



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
COMUNICACIONES**

TEMA:

**“IMPRESORA 3D DE ESCRITORIO BASADA EN EL MODELO OPEN
SOURCE PARA LA ELABORACIÓN DE OBJETOS FÍSICOS”**

Trabajo de Graduación. Modalidad: TEMI. Trabajo Estructurado de Manera Independiente, presentado previo la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Robótica
AUTOR: Andrés Gualberto Sánchez Guerrero
TUTOR: Ing. Santiago Collantes, Mg.

Ambato - Ecuador
Junio, 2015

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el Tema:

“Impresora 3D de escritorio basada en el modelo Open Source para la elaboración de objetos físicos”, del señor Andrés Gualberto Sánchez Guerrero, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones , de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el Art. 16 del Capítulo II, del Reglamento de Graduación para Obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad técnica de Ambato

Ambato, Junio del 2015

EL TUTOR

Ing. Santiago Collantes, Mg.

AUTORÍA

El presente trabajo de investigación titulado “**Impresora 3D de escritorio basada en el modelo Open Source para la elaboración de objetos físicos**”. Es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Junio del 2015

Andrés Gualberto Sánchez Guerrero

CC: 1804631719

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato, Junio del 2015

Andrés Gualberto Sánchez Guerrero

CC: 1804631719

APROBACIÓN COMISIÓN CALIFICADORES

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. Vicente Morales L., Mg., Ing. Carlos Sánchez R., Mg. e Ing. Patricio Cordova C., Mg, revisó y aprobó el Informe Final del trabajo de graduación titulado “**Impresora 3D de escritorio basada en el modelo Open Source para la elaboración de objetos físicos**”, presentado por el señor Andrés Gualberto Sánchez Guerrero de acuerdo al Art. 17 del Reglamento de Graduación para obtener el título Terminal de tercer nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Vicente Morales L., Mg.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Carlos Sánchez R., Mg.

Ing. Patricio Cordova C., Mg.

DOCENTE CALIFICADOR

DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA

“En todos los asuntos humanos hay esfuerzos, y hay resultados, y la fortaleza del esfuerzo es la medida del resultado”
James Allen.

El camino es muy largo aún, se que las mismas personas que estuvieron conmigo hasta hoy seguirán estando presentes en mi futuro ayudando con sus consejos y brindándome fortaleza para realizar esfuerzos con grandes resultados. Por esta y más razones dedico esta parte de mi vida a mis padres que han sido mi apoyo a todos mis proyectos, a mis hermanos cuyo ejemplo para mi ha sido una meta que superar, meta que constantemente se renueva y a mis sobrinos en cuyos ojos veo la esperanza de un futuro mejor, por el que trabajo a diario.

“Solo se vive una vez, vive tu vida tan intensamente como puedas” AvB.

Andrés Sánchez G.

AGRADECIMIENTO

El agradecimiento es un sentimiento que se expresa como consecuencia de haber recibido de parte de alguien el apoyo que se necesitaba y el agradecimiento que siento es tan grande como el apoyo que obtuve de quienes se involucraron en la consecución de este sueño. Es imposible agradecer explícitamente a todos pero debo empezar agradeciendo a mi familia y a mis maestros que constantemente señalaron el camino a seguir.

A las personas con quienes y para quienes tuve la oportunidad de trabajar y aprender de su experiencia.

A mis amigos que son una fuente inagotable de apoyo y camaradería.

Finalmente a mis Tutores y a todos quienes de una u otra manera participaron en este proyecto, en especial a 3D.LAB FABLAB UIO y a Diferencial EC, quienes confiaron en mi capacidad y me brindaron grandes oportunidades.

Andrés Sánchez G.

ÍNDICE

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN COMISIÓN CALIFICADORA	v
Dedicatoria	vi
Agradecimiento	vii
Introducción	xxiii
CAPÍTULO 1 El problema	1
1.1 Tema de Investigación	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.3 Delimitación	2
1.4 Justificación	3
1.5 Objetivos	4
1.5.1 General	4
1.5.2 Específicos	4
CAPÍTULO 2 Marco Teórico	5
2.1 Antecedentes Investigativos	5
2.2 Fundamentación teórica	6
2.2.1 Prototipado Rápido	6
2.2.2 Tecnologías de Prototipado Rápido	7
2.2.3 Clasificación de Prototipos	9
2.2.4 Aplicaciones del Prototipado Rápido	10
2.2.5 Open Source	10
2.2.6 Open Source Hardware	10

2.2.7	Licencias	11
2.2.8	Impresión 3D	13
2.2.9	Desarrollo basado en código abierto	14
2.2.10	<i>Maker Culture</i> y DIY	14
2.2.11	Revolución industrial	16
2.2.12	Impresión 3D una tecnología mas barata y Ecológica	16
2.2.13	Ventajas de la Impresión 3D	17
2.2.14	Impresoras 3D	17
2.2.15	El Proyecto RepRap	18
2.2.16	Proyecto Clone Wars	18
2.2.17	Hardware y Robótica Libre	18
2.2.18	Niveles De Apertura De Hardware	19
2.2.19	Aplicación de una impresora 3D	19
2.2.20	Hardware de impresoras 3D	21
2.2.21	Proceso de producción de un objeto en 3D	22
2.2.22	Modelado en 3D	24
2.2.23	Modelos 3D en repositorios Web	28
2.2.24	Código G	31
2.2.25	Software de generación de Código G	31
2.2.26	Control Numérico Computarizado	34
2.2.27	Firmware de control	35
2.2.28	Materiales de impresión 3D para FFF	36
2.2.29	Sistema de Control	36
2.2.30	Control Proporcional Integral Derivativo PID	37
2.2.31	Ajuste de PID con el método de Oscilación Continua	38
2.3	Propuesta de solución	39
2.4	Fundamentación legal	39
2.4.1	Decreto Presidencial N° 1014 versión resumida	39
2.4.2	Plan Nacional del Buen Vivir 2009-2013 y 2013-2017	40
2.4.3	Carta abierta a los trabajadores del PROCOMÚN	40
CAPÍTULO 3 Metodología		42
3.1	Modalidad Básica de la investigación	42
3.1.1	Investigación Bibliográfica	42
3.1.2	Investigación de Campo	42
3.2	Recolección de información	42
3.2.1	Plan de recolección de información	42
3.3	Procesamiento y análisis de datos	43

