



M.R.

UNIVERSIDAD VASCO DE QUIROGA

FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA IMPRESORA 3D
OPEN SOURCE”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTA

EDGAR IVAN ALVAREZ LEON

ASESOR

M.C. SERGIO ARMANDO GALVÁN

CLAVE: 16PSU02140

ACUERDO: LIC120614

MORELIA, MICHOACÁN

MARZO-2017

Dedicatoria

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	X
ANTECEDENTES	XII
HIPÓTESIS.....	XIII
OBJETIVOS	XIV
ALCANCES Y LIMITACIONES.....	XV
JUSTIFICACIÓN	XVI
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 ESTADO DEL ARTE	1
1.2 IMPRESIÓN 3D	2
1.3 METODOS DE IMPRESIÓN 3D	5
1.3.1 ESTEREOLITOGRAFÍA (SLA)	6
1.3.2 SINTERIZADO SELECTIVO POR LASER (SLS)	7
1.3.3 DEPOSICIÓN POR PLÁSTICO FUNDIDO (FDM).....	8
1.4 VENTAJAS DE IMPRESIÓN 3D	9
1.5 APLICACIONES DE IMPRESIÓN 3D.....	10
CAPÍTULO 2 MARCO TEORÍCO	13
2.1 HISTORIA.....	13
2.2 PROYECTO REPRAP.....	15
2.2.1 MODELOS GENERALES DE IMPRESORAS 3D	17
2.3 IMPRESORAS ACTUALES EN EL MERCADO	22
2.4 MATERIALES DE IMPRESIÓN	46
2.4.1 POLIACIDO LACTICO (PLA).....	47
2.4.2 ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS).....	48
2.5 SISTEMAS DE CONTROL.....	49
2.6 ARQUITECTURA GENERAL DE LA IMPRESORA 3D	51
2.6.1 ARQUITECTURA DE CONTROL.....	51
2.6.2 ARQUITECTURA ELECTRÓNICA Y HARDWARE	52
CAPÍTULO 3 REVISIÓN TÉCNICA Y ANÁLISIS.....	54
3.1 REQUISITOS TÉCNICOS.....	54
3.1.1 FUNCIONALIDAD DE IMPRESORA 3D	54
3.1.2 ESPECIFICACIONES DE IMPRESORA 3D	55
3.2 IMPRESORA PRUSA I3K	55
3.3 ANÁLISIS DE ESTRUCTURA Y POSICIONAMIENTOS LINEALES.....	56
3.3.1 ALTERNATIVAS DE ESTRUCTURA Y POSICIONAMIENTOS LINEALES	56
3.3.2 ELECCION DE ESTRUCTURA	57
3.4 ANÁLISIS DE MECANISMOS Y SISTEMAS DE TRASMISIÓN.....	59
3.4.1 ALTERNATIVAS DE MECANISMOS Y SISTEMAS DE TRASMISIÓN	59
3.4.2 ELECCIÓN DE MECANISMO Y SISTEMA DE TRASMISIÓN.....	63
3.5 ANÁLISIS DE RODAMIENTOS.....	63
3.5.1 ALTERNATIVAS DE RODAMIENTOS	64
3.5.2 ELECCION DE RODAMIENTOS	65
3.6 ANÁLISIS DE ACTUADORES	66

3.6.1 ALTERNATIVAS DE ACTUADORES.....	66
3.6.2 ELECCIÓN DE ACTUADORES.....	67
3.7 ANÁLISIS DE SENSORES.....	70
3.7.1 ALTERNATIVAS DE SENSORES.....	71
3.7.2 ELECCION DE SENSORES.....	73
3.8 ANÁLISIS DE EXTRUSOR.....	73
3.8.1 ALTERNATIVAS DE EXTRUSORES	73
3.8.2 ELECCIÓN DE EXTRUSOR	76
3.9 ANÁLISIS DE ELECTRÓNICA.....	77
3.8.1 ALTERNATIVAS DE ELECTRÓNICA	77
3.8.2 ELECCIÓN DE ELECTRÓNICA	80
3.10 ANÁLISIS Y ELECCIÓN DE FIRMWARE.....	81
CAPÍTULO 4 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	82
4.1 DISEÑO MECANICO.....	82
4.1.1 DISEÑO DEL EXTRUSOR.....	83
4.1.2 CONSTRUCCION DEL EXTRUSOR	83
4.1.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA Y POSICIONAMIENTOS LINEALES.....	84
4.1.3.1 DISEÑO DEL SOPORTE-CARCASA.	85
4.1.3.2 DISEÑO POSICIONAMIENTOS LINEALES.....	87
4.1.4 CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA Y POSICIONAMIENTOS LINEALES.	88
4.1.5 DISEÑO DE EJES X,Y,Z Y SISTEMAS DE TRASMISIÓN..	89
4.1.5.1 DISEÑO DE EJE X.....	89
4.1.5.2 CONSTRUCCIÓN DEL EJE X.....	95
4.1.5.3 DISEÑO DE EJE Y	99
4.1.5.4 CONSTRUCCIÓN DEL EJE Y	104
4.1.5.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRASMISION X-Y	110
4.1.5.6 DISEÑO DEL EJE Z.....	112
4.2 INTERFAZ ELECTRÓNICA DE LA IMPRESORA I3K.....	116
4.2.1 INTERFAZ HOMBRE MAQUINA.	117
4.2.2 TARJETA MADRE DE LA IMPRESORA 3D.....	118
4.2.3 FUENTE DE PODER.	120
4.3 PROGRAMACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA IMPRESORA 3D.	121
4.3.1 INSTALACIÓN DE FIRMWARE.	121
4.3.2 SOFTWARE DE CONTROL Y CALIBRACIÓN.	128
4.3.2.1 PRONTERFACE	128
4.3.2.2 CURA.	130
4.3.3 PUESTA EN MARCHA	143
4.3.4 OBTENCIÓN DE UNA ÓPTIMA CALIDAD DE IMPRESIÓN 3D.....	146
CAPÍTULO 5 PRESUPUESTO Y RESULTADOS.....	149
5.1 COSTOS	149
5.1.1 COSTOS DIRECTOS.....	149
4.1.2 COSTOS INDIRECTOS.....	151
5.2 RESULTADOS.....	152
CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	154
6.1 CONCLUSIONES	154
6.2 TRABAJO FUTURO.....	156
BIBLIOGRAFÍA.....	158
ÍNDICE DE FIGURAS	162
ÍNDICE DE TABLAS	165

**APÉNDICE 1 DISEÑO DE LA IMPRESORA 3D I3K MEDIANTE SOFTWARE
SOLIDWORKS (EN CD)**

**APÉNDICE 2 LINKS DE DESCARGA DE PROGRAMAS A UTILIZAR Y
ANEXOS DE DIAGRAMAS (EN CD)**

RESUMEN

El presente estudio de investigación tiene como objetivo diseñar y construir una impresora 3D de bajo coste, iniciando con el inicio de las impresoras 3D en el mercado actual en México, seguido de los materiales plásticos con los que se busca trabajar. Posteriormente se diseña un modelo CAD de la impresora 3D obteniendo dos enfoques; 1) los que no cuentan con el recurso de una impresora 3D para replicar, 2) los que cuentan con la misma, implementando mejoras de las piezas y reducir en su mínimo las piezas imprimibles del modelo Prusa i3, aplicando análisis de esfuerzos, análisis de fuerzas, cargas, análisis de cuerpos libres, análisis de sistemas de transmisión, dinámica, entre otros.

La impresora 3D estará compuesta por 4 mecanismos, el cual se ilustrara al usuario para que sea capaz de construir una impresora 3D usando el modelo aquí descrito, aconsejando los posibles errores, mostrando las alternativas y mejoras tanto mecánicas como electrónicas que se encontraran a lo largo del proceso. Otra mejora que se realizara es en el extrusor, cambiando el mecanismo de extrucción teniendo una mejor resistencia y calidad en el material a extruir, además de una mayor selección de materiales a modelar. La impresora 3D de bajo coste será capaz de nivelarse y detectar sus límites máximos de la base, de forma automática mediante un dispositivo electrónico, característica que no cuentan las impresoras comerciales de bajo costo.

Se interpretara el proceso de calibración, y todos los parámetros que intervienen en el proceso de construcción, obteniendo así modelos 3D de plástico con una mayor precisión, incluyendo el proceso de impresión de un modelo CAD a través del software Cura. Se anexara los planos 3D de los materiales de la impresora, para finalmente estimar el Presupuesto final en la fabricación de la impresora 3D, teniendo como resultado una impresora 3D de bajo costo, comparándolas con las que se encuentran en el mercado actualmente en México.

Con las mejoras realizadas será capaz de producir modelos tridimensionales que el usuario diseñara en un software CAD en diferentes tipos de materiales plásticos (ABS, PLA, NYLON, WOOD, PVA), entre otros.

ABSTRACT

This research study aims to design and build a low-cost 3D printer, starting with the beginning of 3D printers on the market today, followed by plastics with which we will work. A CAD model of the 3D printer then getting two approaches designed; 1) those who do not have the resource to replicate a 3D printer, 2) those who have it, implementing improvements of parts and reduce the minimum printable parts Prusa 13 model, using deformation analysis, analysis efforts, analysis of forces, loads, free body analysis, analysis of transmission systems, dynamics, among others.

The 3D printer will consist of four mechanisms, which illustrate the user to be able to build a 3D printer using the model described here, advising any errors, showing alternatives and both mechanical and electronic improvements found throughout process. Another improvement is to be held in the extruder changing mechanism having improved strength and quality in the material to be extruded, and a greater choice of materials to be patterned. The low cost 3D printer will be able to catch up and listen to its maximum limits of the base, automatically by an electronic device, a feature that do not have commercial printers inexpensive.

The calibration process is interpreted in this studio, and all parameters involved in the construction process, thereby obtaining plastic 3D models with greater precision, including the printing of a CAD model 3D materials printer, to finally estimate the final Budget in making the 3D printer, resulting in a 3D printer inexpensive comparing them with those found on the market today in Mexico is annexed drawings.

With the improvements will be capable of producing three-dimensional models the user to design in a CAD software on different types of plastic materials (ABS, PLA, NYLON, WOOD, PVA), among other

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Este proyecto consistirá en la construcción de una máquina capaz de realizar impresiones de diseños en 3 dimensiones (anchura*longitud*profundidad). Esta máquina se basa en la fabricación de piezas por medio del fundido de un hilo de plástico conocido como tecnología FDM¹ y una serie de mecanismos que facilitan la impresión en tercera dimensión a partir de un diseño hecho por un ordenador.

Actualmente las impresoras en 3D no se ha convertido en una máquina cotidiana en el hogar, inclusive en un ambiente laboral, ya que la gran mayoría de la sociedad desconoce de la misma, pero ¿qué beneficios conlleva esta impresora 3D?

La novedad que ofrece esta impresora es la sencillez en la hora de trabajo para el usuario, un aumento de velocidad y estabilidad teniendo así una mejor calidad del producto final, además tiene un tamaño más pequeño a las demás para su fácil movilidad, una desventaja en el tamaño es que se limita a hacer piezas de una determinada medida, una de las ventajas más importantes en la industria es el ahorro del material del que se desea construir el objeto, ya que la impresión usa tan solo la cantidad necesaria de material.

Los métodos de producción tradicional en una empresa es generando a partir de la eliminación de exceso de material, además de que existe un gran campo en el que se puede aplicar tan solo por dar algunos podemos encontrar en el área médica, la creación de prótesis, en la industria textil, la creación de vestidos o accesorios, en arquitectura, en la creación de maquetas.

¹ Fused Deposition Modelling (Modelado por deposición fundida), creación de piezas capa por capa de abajo a arriba calentando y extrudiendo el filamento termoplástico.

En las industrias de producción se encuentra una infinidad de máquinas que cada una de ellas está limitada a fabricación de un producto específico, lo cual una impresora 3D puede realizar una infinidad de productos de diferentes diseños y cantidades. La reducción de coste es una principal ventaja ya que se pueden realizar objetos simples como complejos inclusive para el hogar. La impresión 3D en México tiene mucho campo por recorrer y cada vez se aplicará en más campos.

ANTECEDENTES

“Todo comenzó en un laboratorio donde Chuck Hull¹ trabajaba en la década de 1980 como ingeniero para crear prototipos. Había estado usando resina para endurecer la superficie de los prototipos, cuando de repente se dio cuenta de que podía poner la resina en capas. Una vez en capas, la resina podía ser moldeada con luz ultravioleta. Así nació la impresión 3D. Tendrían que pasar otros 30 años antes de que realmente despegara.”

Las impresoras en 3D, si bien han existido desde hace más de 30 años, actualmente se ha empezado a adquirir gran relevancia y popularidad debido a su amplio ámbito de aplicaciones y fundamentalmente gracias al descenso de sus precios.

A lo largo de la investigación se va a encontrar una infinidad de máquinas que actualmente hacen la misma función de realizar impresiones en 3 dimensiones, pero muchas de ellas tienen un costo excesivo para el usuario, comúnmente se relacionan como máquinas industriales, lo que hace diferente este proyecto de las demás es la facilidad de adquirir una a un precio relativamente bajo y obtener piezas a una calidad por debajo de las industriales. Además este proyecto ayudara al usuario a construirla paso a paso partiendo de una impresora prototipo hasta una impresora capaz de producir objetos tridimensionales con una calidad adecuada , obteniendo así las diferentes mejoras que se van mencionar a lo largo del proceso.

¹ Chuck Hull (Charles W. Hull; born May 12, 1939), inventor de la impresión 3D en la década de los 80.

HIPÓTESIS

Actualmente existen muy pocos documentos que te ayudan a ensamblar y construir una impresora desde inicio. Por ello, por medio del uso de estos materiales de investigación que ayudaran en la optimización de la construcción de una impresora 3D y mejorara su rapidez, reduciendo costos de material y a su vez contara con los principales conceptos de electrónica y mecánica para estar familiarizado con el producto final mediante análisis de matemáticos.

Estimando el Presupuesto final en la fabricación de la impresora 3D que en base al historial que se ha planteado anteriormente se afirma que se podrá reducir de un 30% a 50% de ahorro a las que actualmente se encuentran en el mercado en México, y así ser más accesible al usuario.

OBJETIVOS

Objetivo General

- ❖ Diseñar y ensamblar una impresora 3D de bajo costo con el fin de ahorrar dinero y tiempo.

Objetivos Específicos

- ❖ Aportar alternativas de las impresoras 3D ya existentes para mejorar su fabricación y estabilidad mediante análisis matemáticos.
- ❖ Dar a conocer los conceptos básicos sobre la electrónica y los diferentes mecanismos a utilizar, incluyendo nuevamente las mejoras que podrían existir a lo largo del proceso.
- ❖ Implementar sistemas de calidad y calibración a lo largo del proceso de fabricación de algún modelo o pieza.
- ❖ Demostrar la reducción de costos y estimar el Presupuesto final en la fabricación de la impresora 3D.
- ❖ Demostrar la puesta en marcha e impresión de un modelo CAD¹.

¹ Computer-aided design (Diseño Asistido por Computadora), permite el uso de un amplio rango de herramientas computacionales que asisten a ingenieros, arquitectos y diseñadores.

ALCANCES Y LIMITACIONES

1. El presente estudio explorará el mercado global de las impresoras actuales en diseño, calidad y precio.
2. Se realizara la construcción física de la impresora 3D y puesta en marcha de la misma.
- 3.- La investigación abarca únicamente a las empresas dedicadas al desarrollo de impresoras 3D en México, comparándolas con la desarrollada en este estudio.
- 4.- El presupuesto de la impresora puede cambiar debido a los cambios de constantes de precios de los diferentes materiales directos e indirectos que se incluyen en la impresora 3D.
- 5.- El constante cambio de versiones del software a utilizar a lo largo del estudio es significativo debido a las actualizaciones que realizan los diseñadores de dichos software, mejorándolos o limitando ciertas opciones que probablemente pueden llegar a necesitarse en nuestro estudio.
6. El período de tiempo de recolección de la información comprende un año de duración a partir de Noviembre del 2015 aproximadamente.

JUSTIFICACIÓN

Esta investigación inicia partiendo del diseño de la impresora Prusa i3¹ y su base en la importancia que están adquiriendo las impresoras en 3D en relación a una nueva forma de producción más eficaz que puede revolucionar los métodos hasta ahora conocidos, con esto, la idea de fabricar no solo mis propias piezas o prototipados, sino también se pueden incluir en el mercado este tipo de impresora que en la actualidad no está al alcance de todos, con esto se pueden realizar impresiones en diferentes materiales plásticos, a un coste relativamente bajo.

Además de que esta máquina cumple con la gran mayoría de las áreas en las que se enfoca mi carrera de Ingeniería en Mecatrónica y poner en práctica todo mi proceso formativo que me ofrece la Universidad como es la mecánica, eléctrica, electrónica, control y programación.

Otro aspecto en el cual me intereso más en la fabricación de la impresora 3D, es la cantidad de aplicaciones que hay en el mercado, ya que todo lo que se necesita para construir y hacerla funcionar está al alcance de nosotros, permitiendo así contribuir un poco en el desarrollo de una nueva tecnología que tendrá un reflejo importante en el futuro.

Por otro lado, implementando sistemas de calidad en el manejo de la impresora 3D, que en la actualidad muchas de las impresoras diseñadas en México carecen de dichos sistemas y vida útil en las piezas imprimibles.

¹ Prusa i3, modelo de impresora 3D desarrollado por RepRap Prusajr.

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Estados del Arte.

Todo inicia con una idea concreta, que es transformar objetos reales creados a partir de un modelo CAD a través de un software, para después obtener un objeto tridimensional mediante la impresión 3D y así obtener objetos en masa para su comercialización; hoy en día esto es realidad, gracias a la impresión 3D.

Como Ingeniero en Mecatrónica, es fundamental tener en cuenta ciertas variables que se generan a lo largo del proceso, como es la optimización del costo de su fabricación, tiempo, funcionabilidad, calidad, resistencia, sin dejar atrás la innovación y mejora de nuevos productos.

En la actualidad podemos encontrar en el mercado una infinidad de impresoras 3D, que para algunos no están a nuestro alcance debido a su elevado costo, sin embargo, existen impresoras 3D de bajo coste, todas estas cuentan con diferentes métodos de impresión que se mostraran más adelante (1.3), pero todas se realizan con la misma secuencia de impresión.

Makerbot [1], MakerMex [2], Bits for bytes [3], wanhao [4], Ideaz 3D [5], Newmatter [6] y Printrbot [7] son algunas de las empresas que actualmente comercializan impresoras 3D de bajo coste, todas con un solo objetivo, que cada persona fabrique modelos 3D desde su hogar.

Existe la posibilidad de que en un futuro no muy lejano esto sea realidad, millones de impresoras 3D personales y de gama alta se encuentren en las industrias y en el hogar por todo el mundo para producir cualquier objeto tridimensional, no solo de un material en específico, sino de varios materiales con diferentes propiedades.

En México, esta tecnología no se encuentra actualmente en su mayor apogeo ya que a pesar de que varias empresas se benefician con esta nueva innovación, la mayoría de las impresoras 3D son importadas de diferentes países, esto debido a varios factores como son:

- Escasas fuentes de inversión.
- Escaso desarrollo de Tecnología.
- Diseño y fabricación de productos.
- Maquinaria CAM¹ muy poco utilizada en las industrias.
- Producción no competitiva a nivel mundial.

Sin embargo, empresas nacionales como MakerMex [2], Ideaz 3D [5], Colibri 3D [8], Diseñar 3D [9], entre otras, han impulsado con el desarrollo de esta tecnología, permitiendo el uso de la impresora 3D en el hogar a un costo menor que en los últimos años. Aunque falta mucho por desarrollar los métodos de impresión comparadas con otros países, se espera que en México, en pocos años avance de manera significativa gracias a la sociedad que se dedica a la investigación y desarrollo de tecnología.

1.2 Impresión 3D.

Antes de comenzar con la impresora 3D, debemos tener el concepto de impresión 3D, la impresión 3D, también llamada fabricación por adición, es el proceso de fabricar un objeto sólido tridimensional de casi cualquier forma a partir de un modelo digital computarizado.

Existen dos opciones para fabricar un objeto tridimensional, 1) crear a través de un software CAD y 2) Escanear o digitalizar un sólido real y convertirlo en un modelo 3D.

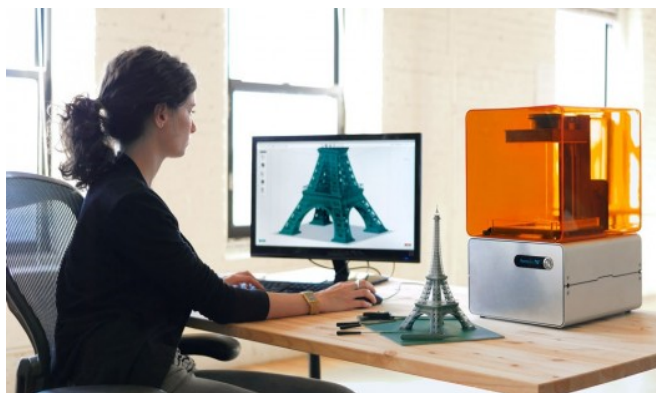


Figura 1.1 Creación de Modelo y prototipado 3D. [10]

¹ Computer Assited Manufacturing (Manufactura Asistida por Computadora), implica el uso de computadores y tecnología de cómputo para ayudar en la fase directa de manufactura de un producto.

La impresión 3D se logra a partir de un procedimiento de adición en el que se inyectan capas sucesivas generalmente de plástico, para obtener como resultado un modelo final. Este proceso usa las impresoras 3D, son más rápidas, baratas y fáciles de usar que otros procesos por adición. Estas reciben información de los archivos CAD que previamente se han tenido que crear y en los que se puede realizar cualquier tipo de geometría. Estos archivos contienen los datos necesarios para que la impresión 3D se realice correctamente.[88]

En la actualidad existe diferentes pasos para realizar una impresión 3D, pero la secuencia general de las impresoras 3D son similares entre sí. La secuencia general se muestra en la Figura 1.2

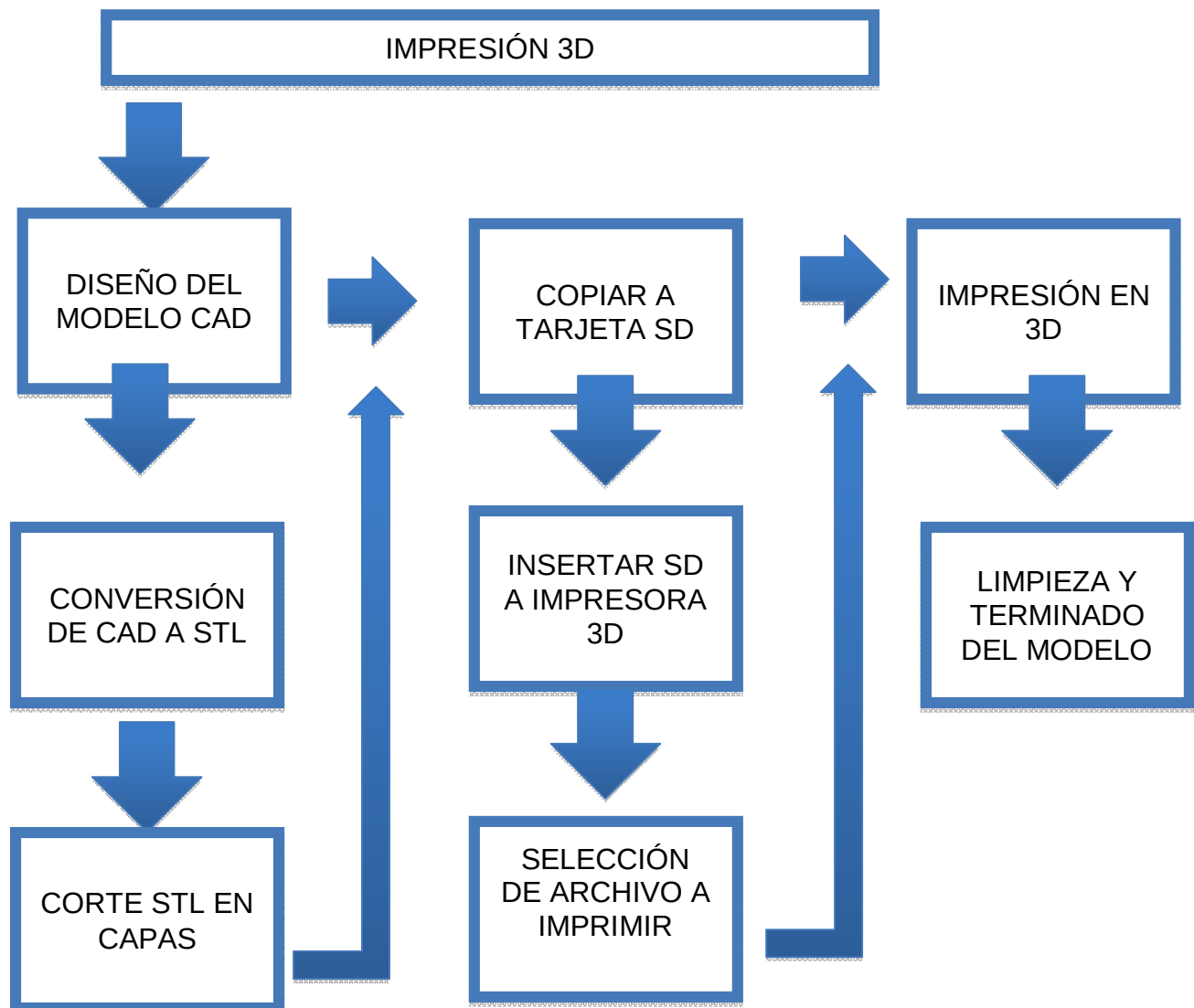


Figura 1.2 Secuencia general de impresión 3D. [11]

1.-Diseño del Modelo CAD.

El modelo CAD se crea a través de algún software CAD como ejemplo Autocad, Solidworks, Inventor, Slicer, InkScape, SketchUp, OpenScad, TinkerCad, MeshLab entre otros. La elección del software depende del modelo que se desea realizar.

2.- Conversión de CAD a STL¹.

Los software mencionados anteriormente utilizan un sin fin de números algorítmicos para representar un objeto sólido. La forma en la que se representan los formatos en STL es mediante triángulos planos, por lo que entre mayor sean los triángulos se obtendrá una mejor precisión, esto mucho depende de la calidad a la que se requiera el modelo a imprimir, entre mayor calidad se requiera, mayor será el tiempo de procesado.

3.- Corte STL en capas.

En este paso un programa externo al CAD interpreta el algoritmo en STL para su lectura. Existen muchos software como Cura, Slicer, Pronterface, entre otros que se dedican a transformar en capas, lo cual la mayoría de dichos software permiten modificar la escala, orientación y ubicación del modelo.

Transformando el STL en pequeñas capas con un espesor dado por el usuario generando una estructura para soportar el modelo capa por capa.

4.- Impresión en 3D

Impresión en 3D o conocido también como Construcción del modelo capa por capa, este paso se identifica como la construcción del modelo por medio de G-Code², más adelante se instruirá al lector del formato G-Code.

5.-Limpieza y Terminado del Modelo.

El paso final es el más importante para una mejor calidad del modelo, esto incluye extraer la pieza de la impresora 3D y retirar los soportes si es de ser necesario.

¹ STereo Lithography (Estereolitografía), formato de archivo informático de diseño asistido por computadora que define geometría de objetos 3D.

² G-Code, lenguaje de programación usado en máquinas de control numérico.

Algunos modelos requieren diferentes técnicas de limpieza o tratamiento superficial.

Actualmente esta tecnología es mayormente usada en joyería, zapatería, diseño industrial, arquitectura, ingeniería y construcción, industria automotriz, aeroespacial, dental y médica, educación, sistemas de información geográfica y para otras muchas aplicaciones profesionales que se añaden a esta lista cada año [12].

1.3 Métodos de Impresión 3D.

Varios métodos de impresión 3D se inventaron a finales de los años 70, sin embargo las impresoras de esa actualidad eran demasiado grandes, a un excesivo precio y con limitaciones en el modelo a imprimir.

La tecnología de impresión 3D más común era la FDM¹ que fue inventada y patentada en 1989 por S. Scott Crump² y comercializada por la compañía que cofundó, la Stratasys. Esta se unió con una empresa líder del mercado, la Objet, y se convirtieron en la más grande fábrica de impresoras 3D y de materiales para impresión 3D que existe hoy [12].

A continuación se muestra en la Tabla 1.1 las principales tecnologías disponibles:

Tabla 1.1 Principales Tecnologías de Impresión 3D. [13]

TIPO	TECNOLOGIAS
Extrusión	Modelado por disposición fundida (FDM)
Hilado	Fabricación por haz de electrones (EBF3)
Granulado	Sinterizado de metal por láser (DMLS) Fusión por haz de electrones (EBM) Sinterizado selectivo por calor (SHS) Sinterizado selectivo por láser (SLS) Proyección aglutinante (DSPC)
Laminado	Laminado de Capas (LOM)
Foto químicos	Estereolitografía (SLA) Foto polimerización ultravioleta (SGC)

Actualmente los métodos mayormente utilizados por las impresoras 3D en el mercado se muestran a detalle a continuación.

¹ Fused Deposition Modelling (Modelado por deposición fundida), creación de piezas capa por capa de abajo a arriba calentando y extrudiendo el filamento termoplástico.

² S. Scott Crump, inventor y patente del Modelado por disposición fundida en 1989.

1.3.1 Estereolitografía (SLA¹).

La Estereolitografía es un proceso en el que consiste en la adición de resina fotosensible por medio de capas que se va solidificando mediante luz ultravioleta. Como se muestra en la Figura 1.3.

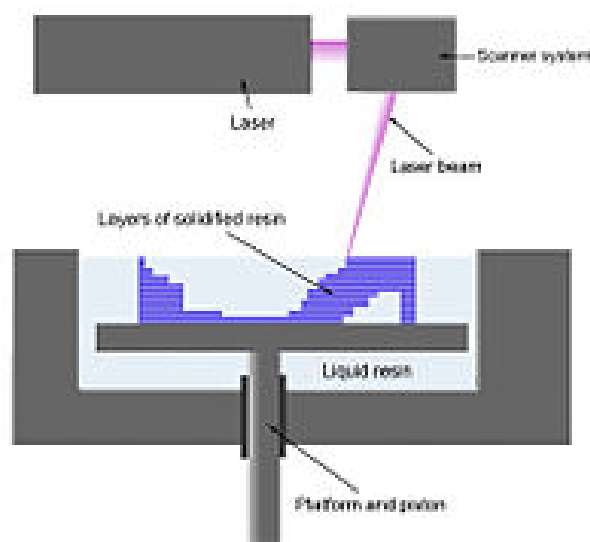


Figura 1.3 Proceso de Estereolitografía.

Todo comienza con la plataforma de elevación el cual se encuentra en un baño de resina fotosensible líquida. Al elevarse la plataforma actúa la luz ultravioleta producida por el láser, el cual va curando la resina, es decir; solidificando capa por capa en puntos geométricos obtenidos por el modelo a imprimir.

Actualmente este proceso es uno de los más rápidos, el acabado superficial de los modelos a imprimir son de buena calidad y obtener una gran precisión. Al ser un proceso rápido y efectivo, la resina fotosensible suele ser cara para el usuario, por lo que todavía no podemos encontrar una impresora de bajo costo con este proceso en el mercado [14].

¹ SLA (Estereolitografía), también conocida como fabricación óptica o foto solidificación. Es la técnica de prototipado y fabricación rápida más antigua.

1.3.2 Sinterizado Selectivo por Laser (SLS¹).

Como se muestra en la Figura 1.4, el sinterizado selectivo por laser es una técnica de prototipado rápido en el que deposita en un deposito una capa de polvo, posteriormente un rodillo se encarga de alimentar la base de construcción con el dicho polvo, seguidamente un laser CO2 sinteriza el polvo en los puntos seleccionados por el software, causando que las partículas se fusionen y se solidifiquen en el modelo a imprimir.

Por lo general las capas de polvo son de decimas de milímetros; además, ya que es un proceso de gran flexibilidad, permite la conversión en una infinidad de materiales, tales como:

- Plástico
- Metal
- Cerámica
- Cristal

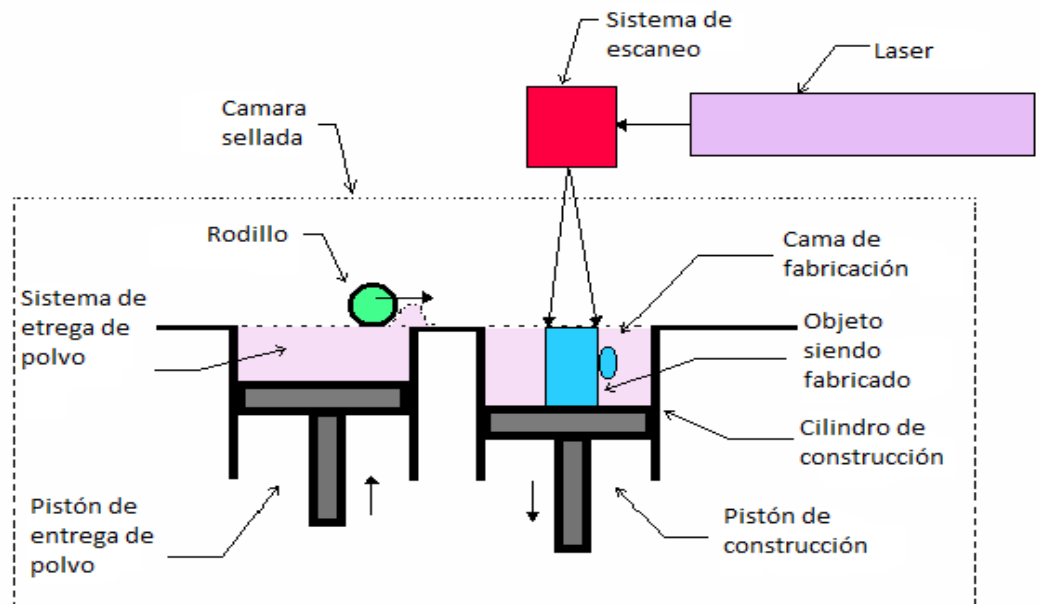


Figura 1.4 Proceso de Sinterizado Selectivo por Laser.

La tecnología SLS se está expandiendo por todo el mundo debido a la facilidad que tiene para la fabricación de piezas de geometría muy compleja directamente de los modelos digitales CAD². Mientras que comenzó a utilizarse como un método de obtención de prototipos rápido, se está cada vez usando más en la producción de

¹ SLS (Sinterizado selectivo por laser), es una técnica de prototipado rápido que fabrica las piezas por capas.

² Computer-aided design (Diseño Asistido por Computadora), permite el uso de un amplio rango de herramientas computacionales que asisten a ingenieros, arquitectos y diseñadores.

piezas para uso final. Lamentablemente este proceso tiene un costo elevado a comparación de otras [15].

1.3.3 Deposición por plástico fundido (FDM¹).

El proceso por deposición por plástico fundido es la más usada en las impresoras 3D después de la Estereolitografía, gracias a su bajo coste y confiabilidad.

Fue Scott Crump fundador de la empresa Stratasys e inventor de la tecnología FDM en 1992, este proceso consiste en modelado capa por capa al calentar un material termoplástico, como se muestra en la Figura 1.5, mediante un nozzle o boquillas de extrusión se calienta el material a una temperatura superior a la transición vítrea del material y es extruido hasta un estado casi liquido por debajo del punto de fusión del polímero por lo que se necesita poca energía para derretirlo [16].

Las celdas de material de la impresora 3D transmiten los filamentos de material al cabezal de impresión, que se mueve en coordenadas X e Y, a la vez que deposita el material en la base de deposición para completar cada capa antes de que dicha base se mueva hacia abajo en el eje Z y comience la capa siguiente [17] [18].

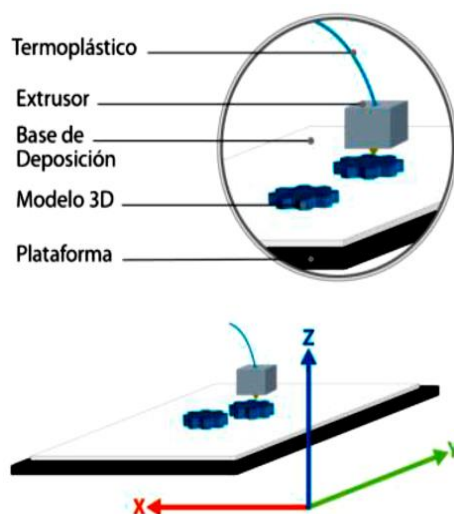


Figura 1.5 Proceso de modelado por FDM.

¹ FDM (Deposición por plástico fundido), fundado e inventado por Scott Crump en 1992.

A continuación se muestra en la Tabla 1.2 las ventajas y desventajas de esta tecnología:

Tabla 1.2 Ventajas y desventajas del proceso de modelado por FDM [19].

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Realiza piezas de alta precisión. Campos de tolerancia máxima de 0,1 mm en 400mm de longitud.	Acabado superficial no demasiado bueno, aspecto granulado.
Modelos generados de diferentes colores.	Precisión limitada comparada con procesos basados en líquidos.
El proceso no produce desechos tóxicos.	Es difícil construir diseños con detalles muy complejos.
Los modelos son estables dimensionalmente y con muy buenas características mecánicas, para realizar ensayos funcionales, montajes, etc.	Se pueden generar tensiones dentro del modelo debido al calentamiento y rápido enfriamiento que sufre el material en la deposición. Esto puede provocar distorsiones en el producto final.
Su velocidad relativa y bajo coste, permite hacer pequeñas series.	El tamaño de construcción es limitado.
Aptos para pintar, cromar, mecanizar.	Necesidad de soportes en modelos que se requieran.
Fácil de usar, seguro y usa materiales económicos.	

La gran mayoría de las impresoras 3D que están actualmente en el mercado son realizadas con el proceso anterior gracias a su facilidad y accesibilidad, por lo que en este proyecto vamos a utilizar esta tecnología FDM gracias a su bajo coste y ventajas significativas.

1.4 Ventajas de Impresión 3D.

Una de las principales ventajas de la impresión 3D y que las empresas de más éxito han adoptado como una parte importante del proceso de diseño es aumentar la innovación.

- **Aumentar la innovación:**

Imprimir prototipos en horas, mejorar los diseños y repetir el ciclo hasta que los diseños sean perfectos.

- **Mejorar la comunicación:**

Crear modelos físicos en 3D rápidamente, de forma sencilla y asequible para una amplia variedad de aplicaciones.

- **Acelerar el tiempo de comercialización:**

Comprimir los ciclos de diseño mediante la impresión en 3D de los prototipos demandados sin salir de su oficina.

- **Reducir los costos de desarrollo:**

Recortar los costos del prototipado y las herramientas tradicionales e identificar con anterioridad los errores de diseño.

- **Ganar negocios:**

Ofrecer modelos en 3D realistas a clientes potenciales, patrocinadores o grupos de sondeo.

- **Versatilidad:**

Gran parte de la manufactura actual, se realiza con máquinas específicas cuya función está limitada y si el producto cambia, la máquina también debe readaptarse o cambiarse.

- **Flexibilidad y prototipado rápido:**

El límite es la imaginación y la capacidad para representar tus ideas en 3D. Permite realizar prototipos de productos con facilidad, lo que puede implicar una mejora en el diseño de éstos.

- **Personalización.**

Una de las ventajas más atractivas, es la posibilidad de realizar tus propias prendas, objetos, productos de forma personalizada y exclusiva [20] [21].

1.5 Aplicaciones de Impresión 3D.

Actualmente existen una infinidad de aplicaciones que se están haciendo realidad gracias a la impresión 3D, ya que, si bien se ha comentado anteriormente, los

primeros prototipos fueron realizados hace mas de 20 años, pero aun hay demasiados aspectos por mejorar por ellos, se ha extendido en diferentes campos, se muestran en la Figura 1.6.

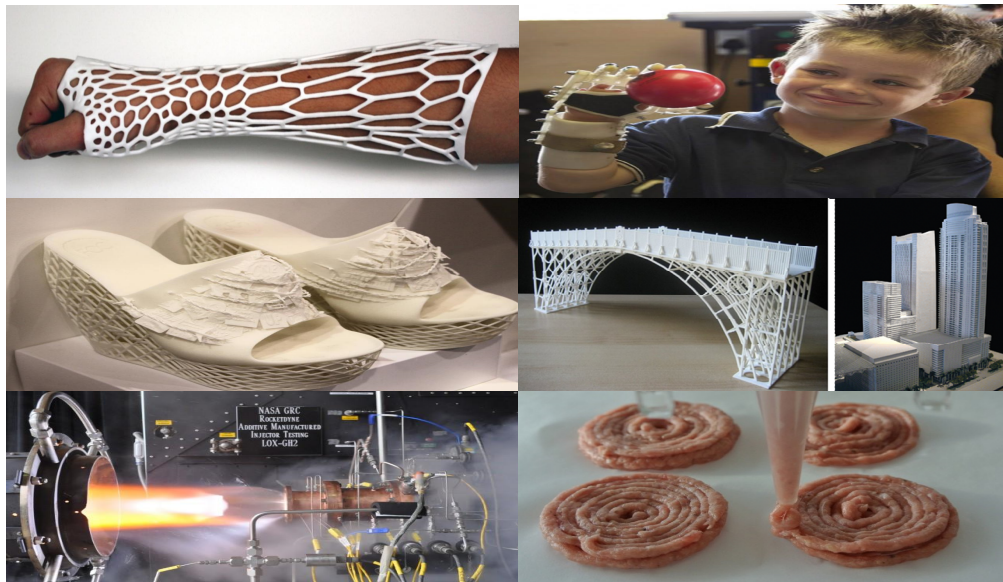


Figura 1.6 Diversas aplicaciones de la Impresión 3D [22] [23] [24].

INGENIERÍA: Permite a los ingenieros poner a prueba ideas de modelos tridimensionales a bajo costo, antes de comprometerse con herramientas costosas y procesos de fabricación complicados, como son engranes, sistemas mecánicos, tornillería, diseños de estructuras, robótica, aeronáutica, etc.

ARQUITECTURA: Es una parte clave del proceso creativo para empresas de arquitectura, pues al disponer de maquetas rápidas y estructuras difíciles de moldear, es una ventaja real a la hora de conocer las necesidades y expectativas de los clientes.

MEDICINA: Hoy en día, los cirujanos la utilizan para imprimir partes del cuerpo, como referencia antes de realizar cirugías complicadas, o para crear injertos de huesos o prótesis.

EDUCACIÓN: En este sector brinda la posibilidad de poner en práctica la creatividad de los alumnos, aumentando en gran medida su capacidad de aprendizaje realizando prototipos educativos.

ARTE: Permite a los artistas crear objetos que serían increíblemente difíciles, costosos o que consumiría mucho tiempo construir con los procesos tradicionales.

ARQUEOLOGÍA: El uso de esta tecnología permite la réplica de reliquias de alto valor cultural donde el contacto directo con sustancias de moldeo puede dañar la superficie del objeto original.

HOGAR: Los artículos para el hogar son estructuralmente simples, muy decorativos y perfectos para la impresión 3D.

TEXTIL: Se comenzó a usar la impresión en 3D en el 2014, inicialmente imprimieron complementos como bolsos, brazaletes o sombreros y unos meses después lanzaron las primeras prendas para vestir. Pudiendo crear modelos más creativos, el principal inconveniente en este sector es que la exclusividad está muy valorada y con esta tecnología se perdería [25].

GASTRONOMIA: Una de las aplicaciones más sorprendentes es la impresión de alimentos. Actualmente la NASA invierte dinero para la creación de dicha impresora, ya se encuentran en el mercado impresoras en el sector alimenticio de chocolate, por lo que en un futuro estaremos viendo impresoras capaces de imprimir comida, gracias a ser de software libre, permitirá a los entusiastas mejorar el dispositivo y ampliar en el futuro el surtido de platos [26] [27].

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Historia.

Las impresoras en 3D, si bien ha existido desde hace más de 30 años, actualmente ha empezado a adquirir gran relevancia y popularidad debido a su amplio ámbito de aplicaciones y fundamentalmente gracias al descenso de sus precios ya que años atrás era casi imposible tener una de ellas en una empresa propia o en el hogar, tanto de impresoras como de consumibles, al menos en la rama de impresoras personales, ahora ya no solo los grandes inversionistas ni desarrolladores tienen accesible esta importante y novedosa máquina.

