



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

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE IMPRESIÓN 3D
CON RESINA FOTOSENSIBLE UV PARA ELABORAR PROTOTIPOS DE
PIEZAS POR MEDIO DEL PROCESO DLP**

**AUTORES: ALMEIDA PAVÓN, LEONARDO JAVIER
CRUZ CASTILLO, WLADIMIR GEOVANNY**

DIRECTOR: ING. CULQUI, BORYS

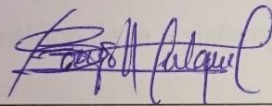
CODIRECTOR: ING. LOZA, DAVID

SANGOLQUÍ

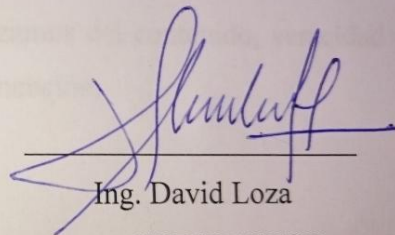
2015

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE IMPRESIÓN 3D CON RESINA FOTOSENSIBLE UV PARA ELABORAR PROTOTIPOS DE PIEZAS POR MEDIO DEL PROCESO DLP” fue realizado en su totalidad por los señores Leonardo Javier Almeida Pavón y Wladimir Geovanny Cruz Castillo, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.



Ing. Borys Culqui
DIRECTOR



Ing. David Loza
CODIRECTOR

AUTORIZA DE RESPONSABILIDAD

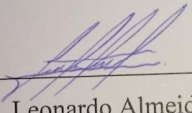

Nosotros, ALMEIDA PAVÓN LEONARDO JAVIER y CRUZ CASTILLO WLADIMIR GEOVANNY

DECLARAMOS QUE:

La tesis/proyecto de grado titulado: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE IMPRESIÓN 3D CON RESINA FOTOSENSIBLE UV PARA ELABORAR PROTOTIPOS DE PIEZAS POR MEDIO DEL PROCESO DLP” ha sido

Desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando los derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

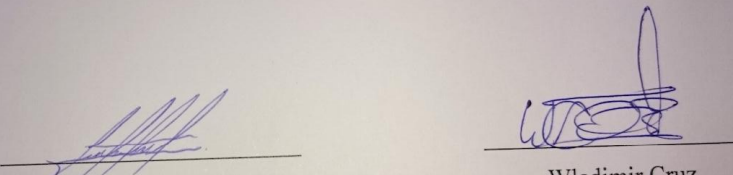
En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis/proyecto de grado en mención.

 Leonardo Almeida 171883446-6	 Wladimir Cruz 171878472-9
--	---

AUTORIZACIÓN

Nosotros, LEONARDO JAVIER ALMEIDA PAVÓN y WLADIMIR GEOVANNY CRUZ CASTILLO.

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESE” la publicación, en la biblioteca virtual de la institución, el proyecto de grado titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE IMPRESIÓN 3D CON RESINA FOTOSENSIBLE UV PARA ELABORAR PROTOTIPOS DE PIEZAS POR MEDIO DEL PROCESO DLP”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad y autoría.



Leonardo Almeida
171883446-6

Wladimir Cruz
171878472-9

DEDICATORIA

Dedico el siguiente trabajo realizado con gran esfuerzo a mis padres que con todo su apoyo han logrado que pueda alcanzar este logro, porque con amor me han dado su ejemplo de vida, me han enseñado a esforzarme por alcanzar mis sueños y a disfrutar del mundo, compartiendo momentos felices junto a ellos.

A mi esposa que ha sido uno de los pilares fundamentales de este triunfo, que al caminar de su mano seguimos cosechando juntos éxitos a lo largo de nuestras vidas, gracias por el amor y el apoyo incondicional, por estar siempre a mi lado.

A mi hermana por siempre haber confiado en mí, por estar conmigo en los momentos que más necesitaba, por ser más que mi hermana mi apoyo de vida.

A mi hijo que es el regalo más grande de mi pequeña historia, gracias por alegrarme cada día, ahora juntos buscaremos nuevos retos que cumplir, y así recibir las bendiciones de la vida.

Finalmente gracias a Dios por haberme permitido vivir este día junto a las personas que amo, gracias por todo.

Wladimir Cruz

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a Dios por darme la fuerza y el carácter para poder culminar con éxito este gran objetivo.

Agradezco a mis padres y hermano por el apoyo incondicional desde el inicio de mis estudios, en los buenos y malos momentos ayudándome a superar cada obstáculo como una familia unida.

A todos mis familiares en especial a mis abuelitos que fueron un pilar importante en toda mi vida, dándome ejemplo de superación y sacrificio.

A esas personas que de un modo u otro aportaron con un granito de arena en la culminación de este gran objetivo, les agradezco con todo el corazón y siempre estaré para apoyarlos incondicionalmente.

Leonardo Javier Almeida Pavón

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestras familias por ser un apoyo incondicional durante estos años, por estar presentes en este sendero lleno de adversidades y grandes recompensas.

A la Carrera de Ingeniería Mecánica por todas las enseñanzas y las experiencias de esta vida universitaria, que han formado profesionales de éxito a través de la historia.

A los ingenieros Borys Culqui y David Loza por el apoyo brindado, el conocimiento impartido, las críticas constructivas y por ser una guía importante para poder culminar con este proyecto.

A todos los ingenieros y profesores que fueron parte de nuestra carrera, por compartir de sus vivencias y buenos consejos.

A todos nuestros amigos con los que compartimos grandes momentos en las aulas, por ser parte de nuestra vida, por haber formado grandes experiencias y recuerdos junto a ustedes.

L. Almeida – W. Cruz

CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	i
AUTORIZA DE RESPONSABILIDAD	i
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO 1	1
GENERALIDADES	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Definición del problema	4
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo General	4
1.3.1.1. Objetivos Específicos	4
1.4. Alcance	4
1.5. Justificación de la investigación	5
CAPÍTULO 2	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1. INTRODUCCIÓN AL PROTOTIPADO RÁPIDO	6
2.2. IMPRESIÓN 3D	9
2.1.1. Características	10
2.1.2. Procesos de prototipado rápido	11
2.3. Aplicaciones	14
2.4. Tecnología de impresión DLP (Digital Light Processing)	18
2.5. Definición	18
2.5.1. Resinas fotosensibles	19
2.5.2. Partes de impresión DLP	21
2.5.1.1. Proyector DLP	22
2.5.1.2. Lentes	26
2.5.1.3. Plataforma de construcción	27
2.5.1.4. Protección ultravioleta	27
2.5.1.5. Desplazamiento Z	28

2.5.1.6. Sistema eléctrico	29
CAPÍTULO 3	32
DISEÑO	32
3.1. Características del Diseño	32
3.2. Selección de Alternativas de Diseño	32
3.2.1. Subsistema de transmisión de movimiento del brazo	33
3.2.2. Subsistema de transmisión de movimiento del recipiente	34
3.2.3. Lente	35
3.2.4. Motor	36
3.2.5. Tarjeta de control.....	37
3.2.6. Software	38
3.3. Sistema óptico.....	40
3.3.1. Esquema.....	40
3.3.2. Esquema de diseño óptico	40
3.3.3. Cálculo para la selección del proyector	41
3.3.4. Cálculo de la distancia del proyector al lente	43
3.3.5. Cálculo del lente.....	43
3.4. Sistema mecánico	47
3.4.1. Esquema del sistema mecánico de la plataforma	48
3.4.2. Esquema del sistema mecánico del recipiente	48
3.4.3. Factores de seguridad nominales	48
3.4.4. Diagrama de cuerpo libre de la plataforma	48
3.4.5. Diagrama de cuerpo libre del recipiente	49
3.4.6. Cálculo de la plataforma	49
3.4.7. Cálculo de la sujeción de la base del recipiente	54
3.4.8. Torque del Motor Eje Z	57
3.5. Diseño Electrónico y de Control.....	59
3.5.1. Sistema de Control.....	60
3.5.1.1. Elementos necesarios para cumplir los requerimientos.....	60
3.5.2. Diagrama de Control	63
3.5.3. Cálculo de los pasos de motor	70
3.5.4. Programación.....	71
CAPÍTULO 4	72
CONSTRUCCIÓN	72

4.1.	Diagramas de procesos.....	72
4.1.1.	Pates estructurales.....	72
4.1.2.	Acabados.....	76
4.1.3.	Sistema óptico.....	77
4.1.4.	Sistema Mecánico:.....	79
4.2.	Métodos de fabricación.....	80
4.3.	Tiempos parciales de fabricación.....	81
4.4.	Tiempos totales de fabricación y montaje.....	83
4.5.	Manual de operación.....	84
4.6.	Costo de fabricación.....	84
4.6.1.	Costos parciales.....	84
4.6.2.	Costo total.....	86
CAPÍTULO 5.....		87
PRUEBAS Y RESULTADOS.....		87
5.1.	Pruebas dimensionales.....	87
5.1.1.	Estructura.....	87
5.1.2.	Sistema mecánico.....	89
5.1.3.	Sistema óptico.....	91
5.2.	Velocidad.....	93
5.3.	Pruebas funcionales.....	93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		98
BIBLIOGRAFÍA.....		100

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 Mecanismo de funcionamiento FDM	1
FIGURA 2 Pieza obtenida con tecnología FDM	2
FIGURA 3 Equipo de impresión DLP	2
FIGURA 4 Comparación impresión FDM vs DLP.....	3
FIGURA 5 Diagrama de factores críticos, empresa exitosa.....	6
FIGURA 6 Diagrama de roles preponderantes del prototipado rápido.	7
FIGURA 7 Ejemplo de impresión 3D, muestra: el prototipo y el archivo CAD.....	10
FIGURA 8 Lista de los pasos a seguir para obtener un prototipo DLP.	10
FIGURA 9 Lista de los tipos de proceso de prototipado 3D.....	11
FIGURA 10 Esquema máquina SLA.....	11
FIGURA 11 Esquema máquina FDM.....	12
FIGURA 12 Esquema máquina FDM.....	13
FIGURA 13 Esquema máquina SLS	13
FIGURA 14 Ejemplos de prototipado en Topografía.....	14
FIGURA 15 Ejemplos de prototipado en Packaging.	15
FIGURA 16 Ejemplos de prototipado en Electrodomésticos.	15
FIGURA 17 Ejemplos de prototipado en Pedagogía.....	15
FIGURA 18 Ejemplos de prototipado en Desarrollos	16
FIGURA 19 Ejemplos de prototipado en Automoción.	17
FIGURA 20 Ejemplos de prototipado en Diseño de Interiores, Etc.....	17
FIGURA 21 Esquema del funcionamiento de una impresora 3D DLP.	18
FIGURA 22 Esquema de impresora 3D.....	21
FIGURA 23 Esquema de un sistema DLP con rueda de color.....	22
FIGURA 24 Aumento de la luminosidad de izquierda a derecha	23
FIGURA 25 Aumento del contraste de izquierda a derecha.	23
FIGURA 26 Aumento de la resolución de izquierda a derecha	24
FIGURA 27 Formatos de imagen de un proyector	24
FIGURA 28 Esquema para calcular el ratio de proyección.....	25
FIGURA 29 Ejemplos de estigmatismo perfecto, aproximado y no estigmatismo.	26

FIGURA 31 Sistemas de aplastamiento y no aplastamiento respectivamente.....	26
FIGURA 32 Mesa móvil con superficie adherente	27
FIGURA 33 Ejemplo de protectores ultravioletas.	28
FIGURA 34 Distintos tipos de tornillos de potencia	28
FIGURA 35 Fuente para Arduino.....	29
FIGURA 36 Placa Arduino para 5V.....	30
FIGURA 37 Motor NEMA 17	30
FIGURA 38 Sensor infrarrojo	31
FIGURA 39 Esquema de las partes del sistema óptico.....	40
FIGURA 40 Esquema para formulación del sistema óptico	40
FIGURA 41 Esquema para aplicación de leyes de refracción.....	45
FIGURA 42 Esquema de los parámetros del lente.	46
FIGURA 43 Esquema del subsistema plataforma.....	48
FIGURA 44 Esquema del subsistema mecánico del recipiente.....	48
FIGURA 45 Diagrama del cuerpo libre de la plataforma con sus elementos.....	49
FIGURA 46 Diagrama del cuerpo libre del brazo y la base.....	49
FIGURA 47 Diagrama del cuerpo libre del elemento A, de la plataforma	50
FIGURA 48 Simulación CAD de la plataforma sometida a carga distribuida	52
FIGURA 49 Diagrama del cuerpo libre del eje del tornillo de potencia.	53
FIGURA 50 Simulación del eje que sirve de soporte al eje roscado del motor.	53
FIGURA 51 Diagrama del cuerpo libre del brazo de sujeción de la base del recipiente.	54
FIGURA 52 Diagrama del cuerpo libre de la base acrílica.	54
FIGURA 53 Simulación CAD de la base para la resina líquida	57
FIGURA 54 Movimiento vertical de la carga con un Motor a Pasos	57
FIGURA 55 Diagrama del sistema electrónico y de control de la impresora DLP.....	59
FIGURA 56 Fototransistor TCST 2013.....	60
FIGURA 57 Fototransistor TCST 2013.....	61
FIGURA 58: Motor sainsmart NEMA 17	62
FIGURA 59 Diagrama de control con tarjeta.....	63

FIGURA 60 Placa Arduino micro.....	64
FIGURA 61 Pines de la tarjeta electrónica	65
FIGURA 62 controlador A 4988	66
FIGURA 63 Diagrama de control con tarjeta.....	67
FIGURA 64 Resolución de pasos.....	68
FIGURA 65 Conexión electrónica de la impresora DLP.....	68
FIGURA 66 Elementos de conexión en la tarjeta.	69
FIGURA 67 Pista de conexión.....	69
FIGURA 68 Flujograma de programación.....	71
FIGURA 69 Diagrama de partes estructurales de la tabla 23.....	73
FIGURA 70 Diagrama partes estructurales de la tabla 24.....	74
FIGURA 71 Diagrama partes estructurales de la tabla 25.....	75
FIGURA 72 Diagrama partes estructurales de la tabla 26.....	75
FIGURA 73 Diagrama para acabados de la tabla 27.....	76
FIGURA 74 Diagrama para acabados de la tabla 28.....	77
FIGURA 75 Diagrama para acabados de la tabla 29.....	77
FIGURA 76 Diagrama para acabados de la tabla 30.....	78
FIGURA 77 Diagrama para acabados de la tabla 31.....	79
FIGURA 78 Diagrama para acabados de la tabla 32.....	80
FIGURA 79 Impresora 3D leapfrog.....	80
FIGURA 80 Esquema frontal estructural dimensional de la impresora.	87
FIGURA 81 Esquema superior estructural dimensional de la impresora.	88
FIGURA 82 Esquema frontal dimensional del sistema mecánico de la impresora.....	89
FIGURA 83 Esquema lateral izquierda del sistema mecánico.....	89
FIGURA 84 Esquema superior del sistema mecánico	90
FIGURA 85 Esquema frontal dimensional del sistema óptico de la impresora.	91
FIGURA 86 Esquema superior dimensional del sistema óptico de la impresora.....	91
FIGURA 87 Esquema lateral izquierdo dimensional del sistema óptico de la impresora.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características principales de una resina	19
Tabla 2 Tabla de la resina de la empresa 3D INK	21
Tabla 3 Características de la impresora	32
Tabla 4 Comparativo del subsistema de transmisión de movimiento de la plataforma	33
Tabla 5 Selección de los Sistemas de Transmisión de Movimiento de la plataforma	33
Tabla 6 Cuadro comparativo del subsistema transmisión del recipiente.....	34
Tabla 7 Tabla de selección del subsistema transmisión de movimiento del recipiente	35
Tabla 8 Cuadro comparativo de los lentes.....	35
Tabla 9 Tabla de selección de los lentes	36
Tabla 10 Cuadro comparativo de los motores.....	36
Tabla 11 Tabla de selección de los motores	37
Tabla 12 Cuadro comparativo de las tarjetas de control.....	37
Tabla 13 Tabla de selección de las tarjetas de control	38
Tabla 14 Cuadro comparativo del software.....	39
Tabla 15 Tabla de selección del software	39
Tabla 16 Significado de la distinta nomenclatura que se utiliza en el esquema del diseño.....	41
Tabla 17 Cálculo del detalle mínimo en función de la resolución y tamaño de la imagen.....	42
Tabla 18 Características para uso como switch	61
Tabla 19 Datos técnicos servo motor HS- 311	62
Tabla 20 Datos Técnicos Motor a pasos nema 17	62
Tabla 21 Características técnicas Tarjeta Arduino micro.....	64
Tabla 22 Descripción de pines utilizados	65
Tabla 23 Especificaciones del controlador.....	66
Tabla 24 Especificaciones de los pines.....	67
Tabla 25 Partes estructurales 1.....	72
Tabla 26 Partes estructurales 2.....	73
Tabla 27 Partes estructurales 3.....	74

Tabla 28 Partes estructurales 4.....	75
Tabla 29 Acabados 1.	76
Tabla 30 Acabados 2.	76
Tabla 31 Sistema óptico 1.	77
Tabla 32 Sistema óptico 2.	78
Tabla 33 Sistema óptico 3.	78
Tabla 34 Sistema mecánico.....	79
Tabla 35 Métodos de fabricación.....	81
Tabla 36 Tiempos de fabricación estructura.....	81
Tabla 37 Tiempos de fabricación acabados.	82
Tabla 38 Tiempos de fabricación sistema mecánico.	82
Tabla 39 Tiempos de fabricación sistema electrónico.....	83
Tabla 40 Tiempos de fabricación por proceso.....	83
Tabla 41 Tiempos totales de fabricación y montaje.....	83
Tabla 42 Materia prima.....	84
Tabla 43 Insumos.....	84
Tabla 44 Partes mecánicas.....	85
Tabla 45 Partes electrónicas.....	85
Tabla 46 Mano de obra.....	85
Tabla 47 Herramientas para ensamble.....	85
Tabla 48 Análisis de resultados de pruebas dimensionales estructurales.....	88
Tabla 49 Análisis de resultados de pruebas dimensionales del sistema mecánico.....	90
Tabla 50 Análisis de resultados de pruebas dimensionales del sistema óptico.....	92
Tabla 51 Análisis de resultados de pruebas de velocidad.....	93
Tabla 52 Circunferencias internas y externas.....	94
Tabla 53 Cuadrados externos.....	95
Tabla 54 Cuadrados internos.....	96
Tabla 55 Dificultad de impresión.....	96

RESUMEN

En el presente proyecto se propone la construcción de una impresora 3D con tecnología DLP (Digital Light Processing) para la creación de prototipos tridimensionales. Para la realización de este proyecto se procederá a investigar los elementos que intervienen directamente en el funcionamiento de la impresora: lentes, resinas, foto iniciadores, proyectores de luz UV, la plataforma y la base para la resina. Se escogerá los elementos más adecuados para el proyecto de tal forma que la impresora pueda generar prototipos adecuados que sigan las siguientes características: Área de impresión (X 100 mm × Y 100 mm × Z 100 mm), resolución de impresión (Eje X de 0.1 - 0.08 mm, eje Y de 0.1 - 0.08 mm y eje Z de 0.1 mm). La velocidad de impresión y la luminosidad del proyector se definirán en el transcurso del diseño. Se procederá a realizar el diseño óptico, mecánico y electrónico de la impresora, luego se elaborarán los diagramas de procesos para la fabricación del equipo y se presentarán los planos dimensionales y electrónicos de la máquina. Después de terminar la construcción de la impresora, se realizarán pruebas dimensionales de la máquina, para satisfacer las especificaciones propuestas. También, se elaborarán pruebas funcionales de impresión con las cuales obtendremos los resultados que permitirán mejorar el producto final, de esta forma conoceremos las variables que afectan directamente en el diseño. La construcción de esta impresora no solo nos mostrará una forma diferente de prototipado 3D a la ya conocida en el mercado Ecuatoriano. También, facilitará la investigación de quienes quieran incursionar en este campo. Las aplicaciones que se le darán a esta impresora serán exclusivamente de carácter académico.

PALABRAS CLAVES

- **IMPRESIÓN DLP**
- **IMPRESIÓN 3D**
- **PROTOTIPADO RÁPIDO**
- **MANUFACTURA DE LIBRE FORMA**
- **RESINA UV**

ABSTRACT

This project is proposed to build a 3D printer with DLP (Digital Light Processing) technology for creating three-dimensional prototypes. For this project will proceed to investigate the factors involved directly in the operation of the printer: lenses, resins, photoinitiators, UV light projectors, the platform and the basis for the resin.

The most appropriate elements for the project will be chosen so that the printer can continue to generate adequate prototypes of the following specifications: Print Area (X 100 mm × 100 mm × 100 mm Z) print resolution (Axis X 0.1 - 0.08 mm, axis of 0.1 to 0.08 mm and 0.1 mm Z axis). Print speed and brightness of the projector will be defined during the design.

It will proceed with the optical, mechanical and electronic design of the printer, then the diagrams of processes for manufacturing the equipment will be developed and dimensional drawings and electronic machine will be presented. After finishing the construction of the printer, dimensional testing machine is made to meet the specifications proposed. Functional proofs with which we get the results that will improve the final product, thus know the variables that directly affect the design is also developed.

A user manual shall be written, it will allow the printer user ease of handling, this manual will focus both on the part of security and computer use, physical and printer management software is displayed.

The construction of this printer not only show us a different way of 3D prototyping to the already known in the Ecuadorian market. Also, research will facilitate those who want to enter this field.

Applications that will give this printer will be exclusively academic.

KEYWORDS

- **DLP PRINT**
- **3D PRINT**
- **RAPID PROTOTIPING**
- **MANUFACTURING FREE FORM**
- **UV RESIN**

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

La impresión 3D es un proceso de manufactura que se ha desarrollado desde varios años atrás en todo el mundo, en el año 1976 se creó la inyección de tinta para las impresiones sobre papel, telas, etc., con un poco de modificaciones en 1984 se empiezan a imprimir ya no con tinta sino con distintos tipos de materiales dando paso a la impresión 3D, con esta impresión se pudieron crear piezas por medio de la adición de material, creando objetos tridimensionales a través de la superposición de capas.

Las impresiones 3D ofrecen a los desarrolladores de productos la capacidad de producir cientos de piezas a partir del diseño de las mismas en un programa CAD. (Villar, 2013).

En la actualidad la tecnología de impresión más utilizada es el FDM (Material por Deposición Fundida) fig. 1, que se basa en la extrusión de un termoplástico a través de una boquilla produciendo piezas de buen acabado y precisas, ejemplo en la fig. 2.

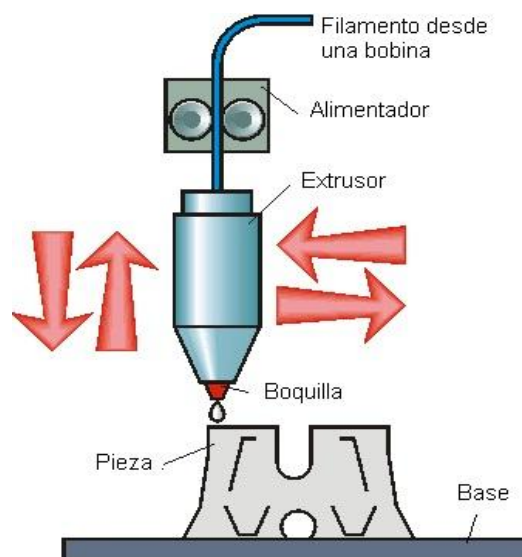


FIGURA 1 Mecanismo de funcionamiento FDM

FUENTE: (PROTORAPIDO, 2007)



FIGURA 2 Pieza obtenida con tecnología FDM

FUENTE: (Saravia, 2012)

En el instante en que se buscaba crear nuevas técnicas de impresión 3D también se intentó implementar nuevos materiales, logrando desarrollar con éxito un nuevo proceso el cuál utiliza tecnología DLP (Digital Light Processing) figura 3 utilizando una matriz de microespejos que permite realizar impresiones volumétricas, utilizando como materia prima resina UV, la resina se solidifica al reaccionar ante luz ultravioleta, produciendo piezas sólidas, siendo visualmente mejor a la impresión FDM figura 4.



FIGURA 3 Equipo de impresión DLP

FUENTE: (PROTORAPIDO, 2007)



FIGURA 4 Comparación impresión FDM vs DLP.

FUENTE: (Liou, 2007)

En el Ecuador en el año 2012 empezaron a incursionar en el proceso de litografía 3D a partir de la impresión a través de extrusión de polímeros, la fundación Manuela Espejo está ya investigando la producción de prótesis médicas mediante procesos de mecanizado CNC y tecnología 3D que reduce el tiempo de fabricación de prótesis (Ecuador, 2012) , así como también en Quito y Guayaquil se están realiza fabricación de prototipos y piezas útiles para el empresario que busca abaratar costos en su producción.

En el Ecuador no se conoce que se esté realizando investigación del proceso de manufactura DLP, o por lo menos que se esté incursionando en este tipo de tecnología.

El Ecuador está en un proceso de cambio, de crear e investigar nuevas tecnologías que ayuden al desarrollo industrial del país, los nuevos métodos de fabricación que se están desarrollando mundialmente apoyan esta idea, existen diferentes proyectos que se centran en este campo de estudio, múltiples tesis universitarias abarcan la impresión 3D. Así también en la Universidad de la Fuerzas Armadas “ESPE” se está incursionando en este tipo de tecnología, pero no existen proyectos internos en el país que se centren en la tecnología DLP, de esta manera se estará incursionando con una nueva tecnología, tanto a nivel mundial como para el Ecuador.

