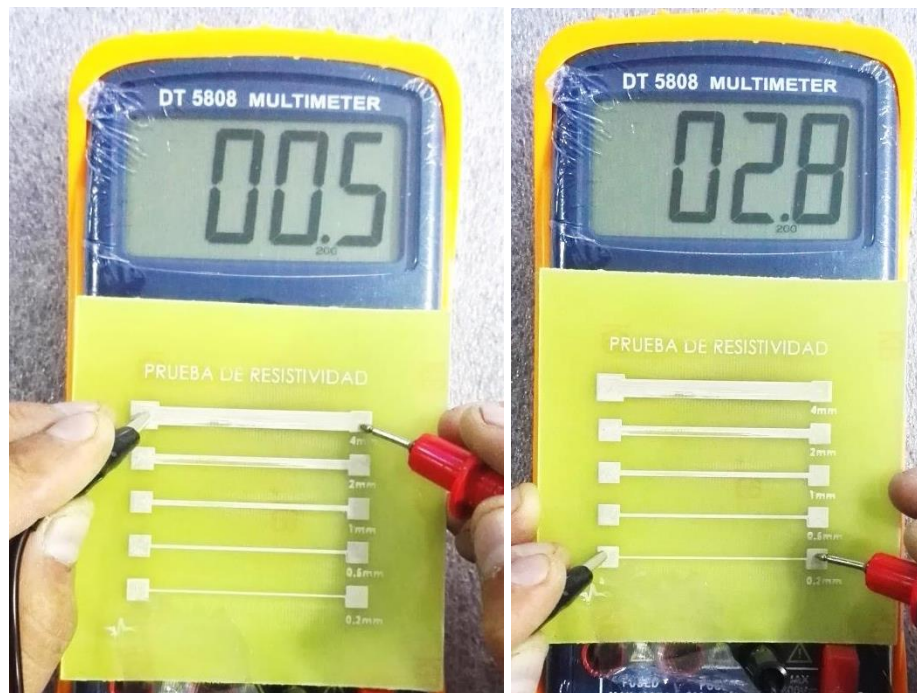


Figura 133. Mediciones de resistencia en placa de prueba

Las pruebas de resistividad se pueden observar en la tabla 28, hay que aclarar que el material puede sufrir cambios en su conductividad, debido a las condiciones de almacenamiento, la temperatura recomendada por el fabricante es de 4 a 10 C, por lo que guardarla a temperatura ambiente puede influir en la resistividad. Estas y otras recomendaciones para el correcto funcionamiento se encuentran detalladas en el manual de usuario adjunto en los anexos.

Tabla 32
Pruebas de resistividad

Espeor	Valor resistivo real	Valor resistivo estimado
4 mm	0.5 ohm	0.3 ohm +/-0.3
2 mm	0.7 ohm	0.6 ohm +/-0.3
1 mm	1.1 ohm	1 ohm +/-0.3
0.5 mm	1.7 ohm	1.5 ohm +/-0.3
0.2 mm	2.8 ohm	2.5 ohm +/-0.3

Los valores de resistencia no sobrepasan, la tolerancia dada por el fabricante

5.3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Para las pruebas de funcionamiento se realizaron varios circuitos con sensores, Microcontroladores y diodos led. Es importante aclarar que por la naturaleza de la tinta conductiva, no es posible realizar circuitos analógicos de baja impedancia, ya que la resistencia de las pistas influiría en el funcionamiento del circuito.