Las impresoras 3D nacen de la idea de convertir en objetos reales diseños realizados con un programa CAD en una computadora. A continuación se muestra una línea de tiempo desde la invención de la impresora 3D hasta el año 2015 de los resultados obtenidos gracias a la impresión 3D.

1983 - Chuck Hull, un inventor destacado en el campo de la óptica iónica, idea el primer método de impresión 3D: la Estereolitografía.

1988 - Lisa Crump y Scott crearon la empresa Stratasys. Una nueva tecnología de impresión 3D es entonces desarrollada el Modelado por Deposición Fundida (FDM).

1990 – Se desarrollan nuevas tecnologías de impresión 3D, una de ellas es la impresión por láser. Scott Crum, establece la empresa Stratasys para la comercialización de su invento.

1992 – Se lanza la primera Impresora 3D con tecnología de Estereolitografía (SLA) en el mercado desarrollada por la empresa 3D Systems.

1993 – Inician la venta de los primeros equipos basados en esta tecnología a través de la compañía 3D Systems, creada en 1988 por Chuck Hull.

1996 – Tres impresoras surgen en el mercado: el Genisys Stratasys, el Sistema de Actua 2100 3D y el Z402 de ZCorporation. Por primera vez que se conoce el nombre de “Impresoras 3D”.

1999 – Órganos de ingeniería traen nuevos avances en medicina. Se implanta en humanos el primer órgano creado en laboratorio. Se trata de un aumento de vejiga urinaria, mediante recubrimiento sintético empleando las propias células del paciente por el Instituto de Wake Forest de Medicina Regenerativa.

2002 – Primer riñón 3D en funcionamiento. Los científicos diseñan un riñón en miniatura completamente funcional y con la capacidad de filtrar sangre y producir orina diluida en un animal, desarrollado por el Instituto de Wake Forest de Medicina Regenerativa.

2005 – Nacimiento de RepRap como iniciativa de Código Abierto (Open Source). El Dr Bowyer, de la Universidad de Bath, Reino Unido, desarrolla la primera máquina 3D auto replicable: la RepRap.

2006 – Se construye la primera máquina con tecnología de Sintetización de laser selectivo (SLS) viable, que utiliza un láser para fundir materiales en la impresión en 3D.

2008 – Lanzamiento de la primera impresora 3D auto replicable: “Darwin”, por la empresa RepRap. También se crea una prótesis médica completamente funcional.

2009 – Se lanza los primeros kits de montaje que permiten a los usuarios la fabricación de sus propias impresoras 3D por la empresa Makerbot. Dr. Gabor Forgacs’s technology, realiza la primera impresión 3D de vasos sanguíneos.

Fue hasta el 2011, cuando 15.000 impresoras 3D se vendieron entre los 40 modelos que ya están disponibles en el mercado y así se vinieron nuevas formas de impresión 3D.

2011 – Los ingenieros de la Universidad de Southampton diseñan y planean el primer avión impreso en 3D y ese mismo año, Kor Ecologic presenta Urbee, un prototipo de coche con toda su carrocería diseñada e impresa en 3D. La empresa materialise ha sido pionera en impresión 3D en oro de 14 kilates y plata de ley.

2012 – Ingenieros y doctores holandeses emplean una impresora 3D específicamente diseñada por la empresa LayerWise, para la creación de prótesis de mandíbula personalizadas al paciente.

2013-2014 – Comienzo de impresión 3D con diferentes materiales desde plástico a acero inoxidable o titanio, en el sector gastronómico se imprime chocolate y caramelo desarrollada por 3D Systems.

2015 – Primer medicamento fabricado con una impresora 3D, unas píldoras solubles para el tratamiento de la epilepsia desarrollado por el laboratorio Aprecia Pharmaceuticals, con sede en Oslo, Noruega. Probionics, empresa mexicana fundada por Luis Armando Bravo, se unió este año a Stratasys para crear prótesis con impresión 3D [28] [29] [30] [31].

Hasta el día de hoy se utilizan para la creación de prototipos y fabricación de una infinidad de piezas en sectores como la arquitectura, el diseño industrial, médico, mecánico, desarrolladores, transporte, educación, textil, etc. inclusive en el hogar, son además muy apropiadas en la creación de prótesis médicas, pues permiten adaptarlas a las características particulares de cada paciente con mayor facilidad y exactitud, sin duda alguna la historia de las impresoras 3D nunca se va a detener, ya que la tecnología sigue avanzando a lo largo de los años.

2.2 Proyecto RepRap.

En 2005 nace la idea de crear impresoras 3D auto replicables, es decir, crear sus propias piezas para replicar impresoras 3D, gracias al Ingeniero Adrian Bowyer. La filosofía del proyecto RepRap es Open source, es decir, los diseños y desarrollos de la comunidad se suben en distintas páginas web, donde se pueden comentar, copiar, estudiar, distribuir y mejorar los diseños y códigos fuente que la comunidad realiza.

Actualmente, el proyecto RepRap está teniendo un gran éxito, por lo que seguramente en pocos años podríamos ver impresoras 3D en muchos hogares y empresas, esto es posible ya que, a nivel económico, las impresoras RepRap plantean un muy bajo coste en comparación con grandes empresas como se muestra en la Figura 2.1.

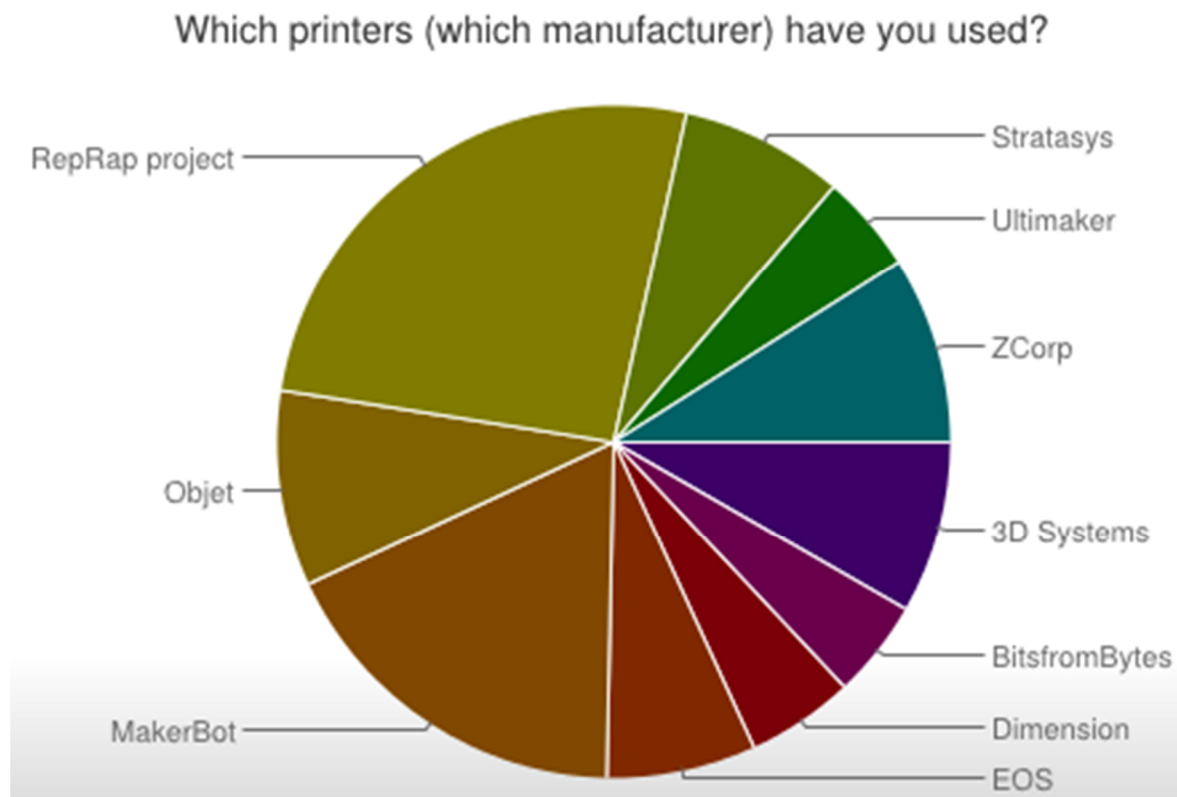


Figura 2.1 Mercado actual de Empresas en Impresoras 3D [32].

Gracias a su bajo coste y su factibilidad de modificarla al gusto de la persona, RepRap se encuentra entre las primeras impresoras en el mercado por encima de las grandes empresas como 3D System y Stratasys que como se mencionó anteriormente, dichas empresas fueron las que iniciaron con el desarrollo de la impresión 3D. Cabe destacar que difieren notablemente en cuanto a calidad, prestaciones, precio y accesibilidad.

RepRap está disponible bajo la licencia GNU GPL [33]. Esta licencia permite que podamos copiar, estudiar, distribuir y mejorar sus diseños y código fuente. Tomando como analogía la Teoría de la Evolución de Darwin, la comunidad que trabaja alrededor del proyecto puede mejorar los diseños actuales permitiendo que la máquina evolucione con el tiempo, de una manera incluso más rápida que los animales en la Naturaleza.

A nivel económico/social RepRap plantea grandes cambios: menos fábricas, menos necesidad de transporte de bienes, menos necesidad de dinero, más autonomía, más desarrollos tecnológicos locales, etc. [34].

En la página 24 se muestra la tabla de las impresoras 3D realizadas por RepRap y varias empresas ya consolidadas en los principales países del mundo[35].

2.2.1 Modelos Generales de Impresoras 3D.

Actualmente se cuenta con 5 modelos generales de impresoras 3D de bajo coste [36]:

- **Darwin**, nombre inspirado por la Teoría de la Evolución. Se considera la impresora padre de todas las demás, porque como veremos a continuación, a partir de este primer diseño se fueron creando mejoras y variantes, siempre buscando la simplicidad en el montaje y la menor cantidad de piezas posibles, se muestra en la Figura 2.2.

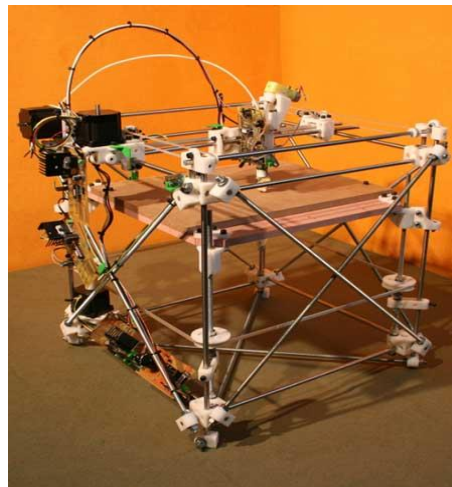


Figura 2.2 Primer modelo Darwin.

A continuación se muestra en la Tabla 2.1 las especificaciones de la impresora Darwin.

Tabla 2.1 Especificaciones de Modelo Darwin. [36]

Volumen de trabajo	230x230x100 mm
Materiales de trabajo	Policaprolactona
Configuración	3 ejes usando motores paso a paso
Precisión	0,1mm
Espesor de Capa	0,3 – 0,5mm

Interfaz de equipo	USB
Manejo de materiales	Dos extrusores de deposición fundida
Dimensiones Exteriores	600x520x650mm
Peso	Alrededor de 14 Kg

- **Mendel**, realizada por Adryan Bowyer y su equipo. Pequeña como para colocarla en el escritorio, pero con un volumen de impresión suficiente para imprimir cosas grandes, se muestra en la Figura 2.3.

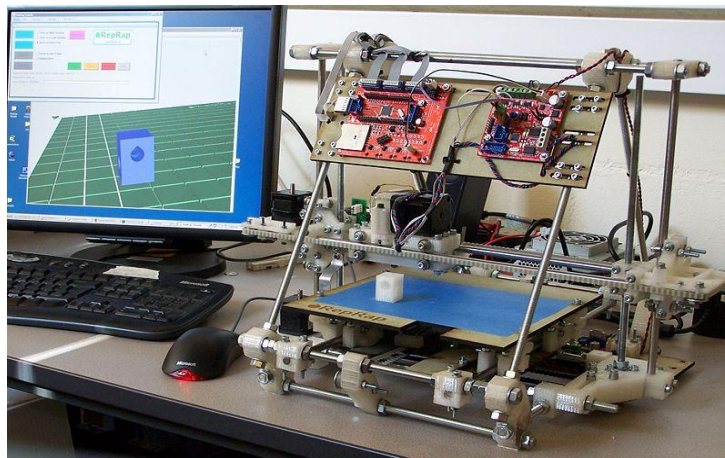


Figura 2.3 Segundo modelo Mendel.

Este nuevo modelo supuso el mayor avance para RepRap, pues suponía haber conseguido una impresora 3D aún más compacta y fácil de montar y replicar que las que ya existían. En la Tabla 2.2 se muestran las especificaciones de la impresora Mendel.

Tabla 2.2 Especificaciones de Modelo Mendel. [36]

Volumen de trabajo	200x200x140 mm
Materiales de trabajo	PLA, HDPE, ABS
Configuración	3 ejes usando motores paso a paso
Precisión	0,1mm
Espesor de Capa	0,3 – 0,5mm
Interfaz de equipo	USB
Manejo de materiales	Un extrusor de deposición fundida
Dimensiones Exteriores	500x400x360mm
Peso	Alrededor de 10 Kg

Mejoras de la impresora Mendel en comparación con el modelo Darwin:

- Detalle de impresión más pequeño.
- Mejora del soporte del eje z.

- Mejor eficiencia de los ejes.
 - Ensamblado más simple.
 - Reparación sencilla de los componentes.
- **Prusa Mendel**, modelo creado por Josef Prusa, esta impresora mejora la anterior Mendel, haciéndola más simple. Supone una revolución en el campo de la mecánica de la impresión 3D y hoy en día es el estándar de construcción de las impresoras, se muestra en la Figura 2.4.

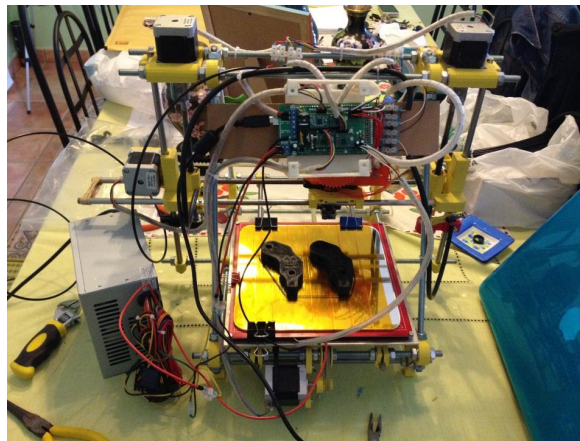


Figura 2.4 Tercer Modelo Prusa Mendel.

La Prusa Mendel es mucho más simple de construir, de modificar, de utilizar y de reparar que su antecesora, A continuación se muestra en Tabla 2.3 las especificaciones aproximadas de la Prusa Mendel.

Tabla 2.3 Especificaciones de Modelo Prusa Mendel. [36]

Volumen de trabajo	210x190x100 mm
Materiales de trabajo	PLA, HDPE, ABS
Configuración	3 ejes usando motores paso a paso
Precisión	0,1mm
Espesor de Capa	0,3 – 0,5mm
Interfaz de equipo	USB
Manejo de materiales	Un extrusor de deposición fundida
Dimensiones Exteriores	440x470x370mm
Peso	Alrededor de 7 Kg

- **Prusa Mendel Iteración 2**, una versión mejorada de la Prusa Mendel, el cual tenía una mayor estabilidad y un mayor volumen de altura permitiendo la creación de objetos con mayor altura y mejora en los ajustes de electrónica, se muestra en la Figura 2.5.

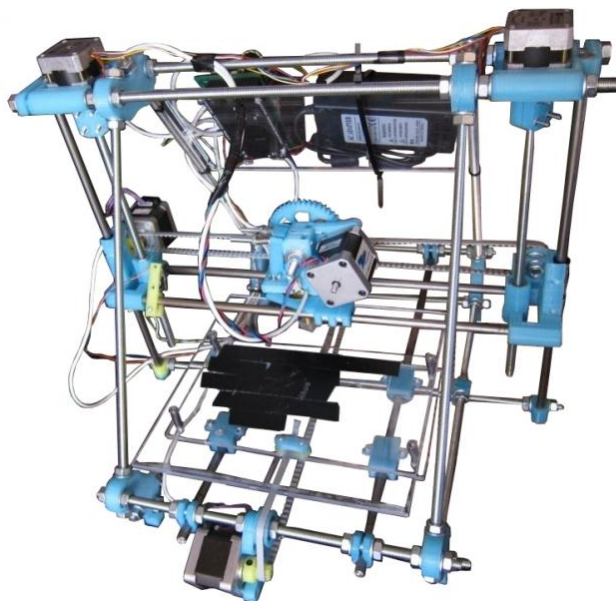


Figura 2.5 Cuarto Modelo Prusa Mendel Iteración 2.

A continuación se muestra en Tabla 2.4 las especificaciones de la segunda versión de Prusa Mendel.

Tabla 2.4 Especificaciones de Modelo Prusa Mendel Iteración 2. [36]

Volumen de trabajo	200x200x120 mm
Materiales de trabajo	PLA, ABS
Configuración	3 ejes usando motores paso a paso
Precisión	0,1mm
Espesor de Capa	0,3 – 0,5mm
Interfaz de equipo	USB
Manejo de materiales	Un extrusor de deposición fundida
Dimensiones Exteriores	440x470x370mm
Peso	Alrededor de 7 Kg

- **Prusa i3**, la actual versión de la impresoras 3D de bajo coste, ofrece un cambio muy significativo en cuanto a componentes, hay menos piezas, tanto impresas como vitaminas, es decir; piezas son aquellos componentes que no se pueden fabricar en plástico con una impresora 3D.

Las partes impresas ocupan 4 o 5 veces menos área de impresión que en la Prusa 2. Se ha mejorado la rigidez del marco y se facilita de este mismo modo el montaje, pero solo en el eje Z, como vemos en el eje Y, X siguen habiendo las varillas roscadas con piezas impresas de unión.

El marco es de metal, acrílico o madera, por lo que mejora la estabilidad de toda la impresora, aunque tiene como inconveniente que se necesitan herramientas especializadas para realizarlo, se muestra en le Figura 2.6.



Figura 2.5 Quinto modelo Prusa i3.

A continuación, se muestra en la Tabla 2.5 las especificaciones aproximadas de la Prusa i3.

Tabla 2.5 Especificaciones de Modelo Prusa i3 [36].

Volumen de trabajo	200x200x200 mm
Materiales de trabajo	PLA, ABS, HDPE
Configuración	3 ejes usando motores paso a paso
Precisión	0,1mm
Espesor de Capa	0,3 mm
Interfaz de equipo	USB
Manejo de materiales	Un extrusor de deposición fundida
Dimensiones Exteriores	440x470x370mm
Peso	Variable dependiendo de la fabricación.

El mundo de la impresión 3D está en constante avance y la información es cambiante, por suerte hay gran cantidad de información que se va actualizando en distintos portales webs.

Desde el modelo Prusa Mendel, se han ramificado más los diseños de las impresoras, cambiando materiales, montaje, mecánica, electrónica, estructura, etc., habiendo un total de más de 550 impresoras 3D replicadas [37].

A partir de este punto, el lector ya conoce el principio del proyecto RepRap y su historial de modelos de impresoras 3D hasta la actualidad.

2.3 Impresoras Actuales en el mercado.

En el mundo de las Impresoras 3D existen una infinidad de impresoras 3D las cuales están clasificadas en auto replicables, personales auto replicables de calidad media y profesionales. Como se menciona anteriormente RepRap se encuentra en la clasificación de auto replicables lo cual sus características principales son:

Hardware¹ Libre: Al ser una impresora RepRap, cualquier persona puede descargar y modificar los modelos de piezas para su impresora 3D, teniendo así una mejora continua por parte de los usuarios, contribuyendo a RepRap a ir modificando sus modelos de Impresoras y ser modelo primordial para crear impresoras profesionales tanto en empresas como usuarios en general.

Bajo Coste: Su enfoque principal es en el ahorro de dinero, teniendo una mayor accesibilidad de los componentes y facilidad de montaje. El presupuesto final resulta bastante reducido en comparación con las impresoras comerciales.

Calidad y Tolerancias: La calidad y tolerancias son de menor calidad y exactitud a los modelos a imprimir que las impresoras comerciales.

Dificultad de Manejo: Esto principalmente está enfocado a usuarios enfocados a la ingeniería en general ya que cuenta con diferentes conceptos y componentes que requieren de cierta experiencia en ellos, ya que se puede llegar a obtener resultados óptimos inclusive superiores a impresoras que se encuentran actualmente en el mercado.

Después encontramos las impresoras auto replicables de calidad media, sus características principales son:

¹ Hardware, conjunto de elementos físicos o materiales de un sistema informático.

En el mercado existe una alternativa a las impresoras de bajo costo, algunos ejemplos son Makerbot, MakerMex, Rinho, BFB, etc.

Relación Calidad-Precio: Cuentan con una alta calidad para el precio en comparación con modelos superiores, gracias a su arquitectura y diseño compacto son las principales impresoras más vendidas en el mercado.

Facilidad de Uso: Ya que se encuentran en el mercado, cuentan con un manual más simplificado, no tan técnico en comparación al auto replicables, además de que se ofrece una garantía por parte de la empresa a la que se adquiere la impresora.

Por último encontramos con las impresoras profesionales, las cuales cuentan con diferentes tipos de tecnologías mencionadas anteriormente, cuyas principales características son:

Altas Prestaciones: Ofrecen una amplia lista de materiales con las que se puede trabajar, desde plásticos, resinas hasta metales, tanto la calidad del material y la robustez del modelo a imprimir son muy superiores a las impresoras de gama baja.

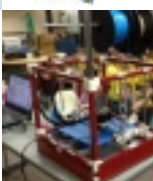
Elevado Precio: Al ser impresoras con diferentes tipos de tecnologías, su elevado precio es el inconveniente para pequeñas y medianas empresas, además es necesario de personal calificado para su operación ya que las piezas son excesivamente caras. Por ello se encuentran exclusivamente en empresas comerciales, tales como: Airbus, Honda, Nasa entre otras.

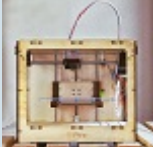
Hardware Cerrado: El hardware y controladores restringidos por las empresas, ya que no se pueden operar fuera de los parámetros dados por el fabricante y la dificultad de auto replicar la impresora.

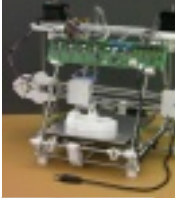
A continuación se muestran tan solo las principales impresoras 3D en el mercado internacional:

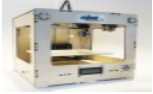
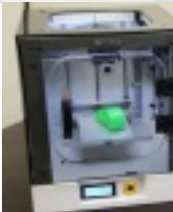
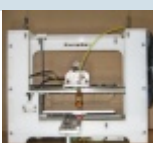
Tabla 2.6 Principales impresoras en el mercado Internacional [38].

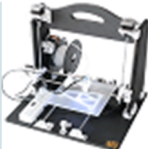
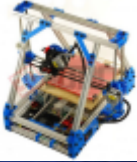
Empresa	País	Modelo	Dimensión	Imagen	Tecnología	Precio (US\$)
LIX	USA	Lix 3D pen	-		FFF	\$ <u>140.00</u>

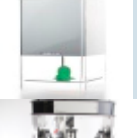
New Matter	USA	MOD-t 3D printe	150x100x125		FFF	\$ <u>249.00</u>
Cobblebot	USA	Cobblebot 3D Printer	381x381x381		FFF	\$ <u>299.00</u>
Printrbot	USA	New Simple Maker's Kit	102x102x114		FFF	\$ <u>349.00</u>
Portabee	Singapore	Portabee Kit	120x120x120		FFF	\$ <u>396.00</u>
Store Open Electronics	Italy	3Drag-3D-printer-kit	200x200x200		FFF	\$ <u>410.00</u>
Mixshop	Canada	Mix G1 Plus Kit	160x160x160		FFF	\$ <u>420.00</u>
Mixshop	Canada	Prusa Mendel Kit	195x195x140		FFF	\$ <u>445.00</u>
Invent Apart	USA	RigidBot	254x254x254		FFF	\$ <u>447.00</u>
Jelwek	Poland	Mark34	140x155x105			\$ <u>447.00</u>
Weistek	China	IdeaWerk	150x150x140		FFF	\$ <u>450.00</u>
GADGETS 3D	Poland	RepRap G3D	200x200x200		FFF	\$ <u>499.00</u>

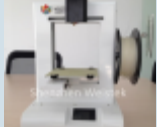
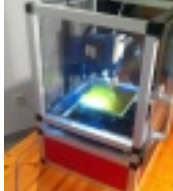
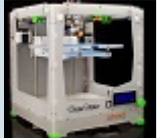
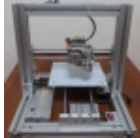
Plastic Scribbler	USA	Asterid Model 1000S	203x203x203		FFF	\$ <u>499.00</u>
XYZprinting	Taiwan	XYZprinting da Vinci 1.0	200x200x200		FFF	\$ <u>499.00</u>
Makerfarm	USA	Prusa 8 "i3v Kit	203x203x203		FFF	\$ <u>540.00</u>
Conrad	Netherlands	Velleman K8200	200x200x200		FFF	\$ <u>549.00</u>
eMotion Tech	France	Prusa Mendel I3	-		FFF	\$ <u>550.00</u>
Mbot-3D	China	MBot Cube 3D Printer Kit	200x200x200		FFF	\$ <u>559.00</u>
Eventorobot	USA	Eventorobot 3D printer	203x254x152		FFF	\$ <u>580.00</u>
Portabee	Singapore	Portabee Go	120x160x120		FFF	\$ <u>595.00</u>
Solidoodle	USA	Solidoodle 4	203x203x203		FFF	\$ <u>599.00</u>
Pirx	Poland	Pirx	160x250x150		FFF	\$ <u>599.00</u>

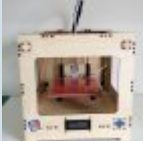
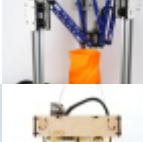
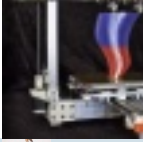
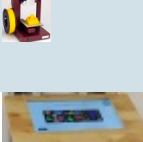
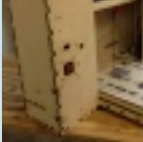
Printrbot	USA	Assembled Simple	150x150x150		FFF	\$ <u>599.00</u>
Mostfun	China	MostFun Sail 3D	120x120x120		FFF	\$ <u>614.00</u>
RepRapPro	UK	Huxley Full Kit	140x140x110		FFF	\$ <u>637.00</u>
XYZprinting	Taiwan	DA VINCI 2.0 Duo	150x200x200		FFF	\$ <u>649.00</u>
Blue Eagle Labs	USA	Kossel Clear PLA Kit	279x279x279		FFF	\$ <u>650.00</u>
Zion3D	USA	Zion 8	203x203x203		FFF	\$ <u>659.00</u>
CraftUnique	Hungary	CraftBot 3D Printer	250x200x200		FFF	\$ <u>670.00</u>
3D Stuffmaker	Australia	EVOLUTION Gen2 kit	200x200x200		FFF	\$ <u>695.00</u>
Stellamove	South Korea	Rapy 3D Printer	170x170x150		FFF	\$ <u>699.00</u>
Flashforge	China	Creator 2	225x145x150		FFF	\$ <u>700.00</u>
RepRapPro	UK	Ormerod Kit 2	200x200x200		FFF	\$ <u>747.00</u>

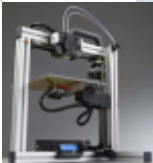
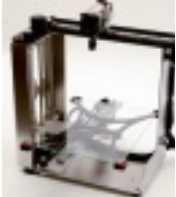
NW RepRap	USA	Prusa i3 Complete Kit	190x190x190		FFF	\$ <u>749.00</u>
ZeGo	USA	Zego Classic Assembly kit	300(diameter)x230		FFF	\$ <u>749.00</u>
Invent Apart	USA	RigidBot Big	300x400x254		FFF	\$ <u>749.00</u>
Blue Eagle Labs	USA	Kossel Clear ABS Kit	200x200x279		FFF	\$ <u>750.00</u>
German RepRap GmbH	Germany	V2.0 3D-Drucker	230x230x125		FFF	\$ <u>799.00</u>
Mbot-3D	China	MBot Cube 3D printer	200x200x200		FFF	\$ <u>799.00</u>
Solidoodle	USA	Solidoodle 3D Printer, 3rd Generation	203x203x203		FFF	\$ <u>799.00</u>
MOTA	USA	MOTA 3D Printe	165x155x155		FFF	\$ <u>799.00</u>
Robo 3D	USA	RoBo 3D "ABS+PLA Model" Fully Assembled	254x229x203		FFF	\$ <u>799.00</u>
Makemendel	India	RapidBot 3.0 Kit	220x220x165		FFF	\$ <u>799.00</u>
WillyBot Cafe	Korea	Willybot 1.3	-		FFF	\$ <u>800.00</u>

Reprapsourc	Germany	Prusa i3 Kit (5 years reprapsource edition)	-		FFF	\$ <u>800.00</u>
Mojreaprap	Poland	Profabb GATE LE DIY Kit	190x220x230		FFF	\$ <u>855.00</u>
Eckertech	Canada	ecksbot 2014 DIY kit	200x200x135		FFF	\$ <u>870.00</u>
PEARL	Germany	FreeSculpt 3D-Drucker EX1-Basic	225x145x150		FFF	\$ <u>872.00</u>
German RepRap GmbH	Germany	NEO 3D printe	150x150x150		FFF	\$ <u>875.00</u>
PP3DP	China	UP! mini	120x120x120		FFF	\$ <u>899.00</u>
Deezmaker	USA	Bukito Portable Mini Printer Kit	140x150x125		FFF	\$ <u>899.00</u>
Active 3D	UK	Active-X1	270x220x220		FFF	\$ <u>899.00</u>
3D Botic	USA	MendelBot MM152 DIY Kit	-		FFF	\$ <u>899.00</u>
RepRapPro	UK	Tricolour Mendel	210x190x140		FFF	\$ <u>918.00</u>
Hardcotton	Australia	Hardcotton SLA 3D printer	140x140x200		SLA	\$ <u>950.00</u>

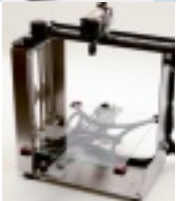
Flashforge	China	Creator	225X145X150		FFF	\$ <u>977.00</u>
PEARL	Germany	FreeSculpt 3D-Drucker EX1-Plus	225x145x150		FFF	\$ <u>998.00</u>
Tinkering Studio	Canada	Litto 3D printer	135x120x175		FFF	\$ <u>999.00</u>
Solidoodle	USA	Solidoodle G4	203x203x203		FFF	\$ <u>999.00</u>
mUve 3D LLC	USA	mUve 1 DLP	128X128X80		DLP	\$ <u>999.00</u>
3D Systems	USA	Cube 3	153x153x153		FFF	\$ <u>999.00</u>
QSQM Corporation	China	New Uncia	102x77x180		DLP	\$ <u>999.00</u>
Mbot-3D	China	MBot Grid II	250x220x190		FFF	\$ <u>999.00</u>
Pirate 3D	Singapore	Buccaneer 3D printer	136x100x146		FFF	\$ <u>999.00</u>
SeeMeCNC	USA	Rostock MAX v2 3D Printer Kit	279x279x349		FFF	\$ <u>999.00</u>
Reprapsource	Germany	Prusa i3 Kit Single Frame Version	-		FFF	\$ <u>1,062.00</u>
MyMatics	Netherlands	Mamba3D	200x200x200		FFF	\$ <u>1,095.00</u>

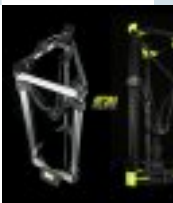
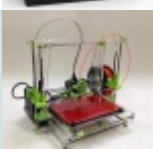
mUve 3D LLC	USA	mUve 1 3D Printer Classic	145x145x185		SLA	\$ <u>1,099.00</u>
3D Systems	USA	Cube	152x152x152		Plastic Jet Printing	\$ <u>1,099.00</u>
Weistek	China	IdeaWerk Assembled	150x150x140		FFF	\$ <u>1,099.00</u>
Eckertech	Canada	ecksbot 2014 fully assembled	200x200x135		FFF	\$ <u>1,120.00</u>
Hot Proceed, Inc	Japan	Blade-1	100x100x100		FFF	\$ <u>1,120.00</u>
IRapid	Germany	IRAPID BLACK 3D-PRINTER	100x100x100		FFF	\$ <u>1,125.00</u>
Dreammaker	China	dreammaker	200x200x200		FFF	\$ <u>1,142.00</u>
Intelligent Machine Inc.	Taiwan	Metalbot Metal RepRap compatible 3D printer	195x195x160		FFF	\$ <u>1,190.00</u>
3D Systems	USA	EKOCYCLE Cube	152x152x152		FFF	\$ <u>1,199.00</u>
Boots Industries	China	BI V2.5 3D Printer	300x300		FFF	\$ <u>1,199.00</u>

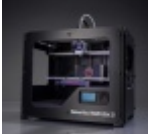
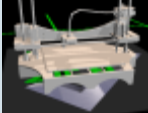
Sharebot	Italy	Mounting Kit Pro	200x200x200		FFF	\$ <u>1,231.00</u>
Ultimaker	Netherlands	Ultimaker Original	210x210x205		FFF	\$ <u>1,244.00</u>
Tinkering Studio	Canada	Ditto Plus 3D printer	210x185x230		FFF	\$ <u>1,249.00</u>
Sumpod	UK	Sumpod Aluminium	240x240x150		FFF	\$ <u>1,286.00</u>
Pryntech	USA	OpenSL v1.0	305x305x203		SLA	\$ <u>1,295.00</u>
SeeMeCNC	USA	ORION Delta 3D-printer	152(d)x203		FFF	\$ <u>1,299.00</u>
Tinkering Studio	Canada	Litto 3D printer Assembled	135x120x175		FFF	\$ <u>1,299.00</u>
Deezmaker	USA	Bukobot 8 v2 Kit X3	200x200x200		FFF	\$ <u>1,299.00</u>
Afinia	USA	Afinia H-Series	140x140x135		FFF	\$ <u>1,299.00</u>
Piecemake	USA	Piecemake	178x178x178		FFF	\$ <u>1,299.00</u>
Printrbot	USA	Assembled Printrbot PLUS	254x254x254		FFF	\$ <u>1,299.00</u>

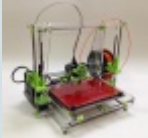
Natural Machines	Spain	Foodini	250x165x120		FFF	\$ <u>1,300.00</u>
MindKits	New Zealand	DiamondMind 3D Printer V2	260x250x170		FFF	\$ <u>1,304.00</u>
Felix Printers	Netherlands	3d Felix 3.0 Kit	225x205x235		FFF	\$ <u>1,375.00</u>
Mojreprint	Poland	Profabb GATE LE	190x220x230		FFF	\$ <u>1,382.00</u>
3D Stuffmaker	Australia	CREATOR Fully Assembled	110x130x105		FFF	\$ <u>1,395.00</u>
3D Systems	USA	Cube 2	140x140x140		FFF	\$ <u>1,399.00</u>
Makergear	USA	M2 3D Printer- Kit	203x254x203		FFF	\$ <u>1,475.00</u>
Mendel Parts	Netherlands	Orca v0.44 Unassembled	250x220x190		FFF	\$ <u>1,497.00</u>
Deezmaker	USA	Bukobot 8 v2 Duo Kit (Dual Extruders)	200x200x200		FFF	\$ <u>1,499.00</u>

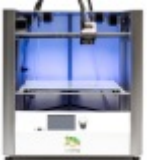
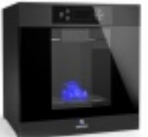
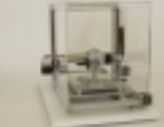
mUve 3D LLC	USA	mUve 1	145x145x185		SLA	\$ <u>1,499.00</u>
Tinkerine Studio	Canada	Ditto Plus 3D printer Assembled	210x185x230		FFF	\$ <u>1,549.00</u>
ROKIT	Korean	3DISON Plus	225x145x150		FFF	\$ <u>1,560.00</u>
3D Systems	USA	Cube 3D printer	140x140x140		Plastic Jet Printing (PJP)	\$ <u>1,569.00</u>
Maker's Tool Works	USA	MendelMax 2.0 Beta Kit	245x315x225		FFF	\$ <u>1,595.00</u>
Sedgwick	USA	3D DLP Printer v2.0	75x75x50		DLP	\$ <u>1,595.00</u>
Spiderbot	FRANCE	SpiderBot Eco Kit v1.2	180x180x180		FFF	\$ <u>1,595.00</u>
IT IS 3D	UK	Maxit	210x160x100			\$ <u>1,610.00</u>
Kentstrapper	Italy	KENTSTRA PPER VOLTA BETA	260x280x190		FFF	\$ <u>1,627.00</u>
PP3DP	China	UP! Plus 2	140x140x135		FFF	\$ <u>1,649.00</u>

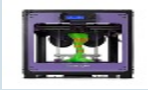
Leapfrog	Netherlands	Creatr	300x250x260		FFF	\$ <u>1,669.00</u>
Extru3D	France	Extru3D V2	275x205x210		FFF	\$ <u>1,684.00</u>
Builder	Netherlands	Builder	220x220x175		FFF	\$ <u>1,694.00</u>
Makex	China	Makex M-Ohe	140x110x170		DLP-SLA	\$ <u>1,699.00</u>
York 3D Printers	UK	Buildabot 'Revolution' 3d Printer Kit	210x210x160		FFF	\$ <u>1,700.00</u>
Lulzbot	USA	AO-101 3D Printer	200x190x100		FFF	\$ <u>1,725.00</u>
MakerDreams	Italian	iNvent One - Black	280x210x200		FFF	\$ <u>1,770.00</u>
Makergear	USA	M2 3DPrinter-Assembled	203x254x203		FFF	\$ <u>1,775.00</u>
Sharebot	Italy	Sharebot Pro	200x200x200		FFF	\$ <u>1,781.00</u>
ORD solutions inc	Canada	MH3000 - 3D Printer Fully assembled	284x302x192		FFF	\$ <u>1,799.00</u>

Actuity Design	USA	Acuity MendelMax 3D-printer	200x140x200		FFF	\$ <u>1,800.00</u>
Fabbster	Germany	Fabbster kit	230x230x210		SDM	\$ <u>1,800.00</u>
Spiderbot	FRANCE	SpiderBot Full Kit v1.2	180x180x180		FFF	\$ <u>1,845.00</u>
ATOM 3dp	Taiwan	Atom 3D-printer	-		FFF	\$ <u>1,865.00</u>
Metamáquina	Brazil	Metamáquina 2	200x200x150		FFF	\$ <u>1,876.00</u>
VAGLER	Malaysia	V-811	270x200x250		FFF	\$ <u>1,895.00</u>
Airwolf 3D	USA	AW3D XL	300x200x178		FFF	\$ <u>1,895.00</u>
Kudo3D	USA	Titan 1 DLP	192x108x241		DLP-SLA	\$ <u>1,899.00</u>
Zortrax	Poland	Zortrax M200	200x200x185		FFF	\$ <u>1,899.00</u>
Tinkerine Studio	Canada	Dittopro	225x165x205		FFF	\$ <u>1,899.00</u>

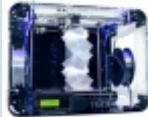
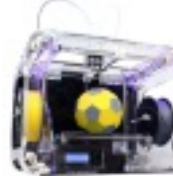
TripodMaker	Belgium	TripodMaker 3D printer	300(diameter)x420		FFF	\$ <u>1,905.00</u>
Sharebot	Italy	NG Next Generation	200x200x200		FFF	\$ <u>1,917.00</u>
Sasan Seyedi	USA	Cyrus 3D printer	195x195x200		FFF	\$ <u>1,930.00</u>
Makerbot	USA	MakerBot Replicator 2	285x153x155		FFF	\$ <u>1,949.00</u>
Zion3D	USA	Zion 16	394x394x406		FFF	\$ <u>1,949.00</u>
Omni3d	Poland	RapCraft 1.3 Kit	210x210x240		FFF	\$ <u>1,976.00</u>
Shark	Lebanon	Shark	220x220x165		FFF	\$ <u>1,980.00</u>
Hyrel 3D	USA	Tinkerer E1	200x200x200		FFF	\$ <u>1,995.00</u>
Stalactite	Barcelona	Stalactite 102	102x77x180		DLP	\$ <u>1,999.00</u>
Makerbot	USA	Replicator Mini	100x100x125		FFF	\$ <u>2,000.00</u>
MiniFactory	Finland	miniFactory 3D printer	140x150x140		FFF	\$ <u>2,026.00</u>

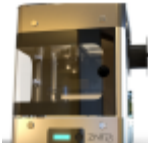
be3D	Czech Republic	DeeGreen	150x150x150		FFF	\$ <u>2,041.00</u>
ZMorph	Poland	ZMorph3d	235x230x165		FFF	\$ <u>2,122.00</u>
Hyrel 3D	USA	Hobbyist E2	200x200x200		FFF	\$ <u>2,145.00</u>
Lulzbot	USA	TAZ 3D-printer	298x275x250		FFF	\$ <u>2,195.00</u>
VAGLER	Malaysia	V-821	270x200x250		FFF	\$ <u>2,295.00</u>
Airwolf 3D	USA	AW3D XL Assembled	300x200x178		FFF	\$ <u>2,295.00</u>
MiiCraft	Taiwan	MiiCraft 3D printer	43x27x180		SLA	\$ <u>2,299.00</u>
Omni3d	Poland	RapCraft 1.3	210x210x240		FFF	\$ <u>2,302.00</u>
CB-Printer	Poland	3D Printer CB-printer KIT	200x200x180		FFF	\$ <u>2,380.00</u>
York 3D Printers	UK	Buildabot 'Revolution' 3d Printer - Fully Built	210x210x160		FFF	\$ <u>2,381.00</u>
Dreammaker	China	dreammaker max	200x200x200		FFF	\$ <u>2,396.00</u>

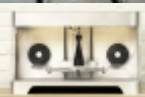
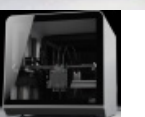
Isis3D	USA	Isis One - Dual Extruder	300x300x225		FFF	\$ <u>2,399.00</u>
Leapfrog	Netherlands	Creatr Hs	270x280x180		FFF	\$ <u>2,446.00</u>
Hyrel 3D	USA	Apprentice E3	200x200x200		FFF	\$ <u>2,495.00</u>
VAGLER	Malaysia	V-822	250x200x250		FFF	\$ <u>2,495.00</u>
AIO Robotics	USA	ZEUS All-In-One 3D Printer	204x153x145		FFF	\$ <u>2,499.00</u>
Ultimaker	Netherlands	The Ultimaker 2	230x225x205		FFF	\$ <u>2,500.00</u>
Kentstrapper	Italy	MENDEL MAX	400x400x300		FFF	\$ <u>2,500.00</u>
3D Kits	Spain	Status 3D printer	205x205x205		FFF	\$ <u>2,503.00</u>
Kikai labs	Argentina	T125	200x200x195		FFF	\$ <u>2,537.00</u>
ORD solutions inc	Canada	MH3000 - 5 Color/Material 3D	284x302x192		FFF	\$ <u>2,599.00</u>

3D Systems	USA	CubeX 3D printer	275x265x240		FFF	\$ <u>2,615.00</u>
CB-Printer	Poland	3D Printer CB-printer.com	200x200x180		FFF	\$ <u>2,652.00</u>
Something 3D	Israel	Something3D1D	300x270x270		FFF	\$ <u>2,689.00</u>
Hyrel 3D	USA	Journeyman E4	200x200x200		FFF	\$ <u>2,695.00</u>
Marcha technology	Spain	Witbox Prusa	200x200x200		FFF	\$ <u>2,715.00</u>
Type A Machines	USA	2014 Series 1 3D printer	305x305x305		FFF	\$ <u>2,749.00</u>
Marcha technology	Spain	Witbox Helios	200x200x200		FFF	\$ <u>2,783.00</u>
MaukCC	Netherlands	Cartesio M V0.9	200x200x200		FFF	\$ <u>2,788.00</u>
3D Systems	USA	CubeX	275x265x240		FFF	\$ <u>2,799.00</u>
Extru3D	France	Extru3D V2 Assembled	275x205x210		FFF	\$ <u>2,882.05</u>
Makerbot	USA	Replicator	203x254x152		FFF	\$ <u>2,899.00</u>