1.2. Definición del problema

En el país existe muy poca investigación sobre nuevos métodos de fabricación con tecnología DLP que ayuda a la creación de piezas con mayor velocidad, menor costo y sin importar la cantidad de producción. En la actualidad se ha implementado la impresión con tecnología FDM que es un proceso con mayor tiempo de impresión y más costoso, la cual ya se puede adquirir en el mercado Ecuatoriano. Con la implementación de equipos con tecnología DLP utilizando nuevos materiales fotosensibles podemos fabricar piezas con un tiempo de impresión más corto y menos costoso en el Ecuador, además de la apertura para nuevos desarrollos e investigaciones en tecnología de impresión 3D DLP.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar y construir una impresora 3D con tecnología DLP (Digital Light Processing).

1.3.1.1. Objetivos Específicos

- Investigar la información necesaria para cumplir parámetros necesarios del proyecto planteado.
- Determinar y seleccionar los componentes: (mecánicos, electrónicos y estructurales) adecuados para el equipo de impresión.
- Diseñar y simular el funcionamiento mecánico de equipo.
- Construir la estructura del equipo a partir del diseño mecánico.
- Implementar el sistema de control electrónico para el funcionamiento automático
- Realizar pruebas de funcionamiento

1.4. Alcance

Elaborar un equipo para impresión 3D con tecnología DLP con las siguientes características:

Área de impresión Máxima (x, y, z): 100 mm × 75 mm × 100 mm.

Resolución: Eje X de 0.1 - 0.08 mm, eje Y de 0.1 – 0.08 mm y eje Z de 0.1 mm.

1.5. Justificación de la investigación

La creciente demanda de prototipos, piezas, partes únicas y diseños personalizados en las diferentes ramas de investigación a nivel mundial como son: médica, mecánica, electrónica, mecatrónica, biomecánica, etc., ha llevado a concentrar las investigaciones en crear y producir equipos que permitan realizar estos prototipos con tiempo y costo de producción más bajos, sin importar la cantidad de producción ya que se enfoca en la producir partes y piezas únicas de alta calidad y funcionales.

En el Ecuador se está empezando la implementación de estos nuevos equipos de manufactura para la fabricación de prótesis personalizadas, fabricación de piezas para prototipos principalmente con la tecnología FDM que consiste en la extrusión de un polímero a través de un extrusor.

En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica está realizando diseño y construcción de prototipos y piezas con tecnología FDM. También, se continuará con la investigación y aprendizaje de la nueva fabricación de piezas con tecnología DLP que está en auge a nivel mundial pero todavía no se implementa en el Ecuador.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN AL PROTOTIPADO RÁPIDO

El prototipado rápido es un proceso de manufactura que se utiliza para fabricar prototipos 3D en distintos materiales como: plástico, metal o cerámica, existiendo distintos métodos de prototipado en tres dimensiones como son: el sinterizado, la extrusión, procesamiento digital, etc., utilizando datos de diseño asistido por ordenador (CAD) en tres dimensiones.

Tradicionalmente para elaborar un producto primero se debían generar ideas, para luego crear un diseño y así elaborar el producto mediante algún proceso de fabricación, llevando mucho tiempo para el desarrollo del producto.

Hoy en día los campos de competitividad para liderar el mercado industrial son: calidad, precio, tiempo de entrega, confiabilidad de entrega, flexibilidad e innovación (Liou, 2007).

El prototipado rápido es utilizado en muchos sectores, permitiendo a las empresas transformar ideas innovadoras en productos de éxito de forma rápida y eficiente, sin involucrar costos altos por rediseño.

En el campo de la llamada manufactura de clase mundial uno de los factores que afecta profundamente a las empresas para ser o no competitivas, es el método de fabricación del producto.

Siendo los factores más críticos al momento de evaluar si una empresa es exitosa o no, son los que se indican en la fig. 5.

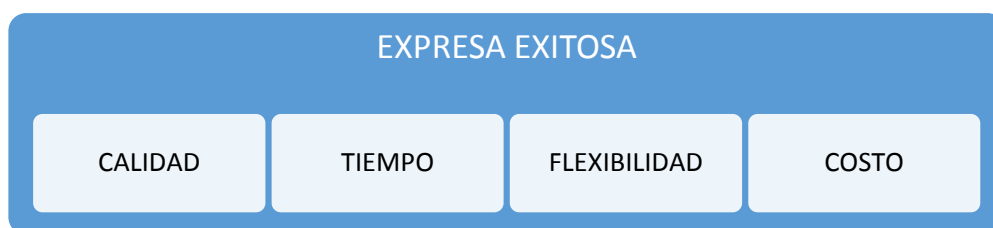


FIGURA 5 Diagrama de factores críticos, empresa exitosa

El proceso de prototipado rápido afecta directamente a los factores críticos del éxito de una empresa, cumpliendo los siguientes roles que se muestran en la fig. 6.



FIGURA 6 Diagrama de roles preponderantes del prototipado rápido.

Estos roles afectan directamente en:

COMUNICACIÓN INTERNA: los prototipos permiten a los equipos de diseño cambiar su concepto de producto con facilidad durante la primera fase del desarrollo.

DISEÑO ITERATIVO: Los modelos rápidos y baratos de producir permiten imprimir múltiples piezas durante un proyecto.

COMUNICACIÓN CON EL CLIENTE: Los prototipos de apariencia funcional son útiles para resolver problemas y para obtener un acuerdo sobre el diseño.

COMUNICACIÓN A LARGA DISTANCIA: Las piezas pueden ser enviadas a los participantes claves del proyecto, lo que provee con información más clara que una captura de pantalla o una impresión en papel.

IDENTIFICACIÓN TEMPRANA DE PROBLEMAS: Las piezas 3D son una manera rápida y eficiente de identificar problemas y retos de un diseño en una fase muy temprana del proceso.

OBTENCIÓN DE CONSENSO EN UN DISEÑO: Un modelo físico permite a los miembros del equipo de diseño comprender completamente los pros y contras de cada concepto de diseño.

REALIZACIÓN DE TESTEOS ERGONÓMICOS: Los modelos rápidos y baratos permiten a los diseñadores comprobar la ergonomía de los diseños y realizar estudios de forma en el proceso de diseño industrial.

Al principio este tipo de tecnología se utilizaba solo en la realización de prototipos, actualmente este proceso se utiliza ya como método de fabricación en la industria manufacturera.

Algunas de estas industrias son:

- Arquitectura / Ingeniería
- Topografía
- Electrodomésticos
- Educación
- Modelado molecular
- Automoción
- Diseño de interiores, muebles, calzado...
- Modelado para Medicina
- Alimentación

Empresas como Adidas están generando sus modelos a través del uso de este proceso, así como también empresas aeronáuticas y vehiculares como son el caso de Fuerza Aérea Sheppard y Bentley, respectivamente; además de otras.

Se espera que en el futuro, miles de impresoras 3D personales y de gama alta destinadas a la manufactura aditiva, sean esparcidas en todo el mundo para producir objetos en tres dimensiones.

En el 2012, la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de los Estados Unidos se plateo implementar 1000 máquinas de prototipado rápido en escuelas secundarias en los Estados Unidos como parte de su programa de Experimentación y Enriquecimiento Manufacturero. (Toro, 2012).

En el Ecuador, este tipo de tecnología ha tenido un impacto moderado que va creciendo a medida que aumenta el interés en el mismo, una de las empresas pioneras instaladas en el Ecuador desde el 2013 es Stratasys que ofrece sus impresoras de variada tecnología y costos distintos. Así también existen muchas otras empresas ya instaladas en el Estado Ecuatoriano que están pisando fuerte como el caso de 3D printer, Innova 3D, etc.

2.2. IMPRESIÓN 3D

La manufactura por capas o impresión 3D comprende un conjunto de tecnologías de alto grado de automatización y flexibilidad que permiten la obtención de piezas sólidas a partir de modelos o prototipos virtuales creados con casi cualquiera de los programas CAD (diseño asistido por computador) de modelamiento tridimensional disponibles en el mercado, en tiempo relativamente corto, bajo consumo de energía eléctrica y contaminación casi nula (pocas emisiones, poco ruido). (Marín, 2007).

Para poder entender que es la impresión 3D primero se explicará que una impresión es la acción y efecto de imprimir (marcar letras y otros caracteres figuras en un papel u otra materia, estampar un sello, introducir algo con fuerza en otra cosa, dar una característica a algo) y la impresión 3D reside en que se logra un producto tridimensional.

La impresión 3D o prototipado rápido es un proceso de manufactura considerado de libre forma, el proceso comienza tomando un diseño virtual a partir de un software de modelado o de diseño asistido por ordenador (CAD). El equipo de impresión 3D lee los datos del dibujo CAD y aplica capas sucesivas de material líquido, en polvo o lámina; fabricando el modelo físico a partir de una serie de secciones transversales. Estas capas, que se corresponden con la sección transversal virtual del modelo CAD se unen automáticamente para crear la forma final. Existen dos maneras de generar un modelo 3D de diseño asistido por computadora, los cuales son:

- Generar un sólido a través de un sistema CAD, fig. 7.
- Generar el sólido a partir de un escaneo del sólido real.



FIGURA 7 Ejemplo de impresión 3D, muestra: el prototipo y el archivo CAD.

FUENTE: (ANDRADE, 2012)

2.1.1. Características

En la actualidad ya están disponibles distintos tipos de prototipado rápido, pero los principios básicos de operación de todas las máquinas son similares entre sí, para este caso los pasos de la figura 8 muestra como modelar un objeto en 3D en tecnología.

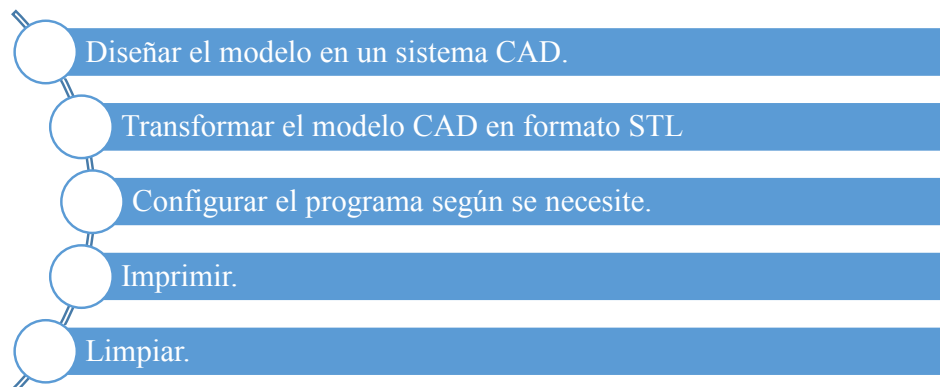


FIGURA 8 Lista de los pasos a seguir para obtener un prototipo DLP.

Las características más importantes que presta este proceso son:

Fabricación eficiente: Mediante una impresión 3D se necesitan menos recursos humanos participando en las diferentes etapas del producto.

Producción rápida: Basándose en los mismos principios que el anterior punto, con esta tecnología es posible construir, relativamente rápido, diferentes piezas.

Ahorro de material: Comparando con una fabricación tradicional basada en un mecanizado común, la cantidad de material desechado es mucho menor.

Fabricación de alta calidad: Mediante la impresión 3D es posible lograr una buena calidad superficial; dependiendo siempre de la calidad de la impresora y de los materiales utilizados.

Fabricación económica: Disminución de costes de producción debido al retrabajo, y la no funcionalidad del modelo prototipado.

2.1.2. Procesos de prototipado rápido

Para poder explicar los diferentes tipos de Impresoras 3D, se muestra a continuación la figura 9 con los diferentes procesos de prototipado rápido, esta subdivisión se realiza mediante el tipo de materia prima que utiliza cada proceso.

Lecho en polvos	Lecho en líquido	Lecho sólido
<ul style="list-style-type: none"> • Selective Laser Sintering (SLS) • Selective Mask Sintering (SMS) • Selective Laser Melting (SLM) • Electron Beam Melting (EBM) • 3D Printers (3DP) 	<ul style="list-style-type: none"> • Stereolithography (SLA) • Direct Light Processing (DLP) 	<ul style="list-style-type: none"> • Laminated Object Manufacturing (LOM) • Fused Deposition Modeling (FDM)

FIGURA 9 Lista de los tipos de proceso de prototipado 3D.

SLA (estereolitografía): conocida también como STL emplea un láser UV que se proyecta sobre un baño de resina fotosensible líquida ver figura 10.

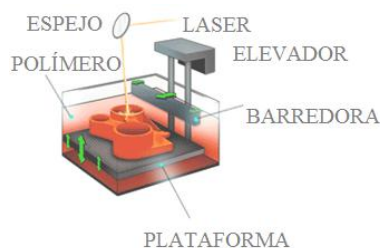


FIGURA 10 Esquema máquina SLA.

FUENTE: (INTI, 2009)

DLP. Foto polimerización por luz UV: Al igual que en la estereolitografía, esta tecnología se basa en la solidificación de un fotorolímico o resina fotosensible. En la foto polimerización, sin embargo, se irradia con una lámpara de UV de gran potencia todos los puntos de la sección simultáneamente, observar en la figura 11.

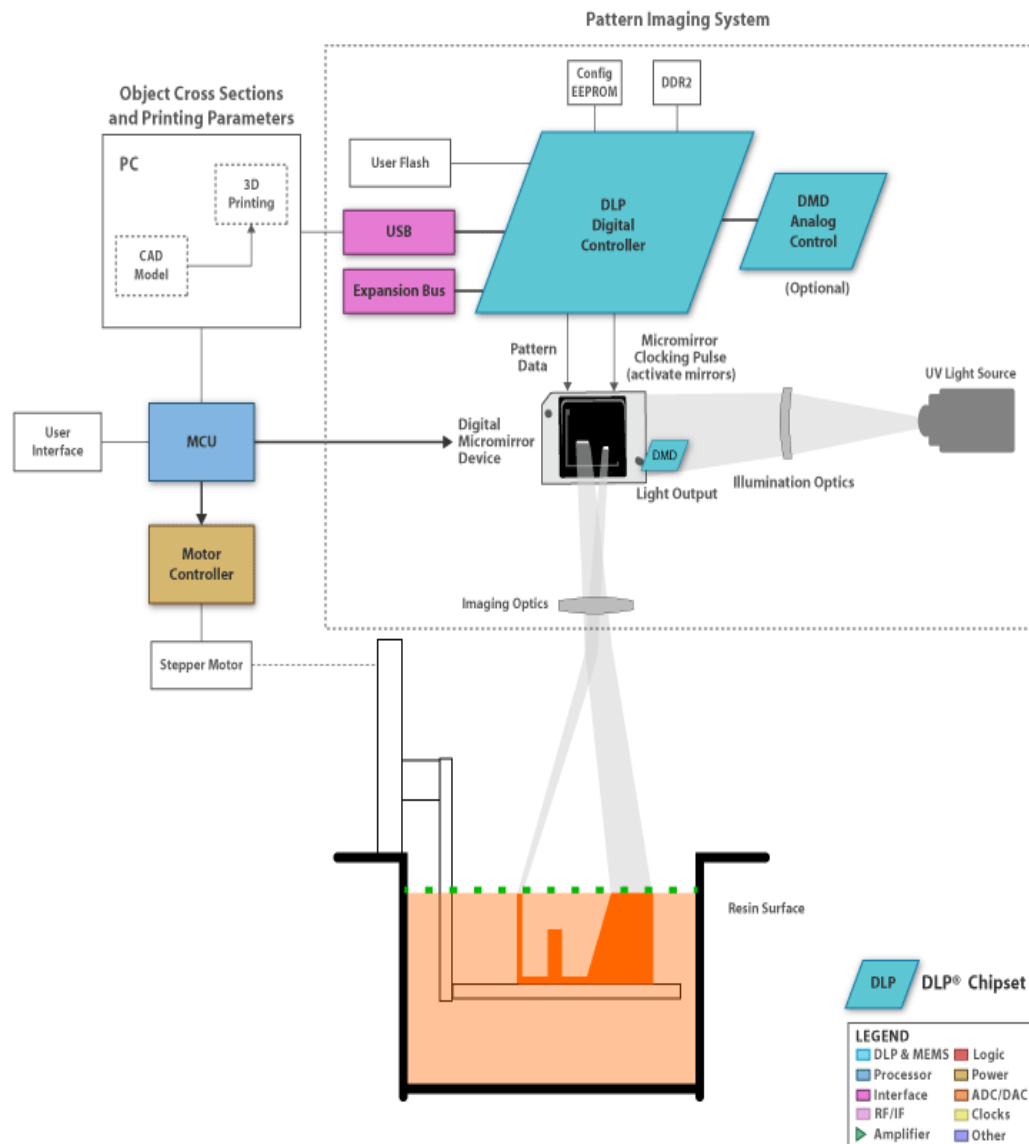


FIGURA 11 Esquema máquina FDM

FUENTE: (INTI, 2009)

FDM. Deposición de hilo fundido: Una boquilla que se mueve en el plano XY horizontal deposita un hilo de material a 1 °C por debajo de su punto de fusión. Este

helo se solidifica inmediatamente sobre la capa precedente, se puede visualizar el esquema del proceso en la figura 12.

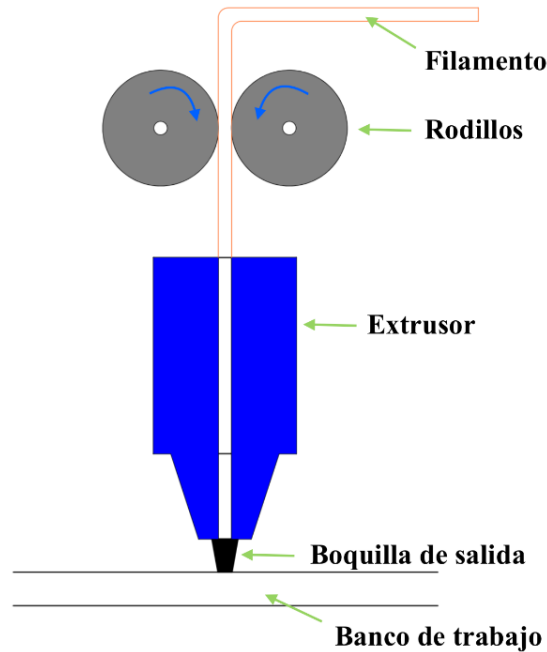


FIGURA 12 Esquema máquina FDM

SLS. Sinterización selectiva láser: Se deposita una capa de polvo, de unas décimas de mm, en una cuba que se ha calentado a una temperatura ligeramente inferior al punto de fusión del polvo. Seguidamente un láser CO2 sinteriza el polvo en los puntos seleccionados ver figura 13, en donde se presenta el esquema de las partes importantes para el funcionamiento de la impresora.

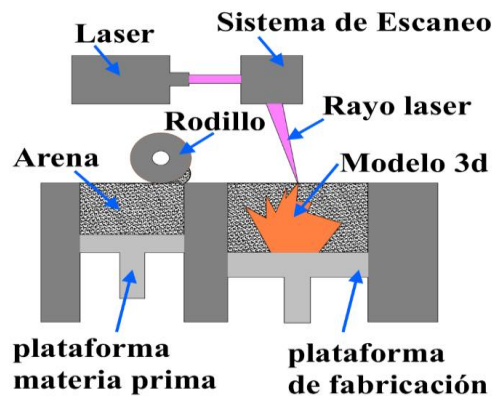


FIGURA 13 Esquema máquina SLS

LOM. Fabricación por corte y laminado: Una hoja de papel encolado se posiciona automáticamente sobre una plataforma y se prensa con un rodillo caliente que la adhiere a la hoja precedente.

DSPC. Proyección aglutinante: Esta tecnología trabaja mediante la deposición de material en polvo en capas y la ligazón selectiva del mismo mediante la impresión de "chorro de tinta" de un material aglutinante.

2.3. Aplicaciones

Topografía

En propuestas de construcciones complejas de superficies terrestres, con sus formas y detalles figura 14, tanto naturales como artificiales el Prototipado Rápido proporciona una maqueta 3D para cada diseño.

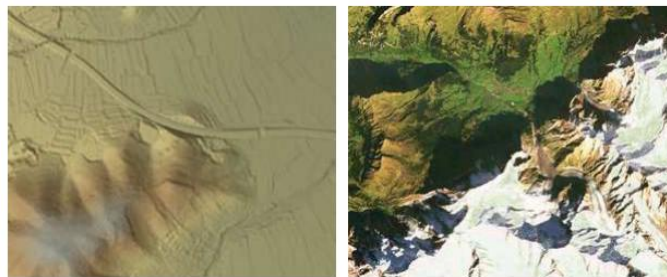


FIGURA 14 Ejemplos de prototipado en Topografía.

FUENTE: (PROTORAPIDO, 2007)

Arquitectura / ingeniería:

Amasado de modelos para Desarrollo de Conceptos: Modelos 3D directamente desde el archivo CAD y producción de modelos de forma rápida y económica. Estudio de diseño de Elementos Críticos: Fabricación de superficies y formas geométricas complejas y comunicación de detalles y acabado de superficies. Las empresas que diseñan y producen envases de cristal y plástico para industrias relacionadas con el cuidado corporal como se muestra en la figura 15, la salud y el cuidado del hogar están usando prototipos 3D para acelerar y mejorar su proceso de diseño.



FIGURA 15 Ejemplos de prototipado en Packaging.

FUENTE: (PROTORAPIDO, 2007)

Los fabricantes de electrodomésticos para el hogar utilizan la tecnología de prototipado rápido para acelerar y mejorar sus intensos ciclos de diseño, con lo que pueden lanzar mejores productos más rápido al mercado ver figura 16.



FIGURA 16 Ejemplos de prototipado en Electrodomésticos.

FUENTE: (PROTORAPIDO, 2007)

Utensilios pedagógicos para niños con visión reducida o ceguera: Una educación que se ajuste a las necesidades de cada individuo supone un elemento decisivo para la integración de esa persona en la sociedad figura 17.



FIGURA 17 Ejemplos de prototipado en Pedagogía.

FUENTE: (PROTORAPIDO, 2007)

Desarrollos de diseños: Mediante el uso de prototipado rápido se puede mejorar los programas educativos y exponer a los estudiantes a tecnología de punta. En muchas áreas es imprescindible que los alumnos tengan acceso a maquetas físicas de sus diseños en etapas tempranas del proceso de diseño. De ese modo pueden llegar a comprender y experimentar completamente el ciclo de diseño del producto, entre otras. Estas áreas son:

Ingeniería: crear prototipos directamente desde datos digitales, permitiendo a los estudiantes evaluar sus diseños en 3D y comprobar el ensamblado de piezas.

Arquitectura: maquetas rápidas y económicas que posibilitan imprimir varias piezas durante el curso de un proyecto y utilizar las maquetas no solo para presentar, sino también como parte del proceso creativo.

Diseño industrial: producir maquetas de cualquier complejidad. Las maquetas pueden ser lijadas y pintadas para hacer réplicas de maquetas de producción.

Bellas artes: crear outputs físicos a sus proyectos y obtener un feedback valorable en sus proyectos.

Investigación biomédica: crear partes a color que permite a los investigadores representar con precisión maquetas moleculares en tres dimensiones ver figura 18.



FIGURA 18 Ejemplos de prototipado en Desarrollos

FUENTE: (PROTORAPIDO, 2007)

El uso de prototipado rápido permite:

A los equipos de diseño cambiar de forma efectiva el diseño conceptual en las fases tempranas del proceso de diseño. Las distintas interpretaciones se pueden visualizar y discutir a partir de modelos reales entre diferentes equipos funcionales dentro de una misma organización.

Comprobar el ensamblado de piezas: mediante dispositivos pasa no pasa o mediante prototipos que muestran la forma de ensamble.

Planificación de producción: Las compañías de automoción utilizan modelos 3D para examinar la línea de producción y asegurarse de que tienen las herramientas adecuadas en cada estudio para completar la producción de la forma más eficiente posible ver ejemplos en la figura 19.

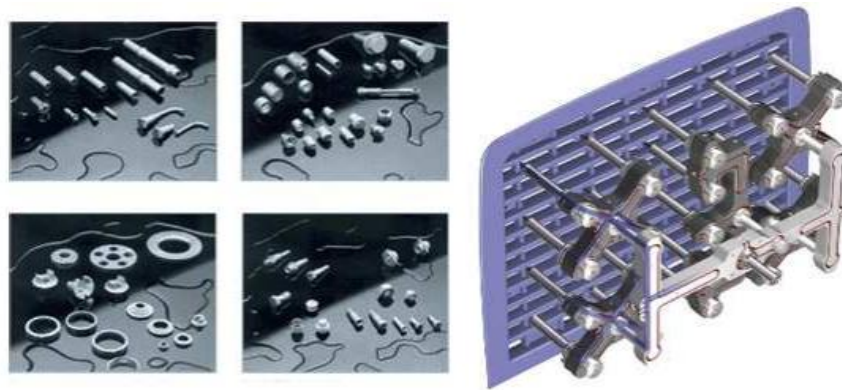


FIGURA 19 Ejemplos de prototipado en Automoción.

FUENTE: (PROTORAPIDO, 2007)

Facilitar la visualización de lo que se quiere realizar, figura 20.



FIGURA 20 Ejemplos de prototipado en Diseño de Interiores, Etc.

FUENTE: (PROTORAPIDO, 2007)

2.4. Tecnología de impresión DLP (Digital Light Processing)

Una impresión 3D DLP es una impresión volumétrica, que utiliza como materia prima resina UV. Su funcionamiento se basa en la cristalización de la resina a partir de la incidencia de una onda de luz sobre la resina haciéndola reaccionar como se muestra en la figura 21.

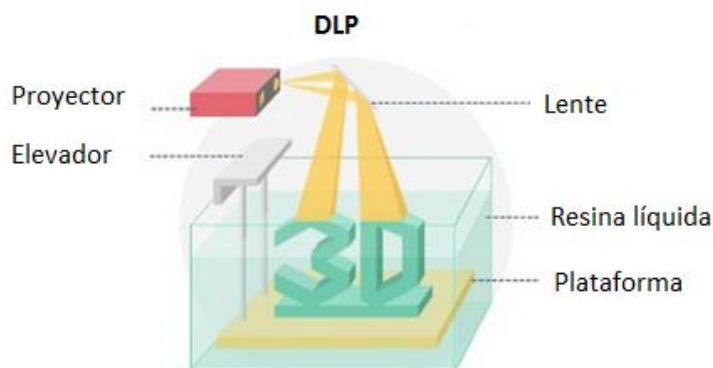


FIGURA 21 Esquema del funcionamiento de una impresora 3D DLP.