3.4	Desarrollo de proyecto	43
CAPÍTULO 4 Desarrollo de la propuesta		44
4.1	Modelos de Desarrollo de Impresoras 3D	44
4.1.1	Evolución de la impresión 3D	44
4.1.2	Mercado de impresoras 3D de prototipado rápido	48
4.2	Impresoras Profesionales y DIY	52
4.2.1	Selección del Modelo de Impresora Personal	54
4.3	Diseño conceptual Impresora 3D	57
4.3.1	Definición del Problema	57
4.3.2	Planteamiento del problema	58
4.3.3	Análisis, Comprensión y Descripción del Contexto de Uso	59
4.3.4	Identificación de las Necesidades a Cubrir	60
4.3.5	Características Funcionales	61
4.3.6	Especificaciones Técnicas de un Robot según Aplicación	66
4.3.7	Justificación de las Condiciones Económicas	74
4.3.8	Determinación de la Topología: Síntesis Estructural	82
4.4	Diseño basado en Control Numérico	82
4.4.1	Código G en impresión 3D	82
4.4.2	Proceso Fabricación digital	84
4.4.3	Generación de Código G	86
4.4.4	Control manual en Linux con GtkTerm y Python	88
4.5	Diseño funcional Impresora 3D	89
4.5.1	Estructura	90
4.5.2	Eslabones y Articulaciones	92
4.5.3	Actuadores	101
4.5.4	Sistema Sensorial	108
4.5.5	Efector Final	113
4.5.6	Sistema de control	123
4.5.7	Conexión componentes electrónicos	129
4.5.8	Diseño Interfaz de Usuario	134
4.5.9	Configuración de la interfaz web de control	136
4.6	Diseño Mecánico Impresora 3D	145
4.6.1	Lista de materiales	146
4.6.2	Construcción de estructura	146
4.6.3	Actuadores y Sistema sensorial	149
4.6.4	Efector final	151
4.6.5	Carcasa	151

4.7	Configuración de Firmware	153
4.7.1	Configuración de los parámetros del Firmware Marlin	156
4.7.2	Sintonización del PID en el Firmware de control	159
4.8	Software	162
4.8.1	Selección del software de Laminado.	162
4.9	Configuración de Software de laminado	164
4.9.1	Instalación en Linux	164
4.9.2	Reconocimiento del entorno	165
4.9.3	Preferencias de la Impresora 3D	168
4.9.4	Configuración del laminado	169
4.9.5	Perfiles de impresión	179
4.10	Mantenimiento de los componentes de la impresora	180
4.11	Resultados de impresión	181
CAPÍTULO 5 Conclusiones y Recomendaciones		186
5.1	Conclusiones	186
5.2	Recomendaciones	187
Bibliografía		189
ANEXOS		201

ÍNDICE DE TABLAS

1	Tabla de tecnologías de prototipado rápido	7
2	Parámetros sugeridos como un primer valor de ajuste	38
3	Impresoras Profesionales vs. Escritorio	53
4	Tabla de selección de modelo	56
5	Tabla de costos directos	77
6	Tabla de costos indirectos	77
7	Tabla de costos indirectos	78
8	Tabla de gastos operativos	79
9	Resultados Proyectados	80
10	Flujo de Caja Impresión 3D	80
11	Resumen de resultados Económicos	82
12	Fragmento de código G con la descripción de los códigos	87
13	Tabla de especificaciones de polea y correa GT2	96
14	Análisis de los motores	103
15	Análisis de la base de impresión.	107
16	Pinout de un Final de carrera mecánico	110
17	Tipos de sensores de Temperatura y Características	111
18	Análisis del Extrusor	115
19	Selección del Controlador (1)	123
20	Selección del Controlador (2)	124
21	Pololu A4988 esquemático y características	127
22	Comparación Marlin Vs. Spriter	128
23	Conexión entre el Arduino y el Driver A4988	132
24	Conexión entre el Arduino y finales de carrera	132
25	Conexión entre el Arduino y las salidas de potencia	133
26	Conexión entre termistores y Arduino	134
27	Lista de materiales	147
28	Perfiles de impresión de acuerdo a las calidades	180

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Modelo en 3D en diseño digital y físico	6
2	Proceso de impresión FDM	8
3	Logo del OSHW	11
4	Distintivo de Open Source Hardware	12
5	Licencias de <i>Creative Commons</i>	13
6	Portada de la Tesis de Maestría de Erick de Bruijn	15
7	Aplicación de Open Source a Hardware	20
8	Herramientas generadoras de planos	20
9	Diseño en 3D convertido en un objeto Físico	21
10	Kit de ensamblaje de una impresora 3D	22
11	Impresora 3D diseño abierto pre-esamblada	22
12	Impresora 3D cerrada	23
13	Cadena de herramientas CAM	23
14	Lenguaje de Generación de modelos en 3D OpenSCA	25
15	Modelo paramétrico en 3D creado en OpenSCAD	26
16	Plataforma FreeCAD	26
17	Modelado en 3D con FreeCAD	27
18	Software de modelado 3D Blender	27
19	Blender junto con un programa de laminado 3D	28
20	Plataforma de desarrollo colaborativo GitHub	29
21	Thingiverse, Universo de cosas, Repositorio de diseños digitales 3D.	30
22	Código G generado para la impresión de un objeto en 3D.	31
23	Generación de Código G a partir de un modelo en 3D.	32
24	Principales Software de Generación de Código G para impresión 3D	34
25	Diagrama de bloques del Control PID	37
26	Respuesta transitoria al Ajuste por el método de oscilación.	39
27	Prusa I3 del Proyecto RepRap Varias versiones	45
28	MaketBot Modelos de Impresoras 3D	46
29	Modelos de MakerBot 2014	46
30	Impresoras 3D de Ultimaker	47