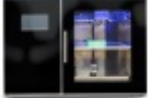
3D Systems	USA	CubePro	273x273x241		Plastic Jet Printing	\$ <u>2,899.00</u>
B9Creation s	USA	B9Creator 3D printer KIT	77x102x203		DLP	\$ <u>2,990.00</u>
Airwolf 3D	USA	AW3D HD	300x200x300		FFF	\$ <u>2,995.00</u>
KAST	China	Kast3dp	150x200		SLA	\$ <u>3,000.00</u>
Trimaker	Argentina	Trimaker element 3D	200x200x180		FFF	\$ <u>3,014.00</u>
Beeverycreative	Portugal	BEETHEFIR ST	190x135x125		FFF	\$ <u>3,058.00</u>
Hyrel 3D	USA	Professional E5	200x200x200		FFF	\$ <u>3,095.00</u>
Formlabs	USA	The Form 1 3D printer	125x125x165		SLA	\$ <u>3,299.00</u>
InDimension3	USA	Glacier Steel - Dual Head Printer	300x300x400		FFF	\$ <u>3,300.00</u>
Builder	Netherlands	Big Builder	220x210x665		FFF	\$ <u>3,398.00</u>
MaukCC	Netherlands	CartesioW V0.9	200x400x200		FFF	\$ <u>3,444.00</u>

Makerbot	USA	MakerBot Replicator 2X	250x169x150		FFF	\$ <u>3,492.00</u>
Fablicator	USA	Fablicator	178x178x178		FFF	\$ <u>3,495.00</u>
Airwolf 3D	USA	AW3 HDX	300x200x300		FFF	\$ <u>3,495.00</u>
botobjects	USA	ProDesk 3D	275x275x300		FFF	\$ <u>3,784.00</u>
Essential Dynamics	USA	Imagine 3D Printer	229x229		FFF	\$ <u>3,795.00</u>
Omni3d	Poland	Factory 1.0	310x310x310		FFF	\$ <u>3,920.00</u>
Robot Factory	Italy	3D-One	245x245x245		FFF	\$ <u>3,957.00</u>
EZ 3D printers	Taiwan	EZ 3D Printer-200	200x150x100		FFF	\$ <u>3,985.00</u>
Choc Edge	UK	Chocolate Choc Creator V1	175x175x70		FFF	\$ <u>3,987.00</u>
Airwolf 3D	USA	AW3D HD2x	280x200x300		FFF	\$ <u>3,995.00</u>

Hyrel 3D	USA	System 30	225x200x200		FFF	\$ <u>3,995.00</u>
IonCoreLtd	UK	Zinter PRO 3D Printer	200x200x200		FFF	\$ <u>4,026.00</u>
German RepRap GmbH	Germany	PRotos X400	400x400x350		FFF	\$ <u>4,054.00</u>
InDimension3	USA	Glacier Peak - Dual Head Printer	160x160x120		FFF	\$ <u>4,150.00</u>
Ilios 3D Shop	Cyprus	Ilios HD SLA 3D Printer Kit	340x440x380		SLA	\$ <u>4,183.00</u>
EZ 3D printers	Taiwan	EZ 3D Printer-200H	200x150x150		FFF	\$ <u>4,495.00</u>
Zbot	China	Zbot	250x250x200		FFF	\$ <u>4,500.00</u>
3ntr	Italy	A4 printer	305x205x210		FFF	\$ <u>4,508.00</u>
AOD	China	AOD-Artist	200x200x200		FFF	\$ <u>4,638.00</u>
Delta Tower	Switzerland	Delta Tower	175x175x580		FFF	\$ <u>4,891.00</u>

3D Systems	USA	ProJet 1200	43x27x150		SLA	\$ <u>4,900.00</u>
Old World Laboratories	USA	OWL Nano	150x150x200		SLA	\$ <u>4,900.00</u>
B9Creation	USA	B9Creator 3D printer	77x102x203		DLP	\$ <u>4,995.00</u>
MarkForged	USA	Mark One	305x160x160		FFF / CFF	\$ <u>4,999.00</u>
Autodesk	USA	Autodesk 3D Printer	-		SLA	\$ <u>5,000.00</u>
DWS Lab	Italy	XFab 3D Laser Printer	Ø180×180		Laser Stereolithography	\$ <u>5,000.00</u>
Kühling&Kühling	Germany	RepRap Industrial 3D printer	200x200x200		FFF	\$ <u>5,412.00</u>
COBOT	contact	Desktop 3D Printer	210x270x210		FFF	\$ <u>5,439.00</u>
Leapfrog	Netherlands	Creatr XL	230x260x600		FFF	\$ <u>5,446.00</u>
Eckertech	Canada	ECV-One	250x248x205		FFF	\$ <u>5,447.00</u>
re.3d.org	USA	Gigabot	600x600x600		FFF	\$ <u>5,950.00</u>

InDimension3	USA	Glacier Summit - Dual Head Printer	400x400x500		FFF	\$ <u>5,999.00</u>
Omni3d	Poland	Architect	310x410x310		FFF	\$ <u>6,225.00</u>
Sumpod	UK	Sumpod Mega	600x600x600		FFF	\$ <u>6,290.00</u>
Asiga	USA	Freeform Pico	40x30x75		Sliding separation	\$ <u>6,990.00</u>
Actuity Design	USA	Helix – 3D Printer	300x300x300		FFF	\$ <u>7,200.00</u>
Leapfrog	Netherlands	Xeed	370x340x290		FFF	\$ <u>7,411.00</u>
InDimension3	USA	Glacier Summit Plus	406x406x457		FFF	\$ <u>7,495.00</u>
German RepRap GmbH	Germany	X400CE	400x400x350		FFF	\$ <u>7,783.00</u>
Robot Factory	Italy	3DLPrinter	102x78x160		DLP	\$ <u>7,833.00</u>
Makerbot	USA	Replicator Z18	305x305x457		FFF	\$ <u>8,758.00</u>
MarkForge d	USA	Mark One Developer Kit	305x160x160		FFF	\$ <u>8,799.00</u>
re.3d.org	USA	Gigabot	600x600x600		FFF	\$ <u>8,950.00</u>

Asiga	USA	Freeform Pico Plus27	35x21.8x75		Sliding separation	\$ <u>8,990.00</u>
Asiga	USA	Freeform Pico Plus33	43x27x75		Sliding separation	\$ <u>8,990.00</u>
Asiga	USA	Freeform Pico Plus39	50x31.2x75		Sliding separation	\$ <u>8,990.00</u>
Leapfrog	Netherlands	Xeed	350x270x220		FFF	\$ <u>9,532.00</u>
SolidModel USA	USA	Solido SD300 Pro 3D Printer	160x210x135			\$ <u>9,995.00</u>
Stratasys	USA	Mojo	127x127x127		FFF	\$ <u>10,454.00</u>
Blue Printer	Denmark	SHS 3D Printer	160x200x140		Selective Heat Sintering (SHS)	\$ <u>13,186.00</u>
Stratasys	USA	uPrint SE	203x152x152		FDM	\$ <u>15,900.00</u>
EnvisionTEC	Germany	Perfactory Micro	40x30x100		DLP	\$ <u>16,520.00</u>
Stratasys	USA	uPrint SE Plus	203x203x152		FDM	\$ <u>18,769.00</u>
Solidscape	USA	3Z Studio	152x152x51		Smooth Curvature Printing	\$ <u>24,650.00</u>

Mcor Technologies	UK	Matrix 300+	256x169x150mm		SDL	\$ <u>36,900.00</u>
Piecemake	USA	BigRep ONE	1147x1000x1188		FFF	\$ <u>39,000.00</u>
Mcor Technologies	UK	Mcor IRIS	256x169x150mm		SDL	\$ <u>47,900.00</u>
Objet	Israel	Objet500 Connex3	490x390x200		Triple-jetting	\$ <u>330,000.00</u>
Objet	Israel	Objet500 Connex3	490x390x200		Triple-jetting	\$ <u>330,000.00</u>
Matsuura Machinery	Japan	LUMEX Avance-25	250x250x180		SLS	\$ <u>846,000.00</u>

Comparando las 3 clasificaciones de las impresoras 3D se obtienen diferentes resultados entre ellas. Las impresoras auto replicables de gama baja se encuentran en impresoras libres, por lo tanto tienen muchas similitudes entre ellas tanto en software como hardware. Por ello la idea de realizar una impresora auto replicable de calidad media implementando las desventajas de las impresoras de gama baja en este proyecto.

2.4 Materiales de Impresión.

Como se mencionaba anteriormente en la actualidad existen impresoras 3D que imprimen modelos desde plástico, resina hasta metales. Dependiendo del material a modelar se relaciona con el precio, por ello se elige imprimir modelos en plásticos, es muy importante que se utilicen materiales que puedan ser fundidos mediante calor, deben tener la habilidad de fluir con la adición de calor, es importante que el material en filamento tenga la suficiente fuerza para empujar el filamento a través del

fundidor. Además, suficiente fuerza para que al momento de ser comprimido el filamento mantenga su forma a través de mecanismos para pasar por el fundidor. En la Figura 2.7 se muestra el diagrama de fundición de un filamento a través de un mecanismo.

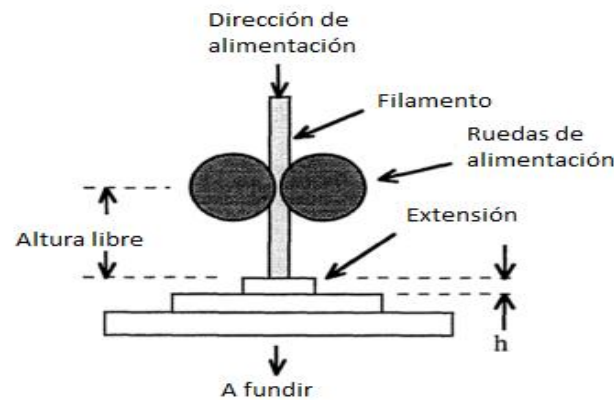


Figura 2.7 Diagrama de compresión de filamento.

Existen diferentes filamentos de plástico pero en el mundo de las impresoras 3D los más comunes son de ABS y PLA.

2.4.1 Políácido Láctico (PLA).

El políácido láctico es un polímero biodegradable derivado del ácido láctico, además, es un material altamente versátil, que se hace a partir de recursos renovables al 100%, como son la maíz, la remolacha, el trigo y otros productos ricos en almidón. Este ácido tiene muchas características equivalentes e incluso mejores que muchos plásticos derivados del petróleo, lo que hace que sea eficaz para una gran variedad de usos.



Figura 2.8 Filamentos de ABS- PLA.

El PLA es un polímero versátil que tiene muchas aplicaciones, incluyéndose en la industria textil, en la industria médica, en empaquetado y hoy en día en la impresión 3D bajo el proceso mencionado anteriormente FDM¹. Gracias a su punto de fusión entre 120 a 170 C aproximadamente es ideal para la impresión 3D [39].

2.4.2 Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS).

El ABS es el nombre que se le da a una familia de materiales de tipo plástico, caracterizados por su gran resistencia a los golpes. Dicha familia recibe el nombre de termoplásticos, y el acrónimo ABS, hace referencia a los tres monómeros que intervienen en su fabricación, es decir, Acrilonitrilo, butadieno y Estireno, dicha compleja composición hace que también se le conozca como plástico de ingeniería [40].

En el mundo de la impresión 3D, el ABS es uno de los materiales que en la actualidad más se utiliza para llevar a cabo los procesos de impresión. El ABS convive con otros materiales sustitutivos como el PLA y aunque sus aplicaciones son muy parecidas, uno es más indicado que otro según el objetivo.

El ABS está más indicado cuando se busca la fuerza en el resultado o cuando lo que se va a imprimir va a quedar expuesto a temperaturas extremas. Está disponible en un abanico más amplio de colores sobre todo por la buena tolerancia de éste a la pigmentación de sí mismo, aunque su precio es más elevado que el PLA. Algunos usuarios consideran que el ABS es más difícil de utilizar pero eso, es cuestión de opiniones [41].

A continuación se muestra en la Tabla 2.7 de las principales diferencias entre los plásticos ABS y PLA.

¹ Fused Deposition Modelling (Modelado por deposición fundida), creación de piezas capa por capa de abajo a arriba calentando y extrudiendo el filamento termoplástico.

Tabla 2.7 Principales diferencias entre plásticos ABS y PLA [42].

ABS	PLA
Temperatura de extrusión: ~ 240 ° C	Temperatura de extrusión: ~ 200 ° C
Requiere cama caliente > 70 ° C	Poca temperatura de cama caliente
Funciona bastante bien sin refrigeración de capa.	Se beneficia enormemente de refrigeración de capa durante la impresión
Peor adherencia, se necesita cinta de poliamida o laca.	Buena adherencia a una gran variedad de superficies
Resistente a temperaturas altas	Poco resistente a temperaturas altas
Propenso a las grietas, de laminación, y deformación	Propenso a la ondulación de las equinas y salientes
Más flexible	Más frágil
Se pueden unir piezas usando adhesivos o disolventes (acetona o MEK)	Se pueden unir piezas usando adhesivos específicos
Los humos son desagradables y nocivos en áreas cerradas	Humos no nocivos y olor más agradable
Plástico derivado del petróleo	Plástico de origen vegetal

2.5 Sistemas de Control.

Un sistema que mantiene una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control, se denomina sistema de control retroalimentado. Dentro de las máquinas de control numérico como es el caso de tornos, fresadoras e incluso impresoras 3D se encuentran los sistemas de control de lazo abierto y de lazo cerrado.

Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de control en lazo cerrado. En un sistema de control en lazo cerrado como se muestra en la Figura 2.9, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de retroalimentación, con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado.



Figura 2.9 Sistema de Control Lazo Cerrado.

El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control retroalimentado para reducir el error del sistema, este sistema puede llegar a ser muy robusto y el precio elevado [43].

Por otro lado tenemos el sistema de lazo abierto, los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control de lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para comprobarla con la entrada, como se muestra en la Figura 2.10.

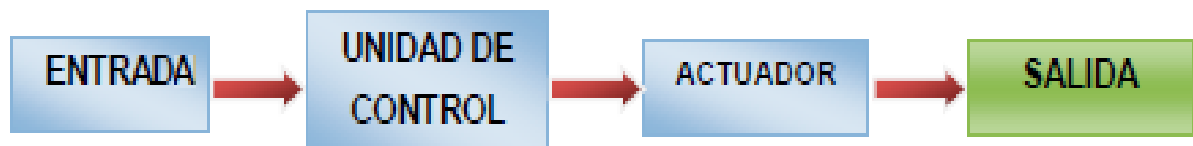


Figura 2.10 Sistema de Control Lazo Abierto.

En este proyecto se hace la elección de un sistema de lazo abierto ya que el mecanismo impulsor que se utiliza para el movimiento de alguna pieza de la impresora 3D en este tipo de sistema en lazo abierto es el motor paso a paso, pues trabaja por medio de secuencia de pulsos digitales, que excitan de manera sincrónica cada una de sus bobinas dependiendo de la velocidad y torque requeridos por el usuario [44].

Además es más simple y muchas veces resulta más económico, sin embargo no asegura la exactitud, pues no existe un control adecuado del error generando

movimientos no uniformes en los ejes de la máquina, dicha exactitud que no podemos tener en el lazo abierto en comparación con el lazo cerrado estará determinado por la calibración que se dará a la impresora.

Calibrar significa establecer o restablecer una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada.

2.6 Arquitectura General de la Impresora 3D.

El proyecto general consiste en diseñar y construir una impresora 3D de bajo coste, en el encontramos una arquitectura tanto de software, como de hardware. Como se muestra en la Figura 2.11 observamos los bloques, los valores de control se envían a través de la electrónica al hardware de la impresora, está a su vez el hardware actúa y envía los movimientos recibidos a la electrónica y regresa al módulo de control de forma simultánea.

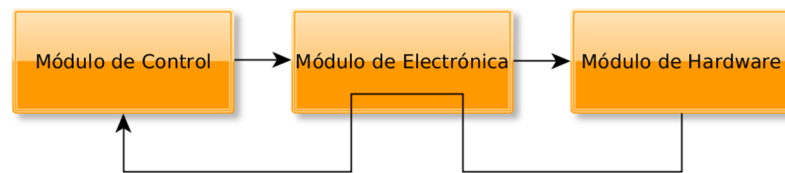


Figura 2.11 Módulos generales de la impresora 3D.

2.6.1 Arquitectura de Control.

El control de la impresora 3D es el mismo que el resto de las impresoras actuales en el mercado. El usuario genera el archivo de instrucciones en código G, y la máquina lo interpreta, que consta de 2 modos de control diferentes, como se muestra en la Figura 2.12.

El primer modo de control el usuario puede cargar el modelo a imprimir a través de una tarjeta de memoria SD¹ y conectarla a la impresora, el segundo modo de control, el usuario puede conectar la impresora a su computadora y enviar los comandos

¹ SD (Secure Digital), formato de tarjeta de memoria para dispositivos portátiles.

mediante un puerto serie, el cual se encarga algún software cuyo pueda interpretar formatos de código G¹, como es el caso de Cura.

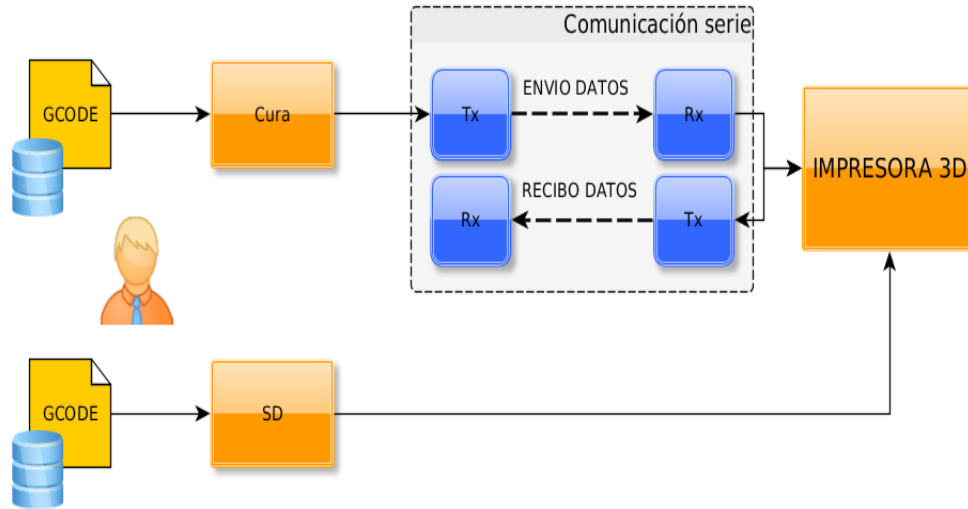


Figura 2.12 Modos de control de la impresora 3D.

2.6.1 Arquitectura Electrónica y Hardware.

Como se observa en la Figura 2.13 se engloba la parte de electrónica de potencia, control y hardware. Todo el control se realiza mediante una placa MKS Board V1.2, el cual contiene un ATMEGA 2560, generalmente utilizado en el Arduino Mega y en la mayoría de las impresoras en el mercado. Esta placa es capaz de recibir datos tanto por el ordenador como del panel de control que a lo largo de la investigación se mostrará. Los modelos a imprimir se cargan a través de una tarjeta SD o bien desde el ordenador.

Seguido, los sensores de temperatura envían las lecturas a la placa KMS Board V1.2, el cual mediante una Ramps 1.4 [46] que se encuentra también en dicha placa controla los motores y los sensores de temperatura. Esta placa a su vez se alimenta a través de una fuente de poder (ATX), que da energía a todo el sistema.

En cuanto al firmware¹ a utilizar es el Marlin [45], ya que Marlin es una alternativa confiable por los usuarios de impresoras y de código abierto.

¹ Código G, lenguaje de programación usado en máquinas de control numérico.

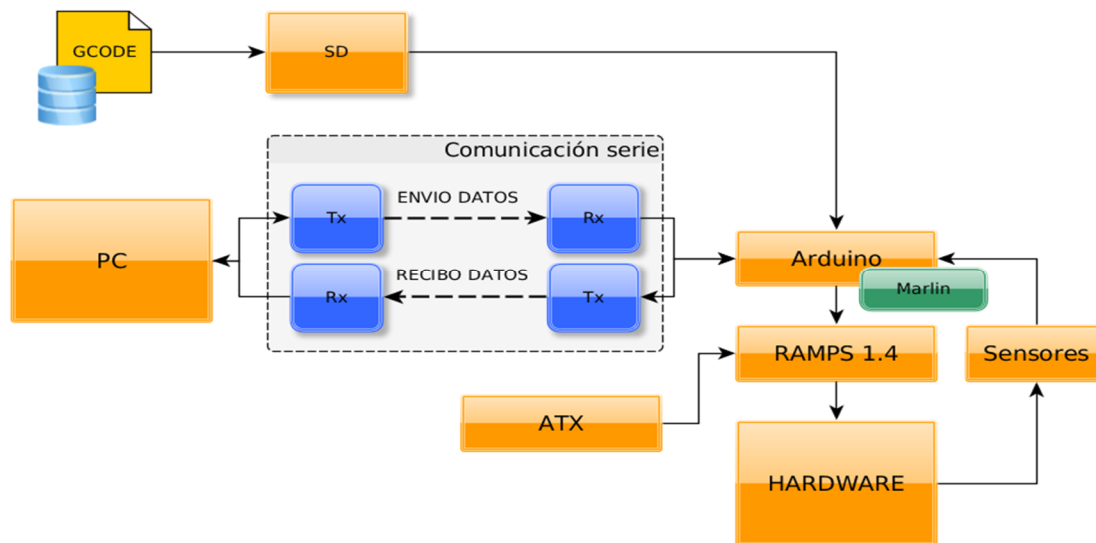


Figura 2.13 Diagrama de bloques de electrónica.

Al final tenemos el hardware de la máquina, que consta de un extrusor que se encarga de calentar y depositar el material sobre el banco de trabajo, tenemos un sistema de posicionamientos lineales que constan de 3 ejes (x, y, z). Y una estructura rígida de acrílico y componentes metálicos el cual mantienen los componentes en su posición.

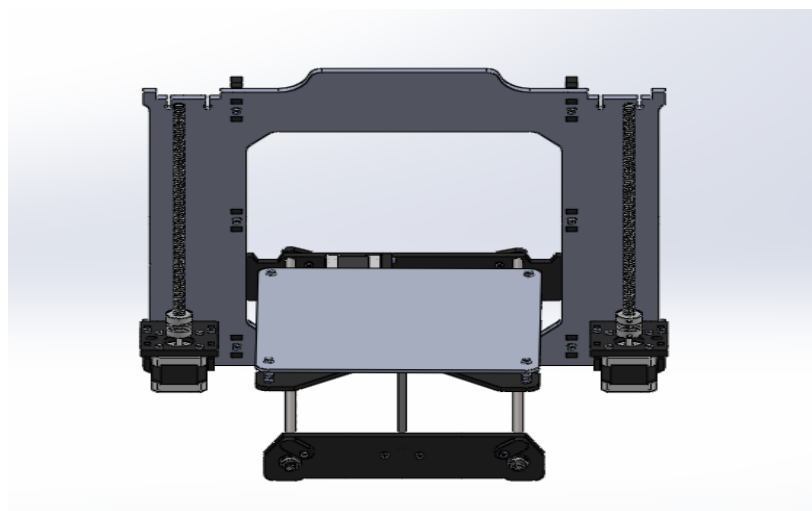


Figura 2.14 Modelo previo de Impresora 3D.

¹ Firmware, es un programa informático que establece la lógica de más bajo nivel que controla los circuitos electrónicos de un dispositivo de cualquier tipo.

Capítulo 3

REVISIÓN TÉCNICA Y ANÁLISIS

3.1 Requisitos Técnicos.

Se decide diseñar y construir, a partir de los datos obtenidos anteriormente de los modelos de impresora 3D, una variante a la Prusa i3, ya que dicho modelo se encuentra actualmente superior a los modelos como Prusa i2, Darwin, Mendel, etc.

Para comenzar con el diseño y construcción de la impresora 3D, es necesario realizar un análisis de los componentes mecánicos, electrónicos, software, especificaciones y funcionabilidad esperada al final de la investigación. Por lo que se procederá a dividir en subtemas para su análisis.

3.1.1 Funcionalidad de Impresora 3D.

La funcionabilidad esperada al finalizar el proyecto se muestra a continuación:

- Trasmisión de movimiento de posicionamientos lineales en los 3 ejes: ancho, largo y alto, mediante motores paso a paso.
- Posicionamiento de polímero mediante un mecanismo que permita direccionar el filamento al hot end¹.
- Calentar filamento y la base de deposición hasta una temperatura determinada por el usuario.
- Capaz de extruir diferentes materiales de impresión: ABS, PLA, WOOD², NYLON. y filamentos flexibles.
- Capaz de imprimir mediante memoria SD y mediante un ordenador.
- Capaz de manipular el usuario de forma manual y automática los ejes lineales.
- Capaz de modificar los valores de temperatura y velocidad de la maquina.
- Calibración automática mediante sensor.

¹ Hot end, boquilla cliente.

² Wood, Madera.

3.1.2 Especificaciones de Impresora 3D.

En base a las propiedades mencionadas en el subtema Modelos Generales de Impresoras 3D, se establecen las siguientes especificaciones esperadas al finalizar el proyecto, se muestran en la siguiente Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Especificaciones esperadas de Modelo Prusa i3k.

Voltaje de entrada	127 V AC.
Volumen de trabajo	200x200x200 mm
Materiales de trabajo	PLA, ABS, HDPE, WOOD, NYLON, FILAMENTOS FLEXIBLES
Diámetro del filamento	1.75mm
Velocidad de impresión	Aprox. 60 – 100 mm/sg.
Configuración	3 ejes usando motores paso a paso
Precisión	0,1mm
Espesor de Capa	0,3 mm
Estructura	Acrílico.
Interfaz de equipo	USB, SD
Manejo de materiales	Un extrusor de deposición fundida
Dimensiones Exteriores	Por definir.
Peso	Variable dependiendo de la fabricación.
Firmware	Marlín 2.5

3.2 Impresora Prusa i3k.

A partir del modelo Prusa i3 se comienza a rediseñar un modelo llamado Prusa i3k, ya que se encuentra superior a los modelos anteriores mencionados. Esta impresora tiene como objetivo tener una mayor precisión y velocidad, además de permitir más de 3 filamentos diferentes, de acuerdo a las necesidades del usuario.

Para cumplir con dichos objetivos es necesario realizar un análisis de los componentes, para después elegir el más viable para la impresora, por lo tanto se divide en las siguientes secciones:

- Análisis de Estructura y posicionamientos lineales.
- Análisis de Mecanismos y Sistemas de Trasmisión.
- Análisis de Rodamientos.

- Análisis de Actuadores.
- Análisis de Sensores.
- Análisis de Extrusor.
- Análisis de Electrónica.
- Análisis de Firmware.

Por último se realizara una comparación de la impresora Prusa i3k con la impresora Prusa i3 creada por la empresa MakerMex en México.

3.3 Análisis de Estructura y Movimientos Lineales en coordenadas.

Para obtener una estabilidad y precisión en la impresora es muy importante realizar un análisis de la estructura que se desea diseñar, por ello es necesaria tener una estructura rígida y liviana. La fabricación de la estructura debe de ser simple y adecuada para el usuario, teniendo así el menor contenido de piezas para su ensamble, pero sin dejar atrás la calidad del producto final.

La principal función de la estructura es proporcionar soporte a los ejes, mecanismos y componentes tanto móviles como estáticos.

3.3.1 Alternativas de Estructura y Posicionamientos Lineales.

Existen diferentes modelos de impresoras Prusa i3, en cuanto a su estructura y diseño cambian de manera significativa, por ello consideraremos 3 alternativas, de las cuales se seleccionara la estructura más viable para nuestra impresora.

ALTERNATIVA 1: EVENTORBOT [47]

Especificaciones Técnicas de estructura:

Piezas Imprimibles: 37

Piezas no Imprimibles: 2.5" base de aluminio

Tamaño de Impresión: 152 x 152 x 152 (mm)

Dimensiones de Estructura: 409 x 419 x 64 (mm)

Peso de Estructura: 3.5 kg.

Precisión: .1mm-.5mm



Figura 3.1 Impresora Eventorbot.

Posicionamiento lineal en coordenadas:

Esta estructura posee 1 columna en la cual se encuentra las coordenadas Z, Y. En la parte superior se encuentra el eje X de forma que solo el extrusor se encuentra en movimiento, como se muestra en la Figura 3.1, la columna del eje Z se encuentra soportando gran parte del peso de la impresora.

Ventajas: Costo moderado, calidad óptima, construcción sencilla, estabilidad en eje X, permitiendo así que afecte menos las vibraciones ocasionadas por los movimientos bruscos de los ejes.

Desventajas: Poca estabilidad en los ejes Y-Z, dimensiones de impresión pequeñas, velocidad de impresión lenta.

ALTERNATIVA 2: ROSTOCK [48]**Especificaciones Técnicas de estructura:**

Piezas Imprimibles: 28

Piezas no Imprimibles: Bases de Aluminio de 3x 600mm vertical, 9x 240mm horizontal, 1x 170mm base.

Tamaño de Impresión: 110 x 550 x 110 (mm)

Dimensiones de Estructura: triángulo Equilátero de 300 mm y Altura de 600mm.

Peso de Estructura: 7.3 kg.

Precisión: .1mm-.5mm



Figura 3.2 Impresora Rostock.

Posicionamiento lineal en coordenadas:

Esta estructura posee 3 soportes posicionados en cada uno de las bases de aluminio del eje z de 15 cm de largo cada uno, mostrado en la Figura 3.2.

Este sistema no posee una coordenada de x como tal, dependiendo de la posición en las que se encuentre uno de los soportes del extrusor se obtiene una coordenada de x.

Esto hace que la velocidad de impresión sea significativa en comparación con las demás impresoras.

Ventajas: Velocidad de impresión de 320 mm/s en las 3 coordenadas, capacidad de imprimir modelos de hasta 600 mm de alto. Calidad óptima.

Desventajas: Costo de la estructura elevado. Necesario de conocimientos previos para su ensamble, durante su operación y calibración se requiere cuidado por el operador.

ALTERNATIVA 3: PRUSA i3 ESTÁNDAR [49] [50]

Especificaciones Técnicas de estructura:

Piezas Imprimibles: 26

Piezas no Imprimibles: Base de aluminio 6mm o acrílico 6 - 8 mm.

Tamaño de Impresión: 200 x 200 x 200 (mm)

Dimensiones de Estructura: 200 x 200 x 270

Peso de Estructura: 5 kg. (Aprox).

Precisión: .1mm-.5mm



Figura 3.3 Impresora Prusa i3 General.

Posicionamiento lineal en coordenadas:

La estructura de la Prusa i3 consiste en un eje Y hecho con varillas roscadas similar a las estructuras de otras Mendel y una parte en forma de marco vertical para el eje X y el eje Z.

El mecanismo extrusor se desliza sobre el eje X, el mismo que se desplaza a lo largo del eje Z, mientras que la base de deposición se traslada a lo largo del eje Y. Se puede construir un marco de una sola lámina con metal, o un marco de madera o acrílico.

Ventajas: Diseño estable, área de impresión considerable, bajo coste. Velocidad de impresión de hasta 120 mm/s.

Desventajas: Necesita mayor espacio en el eje Y, poca estabilidad en el eje Y, conexión menos rígida entre el marco XZ y la parte del eje Y.

3.3.2 Elección de Estructura y Posicionamientos Lineales.

Para poder seleccionar una estructura tenemos que ver varios criterios importantes, como el coste, calidad de impresión, rigidez y estabilidad. En base a los resultados obtenidos anteriormente podemos decir que la Alternativa 3 es la más adecuada, ya que no requiere de un coste alto como la alternativa 1 y 2, la velocidad de impresión y calidad es moderada, en comparación a las demás, aunque la alternativa 2 tiene una mayor velocidad de impresión y calidad, se encuentra fuera de nuestro objetivo principal (coste). La estabilidad de la Alternativa 1 es inferior a la elegida ya que solo cuenta con 1 soporte para los ejes X, Y.

Por lo tanto la Alternativa seleccionada evita alguno de los problemas más robustos sin dejar atrás la prioridad de calidad y precio.

3.4 Análisis de Mecanismos y Sistemas de Trasmisión [51] [52].

Como cualquier impresora 3D requiere de 3 movimientos esenciales X, Y, Z. El sistema de transmisión es primordial a la hora de tener un acabado final en el modelo a imprimir, además de la velocidad de impresión. La mayoría de las impresoras de bajo coste su sistema de transmisión es por medio de correas para el posicionamiento de los ejes, a continuación se muestran algunos sistemas de transmisión y las alternativas más adecuadas para la impresora 3D:

- Sistema polea-correa.
- Sistema cadena-piñón.
- Sistema de engranajes.
- Sistema tornillo-tuerca.
- Sistema Cigüeñal-biela.
- Sistema biela-manivela.
- Sistema cremallera-piñón.

3.4.1 Alternativas de Mecanismos y Sistemas de Trasmisión.

Dentro de todos los sistemas mencionados anteriormente, se encuentran las siguientes alternativas, las cuales en el mundo de las impresoras 3D son las más comunes y se seleccionara el sistema de trasmisión más viable y que cumpla con los requisitos que se desea para nuestra impresora.

ALTERNATIVA 1: CREMALLERA-PIÑÓN [53]

Una cremallera-piñón es un caso especial de engrane recto donde los dientes no están con figurados alrededor de un circulo, sino en una base plana. La cremallera se visualiza como un engrane recto con un diámetro infinitamente largo. Cuando la cremallera se acopla con un engrane recto, se produce movimiento de traslación. En la Figura 3.4 se observa una cremallera y un piñón.

Este mecanismo en una impresora 3D sirve para que el piñón ensamblado con un motor a elegir posteriormente, convierta el movimiento giratorio en un movimiento de traslación de la cremallera.



Figura 3.4 Mecanismo Cremallera-Piñón.

Ventajas: Tiene gran relación de transmisión, se puede fabricar de varios materiales, Al tratarse de un sistema de transmisión rígido, el efecto de la elasticidad se minimiza al no presentar deformaciones físicas.

Desventajas: Su costo es más elevado en relación a los otros mecanismos, ocupa un cierto espacio en el área a trabajar.

ALTERNATIVA 2: POLEA-CORREA [54]

La función de una transmisión de correa es transmitir movimiento giratorio y torque de un eje a otro suavemente, sin ruido y de manera económica. Las transmisiones de correa proporcionan la mejor combinación integral de flexibilidad en el diseño, bajo costo, poco mantenimiento, facilidad de ensamblaje y ahorro de espacio.

Las correas según la forma de su sección transversal se clasifican en: planas, trapeciales, eslabonadas, dentadas, poli V y redondas. En la Figura 3.5 se muestran los diferentes tipos de correas en el mercado industrial.



Figura 3.5 Mecanismo Polea-Correa.

Para nuestra necesidad en los ejes de la impresora 3D, tanto las correa planas como las correas en v, se pueden emplear para transmitir potencia de un eje a otro, cuando no se necesita mantener una razón de velocidades exacta entre los dos ejes.

En la mayor parte de las trasmisiones por correa, las pérdidas de potencia debidas al deslizamiento y al arrastre son de 3 a 5 por ciento, en el anexo CD "catalogo correas" se muestra la comparación de los tipos de correas mediante varios criterios como son los diámetros de paso, relación Rpm del eje-HP de diseño, material. Estos criterios se muestran de forma detallada en los catálogos de los fabricantes.

En cuanto a poleas, se tomara en referencia el tipo de correa a elegir para cubrir nuestra necesidad, ya que a partir de estas se determina el tipo de polea.

Ventajas: Comparadas con los otros sistemas de trasmisión son menos costosas, operan suavemente y con menos ruido a granes velocidades, se pueden diseñar para que se deslicen cuando se presente una sobrecarga en la impresora, no requieren lubricación, son fáciles e ensamblar e instalar, además de funcionan bien en la absorción de cargas de choque, requiere de un reducido espacio.

Desventajas: Tienen a deformarse cuando son sometidas a esfuerzos mayores al tipo de material, requieren estar en una constante tensión, a mayor longitud de trayecto, mayor son los problemas si no se encuentra totalmente tensa.

ALTERNATIVA 3: TORNILLO-TUERCA [55]

El engranaje con tornillo-tuerca se utiliza ampliamente para transmitir potencia con altas relaciones de velocidades entre ejes que no se cortan, los cuales usualmente, pero no necesariamente forman ángulo recto. La transmisión por tornillo sin fin consta de un tornillo sin fin acoplado a un engranaje o tuerca, como se muestra en la Figura 3.6.



Figura 3.6 Variedad de modelos de Tornillo-Tuerca.

En general este mecanismo está diseñado para convertir movimiento giratorio en movimiento lineal de la tuerca que se va a desplazar longitudinalmente por el tornillo, el avance del eje, va a depender del paso y numero de hilos de entrada de la rosca. En el anexo CD “catálogo tornillo tuerca” se muestra la comparación de los diferentes tipos de roscas en el mercado industrial, mediante varios criterios como son, tipo de cuerda, materiales, distancia entre centros, hilos, paso, entre otros.

Ventajas: Se utiliza principalmente cuando se requiere movimientos rápidos o la transmisión de fuerzas grandes, costo bajo y fácil manufactura es utilizado de forma usual en máquinas industriales. Auto bloqueo, es decir, evita que una carga se deslice hacia abajo del tornillo

Desventajas: Ocupan cierto área de trabajo, eficiencia baja y dificultad para determinar su vida útil.

3.4.2 Elección de Mecanismo y Sistema de transmisión.

En base a los resultados obtenidos anteriormente en cada uno de las alternativas, podemos concluir que la mejor es Polea-Correa, en los ejes X, Y. ya que la distancia entre centros de los ejes es flexible, mientras que en las transmisiones de engranes está restringida, funcionan bien en la absorción de cargas de choque, que en el caso contrario de la cremallera-piñón, además que son menos costosas, que es un punto primordial en cuanto a nuestro diseño.

En el eje Z es necesario tener una constante entre precisión y velocidad, además de potencia, ya que se requiere soportar el peso del eje, una ventaja de Tornillo –Tuerca es que los ángulos de avance evitan que una carga se deslice hacia abajo del tornillo por la gravedad.

La fuerza de fricción y la escasa inclinación de la cuerda del tonillo se combinan para mantener la carga en su lugar, esto se le conoce como auto bloqueo y es deseable en dispositivos levadizos, por ende se elige dicha alternativa. Más adelante se seleccionara el tipo de correa y polea adecuada para la impresora, además del tipo de rosca para el eje Z, ya que es necesario un tipo de rosca adecuada a nuestra necesidad.

3.5 Análisis de Rodamientos. [56]

Al tener como elección la alternativa Polea-Correa en el sistema de transmisión, es necesario contar con guías lineales para el movimiento de la base en la que se

requiera modelar un objeto. Además de brindar soporte y rigidez de la base, también nos ayudara a soportar cargas dentro de ella y tener una variable de fricción mínima en los desplazamientos X-Y-Z.

3.5.1 Alternativas de Rodamientos. [57]

Actualmente las impresoras 3D en el mercado cuentan con 2 tipos de guías como se muestran en la Figura 3.7, estas nos ayudan a tener una mayor precisión y baja fricción mediante rieles, pueden ser redondos o cuadrados, también mediante simples cojinetes de rodadura, mejor conocidos en México como baleros.

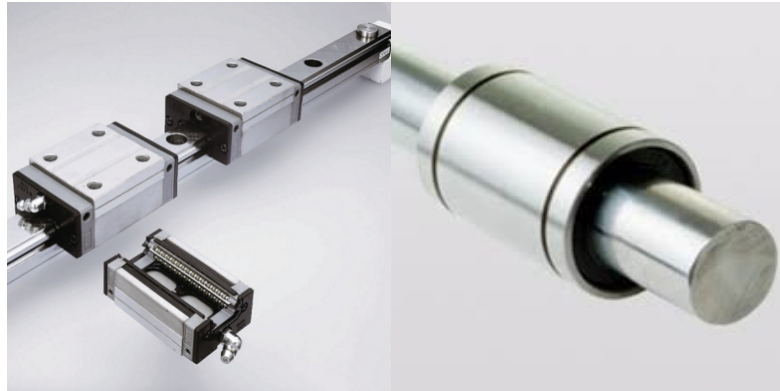


Figura 3.7 Rodamientos utilizados generalmente en Impresoras 3D.

Las principales características de los rodamientos son los siguientes:

- Su par inicial de fricción es bajo y la diferencia entre su par inicial y su par de funcionamiento es pequeña.
- Su mantenimiento, sustitución e inspección son simples, pues las estructuras que rodean a los rodamientos son sencillas.
- Muchos rodamientos son capaces de soportar cargas radiales y axiales simultáneamente o independientemente.
- Los rodamientos pueden ser utilizados dentro de un amplio campo de temperaturas.

En la Tabla 3.2 se muestran los tipos de rodamientos:

Tabla 3.2 Tipos de Rodamientos.

TIPOS
Radial a Bolas
De Agujas
Axial a bolas
Radial a cilindros
De rodillos cónicos
Radial a rotula
De barriletes

3.5.2 Elección de Rodamientos. [58]

Se fabrican rodamientos en una gran variedad de tipos, formas y dimensiones, como se muestra en la Figura 3.8. Cada tipo de rodamiento presenta propiedades y características que dependen de su diseño y que lo hacen más o menos adecuado para una determinada aplicación. La consideración más importante en la selección de un rodamiento es escoger aquel que permita a la máquina o mecanismo en la cual se instala, un funcionamiento satisfactorio.

**Figura 3.8 Diferentes tipos de rodamientos.**

Para facilitar el proceso de selección y lograr la determinación del rodamiento más apropiado para una tarea, se deben considerar diversos factores y contrastarlos entre sí:

- Espacio disponible.
- Magnitud, dirección y sentido de la carga.
- Desalineación
- Velocidad.
- Nivel de ruido.
- Rigidez.

- Montaje y desmontaje.

Para nuestra impresora 3D se va a contar con rodamientos lineales y rodamientos de bolas. Se elige rodamientos lineales y de bolas debido a que son piezas económicas, tiene larga duración de vida, brindan una fricción mínima, elevadas velocidades de traslación, y una buena precisión. Por ser rodamientos de bola a aumentar la eficiencia y disminuir el rozamiento de los ejes con la base.

Más adelante se seleccionara el tipo baleros adecuados para la impresora, ya que esto va a depender del diámetro de los ejes X-Y-Z y el tipo de movimientos que va a realizar cada eje.

3.6 Análisis de Actuadores.

Para poder ejercer la potencia requerida en los sistemas de trasmisión es necesario de un actuador, es decir, un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o actuar otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca un actuador proviene de tres fuentes posibles: presión neumática, presión hidráulica y fuerza motriz (motor eléctrico o solenoide). [59]

En máquinas de control numérico, se usan 3 tipos de actuadores eléctricos:

- Servomotores AC.
- Servomotores DC.
- Motores paso a paso (PAP).

3.6.1 Alternativas de Actuadores.

Por necesidades de la impresora 3D, se requiere una baja potencia en el sistema por lo que se desprecian los servomotores DC. A continuación se presentan las ventajas e inconvenientes de los Servomotores DC y motores PAP.

ALTERNATIVA 1: SERVOMOTORES DC

Un servomotor DC, también llamado servo, es un dispositivo similar a un motor de corriente continua que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición. [60]

Como se muestra en la Figura 3.9, contienen en su un amplificador o tarjeta controladora, motor de CD, piñonearía de reducción o juego de engranes y un potenciómetro de realimentación, además posee tres cables de conexión eléctrica; Vcc, GND, y Control.

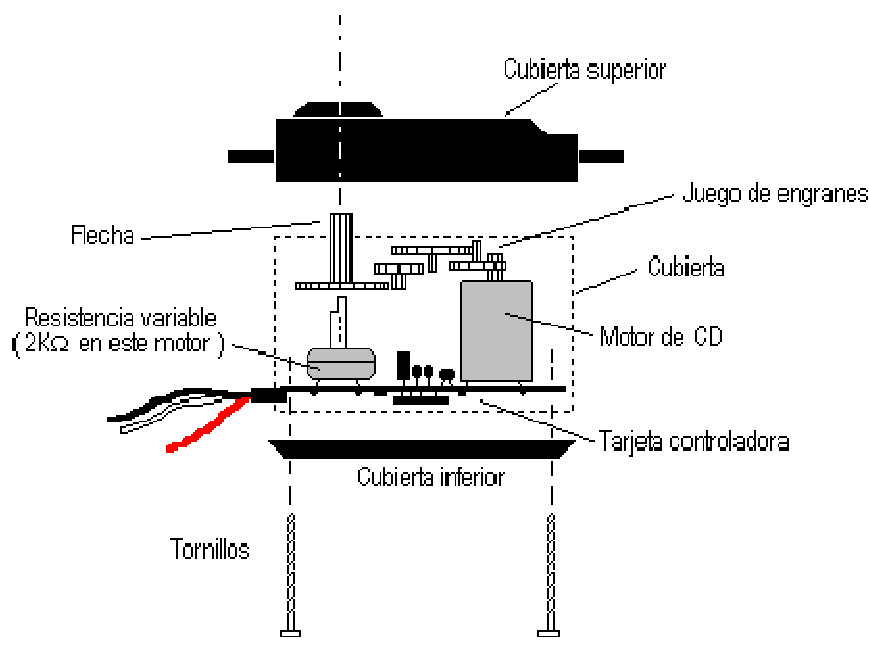


Figura 3.9 Estructura interna de Servomotor CD.