2.5. Definición

La tecnología DLP (Digital Light Processing) o Procesamiento Digital de Luz fue desarrollada por la compañía Texas Instruments a finales del siglo XX, gracias a la labor del Dr. Larry Hornbeck, quien desarrolló el chip DMD (Digital Micromirror Device) o Dispositivo digital de microespejos en 1987 tras 10 años de estudios sobre la reflexión de la luz. (Martínez, 2013).

En los proyectores DLP, la imagen es creada por espejos microscópicos dispuestos en una matriz sobre un chip semiconductor, conocido como Digital Micromirror Device (DMD). Cada espejo representa un píxel en la imagen proyectada. El número de espejos se corresponde con la resolución de la imagen proyectada: las matrices de 800×600 , 1024×768 , y 1280×720 son algunos de los tamaños comunes de DMD.

La tecnología DLP es usada en:

- Televisores de alta definición HDTV.

- Pico proyectores
- Proyectores de cine.
- Proyectores multimedia.
- Proyectores para juegos de luces.

2.5.1. Resinas fotosensibles

A continuación se presenta la tabla 1 con las características principales de la resina

Tabla 1

Características principales de una resina

Característica de la resina	Influencia sobre la pieza o en el proceso
Viscosidad inicial	Esta característica influencia directamente en la velocidad de impresión.
Longitud de onda óptima para iniciar la reacción	Permite definir la protección necesaria contra la luz del medio ambiente.
Tiempo de exposición	Optimiza el tiempo de fabricación.
Dureza final	Permite conocer la dureza previa de la pieza a imprimir.
Resistencias físicas	Permite conocer las características físicas previas de la pieza a imprimir.
Composición química	Por manipulación segura, productos no tóxicos.
Densidad antes y después de la polimerización	Para conocer el comportamiento de la resina en la cuba. Puede aumentar su densidad provocando derrames.

La resina es el elemento base (monómero) con el cual se crea el material de impresión, como este sistema utiliza el fotocurado para realizar la polimerización que consiste en la unión de monómeros, para formar polímeros. El tiempo de exposición es en donde el porcentaje de fotoiniciador y el porcentaje de inhibidor deben trabajar juntos para crear el espesor de la capa. Con un proyector DLP de 2700 lúmenes esta resina se solidifica por capas de espesor de 0,1 mm en 4 a 6 segundos.

El monómero a debe ser curado por: un láser azul / violeta, un LED o un LED UV y tener una baja viscosidad 80-120 mPa a 20 ° C.

La pieza curada o solidificada tiene una dureza de 70 – 75 Shore D.

Bajo riesgo de la salud. No tóxico. Baja irritación de la piel y los ojos. Tiene un olor acrílico ligero.

Las resinas son las responsables de las propiedades físicas finales del material curado por este motivo se debe seleccionar la resina dependiendo del uso que se vaya a dar a la pieza creada.

Existen resinas sensibles a la radiación de las fuentes de luz como son:

- UV-CASTTM 9663 de la empresa Dymax Corporation
- SOLAREZ 3D PRINTING RESIN 79901 de la empresa SOLAREZ
- 3D INK de la empresa SEDWICK. La cuál se tiene disponible...

La resina escogida debe ser almacenada a una temperatura de 10 a 30 °C para evitar polimerizaciones prematuras.

Elementos de las resinas

Los tres componentes que forman parte de una resina UV son: el fotoiniciador, el monómero y el fotoinhibidor.

- El fotoiniciador provoca que el monómero se pueda endurecer cuando se expone a la luz UV.
- El fotoinhibidor evita que la luz UV de curado entre demasiado profundo.
- El monómero es el material a cristalizarse.

Composición de las resinas

Un ejemplo es la composición de la resina de la tabla 2, que muestra los componentes que dan las características especiales de la resina, indicando los respectivos índices de riesgo.

Tabla 2

Tabla de la resina de la empresa 3D INK

INGREDIENTES PELIGROSOS	WT %	CLASIFICACIÓN DE PELIGRO	FASES DE RIESGO
Monómero acrílico	>98%	Irritante en contacto directo	R36/37/38, R43
Óxido bis fosfina fenil	<2%	Irritante en contacto directo	R43

El balance de otros ingredientes es menor al 1% de concentración

R36 Irrita los ojos. R37 Irrita las vías respiratorias. R38 Irrita la piel. R43 Posibilidad de sensibilización en la piel. Ver hoja seguridad de la resina a utilizarse en el anexo 1.

2.5.2. Partes de impresión DLP

En la figura 22 se muestra el esquema del equipo que se va a construir.

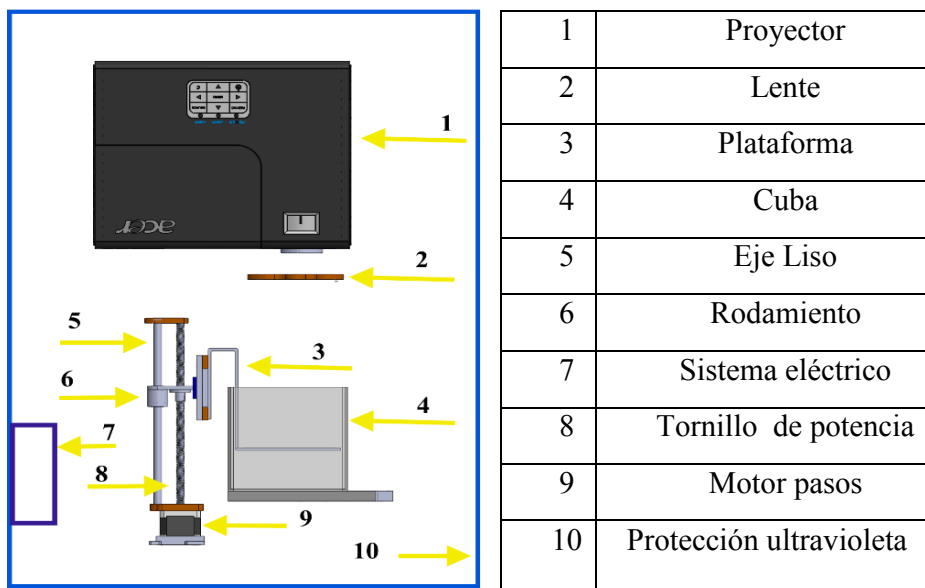


FIGURA 22 Esquema de impresora 3D

2.5.1.1. Proyector DLP

Lo más importante de un sistema DLP es el funcionamiento del chip DMD, compuesto por una matriz encima de la cual hay miles de microespejos que tienen la capacidad de pivotar para reflejar la luz incidente con mayor o menor intensidad, de tal forma que se producen diferentes escalas de grises, llegando a alcanzar 1024 grises diferentes.

Cada uno de estos espejos equivale a un pixel en la imagen real, siendo muy utilizada esta tecnología para los sistemas de proyección que necesitan gran definición. Para agregar el color se utiliza una rueda de color que tiene la función de filtrar la luz blanca que proviene de la lámpara. Los colores que se filtran son tres: rojo, verde y azul, partir de estos se consigue completar el resto del espectro, llegando a conseguirse 16.7 millones de colores con la tecnología DLP más simple y 35 millones con la más avanzada ver figura 23. (Martínez, 2013)

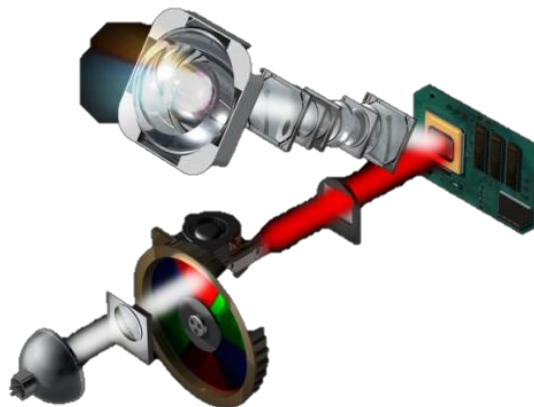


FIGURA 23 Esquema de un sistema DLP con rueda de color.

FUENTE: (Yam, 2007)

Las características principales son:

Tipo de luz

El tipo de luz del proyector define la tecnología que es utilizada por su fuente de luz, debido a que algunas tecnologías permiten obtener características necesarias para este proyecto. Así se conoce que la luz no depende de la tecnología del proyector, depende de la lámpara.

Luminosidad

La luminosidad define la cantidad de partículas incidentes en una unidad de superficie por una unidad de tiempo de un haz, se expresa en lumen (lux/m^2).

Una imagen es más visible en la claridad mientras mayor sea la luminosidad del proyector ver figura 24, en un proyector mientras la luminosidad sea mayor se necesitará menos tiempo para iniciar la polimerización de la resina, aumentando la velocidad de impresión de la pieza.



FIGURA 24 Aumento de la luminosidad de izquierda a derecha

FUENTE: (Derré, 2014)

Contraste

Se define como contraste a la diferencia relativa de intensidad que existe entre un punto de una imagen con sus alrededores, entonces si se tiene un contraste alto más se destaca un objeto del fondo, esto se puede observar en la figura 25.



FIGURA 25 Aumento del contraste de izquierda a derecha.

FUENTE: (Derré, 2014)

Resolución

Se define como resolución a la cantidad de puntos diferentes que realizan la imagen, esta característica está influenciada directamente con el tamaño de la pantalla de proyección.

La resolución se escribe acorde a los pixeles (X y Y), definiendo así la cantidad de pixeles en la longitud y la altura. Así se tiene:

$$D_{detalle} = \frac{L_{pantalla}}{N_{puntos}}$$

En donde: $D_{detalle}$ es la dimensión mínima de detalle.

$L_{pantalla}$ es la longitud de la pantalla.

N_{puntos} es la resolución de imagen.

Para diferenciar observar figura 26.



FIGURA 26 Aumento de la resolución de izquierda a derecha.

FUENTE: (Derré, 2014)

El formato

El radio que se obtiene entre la longitud y su altura es denominado como formato y se escribe como X : Y siendo X el divisor longitudinal y el divisor de altura, ejemplo ver figura 27. A continuación se presenta las ecuaciones para determinar el formato.

4:03
16:10
16:09

FIGURA 27 Formatos de imagen de un proyector

$$L_{pantalla} = F \times A_{pantalla} \quad ; \quad L_{pantalla} = \frac{D_{pantalla}}{1 + F^{-1}}$$

En donde: $L_{pantalla}$ es la longitud de la pantalla.

$A_{pantalla}$ es la altura de la pantalla.

$D_{pantalla}$ es la dimensión de la diagonal de la pantalla.

F es el formato de la imagen.

El ratio de proyección

La dimensión de la diagonal de la pantalla en función de la distancia al proyector se la conoce como ratio como muestra la figura 28, el ratio de proyección es importante para obtener el tamaño requerido de impresión de la pieza es necesario determinar la distancia mínima entre el proyector y la cuba, escribiéndose:

Dimensión de la diagonal : Distancia de proyección

Una relación mayor denota un sistema óptico en donde el haz tiene un mayor enfoque.

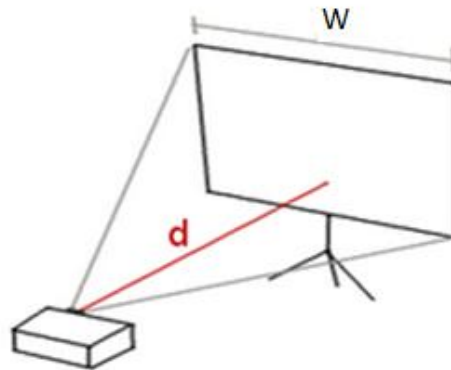


FIGURA 28 Esquema para calcular el ratio de proyección

$$Trow\ ratio = \frac{D}{W}$$

En donde: Trow ratio es la relación de proyección.

D es la distancia del proyector a la pantalla

W es el ancho de la pantalla

2.5.1.2. Lentes

Un lente es el elemento de control de las propiedades ópticas necesarias para la construcción de la impresora.

Propiedades de las lentes

Para poder conseguir una buena imagen de cualquier pieza a imprimir se necesita regirse a algunas leyes de la óptica.

Estigmatismo

El estigmatismo se refiere al porcentaje de rayos que pasan por un punto de un objeto que cruzan el mismo punto de la imagen ver figura 29, si el porcentaje es bajo la imagen se considera de mala calidad.

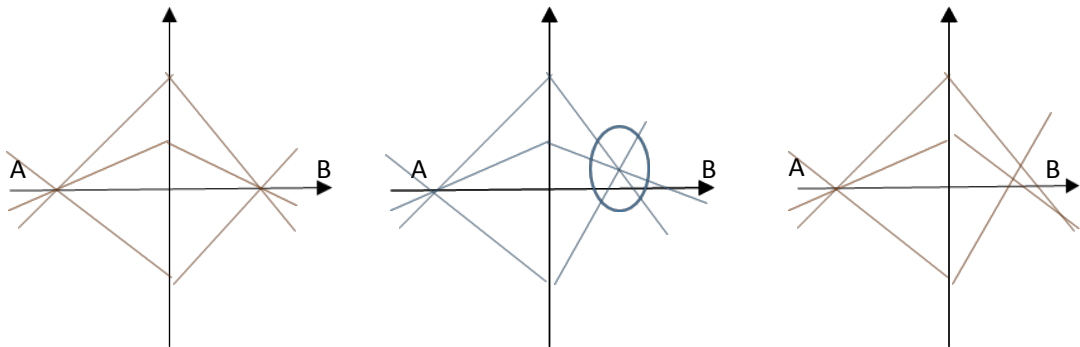


FIGURA 29 Ejemplos de estigmatismo perfecto, aproximado y no estigmatismo.

Aplanetismo

Esta propiedad se refiere a la capacidad de un sistema óptico que tiene para proyectar una imagen perpendicular al eje de un objeto perpendicular a este eje, ver figura 30.

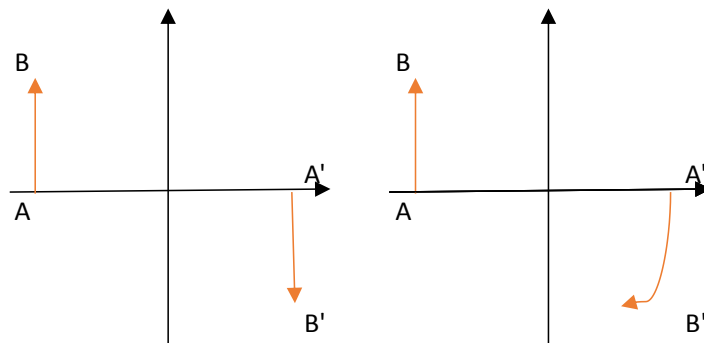


FIGURA 30 Sistemas de aplastamiento y no aplastamiento respectivamente.

Condiciones de GAUSS

Un buen sistema óptico que cumpla con las características necesarias se debe regir bajo las siguientes condiciones de Gauss:

- Los rayos deben cruzar el lente alrededor del eje óptico.
- Los ángulos que se forman entre el haz de luz y el eje deben ser paraxiales, es decir deben ser débiles, tener tendencia a cero. (Lévy, 2008)

2.5.1.3. Plataforma de construcción

La plataforma de construcción es el elemento en el cual el material líquido de la primera capa se solidifica y se adhiere, permitiendo sostener al sólido en formación, su principal características es la de su superficie adherente, pues sobre ella descansara la pieza en proceso de curado durante todo el proceso.

Superficie adherente.

Su principal función es la de producir la suficiente adhesión para que el sólido en proceso de curado se pueda sostener a la mesa ver la figura 31.

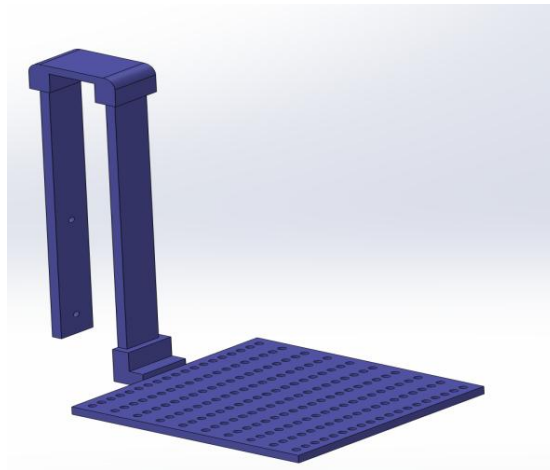


FIGURA 31 Mesa móvil con superficie adherente

2.5.1.4. Protección ultravioleta.

Es un elemento de seguridad ya que la resina puede recibir un curado no deseado cuando luz del ambiente incide en la ella, para evitar esto se puede utilizar plásticos opacos que filtran la luz ultravioleta, ver figura 32.



FIGURA 32 Ejemplo de protectores ultravioletas.

FUENTE: (Martínez, 2013)

2.5.1.5. Desplazamiento Z

Tornillo de potencia

El tornillo de potencia es un dispositivo usado principalmente para cambiar movimiento angular en lineal o viceversa y usualmente transmitir potencia, por ejemplo para ejercer fuerzas de gran magnitud, como en una prensa, figura 33.

Para realizar el trabajo se utiliza un par de torsión en los extremos de los tornillos.

Este sistema de desplazamiento es el más frecuentemente utilizado por las impresoras 3D.



FIGURA 33 Distintos tipos de tornillos de potencia

FUENTE: (NSK, 2014)

Rodamiento

El rodamiento es un elemento mecánico que reduce el rozamiento que existe entre un eje y las piezas conectadas al mismo facilitando su desplazamiento.

El sistema rotativo que puede emplearse para el funcionamiento del rodamiento, puede ser: de bolas, de rodillos o de agujas.

Los rodamientos pueden soportar fuerzas axiales, radiales o mixtas (axiales – radiales) dependiendo de la fuerza que se ejerza sobre ellos.

2.5.1.6. Sistema eléctrico

Fuente

La fuente dotara de la energía suficiente para el proceso, existen fuentes de 5 o 12 voltios para satisfacer las necesidades del motor de movimiento, ver figura 34.

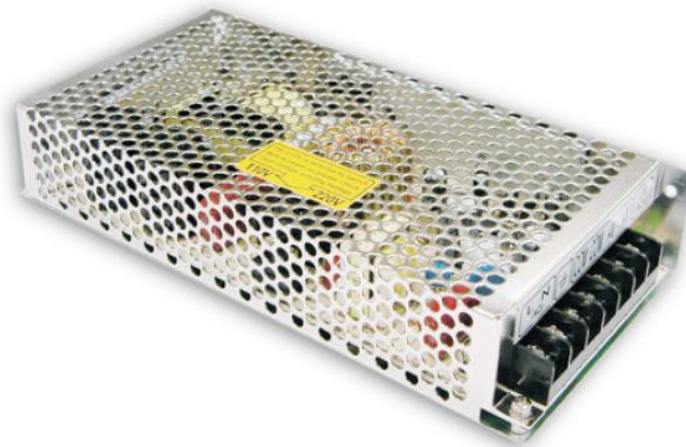


FIGURA 34 Fuente para Arduino.

FUENTE: (FOLOGAR, 2011)

Placa Arduino

La placa Arduino es una plataforma de hardware libre la cual se basa en un micro controlador y un entorno de desarrollo, esta placa fue diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. Debido a que la placa Arduino puede tomar información del entorno a través de sus entradas analógicas y digitales, esta puede entonces controlar luces, actuadores y motores. Por lo tanto es perfecta para ejercer control en el movimiento de la cama a través del motor, ver figura 35.

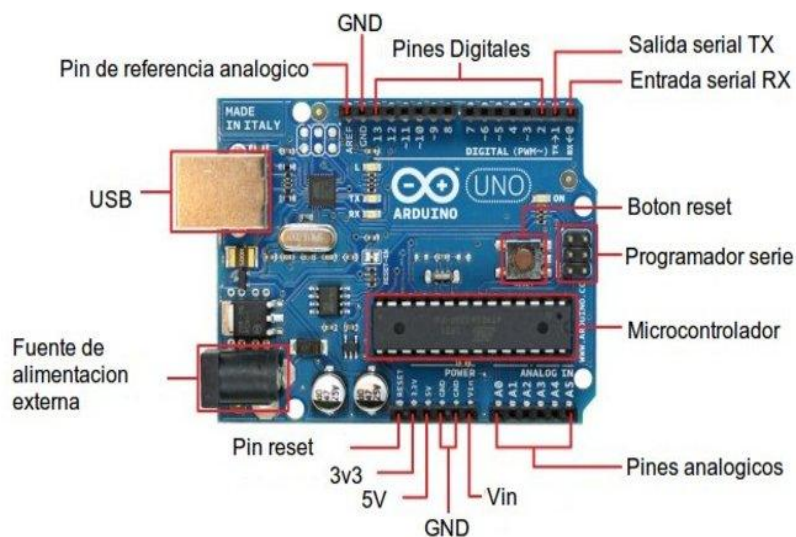


FIGURA 35 Placa Arduino para 5V.

FUENTE: (PE, 2014)

MOTOR PASO A PASO

El motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que puede convertir una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares, por lo tanto significa que es capaz de avanzar una serie de grados (paso a paso) dependiendo de las entradas de control. El motor paso a paso al igual que un convertor digital-analógico (D/A) es decir se comporta de la misma manera y puede ser gobernado por impulsos procedentes de sistemas lógicos. El motor NEMA 17 en fase motores paso a paso mejoradas tiene salida de par más alta que otros motores ver figura 36. Es un motor muy robusto ampliamente utilizado en impresoras 3D caseras.



FIGURA 36 Motor NEMA 17

FUENTE: (Antolín, 2014)

Sensor de posición

Un sensor de proximidad es un dispositivo que detecta objetos o señales que se encuentran cerca del sensor.

Existen varios tipos de sensores de posición según el principio físico que utilizan. Los más comunes son los interruptores de posición, los detectores capacitivos, los inductivos y los fotoeléctricos, como el de infrarrojos figura 37.



FIGURA 37 Sensor infrarrojo

FUENTE: (PARALLAX, 2015)

CAPÍTULO 3

DISEÑO

3.1. Características del Diseño

Para poder realizar el diseño de la impresora primero se definirán los principales parámetros que debe tener la impresora. Estos parámetros de diseño están definidos por los tres sistemas que son: sistema óptico, sistema mecánico y sistema de control.

Tabla 3

Características de la impresora

#	Característica	Descripción	Importancia
1	Área de proyección	X= 100 mm---Y= 75 mm---Z= 100 mm	Alta
2	Resolución	La resolución será de ± 0.1 mm	Alta
3	Recorrido eje Z	El eje Z debe tener un recorrido mínimo de 1 mm y máximo de 110 mm	Alta
4	Velocidad de impresión por capa	La velocidad de impresión será máximo de 0.1 mm por capa cada 10 segundos	Alta
5	Luminosidad del Proyector	Depende de la característica de la resina	Alta

Se puede observar que todas las características de la máquina son de alta importancia, por este motivo cada uno de estos parámetros serán considerados como un factor importante al momento de realizar el diseño, se utilizó una matriz QFD anexo 2, para realizar la selección de las partes que cumplan los requerimientos del diseño.

3.2. Selección de Alternativas de Diseño

Para este subcapítulo de selección se considerarán los tres sistemas del diseño de la impresora, se procederá a realizar las respectivas Tablas para la selección de sus componentes. Se considera que: 1 es malo, 2 es regular y 3 es bueno.

3.2.1. Subsistema de transmisión de movimiento del brazo

El control de movimiento de la plataforma debe tener una buena precisión, esto debido a los requisitos de los parámetros de impresión.

Tabla 4

Comparativo del subsistema de transmisión de movimiento de la plataforma.




	Polea	Tornillo de potencia	Husillo de bolas
Parámetros			
Precisión	La Precisión estándar de una polea se ve afectada por sus desviaciones laterales que van desde 0.001 pulgadas. (Jaime Allende, 2015)	La precisión estándar de un tornillo de potencia es de ± 100 micrómetros cada 300 mm de largo y diámetros desde los 5 milímetros. (Specialty Motions, Inc., 2015)	Tiene una precisión estándar de hasta 75 micrómetros cada 300 milímetros de largo, con diámetros desde los 10 milímetros. (Specialty Motions, Inc., 2015)
Eficiencia	Su eficiencia mecánica depende de la banda pudiendo llegar a ser del 100%. (Jaime Allende, 2015)	Su eficiencia mecánica depende de la tuerca y está entre 41 – 50 %. (Techno, Inc., 2015)	Su eficiencia mecánica llega a ser del 90-95 %. (Techno, Inc., 2015)
Costo	Costo medio	Costo bajo	Costo alto

Tabla 5

Selección de los Sistemas de Transmisión de Movimiento de la plataforma.

Parámetros	Ponderación	Polea	Tornillo de potencia	Husillo de bolas
-------------------	--------------------	--------------	-----------------------------	-------------------------

continúa

		Valor	Ponderado	Valor	Ponderado	Valor	Ponderado
Precisión	40%	1	0.4	2	0.8	3	1.2
Eficiencia	20%	3	0.6	2	0.4	3	0.6
Costo	40%	2	0.8	3	1.2	1	0.4
Total	100%		60%		80%		73%

Por lo tanto el tornillo de potencia será el sistema elegido para generar la transmisión de movimiento de la plataforma.

3.2.2. Subsistema de transmisión de movimiento del recipiente

Para este subsistema la precisión no es un factor importante, tampoco se ve afectado por la eficiencia, por lo tanto el costo será el factor más importante al momento de seleccionar el más adecuado.