31	PrintrBot	48
32	Clone Wars Comunidad de RepRap en Español	48
33	Prusa Research, Empresa liderada por Josef Prusa.	49
34	Distribución por internet, comercial de UPS 2000	49
35	¿En que año uso una impresora 3D por primera vez?	50
36	¿De que empresa es la impresora 3D que usa?	50
37	Ventas de productores de impresoras 3D	51
38	Popularidad de Impresoras 3D	52
39	Diferentes modelos de impresoras 3D Open Source	56
40	Esquema representativo de la etapa de planteamiento del problema .	57
41	Escenario del robot	62
42	Seguridad del robot(carcasa)	63
43	Geometría del escenario	63
44	Representación de RepRap Darwin	68
45	Representación de RepRap Prusa I3	69
46	Análisis FODA impresora 3D	75
47	Síntesis estructural Impresora 3D	83
48	Modelo 3D en FreeCAD	84
49	Netfabb Basic Analizador de Mallas	85
50	Objeto laminado en Cura y listo para imprimir	85
51	Objeto impreso en 3D	86
52	Aplicación de control manual de una CNC con python.	90
53	Sistema Eslabones y Articulación del Eje Y	93
54	Sistema de transmisión de movimiento, Eje X y Eje Y	93
55	Sistema Eslabones y Articulación del EjeZ	93
56	Sistema de transmisión de movimiento de Eje Z	94
57	Eslabones y Articulaciones del Eje X	94
58	Trasmisión de Movimiento por Polea Correa	95
59	Polea y correa sincronizada GT2	97
60	Rodamiento axial de bolas	97
61	Transmisión de movimiento Tornillo Tuerca	98
62	Movimiento lineal producido por la tuerca y tornillo	99
63	Mecanismo de tuerca y tornillo aplicado al Eje Z	99
64	Sistema de guiado lineal por Eje	100
65	Varilla lisa y rodamiento lineal LM8UU	100
66	Disposición de los materiales de la carcasa	102
67	Motor de paso a paso	104

68	Base Caliente	108
69	Montaje de la base Caliente con PCB	108
70	Tipos de finales de carrera	109
71	Esquemático, Pistas y Pictórico Endstop v1.2	111
72	Termistor EPCOS B57560G1104F	112
73	Diagrama de los componentes de un extrusor	114
74	Budaschnozzle G3D V1.2	116
75	Diseño del reductor del extrusor	122
76	RepRap Arduino Mega Pololu Shield	125
77	Comparación del control de temperatura Marlin Vs. Sprinter	129
78	Diagrama de conexión de componentes con el RAMPS 1.4	130
79	Diagrama de conexión A4988	131
80	Diagrama de conexión etapa de potencia	133
81	Controlador impresora con Pronterface en un Raspberry Pi	134
82	Panel LCD G3D	135
83	Raspberry Pi B+	136
84	Resultado del comando df -h	138
85	Resultado del comando dd	138
86	Resultado del Comando nmap en la red del Raspberry	139
87	Acceso mediante ssh para configuración inicial de OctoPi	139
88	Herramienta de configuración del sistema de Raspberry Pi	140
89	Inicio de sesión en SSH con el nombre del <i>Host</i>	140
90	Configuración de la conexión inalámbrica	141
91	Interfaces de red conectadas al Raspberry Pi	141
92	Manipulación de la Impresora 3D con el LCD.	142
93	Configuraciones iniciales de Octoprint	143
94	Opciones de visualización y control de Octoprint	144
95	Configuración acceso desde Android	145
96	Estructura de la base del eje Y	148
97	Base de impresión	148
98	Estructura del eje Y	149
99	Piezas de plástico del Eje X	150
100	Eje X-Z unidas al marco de la impresora	150
101	Efactor final, extrusor de plástico	151
102	Ensamblaje de los ejes, actuadores y sensores	152
103	Compartimento de componentes electrónicos	152
104	Estructura de MDF cortada en laser	153

105	Almacén de MDF	154
106	Montaje final de la impresora	155
107	Resultado del proceso de autoajuste realizado en Pronterface	161
108	Comando de instalación en Fedora 20	164
109	Selección de la Prusa i3 dentro del Ayudante.	165
110	Entorno de trabajo de Cura	166
111	Área de impresión 3D con opciones de transformación y visualización	166
112	Opciones de transformación de objetos en Cura	168
113	Preferencias de la impresora Prusa I3 dentro de Cura	168
114	Parámetros de calidad a) Grosor Borde b) y c) Relleno	170
115	Tipos de plataformas de adhesión. a) Raft b) Brim	172
116	Configuraciones de modo experto	174
117	Resultados de Impresión 3D	182
118	Resultados de Impresión 3D	183
119	Resultados de Impresión 3D	184
120	Resultados de Impresión 3D	185

Resumen

Impresión 3D es un proceso de producción que ha existido por tres décadas sin embargo su aparición masiva es mas reciente. RepRap es un proyecto creado con objetivo que mas personas tengan acceso a una impresora 3D de código abierto de bajo coste. Esta investigación se ha realizado basada en los conocimientos compartidos por esta comunidad y que sirva de base para que nuevas investigaciones utilicen esta herramienta para dar un paso hacia adelante en el desarrollo de tecnología. El proyecto ha desarrollado un prototipo con un sistema de control mas flexible que le permite al usuario tener el control y el monitoreo en video y tiempo real de los procesos de la impresora 3D a través de un navegador desde cualquier punto de la LAN a la que esta conectada, este control se lo realiza mediante la implementación de un servidor de impresión instalado en un ordenador de placa reducida llamado Raspberry Pi, que reemplaza a un ordenador de escritorio brindando movilidad al usuario y evitando el uso de un equipo extra para su operación. Todo enmarcado en el uso de herramientas de código abierto.