ALTERNATIVA 2: MOTORES A PASOS

Es un actuador electromecánico que convierte una serie de pulsos eléctricos en desplazamientos angulares constantes, es decir, como se muestra en la Figura 3.10, el rotor gira un ángulo determinado por cada paso.

Los motores a pasos son fundamentalmente diferentes a los demás motores de CD, ya que no tienen escobillas, ni conmutador mecánico [61].

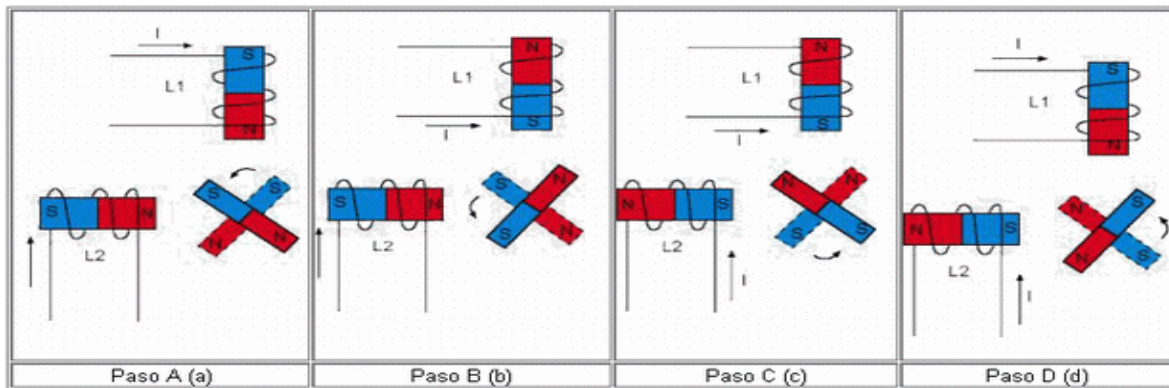


Figura 3.10 Pasos electromagnéticos de un motor paso a paso de 4 polos.

Los Motores a pasos dan un posicionamiento más preciso que los motores DC. Están estandarizados por la NEMA en cuanto a sus dimensiones. Los más comunes son los NEMA-17 (1.7 pulgadas de ancho) y los NEMA-23 (2.3 pulgadas de ancho) mostrados en la Figura 3.11.

Este tipo de motores son los más usados en aplicaciones de posicionamiento lineal y máquinas de control numérico ya que no requieren de un encoder y su correspondiente regulador para posicionarlos.

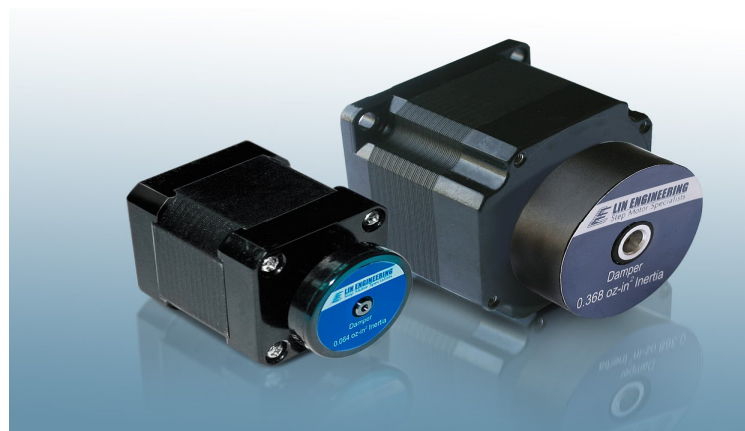


Figura 3.11 Motores paso a paso NEMA-17 Y NEMA 23.

3.6.2 Elección de Actuadores [62].

En la Tabla 3.3 y Tabla 3.4 se muestran las ventajas y desventajas de cada uno de las alternativas mostradas con anterioridad.

Tabla 3.3 Ventajas y desventajas de los motores de Corriente Continua.

Ventajas	Desventajas
• Elevada respuesta dinámica. • Estabilidad de velocidad, maneja altas velocidades y gran aceleración. • Gran precisión de posicionado. • Bajo momento de inercia • Alta capacidad de sobre par • Eficiencias del 80 al 90 %, desprenden menos calor, generan menos ruido. • Mayores capacidades de torque.	• Costoso. La conmutación depende de varios factores: la resolución del encoder o la capacidad de cálculo del controlador. • Sus escobillas deben ser cambiadas cada 2000 horas de operación. • No pueden mantenerse totalmente estables en una posición con aplicación de fuerzas. • Propenso a daños mecánicos por sobre torques.

Tabla 3.4 Ventajas y Desventajas de los Motores a Pasos.

Ventajas	Desventajas
• Solución económica. • Alta disponibilidad. • Gran resolución con micros pasos. • Precisión en su movimiento. • Pueden quedar enclavadas sus bobinas para mantener una posición con el máximo torque. • Elevada respuesta dinámica • Controladores más sencillos de realizar. • Menos propenso a daños por sobre torques.	• Bajas Potencias. • Resonancia a altas velocidades, genera ruido y vibraciones. • Eficiencia aproximada del 70%. • No cuenta con un sistema en lazo cerrado. • Pueden funcionar óptimamente a bajas y altas velocidades con un óptimo control de corriente mediante micro paso. • Velocidades bajas limitadas por la frecuencia de conmutación. • Los motores a pasos poseen su mayor torque solo a bajas velocidades.

Se concluye que la mejor elección de acuerdo a nuestras necesidades son los motores paso a paso, debido a ofrecen una mayor precisión, resulta más sencillo de controlar que un motor de corriente continua, ya que no necesita de una retroalimentación de la posición para mantenerse estable, con el motor a pasos podemos obtener mayor torque a altas y bajas tasas de pasos.

En el anexo CD se muestran los tipos de NEMA estandarizados en cuanto a sus dimensiones, la resolución de los motores PAP depende del número de pasos por vuelta.

En nuestro caso vamos a estudiar el más común, que es de 200 pasos por vuelta, lo que equivale a una resolución de 1.8° : NEMA 17 bipolar.

3.7 Análisis de Sensores.

El número de sensores disponibles para las distintas magnitudes es tan elevado que no se puede proceder a su estudio sin clasificarlos previamente, de acuerdo con algún criterio. Por ello los clasificaremos según nuestra necesidad, los sensores se pueden clasificar en moduladores o activos y generadores y pasivos. [63]. Dentro de nuestra necesidad, nuestros sensores serán los encargados de controlar las posiciones iniciales y finales de los ejes de la impresora 3D(X, Y, Z).

En los sensores activos, generan una señal de salida sin la necesidad de una fuente externa, mientras que los sensores pasivos si requieren de una fuente externa para cumplir su función. Según la señal de salida que se requiere se clasifican en digitales y analógicos, ya que solo se requiere controlar los finales de carrera de los ejes se opta por elegir una señal digital, es decir, todo o nada (0,1), solo poseen dos estados. A continuación analizaremos algunos sensores que nos podrían ser útiles para nuestra necesidad.

3.7.1 Alternativas de Sensores.

ALTERNATIVA 1: SENSOR MECANICO

Los sensores mecánicos se utilizan principalmente en para medir cantidades como posición, forma, velocidad, fuerza, torque, presión, vibración, deformación y masa. En las industrias los utilizan para el posicionamiento y la desconexión final en máquinas herramienta y prensas, en centros de fabricación flexible, robots, instalaciones de montaje y transporte, así como en la construcción de máquinas y aparatos. Estos robustos clásicos de la automatización están acreditados desde hace décadas.

De forma general se muestra en la Figura 3.12, un interruptor que consta de una pequeña pieza móvil y de una pieza fija que se llama NO, normalmente abierto, o NC, normalmente cerrado.

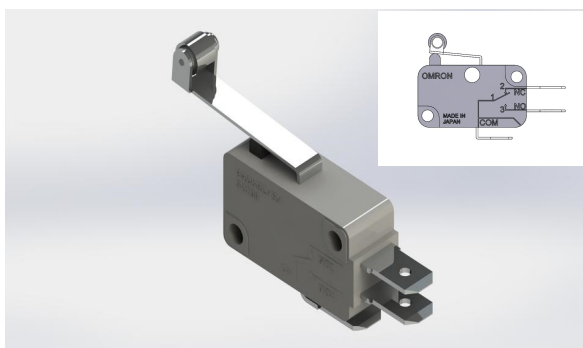


Figura 3.12 Sensor Mecánico, denominado Limit Switch.

ALTERNATIVA 2: SENSOR OPTICO [64].

Se definen como sensores ópticos aquellos dispositivos que permiten la conversión en señal eléctrica la información transmitida por la luz visible o radiaciones electromagnéticas como el infrarrojo y ultravioleta. Estos pueden agruparse en dos características: detectores cuánticos y detectores térmicos. Algunas ventajas y desventajas de los sensores ópticos son:

- **Ventajas:** Ofrece posibilidades de integración en sistemas más complejos, tanto industriales como educativos, bajo coste y tecnología bien establecida en el mercado, posibilidades de control a distancia de lugares poco accesibles físicamente.
- **Desventajas:** Distancia de detección corta, son muy sensibles a factores ambientales como la humedad y temperatura.

De forma general podemos decir que los sensores ópticos detectan la presencia de una persona o de un objeto, en este caso el final de carrera de los ejes, que interrumpen el haz de luz que le llega al sensor. En la figura 3.13 se muestra un tipo de sensor óptico.



Figura 3.13 Sensores CNY70.

ALTERNATIVA 4: SENSOR MAGNETICO [65].

Los sensores magnéticos, son caracterizados por la detección de objetos magnéticos, que se utilizan para accionar un proceso de conmutación, en nuestro caso la detección de un final de carrera en los ejes X, Y, Z. Uno de los sensores principales son los interruptores Reed, este contiene un par de láminas metálicas de materiales ferro magnéticos metidas en el interior de una cápsula que se atraen en presencia de un campo magnético, cerrando el circuito, un ejemplo de sensor magnético que se puede utilizar para nuestra aplicación se muestra en la Figura 3.14.



Figura 3.14 Sensor Magnético SMH-1PC.

3.7.2 Elección de Sensores.

Se concluye que la mejor alternativa para nuestras necesidades de controlar la posición de los ejes X, Y, Z es colocar un sensor mecánico, como final de carrera, ya que además de ser económico y general, no es necesario de fuente externa para su operación, es decir, solamente se cierra el circuito o abre el circuito, como switch, además de ser confiable, siempre y cuando este en la posición adecuada, muchas maquinarias industriales cuentan con este sistema de posicionamiento.

A diferencia de las otras alternativas, este requiere menor acondicionamiento.

3.8 Análisis de Extrusor.

El extrusor es uno de los elementos más importantes de la impresora 3D, este se encarga de calentar, posicionar el material a extruir y empujar. Por lo general el extrusor va montado en el eje X, y están diseñados para extruir materiales de diferentes diámetros. Dependiendo del tipo de nozzle que se desee colocar, será capaz de extruir diferentes tipos de polímeros.

3.8.1 ALTERNATIVAS DE EXTRUSORES (J-HEAD).

Las alternativas que se describen a continuación son las más apropiadas para trabajar con filamento plástico como material de extrusión. Existen dos tipos de sistemas los cuales son usados para las principales impresoras 3D con tecnología FDM: Sistema de Tornillo sin Fin y Sistema de engranajes.

ALTERNATIVA 1: SISTEMA DE TORNILLO SIN FIN.

Este sistema consta de un orificio en la parte superior el cual es alimentado por un filamento a través de rodillos, los cuales son alimentados por acción del rozamiento del filamento con los rodillos. En el sistema de rodillos, un elemento es conductor y el otro es conducido.

El conductor es movido a través de un eje torsional acoplado a un piñón del sistema reductor de potencia, como se muestra en la Figura 3.15 [66].

Ventajas: Mantiene alimentación continua de material a fundir, fácil de fabricar y montar, requiere de espacio extra o diseño de otro sistema para su ensamble.

Desventajas: Difícil de extruir diferentes tipos de materiales, requiere de cuidados y mantenimientos para evitar atascos y si un control efectivo de temperatura en la boquilla, ocupa mayor espacio, desgaste de material por fricción

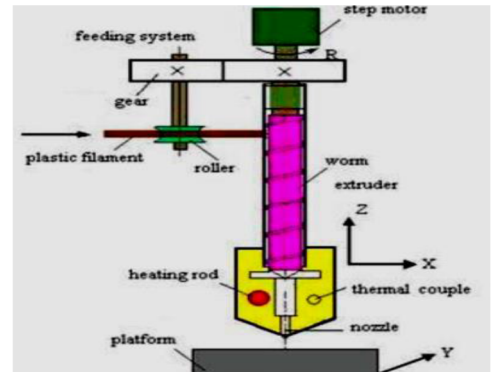


Figura 3.15 Sistema tornillo sin fin.

ALTERNATIVA 2: SISTEMA DE ENGRANAJES.

Este sistema de engranajes consta de dos engranes, un engrane de tracción acoplado al motor y un engrane conductor, el rodamiento se encarga de ejercer la presión necesaria para enviar el filamento por la boquilla del extrusor hasta llegar al hot end.

En la figura 3.16 se observa que el extrusor se compone de un tubo hueco recubierto de un aislante térmico, un bloque de aluminio, una resistencia que calentará el sistema, y un termistor para medir la temperatura [67].

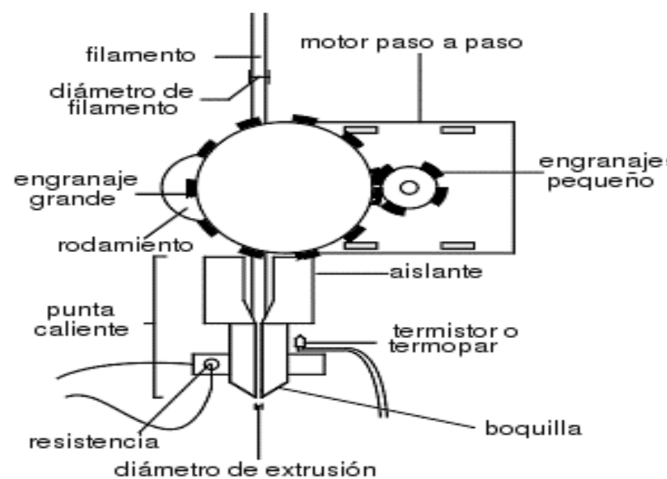


Figura 3.16 Sistema de engranajes en un extrusor J-Head.

Ventajas: Alimentación continua de material a fundir, mayor eficiencia y precisión que el sistema de tornillo, se pueden añadir diferentes tipos de materiales, facilidad de fabricar y montar.

Desventajas: Requiere de un control de temperatura para cada tipo de material a extruir, difícil de modificar, debido a la distancia entre engranajes, requiere de mayor sistema de enfriamiento.

A continuación se muestran algunas alternativas de J-Head nozzle actuales en el mercado y la elección que se implementara en nuestra impresora 3D.

Mk V [68].

Se ha reducido el tamaño y aumentar la longitud de la zona de fusión (cuerpo de J-Head). Para reducir el peso, se utiliza una boquilla de aluminio.

Características:

- ☐ Boquilla de aluminio: 0.5mm
- ☐ Diámetro de filamento de trabajo: 3mm
- ☐ Resistencia calefactora: 5.6 - 6.8 Ω
- ☐ Termistor: 100k
- ☐ Revestimiento: PTFE
- ☐ Bloque de aluminio: (17x23x8.3) mm
- ☐ Temperatura de operación: 247°C



Figura 3.17 J-Head Mk V.

BUDASCHNOZZLE 1.3 [69].

Características:

- ☐ Boquillas de aluminio: 0.35mm y 0.5mm
 - Diámetro de filamento de trabajo: 1.75mm y 3mm
- Peso: 1.35 Kg
- Bloque de aluminio: (18.4x25x8.3) mm
- Termistor: Hopewell
- Resistencia calefactora
- Temperatura de operación: 240°C



Figura 3.18 J-head BUDASCHNOZZLE.

STEPSTRUDER MK8 [70]

Características:

- Boquilla de latón: 0, 4 mm
 - Diámetro de filamento de trabajo: 1.75 mm
 - Peso: 0.36 Kg
 - Ventilador: (40x40x10) mm
 - Tubo de acero inoxidable con barrera térmica.
 - Disipador MK8 de aluminio
 - Termopar: Tipo K
 - Temperatura de operación: 250°C

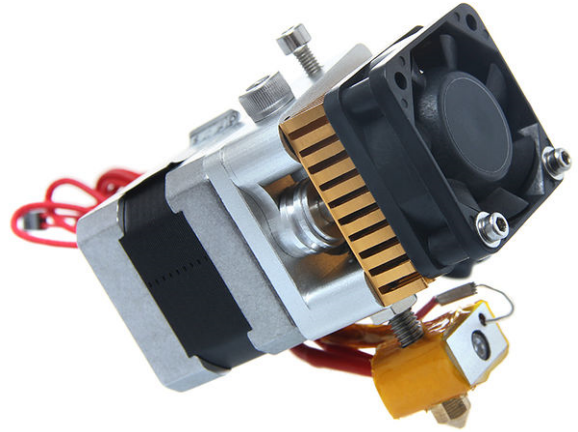


Figura 3.19 J-head STEPSTRUDER MK8.

3.8.2 Elección de Extrusor.

Teniendo en cuenta las ventajas y desventajas de los diferentes sistemas de extrusión se elige el mecanismo de engranajes. En cuanto al tipo de Extrusor, la mejor elección es el MK8 ya que este posee una configuración bastante fiable de montaje y desmontaje, capaz de soportar altas temperaturas teniendo así diferentes tipos de polímeros con los que se puede trabajar y el mecanismo de engranajes.

La inyección del material se realizara a través de un motor de pasos NEMA 17 que anteriormente se eligió. El calentamiento en la boquilla se realiza con una resistencia para fundir el termoplástico con el que se imprimirán los modelos, el control de la temperatura se realiza mediante el encendido y apagado de la resistencia y un termopar opcional para medir esta temperatura.

Esta extrusora cuenta con una estructura muy simple, pero el motor con el que se inyecta el material le aporta un gran peso y el calentamiento en la boquilla para fundir el material de impresión no es uniforme y no se mantiene en el punto de fusión del material para garantizar una buena impresión.

La inyección del material se lleva a cabo por medio de un rueda que gira libre y otra que está conectada al eje del motor mediante los engranes para transmitir todo el torque al termoplástico, las ruedas deben de tener suficiente fricción para transferir la

fuerza de las ruedas al filamento y esa fuerza deberá ser transmitida al centro de la boquilla en donde se fundirá el material.

3.9 Análisis de Electrónica.

En esta sección se analizarán la gran parte de la electrónica de nuestro proyecto, ya que es indispensable para funcionamiento de la impresora 3D. Contaremos con varias alternativas que nos servirán para nuestro propósito, hasta la fecha se han encontrado una multitud de placas controladoras. Entre las más conocidas y desarrolladas por Arduino se encuentra el Mega 2560, el Mega (o ATmega) 1280, etc., estos a su vez necesitan de un control de potencia para los motores utilizando una Ramps, el cual.

Seguido se encuentran impresoras en el mercado con tarjetas denominadas Gen, placas denominadas Sanguinololu, estas últimas incorporan tanto el micro controlador y el control de potencia en una misma placa. Por último, recientemente fue desarrollada una placa denominada MKS Base que cuenta con un ATmega 1280 y una Ramps 1.4.

Cabe destacar que estas placas se encuentran principalmente en impresoras 3D de bajo coste y algunas de gama media. En cuanto a impresoras 3D de gama media en adelante se cuentan con placas con un elevado costo como es el caso de Melzi board.

3.9.1 Alternativas de Electrónica.

En esta sección se comentarán 4 alternativas importantes para nuestra impresora 3D, cada una de ellas cuentan con una tarjeta controladora y una de potencia que alimenta los motores.

RepRap Arduino Mega Pololu Shield, Sanguinololu, SAV MKI, Generation 7 Electronics, entre otras.

ALTERNATIVA 1: REPRAP ARDUINO MEGA POLOLU SHIELD [71].

Mejor conocida como Ramps, existen en la actualidad un sinnúmero de versiones tanto de marcas chinas como de Pololu Electronics, que es la principal manufacturera de dicha tarjeta, se muestra en la Figura 3.20.

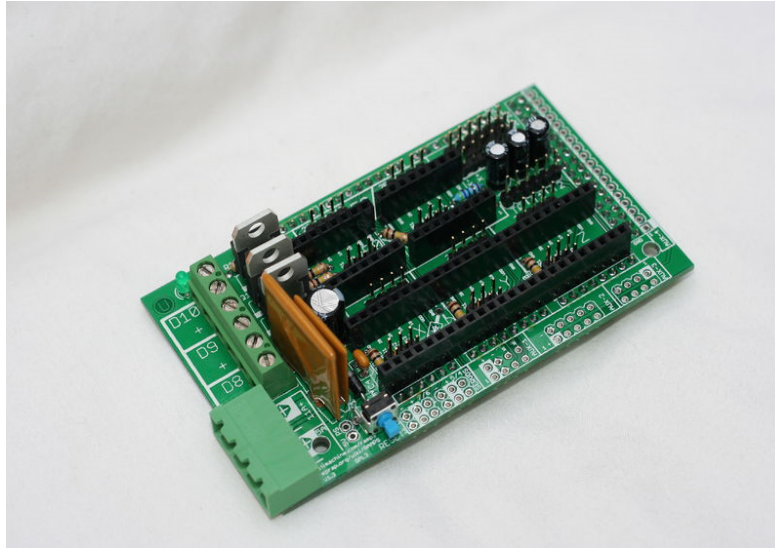


Figura 3.20 Placa electrónica Ramps 1.4.

Ventajas: Es una placa de bajo costo y fácil de utilizar, personalizar la tarjeta añadiendo componentes para ganar funcionalidad, es de las más utilizadas en proyectos y impresoras 3D de bajo costo y RepRap.

Desventajas: La placa electrónica tiende a fallar, debido a que los componentes que lo conforman son económicos por ende tienden a producir fallas como sobrecalentamiento tras horas de impresión, si se desea conectar una cama caliente es necesario de una fuente de alimentación de 12 V a 11A.

En el anexo CD se muestran los diagramas esquemáticos de una Ramps 1.4, así como sus especificaciones técnicas.

ALTERNATIVA 2: SANGUINOLOLU [72].

Sanguinololu es una placa controladora diseñada para optimizar espacio y de bajo costo, está diseñada a partir de un ATMEGA1284 y la adición de soporte para drivers Pololu, de forma que es compatible con Arduino, y a su vez con el firmware desarrollado para las RAMPS (RepRap Arduino Mega Pololu Shield), que se mostro

con anterioridad. En la Figura 3.21 se muestra la placa electrónica Sanguinololu en su versión más reciente 1.3a.

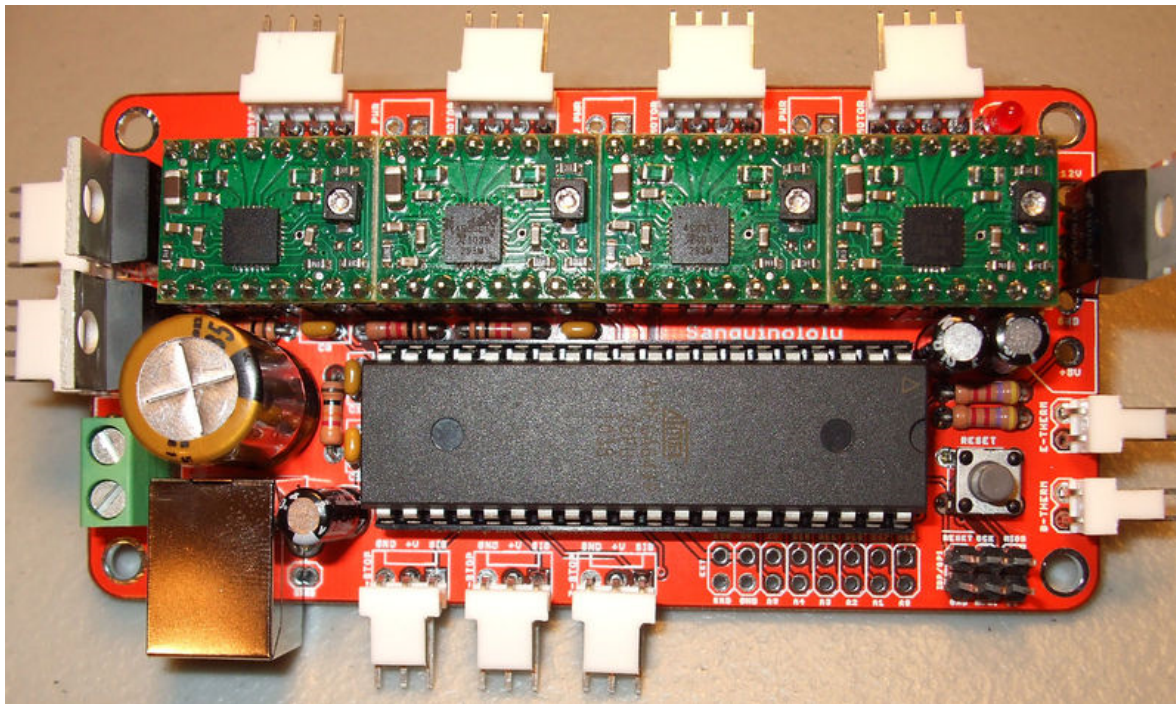


Figura 3.21 Placa electrónica Sanguinololu V1.3a.

Ventajas: Optimización de espacio, hay multitud de fabricantes que la ofrecen a nivel mundial, se encuentra integrado la etapa de control y potencia en una sola placa.

Desventajas: Si se desea implementar un doble extrusor en el proyecto, esta placa no sería viable ya que solamente cuenta con los pines necesarios para una impresora 3D común.

Para conocer más sobre las características técnicas se encuentra en el anexo CD, los diagramas esquemáticos de dicha placa y especificaciones.

ALTERNATIVA 3: MKS BASE [73].

Esta tarjeta es una alternativa todo en uno, para impresoras 3D y equipos CNC, consta de un ATmega2560, utilizado mayormente en el Arduino Mega, además tiene la capacidad de controlar hasta 5 motores paso a paso, esta tarjeta utiliza el mismo firmware que la Ramps mas reciente 1.4. En la Figura 3.22 se muestra la placa MKS Base.

Ventajas: Si se desea implementar un segundo extrusor esta placa es viable ya que cuenta con los pines suficientes para realizar, además sustituye a Ramps 1.4 y

Arduino, gracias a su memoria Flash integrada de 256k el cargado del firmware es más rápido y eficiente.

Desventajas: Ocupa un espacio considerable, no se encuentra con facilidad en México, debido a que todavía no se encuentra en Open Source.

Para conocer más sobre las características técnicas se encuentra en el Anexo CD los diagramas esquemáticos de dicha placa y especificaciones.



Figura 3.22 Placa electrónica MK Base V1.2.

3.9.2 Elección de Electrónica.

Actualmente en el mundo de las impresoras se han diseñado diferentes versiones y/o modelos para un fin en común, entre estas se mostraron las principales placas electrónicas anteriormente con sus propias ventajas y desventajas, sin embargo hasta el momento Arduino sigue siendo la tarjeta que se encuentra a la vanguardia y reconocida a nivel mundial, además es una de las tarjetas más implementadas para la fabricación o replicación de impresoras 3D.

Sin duda alguna cualquiera de las alternativas anteriores son viables, cuentan con el mismo controlador de Arduino, para nuestro proyecto se elegirá la MK Base, ya que en trabajos futuros se puede implementar un segundo extrusor sin necesidad de cambiar la electrónica, que a diferencia de las demás no cuentan con ello. Cabe

destacar que esta placa electrónica tiene una mayor eficiencia en el cargado del software y respuesta, se puede adquirir a un bajo costo.

3.10 Análisis y Elección de Firmware.

Existe una gran variedad de firmwares en la Wiki de RepRap:

- FlveD. Es el primero de todos los firmwares.
- Sprinter. Es un firmware más reciente, estable y cuenta con soporte para leer tarjetas SD.
- Teacup. Está escrito en C en lugar de C++ es un código compacto y eficiente.
- Sjfw. Cuenta con la programación para agregar una pantalla LCD, un teclado y utilizar tarjeta SD.
- Marlin. Está basado en Sprinter, utiliza tarjeta SD, se puede agregar una pantalla LCD y se utiliza almacenaje Eeprom.
- Makerbot. Este firmware lo desarrollo Makerbot y solamente funciona con su electrónica.
- Grbl. Es un firmware compacto que no controla extrusores se utiliza para pequeñas Maquinas de CNC.
- Repetier. El firmware cuenta con la programación de pantalla LCD, teclado, tarjeta SD, los parámetros más importantes son almacenados en la memoria Eeprom para tener un rápido acceso.

El Firmware a elegir es el Marlin [74], ya que se encuentra abierto a todo el público y es una de de las mejores valoradas por los desarrolladores de impresoras RepRap.

El firmware Marlin ofrece varias funciones en las que se puede interactuar, este fue desarrollado por Erik Zalm bajo licencia GPL. Actualmente el código se encuentra libre y de forma gratuita mediante el siguiente link: <https://github.com/ErikZalm/Marlin>. Algunas de las ventajas del firmware Marlin es establecer un control PID en las temperaturas del hot-end y heated bed, permite un control de velocidad de los ejes con aceleración gradual, se puede agregar una pantalla LCD y memoria SD, más adelante se mostrara la configuración del firmware Marlin para nuestro proyecto.

Capítulo 4

DISEÑO Y CONTRUCCIÓN

Dentro de este capítulo se va a realizar el diseño mecatrónico de la impresora 3D, entre los cuales se va a contar con varias etapas de diseño: mecánico, electrónico y software, cada uno de estos diseños fueron modelados en Solidworks 2013 y ensamblados para obtener como resultado la impresora 3D completa, en el CD “Impresora” se encuentran los archivos de los ensambles y piezas.

4.1 Diseño Mecánico.

Nuestro diseño mecánico consta del extrusor, estructura y posicionamientos lineales, ejes X, Y, Z, sistemas de transmisión y carcasa del proyecto, estos fueron previamente analizados y seleccionados en el capítulo anterior.

En la Figura 4.1 se muestra el diagrama de flujo del diseño mecánico, que se procederá a realizar.

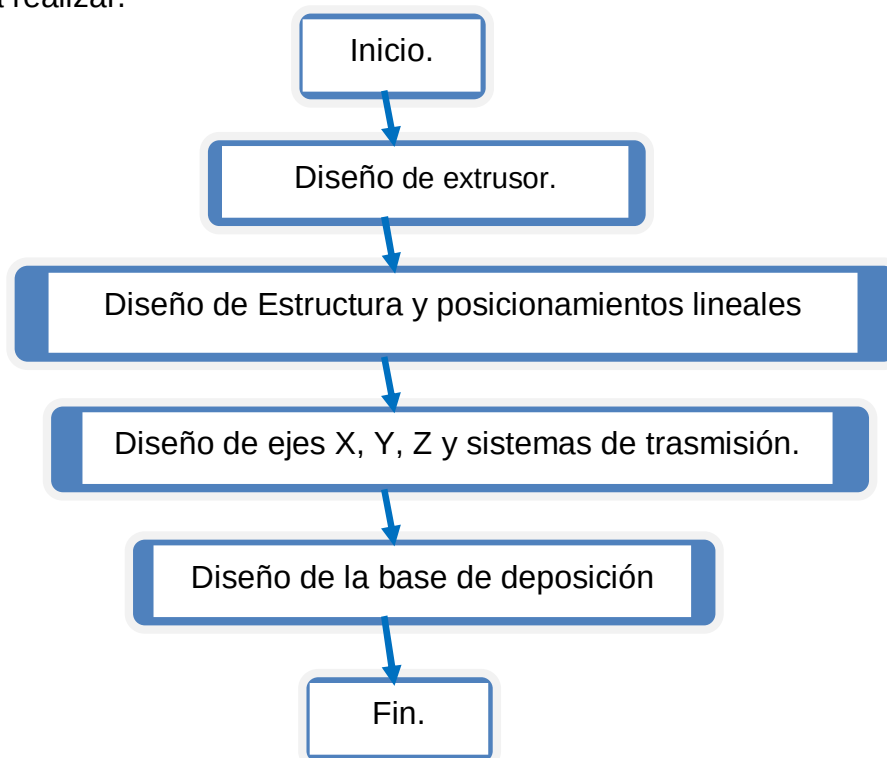


Figura 4.1 Diagrama Flujo de Diseño Mecánico.

4.1.1 Diseño del Extrusor.

Como se menciona en el subtema 3.8 del capítulo anterior, la función principal del extrusor es fundir el polímero y depositarlo capa por capa en una base y con ayuda de los ejes lograr un objeto tridimensional, por ello es una de las partes más importantes de la impresora, para llevar a cabo el proceso de diseño de extrusor y seleccionado la alternativa sistema de engranajes(3.8.1) como mecanismo de extrusión y el tipo de extrusor MK8(3.8.2) se procede a diseñar los siguientes elementos seleccionados que se muestran en la Figura 4.2.

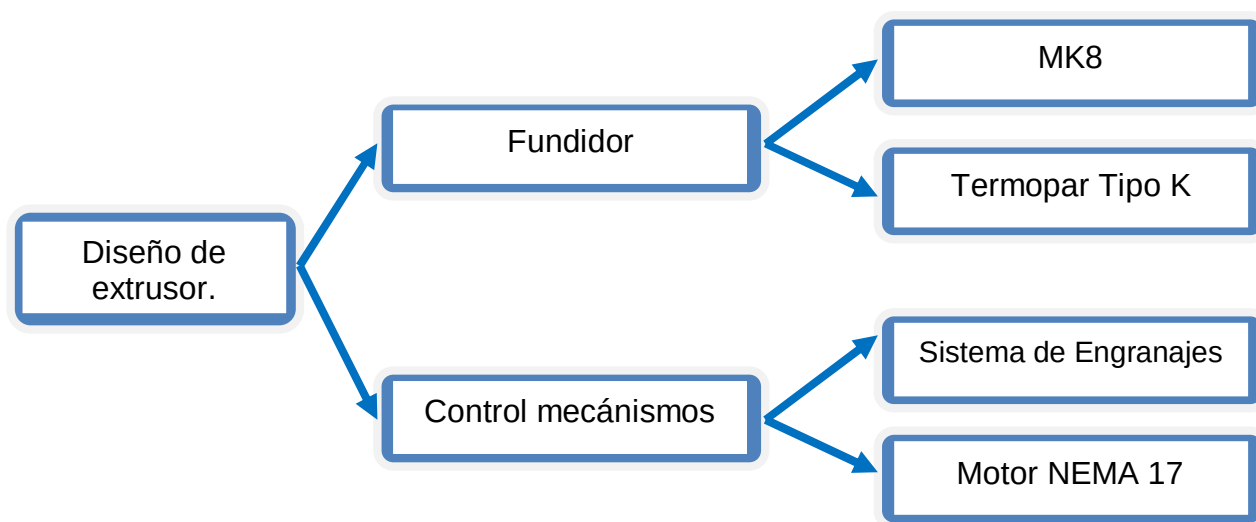


Figura 4.2 Diagrama Flujo de Diseño del Extrusor.

4.1.2 Construcción del Extrusor.

Teniendo en cuenta la elección del extrusor, se procede a realizar una réplica del extrusor mk8 ya que este se encuentra en un costo elevado de aproximadamente 600 a 800. En el siguiente link: <https://grabcad.com/library/3d-printer-extruder-with-nema-1> ,podemos encontrar la réplica de dicho extrusor como se muestra en la figura 4.3.

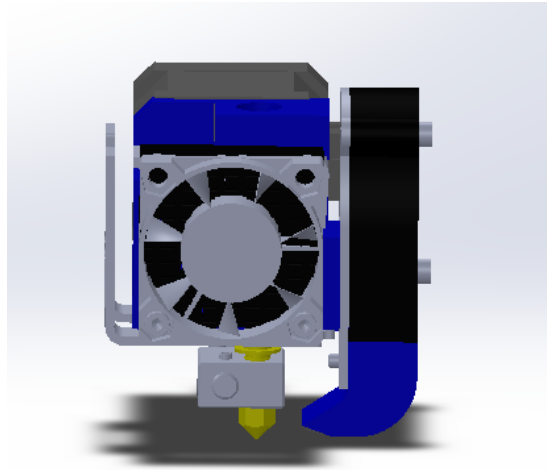


Figura 4.3 Diseño de Extrusor MK8

Este mecanismo se encontrara montado sobre los ejes del mecanismo X, este está constituido por los elementos que se muestran a continuación.

- 2 piezas imprimibles.
- Ventilador 12 VCD
- Ventilador 5 VCD
- J-Head
- Motor Nema 17
- Termistor 100k
- Engrane Extrusion m8
- Nozzle Extrusor .3 mm.

Este conjunto de mecanismos tiene la función de desplazar al filamento plástico hacia el fundidor para posteriormente ser extruido durante la impresión, es de vital importancia este mecanismo por lo cual se decide implementar dicho diseño para facilitar al usuario y obtener una mejor eficiencia y calidad en la extrusión.

4.1.3 Diseño de la estructura y posicionamientos lineales

El objetivo principal de la estructura es dar soporte a las cargas y rigidez a la impresora 3D. En la figura 4.4 se muestra el resultado de la alternativa seleccionada

del Capítulo 3 (3.3.2 Elección de Estructura y Posicionamientos Lineales.) para la estructura.



Figura 4.4 Expectativa de Impresora 3D (Prusa i3).

Uno de los objetivos que se consideró antes de comenzar con el diseño es reducir el número de piezas imprimibles, es decir; no es necesario contar con otra impresora 3D para replicar las piezas. Cabe destacar que las piezas serán de acrílico de 8 mm de diámetro y por medio de cortes laser.

A continuación en la Figura 4.5, se muestra un esquema del posicionamiento lineal seleccionado en el capítulo anterior (3.3.2 Elección de Estructura y Posicionamientos Lineales.)

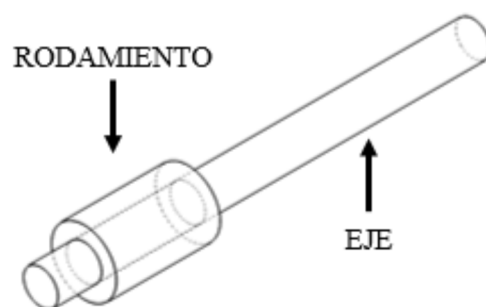


Figura 4.5 Sistema de posicionamiento lineal.

4.1.3.1 Diseño del Soporte-Carcasa.

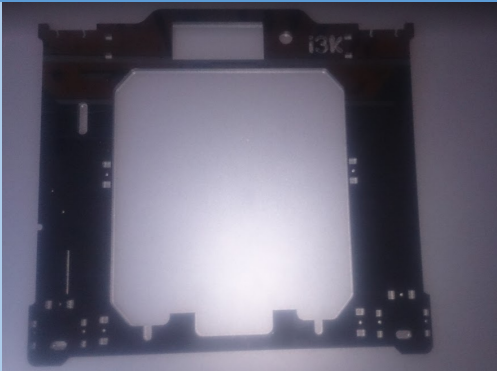
Los componentes que necesitamos son para dar soporte y sujeción a la estructura, por ello, se va a diseñar con acrílico comercial de 8mm de espesor, debe de ser sencillo de montar y de integrar con el resto de los componentes/ensambles. Una vez determinado con que se va a trabajar, se comienza con elaborar un modelo CAD. El modelo nos va a servir para verificar las dimensiones de la impresora 3D, evaluar los materiales y simular el funcionamiento de los mecanismos para no tener falla al momento de realizar la construcción física, tener una perspectiva final de cómo será el modelo físico.

En el mundo de las impresoras está avanzando a pasos agigantados, es posible que el usuario encuentre multitud de mejoras o posibles alternativas, en diversos repositorios de internet, especialmente en Thingiverse [75]. En el puedes encontrar una infinidad de estructura que pueden personalizarse o mejorarse a gusto de cada usuario.

En la siguiente tabla 4.1 se muestran los modelos que se diseñaron, y pueden ser descargados en el Apéndice 1. Todo el diseño CAD y las simulaciones se han elaborado en Solidworks 2013.

Tabla 4.1 Modelos del ensamble de Soporte-Carcasa.

	NOMBRE	IMAGEN	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	Base Lateral Izquierda		1	Base lateral izquierda para sostener marco y electrónica.

2	Base Lateral Derecha		1	Base lateral derecha para sostener marco y fuente de poder.
3	Marco Frontal		1	Marco frontal para colocar pantalla LCD, soporte de ejes X, Y, Z y vista principal de la maquina.

NOTA: El nombre del archivo correspondiente a cada modelo es igual al nombre que se muestra en la tabla anterior y se puede encontrar en el Apéndice 1.

4.1.3.2 Diseño posicionamientos lineales.

El diseño del posicionamiento lineales, cuenta con un componente llamado Rodamiento Lineal SCS8UU, como se muestra en la Tabla 4.2, que puede adquirirse de diferentes formas, incluso es posible encontrar kits que engloban gran parte de los componentes que engloban la impresora, este es uno de ellos. En el apartado de Presupuesto se puede encontrar más información acerca del componente.

Tabla 4.2 Modelos de Rodamiento SCS8UU.

	NOMBRE	IMAGEN	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	Rodamientos SCS8UU		3	Rodamientos para el posicionamiento lineal de ejes.

NOTA: El nombre del archivo correspondiente a cada modelo es igual al nombre que se muestra en la tabla anterior y se puede encontrar en el Apéndice 1.

4.1.4 Construcción de Estructura y posicionamientos lineales.

Para comenzar con el ensamblado de la estructura de nuestra impresora 3D, debemos contar con el material necesario para su construcción. La estructura consta de 2 bases laterales para sostener y dar soporte al marco principal, además de mantener la impresora estable, 1 marco principal, en el se colocaran los soportes de los ejes X, Y, Z. En la Figura 4.6 se muestra el ensamble de los 3 modelos mencionados anteriormente de forma física y en modelo de Solidworks.

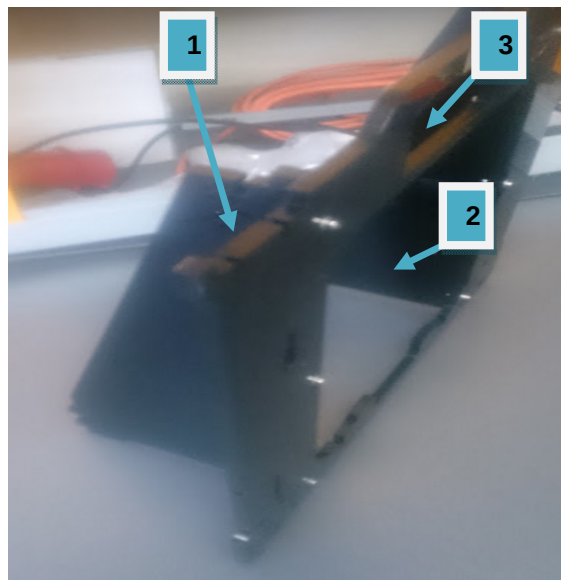


Figura 4.6 Ensamble de bases laterales con marco frontal.

Elementos: (1) Base Lateral Izquierda, (2) Base Lateral Derecha, (3) Marco Frontal. Nombre del archivo: "Soporte-Carcasa", se puede encontrar en el Apéndice 1.