Tabla 6

Cuadro comparativo del subsistema transmisión del recipiente.




	Polea	Tornillo de potencia	Eje roscado
Parámetros			
Precisión	La Precisión estándar de la polea por lo visto es afectada por la banda.	La precisión estándar del tornillo de potencia es ± 0.1 mm cada 300 mm de largo, diámetros desde los 5mm.	La precisión estándar del eje roscado es ± 0.5 mm cada 300 milímetros de largo. (Techno, Inc., 2015)
Eficiencia	Su eficiencia mecánica puede ir hasta el 100%. (Jaime Allende, 2015)	Su eficiencia mecánica oscila entre 41 – 50 %. (Techno, Inc., 2015)	Su eficiencia mecánica llega a ser del 25 %. (Techno, Inc., 2015)
Costo	Costo medio	Costo bajo	Costo alto

Tabla 7

Tabla de selección del subsistema transmisión de movimiento del recipiente.

Parámetros	Ponderación	Polea		Tornillo potencia		Eje roscado	
		Valor	Promedio	Valor	Promedio	Valor	Promedio
Precisión	20%	1	0.2	2	0.4	1	0.2
Eficiencia	20%	3	0.6	2	0.4	1	0.2
Costo	60%	1	0.6	2	1.2	3	1.8
Total	100%	47%		67%		73%	

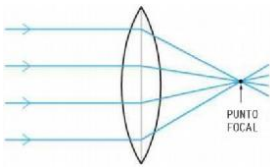
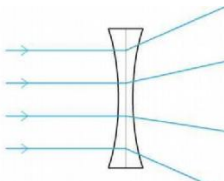
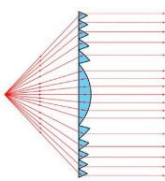
El eje roscado será el elemento para el subsistema de transmisión de movimiento del recipiente.

3.2.3. Lente

Para la selección del lente los factores más importantes son la potencia y el foco, la propiedad del lente y su precio en el mercado. Se debe observar la característica especial del lente, ya que debe ser convergente para que la distancia de proyección a la pantalla o a la resina sea la menor.

Tabla 8

Cuadro comparativo de los lentes.

	Lente convexo	Lente cóncavo	Lente fresnel
Parámetros			
Potencia y foco	La potencia y el foco de un lente convexo dependen del diámetro y espesor del lente. (González, 2006)	La potencia y el foco de un lente cóncavo dependen del diámetro y espesor del lente. (González, 2006)	La potencia y el foco de un lente fresnel dependen del diámetro y espesor del lente. (González, 2006)

Continúa

Propiedad del lente	Convergente (González, 2006)	Divergente (González, 2006)	Convergencia paralela (González, 2006)
Costo	Costo medio	Costo medio	Costo alto

Tabla 9

Tabla de selección de los lentes.

Parámetros	Ponderación	Lente convexo		Lente cóncavo		Lente fresnel	
		Valor	Promedio	Valor	Promedio	Valor	Promedio
Pot. y foco	20%	1	0.2	1	0.2	1	0.2
Convergente	40%	3	1.2	1	0.4	3	1.2
Costo	40%	3	1.2	2	0.8	1	0.4
Total	100%	87%		47%		60%	

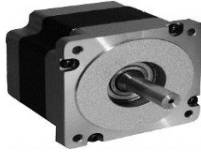
El lente que se escogerá para el sistema óptico será un lente plano – cóncavo, por su facilidad de construcción en el mercado ecuatoriano.

3.2.4. Motor

Para la selección del motor se tomará en cuenta los dos tipos de motores más conocidos en el área de la automoción que son los servomotores y el motor paso a paso, se analizarán las características de precisión, control, torque y su precio.

Tabla 10

Cuadro comparativo de los motores.

	Motor Servo	Motor a pasos
Parámetros		
Precisión	Un controlador encoder garantiza alta precisión en estos motores a través de pulsos eléctricos que generarán el giro del motor. (Lozano, 2015)	Existen motores con ángulos que van desde las décimas de grado hasta los 90 grados generan mayor precisión. (Aragón, 2011)

Continúa

Control	El control se realiza por el dispositivo encoder, la señal es electrónicamente codificada. (Lozano, 2015)	El control de posición de motores paso a paso se puede efectuar en lazo abierto. (Aragón, 2011)
Torque	Puede trabajar tres veces más rápido y potente que su velocidad y torque nominal. (Lozano, 2015)	Al accionar cargas desconocidas, su funcionamiento en lazo cerrado sería perfecto. (Aragón, 2011)
Costo	Alto	Bajo

Tabla 11

Tabla de selección de los motores.

Parámetros	Ponderación	Motor servo		Motor a pasos	
		Valor	Promedio	Valor	Promedio
Precisión	40%	2	0.8	3	1.2
Control	10%	3	0.3	2	0.2
Torque	30%	3	0.9	2	0.6
Costo	20%	1	0.2	3	0.6
Total	100%		73%		87%

El motor a escoger para accionar el subsistema de transmisión de movimiento de la plataforma será el motor paso a paso.

3.2.5. Tarjeta de control

Para la selección de la tarjeta de control se analizará su facilidad de conexión es decir su tecnología de conexión y su precio en el mercado.

Tabla 12

Cuadro comparativo de las tarjetas de control.

Parámetros	Arduino MICRO	Arduino DUE
		

Continúa

Tecnología de conexión	Cuenta con 20 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 7 se pueden utilizar como salidas PWM), 12 entradas analógicas, un resonador cerámico 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; simplemente conectarlo a un ordenador con un cable USB o el poder con un adaptador de CA o la batería a CC. (Arduino, 2015)	Es la primera placa Arduino basado en un microcontrolador núcleo ARM de 32 bits. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 12 se pueden utilizar como salidas PWM), 12 entradas analógicas, 4 UARTs (hardware puertos serie), un reloj de 84 MHz, una conexión USB OTG capaz, 2 DAC (de digital a analógico), 2 TWI, un conector de alimentación, una cabecera de SPI, un encabezado JTAG, un botón de reinicio y un botón de borrado. (Arduino, 2015)
Costo	Bajo	Alto

Tabla 13

Tabla de selección de las tarjetas de control.

Parámetros	Ponderación	Arduino MICRO		Arduino DUE	
		Valor	Promedio	Valor	Promedio
Tecnología	40%	2	0.8	3	1.2
Costo	60%	3	1.8	2	1.2
Total	100%		87%		80%

La tarjeta de control que se escogerá será la tarjeta Arduino UNO.

3.2.6. Software

Para la selección del software de la impresora se analizará su aplicación y su flexibilidad. Hay dos programas con los cuales se puede trabajar, Flash Point único de adquisición libre en el mercado, creado exclusivamente para el control de impresoras 3D con tecnología DLP y Creation Workshop 3D que es compatible con

muchas de las tecnologías de impresoras conocidas, más allá de la diferencia de costo es que con Creation se puede trabajar con una interfaz de trabajo CAD.

Tabla 14

Cuadro comparativo del software.

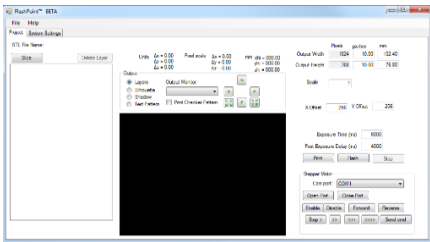
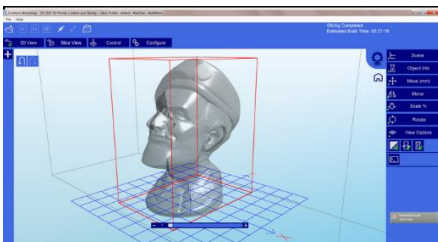
Parámetros	Flash Point	Creation Workshop 3D
		
Aplicaciones	Este software libre trabaja con importación de archivos STL. Estrictamente para impresoras DLP. (sedgwick3d, n.d.)	Diseñado para ser un juego de herramientas, los usuarios pueden controlar la impresora. Trabaja con STL, OBJ. (HERNANDEZ, 2013)
Flexibilidad	Necesita de una tarjeta de control que reconozca su microcontrolador. (sedgwick3d, n.d.)	Necesita tarjetas controladoras para cada tipo de impresora. (HERNANDEZ, 2013)
Costo	Ninguno	Alto

Tabla 15

Tabla de selección del software.

Parámetros	Ponderación	Flash Point		Creation Workshop 3D	
		Valor	Promedio	Valor	Promedio
Aplicaciones	50%	3	1.5	3	1.5
Flexibilidad	30%	3	0.9	3	0.9
Costo	20%	3	0.6	1	0.3
Total	100%		100%		90%

El software que se escogerá será el Flash Point.

3.3. Sistema óptico

3.3.1. Esquema

Para poder realizar los cálculos se presenta el esquema de la figura 38, en donde se muestran las partes importantes que integran el diseño óptico.

Estas partes son: proyector, lente y pantalla.

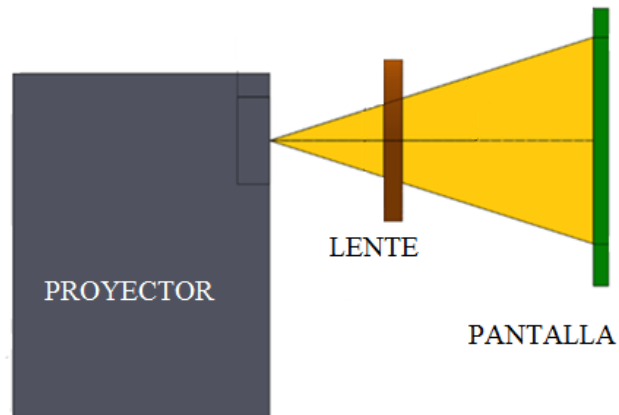


FIGURA 38 Esquema de las partes del sistema óptico

3.3.2. Esquema de diseño óptico

En la figura 39 se muestra el esquema de diseño del sistema óptico, junto con las variables resultantes de la necesidad del diseño.

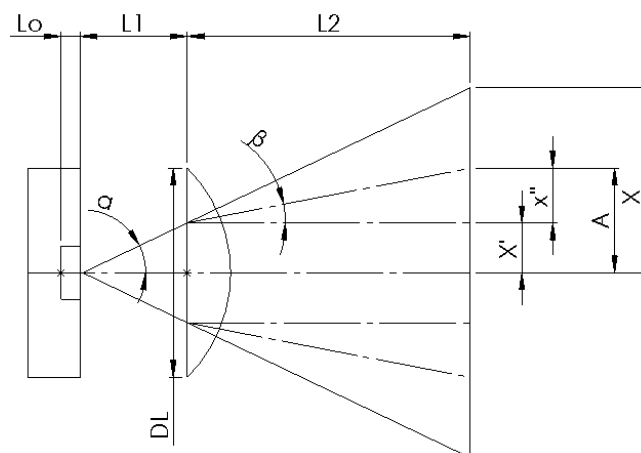


FIGURA 39 Esquema para formulación del sistema óptico

En la siguiente Tabla se muestra la distinta nomenclatura utilizada en el esquema del sistema óptico.

Tabla 16

Significado de la distinta nomenclatura que se utiliza en el esquema del diseño.

Nomenclatura	Significado
L1	Distancia del lente del proyector hasta la lente de concentración de luz
L2	Distancia desde la lente de concentración de luz hasta plataforma de construcción
Lo	Profundidad desde la cubierta de protección hasta el lente del proyector
α	Angulo de proyección
A	Longitud de proyección en el eje x
D_L	Diámetro del lente
β	Ángulo después de la refracción
x'	Longitud de proyección en el lente

3.3.3. Cálculo para la selección del proyector

Para seleccionar el proyector se parte de la especificación técnica de la resina obtenida del anexo 1. En donde se especifica que se necesitan 2700 lúmenes para activar la solidificación de la resina.

Para obtener la dimensión correcta de proyección, se recurre a los parámetros de nuestro diseño en donde: X= 75 mm, Y= 75 mm y Z= 100 mm, la Tabla 3 contiene los datos obtenidos para el cálculo, estos datos son extraídos del anexo 3 y son calculados en función del tamaño y resolución de la imagen. Se presenta el detalle de la proyección en función de la resolución del proyector vs la distancia en milímetros de proyección.

Esto se realiza mediante la ecuación:

$$\text{Detalle mínimo} = \frac{\text{Dimensión a la pantalla}}{\text{Resolución nativa}}$$

Ejemplo:

$$\text{Detalle mínimo } X = \frac{100}{1024}$$

$$\text{Detalle mínimo } X = 0.1$$

$$\text{Detalle mínimo } Y = \frac{74}{728}$$

$$\text{Detalle mínimo } Y = 0.10$$

La dimensión X y de la pantalla se obtiene directamente de cada proyector dando valores aleatorio de proyección.

Tabla 17

Cálculo del detalle mínimo en función de la resolución y tamaño de la imagen.

DETALLE MÍNIMO (DISTANCIA ENTRE DOS PÍXELES)						
DIMENSIÓN X DE LA PANTALLA DE PROYECCIÓN (mm)	RESOLUCIÓN NATIVA EN PIXEL (X, Y)					
	1024	728	1280	800	1920	1200
74	0,07	0,10	0,06	0,09	0,04	0,06
78	0,08	0,11	0,06	0,10	0,04	0,07

Interpolando se obtiene:

$$\text{Para } 100 \text{ en } X \quad Y = 0.11 - \frac{(78-75) \cdot (0.11-0.10)}{(78-74)}$$

$$X = 0.1 \quad Y = 0.1025$$

Como resultado se obtiene que el proyector adecuado para nuestro diseño debe tener las siguientes características:

Propiedades del proyector:

Luminosidad: 2700 lúmenes
Resolución: 1024 × 728 píxeles.

Se escoge el proyector que cumple con estas características, más la factibilidad de adquisición por costo y disponibilidad, escogiendo entonces el proyector ACER X1240, características descritas en el anexo 4.

3.3.4. Cálculo de la distancia del proyector al lente

Mediante el estudio de la refracción del lente y de la figura 39, se realizará la formulación de las distintas ecuaciones para las distancias L_1 y L_2 .

Cálculo de L_1

Para obtener el resultado de L_1 se establece la ecuación de la tangente obtenido del teorema de Pitágoras para triángulos rectos, entre las variables α , x' y L_1 .

DATOS:

α ángulo de proyección que se obtiene del proyector, igual a 15.79° , anexo 5.

x' mitad de la proyección en el eje x a una distancia supuesta L_1 , se obtiene de la ecuación del anexo 6.

$$2x' = 0,537L_1 + 0,0023 = 2 * 0.01726$$

$$x' = 0.01726 \text{ m}$$

L_1 variable que determina la longitud desde el lente del proyector al lente convergente.

$$\tan(\alpha) = x'/L_1$$

$$L_1 = 0.01726 \tan(15.79)$$

$$L_1 = 0.061 \text{ m} = 6.1 \text{ cm}$$

% error:
$$e = \frac{6.1-6}{6.1} \times 100 = 1.64 \%$$

3.3.5. Cálculo del lente

Cálculo de X

Para obtener X se debe aplicar la tangente del teorema de Pitágoras para triángulos rectos entre las variables L_1 , L_2 y α .

DATOS:

L_1 se obtiene del resultado anterior y es igual a 6.1 cm

L_2 es la distancia apropiada de proyección para obtener imágenes de dimensiones reales, es decir las dimensiones de la imagen real a proyectar son las dimensiones de la imagen proyectada, y es igual a 18.2 cm, anexo 6.

$$\alpha = 15.79^\circ$$

$$\tan(15.79) = \frac{X}{0.182 + 0.061}$$

$$X = 0.0687 \text{ m} = 6.87 \text{ cm}$$

Cálculo de β

Datos:

$$\alpha = 15.79^\circ$$

n factor de difracción de un lente óptico, igual a 1.52, anexo 7

β nuevo ángulo de proyección luego de pasar a través del lente, y se obtiene aplicando la fórmula de refracción para el factor n de los materiales.

$$n = \frac{\sin 15.79^\circ}{\sin \beta}$$

$$\beta = \sin^{-1} \left(\frac{\sin 15.79^\circ}{1.52} \right) = 10.31^\circ$$

Comprobación

Datos:

$$\beta = 10.31^\circ$$

$$L_2 = 18.2 \text{ cm}$$

A: es la mitad de la longitud de proyección en el eje X, que se pretende sea 5 cm.

$$\tan 10.31^\circ = \frac{X''}{0.182}$$

$$X'' = 0.03314 \text{ m}$$

Sumando x' es decir 0.01726 m

$$A = X' + X'' = 0.01726 + 0.03314 = 0.05039 \text{ m}$$

% error:

A teórico es la proyección pretendida de 5 cm.

$$e = \frac{\text{Ateórico} - A}{\text{Ateórico}} \times 100$$

$$|e| = \left| \frac{0.05 - 0.05039}{0.05} \right| \times 100 = 0.78 \%$$

Se toma como valor absoluto ya que el valor negativo no tiene significado.

Calculo del punto focal f y P :

Para la obtención del foco f y de la potencia P se procede a utilizar las leyes de la refracción, en donde después de pasar a través del lente, el ángulo de proyección inicial de 15.49 grados se debe reducir a 10.71 grados para formar la imagen requerida, la cual tendrá la resolución y dimensiones pretendidas para el diseño.

Para entender el fenómeno se utiliza la figura 40 en donde el rayo es refractado reduciendo su ángulo de proyección.

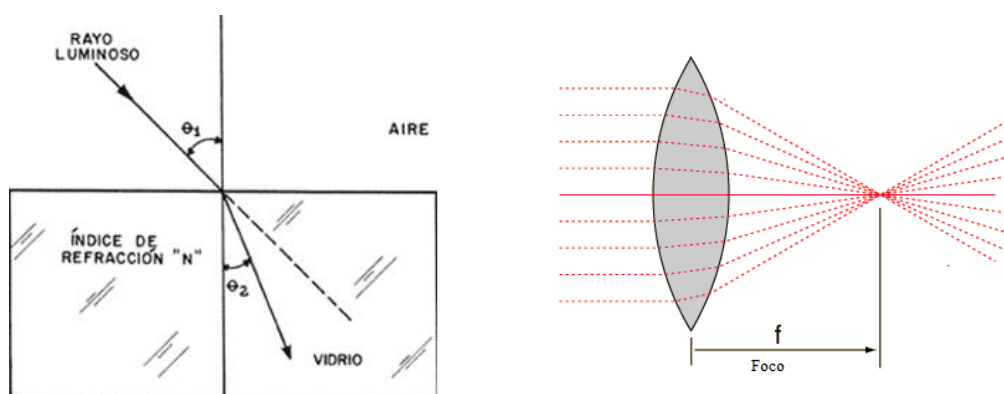


FIGURA 40 Esquema para aplicación de leyes de refracción.

Como se puede observar en la figura 42 cuando un rayo incide en forma paralela, después de ser refractado sus proyecciones terminan en un punto conocido como punto focal, en nuestro caso los rayos de proyección solo reducen su ángulo de incidencia en la pantalla después de la refracción, debido a que su proyección en el lente no es paralela.

Cálculo del foco y de la potencia del lente.

Datos:

$$\beta = 10.31^\circ$$

$$X = 0.0687 \text{ m}$$

f distancia focal necesaria del lente. (González, 2006)

P: es la potencia necesaria del lente. (González, 2006)

$$f = \frac{x}{\tan \beta} = \frac{0.0687}{\tan 10.31}$$

$$f = 0.37 \text{ m} = 37 \text{ cm}$$

$$P = \frac{1}{f} = 2.65 \text{ m}^{-1} = 2.65 \text{ dioptrías}$$

Para el cálculo del radio de curvatura, el diámetro del lente y la segueta se presenta el esquema de la figura 41.

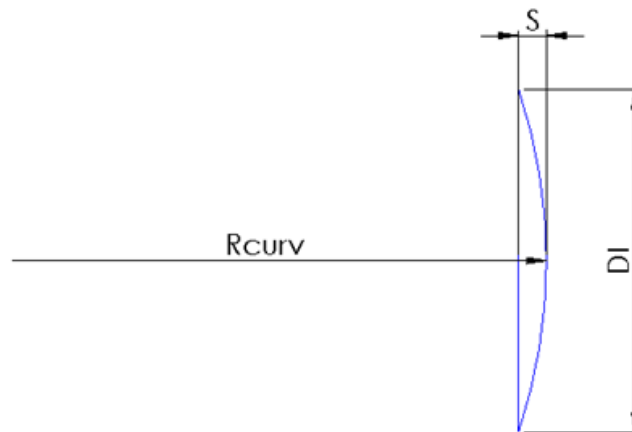


FIGURA 41 Esquema de los parámetros del lente.

Cálculo del radio de curvatura del lente (Rcurv):

Datos:

$$P = 2.65 \text{ m}^{-1}$$

$$n = 1.52$$

Rcurv: es el radio con el cuál se forma la superficie cóncava del lente.

$$R_{curv} = \frac{(n - 1)}{P} = \frac{(1.52 - 1)}{2.65}$$

$$R_{curv} = 0.196 \text{ m} = 196 \text{ mm}$$

Cálculo del diámetro mínimo del lente:

Datos:

$$2x' = 0.0346 \text{ m}$$

$$2y' = 0.0346 \text{ m}$$

$$Dl = \sqrt{X'^2 + Y'^2} = \sqrt{34.6^2 + 34.6^2} \sqrt{mm^2}$$

$$Dl \text{ min} = 48.93 \text{ mm} = 4.893 \text{ cm}$$

$$Dl = D_{\text{lente min}} \times f = 4.893 \times 1.5$$

$$D_{\text{lente}} = 7.4 \text{ cm} \approx 7.7 \text{ cm}$$

Se escogerá un lente de 8 cm de diámetro, esto se debe a que los laboratorios de las ópticas en donde se elaborará el lente tienen moldes de 8 cm de diámetro y si se desea un diámetro menor implica incremento en costos, no obstante que tenga un diámetro mayor no afecta el proyecto.

Cálculo de la sagita del lente (espesor cóncavo del lente):

Datos:

$$R_{\text{curv}} = 196 \text{ mm}$$

$$D_{\text{lente}} = 80 \text{ mm}$$

$$Sag = \frac{R_{\text{lente}}^2}{R_{\text{curv}}} = \frac{40^2}{196} \text{ (González, 2006)}$$

$$Sag = 8.16 \text{ mm (Espesor del lente)}$$

3.4. Sistema mecánico

Para facilitar la nomenclatura y asegurar un buen entendimiento se separa el diseño mecánico en dos subsistemas.

El primero presentado en la figura 42 se trata de la plataforma que contiene: el eje, el tornillo de potencia, rodamientos y el brazo de la plataforma.

El segundo es presentado en la figura 43 se trata del sistema de movimiento de la base del recipiente que contiene a la resina, este subsistema se compone de dos tres ejes uno de ellos roscado.

3.4.1. Esquema del sistema mecánico de la plataforma

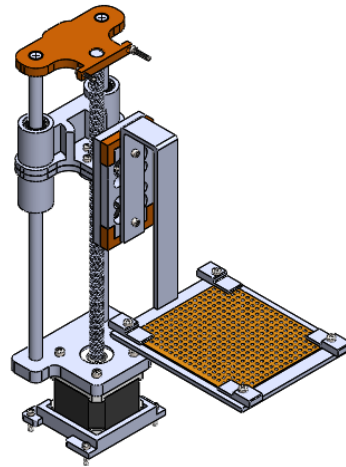


FIGURA 42 Esquema del subsistema plataforma

3.4.2. Esquema del sistema mecánico del recipiente

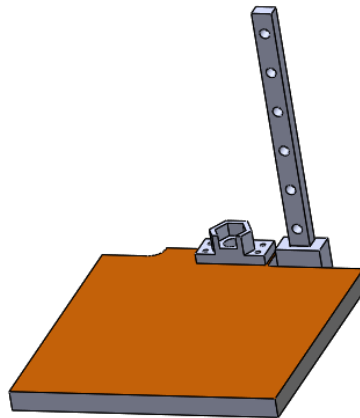


FIGURA 43 Esquema del subsistema mecánico del recipiente

3.4.3. Factores de seguridad nominales

La deflexión será la propiedad dominante en el diseño, por este motivo la precisión solicitada será considerada con un factor de seguridad del 40%.

3.4.4. Diagrama de cuerpo libre de la plataforma

En la figura 44 se muestra el cuerpo aislado de la plataforma, actuando sobre ella la fuerza del peso produciéndose las distintas reacciones.

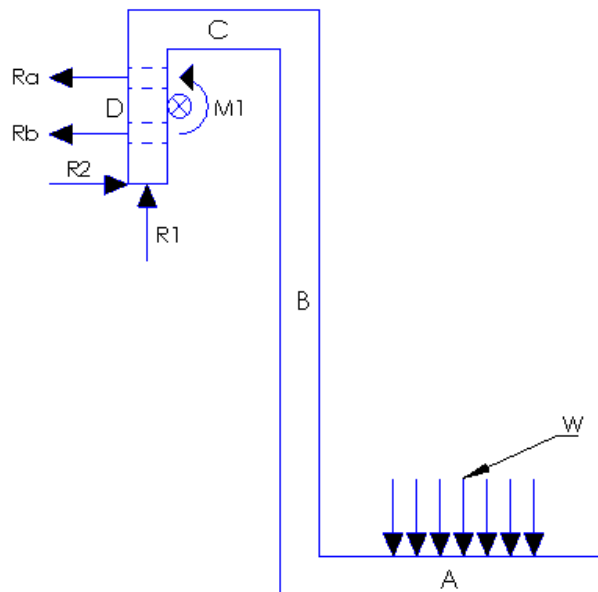


FIGURA 44 Diagrama del cuerpo libre de la plataforma con sus elementos

3.4.5. Diagrama de cuerpo libre del recipiente

En la figura 45 se muestra el cuerpo libre del brazo y la base, actuando sobre ella la acción de su peso y produciéndose las distintas reacciones.