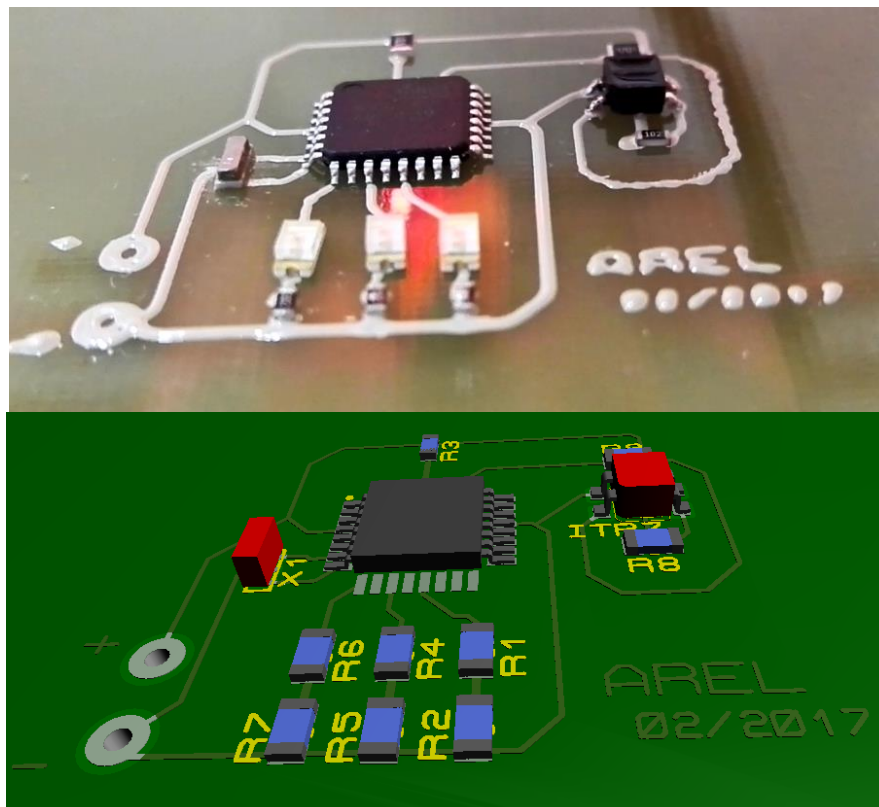


Figura 134. Placa con microcontrolador fabricada con impresora AREL

Las placas fabricadas presentaron el comportamiento esperado, además se expuso a un trabajo continuo por más de dos horas y el funcionamiento de la placa no tuvo variaciones. Además se realizaron exposiciones de calor de hasta 70 C y consumos de corriente de hasta 200mA, durante el funcionamiento de las placas y no se vieron afectadas.

RESUMEN

Antes de empezar con las pruebas se realiza la calibración del sensor touch. A través de Hardware se coloca el sensor a una distancia muy próxima a la punta y posteriormente se calibra mediante software la distancia entre la punta y el sensor.

Es importante señalar que para poder establecer las condiciones de impresión para las placas se realizó un estudio de las características del material y su comportamiento al momento de extruir.

La configuración del material en el software Matter control se realizó específicamente para la tinta conductiva de Voltera, si se usa otras tintas se debe configurar el material donde se establecen valores de retracción, densidad, comportamiento de empuje y otras características necesarias para obtener una línea de impresión limpia, que no tenga cortes, sin “pelos” o material en posiciones no especificadas por el computador.

Una vez configurado las características de la máquina, el material, códigos iniciales y finales, procedemos a la fabricación de las placas electrónicas. Las placas son diseñadas inicialmente en el software Proteus, de este software se exporta un archivo sólido que posteriormente es corregido y transformado a un formato STL.

Las placas electrónicas únicamente tendrán una altura de capa que puede ser modificada mediante software, el dimensionamiento de corriente está dado por el grosor de la pista.

Hay que señalar que debido a la naturaleza del material conductivo las aplicaciones en las que no se puede usar este método son aquellas que manejen altas frecuencias o trabajen con corrientes superiores a 2 amperios.

La medida de resistividad de las placas es excelente, incluso por debajo de lo propuesto inicialmente.

Los resultados de funcionamiento son excelentes en circuitos de control con microcontroladores o sistemas electrónicos de accionamiento simple.

Se menciona además que las aplicaciones no están limitadas a placas para tecnología FMD, se puede fabricar placas convencionales con un post proceso para la realización de los agujeros.

CONCLUSIONES

- Se logró diseñar y construir una impresora 3D con sistema de extrusión para tintas conductivas. La máquina puede fabricar pistas electrónicas de hasta 0.2mm de espesor con una precisión de ± 0.05 mm. El tiempo de fabricación de una placa de tamaño 8x8cm es de 30 minutos, y no requiere uso de ácidos o herramientas como: taladro, sierra, plancha, etc.
- La construcción de la impresora con los sistemas de transmisión de movimiento (tornillo sin fin) y motores a pasos (nema 17), permiten tener una resolución de 0.05mm en el eje XY y 0.02mm en el eje Z.
- Se implementó un “sistema de cambio rápido”, para ello se usó imanes de neodimio. El sistema tiene como objetivo facilitar el cambio de tinta o cambio de actuadores, eliminando el uso de pernos y otros sistemas de sujeción que requieren herramientas.
- La implementación de un proceso sencillo en la transformación de un archivo de diseño electrónico a un archivo imprimible, facilita el uso de la máquina. Para ello se implementaron los software, Netfabb Basic y Matter Control, ambos con versiones gratuitas. El software Netfabb nos permite preparar nuestro archivo, editarlo o corregirlo. Matter Control es el software de comunicación entre la máquina y el usuario.
- La implementación del software Matter Control permite la interacción entre usuario y la impresora. El software se puede conectar con la tarjeta GT2560 con el firmware Marlin a través de comunicación serial, además permite configurar los parámetros de impresión acorde a las necesidades del usuario. Se insertaron dentro del software una serie de sentencias en código G, al inicio y al final de cada impresión para que la máquina ejecute acciones como la calibración automática o la retracción de material.