4.1.5 Diseño de ejes X, Y, Z y sistemas de transmisión.

El diseño de los ejes X, Y, parte de 2 sistemas de movimientos: X: encargado de mover el extrusor a lo largo del eje X, Y: encargado de mover la base de deposición de material a extruir por todo lo largo del eje Y. Por ende, los modelos a diseñar y los componentes que se necesitan son los siguientes:

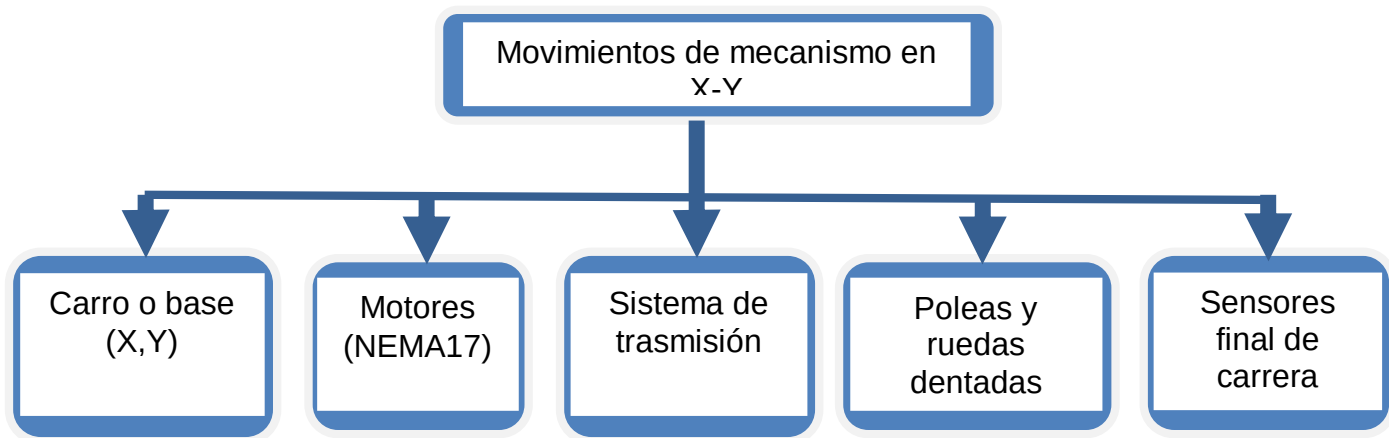


Figura 4.7 Diseño de Mecanismos X, Y.

4.1.5.1 Diseño de eje X.

El eje X o carro X tiene la función principal de soportar la carga del mecanismo extrusor MK8 seleccionado en el Capítulo 3 (3.8.2), que se desplaza a lo largo del eje X. En la Figura 4.8 se muestra el esquema general del carro X.

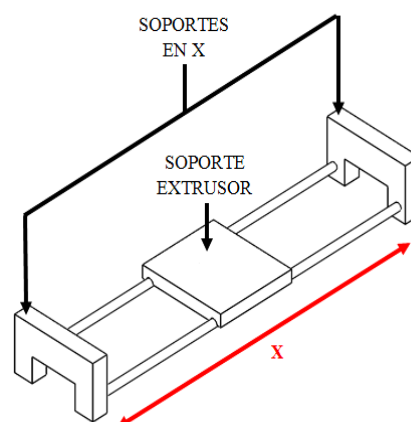


Figura 4.8 Diseño esquemático de Eje X.

Como se mostró anteriormente en el Capítulo 4 (4.1.1), el peso aproximado del extrusor es de 9.08N, por lo que cada soporte de eje tendrá que soportar 4.54 N. De acuerdo a los objetivos planeados de obtener una impresión máxima de 20x20x20, la longitud que existe entre los soportes en X sería de:

$$Lx = 470 \text{ mm}$$

Para obtener la dimensión de las vigas/flechas para dar soporte al extrusor es necesario realizar un análisis obteniendo la carga máxima, esfuerzo cortante y el momento flexor máximo, para esto procedemos a realizar una sumatoria de fuerzas y momentos, como se muestra en la Figura 4.9 del diagrama de cuerpo libre.[76]

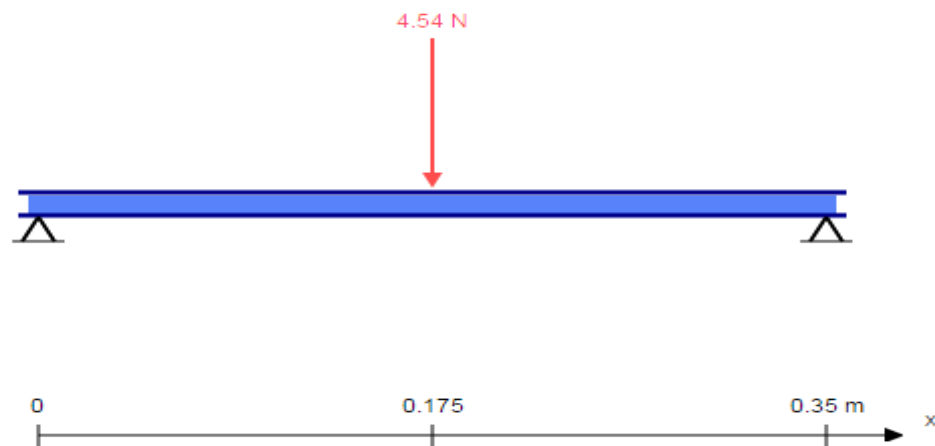


Figura 4.9 Diagrama de cuerpo libre en el eje X.

El esfuerzo cortante es la suma algebraica de todas las fuerzas externas perpendiculares al eje de la viga, en este caso de la flecha, que actúan a un lado de la sección considerada y el momento de flexión es la suma algebraica de todos los momentos producidos por todas las fuerzas externas a un mismo lado de la sección respecto a un punto de dicha sección [77].

Se realiza suma de fuerzas del diagrama de cuerpo libre anterior:

$$\sum F_y = 0$$

$$F_A + F_B - w = 0$$

$$F_A + F_B - 4.54N = 0$$

$$F_A + F_B = 4.54N$$

Se realiza suma de momentos del diagrama de cuerpo libre anterior:

$$\sum M_A = 0$$

$$-(d)(wx) + (Lx)(F_B) = 0$$

$$-(.175m)(2.27N) + (.350m)(F_B) = 0$$

$$-.397 + .350m(F_B) = 0$$

$$.350m(F_B) = .397m$$

$$F_B = \frac{.397m}{.350m}$$

$$F_B = 1.135N$$

Sustituyendo F_B en la ecuación $F_A = wx - F_B$ obtenemos la carga en el punto F_A .

$$F_A = wx - F_B$$

$$F_A = 2.27N - 1.135N$$

$$F_A = 1.135N$$

El momento flexor máximo se encuentra entre el punto medio de la flecha AB y viene dado por la formula:

$$M_x = \frac{(F_x)(L_x)}{4}$$

Donde:

M_x = *Momento de Flexion máximo.*

F_x = *Fuerza aplicada.*

L_x = *Longitud del eje.*

$$M_x = \frac{(4.54N)(.350)}{4}$$

$$M_x = .39725NM$$

Con ayuda del software online [78] corroboramos la fuerza cortante y el momento de flexor, mostrados en la Figura 4.10, 4.11 y 4.12.

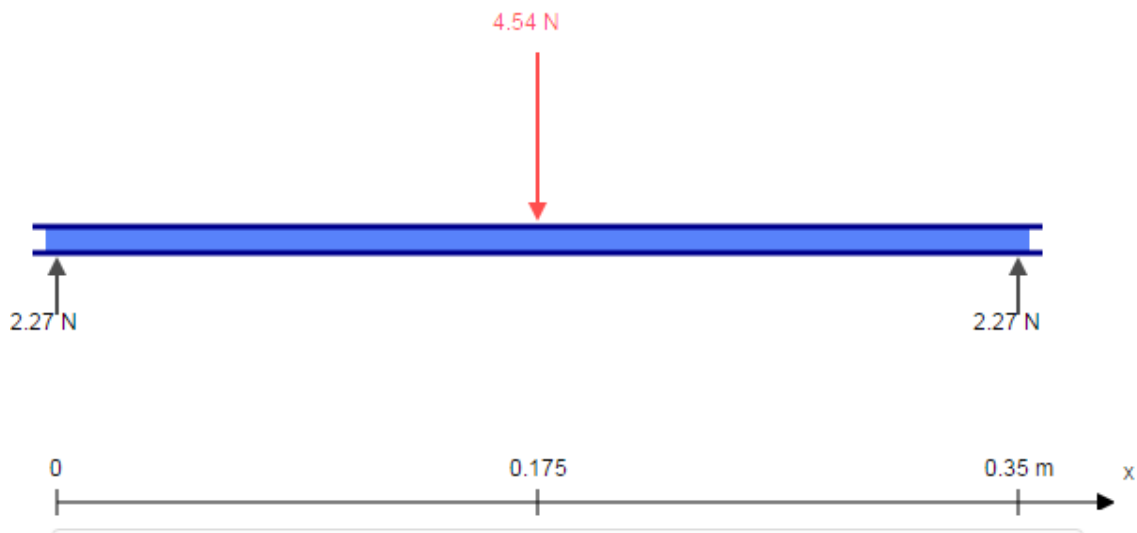


Figura 4.10 Diagrama de cuerpo libre en el eje X (Fuerza Cortante).

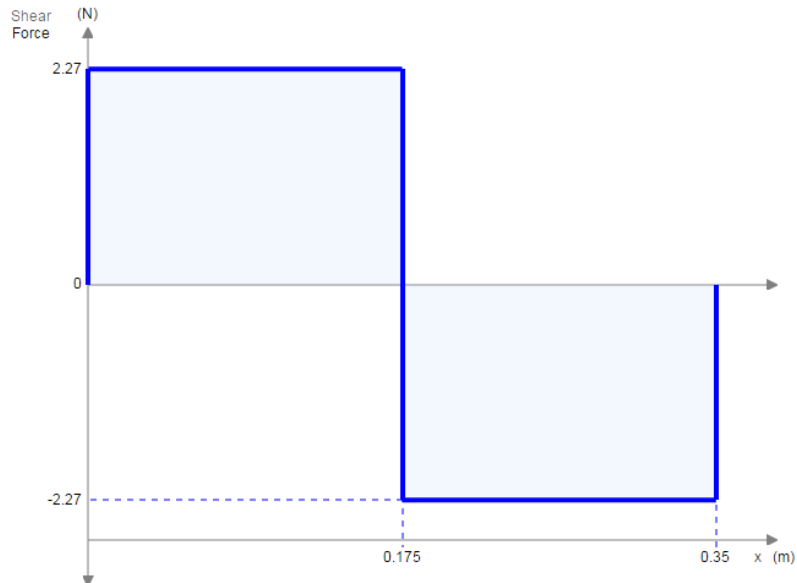


Figura 4.11 Fuerza Cortante en el eje X.

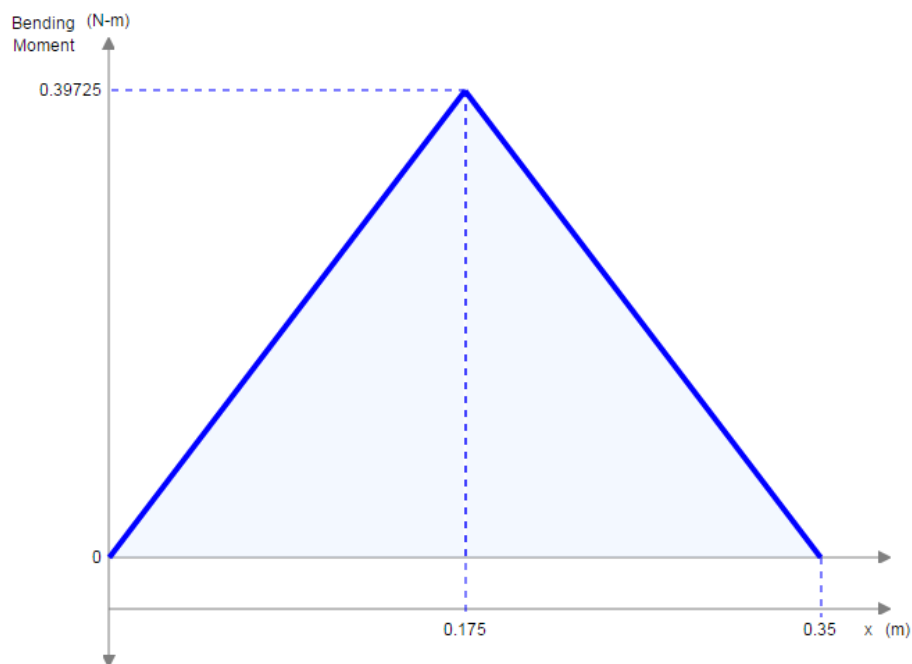


Figura 4.12 Momento Flexor en el eje X.

Con el valor del momento de flexión máximo podemos determinar el diámetro mínimo de las flechas que van a realizar el soporte del eje X por medio del siguiente cálculo [79]:

$$d \geq \left(\frac{32 * N * M_x}{\pi * S_y} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

d = *diámetro del eje.*

N = *Factor de seguridad en acero = 2.*

M_x = *Momento de flexión máximo en eje x.*

S_y = *Resistencia de fluencia del acero = 205 MPa (Anexo "").*

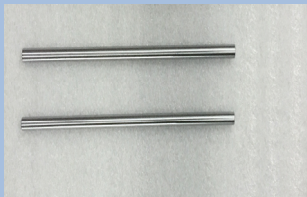
$$d_x \geq \left(\frac{32 * 2 * .39725NM}{\pi * 205MPa} \right)^{\frac{1}{3}}$$

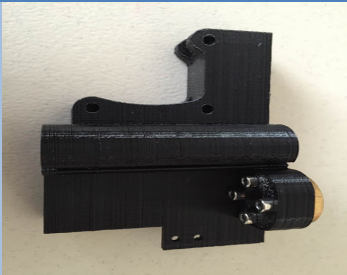
$$d_x \geq 3.4049mm$$

Ya calculado el diámetro mínimo para evitar deformaciones en el eje se optara por colocar un diámetro superior a él, garantizando de esta manera el funcionamiento del mecanismo en el eje X, por lo tanto el diámetro de las flechas que se colocaran es de $d_x = 8mm$.

En la siguiente tabla 4.3 se muestran los modelos que se diseñaron y componentes que se necesitan para el eje X, estos pueden ser descargados en el Apéndice 1. Todo el diseño CAD y las simulaciones se han elaborado en Solidworks 2013.

Tabla 4.3 Modelos para el ensamble del Eje X.

	NOMBRE	IMAGEN	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	Varilla Lisa M8		2	Varillas lisas.

2	Soporte Lateral Izquierdo		1	Soporte lateral de las flechas del eje X
3	Soporte Lateral Derecho		1	Soporte lateral de las flechas del eje X
4	Soporte Extrusor		1	Soporte del extrusor

NOTA: El nombre del archivo correspondiente a cada modelo es igual al nombre que se muestra en la tabla anterior y se puede encontrar en el Apéndice 1.

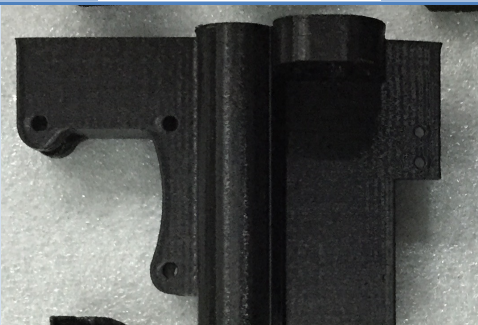
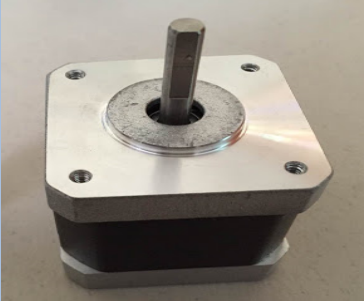
4.1.5.2 Construcción del eje X.

Para comenzar con el ensamblado del eje x de nuestra impresora 3D, debemos contar con el material necesario para su construcción. Como se mostró en la tabla anterior se cuentan con 3 modelos que fueron impresos por otra impresora 3D ya que se necesita dar soporte al eje X y extrusor.

Como se muestra en la Figura 4.7, el diseño de mecanismos en eje X y eje Y, cuentan con ciertos materiales que se pueden adquirir en tiendas en línea o lugares especializados en dichos accesorios. Para el ensamble el soporte lateral derecho, es

necesario de los siguientes materiales, en la tabla 4.4 se muestra los modelos/materiales necesarios para su ensamble.

Tabla 4.4 Modelos para soporte lateral derecho del Eje X.

	NOMBRE	IMAGEN	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	Rodamiento LM8UU		2	Rodamientos Lineales para guía de eje Z
2	Soporte lateral derecho.		1	Soporte lateral de las flechas del eje X.
3	Motor PAP		1	Motor Paso a paso NEMA17
4	Limit Switch		1	Final de carrera del eje X
5	PoleaMotor		1	Polea Dentada GT2

NOTA: El nombre del archivo correspondiente a cada modelo es igual al nombre que se muestra en la tabla anterior y se puede encontrar en el Apéndice 1.

En la Figura 4.13 se muestra el ensamble del soporte lateral derecha mencionados anteriormente de forma física y en modelo de Solidworks.

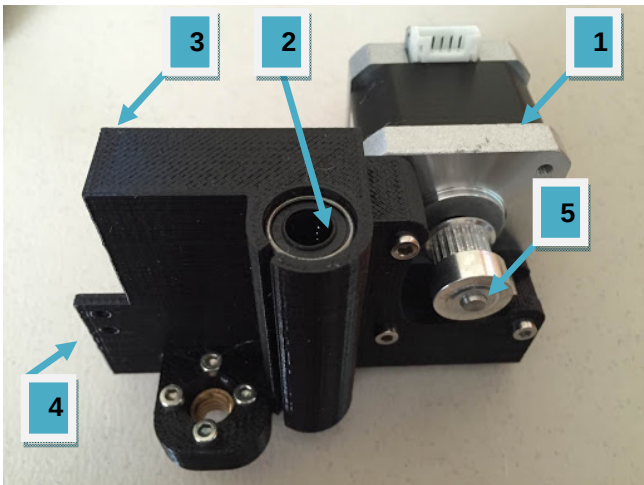


Figura 4.13 Ensamble de soporte Lateral Derecho.

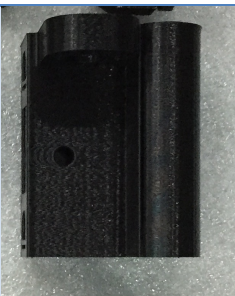
Elementos: Motor Nema17(1), Rodamientos LM8UU(2), Soporte Lateral(3), Limit Switch(4), Polea Dentada GT2(5).

Nombre del archivo: “Soporte_Lateral_Derecho”, se puede encontrar en el Apéndice 1.

Para el ensamble el soporte lateral izquierdo, es necesario de los siguientes materiales, en la tabla 4.5 se muestra los modelos/materiales necesarios para su ensamble.

Tabla 4.5 Modelos para soporte lateral izquierdo del Eje X.

	NOMBRE	IMAGEN		CANTIDAD	DESCRIPCION
1	Rodamiento LM8UU			2	Rodamientos Lineales para guía de eje Z

2	Soporte Lateral Izquierdo		1	Soporte lateral de las flechas del eje X.
3	Rodamiento 6mm		2	Soporte de Correa para transmisión en eje X.

NOTA: El nombre del archivo correspondiente a cada modelo es igual al nombre que se muestra en la tabla anterior y se puede encontrar en el Apéndice 1.

En la Figura 4.14 se muestra el ensamble del soporte lateral derecha mencionados anteriormente de forma física y en modelo de Solidworks.

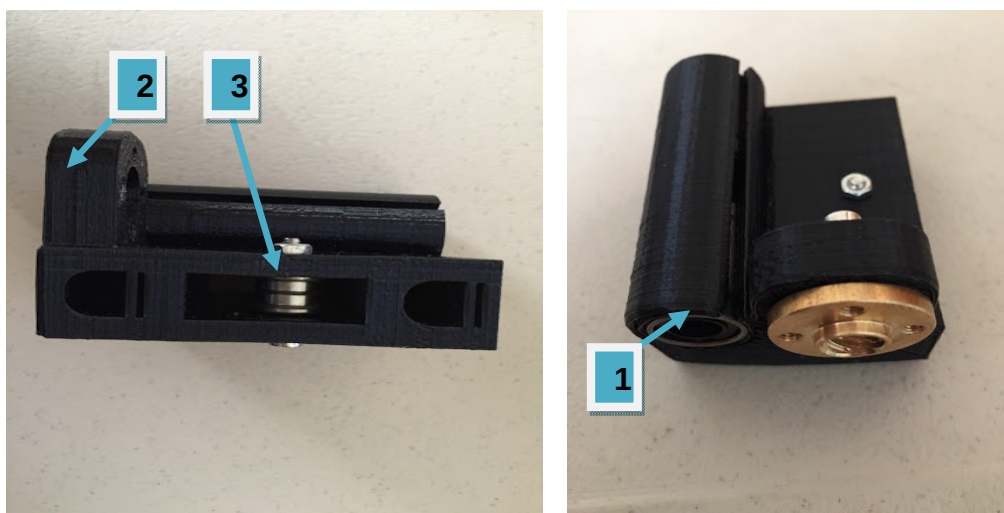


Figura 4.14 Ensamble de soporte Lateral Izquierdo.

Elementos: Rodamientos LM8UU (1), Soporte Lateral (2), Rodamientos 6mm (3).

Nombre del archivo: "Soporte_Lateral_Izquierdo", se puede encontrar en el Apéndice 1.

Teniendo los ensambles de los Soportes Laterales procedemos a la construcción del eje X, En la Figura 4.15 se muestra el ensamble completo del eje X mencionados anteriormente de forma física en la Tabla 4.3 y en modelo de Solidworks.

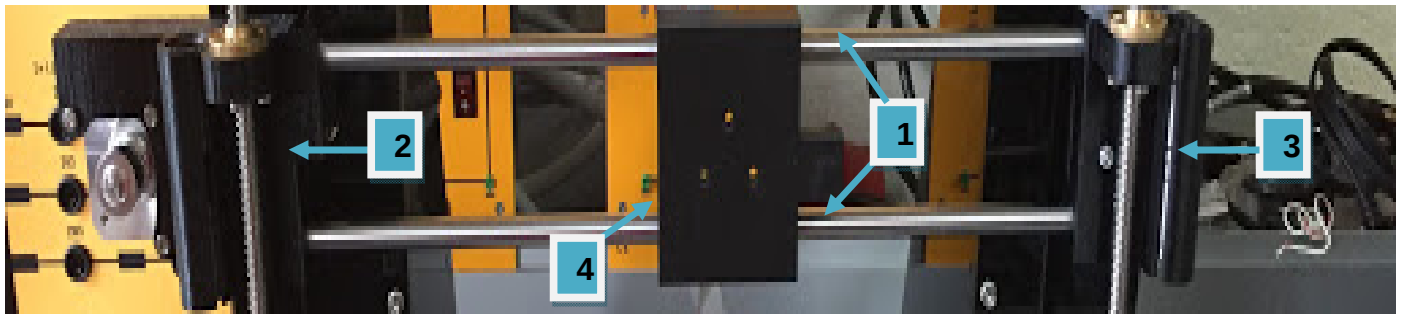


Figura 4.15 Ensamble de Eje X.

Elementos: Varilla Lisa M8(1), Soporte Lateral Derecho(2), Soporte Lateral Izquierdo(3), Soporte Extrusor(4).

Nombre del archivo: "Eje_X", se puede encontrar en el Apéndice 1.

4.1.5.3 Diseño del eje Y.

El eje Y o carro Y tiene la función principal de soportar la carga de la plataforma deslizante que tiene como función principal sostener la base de deposición de material fundido que se desplaza linealmente a lo largo del eje Y mediante rodamientos.

En la Figura 4.16 se muestra el esquema general del carro Y.

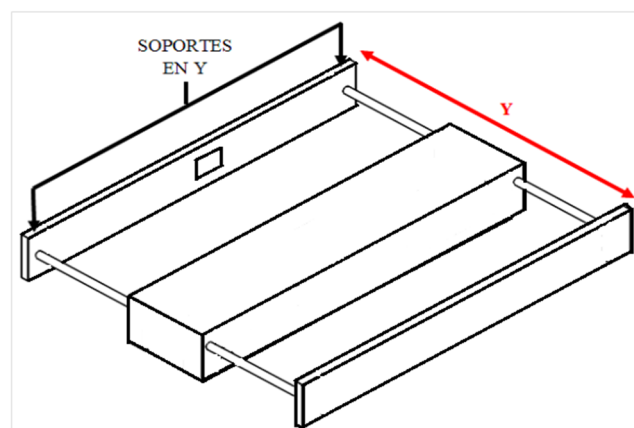


Figura 4.16 Diseño esquemático de Eje Y.

El peso total aproximado que soportará el eje Y, se muestra en la tabla 4.6.

Tabla 4.6 Peso de ensamble el eje Y.

Material	Peso(N)
Base aluminio 20x20x1.5 cm	1.2
Motor Nema 17	3.50
Piezas Plásticas	1.0
Tornillería	2.0
Base soporte de plataforma	1.0
Cama caliente 20x20	0.5

El peso total de las piezas plásticas se obtuvo con la ayuda del software Solidworks.

El peso total aproximado del mecanismo en el eje Y es de 9.2 N, pero debido a que este mecanismo estará formado por dos ejes el peso total se divide para dos, siendo 4.6 N el peso en cada eje. , la longitud que existe entre los soportes en Y seria de:

$$L_y = 270 \text{ mm}$$

Para obtener la dimensión de las vigas/flechas para dar soporte a la plataforma donde se va a extruir el material es necesario realizar un análisis obteniendo la carga máxima, esfuerzo cortante y el momento flexor máximo, para esto procedemos a realizar una sumatoria de fuerzas y momentos, como se muestra en la Figura 4.17 del diagrama de cuerpo libre [76].

El cálculo para obtener el diámetro del eje Y se realiza de igual forma que se hizo para el eje X. Se realiza suma de fuerzas del diagrama de cuerpo libre anterior:

$$\sum F_y = 0$$

$$F_A + F_B - w = 0$$

$$F_A + F_B - 4.6N = 0$$

$$F_A + F_B = 4.6N$$

Se realiza suma de momentos del diagrama de cuerpo libre anterior:

$$\sum M_A = 0$$

$$-(d)(wy) + (Ly)(F_B) = 0$$

$$-(.135m)(2.3N) + (.270m)(F_B) = 0$$

$$-.621 + .270m(F_B) = 0$$

$$.270m(F_B) = .621m$$

$$F_B = \frac{.621m}{.270m}$$

$$F_B = 2.3N$$

Sustituyendo F_B en la ecuación $F_A = wy - F_B$ obtenemos la carga en el punto F_A .

$$F_A = wy - F_B$$

$$F_A = 4.6N - 2.3N$$

$$F_A = 2.3N$$

El momento flexor máximo se encuentra entre el punto medio de la flecha AB y viene dado por la formula:

$$M_y = \frac{(F_y)(L_y)}{4}$$

Donde:

M_y = *Momento de Flexion máximo.*

F_y = *Fuerza aplicada.*

L_y = *Longitud del eje.*

$$M_y = \frac{(4.6N)(.270)}{4}$$

$$M_y = .3105NM$$

Con ayuda del software online [78] corroboramos la fuerza cortante y el momento de flexor, mostrados en la Figura 4.17, 4.18 y 4.19.

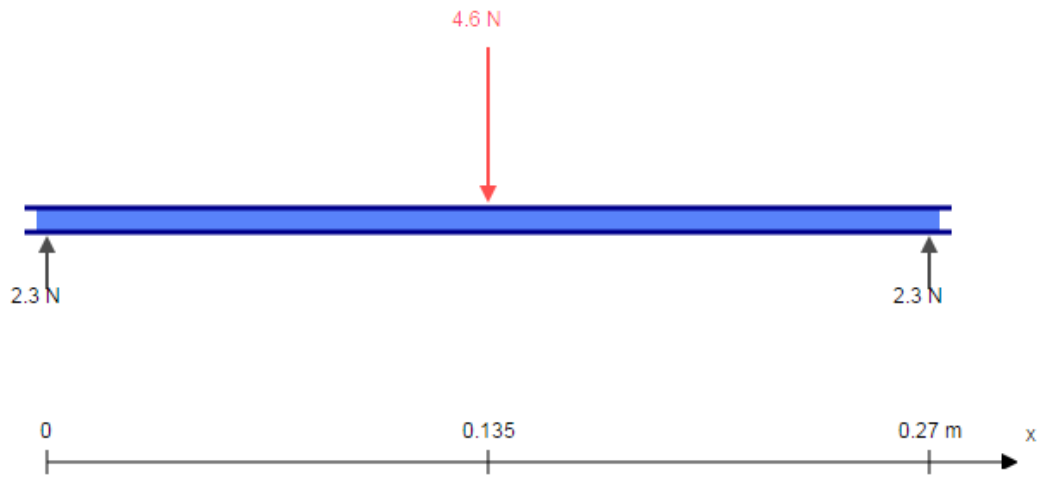


Figura 4.17 Diagrama de cuerpo libre en el eje Y (Fuerza Cortante).

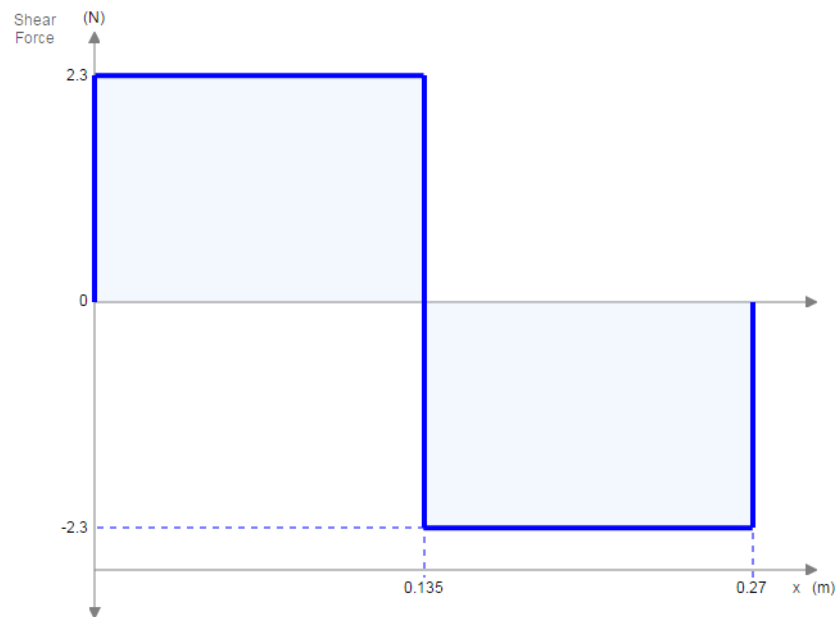


Figura 4.18 Fuerza Cortante en el eje Y.

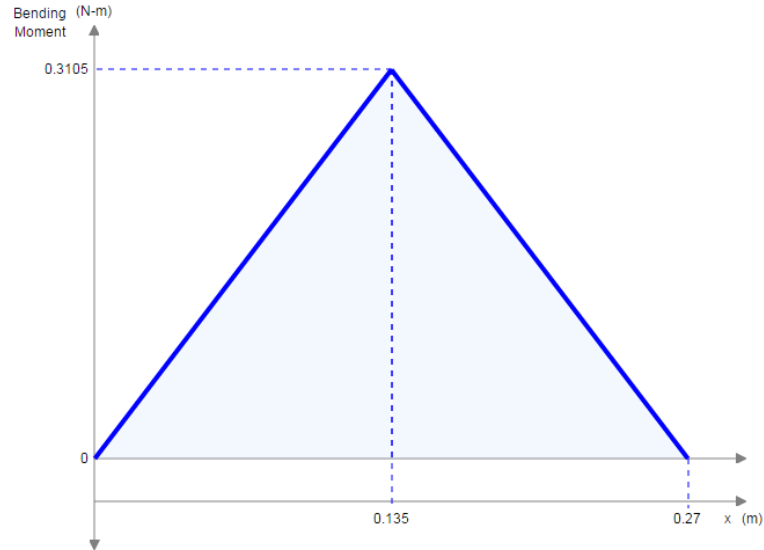


Figura 4.19 Momento Flexor en el eje Y.

Con el valor del momento de flexión máximo podemos determinar el diámetro mínimo de las flechas que van a realizar el soporte del eje Y por medio del siguiente cálculo [79]:

$$d \geq \left(\frac{32 * N * M_y}{\pi * S_y} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

d = diámetro del eje.

N = Factor de seguridad en acero = 2.

M_y = Momento de flexión máximo en eje y.

S_y = Resistencia de fluencia del acero = 205 MPa ([79]).

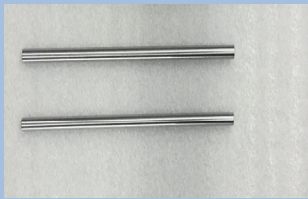
$$d_y \geq \left(\frac{32 * 2 * .3105 NM}{\pi * 205 MPa} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d_y \geq 3.1365 mm$$

Dada las condiciones se selecciona el diámetro inmediato superior que es 4mm, para obtener mejor resultado con un diámetro $d_y = 8 \text{ mm}$, igual al del eje X sería capaz de resistir el peso de la plataforma.

En la siguiente tabla 4.7 se muestran los modelos que se diseñaron y componentes que se necesitan para el eje Y, estos pueden ser descargados en el Apéndice 1. Todo el diseño CAD y las simulaciones se han elaborado en Solidworks 2013.

Tabla 4.7 Modelos para el ensamble del eje Y.

	NOMBRE	IMAGEN	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	Varilla Lisa M8		2	Varillas lisas para guías.
2	Varilla Roscada M8		2	Varillas roscadas para guías.
3	Base Plataforma de deposición.		1	Base donde se va a extruir el modelo a imprimir.
4	Soporte trasero		1	Soporte para Motor Nema 17 y sistema de transmisión.

5	Soporte frontal		1	Soporte de sistema de transmisión y guías
6	Rodamientos SCS8UU		3	Rodamientos para el posicionamiento lineal de eje en Y.

NOTA: El nombre del archivo correspondiente a cada modelo es igual al nombre que se muestra en la tabla anterior y se puede encontrar en el Apéndice 1.

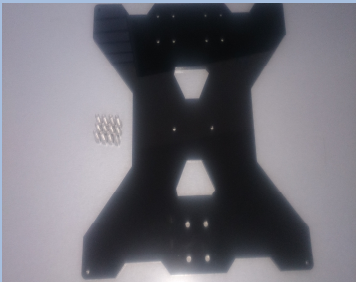
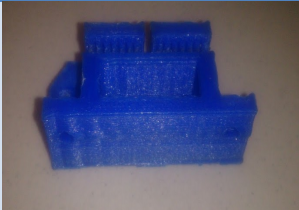
4.1.5.4 Construcción del Eje Y.

Para continuar con el ensamblado del eje y de nuestra impresora 3D, debemos contar con el material necesario para su construcción. Como se mostró en la tabla anterior se cuentan con 3 sub-ensambles que se necesitan para finalizar el eje Y.

Para el sub-ensamble de la base plataforma de deposición, es necesario de los siguientes materiales, en la tabla 4.8 se muestra los modelos/materiales necesarios para su ensamble.

Tabla 4.8 Modelos para base plataforma.

	NOMBRE	IMAGEN	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	Base de aluminio		1	Base de aluminio de 20x20x1cm

2	Cama Caliente		1	Cama Caliente(heatbed)
3	Base de Acrílico		1	Base Principal de la plataforma
4	Opresor de banda GT2		1	Modelo impreso para agrupar la plataforma con la banda de transmisión.
5	Limit Switch		1	Final de carrera del eje Y.

En la Figura 4.20 se muestra el ensamble de la base plataforma de deposición mencionados anteriormente de forma física y en modelo de Solidworks.

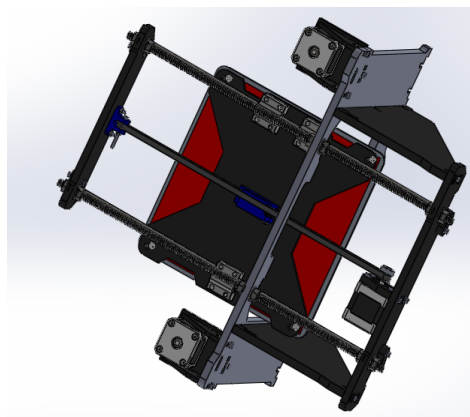
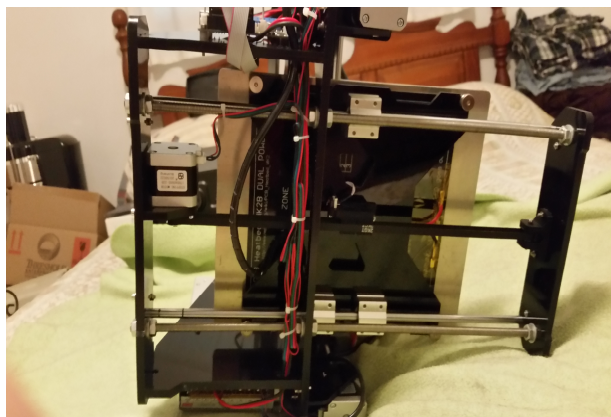


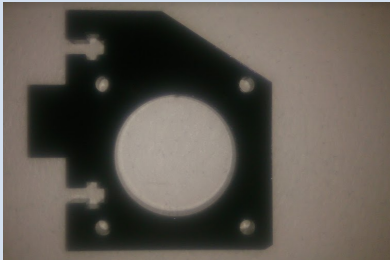
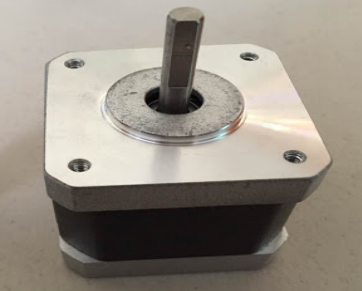
Figura 4.20 Base Plataforma de Deposición.

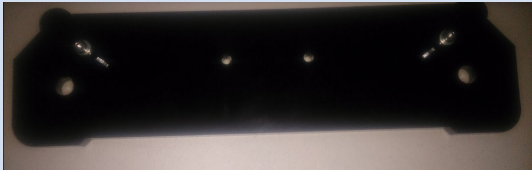
Elementos: Base de Aluminio (1), Cama Caliente (2), Base de Acrílico (3), Opresor de banda GT2 (4), Limit Switch (5).

Nombre del archivo: “Base_Y”, se puede encontrar en el Apéndice 1.

Para los siguientes sub-ensambles de soporte trasero y frontal, es necesario de los siguientes materiales, en la tabla 4.9 se muestra los modelos/materiales necesarios para su ensamble.

Tabla 4.9 Modelos para soporte trasero y frontal.

	NOMBRE	IMAGEN	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	Base Soporte Trasero		1	Base trasera de impresora 3D.
2	Soporte de Motor Nema 17		1	Soporte para el motor.
3	Motor Nema 17		1	Motor Paso a paso NEMA17
4	PoleaMotor		1	Polea Dentada GT2

5	Rodamientos 4mm		2	Rodamiento para banda de transmisión.
6	Base Soporte Delantera		1	Base Soporte Delantera de impresora 3D.
7	Soporte de rodamientos		1	Soporte y guía de banda de transmisión GT2.

NOTA: El nombre del archivo correspondiente a cada modelo es igual al nombre que se muestra en la tabla anterior y se puede encontrar en el Apéndice 1.

En la Figura 4.21 y 4.22 se muestran los ensambles de las bases de soporte frontal y trasero mencionado anteriormente de forma física y en modelo de Solidworks en CD.

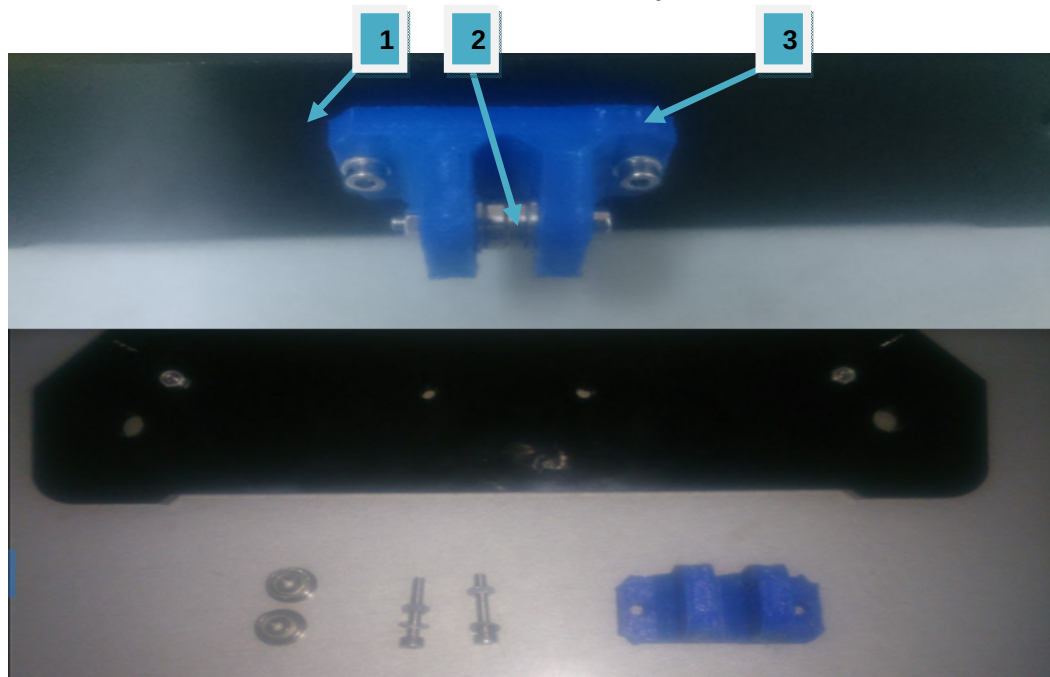


Figura 4.21 Base Soporte Frontal.

Elementos: Base Soporte Delantera (1), Rodamientos 4mm (2), Soporte de Rodamientos (3).

Nombre del archivo: “Soporte_Frontal”, se puede encontrar en el Apéndice 1.

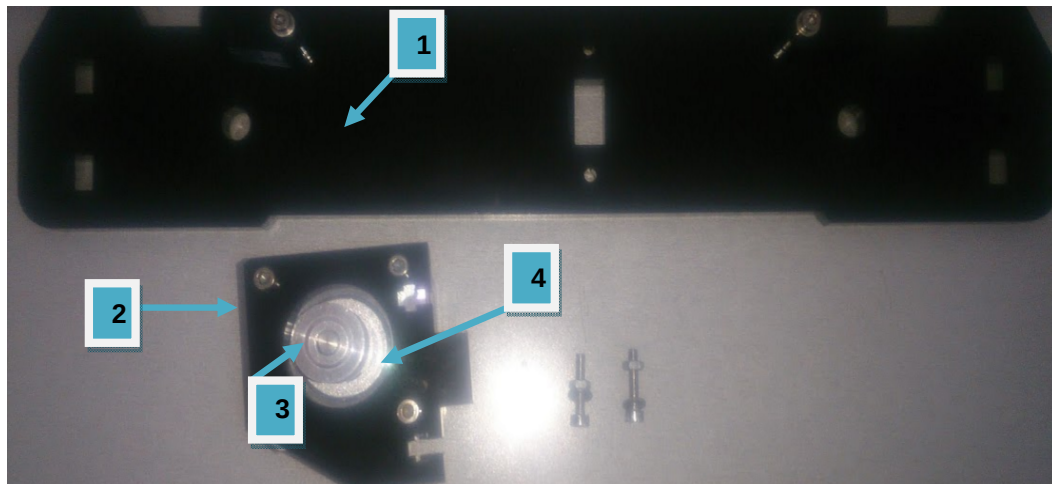


Figura 4.22 Base Soporte Trasero.

Elementos: Base Soporte Trasero(1), Soporte de Motor NEMA17(2), Motor NEMA17(3), Polea Dentada(4).

Nombre del archivo: “Soporte Trasero”, se puede encontrar en el Apéndice 1.

Teniendo los 3 sub- ensambles, procedemos a la construcción del eje Y, En la Figura 4.23 se muestra el ensamble completo del eje Y mencionados anteriormente de forma física en la Tabla 4.7 y en modelo de Solidworks.