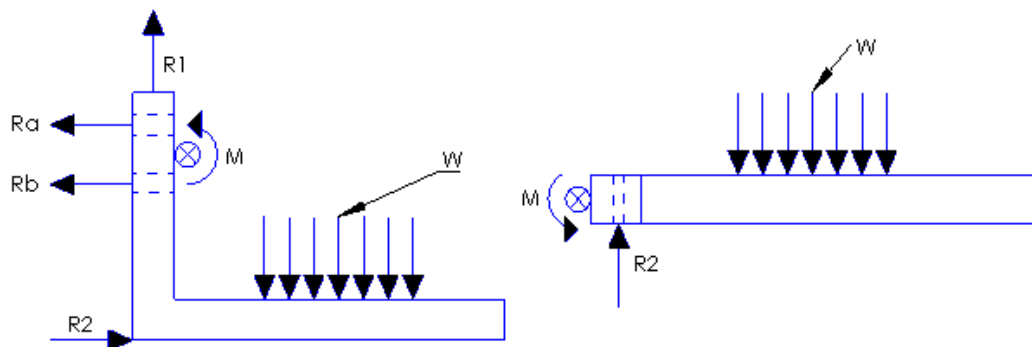


FIGURA 45 Diagrama del cuerpo libre del brazo y la base

3.4.6. Cálculo de la plataforma

Para el cálculo de la plataforma se realiza el estudio por elemento del subsistema.

Cálculo del elemento A

Se muestra la figura 46 con las fuerzas aplicadas y sus respectivas reacciones.

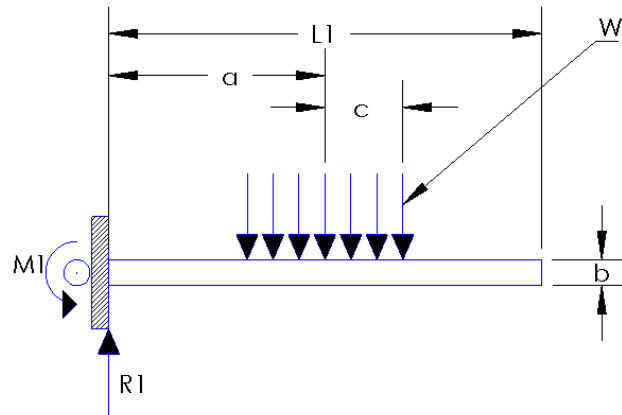


FIGURA 46 Diagrama del cuerpo libre del elemento A, de la plataforma

Datos:

h es el ancho de la base de 90 mm

a es la distancia al centro de la carga igual a 55 mm.

c es la distancia del inicio de la carga distribuida hacia el centro igual a 37.5 mm.

w es la fuerza ejercida por el peso de la resina de 117.6 N/m.

L1 es la longitud de la base de 110 mm (longitud necesaria).

I es el momento de inercia.

E es el módulo de elasticidad para el acero A36 es 250 MPa.

$Y_{max} = -0.01 \times 10^{-3}$ m es la deformación máxima permitida, que se obtiene tras dividir la resolución para 10, esto debido a que en metrología el error puede llegar a ser del 10% para instrumentos de precisión.

FS es el factor de seguridad pretendido de 1.4 es decir del 40%.

b espesor a calcular.

$$Y_{max} = -\frac{wca^2}{6EI} \left(c \left(3 + \frac{c^2}{a^2} \right) - a \left(1 + \frac{c^2}{a^2} \right) \right)$$

$$I = -\frac{(Fs \cdot w) \cdot c \cdot a^2}{6E \cdot Y_{max}} \left(c \left(3 + \frac{c^2}{a^2} \right) - a \left(1 + \frac{c^2}{a^2} \right) \right)$$

$$I = -\frac{1.4 \times 117.6 \times 0.0375 \times 0.055^2}{6 \times 250000000 \times (-0.01 \times 10^{-3})} 0.04936$$

$$I = 6.146 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = 6.146 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$b = \frac{12 \times I}{h^3} = \frac{12 \times 6.146 \times 10^{-8}}{0.09^3} = 1.011 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$b = 1.011 \text{ mm}$$

Por lo tanto se escoge una plataforma con 2 mm de espesor. Por facilidad de adquisición y maquinado.

Comprobación.

Se realiza el estudio de forma inversa para comprobar el factor de seguridad

Datos:

Y_{\max} es la deformación máxima.

b es el espesor de la base 2 mm seleccionado.

$$Y_{\max} = -\frac{wca^2}{6EI} \left(c \left(3 + \frac{c^2}{a^2} \right) - a \left(1 + \frac{c^2}{a^2} \right) \right)$$

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{0.002 \times 0.09^3}{12} = 1.215 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$Y_{\max} = -\frac{117.6 \times 0.0375 \times 0.055^2}{6 \times 250000000 \times 1.215 \times 10^{-7}} 0.049$$

$$Y_{\max} = -3.587 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$Y_{\max} = -3.587 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

Cálculo del factor de seguridad

Se procede a calcular el factor de seguridad ya que se puede observar que la plataforma estaría sobredimensionada.

$$FS = \frac{Y_{max \text{ esperado}}}{Y_{max \text{ práctico}}}$$

$$FS = \frac{0.01}{0.003587} = 2.7878$$

Este factor de seguridad nos muestra que la placa de 2 mm sería adecuada para este elemento.

No se procede a realizar el análisis del resto de elementos de la plataforma ya que la carga no es elevada dando como resultados elementos sobredimensionados no obstante bastará con realizar una simulación que compruebe lo descrito.

En la figura 47 se muestra el análisis de la plataforma bajo un programa de simulación CAD que muestra que la plataforma es capaz de soportar la carga.

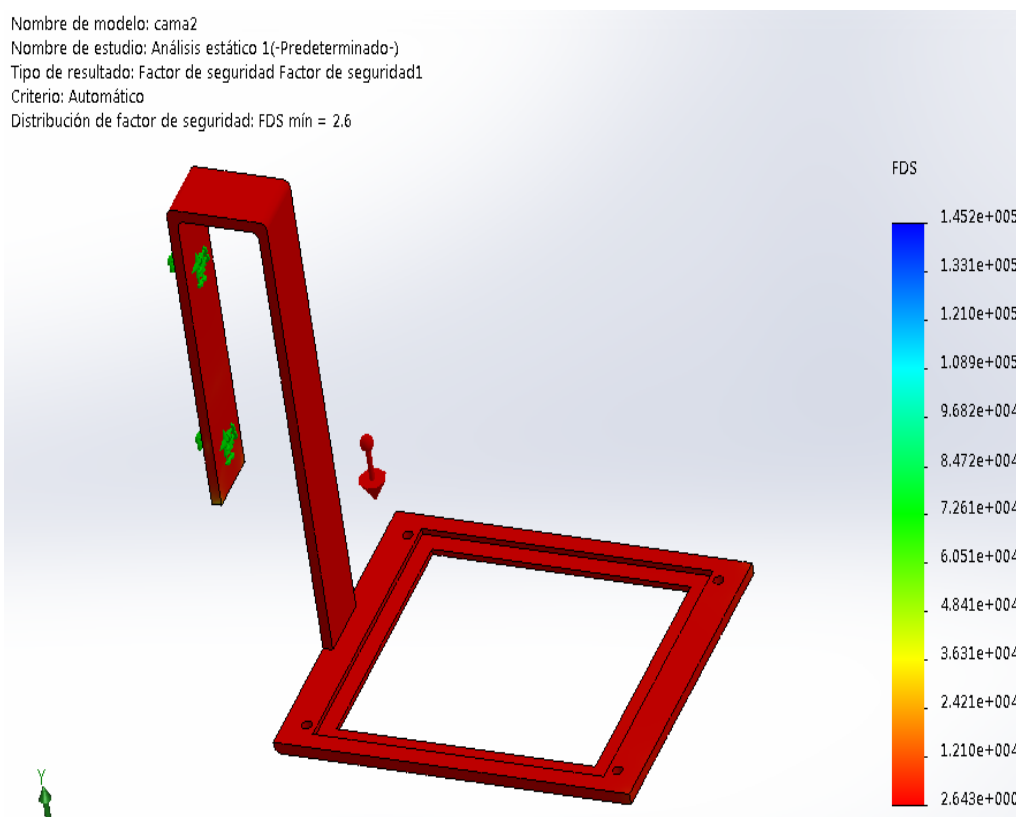


FIGURA 47 Simulación CAD de la plataforma sometida a carga distribuida

Se puede observar que el resultado es el esperado, el factor de seguridad es el adecuado.

Cálculo de los ejes guía para el tornillo de potencia del motor

Se presenta el diagrama del eje aplicado las fuerzas, figura 48.

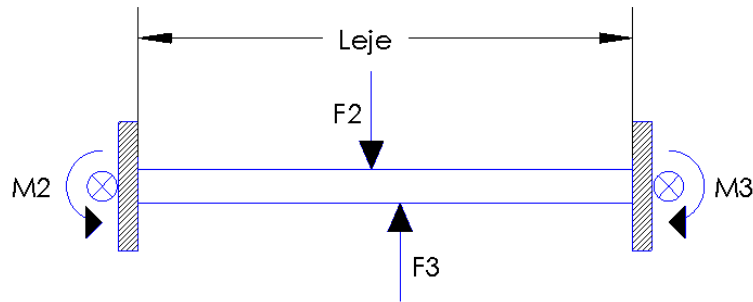


FIGURA 48 Diagrama del cuerpo libre del eje del tornillo de potencia.

Como son dos ejes la fuerza se divide en dos

En donde:

$$F2 = -F3 = \frac{W}{2} \left(\frac{d1}{d2} \right) = \frac{8.82}{2} \times \left(\frac{130.5}{24} \right)$$

$$F2 = -F3 = 23.979 \text{ N}$$

Debido a que la carga sería despreciable para este mecanismo se procede a generar una simulación CAD del elemento figura 49.

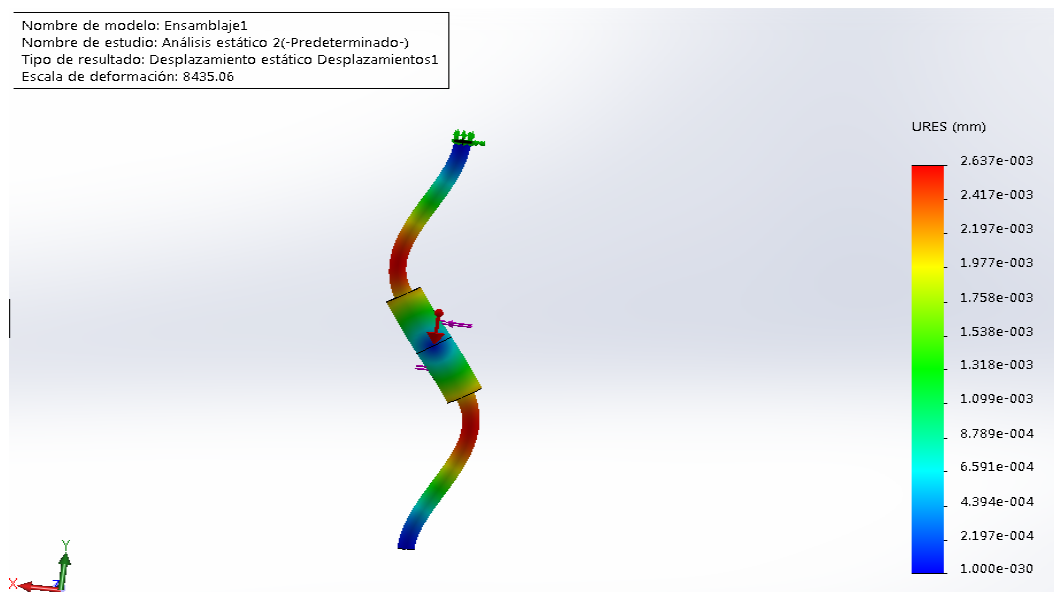


FIGURA 49 Simulación del eje que sirve de soporte al eje roscado del motor.

Como se puede observar en la figura la deformación es mínima, por lo tanto no presenta dificultades para la impresión.

3.4.7. Cálculo de la sujeción de la base del recipiente

Se presenta los esquemas de la sujeción de la base del recipiente, figura 50 y el de la base acrílica, figura 51.

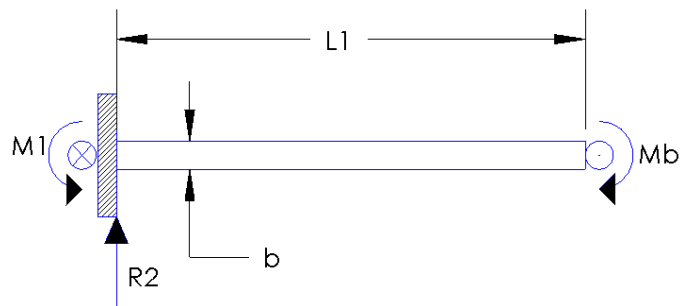


FIGURA 50 Diagrama del cuerpo libre del ángulo de sujeción de la base del recipiente.

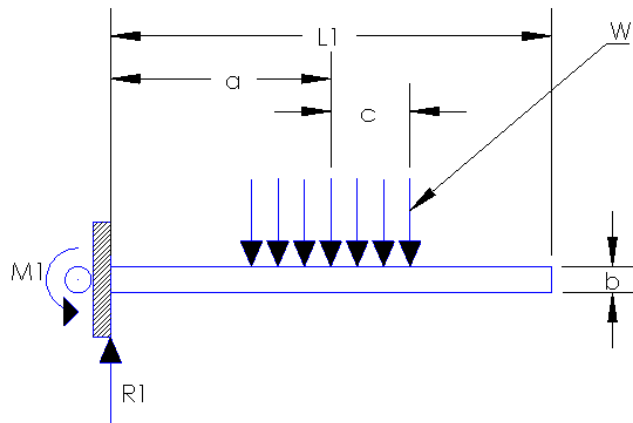


FIGURA 51 Diagrama del cuerpo libre de la base acrílica.

Datos:

h es el ancho del ángulo de 25 mm.

h_1 es el ancho de la base acrílica empotrada de 41.32 mm.

b es el espesor del brazo a calcular.

b_1 es el espesor de la base a calcular.

W es la fuerza ejercida por el peso del recipiente y la resina igual a 134.649 N/m.

R1 es la reacción que se da por la fuerza ejercida del peso.

R2 es la reacción que se da por la fuerza ejercida del peso.

L1 es la longitud del ángulo de 110 mm.

L2 es la longitud de la base de 152 mm.

I es la inercia del brazo.

I1 es la inercia de la base.

E es el módulo de elasticidad del acero inoxidable 292 000 000 N/m².

E es el módulo de elasticidad del acrílico de 2 400 000 000 N/m².

Y_{max} es la máxima deformación permitida de 0.01×10^{-3} m.

a es la distancia al centro de 76 mm.

c es la mitad de la longitud de la carga distribuida de 72.5 mm.

Se realiza el cálculo para la base acrílica debido a que el peso es mucho menor que el del acero.

$$Y_{max} = -\frac{wca^2}{6EI} \left(c \left(3 + \frac{c^2}{a^2} \right) - a \left(1 + \frac{c^2}{a^2} \right) \right)$$

$$I = -\frac{(Fs.w).c.a^2}{6E.Y_{max}} \left(c \left(3 + \frac{c^2}{a^2} \right) - a \left(1 + \frac{c^2}{a^2} \right) \right)$$

$$I = -\frac{1.4 \times 134.649 \times 0.0725 \times 0.076^2}{6 \times 2400000000 \times (-0.01 \times 10^{-3})} \times 0.1386$$

$$I = 7.6 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = 7.6 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$b = \frac{12 \times I}{h^3} = \frac{12 \times 7.6 \times 10^{-8}}{0.04132^3} = 1.2924 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$b = 12.924 \text{ mm}$$

Por lo tanto se escoge una base con 12 mm de espesor. Disponible en el mercado.

Comprobación.

Se realiza el estudio de forma inversa para comprobar el error.

Datos:

Y_{max} es la deformación máxima.

b es el espesor de la base 12 mm seleccionado.

$$Y_{max} = -\frac{wca^2}{6EI} \left(c \left(3 + \frac{c^2}{a^2} \right) - a \left(1 + \frac{c^2}{a^2} \right) \right)$$

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{0.012 \times 0.04132^3}{12} = 7.055 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$Y_{max} = -\frac{134.649 \times 0.0725 \times 0.076^2}{6 \times 2400000000 \times 7.055 \times 10^{-8}} \times 0.1386$$

$$Y_{max} = -7.693 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$Y_{max} = -7.693 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

Cálculo del factor de seguridad:

Se procede a calcular el FS para poder validar el espesor escogido para la base de

$$FS = \frac{Y_{max} \text{ teórico}}{Y_{max} \text{ teórico}} = \frac{0.01}{0.007693}$$

$$FS = 1.3$$

El factor de seguridad hallado muestra que el espesor escogido para el elemento es adecuado para desarrollar su función. En la figura 52 se muestra el análisis de la base bajo un programa de simulación CAD que muestra que la plataforma es capaz de soportar la carga.

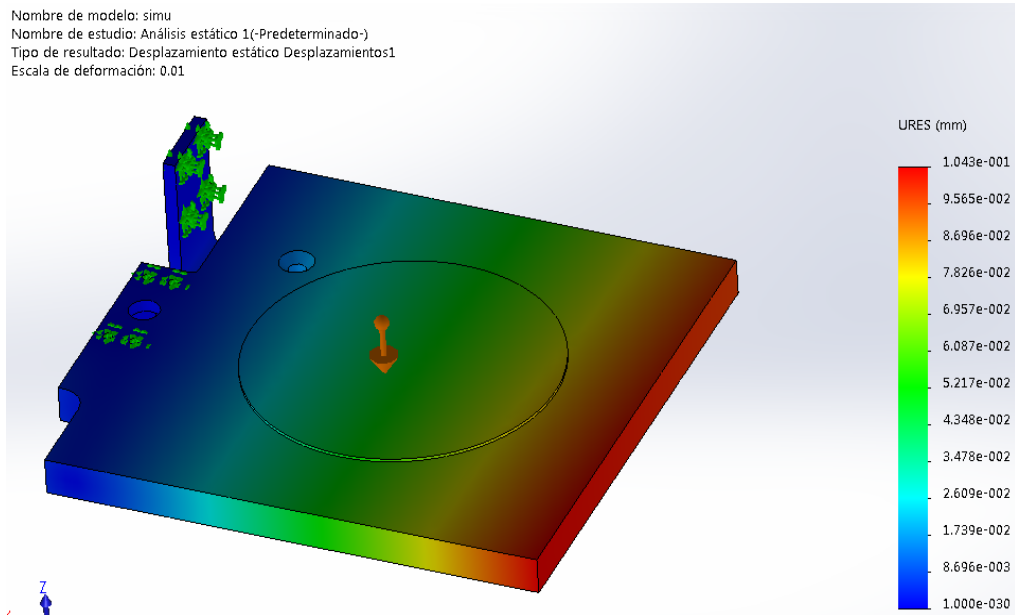


FIGURA 52 Simulación CAD de la base para la resina líquida

3.4.8. Torque del Motor Eje Z

Para el eje Z se considera la disposición de la figura 53.



FIGURA 53 Movimiento vertical de la carga con un Motor a Pasos

El torque necesario para mover la carga se calcula mediante:

$$T = 2 \times I_o \times \frac{\omega'}{t} \times \frac{\pi \cdot \theta}{180}$$

Dónde:

T: Torque requerido (oz.in).

I_o : Carga Inercial (lb.in²).

Θ : Ángulo de paso (grados).

ω' : Velocidad (Pasos/segundos).

t: Tiempo para alcanzar la velocidad (seg).

La Inercia equivalente se calcula mediante la ecuación:

$$I_o = I_{eq} + I_{tornillo} + I_{rotor}$$

Dónde:

I_{eq} : Inercia equivalente (lb.in²).

$I_{tornillo}$: Inercia del tornillo (lb.in²).

I_{rotor} : Inercia del rotor (lb.in²).

$$I_{eq} = w \times \frac{1}{p^2} \times 0.025$$

$$I_{eq} = 1.128 \times \frac{1}{12^2} \times 0.025 = 0.000196 \text{ lb.in}^2$$

Dónde:

w: Peso (lb).

p: Paso (hilos/in).

$$I_{tornillo} = D^4 \cdot L \cdot 0.00078$$

$$I_{tornillo} = 0.315^4 \times 11.811023 \times 0.028 = 0.003256 \text{ lb.in}^2$$

Dónde:

D: Diámetro del tornillo (plg).

L: longitud del tornillo de potencia (plg).

EL I_{rotor} estándar se obtiene de la especificación técnica del motor.

$$I_{rotor} = 0.569 \text{ lb.in}^2$$

$$I_o = 0.000196 + 0.003256 + 0.569 = 0.57245 \text{ lb.in}^2$$

$$T = 2 \times I_o \times \frac{\omega'}{t} \times \frac{\pi \cdot \theta}{180}$$

$$T = 2 \times 0.57245 \times \frac{3333.333}{60} \times \frac{3.1416 \times 1.8}{180}$$

$$T = 1.998 \text{ oz.in} = 0.014 \text{ Nm}$$

El torque mínimo que soporta el motor es 2 oz.in, existiendo en el mercado motores capaces de soportar torques desde 43 oz.in, se adquirirá el motor NEMA 17, figura 58, a pasos capaz de soportar 44 oz.in ya que tiene la capacidad suficiente para la impresora.

3.5. Diseño Electrónico y de Control

El sistema de control se encarga de recibir, producir y dirigir las señales dentro de un conjunto de elementos o componentes de un sistema.

En la figura 54 se muestra el diagrama de bloques del sistema electrónico y de control de la impresora DLP, el cual se muestra el micro controlador, los sensores y demás elementos del sistema de control.

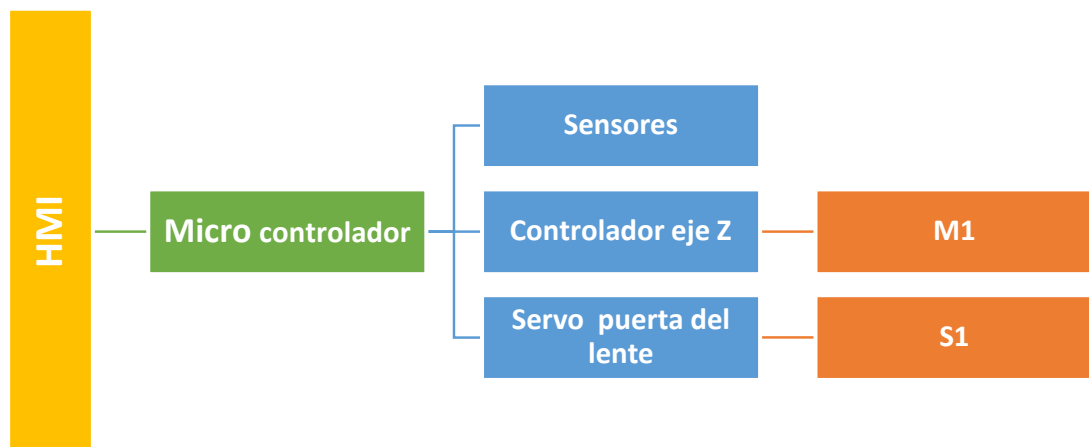


FIGURA 54 Diagrama del sistema electrónico y de control de la impresora.

3.5.1. Sistema de Control

Requerimientos del sistema:

Los requerimientos necesarios para el óptimo funcionamiento de la impresora son:

- Posicionamiento de la plataforma de impresión: Se requiere posicionar automáticamente la plataforma de impresión para tener la resolución en el plano x, y de 0.1 milímetros.
- Apertura y cierre de tapa del lente: Se requiere accionar automáticamente la compuerta de apertura y cierre del lente para evitar el curado de la resina fotosensible indeseable.
- Movimiento automático y uniforme del eje z: Se necesita un paso automático y uniforme de 0,1 mm en el eje z debido a la resolución en este eje.

3.5.1.1. Elementos necesarios para cumplir los requerimientos

Los elementos necesarios para poder cumplir con los requerimientos se describen a continuación:

Posicionamiento de la plataforma de impresión:

Para posicionar la plataforma de impresión se utilizará un sensor TCST 2103 mostrado en la figura 55.

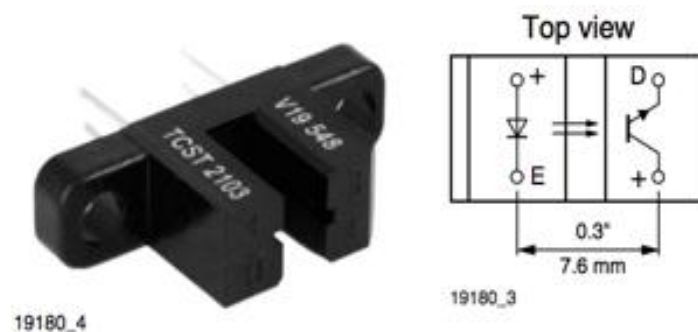


FIGURA 55 Sensor foto eléctrico TCST 2103

FUENTE: (Vishay Intertechnology, Inc. , 2012)

Datos técnicos del sensor TCST 2103

Tabla 18

Características para uso como switch:

Parámetro	Valor	Unidades
Voltaje	5	V
Corriente	2	mA

Funcionamiento

El sensor está formado por dos partes un fotodiodo que es el emisor de luz infrarroja y un receptor que un fototransistor que equivale a un switch, al recibir el rayo de luz infrarroja el fototransistor se cierra dejando pasar 5 voltios dando una lectura digital de 1 y 0.

Apertura y Cierre de tapa de lente

Para poder abrir y cerrar la tapa del lente se ocupará un Servo hitec HS-311 con un movimiento de 180 grados figura 56. Este elemento es necesario debido a que la resina podría cristalizarse si la longitud de onda incide sobre esta, por este motivo la tapa permanecerá cerrada mientras no se realice el proceso de impresión.