- Se implementó en la placa de control un conector universal que permite acceder a otros pines y funciones de la placa, sin la necesidad de añadir materiales o abrir la máquina. Esta impresora se puede convertir en un grabador láser, una impresora 3D de FDM convencional, una ruteadora o un plotter de dibujo, todo ello sin la necesidad de cambiar la programación.
- Se diseñó la impresora con sujeciones móviles, de modo que sea posible desarmarla. No se utilizaron pegas permanentes en las piezas que se pueden desarmar.
- Se implementó un sistema de calibración automática a través de un sensor touch, que funciona con el principio de efecto Hall. El sensor permite hacer un mapeo de la superficie en la que se va a imprimir, con el levantamiento de la superficie, la impresora genera las compensaciones necesarias para imprimir siempre a una distancia exacta entre la placa y el actuador.
- El método de fabricación de placas con tinta de plata presenta una ventaja con respecto a los procesos convencionales, ya que es más rápido y los conocimientos para su uso son mínimos. Desventajosamente los costos excesivos de la tinta, limitan el uso de la impresora dentro del sector estudiantil.
- Debido a la naturaleza de la tinta conductiva, se determinó que el uso de pasta soldadora Sn42/Bi57.6/Ag0.4 es idóneo, el estaño común no presenta las condiciones para la soldabilidad de los componentes.
- El control de temperatura para la base caliente tuvo que realizarse con energía AC, debido a la gran cantidad de energía requerida. La construcción de la base caliente se hizo manualmente por los minuciosos requerimientos para su correcto funcionamiento.
- Se diseñó la impresora tomando en cuenta los riesgos al usarla, sabiendo que la base caliente llega a temperaturas de 220C, se implementó un

sistema de advertencia con luces. La impresora tiene luces azules y rojas, mismas que se encienden dependiendo la temperatura de la base.

- Se implementó un sistema de control de temperatura ON/OFF con un relé de estado sólido. Además para disminuir el efecto de retardo de la base caliente, se instaló el sensor de temperatura en el sitio de mayor concentración de calor.
- Debido al poco tiempo que requiere la fabricación de una placa en la impresora y a la necesidad de monitorear el proceso, se definió que el uso de impresora es posible únicamente con una conexión a un computador. No dispone de funcionamiento autónomo como es el caso de otras máquinas.

RECOMENDACIONES

- En el capítulo 3 se estableció que la mejor opción para la precisión y robustez de la máquina era el uso de Husillo de bolas, lastimosamente la accesibilidad del componente hizo que la selección sea el tornillo sin fin. Se recomienda actualizar la máquina con sistemas de husillo de bolas para todo el subsistema de movilidad o tomar en consideración si se quiere construir una versión futura.
- La generación del código G es de vital importancia en la calidad de impresión de un circuito, lastimosamente se presentaron limitaciones dadas por el software Matter Control. Se recomienda desarrollar un software dedicado para la impresora que resuelva estos problemas y mejore el funcionamiento de la máquina.
- Se recomienda analizar y hacer pruebas con otro tipo de tintas conductivas, si bien es cierto se escogió una tinta idónea para el trabajo, no se descartan otras aplicaciones con el sistema de extrusión de tintas.
- Se recomienda experimentar con otros materiales como pasta de cemento, o pastas comestibles, materiales que pueden ser extruidos fácilmente por el sistema que ya se encuentra incorporado en la máquina.
- Se recomienda incorporar un switch industrial, ya que por limitaciones locales no se pudo incorporar en el diseño de la máquina.
- Existen otro tipo de funciones idóneas para la máquina que no requieren implementación de hardware. Se recomienda desarrollar el software para que la máquina pueda depositar material aislante, de esta forma tenga la capacidad de fabricar placas a doble capa.
- Se recomienda experimentar con otro tipo de pastas para soldar, la pasta que está probada es Sn42/Bi57.6/Ag0.4, sin embargo no se descartan el uso de otros materiales para soldar.