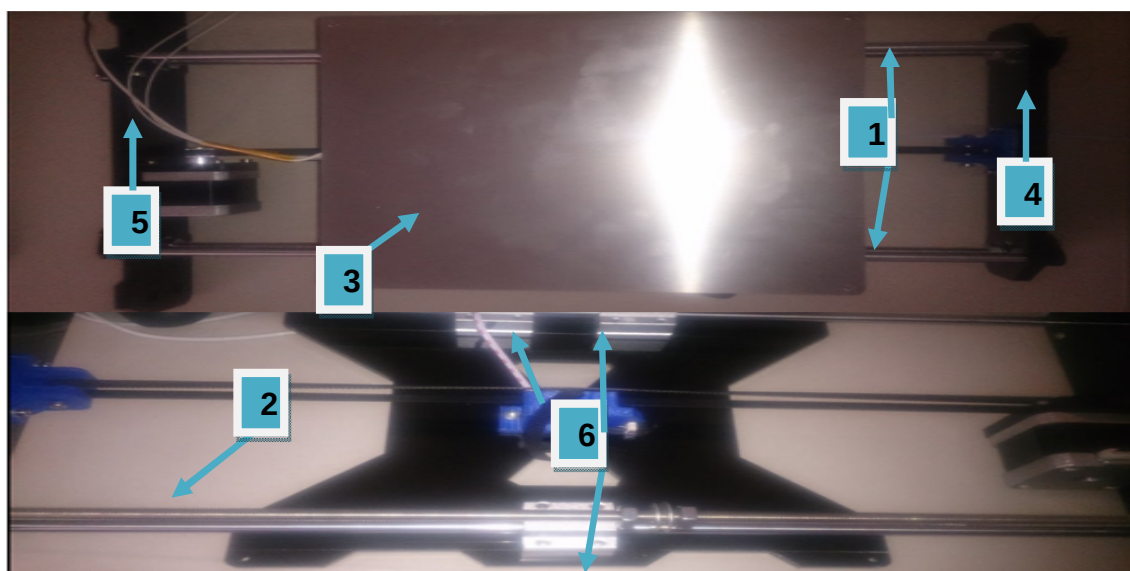


Figura 4.23 Ensamble del Eje Y.

Elementos: Varilla Lisa M8(1), Varilla Roscada M8(2), Base Plataforma de Deposición(3), Base Frontal(4), Base Trasero(5), Rodamientos SCS8UU(6).

Nombre del archivo: "Eje_Y", se puede encontrar en el Apéndice 1.

4.1.5.5 Diseño del Sistema de Transmisión en X-Y.

Para realizar el desplazamiento lineal en los ejes X-Y se seleccionó implementar el sistema de bandas de sincronización, las fuerzas que intervienen se describen en la Figura 4.24.

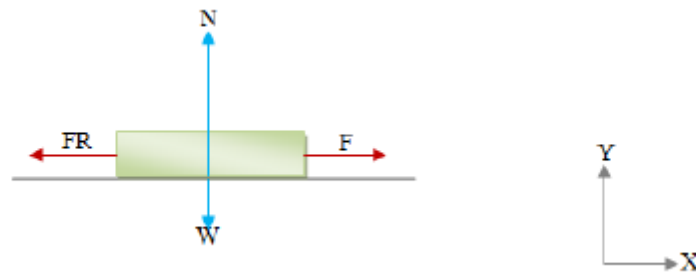


Figura 4.24 Diagrama de cuerpo libre mecanismos X-Y.

1. Ambas plataformas tanto de soporte de extrusor y plataforma de deposición están sostenidas en dos ejes que reposan sobre los rodamientos SCS8UU. Se procede a calcular el torque necesario para desplazar ambas plataformas dentro de sus respectivos ejes, se procede a realizar el análisis en el diagrama del sistema de transmisión polea-correa mostrado en la Figura 4.25.

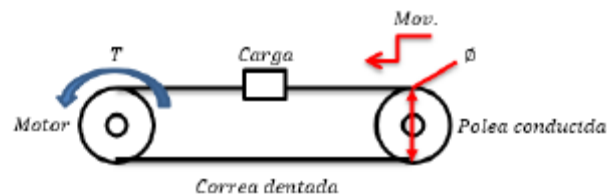


Figura 4.25 Diagrama del sistema de poleas en los ejes X-Y

Para establecer el torque requerido por el motor en este sistema se usa el Diagrama de cuerpo libre de la Figura 4.26.

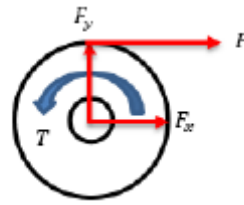


Figura 4.26 Diagrama de cuerpo libre Polea – Motor.

Para determinar el torque requerido por el motor se toman las siguientes

Consideraciones:

- Peso de la banda despreciable
- Inercia de poleas mínima

De los diagramas de las Figuras 4.25 y 4.26 se determina que:

$$T = F \times r$$

Donde:

T : Torque requerido por el motor

r : Radio de la polea, el diámetro de la polea es de: 22.4mm.

F : Fuerza requerida para el movimiento.

$$r = \frac{D}{2}$$

$$r = \frac{22,4mm}{2} = 0,0112m$$

Torque en X

$$T_x = (3,73 \text{ N}) \times (0,0112m)$$

$$T_x = \mathbf{0,041 \text{ Nm}}$$

Torque en Y

$$T_y = (9,38 \text{ N}) \times (0,0112m)$$

$$T_y = \mathbf{0,11 \text{ Nm}}$$

El torque calculado anteriormente en mecanismo del eje Y, a comparación con el torque en el eje X, es él requiere mayor, por ellos podemos concluir que el motor seleccionado (3.8.2) para el mecanismo extrusor también se puede usar sin ningún problema en los sistemas X-Y, ya que el torque de este motor (2.6.2) es de 0.55 Nm, cumpliendo con la siguiente condición:

$$T_{requerido} < T_{motor}$$

$$0,11 \text{ Nm} < 0,55 \text{ Nm}$$

La potencia requerida para los mecanismos está dada por la siguiente ecuación:

$$P = T \times \omega$$

$$\omega = \frac{v}{r}$$

Donde:

ω : Velocidad angular

v : Velocidad lineal = 100 mm/s

r : Radio de la polea = 11.2 mm

Mediante la ecuación mencionada anteriormente se tiene que la velocidad angular es igual a:

$$\omega = \frac{100 \text{ mm/s}}{11.2 \text{ mm}}$$

$$\omega = 8.92 \text{ rad/s}$$

Ahora obtenemos la potencia:

$$P = (0,11 \text{ Nm}) \times (8.92 \text{ rad/s})$$

$$P = 0.982 \text{ W}$$

Por lo tanto se cumple con la siguiente condición:

$$P_{requerida} < P_{motor}$$

$$0.982 \text{ W} < 6.3 \text{ W}$$

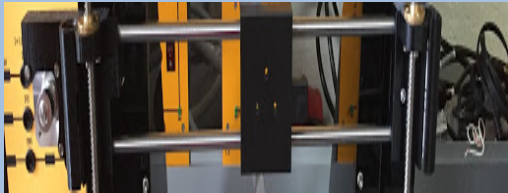
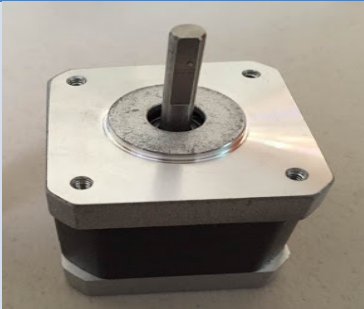
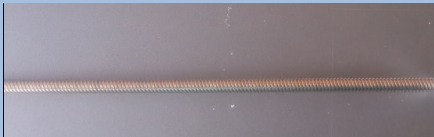
Esta es la potencia requerida por el motor para cumplir con los requisitos del sistema en ambos ejes, y de acuerdo con la potencia que brinda el motor seleccionado (2.6.2) este motor es suficiente para realizar tal movimiento.

4.1.5.6 Diseño del Eje Z.

El diseño del mecanismo del eje Z, es el encargado de posicionar el extrusor desde el inicio de la plataforma de adición hasta el límite de la impresora 3D, en la siguiente tabla 4.8 se muestran los modelos que se diseñaron y componentes que se necesitan para el eje Z, estos pueden ser descargados en el Apéndice 1 incluyendo

los diagramas esquemáticos de cada uno de ellos (Apéndice 1). Todo el diseño CAD y las simulaciones se han elaborado en Solidworks 2013.

Tabla 4.10 Modelos para ensamble del eje Z.

	NOMBRE	IMAGEN	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	Eje_X		1	Ensamble del eje X.
2	Motores		2	Motores paso a paso NEMA17
3	Guías Roscadas		2	Guías roscadas M8, 30 cm.
4	Acople Motor		2	Acople para motor 4mmx6mm tipo cilindro flexible.
5	Bases Motor		2	Soportes de motores paso a paso NEMA17

6	Soporte-Carcasa		1	Carcasa de soporte de ejes.
---	-----------------	---	---	-----------------------------

NOTA: El nombre del archivo correspondiente a cada modelo es igual al nombre que se muestra en la tabla anterior y se puede encontrar en el Apéndice 1.

En la Figura 4.27 se muestra el ensamble del eje Y, con los modelos mencionados anteriormente de forma física y en modelo de Solidworks en CD.

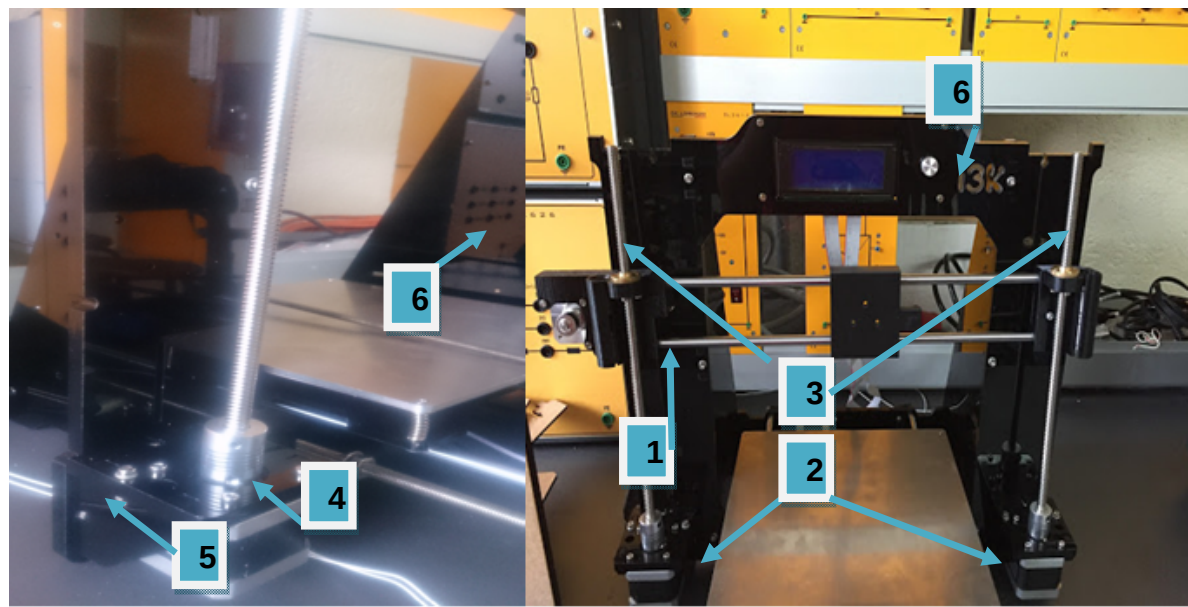


Figura 4.27 Ensamble del Eje Z.

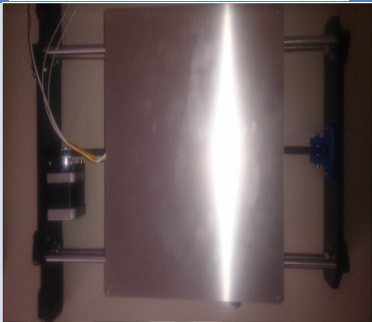
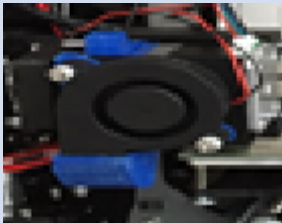
Elementos: Eje_X (1), Motores (2), Guías Roscadas (3), Acople de Motor (4), Bases Motor (5), Soporte-Carcasa (6).

Nombre del archivo: “Eje_Z”, se puede encontrar en el Apéndice 1.

Teniendo los sub-ensambles: Eje_Z, Eje_Y, Soporte_Carcasa procedemos con el ensamble completo de la impresora 3D. En la siguiente tabla 4.9 se muestran los modelos que se diseñaron y componentes que se necesitan para el ensamble completo de la impresora 3D, estos pueden ser descargados en el Apéndice 1

incluyendo los diagramas esquemáticos de cada uno de ellos. Todo el diseño CAD y las simulaciones se han elaborado en Solidworks 2013.

Tabla 4.11 Modelos para ensamble de impresora i3k.

	NOMBRE	IMAGEN	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	Eje_Z		1	Ensamble del eje Z
2	Eje_Y		1	Ensamble del eje Y
3	Soporte-Carcasa		1	Soporte de Impresora 3D
4	Extrusor MK8		1	Extrusor para la fundición de material

NOTA: El nombre del archivo correspondiente a cada modelo es igual al nombre que se muestra en la tabla anterior y se puede encontrar en el Apéndice 1.

En la Figura 4.25 se muestra el ensamble estructural de la impresora 3D. Mencionados anteriormente de forma física y en modelo de Solidworks.

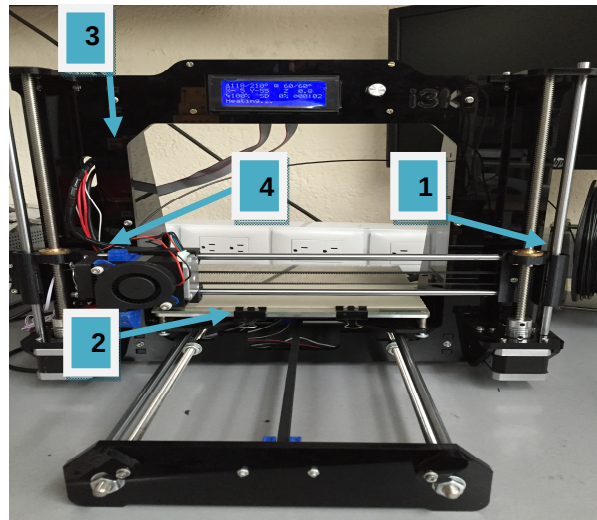


Figura 4.28 Ensamble impresora I3K.

Elementos: Eje_Z (1), Eje_Y (2), Soporte-Carcasa (3), Extrusor MK8 (4).

Nombre del archivo: "ImpresoraI3K", se puede encontrar en el Apéndice 1.

En el siguiente subtema se realizará el ensamble de las interfaces de electrónica hacia la impresora 3D.

4.2 Interfaz electrónica de la impresora I3K.

Las interfaces para la interacción con la impresora 3D y comunicación entre dispositivos electrónicos, se describen a continuación en la Figura 4.29.

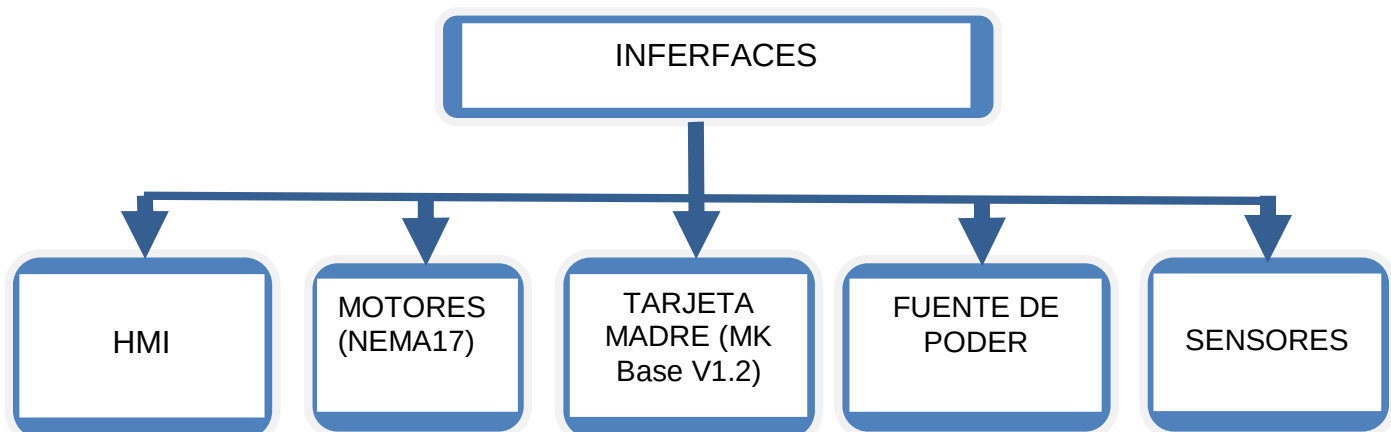


Figura 4.29 Interfaces de la impresora I3K.

4.2.1 Interfaz Hombre Máquina.

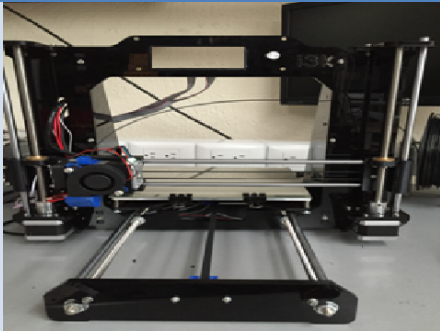
La interfaz hombre máquina seleccionada es una pantalla táctil, la pantalla gráfica JHD12864E tiene una resolución de 128*64 pixeles y posee un circuito integrado con dos micro controladores que manejan una mitad de la pantalla cada uno. La descripción de los pines del circuito de la pantalla se muestra en la tabla 4.12.

Tabla 4.12 Descripción de pantalla táctil JHD12864E.

PIN	PUERTO	DESCRIPCIÓN
1	VSS	Conexión a tierra.
2	VDD	Alimentación para lógica del circuito.
3	VO	Ajuste de contraste de la pantalla
4	RS	Registro de Instrucciones (0) / Registro de datos (1).
5	R/W	Selección modo escritura (0) y modo lectura (1).
6	E	Habilitar el circuito.
7	DB0	Pin de entrada / salida de datos.
8	DB1	Pin de entrada / salida de datos.
9	DB2	Pin de entrada / salida de datos.
10	DB3	Pin de entrada / salida de datos.
11	DB4	Pin de entrada / salida de datos.
12	DB5	Pin de entrada / salida de datos.
13	DB6	Pin de entrada / salida de datos.
14	DB7	Pin de entrada / salida de datos.

En la siguiente tabla 4.13 se muestran los modelos que se diseñaron y componentes que se necesitan para el ensamble de la pantalla grafica al ensamble mecánico de la impresora 3D, estos pueden ser descargados en el Apéndice 1 incluyendo los diagramas esquemáticos de cada uno de ellos. Todo el diseño CAD y las simulaciones se han elaborado en Solidworks 2013.

Tabla 4.13 Ensamble de HMI.

	NOMBRE	IMAGEN	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	Pantalla Grafica		1	Pantalla gráfica JHD12864E (128*64 pixeles).
2	ImpresoraI3K		1	Ensamble mecánico de la impresora 3D.

En la Figura 4.30 se muestra el ensamble de la pantalla a la impresora 3D. Mencionados anteriormente de forma física y en modelo de Solidworks.

**Figura 4.30 Ensamble de pantalla grafica.**

4.2.2 Tarjeta Madre de la impresora 3D.

A continuación se muestra en la Figura 4.31 la tarjeta madre MK base 1.2, el cual muestra la conexión de los diferentes dispositivos que incluyen la impresora 3D.

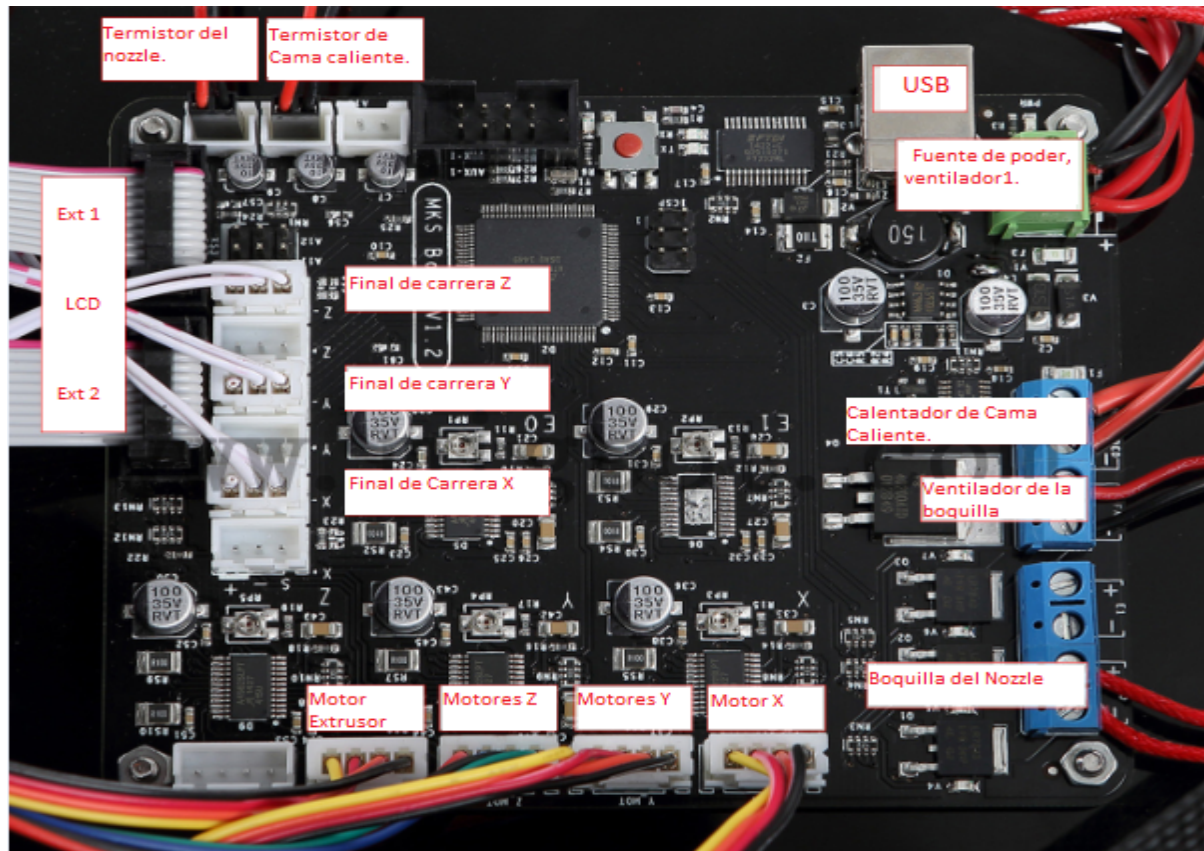


Figura 4.31 Conexión de dispositivos a MKBase 1.2.

Algunas consideraciones que se deben tomar a la hora de realizar las conexiones son las siguientes:

- 1.- Los ventiladores cuentan con polaridad, el cable rojo es positivo y el cable negro es negativo, el ventilador1 requiere de 12V por lo que se conecta directamente con la fuente de poder, por ello al conectar la fuente de poder a la corriente alterna, el ventilador1 trabajara inmediatamente
- 2.- Revisar las conexiones de los motores en su respectiva posición para evitar daños en la estructura a la hora de poner en marcha la impresora 3D.
- 3.- Todos los finales de carrera están conectados en el polo negativo.
- 4.- Revisar las conexiones de los nozzle termistor y cama caliente termistor.
- 5.- La pantalla grafica consta de 2 extensiones, las cuales se muestran en la figura anterior, se conectan a la tarjeta madre EXT1, EXT2, respectivamente.
- 6.- Poner mucha atención al conectar la fuente de poder en su respectiva posición, ya que de hacer lo contrario podría ocasionar un daño en la tarjeta madre.

A continuación se muestra el ensamble de dicha tarjeta a la impresora 3D, como se muestra en la Figura 4.32.

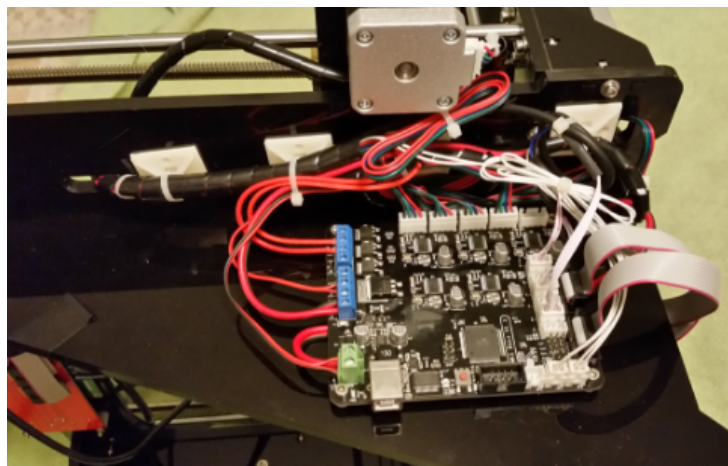


Figura 4.32 Ensamble de MKBase 1.2.

4.2.3 Fuente de Poder.

La fuente de poder es de vital importancia para la impresora 3D, ya que sin ella no podemos realizar ninguna acción y control de la misma, para esto debemos de tener en cuenta la corriente que consumen los diferentes dispositivos de nuestra impresora.

Los elementos más relevantes para voltajes de 5vcd y 12 VCD se muestran en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14 Consumo de corriente en dispositivos.

Elementos	Cantidad	Voltaje	Corriente(mA)
MKbase 1.2	1	12-24	60-80
Calentador fundidor	1	12	2000
Calentador base	1	12	7800
Fan	1	1	160
Motores	4	12	1500
Total			17540

La fuente debe proveer aproximadamente 17.5 miliamperios a 12 voltios, por lo que se selecciona una fuente de poder de 12V a 30A, como se muestra en la Figura 4.33.



Figura 4.33 Fuente de Poder 12V-30A.

4.3 Programación y funcionamiento de la Impresora 3D.

Habiendo acabado el ensamblado de la impresora y su electrónica procedemos a su puesta en marcha. Para ello debemos cargarle al micro controlador de la tarjeta Madre MKBase 1.2, el firmware adecuado, con la configuración adecuada a nuestras necesidades, incluyendo el ordenador donde en el que vamos a controlar la impresora I3K, el software correspondiente y un programa que se encargue de generar un formato que transforme los diseños 3D que vayamos a modelar en un formato que represente ese diseño por capas para que pueda ser creado por la impresora I3K. Ese formato se denomina código G, más conocido como Gcode.

Como ya se mencionó anteriormente en el subtema 3.10 Análisis y Elección de Firmware., el firmware elegido en este caso es Marlín. Marlín es un firmware diseñado para ser usado en impresoras de la familia RepRap, pero es fácilmente adaptable a cualquier otra, como en nuestro caso.

4.3.1 Instalación de Firmware.

Con el fin de instalar el firmware en la impresora se deben de tener en cuenta las siguientes indicaciones para las actualizaciones o ajustes que se tienen que realizar antes de poner en marcha la impresora I3K:

- Aplicación IDE de Arduino para leer y compilar el código fuente de Marlín.

- Biblioteca Arduino Addon para permitir comunicaciones con el panel LCD utilizado.

Lo primero que necesitará es la aplicación IDE de Arduino. Este es un software gratuito de código abierto que descarga desde el sitio web de Arduino [80]. Como se muestra en la Figura 4.34, la versión actual disponible de Arduino es 1.6.13, el cual funcionará correctamente, existen diferentes versiones para los sistemas operativos (Windows, Mac y Linux) así que asegúrese de seleccionar la versión adecuada para su ordenador.

Una vez descargada procedemos a seguir las instrucciones proporcionadas para instalar el software de aplicaciones IDE en su ordenador.

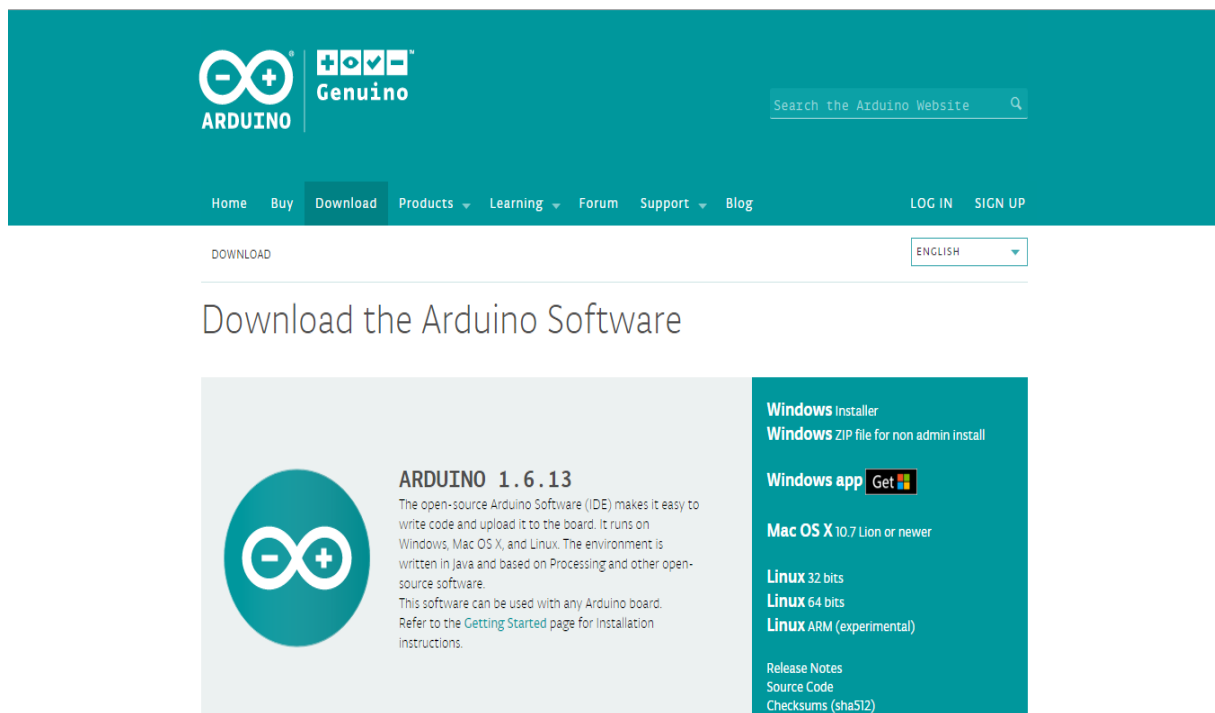


Figura 4.34 IDE Arduino 1.6.13.

Procedemos a determinar dónde está instalada la aplicación IDE en su ordenador, se necesitará esta información para instalar la biblioteca de software adicional en la carpeta de aplicaciones IDE. Una vez que haya descargado e instalado la aplicación si utilizó la instalación predeterminada, su versión en Windows debería estar en la carpeta "C: \ Archivos de programa (x86) \ Arduino".

Continuamos con la biblioteca adicional necesaria para el correcto funcionamiento del panel LCD de la impresora Prusa I3K, para realizar el proceso es necesario obtener el código fuente del firmware Marlin y la biblioteca de complementos necesaria, el cual se encuentra en el siguiente link[81], en la Figura 4.35 se muestran los archivos necesarios, procedemos a su descarga.

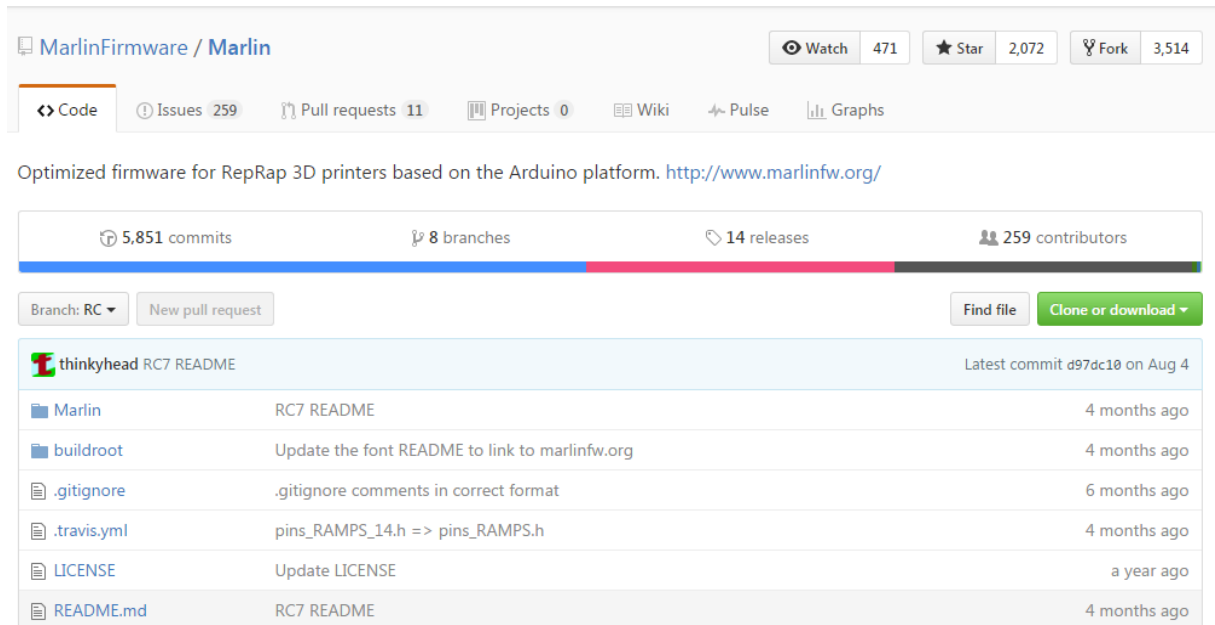


Figura 4.35 Firmware Marlin.

Abra la carpeta donde se encuentra el archivo arduino.exe., localizar una carpeta llamada "libraries", como se muestra en la Figura 4.36.

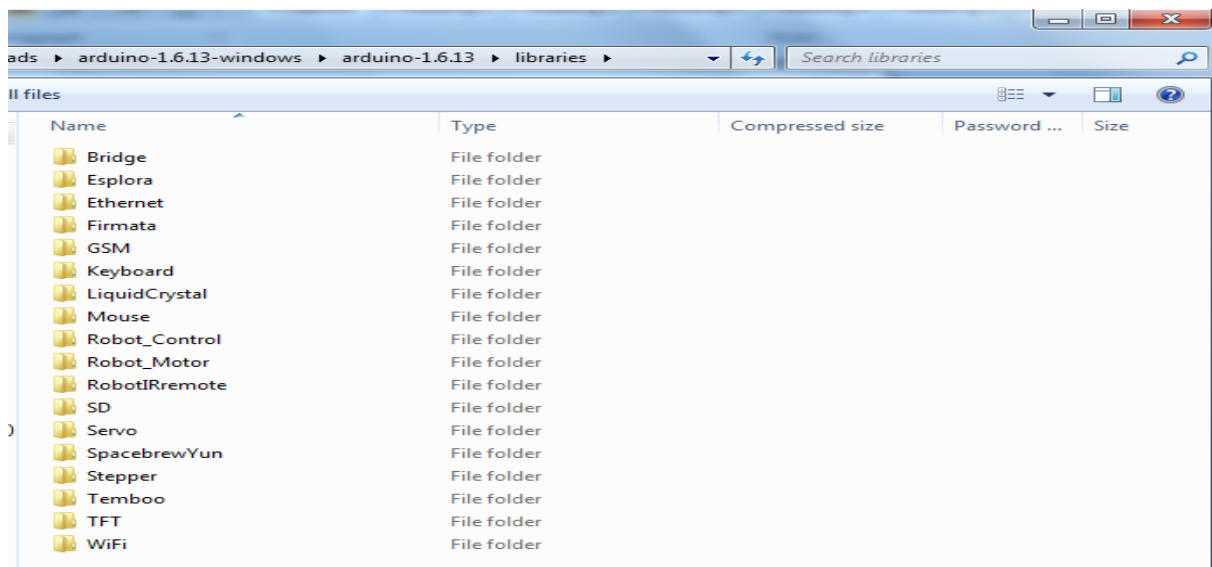


Figura 4.36 Carpeta Libraries.

A continuación abrir una segunda ventana del Explorador donde descargó y descomprimió el archivo zip de Prusa Programming, localice la carpeta ArduinoAddons, seleccione la carpeta con la versión del IDE de Arduino que tiene: Si ha descargado la última versión, abra la carpeta Arduino_1.6.13., como se muestra en la Figura 4.37.

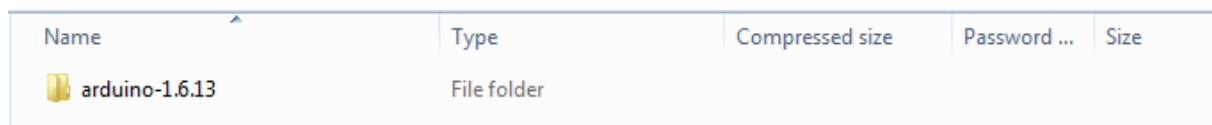


Figura 4.37 Carpeta arduino-1.6.13.

Dentro de la carpeta de "libraries" encontraremos una carpeta llamada "U8glib", esta es la carpeta que nos interesa.

Copie la carpeta U8glib a la carpeta Arduino_1.6.13 en la carpeta de bibliotecas IDE de Arduino, como se muestra en la Figura 4.38.

Name	Date modified	Type
 U8glib	11/24/2015 3:53 PM	File folder

Figura 4.38 Librerías para LCD.

Con esto, ahora se tiene instalada la biblioteca necesaria que permite que el panel LCD funcione correctamente. Para el cargado del firmware en la MKBase 1.2 de la impresora es un proceso bastante sencillo, pero hay un par de cosas que se deben considerar:

- Copiar el archivo configuration.h adecuado para la impresora que tiene en el directorio de código fuente, Figura 4.39.

Name	Type	Compressed size	Password ...	Size
 example_configurations	File folder			
 blinkm.cpp	CPP File	1 KB	No	
 blinkm.h	H File	1 KB	No	
 boards.h	H File	2 KB	No	
 buzzer.h	H File	2 KB	No	
 cardreader.cpp	CPP File	6 KB	No	
 cardreader.h	H File	2 KB	No	
 circularqueue.h	H File	2 KB	No	
 Conditionals.h	H File	1 KB	No	
 Conditionals_LCD.h	H File	3 KB	No	
 Conditionals_post.h	H File	5 KB	No	
 Configuration.h	H File	18 KB	No	
 Configuration_adv.h	H File	12 KB	No	
 configuration_store.cpp	CPP File	7 KB	No	
 configuration_store.h	H File	1 KB	No	
 dac_mcp4728.cpp	CPP File	2 KB	No	
 dac_mcp4728.h	H File	1 KB	No	
 digipot_mcp4451.cpp	CPP File	2 KB	No	
 doqrm_bitmaps.h	H File	3 KB	No	

Figura 4.39 Archivo de Configuración.

Este archivo configura Marlin correctamente para su versión de la impresora, principalmente los ajustes de tamaño de la cama de impresión.

- Conecte la tarjeta principal de la impresora a través del puerto USB y Abrir la aplicación IDE de Arduino.

El IDE necesita ser configurado para el tipo de procesador, dispositivo y puerto COM utilizado para programar la placa principal, procedemos a realizar los siguientes pasos para configurar el IDE:

- Seleccione el puerto serie COM correcto donde su impresora esté conectada a través del puerto USB, en la parte superior de la ventana, seleccione Herramientas>Puerto y luego el puerto COM que la impresora está conectada.

- Seleccione el tipo de dispositivo correcto a programar, en la parte superior de la ventana, seleccione Herramientas > Tablero > Arduino Mega o Mega 2560
- Seleccione el tipo de procesador que se va a programar, En la parte superior de la ventana, seleccione Herramientas > Procesador > ATmega2560 (Mega 2560)

Una vez que haya completado los pasos anteriores, la aplicación IDE está configurada para programar la tarjeta madre de la impresora I3K realizando los siguientes pasos:

- Abrir el código fuente Marlin con el IDE Arduino, haciendo doble clic en el archivo Marlin.ino, como se muestra en la Figura 4.40.

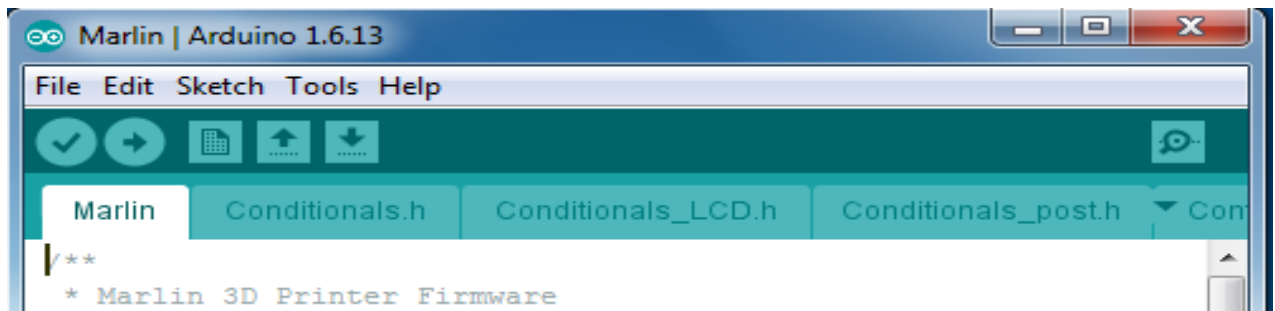


Figura 4.40 Ejecutar Marlin.ino mediante Arduino.

- En la parte inferior de la ventana se debe ver lo que se muestra en la Figura 4.41 el micro controlador y el puerto COM debe ser el que seleccionó anteriormente, si este no es el caso, vuelva a los pasos anteriores para configurar el IDE de Arduino para solucionar el problema.

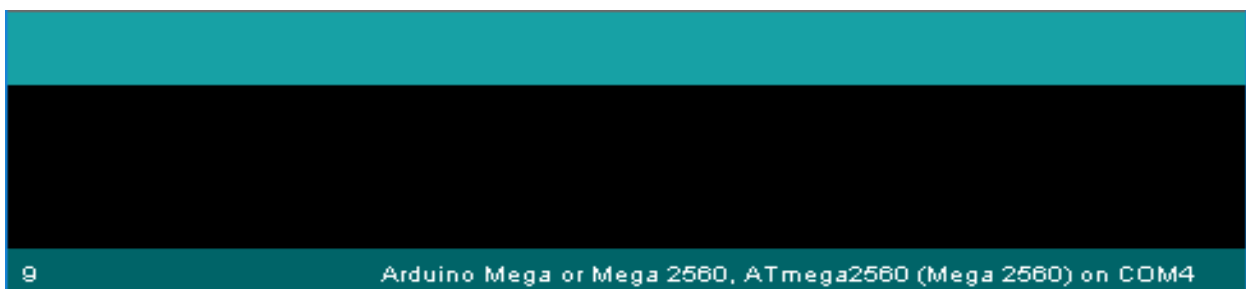


Figura 4.41 Configuración de Micro controlador y puerto COM.

- Seleccionar la flecha derecha del círculo debajo de la opción Editar en la parte superior de la ventana de la aplicación IDE como se muestra en la Figura 4.42, para iniciar el proceso de compilación.

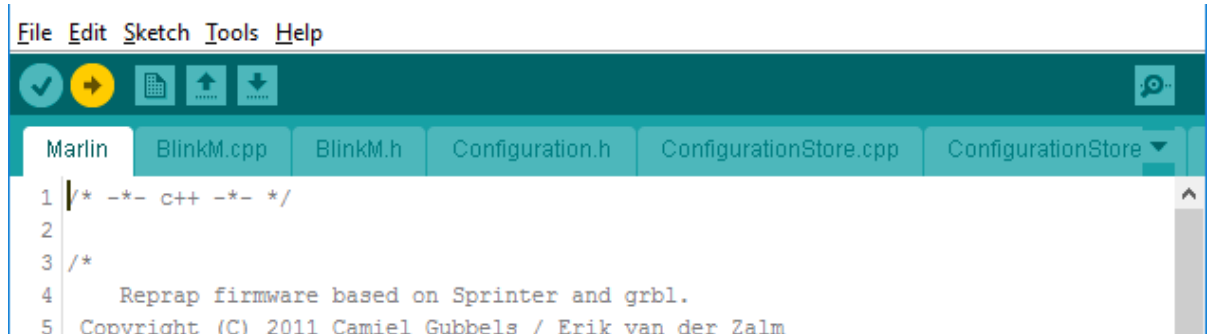
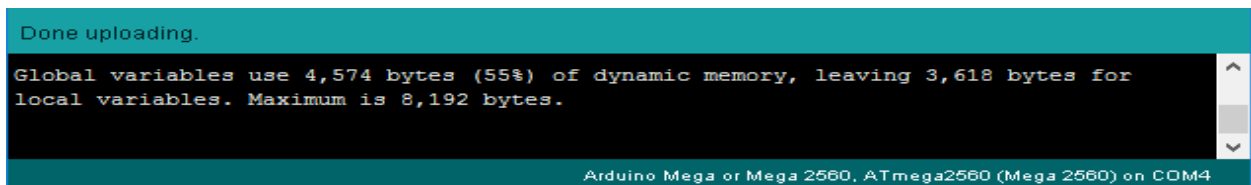


Figura 4.42 Compilación del Código fuente Marlín.