FIGURA 56 Servo motor HS-3111

FUENTE: (ServoDatabase.com, 2015)

Tabla 19**Datos técnicos servo motor HS- 311**

Parámetro	Valor	unidad
Voltaje de operación	4.8-6	voltios
Velocidad de operación	0,19	segundos
Torque	3-3.7	Kg/cm
Rango de rotación	180	Grados

Movimiento automático y uniforme eje Z

Para tener un movimiento uniforme y automático se utilizará un motor a pasos el cual ha sido utilizado en impresoras 3D Sainsmart nema 17 figura 57.

**FIGURA 57: Motor sainsmart NEMA 17**

FUENTE: (Sainsmart, 2015)

Tabla 20**Datos Técnicos Motor a pasos nema 17:**

Parámetro	Valor	Unidad
Angulo	1.8	Grados
Voltaje de alimentación	12	Voltios
Torque	0,48	N-m

3.5.2. Diagrama de Control

En la figura 58 se observa todos los elementos de sistema de control con tarjeta de desarrollo micro arduino, diseñado con los requisitos del sistema antes mencionados.

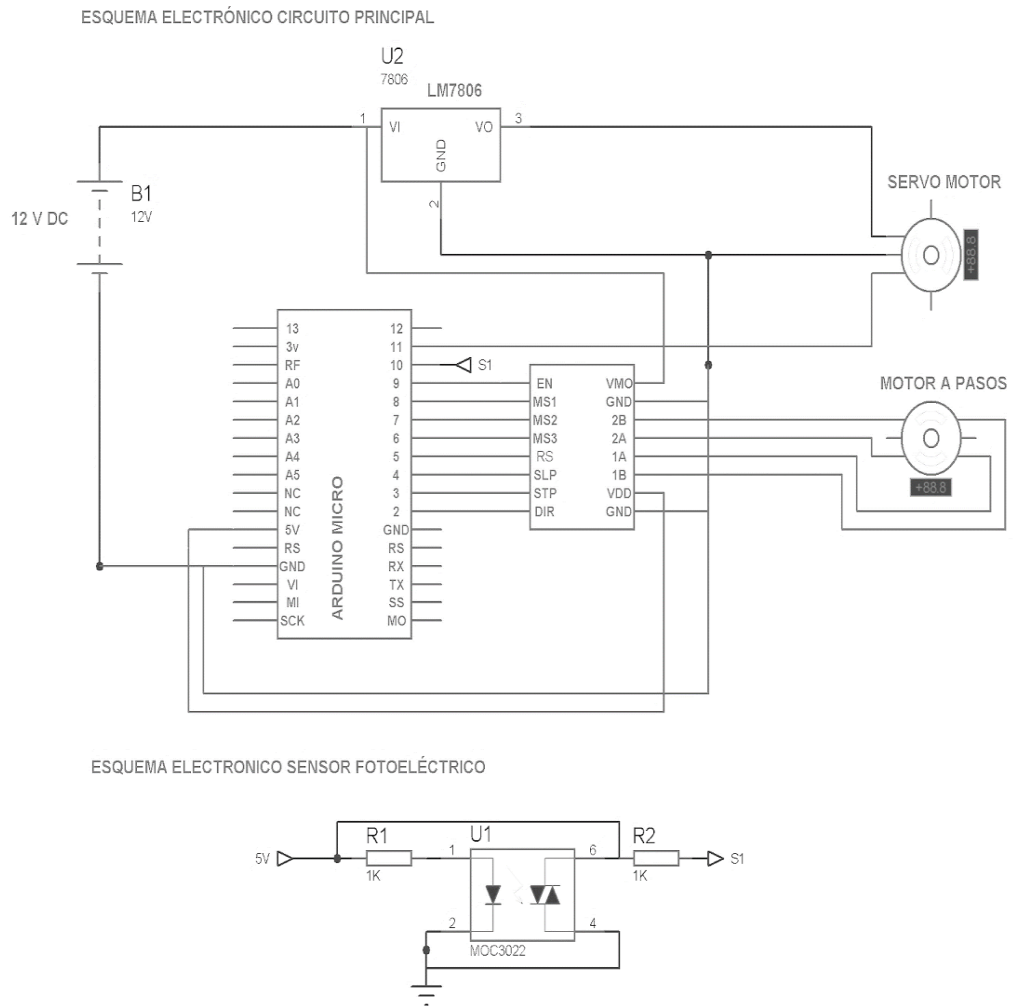


FIGURA 58 Diagrama de control con tarjeta

Tarjeta de control

Es una tarjeta electrónica para desarrollo que ayuda a la comunicación del computador con los componentes electrónicos del sistema. En la parte de selección

se eligió como alternativa la tarjeta Arduino Micro la que cuenta con las siguientes características importantes, figura 59:

- Cuenta con 20 pines digitales pueden ser de entrada como de salida.
- 12 Canales de entrada analógica.
- 7 canales PWM (Modulación por ancho de pulso).
- Conexión directa al computador mediante micro USB.

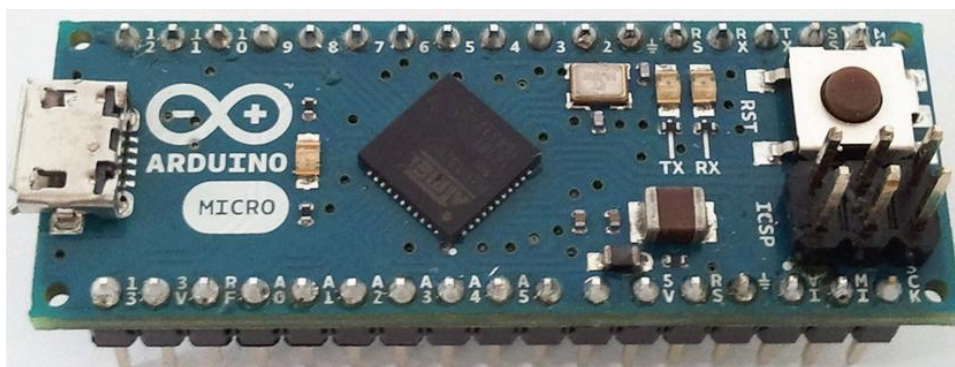


FIGURA 59 Placa Arduino micro

FUENTE: (Sainsmart, 2015)

Tabla 21

Características técnicas Tarjeta Arduino micro

Parámetro	valor	Unidad
Tensión de funcionamiento	5	Voltios
Voltaje de entrada	7-12	Voltios
Pines digitales	20	
Canales PWM	7	
Canales de entrada analógicos	12	
Memoria Flash	32	Kb
SRAM	2,5	Kb
EEProm	1	Kb

Pines Utilizados de la tarjeta

En la figura 60, se presenta los pines principales de la tarjeta electrónica detallando sus características en la Tabla 1.

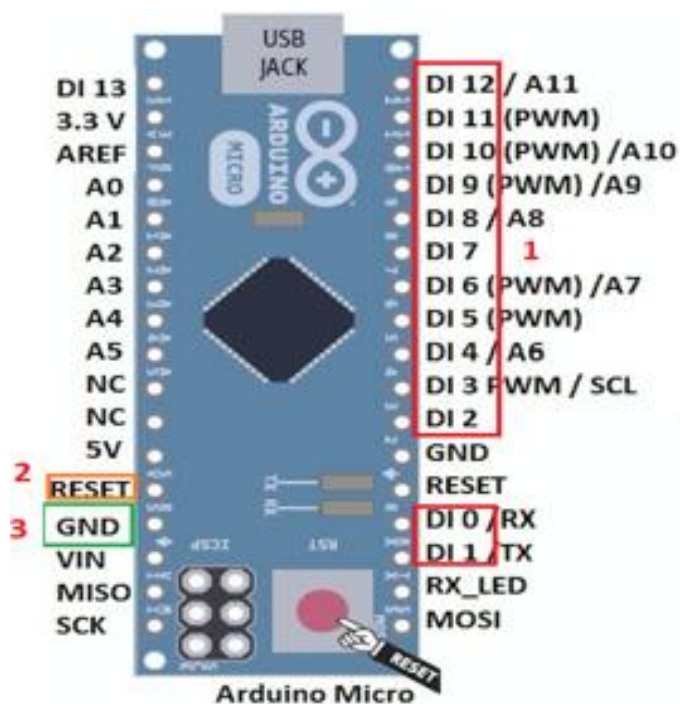


FIGURA 60 Pines de la tarjeta electrónica

FUENTE: (Sainsmart, 2015)

Tabla 22

Descripción de pines utilizados

Grupo	Nombre	función	Característica eléctrica
1	DI 2 – DI 9	Salidas digitales generales conectadas al controlador del motor a pasos	5v Max: 40 mA
1	DI 11	Salida para control del servo motor para la compuerta del lente	5v Max: 40 mA
1	DI 10	Entrada del sensor fotoeléctrico	5v Max: 40 mA
2	Reset	Empieza de nuevo las líneas de código	
3	GND	Conexión a Tierra	GND

Controlador del motor a pasos StepStick A4988

El controlador A 4988, figura 61, sirve para controlar el paso del motor dependiendo la programación y la necesidad de funcionamiento se puede reducir el paso hasta 1/6 del mismo.



FIGURA 61 controlador A 4988

FUENTE: (Vishay Intertechnology, Inc. , 2012)

Características del controlador:

- Controla paso y dirección del motor
- 5 diferentes resoluciones de paso
- Control de corriente ajustable para diferentes motores a pasos
- Protección en corto a tierra y en carga de cortocircuito

Tabla 23

Especificaciones del controlador

Parámetro	valor	unidad
Voltaje de funcionamiento	3-5.5	Voltios
Voltaje de alimentación motor a pasos	8-35	voltios

Pines del controlador

Se presenta la figura 62 del diagrama de control con tarjeta. El cual regulará



FIGURA 62 Diagrama de control con tarjeta

FUENTE: (Vishay Intertechnology, Inc. , 2012)

Tabla 24

Especificaciones de los pines

Nombre	Función
Enable	Habilitar el controlador
MS1	
MS2	Definen la precisión y cantidad del giro del motor a paso.
MS3	
Reset	Reinicia el controlador
Step	Da un paso definido al motor
Dir	Sentido del giro del motor
VMOT	Entrada del voltaje de la fuente
GND	Conexión a tierra
2B	
2A	Conexiones para las bobinas del motor a pasos.
1A	
1B	
VDD	Alimentación del controlador

Posición de los elementos en la placa electrónica.

La placa, figura 65, se utilizará para realizar las distintas conexiones de entrada y salida de los elementos.

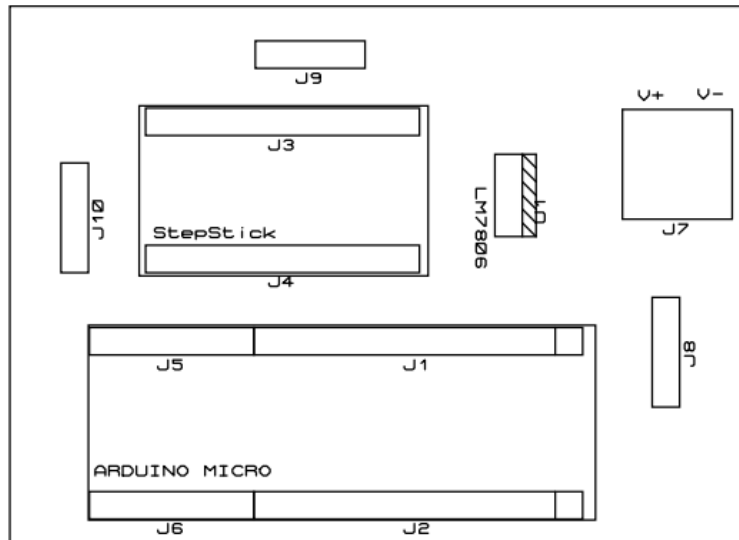


FIGURA 65 Elementos de conexión en la tarjeta.

Pista de la tarjeta de los elementos que se conectarán la tarjeta.

En la pista de conexión figura 66, se muestra como se realizará la conexión.

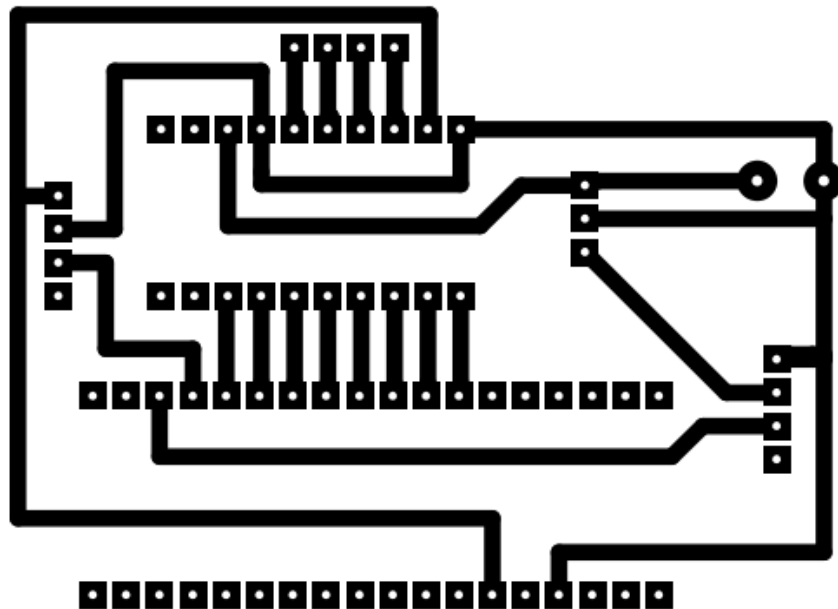


FIGURA 66 Pista de conexión.

3.5.3. Cálculo de los pasos de motor

Característica del motor

1.8° por paso del motor quiere decir que da 200 pasos para dar 360 grados

Especificación del tornillo

Paso: 8 mm.

Quiere decir que cada 360 grados la plataforma se va a mover 8 mm.

Micro controlador

El micro controlador, dependiendo la activación de sus puertos MS1, MS2, MS3 se puede reducir el paso del motor, para mayor exactitud se activaran todos dando 1/16 del paso normal esto quiere decir que para dar 360 grados el motor tendrá que dar 3200 pasos.

Necesidad de la máquina

Se debe dar un movimiento en descenso de 0,1 mm por cada capa.

Ecuaciones:

Se calcula el ángulo necesario para obtener el movimiento de 0,1 mm.

$$\frac{360^{\circ}}{x} = \frac{8mm}{0,1mm}$$

$$x = 4.5^{\circ}$$

A continuación se calcula el número de pasos que se debe dar al motor para obtener 0,1 mm.

$$\frac{3200}{x} = \frac{360^{\circ}}{4.5^{\circ}}$$

$$x = 40 \text{ pasos}$$

Se llega a la conclusión que se debe enviar 40 pasos al motor para obtener el descenso de 0,1 mm por capa.

Como la capa es muy fina se debe descender una distancia mayor y regresar a la posición necesaria, para poder cubrir toda la superficie y que no queden vacíos en la impresión.

Mediante pruebas se llegó a un paso eficiente de bajada de 384 y subida 344.

3.5.4. Programación

Se presenta el diagrama de flujo de la figura 67, el cual se utilizó para poder realizar la programación que se encuentra en el anexo 10.

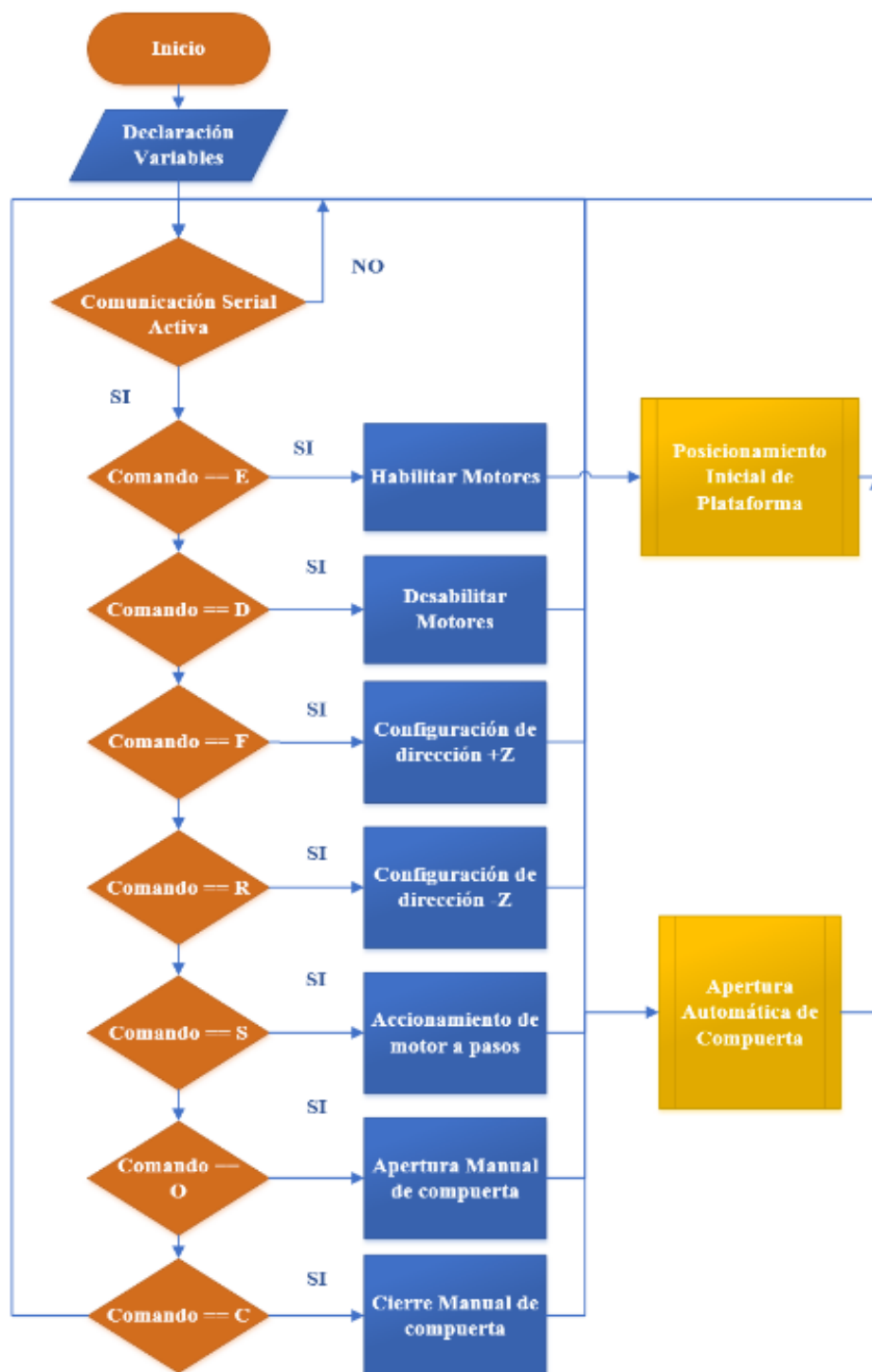


FIGURA 67 Flujograma de programación

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN

La construcción se va a dividir en los siguientes subsistemas:

- Partes Estructurales
- Acabados
- Sistema Óptico
- Sistema Mecánico

4.1. Diagramas de procesos

Los diagramas de procesos son conjuntos de operaciones que se realizan en la materia prima para obtener un producto final con las características necesarias para cumplir una función. Se presentan los diagramas de procesos de todas las pizas de la impresora 3D divididas en los subsistemas antes señalados.

4.1.1. Partes estructurales

Los diagramas de procesos de las partes estructurales hacen referencia a toda la estructura de las impresora 3D DLP que sirve de sostén a las otras partes de la impresora, los diagramas de procesos de estas partes se presentan en las figuras 69, 70, 71, 72, 73.

Para facilidad se han tomado grupos de partes que se rigen bajo el mismo diagrama de proceso.

Tabla 25

Partes estructurales 1.

Parte	Código
Tapa Posterior	Dw-1400
Tapa Derecha	Dw-1600
Base Mecanismos	Dw-1300
Pared interna cámara de impresión	Dw-1200

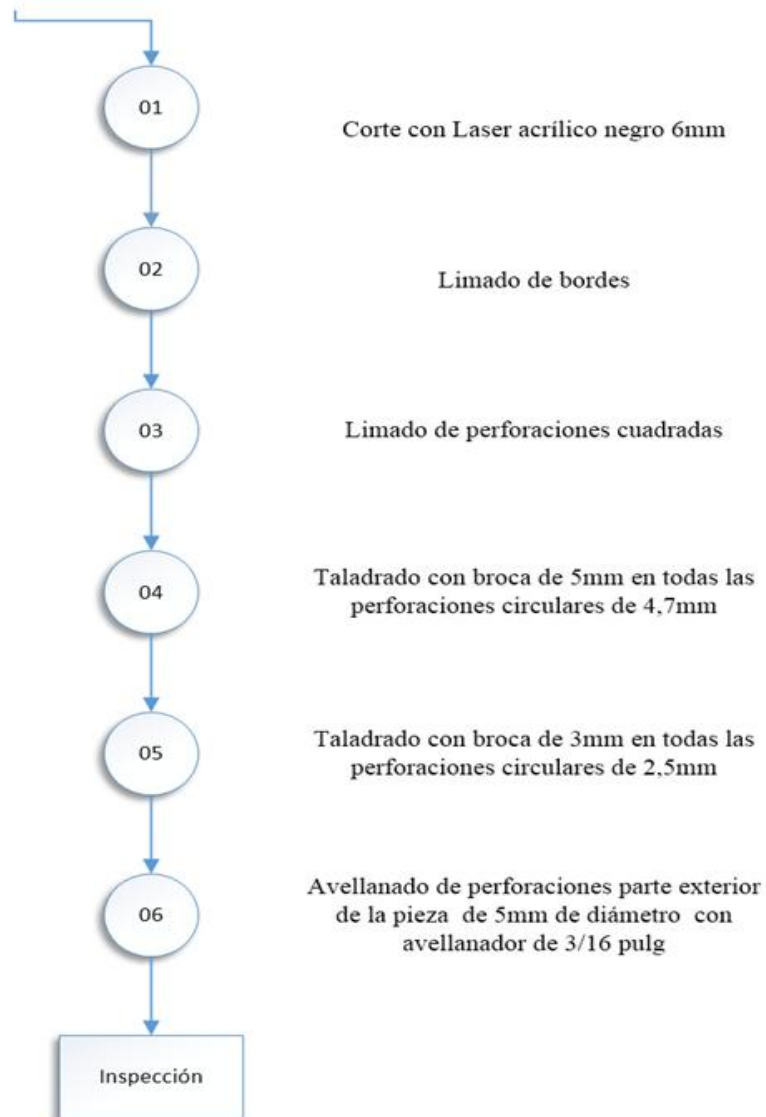


FIGURA 68 Diagrama de partes estructurales de la tabla 23.

Tabla 26

Partes estructurales 2.

Parte	Código
Tapa Izquierda	Dw-1500
Tapa Frontal	Dw-1800
Base proyector	Dw-1100
Tapa Inferior	Dw-1700

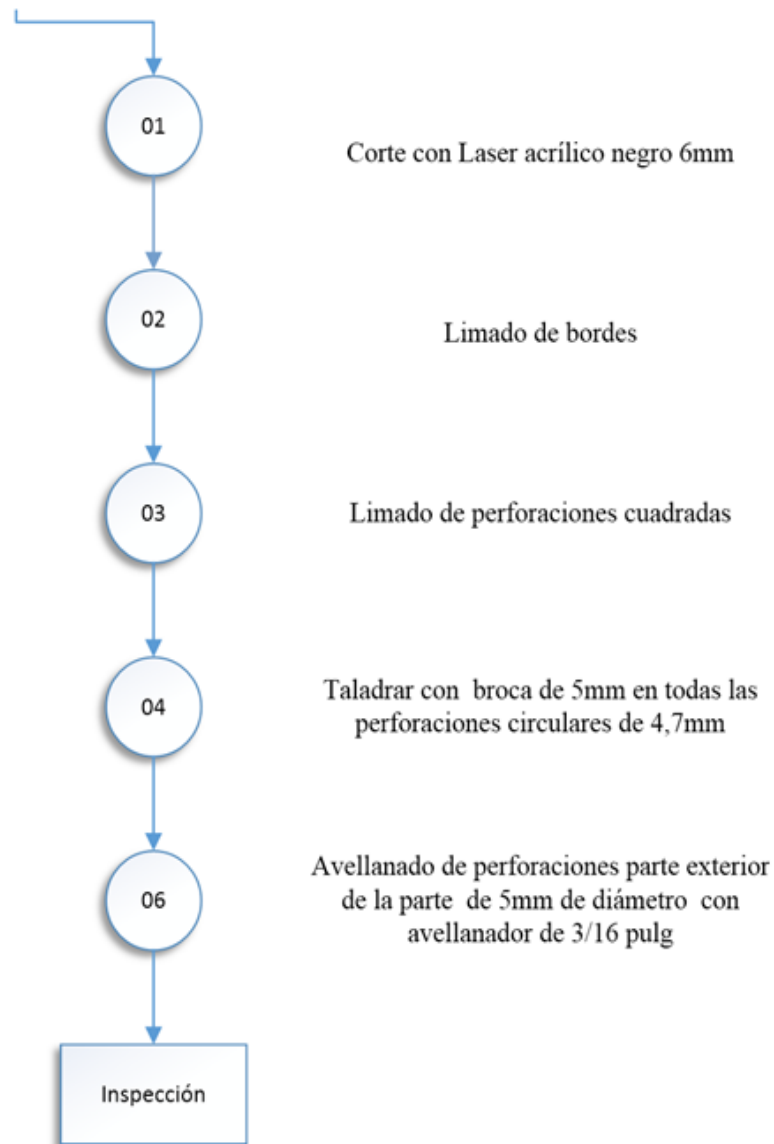


FIGURA 69 Diagrama partes estructurales de la tabla 24.