- El uso de FR4 para la fabricación de las placas es opcional, este es un material idóneo que sirve como base donde se imprimirán nuestras pistas. Se recomienda experimentar la impresión del circuito sobre materiales flexibles u otras superficies de impresión.
- La máquina tiene un sensor touch, cuando este detecta alguna anomalía parpadea con una luz roja, sin embargo el usuario puede continuar manejando la impresora. Es importante leer el manual antes de usar la impresora donde se detallan estas y otras acciones que se deben tomar para el correcto uso de la máquina.
- La punta del actuador tiene un diámetro externo menor a 0.3mm, por lo que es muy frágil y no se encuentra a la venta en el país. Hay que tener mucho cuidado a la hora de manipular la impresora y de calibrar la base para evitar choques que dañen la punta. No se descarta la implementación de otras puntas más fuertes en el extrusor.
- La máquina tiene adaptabilidad de varios actuadores, las conexiones se encuentran disponibles en el conector universal, no es necesario modificar la placa o las conexiones de la misma para el trabajo con otros actuadores.
- Se recomienda diseñar las pistas electrónicas, evitando las esquinas, los grosores de las pistas en el sistema métrico y algunas otras sugerencias se pueden encontrar en el manual de usuario que facilitarán la fabricación de nuestro PCB.
- Se recomienda el uso de software y hardware libre en futuras actualizaciones. Todo ello permitirá la continuidad del proyecto, se diseñó la impresora con sistemas de construcción bastante convencionales (corte láser), todo ello para que pueda ser fácilmente replicada o mejorada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SMT SHARING*. (2013). Recuperado el 11 de Enero de 2017, de SMT SHARING:
<http://smtsharing.blogspot.com/>
- RepRap*. (20 de Enero de 2016). Recuperado el 13 de Noviembre de 2016, de RepRap:
<http://reprap.org/wiki/RepRap/es>
- 3D Systems. (2015). *30 years of innovation*. Recuperado el 08 de Junio de 2016, de 3D Systems: <http://www.3dsystems.com/30-years-innovation>
- 3DPRINT. (7 de Abril de 2015). *The voice of 3d Printing Technologies*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2016, de <https://3dprint.com/55890/buy-3d-printer-cheap/>
- 3NEO. (26 de Abril de 2010). *Plataforma Tecnológica de Impresión Española*. Recuperado el 22 de Diciembre de 2016, de 3NEO: <http://www.3neo.org/noticias/i/2322/48/que-son-las-tintas-conductivas-un-nuevo-horizonte-para-la-impresion-flexografca-de-etiquetas>
- AdrianBowyer. (2014). *AdrianBowyer*. Recuperado el 24 de Septiembre de 2016, de AdrianBowyer: <http://adrianbowyer.com/>
- CUSTOMPARTNET. (2009). *CUSTOMPARTNET*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2016, de CUSTOMPARTNET: <http://www.custompartnet.com/wu/3d-printing>
- ELECTRONINKS. (2015). *Resources*. Obtenido de Circuit Scribe:
<http://www.electroninks.com/resources/>
- EvdZ. (7 de Marzo de 2016). *RepRap*. Recuperado el 10 de Enero de 2017, de Wiki:
<http://reprap.org/wiki/Marlin>
- Flashforge. (12 de Enero de 2012). *Flashforge*. Recuperado el 9 de Enero de 2017, de <http://www.flashforge.com/>
- Geeetech. (2014). *MK8 Dual Extruder*. Obtenido de <http://www.geeetech.com/mk8-dual-extruder-p-921.html>
- GEEETECH. (2017). *3D Accesories*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2016, de <https://www.geeetech.com/nema17-stepper-motor-with-skidproof-shafts4lead18-degree-p-696.html>
- I3D DIGITAL MEDIA. (2012). *Impresoras3D*. Recuperado el 26 de Octubre de 2015, de <http://impresoras3d.com/breve-historia-de-la-impresion-3d/>
- Industrial de Empaque. (2015). *Industrial de Empaque*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2016, de Banda dentada: <http://industrialdeempaque.com/producto/21/banda-dentada-milimetrica>