Abstract

3D printing is a production process that has existed for three decades but its massive appearance is more recent. RepRap is a project created with the goal that more people have access to a open source low cost 3D printer. This research has been conducted based on knowledge shared by this community and as a basis for further research using this tool to take a step forward in the development of technology. The project has developed a prototype with a more flexible system of control that allows the user a real-time control and video monitoring of the 3D printer processes through a browser from anywhere on the LAN to which is connected, this control is done by implementing a print server installed on a credit card-sized single-board computer called Raspberry Pi which replace a desktop providing user mobility and avoiding the use of extra equipment for operation. All framed in using open source tools.

Glosario de términos y acrónimos

CAD (Siglas del inglés *Computer-Aided Design*) Es el uso de un sistema de computación para asistir en la creación, modificación y análisis de un diseño.

CAE (Siglas del inglés *Computer Aided Engineering*) Es la disciplina que se encarga del conjunto de programas informáticos que permiten analizar y simular los diseños de ingeniería realizados con el ordenador, o creados de otro modo e introducidos en el ordenador.

CAM (Siglas del inglés *Computer-Aided Manufacturing*) Implica el uso de computadores y tecnología de cómputo para ayudar en la fase directa de manufactura de un producto, es un puente entre el Diseño Asistido por Computadora CAD y el lenguaje de programación de las máquinas herramientas .

CNC (Siglas de Control Numérico Computarizado) Es un sistema de automatización de máquinas herramienta que son operadas mediante comandos programados en un medio de almacenamiento, en comparación con el mando manual mediante volantes o palancas.

Cold-End Es el extremo frío del Fusor por donde ingresa el filamento de plástico y luego es conducido hacia el *Hot-End* para su fundición, esta sección debe mantener su temperatura para evitar que el plástico se funda en el ocasionando atascos.

***Crowdsourcing* (del inglés *crowd* –multitud– y *outsourcing* –recursos externos)** Se podría traducir al español como colaboración abierta distribuida, consiste en externalizar tareas que, tradicionalmente, realizaban empleados o contratistas, dejándolas a cargo de un grupo numeroso de personas o una comunidad, a través de una convocatoria abierta.

GDL (Siglas de Grado de Libertad) Los grados de libertad son el número mínimo de velocidades generalizadas independientes necesarias para definir el estado cinemático de un mecanismo o sistema mecánico.

Geek Es un término que se utiliza para referirse a la persona fascinada por la tecnología y la informática.

Diseño modular Es el diseño basado en la modulación reticular de espacios que permitan optimizar el tiempo de construcción y debido a que son transportables y desmontables .

Diseño paramétrico Es la generación de geometrías a partir de la definición de una familia de parámetros iniciales y la programación de las relaciones formales que guardan entre ellos.

DIWO (Siglas del inglés *Do it With Others*) Es un modelo de desarrollo del proyecto conjunto que permite a personas de ideas afines para trabajar en colaboración en una tarea, proyecto o cualquier otro servicio.

DIY (Siglas del inglés *Do It Yourself*) Es la práctica de la fabricación o reparación de cosas por uno mismo, de modo que se ahorra dinero, se entretiene y se aprende al mismo tiempo.

Fork Es la creación de un proyecto en una dirección distinta de la principal u oficial tomando el código fuente del proyecto ya existente.

Gadget Es un dispositivo que tiene un propósito y una función específica, generalmente de pequeñas proporciones, práctico y a la vez novedoso.

Hacker Un *hacker* defiende el libre acceso a la información y código fuente, inicialmente aplicado al software y luego al diseño electrónico y fabricación digital.

Hot-end Es el extremo caliente del Fusor que debe mantener la temperatura de fusión del Plástico, erróneamente se hace referencia a todo el fusor como el *hot-end*.

IDE (Siglas del inglés *Integrated Development Environment*) Es una aplicación de software, que provee amplios medios para facilitarle al programador de computadora el desarrollo de software.

Ingeniería Concurrente Es una filosofía orientada a hacer más eficiente la ingeniería, así como integrar sistemáticamente y en forma simultánea el diseño de productos y procesos.

I+D+i (Siglas de Investigación, desarrollo e innovación) Es un concepto de reciente aparición, en el contexto de los estudios de ciencia, tecnología y sociedad; como superación del anterior concepto de investigación y desarrollo (I+D). Es el corazón de las tecnologías de la información y comunicación.

Makers o Fabbers *Makers* son las personas relacionadas con el *Maker Culture* que son conocidos también como *Fabbers* o fabricantes digitales que crean objetos en base a un archivo digital.

PEEK (Siglas del inglés *Polyether ether ketone*) Es un termoplástico incoloro, usado para aplicaciones de ingeniería con una temperatura de fundición de 343 °C

PID (Siglas del inglés *Proporcional integral derivativo*) Es un mecanismo de control por re-alimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción correctora que ajuste el proceso.

Polímeros son macro-moléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.

PTFE Más conocido como teflón, material aislante muy resistente al calor y a la corrosión, usado para articulaciones y revestimientos así como en la fabricación de ollas.

Pulls Término utilizado en colaboración de desarrollo de código donde es necesario gestionar repositorios remotos en donde se envía (*Push*) y se recibe (***Pull***) datos.

PWM (Siglas del inglés *Pulse-width modulation*) La modulación PWM de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

Python Es un lenguaje de programación interpretado cuya filosofía hace hincapié en una sintaxis que favorezca un código legible.

RepRap Es una iniciativa con el ánimo de crear una máquina auto-replicable que puede ser usada para prototipado rápido y manufactura.

Shield Son placas que se pueden conectar en la parte superior de la placa Arduino para extender sus capacidades.

Slicing Su significado en español es laminado o rebanado, es un programa encargado de dividir un modelo en 3D en varias capas.

StandAlone Se refiere a un dispositivo que es autónomo, uno que no requiere ningún otro dispositivo para funcionar.

Termoplástico Es un plástico que, a temperaturas relativamente altas, se vuelve deformable o flexible, se derrite cuando se calienta y se endurece en un estado de transición vítrea cuando se enfría lo suficiente.