Tabla 27

Partes estructurales 3.

Parte	Código
Base de limpieza P1	Dw-1910
Base de limpieza P2	Dw-1920
Soportes para ventilación	Dw-1520

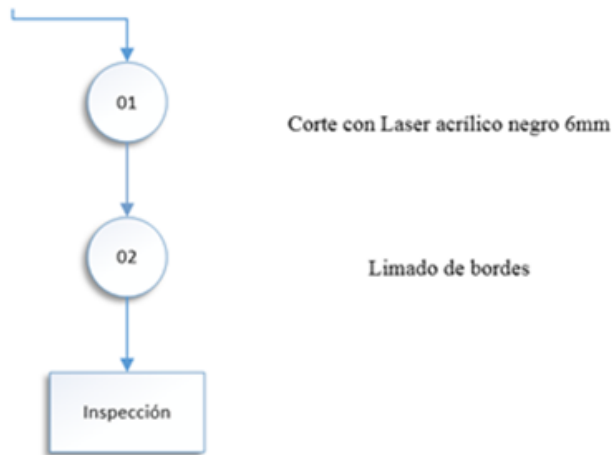


FIGURA 70 Diagrama partes estructurales de la tabla 25.

Tabla 28

Partes estructurales 4.

Parte	Código
Marco de soporte	Dw-1510

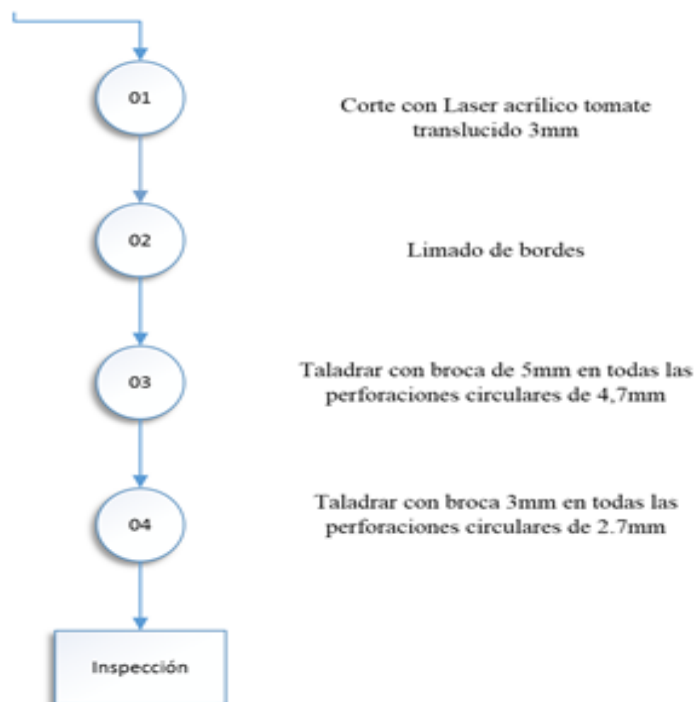


FIGURA 71 Diagrama partes estructurales de la tabla 26.

4.1.2. Acabados

Los diagramas de acabados hacen referencia a todas las partes con las cuales se dio una presentación visualmente agradable de la impresora.

Tabla 29

Acabados 1.

Parte	Código
Soporte de base para partes electrónicas	DW-5100

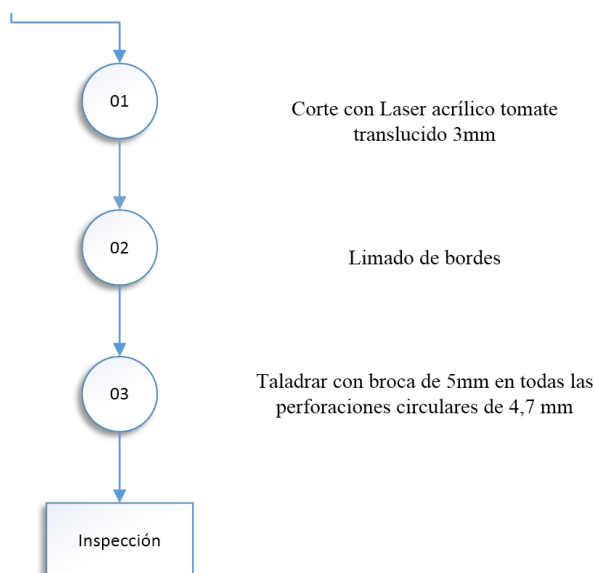


FIGURA 72 Diagrama para acabados de la tabla 27.

Tabla 30

Acabados 2.

Parte	Código
Tapa de Limpieza P1	DW-5100
Tapa de limpieza P2	DW-5200
Tapa de Limpieza P3	DW-5300
Tapa Ventilación	DW-1540

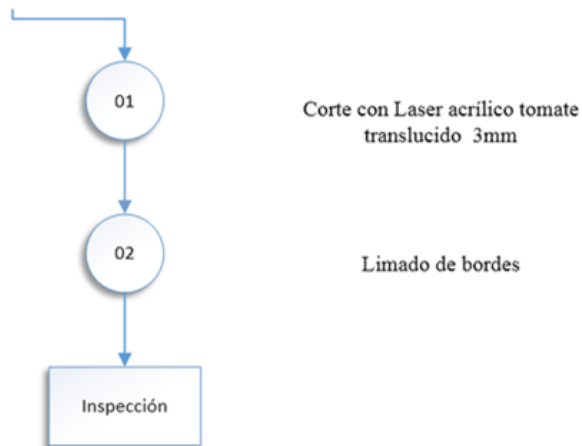


FIGURA 73 Diagrama para acabados de la tabla 28.

4.1.3. Sistema óptico

Los diagramas del sistema óptico hacen referencia a todas las partes necesarias para poder generar la proyección deseada a la distancia requerida.

Tabla 31

Sistema óptico 1.

Parte	Código
Carril para lente	DW-2100

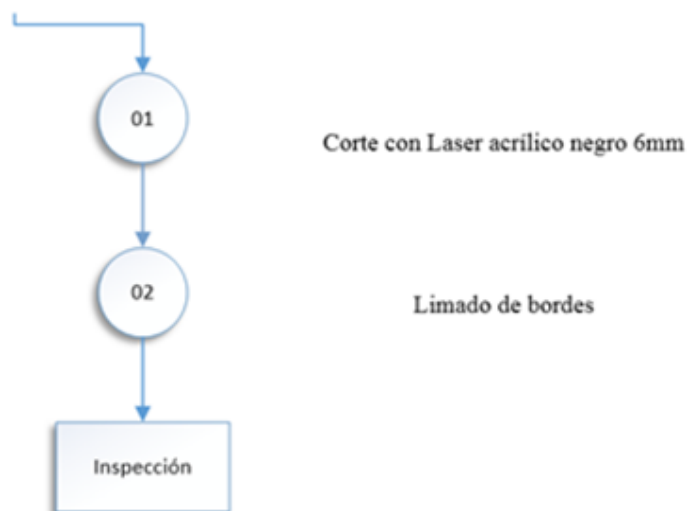


FIGURA 74 Diagrama para acabados de la tabla 29.

Tabla 32

Sistema óptico 2.

Parte	Código
Brazo de sujeción del servo	DW-2400
Unión Servo Tapa de lente de proyección	DW-2400
Porta Lente	DW-2200

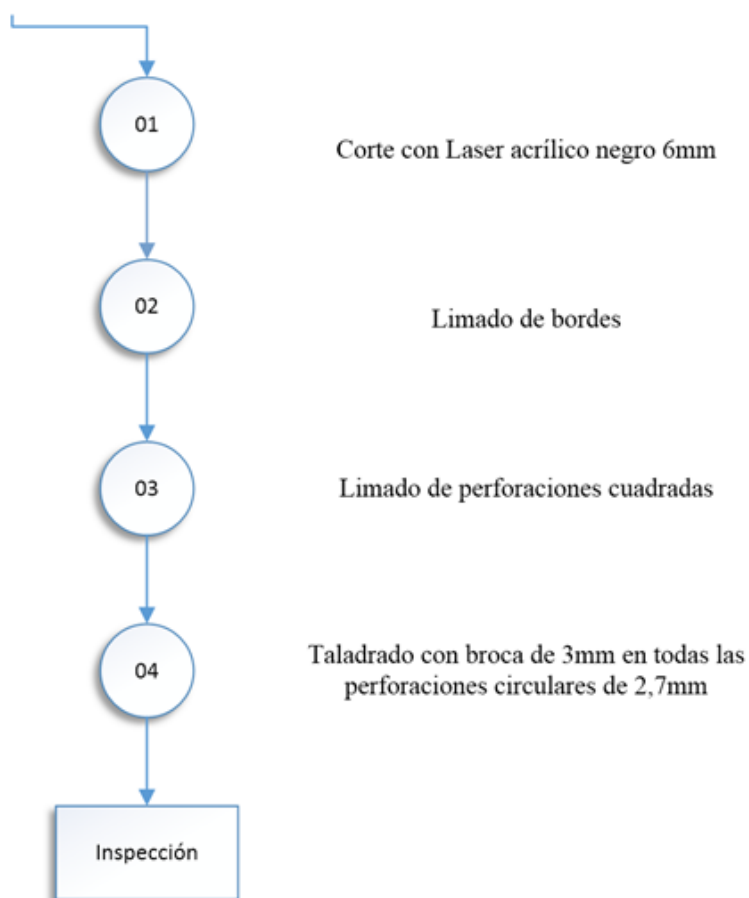


FIGURA 75 Diagrama para acabados de la tabla 30.

Tabla 33

Sistema óptico 3.

Parte	Código
Tapa de lente de proyección	DW-2300

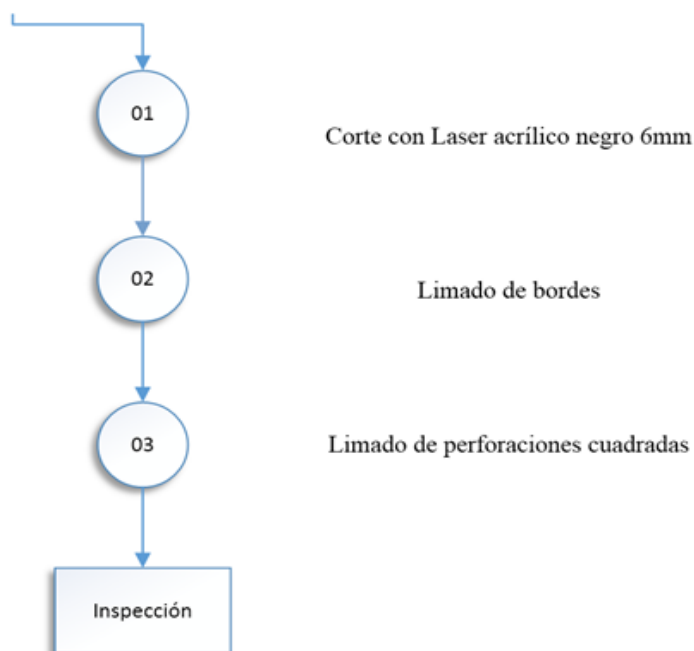


FIGURA 76 Diagrama para acabados de la tabla 31.

4.1.4. Sistema Mecánico:

El diagrama de proceso del sistema mecánico hace referencia a todas las partes que se pudieron elaborar y que son fundamentales para el funcionamiento del eje Z.

Algunas partes fueron adquiridas como productos de fabricación standard en el mercado.

Tabla 34

Sistema mecánico.

Parte	Código
Soporte superior ejes	DW-4090
Unión motor eje guía	DW-4700
Unión tornillo- base	DW-4050
Porta rodamiento superior tornillo	DW-4010
Soporte rodamiento inferior tornillo	DW-4020
Rueda de giro	DW-4030
Unión Motor Base	DW-4800

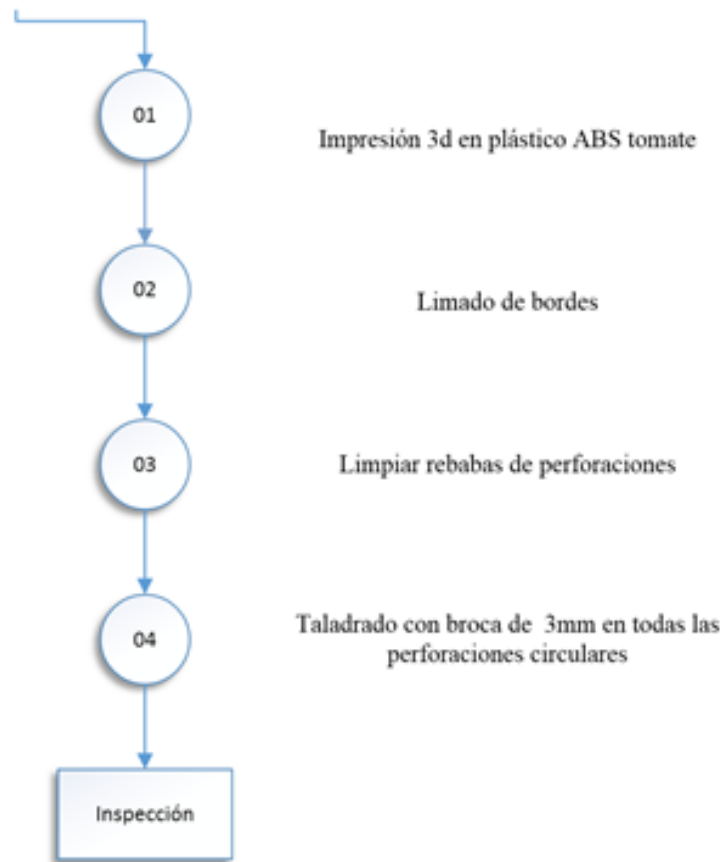


FIGURA 77 Diagrama para acabados de la tabla 32.

4.2. Métodos de fabricación

Los métodos de fabricación utilizados para la fabricación de la impresora 3D DLP, se escriben a continuación, un método utilizado es la impresión 3D FDM fig. 79.



FIGURA 78 Impresora 3D leapfrog

Tabla 35

Métodos de fabricación.

Operación Tecnológica	Maquina	Símbolo
Corte	Laser	CL
	Chorro de agua	CC
Taladrado	Taladro de banco	TB
Avellanado	Taladro de banco	AB
Fresado	fresadora	FM
Acabados	Limas	AL
	Lija manual	AM
Doblado	Entenalla	DE
Impresión 3D	Impresora 3D	I3

4.3. Tiempos parciales de fabricación

Los tiempos de fabricación son los siguientes:

Tabla 36

Tiempos de fabricación estructura.

Partes	Cant.	Proceso									total min
		C C	T B	A B	F M	A L	A M	D E	I 3	CL	
Base Mecanismos	1	-	3	5	-	3	-	-	-	-	11
Base limpieza p1	1	-	-	-	-	3	-	-	-	-	3
Base limpieza p2	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Base proyector	1	-	3	5	-	3	-	-	-	-	11
Marco Soporte	1	-	2	-	-	1	-	-	-	-	3
Pared cámara de impresión	1	-	3	6	-	3	-	-	-	-	12
Soporte tapa ventilador	1	-	-	-	-	1	-	-	-	73	1
Tapa derecha	1	-	10	15	-	6	-	-	-	-	31
Tapa Frontal	1	-	3	5	-	3	-	-	-	-	11
Tapa Izquierda	1	-	10	15	-	6	-	-	-	-	31
Tapa Inferior	1	-	8	12	-	6	-	-	-	-	26
Tapa Posterior	1	-	15	20	-	10	-	-	-	-	45

Tapa ventilador	1	-	-	-	-	2	-	-	-	2	
Total (min)	13	0	57	83	0	48	0	0	0	73	274

Tabla 37

Tiempos de fabricación acabados.

Partes	Cant.	Procesos										total min
		C C	T B	A B	F M	A L	A M	D E	I 3	CL		
Puerta	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-		1
Cubierta de limpieza p3	2	-	-	-	-	1	-	-	-			1
Cubierta de limpieza p2	1	-	-	-	-	1	-	-	-	25		1
Cubierta de limpieza p1	1	-	-	-	-	2	-	-	-			2
Tapa elementos electrónicos	1	-	1	-	-	-						1
Total (min)	6	0	2	0	0	4	0	0	0	25		37

Tabla 38

Tiempos de fabricación sistema mecánico.

Partes	Cant.	Procesos										total min
		C C	T B	A B	F M	A L	A M	D E	I3	C L		
Porta rodamiento superior	1	-	1	-	-	2	-	-	20	-		23
Porta rodamiento inferior	1	-	1	-	-	2	-	-	20	-		23
Rueda de giro	1	-	-	-	-	2	-	-	36	-		38
Unión tornillo base líquido	1	-	2	-	-	2	-	-	35	-		39
Base líquido	1	-	1	2	-	2	-	-	-	5		5
Ángulo de unión	1	-	2		-	-	2	3	-	-		7
Soporte superior ejes	1	-	1	-	-	2	-	-	20	-		23
Unión rodamiento husillo	1	-	1	-	-	3	-	-	42	-		46
Acople eje z	1	-	1	-	-	2	-	-	-	-		3
Porta imanes	1	-	1	-	-	2	-	-	-	-		3
Tope unión plataforma	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-		1
Unión plataforma eje z	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-		1
Plataforma	2		1		5	3	3	8	-	-		20
Placa de cobre	1	-	20	-	-	3	3	-	-	-		26
Unión motor eje guía	1	-	1	-	-	2	-	-	45	-		48
Unión motor base	1	-	1	-	-	2	-	-	30	-		33

Continúa

Total (min)	17	0	34	2	5	31	8	11	24	5	361
									8		

Tabla 39**Tiempos de fabricación sistema electrónico.**

Partes	cantidad	Proceso									total(min)
		CC	TB	AB	FM	AL	AM	DE	I3	CL	
Base de elementos	1	-	3	-	-	-	-	-	-	3	
Total (min)	1	0	3	0	0	0	0	0	0	3	7

Tabla 40**Tiempos de fabricación por proceso.**

Proceso	Sistemas						Total (min)
	Estructural	Óptico	Acabados	Mecánico	Electrónico		
CC	0	0	0	15	0	15	
TB	57	3	2	34	3	99	
AB	83	0	0	2	0	85	
FM	0	0	0	5	0	5	
AL	48	11	4	31	0	94	
AM	0	0	0	8	0	8	
DE	0	0	0	11	0	11	
I3	0	45	0	238	0	283	
CL	73	25	25	5	3	131	
Total (min)	261	84	31	349	6	731	

4.4. Tiempos totales de fabricación y montaje**Tabla 41****Tiempos totales de fabricación y montaje.**

Sistemas	Tiempo(min)	Tiempo (horas)
Estructural	180	3
Óptico	45	0,75
Mecánico	90	1,5
Electrónico	60	1
Total	375	6,25

4.5. Manual de operación

El Manual de Operación tiene como prioridad orientar al usuario sobre las principales funciones que deben tomarse en cuenta acerca de la impresora 3D DLP, tomando en cuenta la seguridad, las conexiones y especificaciones, ver el documento del anexo 9.

4.6. Costo de fabricación.

4.6.1. Costos parciales

Los costos parciales del proyecto se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 42

Materia prima

Plancha de acrílico negro 6 mm (1,20 x 1,80 m)	133,62
Plancha de acrílico translucido 6 mm (1,20 x 0,70 m)	26,22
Eje de acero plata 26 cm	3
Tornillo	0,75
placa de cobre 30 x 30 cm	8
Total	171,59

Tabla 43

Insumos

Tornillos allen avellanado M5 (150 unidades)	12
Tornillos M3 allen (35 unidades)	11
Ángulos de 90° (38 unidades)	10,96
resina para pegar acrílico	10
Candados, bisagras, seguros	26
Imanes (10)	2
Total	71,96

Tabla 44

Partes mecánicas

Rodamientos(6 unidades)	32
Motor a pasos junto con tornillo de potencia	120
Guía lineal 20 mm	60
piezas impresas en 3D	45
Total	257

Tabla 45

Partes electrónicas

fuelle 12 voltios	12
plug 120 v	16
plug usb	10
proyector	566
arduino pro	45,35
Total	649,35

Tabla 46

Mano de obra

Corte laser todas las piezas	65
corte chorro de agua plataformas con material	30
doblado plataformas	3
fresado de plataformas	30
perforado de placas de cobre	30
placa electrónica	6
total	164

Tabla 47

Herramientas para ensamble

Prensas	13,78
kit de desarmadores	10

Continúa

kit de hexagonales	6
kit de alicates	14
total	43,78

4.6.2. Costo total

El costo total de fabricación es de 1357.68 dólares.

CAPÍTULO 5

PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas a las que será sometida la impresora tienen como objetivo evaluar el desempeño, por lo cual se analizarán las dimensiones de las partes más críticas, así también se realizarán pruebas funcionales para constatar los objetivos planteados como son la velocidad y la resolución por capa de impresión, y finalmente se comparará los resultados con una impresora de tecnología FDM.

5.1. Pruebas dimensionales.

Las pruebas dimensionales se subdividirán en los sistemas ya mencionados en la fabricación, tomando como los más críticos la estructura de la impresora, el sistema mecánico y el sistema óptico.

5.1.1. Estructura

En la figura 80 se presenta el esquema frontal dimensional de la estructura de la impresora con tolerancias lineales de ± 1 mm.

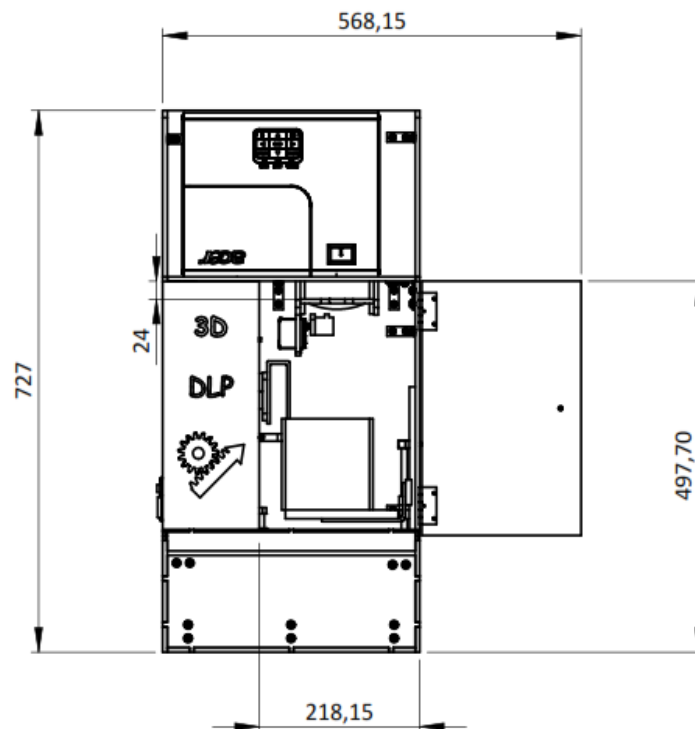


FIGURA 79 Esquema frontal estructural dimensional de la impresora.

En la figura 81 se presenta el esquema superior dimensional de la estructura de la impresora con tolerancias lineales de ± 1 mm.

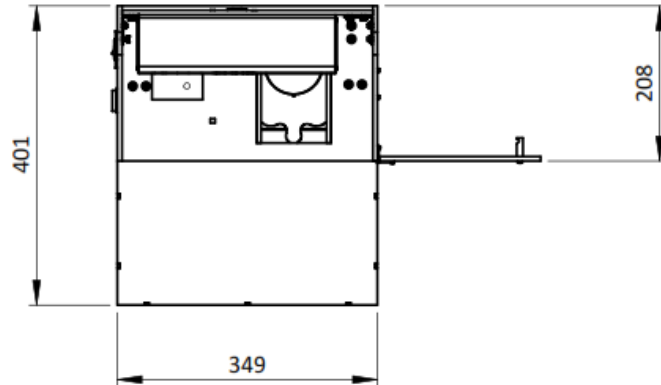


FIGURA 80 Esquema superior estructural dimensional de la impresora.

Tabla 48

Análisis de resultados de pruebas dimensionales estructurales.

Subsistema	Vista	Valor No. (mm)	Tolerancia (mm)	Valor M. (mm)	Promedio (mm)	Error (mm)	Estado	
Estructura	Frontal	568,15	± 1	568 567,1	567,70	0,45	OK	
		727,00	± 1	728 728 727	727,67	-0,67	OK	
		497,70	± 1	498 498 498	498,00	-0,30	OK	
			218,15	± 1	218 218 217	217,67	0,48	OK
			401	± 1	401 400 400	400,33	0,67	OK
		Superior	349	± 1	348 349 349	348,67	0,33	OK
			208	± 1	208 208 209	208,33	-0,33	OK

5.1.2. Sistema mecánico

En la figura 82 se presenta el esquema dimensional frontal del subsistema mecánico de la impresora con tolerancias lineales de ± 1 mm.

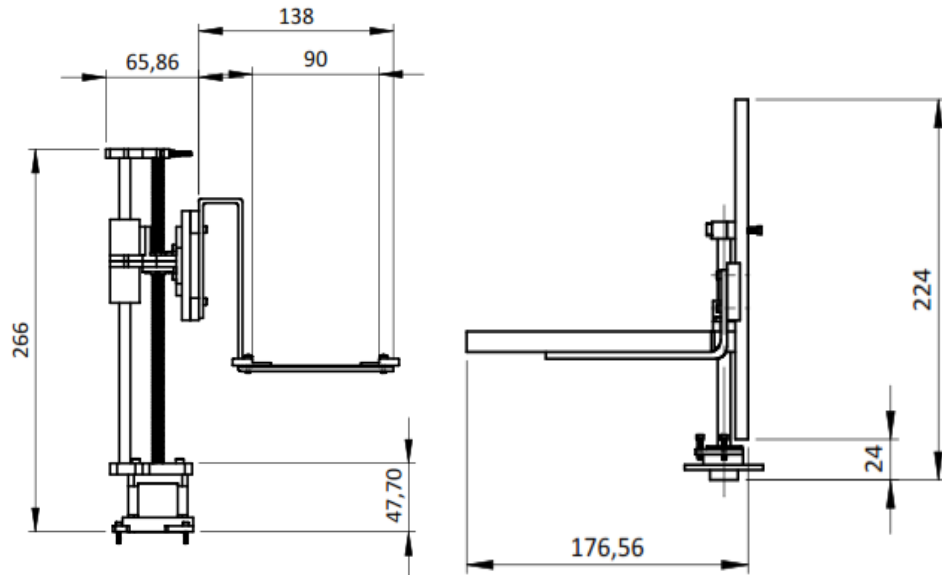


FIGURA 81 Esquema frontal dimensional del sistema mecánico de la impresora.