- Una vez que la aplicación IDE completa el paso de compilación para el firmware, ir inmediatamente a la carga del firmware de compilado. Este paso sucede si no se detectaron errores durante el proceso de compilación y si siguió todos los pasos anteriores correctamente no se mostrarán errores.

En la siguiente Figura 4.43, muestra que la aplicación IDE está cargando el código



compilado en la tarjeta madre de la impresora.

Figura 4.43 Cargado de firmware exitoso.

- Una vez que la aplicación IDE haya completado la carga del firmware en la MK Base1.2 de la impresora, deberá ver el mensaje "Done Uploading" en la aplicación IDE y no aparecerá ningún error en la ventana de estado en la parte inferior y se mostrara en la pantalla, como se observa en la Figura 4.44.

Ya instalado el firmware podemos hacer cambios a necesarios y adecuados a la impresora que se diseño. Podemos cambiar todo tipo de ajustes en el archivo configuration.h de la impresora I3K, debemos de tener cuidado y comprender lo que

está cambiando antes de comenzar a realizar cambios, de lo contrario podría cambiar algo que haga que su impresora intente realizar algo que físicamente no puede realizar y causar algún problema a la hora de poner en marcha la impresora. Para más información sobre la configuración del software marlín, consulte este enlace [82].

4.3.2 Software de Control y Calibración.

Teniendo el firmware instalado correctamente en la tarjeta madre MK Base 1.2, el siguiente paso es instalar, en el ordenador o computadora portátil desde el trabajaremos con la impresora, la manipulación de los diferentes ejes, el software de control.

Existen muchas posibilidades en cuanto a software de control, desde ReplicatorG, este software se utiliza en las impresoras de Makerbot y que aún no está bien adaptado en impresoras RepRap, o diseñadas por el usuario, el otro software es el Pronterface, que es el que utiliza vamos a utilizar por su fácil manejo y probablemente la gran mayoría de usuarios de Impresoras 3D han optado por esta útil herramienta.

En este proyecto se explicara principalmente el Pronterface, ya que, hasta ahora, parece funcionar mejor con los modelos Prusa Mendel.

4.3.2.1 Pronterface.

Pronterface es un software que se encuentra libre y podemos descargarlo gratuitamente de internet, de repositorios web [83].

El Pronterface es un programa de software que nos permite acceder directamente a la configuración del programa de creación de archivos Gcode, para editarlo y calibrar las impresiones a nuestras necesidades.

Tiene un entorno gráfico que nos permitirá manipular los ejes de nuestra impresora, calentar la base y el extrusor, monitorizar la temperatura de ambos elementos permanentemente, cambiar la velocidad de transmisión de datos, comenzar impresiones de modelos, pausarlas, reiniciarlas, etc. Además Pronterface permite cargar archivos Gcode, que se podrán imprimir directamente, pero también permite cargar archivos en formato stl; en ese caso, se conecta directamente al software de creación de archivos Gcode, genera automáticamente dicho archivo y lo carga, directamente, en el propio Pronterface para que podamos imprimirlo de acuerdo a la configuración dada por el usuario.

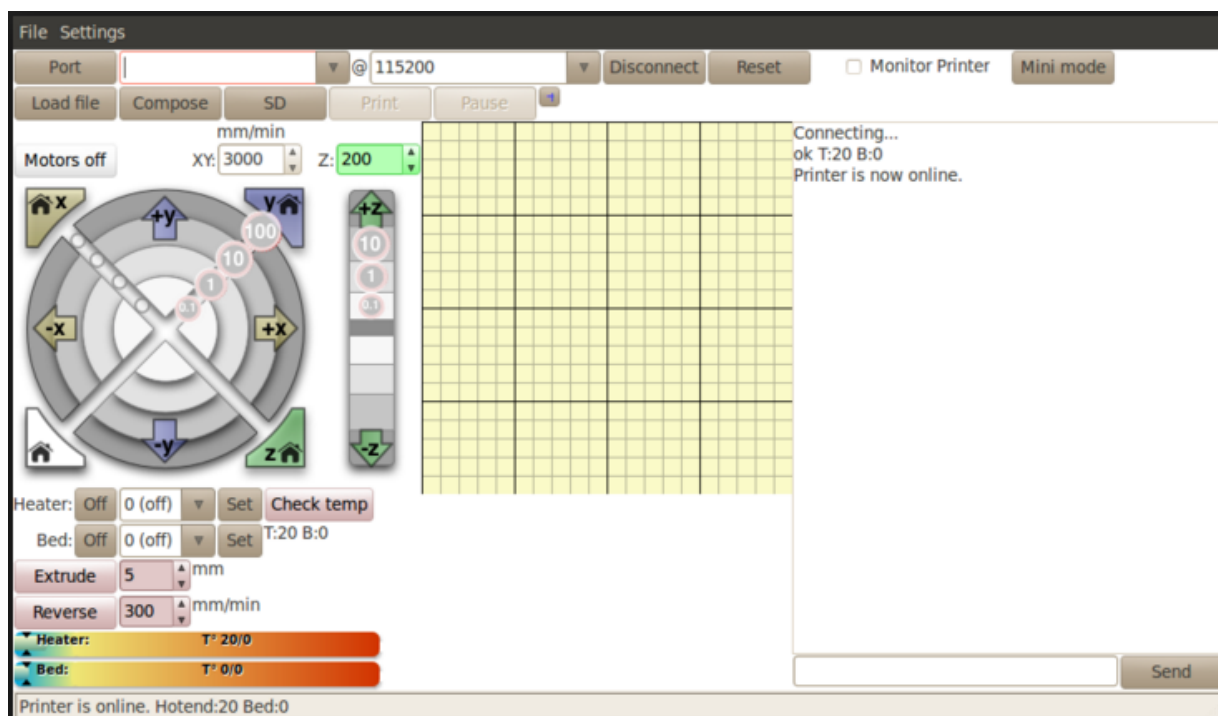


Figura 4.44 Pronterface.

Como se muestra en la figura 4.4, tiene una ventana en la que podemos ver como es el capeado de la figura a imprimir, capa a capa, y otra ventana que nos informa de las dimensiones de la pieza nada más cargar o generar su archivo Gcode y que nos da una estimación de lo que tardará en imprimir el modelo 3D.

La instalación de este software es sencilla, simplemente lo descargamos [83], damos clic al archivo ejecutable y ya podemos acceder al software.

En el caso de Pronterface, en Windows y en Linux se debe abrir el archivo .py, al ejecutar Pronterface se debería de abrir una ventana como la que se muestra en la Figura anterior 4.44. Procedemos a conectar la electrónica con la computadora, se selecciona el puerto serie por donde se realiza la comunicación, la velocidad de comunicación que es de 115200, se conecta y en la zona de la derecha del programa debe aparecer el siguiente mensaje:

Connecting...

OK T: 5 B: 0

Printer is now online.

Una vez que esta conexión está hecha se comprueba que Pronterface pueda abrir programas STL. Posteriormente se comienza con las pruebas en los motores NEMA17, con la MKBase 1.2 probar uno a uno los ejes y comprobar que no tienen problemas. Una vez confirmado que el motor se mueve con el Pronterface hacia las diferentes direcciones.

La siguiente prueba consiste en conectar los motores de los tres ejes para corroborar que todos juntos funcionaran correctamente, también se regula la corriente que se le administra a cada uno de los motores para evitar el calentamiento de la tarjeta madre y obtener el mejor funcionamiento de los motores, si se les suministra demasiada corriente, los drivers de la MKBase 1.2 podrían quemarse, pero a una corriente baja provoca que los motores pueden saltar pasos.

Posteriormente se verifican los finales de carrera de cada uno de los ejes, qué funcionen correctamente. Estos finales de carrera deben de detener los motores Cuando se cierran, mientras que el motor esté trabajando en el sentido negativo del eje. Los finales de carrera sirven para detectar cuando la impresora está en la coordenada (0, 0,0).

4.3.2.2 Cura [84].

Cura es un software que convierte archivos STL que contienen nuestros modelos 3D en piezas físicas en un solo entorno de trabajo, es una opción más como programa

de laminado, con opciones de configuración más simples y una interfaz gráfica sencilla. Tiene la capacidad de generar laminados mucho más rápido o generar varios laminados a la vez en paralelo, a continuación dejo un manual [85] para la instalación y configuración de CURA, que es un software "Open Source" desarrollado por ultimaker para la comunicación con la impresora y el laminado de modelos 3D, por lo que desde este programa se pueden realizar todos los pasos necesarios para pasar de un modelo 3D a un objeto real impreso con la i3K.

Existen versiones de CURA compatibles con Windows, MAC y Linux, actualmente se cuenta con la última versión de Cura 14.07. La instalación del programa es similar en las distintas plataformas, para la instalación del software seguir estos pasos:

- Descargar el paquete de instalación de la última versión de CURA correspondiente a nuestro sistema operativo de la página oficial de Ultimaker mostrado en el siguiente link [84].
- Ejecutar el instalador, en la primera ventana nos va a aparecer la ruta donde queremos instalar el programa. Indicar una ruta o dejar la que trae por defecto, como se muestra en la figura 4.45.

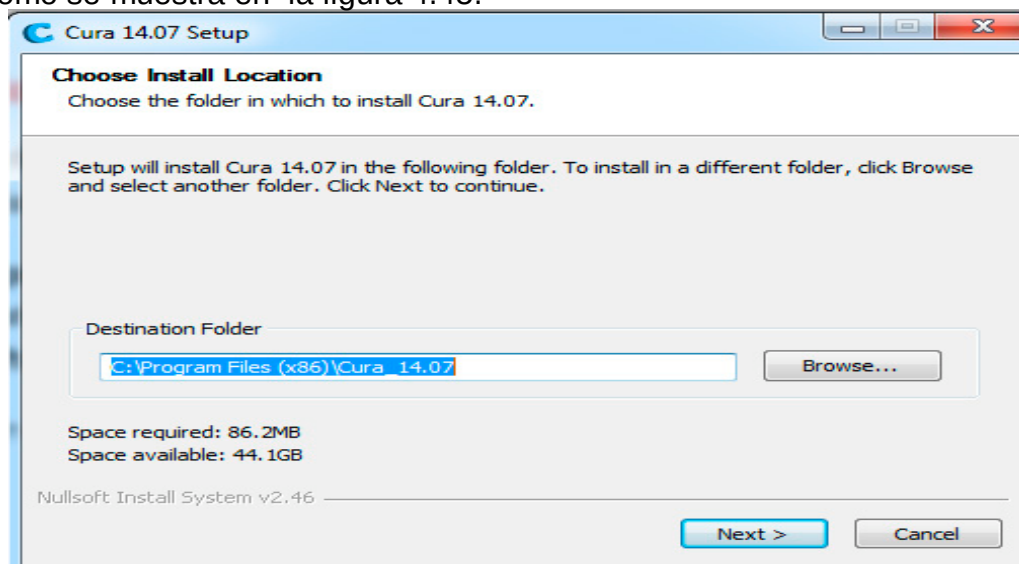


Figura 4.45 Cura: Ruta de instalación.

En la siguiente pestaña van a aparecer los componentes que se desean instalar, como se muestra en la figura 4.46, además de instalar CURA, el instalador da la opción de instalar los drivers de Arduino y soporte para abrir diferentes formatos. Se

recomienda marcar al menos la opción para abrir archivos en formato STL, ya que es el formato más común y necesaria para nuestro modelo de impresora 3D.

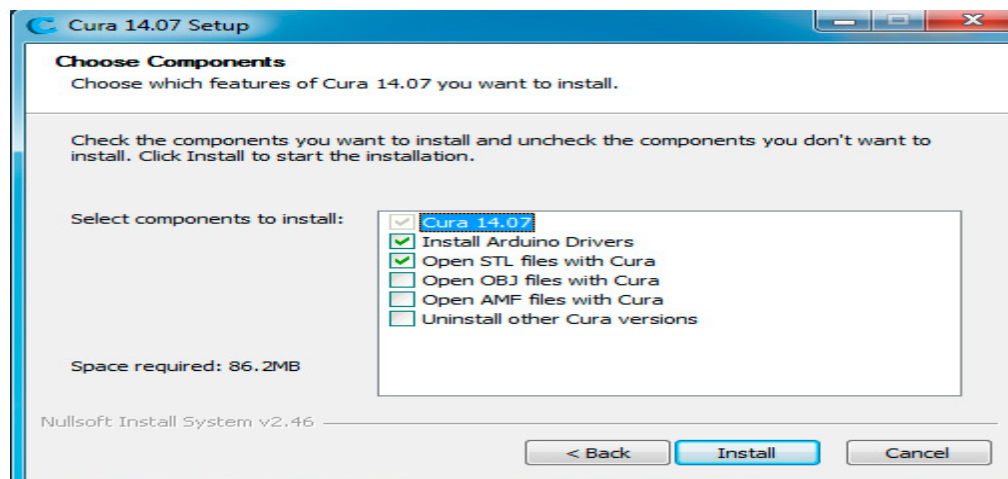


Figura 4.46 Cura: Formatos de archivos.

Una vez pulsado el botón instalar, la instalación empezará automáticamente. Al finalizar, si hemos seleccionado la opción de instalar los drivers de Arduino, se abrirá una ventana que iniciará la instalación y completará el proceso, al terminar con la instalación de los drivers, se abrirá una última ventana que nos indica la finalización del proceso de instalación y nos dará la opción de ejecutar el software por primera vez, como se muestra en la figura 4.47.

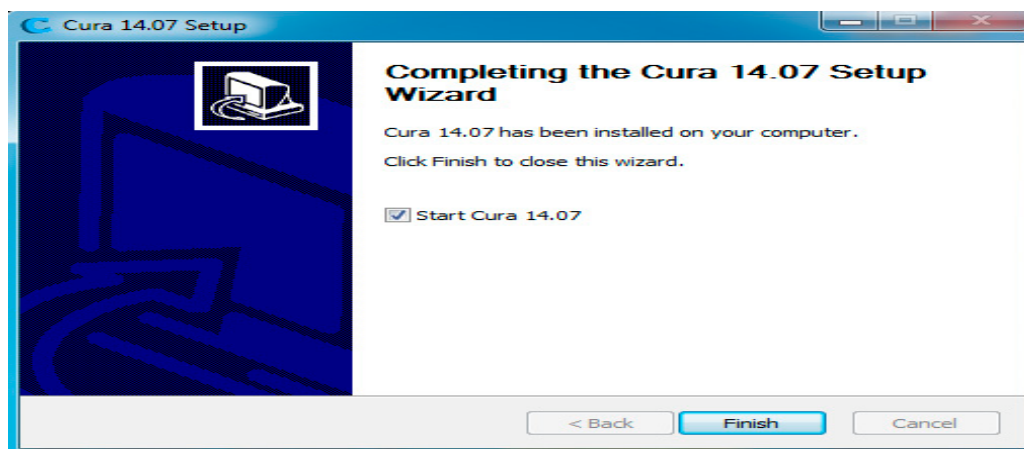


Figura 4.47 Cura: Ejecutar software.

Al abrir por primera vez el software, será necesario de configurar los parámetros de nuestra impresora 3D, en la figura 4.48 se muestra la selección de impresora, como nuestra impresora es diseñada por el usuario, seleccionamos la opción de otros y se abrirá una ventana con más opciones a modificar.

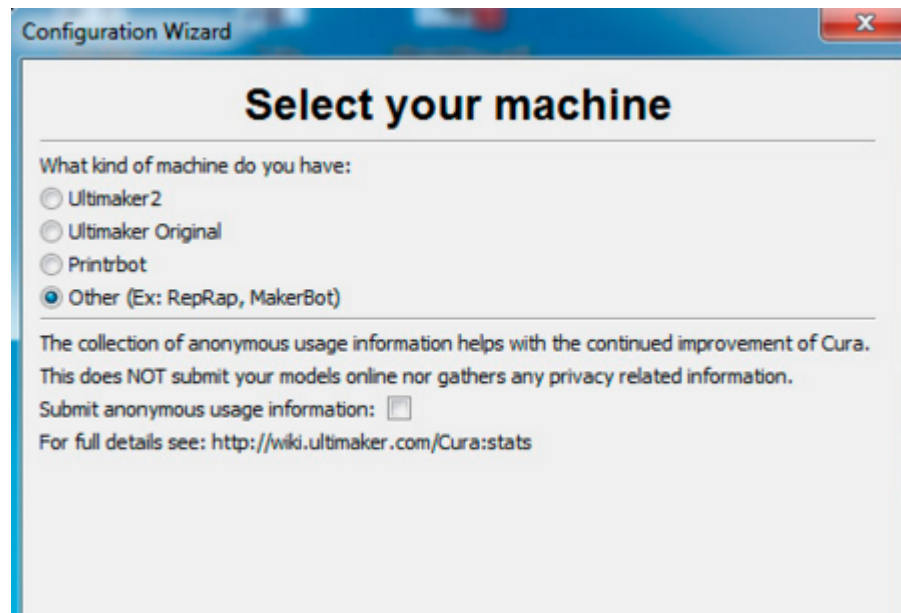


Figura 4.48 Cura: Selección de Impresora 3D.

Ya que nuestra impresora es diseñada seleccionamos “custom”, y se abrirá una pestaña como se muestra en la figura 4.49, donde indicaremos los parámetros básicos de nuestra máquina, como el volumen de impresión (200x200x200), el tamaño de la boquilla del extrusor (.3) y si se cuenta con cama caliente (marcar).

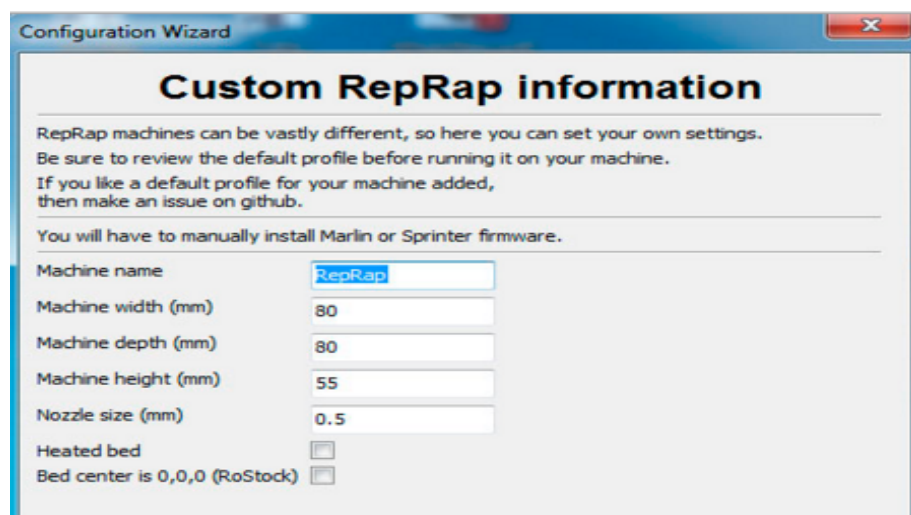


Figura 4.49 Cura: Configuración básica.

Una vez completado el asistente de configuración, tendremos CURA totalmente operativo, de acuerdo a nuestra configuración mencionada anteriormente, a continuación se mostrara una breve descripción del entorno grafico del software:

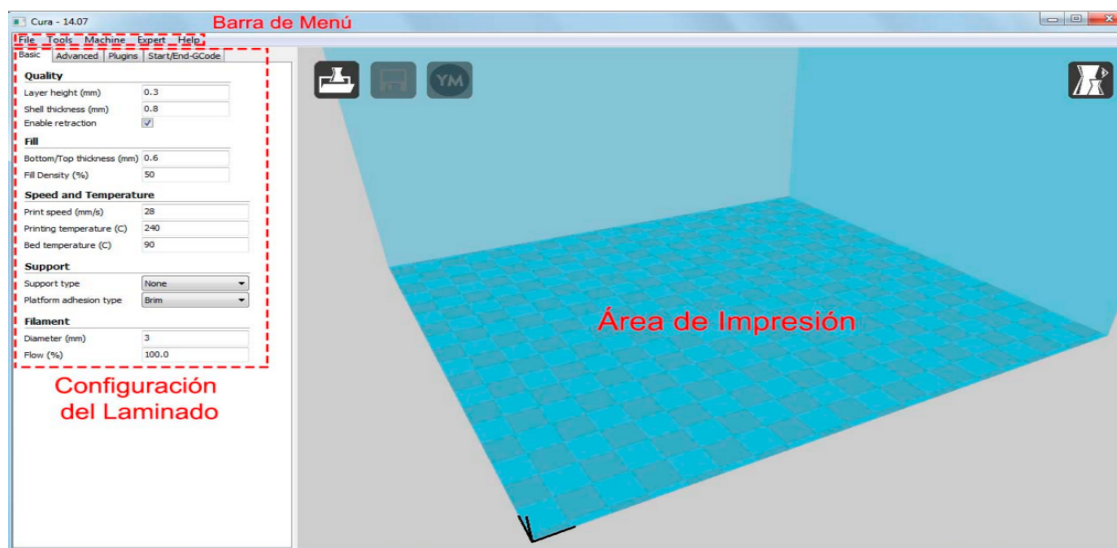


Figura 4.50 Cura: Entorno gráfico.

Dentro del software contamos con 2 principales aéreas en las que podemos interactuar, Área de impresión, configuración de laminado, mostrado anteriormente en la figura 4.50, el área de impresión es una representación tridimensional del volumen de impresión de la impresora, es decir, el volumen máximo configurado de la impresora 3D, este es el espacio con el que contamos para imprimir y no podremos exceder sus límites, ya que quedarían fuera de los límites de impresión reales de nuestra máquina.

En la figura 4.51, encontraremos las herramientas necesarias para cargar las figuras que queramos imprimir, modificarlas y visualizar las diferentes capas.

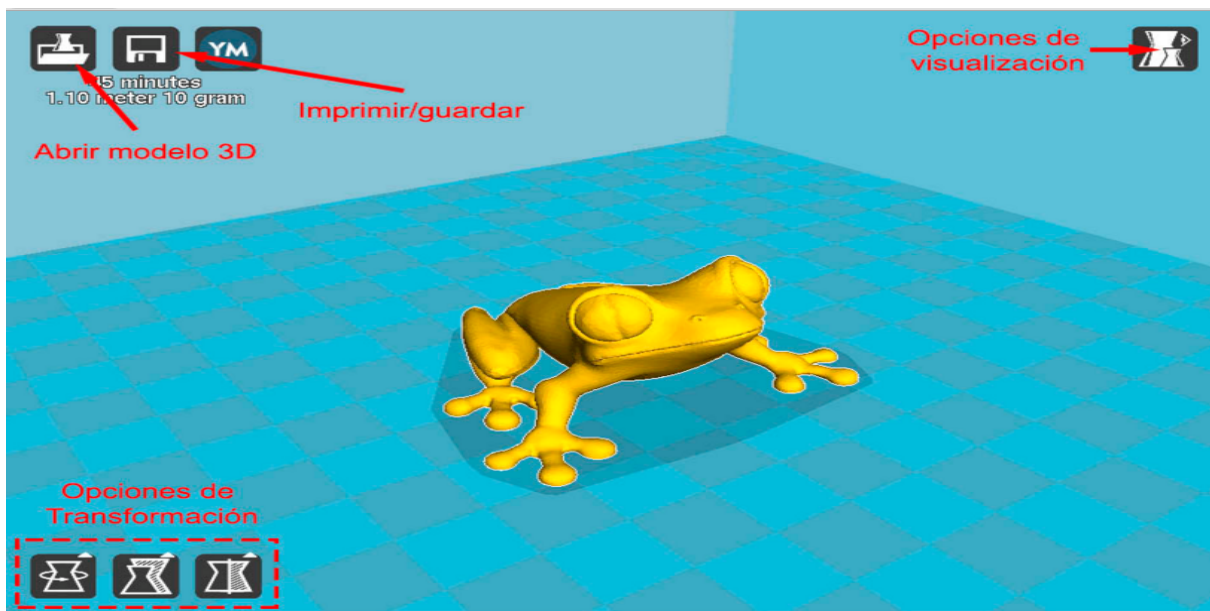


Figura 4.51 Cura: Área de impresión.

Load: Carga el modelo 3D que queramos imprimir. También se puede cargar arrastrando el archivo del modelo dentro del área de impresión.

Print With USB: Inicia la conexión con la impresora y abre el panel de impresión (si la impresora no está conectada, el icono será diferente y pondrá "save toolpath", que guardará el proyecto en un archivo gcode imprimible desde la tarjeta SD de la impresora)

Share on YouMagine: Con esta opción podrás compartir tus diseños en "YouMagine", una comunidad con un gran repositorio de diseños 3D donde usuarios de todo el mundo suben sus creaciones.

3View Mode: El icono view mode es un icono desplegable que ofrece 5 tipos de vistas diferentes del objeto que tengamos en el área de impresión. Podemos intercambiar las vistas para ver con detalle algunos elementos de la figura.

Normal: Muestra la figura como un sólido, permitiendo ver el resultado final de la pieza impresa

Overhang: Esta vista realza las zonas que tienen un ángulo superior al ángulo máximo que tengamos configurado. Esto es muy útil para ver qué zonas pueden ser problemáticas a la hora de imprimir y determinar si necesitan soporte o no.

Transparent: Hace que la figura sea transparente permitiendo ver a través de ella.

X-Ray: Esta vista, además de permitir ver a través del objeto, mostrará cavidades o elementos internos a las propias piezas.

Layers: De todas las vistas esta es quizás la más útil, ya que podemos ver el diseño por capas, esto nos permite ver como actuará realmente la impresora a la hora de imprimir y si hay alguna zona en la que el laminado de la pieza sea complejo o simplemente no lo haga como nosotros queremos.

Opciones de transformación: en la parte interior izquierda del área de impresión, podemos encontrar varias opciones que nos permiten aplicar transformaciones simples al modelo 3d, estas transformaciones sirven para adaptar el modelo al área de impresión o ajustarlo al tamaño deseado.

En la figura 4.52 podemos observar una pieza dentro del área de impresión y al hacer clic derecho, nos van a aparecer una serie de opciones que nos va a permitir cosas como multiplicar el número de modelos, eliminarlos ,centrarlos en la superficie de impresión, etc.

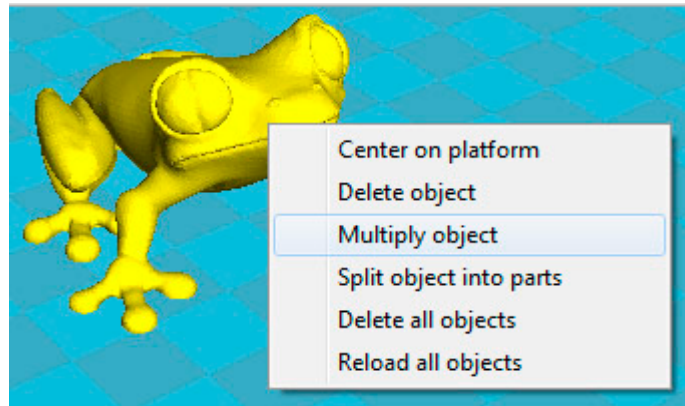


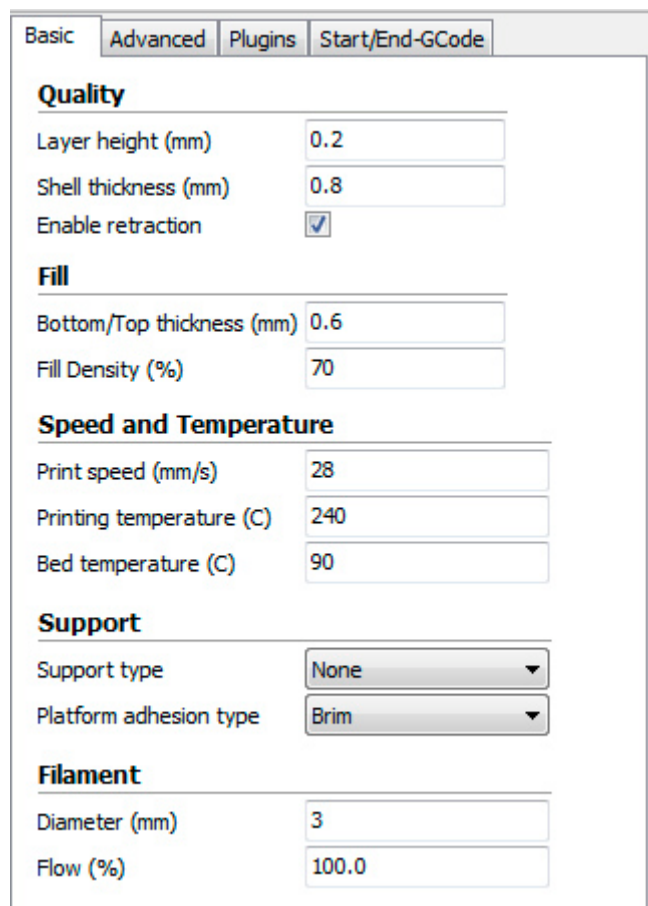
Figura 4.52 Cura: Opciones de Modelo.

Parte de la calibración de la impresora, se encuentra la configuración de laminado, para configurar la forma en la que nuestra maquina va a realizar el laminado o modelado capa por capa, contamos con una serie de pestañas en la parte izquierda de la pantalla del software, en estas pestañas vamos a encontrar las opciones más comunes a la hora de laminar, aunque no son las únicas opciones del programa que van a afectar al laminado, son con las que trabajaremos normalmente.

En la figura 4.53 se muestran las diferentes opciones de configuración: Calidad, Relleno, velocidad y temperatura, Soporte y filamento.

Quality (Calidad)

Layer height (Altura de capa): Este parámetro indica la altura de capa a la que se va a realizar la impresión. La altura de capa es un parámetro ligado directamente a la calidad de la pieza, a menor altura de capa mayor calidad, pero también va a incrementar considerablemente los tiempos de impresión, por ello lo mejor es llegar a un punto intermedio que de suficiente calidad sin alargar demasiado la impresión. Los valores de este parámetro estarán comprendidos entre 0.1 y 0.4mm.



Basic	
Quality	
Layer height (mm)	0.2
Shell thickness (mm)	0.8
Enable retraction	☒
Fill	
Bottom/Top thickness (mm)	0.6
Fill Density (%)	70
Speed and Temperature	
Print speed (mm/s)	28
Printing temperature (C)	240
Bed temperature (C)	90
Support	
Support type	None
Platform adhesion type	Brim
Filament	
Diameter (mm)	3
Flow (%)	100.0

Figura 4.53 Cura: Configuración básica.

Se ha que tener en cuenta que el valor de la altura de capa no debe de ser igual o mayor al diámetro de la boquilla del Hot End, ya que esto puede dar como resultado piezas quebradizas o con rajaduras entre las capas.

Shell Thickness (Grosor del borde): Este parámetro determina la anchura del borde del objeto, el valor de este parámetro va a estar influido directamente por el diámetro de la boquilla del Hot End, siendo este valor igual al diámetro de la boquilla del Hot End multiplicado por el número de vueltas que queramos dar al objeto. Por ejemplo, si nuestro Hot End tiene una boquilla de 4mm y queremos que al menos de 2 vueltas al borde del objeto, debemos de poner un valor de 0.8mm. El valor que debemos de introducir en este parámetro dependerá de la tipología de la pieza y del relleno que usemos, pero lo normal es hacer un borde con 2 o 3 vueltas.

Enable retraction (Habilitar retracción): Esta opción hace que en los desplazamientos el extrusor retraiga un poco el plástico para que no gotee, evitando así pequeños defectos en la impresión. Esta opción es muy recomendable tenerla activada.

Fill (Relleno)

Bottom/Top thickness (Grosor de la capa inferior y superior): Con este parámetro indicaremos que grosor tendrán las capas superior e inferior. Estas capas no se ven afectadas por la configuración de relleno, por lo que serán capas macizas. Dependiendo de la figura que queramos imprimir y del relleno que usemos vamos a necesitar más o menos capas, lo normal es usar 3 o 4 capas macizas, pero en algunas piezas para tener un buen acabado vamos a necesitar algunas más. El valor del grosor de capa hay que indicarlo en milímetros, por lo que hay que multiplicar el valor de la altura de capa por el número de capa que queramos, por ejemplo, si estamos imprimiendo con una altura de capa de 0.2mm y queremos tener 3 capas macizas, habrá que introducir en este parámetro 0.6mm.

Fill Density (Densidad de relleno): Este valor indica el relleno que va a tener la figura, es decir, el relleno va a repercutir directamente en el tiempo de impresión y en el coste de la pieza, por ello el hacer las piezas con poco relleno va a ser muy beneficioso, pero al mismo tiempo va a mermar la resistencia de la pieza, por lo que el relleno va a depender de las características mecánicas que queramos conseguir. Para creaciones artísticas, figuras o elementos decorativos, podemos usar un relleno del 20%, mientras que para piezas que deban soportar peso o esfuerzos podemos darle un 80% de relleno.

Speed and Temperature (velocidad y temperatura)

La velocidad y la temperatura son parámetros que están íntimamente ligados en la impresora 3D y de los que depende en gran medida la calidad de impresión. Por regla general a mayor temperatura de impresión podremos imprimir a mayor velocidad sin disminuir la calidad, pero la temperatura es un parámetro que no podemos subir todo lo que queramos ya que podemos dañar el Hot End o provocar atascos por exceso de calor.

Print speed (velocidad de impresión): En este parámetro vamos a fijar la velocidad de impresión. A mayor velocidad conseguiremos menor calidad en la impresión, por lo que hay que ajustar el valor en función de la calidad que deseemos obtener. También va a depender mucho que máquina estemos usando, ya que no todas pueden alcanzar las mismas velocidades con la misma resolución.

Printing Temperature (temperatura de impresión): Fija la temperatura del Hot End a la que se va a imprimir. En función del plástico utilizado vamos a usar una u otra temperatura. Los plásticos más comunes son el ABS y el PLA, para ABS fijaremos una temperatura de 220-240⁰ y para el PLA de 190-210⁰

Bed Temperature (temperatura de la cama caliente): Fija la temperatura de la cama caliente. La temperatura de la cama caliente cambiará en función del plástico que usemos, para el PLA no es necesario calentar la cama (aunque se adquiere mejor si se temple a unos 30⁰) y para el ABS fijaremos la cama de 80 a 110⁰ (dependiendo del ABS que usemos).

Support (soporte)

Para muchas de las impresiones debemos de usar elementos que aseguren una correcta impresión como pueden ser los elementos de soporte o de mejora de la adherencia.

Support type (tipo de soporte): Esta opción creará soportes donde sea necesario. Los soportes se emplean cuando la pieza tiene partes en el aire que no se pueden sustentar o cuando esta crece con un ángulo superior al que tengamos fijado. En las opciones podemos seleccionar 2 tipos de soporte, "Touching Buildplate" o "Everywhere", la primera opción crea soportes apoyándose solo en la base y la segunda crea soportes que apoyan en cualquier parte de la pieza.

Platform adhesion type (plataforma de adhesión): Con esta opción podemos crear una plataforma en la base que mejore la adhesión de la pieza. Existen 2 tipos de bases, la primera "Brim" crea una especie de visera en todos los bordes de la figura y la segunda "Raft" va a generar una base completa sobre la cual se va a construir la pieza. Teniendo en cuenta que al aplicar "Raft" la figura no va a apoyar su base sobre el cristal de impresión, por lo que esta superficie no va a quedar con una terminación tan buena como si se imprimiera directamente sobre el cristal.

Filament (Filamento)

Diameter (Diámetro de filamento): Establece el diámetro del filamento que estemos usando. Los diámetros que se usan comúnmente son de 3mm y 1.75mm

Flow (Multiplicador del flujo de filamento): Este parámetro modifica la cantidad de filamento que extruye la impresora. Este parámetro se usa para corregir la cantidad

de plástico extruido, ya que podemos tener mal calibrado el extrusor o el filamento puede ser de un diámetro ligeramente diferente al indicado.

En la siguiente figura 4.54 se muestran la configuración avanzada, en el cual se pueden ajustar los parámetros para obtener una mejor calidad en la impresión del modelo.

Machine (Maquina)

Nozzle size (Diámetro de la boquilla del Hot end): En este parámetro especificaremos el diámetro de la boquilla del Hot End que estemos usando. Los diámetros más comunes son 0.5mm 0.4mm y 0.35mm.

Retraction (Retracción)

Speed (velocidad): Velocidad a la que realiza la retracción. Este parámetro tiene un amplio margen de trabajo, por defecto trae 40mm/s que es una velocidad a la que funciona bien, se puede aumentar la velocidad mucho mas.

Section	Parameter	Value
Machine	Nozzle size (mm)	0.4
Retraction	Speed (mm/s)	40.0
	Distance (mm)	4.5
Quality	Initial layer thickness (mm)	0.2
	Initial layer line width (%)	100
	Cut off object bottom (mm)	0.0
	Dual extrusion overlap (mm)	0.15
Speed	Travel speed (mm/s)	130
	Bottom layer speed (mm/s)	20
	Infill speed (mm/s)	35
	Outer shell speed (mm/s)	25
	Inner shell speed (mm/s)	25
Cool	Minimal layer time (sec)	10
	Enable cooling fan	☒

Figura 4.54 Cura: Configuración avanzada.

Distance (Distancia): Indica la cantidad de filamento que va a retraer. Por defecto trae 4.5mm que es un valor que funciona bien.

Quality (Calidad)

Initial layer thickness (grosor de la capa inicial): Este parámetro fija el grosor de la capa inicial. Si queremos hacer que la capa inicial tenga el mismo valor que el resto de capas, le asignaremos el valor 0.

No es recomendable que la capa inicial sea demasiado gruesa, ya que esto va a repercutir en la adherencia, no es recomendable que la altura de la capa inicial sea mayor de 0.3mm.

Initial layer line with (Ancho de línea inicial): Establece el ancho de línea en la primera capa. Este parámetro va a afectar directamente la adhesión de la primera capa, mejorándose la adherencia de la figura al depositar mayor cantidad de plástico en la primera capa.

Cut off object botton (Corta la base del objeto): Con este parámetro podemos cortar la figura a la altura deseada. Este parámetro hundirá la figura en la base empezando la impresión a la altura que deseemos.

Speed (Velocidad)

Travel speed (Velocidad de desplazamiento): Fija la velocidad a la que se va a mover el extrusor al desplazarse de un punto a otro de la máquina. Está configurado por defecto a 150mm/s, aunque con algunas impresoras puede ser un movimiento demasiado rápido por lo que recomiendo bajarlo a 130mm/s.

Bottom layer speed (velocidad de la primera capa): Este parámetro establece la velocidad de impresión de la primera capa. Es muy importante para la adherencia de la pieza realizar la primera capa a baja velocidad, por lo que se deberá de fijar a un valor inferior a la velocidad de impresión normal. Un valor con el que se obtiene un buen resultado en la mayoría de impresoras es 22mm/s.

Infill speed (velocidad de relleno): Fija la velocidad a la que se va a realizar el relleno del modelo. Para realizar el relleno del modelo se puede aumentar la velocidad considerablemente sin que la calidad de la pieza se vea afectada, reduciendo así el tiempo de impresión. Como referencia, podemos fijar este valor en 40mm/s e ir aumentándolo progresivamente hasta determinar la velocidad ideal para nuestra máquina.

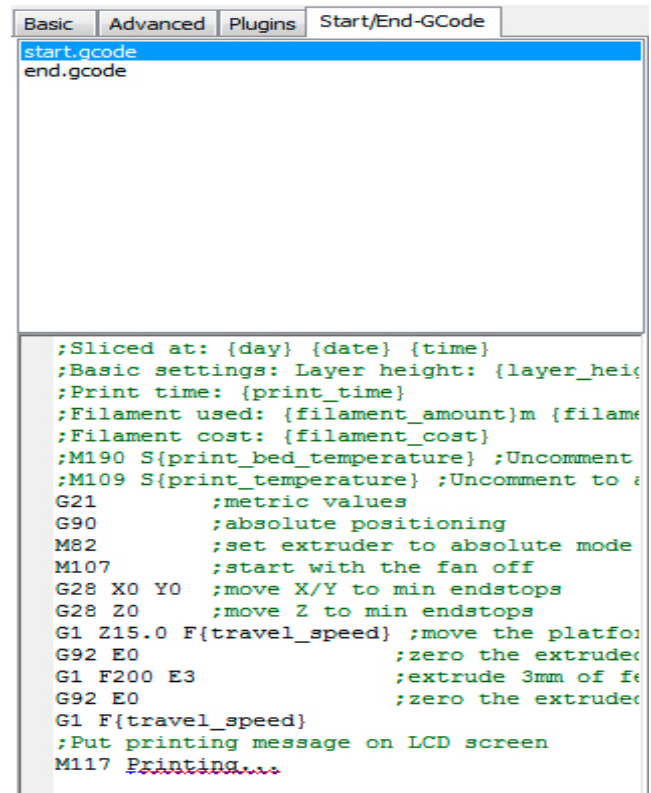
Outer shell speed (Velocidad de la capa externa): Este parámetro establece la velocidad de la capa exterior de la pieza. Es un parámetro del que va a depender en gran medida el acabado de la pieza, por ello conviene establecer una velocidad baja para este parámetro, a 25mm/s es una velocidad adecuada.

Inner shell speed (Velocidad de los bordes interiores): Establece la velocidad de los bordes interiores, este parámetro va a fijar la velocidad de los bordes que no son externos, al ser bordes no visibles, podemos aumentar la velocidad con respecto a los bordes visibles sin que afecte a la terminación de la pieza, fijar inicialmente este valor en 30mm/s.

Cool

Minimal layer time (tiempo mínimo de capa): Fija el tiempo mínimo para terminar una capa antes de empezar con la siguiente. Si empezamos una capa sin que la anterior se haya enfriado, el acabado va a ser muy malo e incluso vamos a tener una figura deforme, por ello hay que fijar un valor mínimo. Este valor va a depender del tipo de plástico que estemos usando y de la temperatura de impresión, fijar este valor al menos en 10 segundos.

Enable cooling fan (Habilitar ventilador de capa): Esta opción habilita el ventilador de capa es decir, el ventilador de capa nos va a ayudar a enfriar las capas de manera uniforme, mejorando en gran medida la calidad de piezas que por su pequeño tamaño no se enfrían correctamente antes de depositar las siguientes capas.



```

;Sliced at: {day} {date} {time}
;Basic settings: Layer height: {layer_height}
;Print time: {print_time}
;Filament used: {filament_amount}m {filament_color}
;Filament cost: {filament_cost}
;M190 S{print_bed_temperature} ;Uncomment to enable
;M109 S{print_temperature} ;Uncomment to enable
G21          ;metric values
G90          ;absolute positioning
M82          ;set extruder to absolute mode
M107         ;start with the fan off
G28 X0 Y0    ;move X/Y to min endstops
G28 Z0       ;move Z to min endstops
G1 Z15.0 F{travel_speed} ;move the platform down
G92 E0       ;zero the extruder
G1 F200 E3    ;extrude 3mm of filament
G92 E0       ;zero the extruder
G1 F{travel_speed}
;Put printing message on LCD screen
M117 Printing...
  
```

Figura 4.55 Cura: Inicio/Final de Código G.

En la figura 4.55 se muestra pestaña de Start/End G-Code, en esta pestaña podemos añadir parámetros directamente al gcode de inicio y fin de impresión de forma manual.

El gcode, es el archivo que va a reconocer nuestra impresora y tiene todos los comandos necesarios para el control de la misma. En este apartado, podemos modificar el funcionamiento inicial y final de la impresora añadiendo comandos o modificando los comandos existentes.

En el gcode de inicio que trae precargado CURA, se indica que antes de la impresión haga un una pre-calibración es decir, suba el eje Z, extruya una pequeña cantidad de filamento y posteriormente comience la impresión. En el código de fin, apagará tanto el Hot End como la cama caliente, retrae filamento, sube el eje Z y va a una posición específica. Si nos interesa cambiar alguno de estos parámetros podemos hacerlo directamente sobre este código.