Toolchain Es un conjunto de programas informáticos (herramientas) que se usan para crear un determinado producto.

INTRODUCCIÓN

La impresión 3D lleva la industria al escritorio del investigador en forma de una pequeña máquina capaz de convertir objetos digitales en objetos físicos, las aplicaciones de la impresión 3D son prácticamente ilimitados, sus usos son tan variados que van desde el uso médico hasta el diseño de vestidos impresos , desde hace tres décadas ha existido pero solo ha estado al alcance de organizaciones con un alto nivel económico pero gracias a la difusión libre de los planos de construcción de los modelos desarrollados por la organización RepRap. La impresión 3D ha liderado una revolución digital en donde el concepto de convertir bits en átomos mediante el uso de herramientas digitales de producción. Además de poder compartir un archivo para producir otro objeto físico similar se lo puede hacer de forma libre gracias a la aplicación de las libertades del software libre al Hardware, es decir, un modelo 3D se puede estudiar, copiar, modificar y redistribuir permitiendo que los beneficios de la impresión 3D llegue a mas personas.

En el Capítulo 1 se realiza el análisis y planteamiento del problema, posteriormente se realiza la delimitación de la investigación; así como la justificación y el planteamiento de los objetivos para dicha investigación.

En el Capítulo 2 se hace un levantamiento de la información relacionada con código abierto y licencias libres luego se recoge información acerca del prototipado rápido e impresión 3D y como ha evolucionado hasta crear comunidades de personas que han cambiado la forma en la que se fabrican objetos físicos y lo aplican a diversas áreas como la robótica con la premisa de utilizar herramientas de código abierto, finalmente se detalla las alternativas de software que intervienen en la impresión 3D desde el punto de vista de un proceso CAD CAM.

En el Capítulo 3 e indica la metodología utilizada para la investigación, como son: modalidades de investigación, recolección, procesamiento y análisis de datos. También se detalla los pasos que se siguieron en el desarrollo del proyecto.

En el Capítulo 4 se analiza todo se levanta datos acerca de los tipos de impresión 3D y sus aplicaciones para luego escoger un modelo de código abierto sobre el cuál se

pueda desarrollar la investigación y realizar su evolución al igual que ha sucedido en el resto de países que llevan un adelanto en esta tecnología, luego se realiza un estudio de mercado de los componentes para comprobar la disponibilidad de los mismos. Se procede luego a realizar un análisis del diseño original basado en las necesidades de Usuario Tarea y Entorno para concluir con una tabla de especificaciones funcionales.

Con las especificaciones se genera un diseño funcional y se divide este estudio en seis sistemas independientes, en cada uno de ellos se comprueba la mejor opción de componentes para el ensamblaje y se procede a la construcción de cada sistema y poner en funcionamiento el primer prototipo sobre el cual se trabaja variando parámetros mecánicos y de software para obtener mejores resultados. Finalmente se procede a diseñar una Interfaz de Usuario para el control autónomo de la máquina y mediante comunicación inalámbrica por medio de WLAN, se realiza el monitoreo de las variables presentes en una impresión.

En el Capítulo 5 se presenta las conclusiones y recomendaciones obtenidas después de realizar la investigación para construir una impresora 3D de escritorio basada en un modelo Open Source para la elaboración de objetos físicos.

CAPÍTULO 1

El problema

1.1. Tema de Investigación

“Impresora 3D de escritorio basada en el modelo Open Source para la elaboración de objetos físicos”.

1.2. Planteamiento del problema

La impresión ha sido una necesidad humana muy antigua desde la época de los antiguos egipcios, chinos y japoneses que querían reproducir dibujos sobre lo que tenían a su alcance como piedra, pieles, tejidos o papel, utilizando tintas vegetales y tierras coloreadas. La reproducción de manuscritos tuvo que realizarse manualmente hasta la aparición de la imprenta de Gutemberg que cambio para siempre la reproducción de documentos. Durante más de 400 años la impresión de documentos no tuvo mayores cambios por lo que la duplicación era lenta y requería altos costos de producción [1].

Imprimir textos y luego gráficos contenidos en un documento en formato electrónico, es decir, tener una copia física permanente de lo que originalmente se encontraba en formato digital creado por una computadora se convirtió en una necesidad que nació con aparecimiento de la primera computadora, cuando Charles Babbage diseñó su máquina analítica, también incluyo los planos del mecanismo de impresión [2].

Desarrollar un nuevo producto implica empezar con un modelo en 3D diseñado a través de un CAD (*Computer-Aided design*) que realiza una representación gráfica para su visualización, sin embargo “los lenguajes gráficos son incapaces de contener toda la información necesaria para la realización de los distintos ensayos sobre el producto [3]” pues lo hace a través de la proyección visual del mismo en un plano en 2D para ser mostrado en una pantalla o ser mostrado en un papel, en este proceso se

da una pérdida información, si se desea visualizar el objeto físico se tiene que recurrir a la producción de prototipos que requieren procesos industriales con un alto costo de producción y solo así se reduce el riesgo que entraña un proyecto complejo.

La producción de objeto en 3D a nivel industrial tiene requiere que su fabricación sea rentable caso contrario este no será de interés, los costos de los equipos de producción industrial de productos en 3D son altos, además que el costo de producción de un diseño en 3D es proporcional a la complejidad de su diseño, es decir, mientras mayor detalles tenga el producto más costara producirlo, a esto se suma que en el proceso que si se desea realizar modificaciones al producto supondrá un re-diseño por lo tanto eleva el costo de producción [4].

En el Ecuador los sistemas de producción en 3D no están al alcance de la mayoría estudiantes, son excepcionales los casos en los que las Universidades que cuentan con laboratorios especializados [5], es decir una fabricación de sobremesa que esté presente en los laboratorios de estudio y no solo el sector estudiantil sino también el sector de producción donde se recurre a mercados internacionales para la obtención de prototipos en 3D [6].