En la figura 84 se presenta el esquema dimensional superior del subsistema mecánico de la impresora con tolerancias lineales de ± 1 mm.

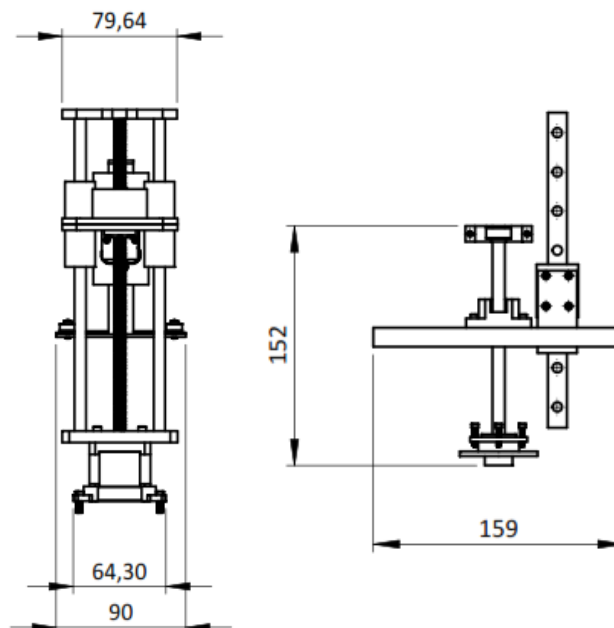


FIGURA 82 Esquema lateral izquierda del sistema mecánico.

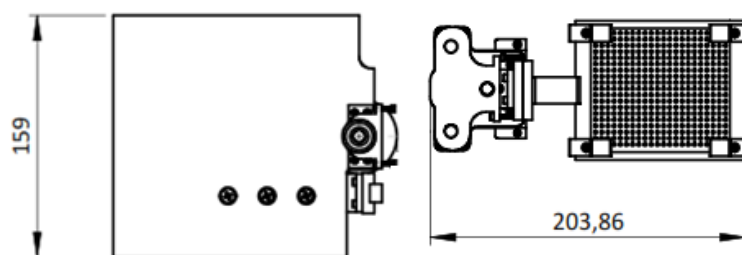


FIGURA 83 Esquema superior del sistema mecánico

Tabla 49

Análisis de resultados de pruebas dimensionales del sistema mecánico.

Subsistema	Vista	Valor No. (mm)	Tolerancia (mm)	Valor M. (mm)	Promedio (mm)	Error (mm)	Estado		
Mecánico	Frontal	65,86	± 1	66,03 65,5 66	65,84	0,02	OK		
		138,00	± 1	138 137,5 138	137,83	0,17	OK		
		266,00	± 2	265,25 265,5 265,22	265,32	0,68	OK		
		176,56	± 1	177,5 177 177,03	177,18	-0,62	OK		
		47,70	± 1	47,6 47,5 47,7	47,6	0,1	OK		
		224,00	± 1	224,5 224,22 224	224,24	-0,24	OK		
		203,86	± 1	203,7 203,8 203,8	203,75	0,11	OK		
		159	± 1	159 159 159	159	0	OK		
		152	± 1	152,5 152 152,8	152,43	0,43	OK		
		90	± 1	90,1 90 90	90,03	-0,03	OK		
		Superior	Lateral izquierdo	159	± 1	159 159 159	159	0	OK
				90	± 1	90,1 90 90	90,03	-0,03	OK

5.1.3. Sistema óptico

En la figura 84 se presenta el esquema dimensional frontal del subsistema óptico de la impresora con tolerancias lineales de ± 1 mm.

En la figura 85 se presenta el esquema dimensional superior del subsistema óptico de la impresora con tolerancias lineales de ± 1 mm.

En la figura 86 se presenta el esquema dimensional lateral izquierdo del subsistema óptico de la impresora con tolerancias lineales de ± 1 mm.

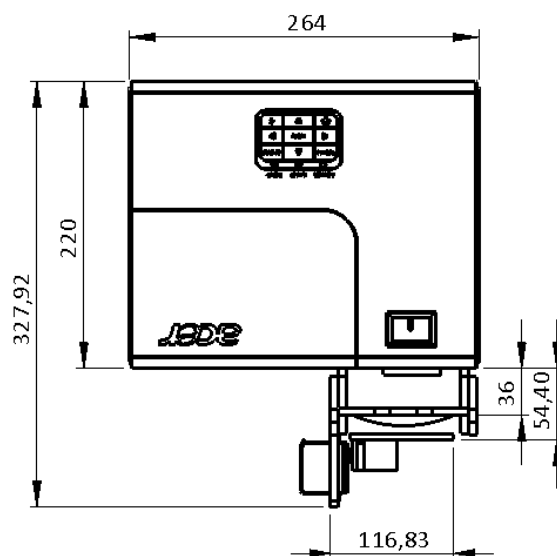


FIGURA 84 Esquema frontal dimensional del sistema óptico de la impresora.

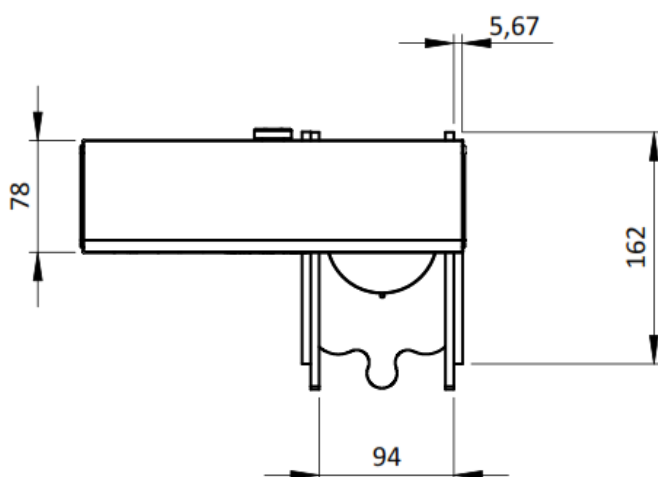


FIGURA 85 Esquema superior dimensional del sistema óptico de la impresora.

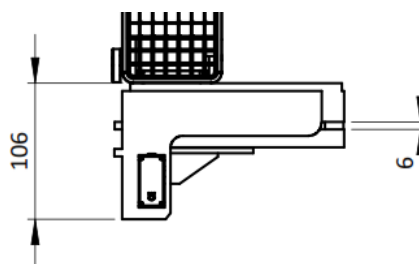


FIGURA 86 Esquema lateral izquierdo dimensional del sistema óptico de la impresora.

Tabla 50

Análisis de resultados de pruebas dimensionales del sistema óptico.

Subsistema	Vista	Valor No. (mm)	Tolerancia (mm)	Valor M. (mm)	Promedio (mm)	Error (mm)	Estado
Óptico	Frontal	264,00	± 1	264 264 264	264,00	0,00	OK
		220,00	± 1	220 220 220	220,00	0,00	OK
		327,92	± 1	327,5 327,2 327,45	327,38	0,54	OK
		116,83	± 1	116,24 116,35 116,6	116,40	0,43	OK
		36,00	± 1	35,3 35,2 35,3	35,27	0,73	OK
		54,40	± 1	54,7 54,5 54,74	54,65	-0,25	OK
		78,00	± 1	78 78 78	78,00	0,00	OK
		94,00	± 1	94,75 94,7 94,72	94,72	-0,72	OK
		5,69	± 1	5,7 5,72 7,8	6,41	-0,72	OK
		162,00	± 1	162	162,10	-0,10	OK

Continúa

			162,3			
			162			
			106,05			
	106,00	± 1	106,03	106,03	-0,03	OK
Lateral			106			
izquierdo			6			
	6,00	± 1	6	6,00	0,00	OK
			6			

5.2. Velocidad

La velocidad de impresión es en función del programa, siendo 6 segundos por capa dividido en: 4 segundos para el secado y 2 segundos para estabilizar la resina después del movimiento de la plataforma.

Tabla 51

Análisis de resultados de pruebas de velocidad.

Velocidad nominal (segundos x capa)	Velocidad práctica (segundos x capa)	Promedio (segundos)	Tolerancia	Estado
	6			
	6			
6	6,01	6,01	-0,01	ok
	6,02			
	6			
	6,03			

5.3. Pruebas funcionales

Se realizó tres tipos de pruebas de impresión:

- Circunferencias internas y externas
- Cuadrados externos
- Cuadrados internos
- Dificultad de impresión

Resultados:

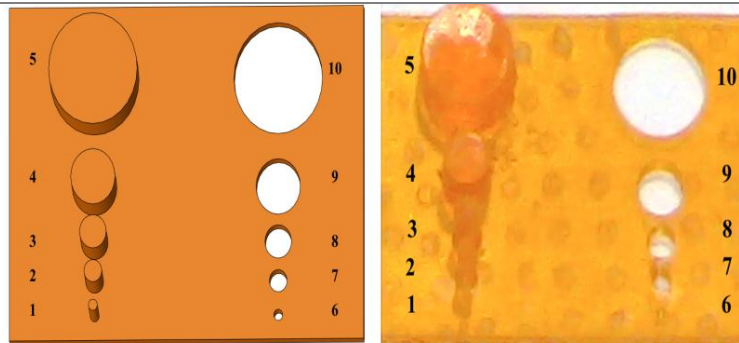
Los resultados se muestran en las tablas 52, 53, 54 y 55, mostrando la resolución de la impresora en distintas pruebas.

Los resultados se midieron con pie de rey para asegurar la resolución de 0.1 mm para la cual fue diseñada la impresora.

Tabla 52

Circunferencias internas y externas

Circunferencias internas y externas



Diámetros internos

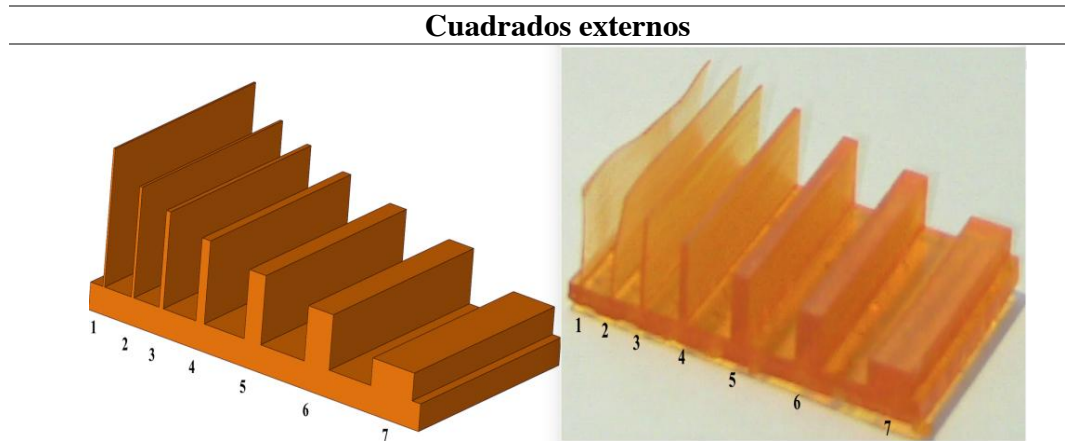
# de muestra	Software	DLP	Diferencia	Tolerancia	Estado
1	1	0,9	0,10	0,1	ok
2	2	2,06	-0,06	0,1	ok
3	3	2,92	0,08	0,1	ok
4	5	4,99	0,01	0,1	ok
5	10	9,97	0,03	0,1	ok

Diámetros Externos

# de muestra	Software	DLP	Diferencia	Error	Estado
1	1	0,96	0,04	0,1	ok
2	2	1,96	0,04	0,1	ok
3	3	2,92	0,08	0,1	ok
4	5	4,9	0,1	0,1	ok
5	10	9,91	0,09	0,1	ok

Tabla 53

Cuadrados externos

**Espesor**

# de muestra	Software	DLP	Error	Tolerancia	Estado
1	0,2	0,18	0,02	0,1	ok
2	0,3	0,25	0,05	0,1	ok
3	0,5	0,45	0,05	0,1	ok
4	1	0,94	0,06	0,1	ok
5	2	2,9	-0,9	0,1	ok
6	3	2,95	0,05	0,1	ok
7	5	4,94	0,06	0,1	ok

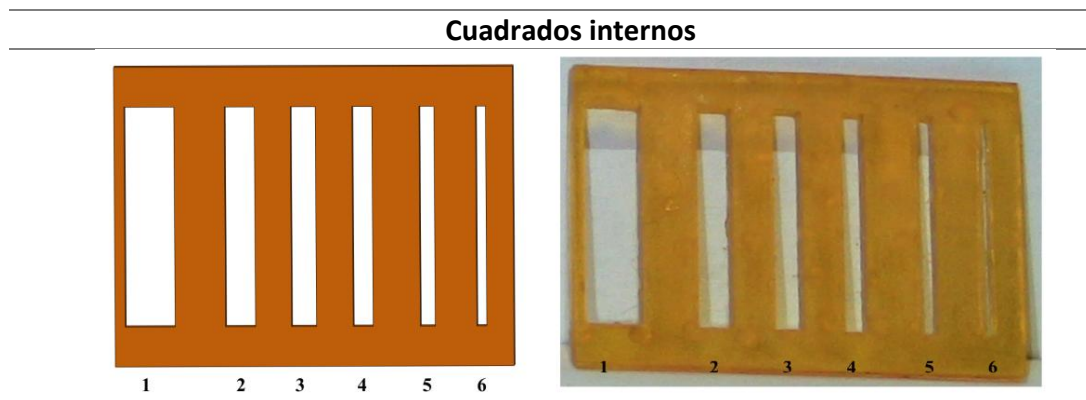
Alturas

# de muestra	Software	DLP	Error	Tolerancia	Estado
1	9,64	N/A	N/A	0,1	N/A
2	8	7,97	0,03	0,1	ok
3	7	7,08	-0,08	0,1	ok
4	6	5,95	0,05	0,1	ok
5	5	5,18	-0,18	0,1	ok
6	4	3,91	0,09	0,1	ok
7	2	1,9	0,1	0,1	ok

(N/A capa muy fina con muchas deformaciones no hay como medir)

Tabla 54

Cuadrados internos

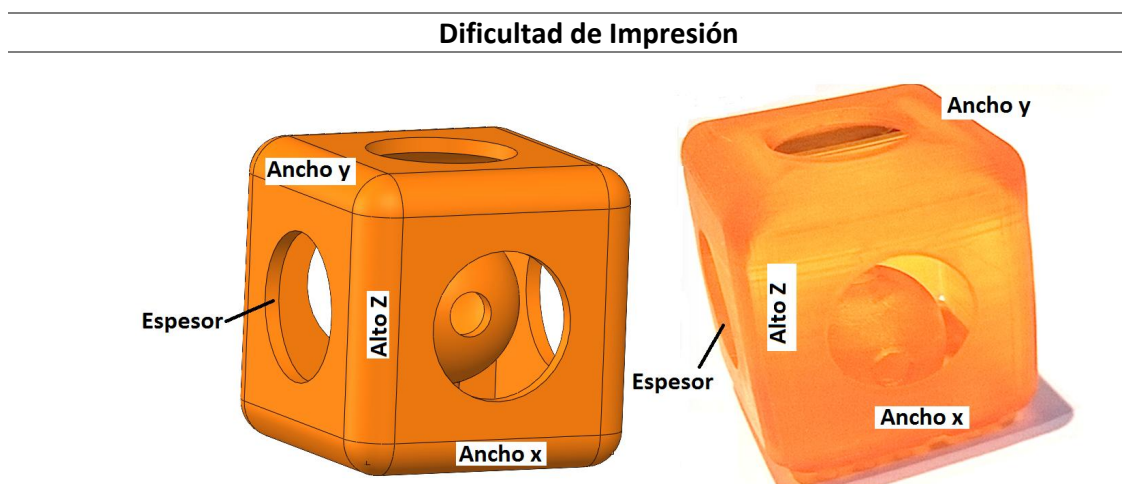


Espesor

# de muestra	Software	DLP	Error	Tolerancia	Estado
1	5	4,99	0,01	0,1	ok
2	3	3,02	0,02	0,1	ok
3	2,5	2,52	0,02	0,1	ok
4	2	1,94	0,06	0,1	ok
5	1,5	1,45	0,05	0,1	ok
6	1	1,08	0,08	0,1	ok

Tabla 55

Dificultad de impresión



Software	DLP	Error	Tolerancia	Estado
				Continúa

Espesor	1,5	1,51	0,01	0,1	ok
alto Z	30	30,1	0,1	0,1	ok
ancho x	30	30,1	0,1	0,1	ok
ancho y	30	30,06	0,06	0,1	ok

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se construyó una impresora 3D mediante un proyector con una luminosidad de 2700 lúmenes y tecnología DLP, junto con una lente convergente de 2,6 dioptrías. Los dos elementos ópticos trabajando en conjunto, son capaces de solidificar la resina foto sensible con un tiempo de exposición de 4 segundos por capa.
- En los ejes X, Y se logró una precisión de $\pm 0,1$ mm y área máxima de impresión de 100×75 mm por capa. El factor importante que influye directamente es el posicionamiento de la plataforma de impresión a una distancia de 18.2 cm de la lente convergente.
- Mediante un mecanismo tornillo de potencia-husillo, acoplados a dos ejes guías con rodamientos lineales. Se obtuvo un movimiento uniforme de la plataforma, logrando impresiones de alta calidad y precisión de $\pm 0,1$ mm en el eje z.
- La Impresora 3D está controlada por un arduino micro, que tiene la capacidad suficiente, velocidad y tamaño necesarios para el diseño. Cumpliendo eficientemente el control de movimiento en el eje z mediante un motor a pasos. También, controla la apertura de la tapa de proyección accionada con un servo motor HS-311. De la misma forma controla el posicionamiento de la plataforma de impresión con sensor foto eléctrico TCST 2103.
- Se realizó el estudio de simulación con un programa CAD, llegando a deformaciones máximas en los ejes de 0,0026 mm. Se obtuvo un factor de seguridad de 2,6 para la plataforma. Con este estudio se demostró el correcto diseño de los elementos, asegurando la perpendicularidad de la proyección con la plataforma de impresión.
- Se desarrolló un mecanismo para el posicionamiento de la base que soporta la fuente de la resina. Consta de una guía lineal y un tornillo sin fin. Junto con el mecanismo un sensor foto eléctrico que posiciona automáticamente la plataforma para una correcta impresión.

- La funcionalidad del equipo se comprobó mediante la fabricación de probetas de calibración cuadradas y circulares de diferentes tamaños. Llegando a obtener dimensiones precisas con un error de $\pm 0,1$ mm. También, se fabricó piezas de alta complejidad, obteniendo acabados de alta calidad muy difíciles de elaborar en otros tipos de impresoras.

Recomendaciones:

- Investigar nuevas formas de impresión mediante la tecnología DLP con diferentes resinas fotosensibles. Principalmente investigar las características de secado de las resinas para evitar pérdidas de materia prima y obtener una impresión que cumpla con los parámetros de diseño.
- Fomentar la incursión en nuevas formas de prototipado rápido, con nuevas tecnologías de impresión. Logrando el incremento del rango de aplicación en el campo industrial y educativo con nuevas impresoras 3d de alta calidad.
- Realizar investigación en los compuestos de las resinas fotosensibles, con el fin de producir una resina con características propias. Esta investigación nos ayudara a fabricar nuevas piezas con características innovadoras.
- Buscar nuevas tecnologías en el campo de la óptica para mejorar la resolución y tamaño de impresión. Generando piezas e serie y de mayor volumen.
- Investigar nuevos lenguajes de programación y software, para desarrollo de aplicaciones capaces de comunicarse con el micro controlador. Para evitar depender de software de control limitados y con bajas prestaciones.
- Fomentar el diseño y Construcción de prototipos de máquinas con procesos de fabricación nuevos, innovadores y rápidos. Logrando crear una nueva cultura de fabricación de prototipos, antes de construir modelos definitivos.

BIBLIOGRAFÍA

- ABACOPROYECTORES. (2014). *Abaco Proyectores*. Retrieved from www.abacoproectores.com
- ANDRADE, J. (2012, 09 27). *Engadget*. Retrieved from <http://es.engadget.com/2012/09/26/formlabs-form-1-impresora-3d/>
- Antolín, M. P. (2014). *Pourla*. Retrieved from <https://pourla.wordpress.com/construccion/hardware/base/vitaminas-no-imprimibles/>
- Aragón, F. (2011). *Control de un motor paso a paso*. Unavarrá: UPNA.
- Arduino. (2015). *Arduino*. Retrieved from <http://www.arduino.cc>
- Consulta Inteligente S.A.S. (2012, 08 01). *CONSULTA.INTELIGENTE*. Retrieved from <http://www.consultainteligente.com.co/>
- Crespo, A. (2014). *Trimaker*. Retrieved from http://www.trimaker.com/quienes-somos/#.VWspCc9_Okp
- Derré, M. (2014). *Diseño impresora 3d DLP*. Zaragoza.
- FOLOGAR. (2011). *Movilideas*. Retrieved from http://www.movilideas.es/zc/index.php?main_page=product_info&cPath=31_48&products_id=148
- González, D. E. (2006). *Guía básica de conceptos de óptica geométrica*. Sevilla: E.S. Ingenieros - Universidad de Sevilla.
- HERNANDEZ. (2013). *ENVISION LABS*. Retrieved from CREATION WORKSHOP: <http://www.envisionlabs.net/about.html>
- INTI. (2009, 08 25). *INTI Diseño Industrial – Taller de Soluciones*. Retrieved from <http://tallerdesoluciones.blogs.inti.gob.ar/2009/08/25/estereolitografia-principio-de-funcionamiento/>
- Jaime Allende. (2015, 06 12). *DUCASSE*. Retrieved from lordcochrane@ducasse.cl
- Laboratory of Information Processing Science. (2010, 4 24). *UNED*. Retrieved from <http://www.cs.hut.fi/>
- Lévy, E. (2008). *Diccionario akal de física*. Madrid: Ediciones Akal.

- Liou, F. W. (2007). *Rapid Prototyping and Engineering Applications*. Boca Ratón: Taylor y Francis group.
- Lozano, C. E. (2015). Servomotores. *METAL ACTUAL*, 34-38.
- Marín, J. G. (2007). *MANUFACTURA POR CAPAS: PROTOTIPADO RAPIDO*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Martínez, J. J. (2013). *Diseño de istema de fabricación aditiva y caracterización del proceso de fotocurado de resina mediante tecnología DLP*. Zaragoza.
- NSK. (2014). *NSK*. Retrieved from http://www.mx.nsk.com/cps/rde/xchg/mx_es/hs.xsl/ballscrews.htm
- PARALLAX. (2015). *PARALLAX INC*. Retrieved from <https://www.parallax.com/product/28995>
- PE, I. (2014). *ComoHacer.eu*. Retrieved from <http://comohacer.eu/analisis-comparativo-placas-arduino-oficiales-compatibles/>
- PROTORAPIDO. (2007). *PROTORAPIDO*. Retrieved from <http://www.protorapido.es/para.pdf>
- Sainsmart. (2015). *SAIN SMART*. Retrieved from <http://www.sainsmart.com/>
- Saravia, C. S. (2012). En la arquitectura, es la impresión en 3D de la nueva normalidad. *ArquiNoticias*.
- sedgwick3d. (n.d.). *FlashPoint™*. Retrieved from <http://sedgwick3d.com/FlashPoint/>
- ServoDatabase.com. (2015). *ServoDatabase.com*. Retrieved from <http://www.servodatabase.com/>
- Specialty Motions, Inc. (2015). *SMI4Motion*. Retrieved from www.smi4motion.com
- Techno, Inc. (2015). *ISEL-AUTOMATION*. Retrieved from Linear Motion Components: <http://www.techno-isel.com/>
- TECHNOINC. (2013). *Technoautomation*. Retrieved from www.technoautomation.com
- Toro, G. X. (2012). *Diseño, construcción y programación d una maquina de control numérico aplicada al prototipado rápido de modelado por deposición*

fundida de material para el laboratorio de mecatrónica de la Universidad Internacional del Ecuador. Quito: Universidad Internacional del Ecuador.

- Vishay Intertechnology, Inc. . (2012). *VISHAY*. Retrieved from <http://www.vishay.com/>
- Wittenstein. (2014). *Wittenstein-alpha*. Retrieved from http://www-alt.alphagetriebe.de/pdf/alpha_gk_14_ritzel-zahnstangees0614.pdf
- Yam, M. (2007, 04 04). *DAYLI TECH*. Retrieved from <http://www.dailytech.com/Laser+TV+to+Take+On+Plasma+and+LCD/article+5387c.htm>

ANEXOS

ANEXO 1

Especificación técnica de la resina

ANEXO 2

Matriz QFD

ANEXO 3

Cálculo del detalle mínimo

ANEXO 4

Manual del proyector

ANEXO 5

Cálculo del ángulo alfa

ANEXO 6

Cálculo de L1 y L2

ANEXO 7

Tabla de refracción

ANEXO 8

Planos mecánicos y electrónicos

ANEXO 9

Programación

Manual de operación