De acuerdo a los valores dados por el manual y realizando los ajustes necesarios, se opta por colocar los siguientes parámetros a nuestra impresora 3D en la figura 4.56:

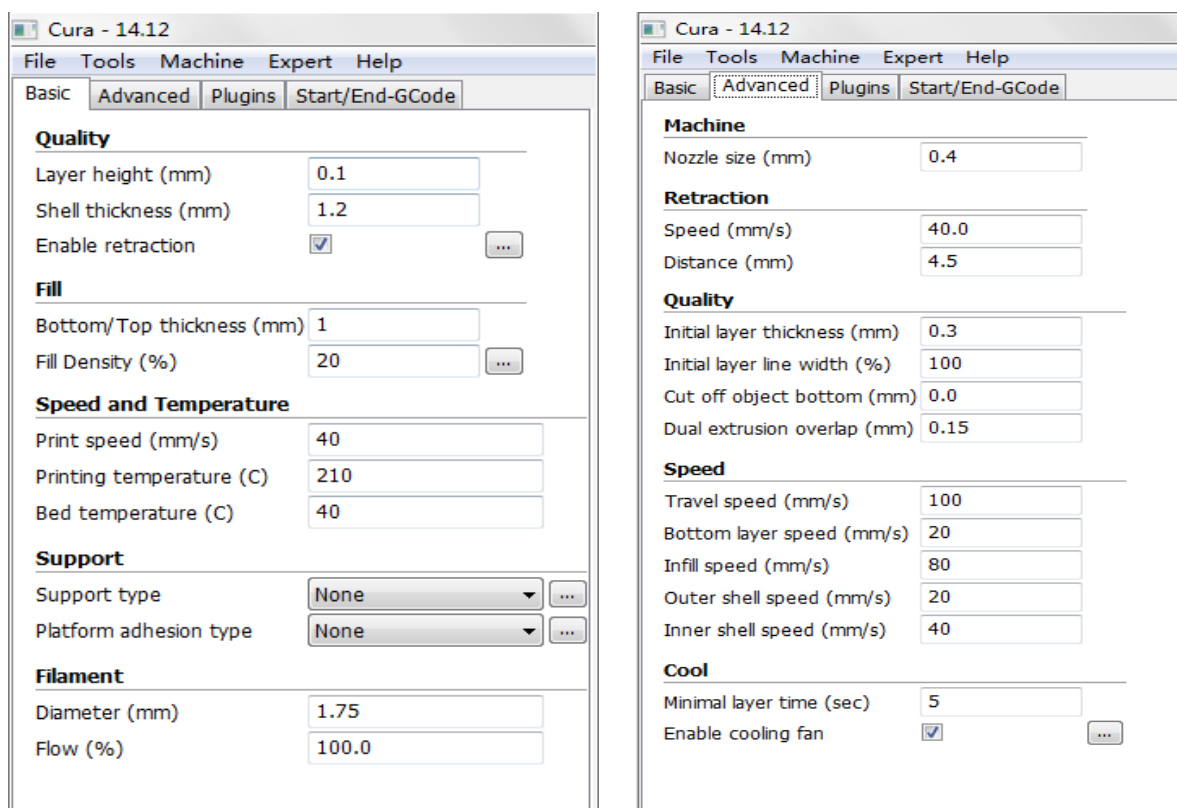


Figura 4.56 Cura: Parámetros para Impresora i3K.

4.3.3 Puesta en marcha

Teniendo la impresora 3D construida y los programas instalados, previamente configurados, podemos comenzar a poner en marcha la impresora 3D y comenzar a realizar las primeras pruebas de modelado. Aunque no es el objetivo de este proyecto hacer una buena calibración y configuración de la impresora, se quiere

destacar que los parámetros que inicialmente configuramos como se mostró en la Figura 4.56, pueden ser constates para diferentes modelos de impresora 3D que cumplan con los requisitos de la misma y con los mismos componentes. Hay que ir haciendo sucesivas pruebas y en función de los resultados que vayamos obteniendo ir modificando unos parámetros u otros, esto requiere de un poco de experiencia y pruebas continuas, ya que como se mencionó anteriormente cada modelo requiere de cierta configuración para obtener los resultados de calidad esperados.

Para hacer una primera impresión se deben seguir los siguientes pasos, que se han elaborado para un caso en el que se utilice el software Cura, para generar los códigos G y Pronterface como programa de control de la impresora 3D:

- 1.- Encendemos el ordenador o computador portátil en la que se encuentren los programas instalados, ya debemos tener el firmware cargado en el micro controlador y el Cura con los parámetros adecuados para que la impresora imprima.
- 2.- Encendemos la fuente de alimentación.
- 3.- Conectamos el cable USB, a la electrónica y al ordenador o computadora portátil.
- 4.- Abrir el Pronterface.
- 5.- Hacemos clic en el icono “Conect” y vemos como, en la consola, aparece el mensaje que indica que la impresora está lista. Si esto no ocurriera, comprobar que el puerto USB seleccionado está conectado a la impresora de forma correcta.
- 6.- Seleccionamos la opción “Monitor Printer”.
- 7.- Seleccionamos las temperaturas de trabajo para la boquilla del extrusor (110°C) y la cama caliente (70°C) y hacemos clic en los iconos “Set” de cada una. Según la versión de Pronterface, en la consola o en una gráfica de la parte inferior nos irá dando la temperatura actual de ambos elementos, como se muestra en la Figura 4.57.

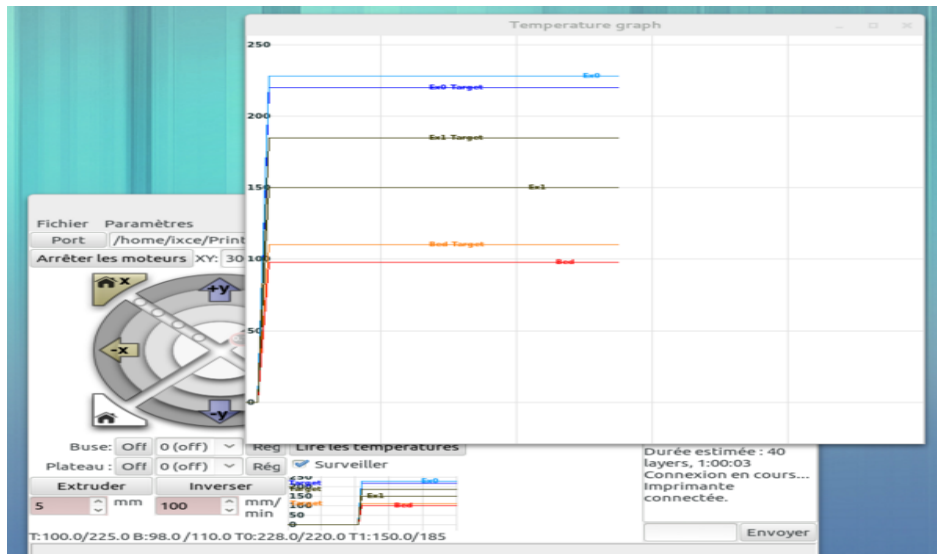


Figura 4.57 Pronterface: Grafica de Temperatura.

8.-Esperamos a que lleguen a la temperatura deseada y nos desconectamos del Software de control, esto antes de realizar una validación del correcto funcionamiento de los ejes X, Y y Z.

9.- Abrimos el Software Cura.

10.-Hacemos clic en “Load file” y abrimos, o bien un archivo ya en formato Gcode, o bien uno en formato STL; en nuestro caso, a través de Cura, se generará previamente el código G, colocando un archivo en formato STL. Observamos cómo una vez cargado el archivo, la consola del programa nos informa de las dimensiones de la pieza y de su tiempo de impresión; mientras que en la ventana central aparece la propia pieza en dos dimensiones.

11.- Alcanzadas las temperaturas hacemos clic en el icono “Print”, y al cabo del tiempo determinado para la impresión de la pieza habremos conseguido imprimir el modelo seleccionado.

12.- Antes de quitar la pieza de la base se recomienda disminuir la temperatura de la cama caliente, para el caso de usar ABS, y una temperatura bastante inferior para PLA. De lo contrario, las piezas estarán demasiado pegadas, especialmente si son grandes, y tirar con fuerza puede hacer que dañemos la propia pieza.

Se recomienda usar un alicate, o herramienta de pinza no cortante, para ayudarnos a despegar las piezas y hacerlo sin aplicar demasiada fuerza. No se recomienda tratar de meter por debajo de la misma un cúter u herramienta punzante, pues solo conseguiremos dañar el Kapton y la superficie que haya debajo de este; que, en caso de ser directamente la cama caliente (si no estamos usando un espejo o cristal), podemos dañar las pistas del circuito impreso y, por tanto, dejar inservible la cama caliente.

Lo primero que se imprimió fue un pequeño cilindro, primero se hizo el dibujo en Solidworks se guardó en formato STL y posteriormente se pasó a código G para realizar la impresión como se muestra en la figura 4.58, el proceso de la primera impresión 3D.

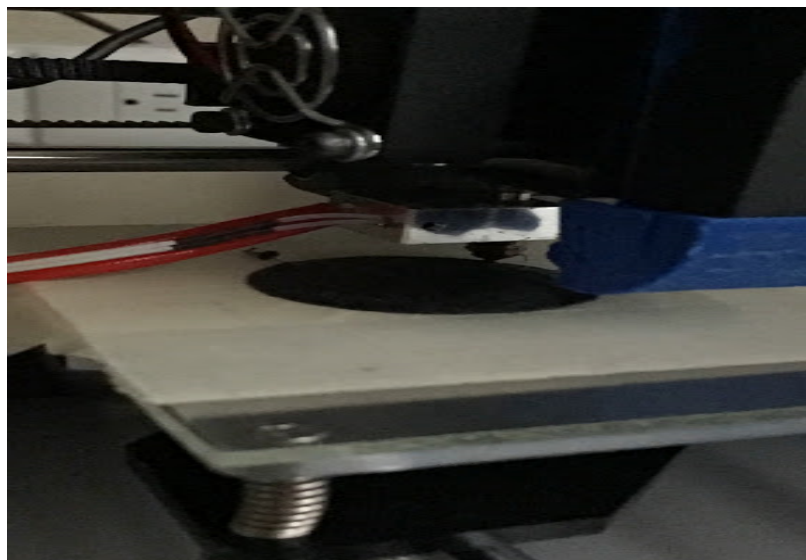


Figura 4.58 Primera Impresión 3D.

4.3.4 Obtención de una óptima calidad de impresión 3D.

En este sub tema se mencionaran ciertos ajustes para evitar fallas antes, durante y después de la impresión 3D de modelos y así mejorar la calidad de impresión.

1.- Cambio de filamento plástico

Para realizar el cambio de filamento se debe seguir los siguientes pasos:

- a. Antes de iniciar este proceso identificar que el nuevo rollo de filamento plástico (ABS, PLA, WOOD, ETC) a emplear tenga un diámetro de 1.75mm.
- b. Encender la máquina y establecer la comunicación con el software Pronterface.
- c. Una vez establecida la comunicación, setear y activar la opción Heat a 230°C para calentar el fundidor.
- d. Una vez alcanzada esta temperatura, introducir los valores de 50mm a 100mm/min y presionar el botón Reverse y esperar que termine de retraer todo el filamento.
- e. Retirar todo el filamento plástico usado e introducir el nuevo por el tubo plástico hasta que este llegue al tope del mecanismo extrusor.
- f. Presionar el botón Extrude con los mismos parámetros hasta que empiece a salir el filamento plástico por el fundidor.
- g. Retirar manualmente el filamento extruido.
- h. Desactivar la opción Heat, desconectar y cerrar el software Pronterface.

2.-Nivelación de la Base de Deposición.

La nivelación de la plataforma de impresión se realiza automáticamente al inicio de cada impresión, en caso de que se llegue cambiar la base de vidrio o cinta Kapton, se la puede nivelar manualmente ajustando o aflojando los tornillos del eje Y hasta encontrar la distancia adecuada entre la punta de la boquilla del fundidor y la base de deposición. Esta distancia debe ser de 0.1mm (grosor de una hoja de papel). SE puede apoyar con el Software Pronterface para verificar el grosor en toda el área de la base de deposición.

3.-Pandeos durante la impresión 3D.

Uno de los problemas que se pueden dar cuando se imprime con ABS es el denominado “pandeo” o curvatura de los modelos (las piezas se despegan de la base y empiezan a curvarse).

Para evitar dicho efecto se ha creado los perfiles mencionados anteriormente con temperaturas y velocidades reguladas acorde al tamaño del modelo a imprimir, facilitando la adhesión de las piezas a la base.

Las técnicas para evitar el pandeo y adherir las piezas perfectamente a la Base son:

- a. Base de deposición perfectamente nivelada y plana.

- b. Superficie de la base de deposición limpia y libre de grasa.
- c. Distancia de 0.1mm entre el fundidor y la base (Eje Z).
- d. Velocidad de impresión lenta en las paredes del modelo.

Capítulo 5

PRESUPUESTO Y RESULTADOS

5.1 Costos.

Uno de los objetivos principales del proyecto es determinar el costo total de la elaboración de la impresora 3D, tomando en cuenta sus costos directos e indirectos [86].

Los costos directos se enfocan principalmente de aquello cuyo costo se trata de determinar, es decir, un producto, un servicio, una actividad, como por ejemplo, materiales directos, mano de obra directa, entre otros.

Los costos indirectos son costos de los recursos que participan en el proceso de elaboración de la impresora, pero que no se incorporan físicamente al producto final. Estos costos están vinculados al periodo productivo y no al producto terminado, entre ellos tenemos: costos de materiales indirectos, costos de ingeniería, imprevistos, mano de obra indirecta, entre otros.

5.1.1 Costos Directos.

En costos directos englobaremos los siguientes elementos:

- Materiales; es decir, materia prima para la construcción de la impresora 3D.
- Costo de elementos/componentes adquiridos; es decir, listado de material electrónico y accesorios.
- Costos de maquinado; es decir, presupuesto de corte laser de piezas modeladas en acrílico, cortes de aluminio, etc.

Los costos de materia prima se muestran en la siguiente tabla 5.1.

Tabla 5.1 Costos de materia prima.

Elementos	Cantidad	Precio U.(\$)	Precio total(\$)
Solera Acero inoxidable 8mm.	1.5m	206.00	310.00
Base de aluminio.	1(22x22x3mm)	75.00	75.00

Base de cristal.	1(22x22x1.5mm)	35.00	35.00
Set de Varillas Acmé 8mm.	1 set (30mm)	284.00	284.00
Filamento PLA 3mm	1Kg	380.00	380.00
Hoja de MDF Melanina	1hoja(122x244x2.5mm)	116.00	116.00
		Total:	1200.00

Los costos de componentes adquiridos se muestran en la siguiente tabla 5.2.

Tabla 5.2 Costos de componentes adquiridos.

Componentes	Cantidad	Precio U.(\$)	Precio total(\$)
Rodamiento Lineal SC8UU	3 Piezas	58.00	174.00
Set de Acrílicos- Frame.(Varios)	17 Piezas	-	300.00
Set de Componentes imprimibles.(Varios)	3 Piezas	-	80.00
Motores Nema 17 Paso a Paso.	5 Piezas	96.00	480.00
PCB Hebed MK2B Dual Power.	1 Pieza	259.00	259.00
Correa dentada 2GT 6mm.	2 metros	61.50	123.00
Polea Dentada 2GT 20 Dientes	2 Piezas	40.00	80.00
J-Head Boquilla 1.75mm.	1 Pieza.	220.00	220.00
Tornillería (Varios)	Varios.	-	156.00
Mini Limit Switch	3 Piezas.	3.50	10.50
Cables(Varios)	-	-	43.00
Rodamientos Lineales LM8UU	7 Piezas.	15.50	108.50
Ventilador 40mm	1 Pieza.	35.00	35.00

Nozzle.			
Polea Muescada 1.7mm MK8	1 Pieza	45.00	45.00
Pantalla Grafica	(LCD2004)1 Pieza	270.00	270.00
Memoria SD(4GB)	1 Pieza.	56.00	56.00
MKS Base 1.2V	1 Pieza.	589.00	589.00
Ventilador 12VDC	1 Pieza	45.00	45.00
Power Supply 12 V 10A.	1 Pieza	339.00	339.00
Cople de Aluminio Flexible 8mm	2 Piezas	50.00	100.00
		Total:	3513.00

Los costos de maquinado se muestran en la siguiente tabla 5.3.

Tabla 5.3 Costos de maquinado.

Elementos	Cantidad	Precio U.(\$)	Precio total(\$)
Corte de Varillas Lisa.	6 cortes.	8.00	48.00
Corte Laser de MDF	44 min	4.50	198.00
Corte Laser de Acrílico	17 piezas.	-	300.00
Impresión de piezas	3 piezas	-	100.00
		Total:	646.00

5.1.2 Costos Indirectos.

En costos indirectos englobaremos los siguientes elementos:

- Costos de materiales consumibles, es decir; todo aquel material necesario para dar acabado, ensamble, ajuste o reparación al proyecto.
- Costos de ingeniería, es decir, al tiempo dedicado al diseño, ensamble, preparación y pruebas.

Los costos de materiales consumibles de muestran en la siguiente tabla 5.4.

Tabla 5.4 Costos de consumibles.

Elementos	Cantidad	Precio U.(\$)	Precio total(\$)
Lija de agua	2	3.50	7.00
Pasta para Soldar	1	16.00	16.00
Cinta Kapton	1	33.00	33.00
Spray anti corrosión	1	28.00	28.00
Acetona Industrial	1 Litro	45.00	45.00
Estaño	1	25.00	25.00
		Total:	154.00

El costo de ingeniería no se tomara en cuenta, ya que este estudio representa un ahorro de tiempo/costo por parte del lector, el cual se dedicara a realizar la selección, el ensamble, construcción y diseño de la impresora 3D.

5.2 Resultados.

De acuerdo con los resultados obtenidos en los costos directos e indirectos se tienen los siguientes resultados mostrados en la Tabla 5.5.

Tabla 5.4 Costos totales.

Costos	Precio (\$)
Directos	
Materia Prima	1200.00
Componentes Ad.	3513.00
Maquinado	646.00
Indirectos	
Costos consumibles	154.00
Total:	5513.00

La impresora 3D ha sido diseñada y ensamblada satisfactoriamente cumpliendo su funcionamiento, podemos observar, que el precio total neto mostrado en la tabla 5.4 se encuentra por debajo de las impresoras 3D en el mercado, por mencionar algunas

impresoras son Cobblebot 3D Printer (299USD), Makermex (\$7 000-\$20 000 M.N.), Colibri3D (\$9 900-\$22 900 M.N), entre otras, empleando materiales electrónicos, mecánicos, dispositivos de control, a un bajo costo.

Impresora semejante al proyecto en México están a un costo de \$13 300 M.N y ensamblada con un costo de \$16 500 M.N [87]. Al comparar dichas cantidades con la impresora i3k diseñada y ensamblada por nosotros, se determina que el costo beneficio es de \$10 987 M.N, teniendo una relación de 3 a 1 y un porcentaje de ahorro del %66.58, lo cual nos dice que el proyecto es muy factible.

Capítulo 6

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

6.1 Conclusiones.

La impresora i3k fue diseñada y construida en su totalidad, con la finalidad de imprimir modelos de prototipos de su interés, por medio de un extrusor mk8, realizando las calibraciones adecuadas se puede llegar a tener una impresión de buena calidad. Se recomienda que para obtener mejores resultados es de vital importancia tener la temperatura constante tanto en el extrusor como en la base de deposición.

En el diseño de la impresora se optó por los modelos de Prusa i3, ya que son auto-replicables, es decir; si alguna pieza se daña por desgaste o descuido, el lector sea capaz de reemplazarlo sin ningún problema y a un bajo costo. En la construcción de la misma se tomó en cuenta que la estructura y las bandas sincronizadas con las que se desplazan los ejes X, Y. deben de estar bien alineadas y tensas para evitar problemas al comenzar las pruebas. Las varillas roscadas en las que se encuentran el eje Z, deben de estar alineados con los motores paso a paso en paralelo ya que si es lo contrario, puede ocasionar daños en el eje y malas impresiones.

En la base de deposición de plástico donde se modelan los objetos a imprimir, es una de las partes en las que más problemas causaron al momento de imprimir modelos, debido a que por algún movimiento brusco o irregularidad que se encuentre a la hora de imprimir puede ocasionar que no se adhiera correctamente a la base. Para ello es necesario colocar cinta masking o algún spray de adición, esto sin dejar atrás una correcta calibración de los ejes por medio del software Pronterface.

Ya que si el termoplástico no se adhiere correctamente, el modelo a imprimir se va a despegar de la base de deposición antes de terminar de imprimir, si por lo contrario la mala calibración o irregularidades de la base pueden causar que la boquilla del nozzle quede demasiado pegada y choque con la pieza, provocando que se pierda la

calibración de alguno de los ejes, los objetivos generales y específicos del proyecto se han cumplido satisfactoriamente:

Objetivo General

- ❖ Se diseñó y ensambló una impresora 3D de bajo costo con el fin de ahorrar dinero y tiempo de impresión del 66.58%

Objetivos Específicos

- ❖ Se aportaron alternativas de las impresoras 3D ya existentes para mejorar su fabricación y estabilidad mediante análisis matemáticos, con la finalidad de que el lector pueda personalizar su impresora 3D a su beneficencia.
- ❖ Se dieron a conocer los conceptos básicos sobre la electrónica y los diferentes mecanismos a utilizar explicando conceptos de funcionamiento de los principales elementos electrónicos y mecanismos, dando varias alternativas a cerca de la electrónica y mecanismos que se pueden utilizar en el montaje de una impresora 3D a lo largo del proceso.
- ❖ Se implementaron sistemas de calidad y calibración a lo largo del proceso de fabricación de algún modelo o pieza, dando recomendaciones y la configuración ideal para realizar impresión de modelos 3D.
- ❖ Se demostró la reducción de costos mediante un presupuesto final de costos directos e indirectos en la fabricación de la impresora 3D obteniendo un ahorro del 66.58%.
- ❖ Se demostró la puesta en marcha de la impresora i3K e impresión de un modelo CAD.

En resumen, se cumplieron con los objetivos planteados al inicio del proyecto obteniendo resultados satisfactorios, además de la hipótesis planteada en dicho proyecto ayudar en la optimización de la construcción de una impresora 3D, mejorado su rapidez a una velocidad de 100mm/s, se redujeron los costos de material y se dio a conocer al lector los principales conceptos de electrónica y mecánica mediante análisis de matemáticos, estimando un presupuesto final en la fabricación de la impresora 3D de \$5 513.00 M.N que en base al historial que se ha

planteado en la hipótesis se afirmó que se podrá reducir de un 30% a 50% de ahorro a las que actualmente se encuentran en el mercado en México, y así ser más accesible al usuario, el cual al final del proyecto se registró una reducción de ahorro del 66.58% superior al porcentaje planteado en la hipótesis.

6.2 Trabajo Futuro.

Una vez concluido el proyecto se dan a conocer las posibles mejoras que se pueden realizar en un futuro, esto para mejorar el diseño y calidad de la impresora 3D, estas mejoras pueden aumentar el presupuesto final del proyecto, por eso se decide implementar en un futuro.

- **Estructura de aluminio.** Cambiar el acrílico por aluminio para obtener mejor rigidez y estabilidad, además de un mejor acabado y presentación de la misma.
- **Sistema de guiado lineal.** Cambiar los rodamientos por un sistema de rieles para el movimiento del eje Y, con esto se reduce la fricción.
- **Sensores magnéticos.** Cambiar los limit switch por sensores magnéticos, ya que los sensores finales de carrera, llegan a moverse por el constante movimiento de los ejes, por ello se optaría por colocar sensores magnéticos fijos, esto puede aumentar el costo final del proyecto.
- **Manual de Calibración.** Un trabajo muy importante a realizar sobre la impresora es la calibración de la misma, está a su vez consta de dos partes, por un lado tenemos la calibración del firmware y por otra la de los parámetros del software que usemos para crear el Gcode. Realizar un manual de calibración riguroso para minimizar las fallas presentadas a lo largo de una impresión, la calibración de los parámetros del software que use utilizó para generar el Gcode (Cura o Pronterface) consiste en un procedimiento de prueba y error ir cambiando valores de velocidad, temperatura, etc. hasta conseguir piezas con la mayor calidad posible.
- **Doble Extrusor.** Necesario si se necesita realizar modelos con diferentes polímeros o colores.

- **Piezas imprimibles.** Minimizar el número de piezas imprimibles mecanizando los modelos en aluminio mediante maquinas CNC.
- **Base de Deposición.** Aumentar el área de la base de deposición, para imprimir modelos con mayor tamaño o diferentes modelos en una sola impresión.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] <http://www.makerbot.com> visitado en el mes de Octubre de 2015.
- [2] <http://makermex.com> visitado en el mes de Mayo, Octubre y Diciembre de 2015.
- [3] <http://www.3dsystems.com/shop/support/legacy/manuals> visitado en el mes de Octubre de 2015.
- [4] <http://wanhaousa.com> visitado en el mes de Mayo, Octubre de 2015.
- [5] <http://www.ideal3d.com> visitado en el mes de Mayo, Junio y Diciembre de 2015.
- [6] <http://www.newmatter.com/#!/> visitado en el mes de Febrero de 2016.
- [7] <http://printrbot.com> visitado en el mes de Febrero de 2016.
- [8] <http://colibri3d.com/> visitado en el mes de Noviembre de 2015.
- [9] <http://d3d.mx> visitado en el mes de Noviembre de 2015 y Febrero de 2016.
- [10] <http://www.escobarimpresores.com/blog/impresion-3d/> visitado en el mes de Septiembre de 2015.
- [11] Frank W. Liou, "Rapid Prototyping and Engineering Applications: A Toolbox for Prototype", Ed. CRC Press. 2007.
- [12] Carlo Fonda. "Guía Práctica para tu Primera Impresión 3D", Science Dissemination Unit The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy. Page 2 – 3.
- [13] Chulvi, V., & Muñoz, C. (2007). "Prototipado rápido+ PEEK= Andamios para huesos". In XI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos (AEIPRO). Lugo, España pp. 602-612.
- [14] Hull, Chuck (1986). "Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography". U.S. Patent 4.575.330.
- [15] <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso13-14/impresoras3D/SLS.html> visitado en el mes de Noviembre de 2015.
- [16] <http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling> visitado en el mes de Noviembre de 2015.
- [17] <http://www.stratasys.com/mx/impresoras-3d/technologies/fdmtechnology#sthash.zGt70nQ5.dpuf> visitado en el mes de Noviembre de 2015.
- [18] Maldonado, G. (2012). Diseño, construcción y programación de una máquina de control numérico. Tesis de pregrado, Universidad Internacional del Ecuador, Quito.
- [19] <https://tfmrimumed.wordpress.com/modelado-por-deposicion-de-hilo-%20fundido-fdm/> visitado en el mes de Diciembre de 2015.
- [20] <http://www.3dimpresoras3d.com/pros-y-contras-impresion-3d/> visitado en el mes de Diciembre de 2015.
- [21] <http://www.zcorp.com/es/Products/3D-Printers/Advantages-of-3D-Printing/spage.aspx> visitado en el mes de Diciembre de 2015.
- [22] <https://www.fayerwayer.com/2014/12/foodini-una-impresora-3d-de-comida/> visitado en el mes de Enero de 2016.
- [23] <http://sicnova3d.com/blog/el-impacto-de-la-impresion-3d-en-la-arquitectura/> visitado en el mes de Enero de 2016.
- [24] S. Alex, "Intro to 3D Printing", March 2014, pages 40 – 47.
- [25] http://www.impresorasen3d.com/imprime_tu_guardarropa_la_impresion_3d_arrasa_en_.html visitado en el mes de Enero y Febrero de 2016.
- [26] <http://es.euronews.com/2015/05/04/las-impresoras-3d-de-comida-cada-vez-mas-cerca-de-nuestras-cocinas/> visitado en el mes de Febrero de 2016.
- [27] <https://actualidad.rt.com/ciencias/view/95172-nasa-impresora-3d-comida> visitado en el mes de Febrero de 2016.

- [28] http://individual.troweprice.com/staticFiles/Retail/Shared/PDFs/3D_Printing_Infographic_FINAL.pdf visitado en el mes de Enero de 2016.
- [29] <http://www.axis4d.com/historia-axis4d.html> visitado en el mes de Enero de 2016.
- [30] <https://mexico.impresoras3d.com/blogs/impresion-3d/120742471-impresion-3d-a-lo-largo-de-la-historia> visitado en el mes de Enero de 2016.
- [31] <http://tecreview.itesm.mx/las-impresiones-3d-que-hicieron-historia-en-2015/> visitado en el mes de Enero de 2016.
- [32] <http://reprap.org/wiki/RepRap/es> visitado en el mes de Diciembre de 2015.
- [33] https://es.wikipedia.org/wiki/GNU_General_Public_License visitado en el mes de Diciembre de 2015.
- [34] <http://reprap.org> visitado en el mes de Noviembre, Enero, Febrero de 2016.
- [35] <http://www.b-o-t.cc> visitado en el mes de Enero de 2016.
- [36] Joan Huertas González. Rediseño y fabricación de una impresora 3D RepRap. UPC. 2014.
- [37] D
- [38] <http://www.3ders.org/pricecompare/3dprinters/?tab=Details> visitado en el mes de Marzo de 2016.
- [39] <http://www.eis.uva.es/~biopolimeros/alberto/pla.htm> visitado en el mes de Marzo de 2016.
- [40] <http://quimica.laguia2000.com/compuestos-quimicos/abs-acrilonitrilo-butadieno-estireno#ixzz44neGWGSR> visitado en el mes de Marzo de 2016.
- [41] <https://impresoras3d.com/blogs/noticias/102832135-el-material-de-impresion-abs-y-sus-caracteristicas> visitado en el mes de Marzo de 2016.
- [42] <http://makershopbcn.com/abs-vs-pla-que-diferencia-existe-entre-estos-dos-filamentos-para-impresora-3d> visitado en el mes de Marzo de 2016.
- [43] <http://ute-mecatronica.blogspot.mx/2014/02/sistemas-de-control.html> visitado en el mes de Enero de 2016.
- [44] Herrera, D., Yung L., Diseño y construcción de una máquina para la elaboración de circuitos impresos basado en control numérico computarizado, EPN, Quito-Ecuador, 2007. Page: 3.
- [45] <http://reprap.org/wiki/Marlin> visitado en el mes de Octubre de 2015 y Marzo de 2016.
- [46] http://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4 visitado en el mes de Noviembre de 2015 y Marzo de 2016.
- [47] <http://reprap.org/wiki/Eventorbot> visitado en el mes de Diciembre de 2015.
- [48] <http://reprap.org/wiki/Kossel> visitado en el mes de Diciembre de 2015.
- [49] http://reprap.org/wiki/Prusa_i3 visitado en el mes de Octubre, Noviembre de 2015 y Febrero 2016.
- [50] <http://reprap.org/mediawiki/images/5/55/Prusai3-metalframe.jpg> visitado en el mes de Febrero de 2016.
- [51] www.concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/imprensa/Textos/Tx_mcanismos. visitado en el mes de Marzo de 2016.
- [52] David H. Myszka, Maquinas y Mecanismos, Pearson, 4 Edición.
- [53] David H. Myszka, Maquinas y Mecanismos, Pearson, 4 Edición, pages: 261, 281.
- [54] David H. Myszka, Maquinas y Mecanismos, Pearson, 4 Edición, pages: 302-305.
- [55] Hall, Holowenco, Laughlin, Diseño de Máquinas, McGRAW-HILL, 1 Edición, pages: 249.
- [56] Hall, Holowenco, Laughlin, Diseño de Máquinas, McGRAW-HILL, 1 Edición, pages: 255.
- [57] Hall, Holowenco, Laughlin, Diseño de Máquinas, McGRAW-HILL, 1 Edición, pages: 599-601.

- [58] M. en I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez. Diseño de elementos de Maquinas M. en CUAUTITLÁN IZCALLI 2011, pages: 149, 154,155.
- [59] Eugenio Vildósola C., "Actuadores", Soltex Chile S.A, 2013.
- [60] Sistemas eléctricos en centrales, JESÚS TRASHORRAS MONTECELOS, Ed. Paraninfo, SA, 1 edición 2016, pages: 163.
- [61] Sistemas Digitales y electrónica digital, prácticas de laboratorio, Juan Ángel Garza Garza, Pearson Education, 206 Pages: 192-193.
- [62] http://reprap.org/wiki/NEMA_17_Stepper_motor visitado en el mes de Mayo de 2016.
- [63] Sensores y acondicionadores de señal. Ramón Paras Anelly, Marcombo, S.A. 4 Edición. Pages: 6-9.
- [64] Introducción a los sensores, CSIC Press, Madrid Pages: 73.
- [65] Sensores Magnéticos e Inductivos, Fernández Amador Gerardo, Pachuca Hgo 2005, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, pages: 106-108.
- [66] Maldonado, G. (2012). Diseño, construcción y programación de una máquina de control numérico. Tesis de pregrado, universidad Internacional del Ecuador, Quito. Page: 45.
- [67] Maldonado, G. (2012). Diseño, construcción y programación de una máquina de control numérico. Tesis de pregrado, universidad Internacional del Ecuador, Quito. Page: 46.
- [68] http://reprap.org/wiki/J_Head_Nozzle visitado en el mes del Mayo del 2016.
- [69] <http://reprap.org/wiki/Budaschnozzle> visitado en el mes de Mayo del 2016.
- [70] http://www.geeetech.com/wiki/index.php/MK8_Extruder visitado en el mes de Diciembre del 2015 y Mayo del 2016.
- [71] http://reprap.org/wiki/Arduino_Mega_Pololu_Shield visitado en el mes de Noviembre del 2015.
- [72] <http://reprap.org/wiki/Sanguinololu/es> visitado en el mes de Noviembre del 2015.
- [73] http://reprap.org/wiki/SAV_MKI/es visitado en el mes de Noviembre del 2015.
- [74] <http://reprap.org/wiki/Marlin> visitado en el mes de Noviembre del 2015.
- [75] <http://www.thingiverse.com> visitado en el mes de Enero, Julio, Octubre del 2016
- [76] Robert L. Mott, (2006), Diseño de Elementos de Maquinas, Pearson Educacion, Cuarta Edicion. page:85. Visitado en el mes de Junio del 2016.
- [77] Shigley, J., & Mitchell, L. (1999). Diseño en Ingeniería Mecánica. México: McGraw-Hill Companies, Inc. Octava edición. Pág.: 71 visitado en el mes de Junio del 2016.
- [78] <http://bendingmomentdiagram.com/es/free-calculator/> visitado en el mes de Junio del 2016.
- [79] Shigley, J., & Mitchell, L. (1999). Diseño en Ingeniería Mecánica. México: McGraw-Hill Companies, Inc. Octava edición. Pág.: 730 visitado en el mes de Junio del 2016.
- [80] <https://www.arduino.cc/en/Main/Software> visitado en el mes de Mayo, Agosto y Diciembre del 2016.
- [81] <https://github.com/MarlinFirmware/Marlin/tree/RC/Marlin> visitado en el mes de Octubre del 2015 y Diciembre del 2016.
- [82] <http://airtripper.com/1145/marlin-firmware-v1-basic-configuration-set-up-guide/> visitado en el mes de Octubre del 2015 y Diciembre del 2016.

-
- [83] <https://github.com/kliment/Printrun> visitado en el mes de Noviembre del 2015 y Octubre del 2016.
- [84] <https://ultimaker.com/en/resources/16579-installation> visitado en el mes de Octubre del 2015, Junio y Diciembre del 2016.
- [85] https://www.zonamaker.com/descargas/Manual_CURA.pdf visitado en el mes de Diciembre del 2016.
- [86] http://www.contabilidad.com.py/articulos_73_costos-directos-e-indirectos.html visitado en el mes de Diciembre del 2016.
- [87] <http://makermex.com/shop?search=prusa> visitado en el mes de Enero del 2017.
- [88] Joan Huertas González, Rediseño y fabricación de una impresora 3D RepRap, Tesis de pregrado, Universitat Politècnica de Catalunya Page: 8.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Creación de Modelo y prototipado 3D.....	2
Figura 1.2 Secuencia general de impresión 3D.....	3
Figura 1.3 Proceso de Esterolitografía.....	6
Figura 1.4 Proceso de Sinterizado Selectivo por Laser.....	7
Figura 1.5 Proceso de modelado por FDM.....	8
Figura 1.6 Diversas aplicaciones de la Impresión 3D.....	11
Figura 2.1 Mercado actual de Empresas en Impresoras 3D.....	16
Figura 2.2 Primer modelo Darwin.	17
Figura 2.3 Segundo modelo Mendel.....	18
Figura 2.4 Tercer modelo Prusa Mendel.....	19
Figura 2.5 Cuarto modelo Prusa Mendel Iteracion 2.....	20
Figura 2.6 Quinto modelo Prusa i3.....	21
Figura 2.7 Diagrama de compresión de filamento.	47
Figura 2.8 Filamentos de ABS- PLA.	47
Figura 2.9 Sistema de Control de Lazo Cerrado.	50
Figura 2.10 Sistema de Control de Lazo Abierto.	50
Figura 2.11 Módulos generales de la impresora 3D.	51
Figura 2.12 Modos de control de la impresora 3D.	52
Figura 2.13 Diagrama de bloques de electrónica.....	53
Figura 2.14 Modelo previo de Impresora 3D.....	53
Figura 3.1 Impresora Eventorbot.	56
Figura 3.2 Impresora Rostock.	57
Figura 3.3 Impresora Prusa i3 General.	58
Figura 3.4 Mecanismo Cremallera-Piñón.	60
Figura 3.5 Mecanismo Polea-Correa.	61
Figura 3.6 Variedad de modelos de Tornillo-Tuerca.	62
Figura 3.7 Rodamientos utilizados generalmente en Impresoras 3D..	63
Figura 3.8 Diferentes tipos de rodamientos.	64
Figura 3.9 Estructura interna de Servomotor CD.	66
Figura 3.10 Pasos electromagnéticos de un motor paso a paso de 4 polos..	67
Figura 3.11 Motores paso a paso NEMA-17 Y NEMA 23.	67
Figura 3.12 Sensor Mecánico, denominado Limit Switch.	70
Figura 3.13 Sensores CNY70.	71
Figura 3.14 Sensor Magnético SMH-1PC.	72
Figura 3.15 Sistema tornillo sin fin.	74
Figura 3.16 Sistema de engranajes en un extrusor J-Head.	74
Figura 3.17 J-Head Mk V.	75
Figura 3.18 J-head BUDASCHNOZZLE	75
Figura 3.19 J-head STEPSTRUDER MK8.	76
Figura 3.20 Placa electrónica Ramps 1.4.	78
Figura 3.21 Placa electrónica Sanguinololu V1.3a.	79
Figura 3.22 Placa electrónica MK Base V1.2.	80
Figura 4.1 Diagrama Flujo de Diseño Mecánico.	82

Figura 4.2	Diagrama Flujo de Diseño del Extrusor.	83
Figura 4.3	Diseño de Extrusor MK8.	84
Figura 4.4	Expectativa de Impresora 3D (Prusa i3).	85
Figura 4.5	Sistema de posicionamiento lineal.	85
Figura 4.6	Ensamble de bases laterales con marco frontal.	87
Figura 4.7	Diseño de Mecanismos X, Y.	88
Figura 4.8	Diseño esquemático de Eje X.	88
Figura 4.9	Diagrama de cuerpo libre en el eje X.	89
Figura 4.10	Diagrama de cuerpo libre en el eje X (Fuerza Cortante).	91
Figura 4.11	Fuerza Cortante en el eje X.	92
Figura 4.12	Momento Flexor en el eje X.	92
Figura 4.13	Ensamble de soporte Lateral Derecho.	96
Figura 4.14	Ensamble de soporte Lateral Izquierdo.	97
Figura 4.15	Ensamble de Eje X.	98
Figura 4.16	Diseño esquemático de Eje Y.	98
Figura 4.17	Diagrama de cuerpo libre en el eje Y (Fuerza Cortante).	101
Figura 4.18	Fuerza Cortante en el eje Y.	101
Figura 4.19	Momento Flexor en el eje Y.	102
Figura 4.20	Base Plataforma de Deposición.	105
Figura 4.21	Base Soporte Frontal.	107
Figura 4.22	Base Soporte Trasero.	108
Figura 4.23	Ensamble del Eje Y.	108
Figura 4.24	Diagrama de cuerpo libre mecanismos X-Y.	109
Figura 4.25	Diagrama del sistema de poleas en los ejes X-Y.	109
Figura 4.26	Diagrama de cuerpo libre Polea – Motor.	110
Figura 4.27	Ensamble del Eje Z.	113
Figura 4.28	Ensamble impresora I3K.	115
Figura 4.29	Interfaces de la impresora I3K.	115
Figura 4.30	Ensamble de pantalla grafica.	117
Figura 4.31	Conexión de dispositivos a MKBase 1.2.	118
Figura 4.32	Ensamble de MKBase 1.2.	119
Figura 4.33	Fuente de Poder 12V-30A.	120
Figura 4.34	IDE Arduino 1.6.13.	121
Figura 4.35	Firmware Marlin.	122
Figura 4.36	Carpeta Libraries.	123
Figura 4.37	Carpeta arduino-1.6.13.	123
Figura 4.38	Librerías para LCD.	124
Figura 4.39	Archivo de Configuración.	124
Figura 4.40	Ejecutar Marlin.ino mediante Arduino.	125
Figura 4.41	Configuración de Micro controlador y puerto COM.	125
Figura 4.42	Compilación del Código fuente Marlin.	126
Figura 4.43	Cargado de firmware exitoso.	126
Figura 4.44	Pronterface.	128
Figura 4.45	Cura: Ruta de instalación.	130
Figura 4.46	Cura: Formatos de archivos.	130
Figura 4.47	Cura: Ejecutar software.	131
Figura 4.48	Cura: Selección de Impresora 3D.	131

Figura 4.49 Cura: Configuración básica.....	132
Figura 4.50 Cura: Entorno grafico.....	132
Figura 4.51 Cura: Área de impresión.....	133
Figura 4.52 Cura: Opciones de Modelo.....	134
Figura 4.53 Cura: Configuración básica.....	135
Figura 4.54 Cura: Configuración avanzada.....	138
Figura 4.55 Cura: Inicio/Final de Código G.....	140
Figura 4.56 Cura: Parámetros para Impresora i3K.....	141
Figura 4.57 Pronterface: Grafica de Temperatura.....	143
Figura 4.58 Primera Impresión 3D.....	144

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Principales Tecnologías de Impresión 3D.....	5
Tabla 1.2 Ventajas y desventajas del proceso de modelado por FDM.....	9
Tabla 2.1 Especificaciones de Modelo Darwin.	17
Tabla 2.2 Especificaciones de Modelo Mendel.	18
Tabla 2.3 Especificaciones de Modelo Prusa Mendel.	19
Tabla 2.4 Especificaciones de Modelo Prusa Mendel Iteración 2.	20
Tabla 2.5 Especificaciones de Modelo Prusa i3.	21
Tabla 2.6 Principales impresoras en el mercado Internacional.	23
Tabla 2.7 Principales diferencias entre plásticos ABS y PLA.	49
Tabla 3.1 Especificaciones esperadas de Modelo Prusa i3k.	55
Tabla 3.2 Tipos de Rodamientos.	65
Tabla 3.3 Ventajas y desventajas de los motores de Corriente Continua.	69
Tabla 3.4 Ventajas y Desventajas de los Motores a Pasos.	69
Tabla 4.1 Modelos del ensamble de Soporte-Carcasa.	85
Tabla 4.2 Modelos de Rodamiento SCS8UU.	86
Tabla 4.3 Modelos para el ensamble del Eje X.	93
Tabla 4.4 Modelos para soporte lateral derecho del Eje X.	95
Tabla 4.5 Modelos para soporte lateral izquierdo del Eje X.	96
Tabla 4.6 Peso de ensamble el eje Y.	99
Tabla 4.7 Modelos para el ensamble del eje Y.	103
Tabla 4.8 Modelos para base plataforma.	104
Tabla 4.9 Modelos para soporte trasero y frontal.	106
Tabla 4.10 Modelos para ensamble del eje Z.	112
Tabla 4.11 Modelos para ensamble de impresora i3k.	114
Tabla 4.12 Descripción de pantalla táctil JHD12864E..	116
Tabla 4.13 Ensamble de HMI.	117
Tabla 4.14 Consumo de corriente en dispositivos.	119
Tabla 5.1 Costos de materia prima.	146
Tabla 5.2 Costos de componentes adquiridos.	147

Tabla 5.3 Costos de maquinado.	148
Tabla 5.4 Costos totales.	149