En la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial no se poseen equipos para la producción de objetos físicos en base de un diseño en 3D para el desarrollo de prototipos físicos de proyectos de las carreras existentes, se hace presente la necesidad de una investigación que genere un modelo de desarrollo de máquinas para proyectos de este tipo.

1.3. Delimitación

Delimitación de contenidos

Área: Física y Electrónica

Línea: Sistemas Electrónicos

Sub línea: Robótica

Delimitación espacial

La siguiente investigación se desarrollará en la Ciudad de Ambato.

Delimitación Temporal

La presente investigación se desarrollará en un periodo de seis meses a partir de su aprobación por el H. Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

1.4. Justificación

La importancia del presente proyecto se basa en la búsqueda de soluciones y planteamiento de alternativas al proceso de conversión de diseños en 3D en formatos digitales a objetos físicos, la impresión 3D de bajo coste permite producir una sola copia del producto sin que dejar de ser rentable, dado que es una tecnología que esta económicamente al alcance del sector estudiantil. Las Impresoras 3D Open Source fueron creadas bajo la motivación de crear una alternativa a las impresoras 3D de las grandes industrias, es decir, que tengan un bajo costo de producción que esté al alcance de más personas y que además de eso puedan producir la mayor parte de componentes necesarios para la producción de otra impresora, lo que significa que una impresora 3D Open Source es replicable [7].

En el presente proyecto se realiza la construcción de una impresora 3D mediante el utilización y desarrollo de un nuevo modelo de manufactura que está acorde a “La reconstrucción de la economía de Ecuador con los principios de código abierto [8]”, un modelo que contribuya a la educación, la innovación y la ciencia abierta, diseños de fabricación colaborativos, manufactura distribuida, un modelo basado en el enfoque utilizado en otras universidades del mundo que contribuyen con el desarrollo de estos principios es el de fabricación de productos en 3D. Uno de los grandes beneficios de utilizar código abierto para el desarrollo se traduce en que el esfuerzo que debe realizar un único individuo es altamente reducido gracias a que tiene la capacidad de reutilizar recursos existentes, además de tener la oportunidad de colaborar con otros para el desarrollo de proyectos propios y grupales [9].

El producto de este proyecto será un modelo de producción de objetos 3D mediante el uso de una impresora 3D, que no solo será una herramienta sino también un producto final porque dentro del modelo de colaboración se incluye los diseños de fabricación de la impresora 3D, lo que hace que el proceso de desarrollo no dependa de una sola impresora, sino que se puedan producir otras impresoras que sean el centro de desarrollo de sus usuarios, que pueden usarlas en diferentes aplicaciones de la tecnología de impresión 3D [10].

La aplicación por la cual se desarrolla el presente proyecto son la creación de Robots además de experimentación e I+D que son la suma de varias aplicaciones de la impresión 3D en el mismo campo como el prototipado rápido, la producción de los componentes necesarios para la Robótica libre, las Impresoras 3D proveen de una nueva plataforma para la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías [11], los principales beneficiarios de este proyecto son los estudiantes de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, quienes tendrán acceso a los diseños para fabricar su propia impresora 3D.

1.5. Objetivos

1.5.1. General

Construir una impresora 3D de escritorio basada en un modelo Open Source para la elaboración de objetos físicos.

1.5.2. Específicos

- Analizar los modelos de desarrollo de impresoras 3D Open Source vigentes.
- Diseñar una impresora 3D utilizando característica de dispositivos existentes en la actualidad en base al modelo más adecuado.
- Diseñar un HMI para la visualización de variables físicas presentes en la impresión 3D.
- Construir una impresora 3D de escritorio con un HMI para producción de mediana escala basada en un modelo Open Source con un volumen de impresión de (200 x 200 x 200) mm.

CAPÍTULO 2

Marco Teórico

2.1. Antecedentes Investigativos

Revisado los repositorios digitales de las Universidades y Escuelas Politécnicas en el Ecuador, se encuentran los siguientes temas de tesis:

En primer lugar se tiene el proyecto de graduación presentado en la Escuela Politécnica del Ejército por J. C. Bonilla Arroyo y S. J. Dávalos Ávila (2006), en el cual se desarrolla un prototipo de impresión de modelos 3D en cera. En este trabajo se da a conocer los beneficios de la construcción de modelos tridimensionales como la comprobación del comportamiento del diseño, en su prototipo utiliza un proceso de fabricación por capas. Se obtuvo como resultado un robot cartesiano con un sistema control basado en un micro controlador PIC que divide el diseño en capas y cada capa tiene un conjunto de instrucciones en código G que sirve para la inyección de cera mediante un dispensador de acuerdo al código que asemeja el funcionamiento de una máquina CNC. Al final se debe ensamblar manualmente cada capa de cera para obtener la visualización del modelo en 3D [12].

Una segunda investigación desarrollada como proyecto de tesis en la Universidad Internacional del Ecuador por G. X. Maldonado Toro (2012), en el cual se documenta el diseño y construcción de una máquina de modelado rápido por deposición fundida para la elaboración de prototipos de plástico a pequeña escala. En el proyecto se desarrolla la investigación de cada uno de los componentes de la máquina y se hace la elección de la más apropiada para construirse con materiales existentes en el mercado nacional, utiliza un robot cartesiano controlado por un micro controlador AVR gobernado por un firmware que se encarga de recibir las instrucciones contenidas en el código G generadas a partir de un diseño en 3D mediante un laminador de Código Abierto y le indica al extrusor la cantidad la temperatura y la ubicación del material que es un polímero. El robot cartesiano está construido con conexiones de tubería roscada y la carcasa está construida con tol .