- korecologic. (13 de 10 de 2013). *korecologic*. Obtenido de <https://korecologic.com/blog-2/>
- Matter Control. (2 de Enero de 2017). *Home Matter Control*. Recuperado el 12 de Enero de 2017, de Matter Control : <http://www.mattercontrol.com/>
- MatterControl. (2016). *MatterControl-3D Printing software* . Obtenido de <http://www.mattercontrol.com/>
- mhestore. (Enero de 2016). EBAY. Recuperado el 23 de Noviembre de 2016, de EBAY: <http://www.ebay.com/itm/Ball-Screw-C7-SFU1605>
- Ningbo Micro Planetary. (Marzo de 2016). *Tienda Motores Dc*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2016, de Aliexpress: <https://es.aliexpress.com/item/DC-servo-gear-motor-42mm-planetary-gear-with-high-torque-explosion-proof-DC-servo-Brushless-gear/516374196.html?spm=2114.10010408.1000023.2.a1TOoO>
- Ramírez, A. (28 de 06 de 2015). *Inversión & Finanzas*. Recuperado el 26 de 10 de 2015, de <http://www.finanzas.com/xl-semanal/conocer/20150628/impresoras-maquinas-cambiar-mundo-8620.html>
- Repetier. (10 de Marzo de 2015). *RepRap Repetier*. Recuperado el 10 de Enero de 2017, de Wiki de RepRap: <http://reprap.org/wiki/Repetier-Host>
- Repetier. (2016). *Repetier Host*. Obtenido de <https://www.repetier.com/>
- Replikeo. (2015). *Prusa i3 Kit de impresora 3D* . Obtenido de <http://www.replikeo.com/es/impresora-3d/9-prusa-i3-3d-printer-full-kit-.html>
- Robert Downey Jr. and Albert Manero. (12 de 03 de 2015). *CollectiveProject*. Obtenido de www.youtube.com: <https://www.youtube.com/watch?v=oEx5lmbCKtY>
- Salas, R., Pérez, J. F., & Ramírez, J. (s.f.). *saber.ula.ve*. Recuperado el 26 de 10 de 2015, de TECNICAS DE DISEÑO, DESARROLLO Y MONTAJE DE CIRCUITOS: http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/26205/1/tecnicas_diseno.pdf
- SENPLADES. (10 de 10 de 2013). *Buen Vivir*. Recuperado el 26 de 10 de 2015, de buenvivir.gob.ec/versiones-plan-nacional
- SHIGLEY J., M. L. (2002). *Manual de Diseño Mecánico. Traducido del inglés por Francisco Paniagua*. 3era Ed., McGraw-Hill.
- SHIGLEY, J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica*. Monterrey: McGraw Hill.
- SHIGLEY'S. (2008). *MECHANICAL ENGINEERING DESIGN*. New York, NY 10121: McGraw-Hill Education.
- sophimania. (26 de 11 de 2013). *sophimania*. Obtenido de sophimania: <https://sophimania.lamula.pe/2013/11/26/rinones-impresos-en-3d-cada-vez-mas-cerca/sophimania/>

Stratasys. (2015). *stratasys* . Obtenido de <http://www.stratasys.com/es/resources/rapid-prototyping>

Stratasys. (2015). *Tecnología FDM*. Obtenido de <http://www.stratasys.com/es/impresoras-3d/technologies/fdm-technology>

Stratasys. (2016). *Stratasys*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2016, de Stratasys: <http://www.stratasys.com/es/corporate/about-us>

Teleco to walk. (01 de 11 de 2013). *Teleco to walk*. Recuperado el 26 de octubre de 2015, de <https://telecotowalk.wordpress.com/2013/11/01/la-historia-del-futuro-industrial-como-surgio-la-impresion-3d/>

Termokew. (s.f.). *Termokew*. Recuperado el 03 de Enero de 2017, de <http://www.termokew.mx/resistencias-calentamiento.php>

Ultimachine. (03 de Enero de 2017). *Ultimachine*. Recuperado el 05 de Enero de 2017, de Products de Ultimachine: <https://ultimachine.com/products/rambo-1-3>

VOLTERA ONE. (2017). *VOLTERA ONE*. Recuperado el 24 de Febrero de 2017, de VOLTERA ONE: <http://voltera.io/>

Voxel8. (26 de 04 de 2016). *Voxel8*. Recuperado el 3 de Diciembre de 2016, de Voxel8: <http://www.voxel8.co/case-studies/>

Zapta. (9 de Noviembre de 2015). *Thingiverse*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2016, de Thingiverse: <http://www.thingiverse.com/thing:1119914>

ANEXOS

9.1. Manual de operaciones

9.2. Datasheet de tinta conductiva

9.3. Datasheet de pasta para soldar

9.4. Distribución de pines de placa GT2560

9.5. Lista de materiales para la construcción de la impresora

9.6. Planos de construcción