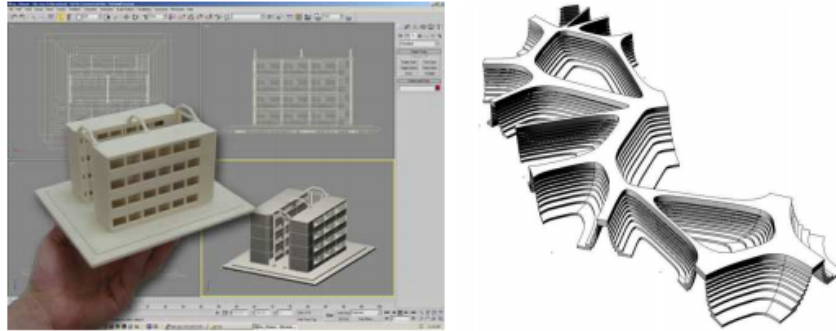


Figura 1: Modelo en 3D en diseño digital y físico
Fuente: Técnicas de prototipado rápido en cerámica [15]

Del trabajo se concluye que la información obtenida de proyectos de Código abierto ayudo al desarrollo y construcción de una máquina de modelado rápido para la elaboración de pequeños prototipos plásticos, que una maquina CNC aplicada a la producción de objetos en 3D es factible en el Ecuador con materiales en gran parte existentes en el mercado pero se debe mejorar la mecánica aumentando los niveles de tolerancia en construcción y la tecnología electrónica. Para imprimir geometrías más complejas se debería utilizar un segundo extrusor. El costo total del proyecto es de \$3746.11 [13].

2.2. Fundamentación teórica

2.2.1. Prototipado Rápido

“En el desarrollo de productos nuevos siempre existe la necesidad de producir una muestra o prototipo de una parte o sistema presentes en un diseño, antes de asignar grandes capitales a nuevas instalaciones productivas o líneas de ensamblaje” [14], la producción de un prototipo antes de montar el sistema de producción genera un ahorro de tiempo y dinero. El prototipado rápido consiste en la producción de objetos físicos sin la utilización de moldes, a partir de archivos CAD. Las primeras técnicas de prototipado surgieron hacia el final de los 80 y se utilizaban para producir modelos y prototipos, hoy en día tienen un rango de aplicación mucho más amplio y son usadas incluso para realizar pequeñas tiradas de producto acabado a este proceso se le denomina fabricación rápida o “*Rapid Manufacturing*”. Bajo el nombre de prototipado rápido se agrupan una serie de tecnologías distintas de construcción de sólidos. Todas ellas parten de la división del modelo virtual de CAD en secciones horizontales paralelas que luego se materializan superponiendo capa sobre capa hasta completar la pieza como se aprecia en la figura 17[15].

Tabla 1: Tabla de tecnologías de prototipado rápido

Tipo	Tecnologías	Materiales
Extrusión	Modelado por deposición fundida(FDM) - Fabricación for fundición de filamento (FFF)	Termoplásticos (por ejemplo PLA, ABS), HDPE, metales eutécticos, materiales comestibles
Hilado	Fabricación por haz de electrones(EBF ³)	Casi cualquier aleación
Granulado	Sinterizado directo de metal por láser (DMLS)	Casi cualquier aleación
	Fusión por haz de electrones(EBM)	Aleaciones de titanio
	Sinterizado selectivo por calor(SHS)	Polvo termoplástico
	Sinterizado selectivo por láser(SLS)	Termoplásticos, polvos metálicos, polvos cerámicos
	Proyección aglutinante (DSPC)	Polvos cerámicos
Laminado	Laminado de capas (LOM)	Papel, papel de aluminio, capa de plástico
Fotoquímicos	Estereolitografía (SLA)	Fotopolímero
	Fotopolimerización por luz ultravioleta (SGC)	Fotopolímero

Fuente: Glosario términos de impresión 3D [16].

2.2.2. Tecnologías de Prototipado Rápido

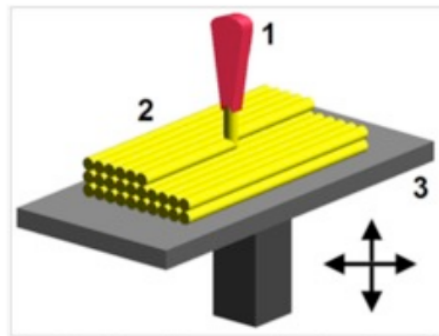
El prototipado rápido hace uso de diversas tecnologías de impresión 3D, que crea un objeto por adición sucesiva de capas de material. Algunas tecnologías de impresión 3D, pueden ofrecer modelos que pueden servir como prototipos de producto. Las Tecnologías de prototipado rápido son muy variadas de acuerdo al material y tecnología que se usa para crear un objeto 3D [16], se analizan en la tabla 1 las tecnologías de prototipado rápido y se describen a continuación las mas usadas.

Sinterizado selectivo por láser SLS

El sinterizado selectivo por láser es una técnica de adición de prototipado rápido en el cual se deposita una capa de polvo, de unas décimas de milímetro, en una cuba que se ha calentado a una temperatura ligeramente inferior al punto de fusión del polvo. Seguidamente un láser CO2 sinteriza el polvo en los puntos seleccionados (causando que las partículas se fusionen y solidifiquen) [17].

Estereolitografía SLA

La estereolitografía es un proceso de fabricación por adición que emplea resina que cura mediante luz ultravioleta en un tanque, y un láser ultravioleta para construir los objetos. Los objetos tridimensionales son obtenidos mediante la adición de finas ca-



1: La boquilla expelle plástico fundido. 2: Material depositado (pieza modelada). 3: Mesa de movimiento controlado.

Figura 2: Proceso de impresión FDM
Fuente: Guía de impresión 3D [19]

pas, impresas una encima de otra. Cada capa es una sección transversal del objeto que el láser traza en la superficie de la resina, que es el material consumible. La resina líquida cura y se solidifica mediante la exposición al láser de luz ultravioleta, quedando así la capa recién solidificada pegada a la capa previa que existía debajo. Se usa para crear prótesis humanas complejas [18].

Modelado por deposición fundida FDM

La Tecnología de Modelado por Deposición Fundida (FDM) es la más sencilla: crea objetos complejos a partir de plástico fundido que se expelle o se extruye a través de una boquilla. El filamento de plástico (o incluso de metal) está originalmente enrollado en una bobina que se desenrolla para entregar el material a la boquilla de extrusión al tiempo que la boquilla, o el objeto (o ambos) son movidos a lo largo de tres ejes (ver figura 2) gracias a un mecanismo controlado por computador y el material se endurece inmediatamente después de su extrusión. Los motores de paso o servomotores se utilizan comúnmente para realizar estos movimientos, así como para empujar el filamento dentro de la extrusora.

El modelado por deposición fundida comienza con un proceso de software, que parte de un fichero estereolitografico (stl). El fichero es orientado para poder ser impreso, dividido en capas y se calculan las trayectorias que la boquilla deberá seguir para depositar el material, capa a capa, para conformar la pieza. Si son necesarias, se pueden generar estructuras de soporte que, si la máquina es capaz, imprimirá en otro material que tras finalizar la creación de la pieza, será retirado. El termoplástico es fundido y depositado por la boquilla en capas del grosor requerido (capas más

finas implican mejor calidad en la pieza final) una a una. Las capas se depositan de abajo hacia arriba.

El termino Modelado por Deposición Fundida FDM es una marca de Stratasys Inc. El termino equivalente es Fabricación con Filamento Fundido FFF fue acuñado por los miembros del Proyecto RepRap con el objetivo de que cuando se mencione este tipo de fabricación por adición de capas de plástico no se tenga que mencionar a la marca FDM y todas las consecuencias legales que esto traería y al ser un proyecto libre necesitaba independencia de patentes. A veces también se llama *Plastic Jet Printing* PJP [19].

2.2.3. Clasificación de Prototipos

De acuerdo a la función a cumplirse se establece una clasificación de los modelos o prototipos.

Maquetas

Modelos Volumétrico-dimensionales

Los modelos volumétrico dimensionales son una aproximación volumétrica, una caracterización formal que facilita la percepción sensorial del objeto y no tiene que ser una copia perfecta o a escala del producto final [3].

Modelos Funcionales

Los modelos funcionales permiten la comprensión de objetos compuestos por múltiples piezas o elementos modulares [3].

Prototipos

Modelos Experimentales

Los modelos experimentales permiten realizar sobre ellos ensayos y pruebas para verificar si las especificaciones que se le suponían realmente se cumplen. También se puede utilizar para la obtención de moldes [3].

Modelos orientados a la fabricación

Los modelos orientados a la fabricación, se utilizan para simular el proceso de fabricación y evidenciar posibles cuellos de botella o problemas que pudieran surgir [3].

Modelos Ergonómicos

Los modelos ergonómicos permiten dar a conocer la interacción del objeto con el usuario [3].

Estéticos

Modelos estéticos o Maquetas

Los modelos estéticos son aquellos que se les va a utilizar para dar a conocer el objeto a personas ajenas al proceso de diseño [3].

2.2.4. Aplicaciones del Prototipado Rápido

Las técnicas de prototipado rápido constituyen un elemento fundamental en la industria de la Ingeniería Concurrente y su uso más común es la visualización del Objeto, de esta forma se detectan en etapas tempranas de diseño posibles errores estéticos de concepto o de funcionalidad, que no podrían ser apreciados en un plano. De esta aplicación se derivan las siguientes como validación de montaje, ensayos del producto final, mejoras del proceso de fabricación, demostración de funcionamiento [3].

2.2.5. Open Source

Open Source es la filosofía basada en la libre utilización y modificación del código fuente, de manera que cualquier usuario puede acceder al contenido o adquirirlo de manera libre. El código abierto no significa sólo acceso al código fuente. Los términos de distribución de software de código abierto deben cumplir varios criterios.

Es de libre distribución no puede ser restringida la distribución por terceros sin regalías, además de que se debe incluir el código fuente y permitir obras derivadas del mismo con las mismas condiciones del original, sin embargo también puede restringir la distribución de obras modificadas. La licencia no debe discriminar la finalidad perseguida, ni ser específica a un producto y ser tecnológicamente neutral [20].

2.2.6. Open Source Hardware

Hardware de Fuentes Abiertas (OSHW en inglés) su Logo se muestra en la figura 3, es aquel hardware cuyo diseño se hace disponible públicamente para que cualquier persona lo pueda estudiar, modificar, distribuir, materializar y vender, tanto el original como otros objetos basados en ese diseño. Las fuentes del hardware (entendidas como los ficheros fuente) habrán de estar disponibles en



Figura 3: Logo del OSHW
Fuente: Open Source Hardware Association [21]

un formato apropiado para poder realizar modificaciones sobre ellas. Idealmente, el hardware de fuentes abiertas utiliza componentes y materiales de alta disponibilidad, procesos estandarizados, infraestructuras abiertas, contenidos sin restricciones, y herramientas de fuentes abiertas de cara a maximizar la habilidad de los individuos para materializar y usar el hardware. El hardware de fuentes abiertas da libertad de controlar la tecnología y al mismo tiempo compartir conocimientos y estimular la comercialización por medio del intercambio abierto de diseños [21] .

2.2.7. Licencias

Las licencias son documentos que brindan herramientas a los autores de Hardware Libre para que concedan o denieguen permisos de copia y distribución. Se han creado licencias específicas para Hardware Libre como la OHL y OSHW sin embargo también se usan licencias generalmente usadas en Software como *Creative Commons* o *GLP*. A continuación la descripción de estas.

Open Source Hardware

El Hardware de fuentes abiertas es un término para denominar artefactos tangibles ya sea máquinas, dispositivos, u otros objetos del mundo físico cuyo diseño ha sido publicado de forma tal que cualquier persona pueda fabricar, modificar, distribuir y usar esos objetos. Esta definición tiene la intención de proveer una guía para el desarrollo y evaluación de licencias para Hardware de fuentes abiertas.

Es importante notar que el hardware es diferente del código (software) en la forma que los recursos físicos se dedican a la creación de objetos físicos. De esta manera, personas o entidades produciendo objetos “productos” bajo una licencia OSHW (Ver figura 4) tienen la obligación de no declarar que dichos objetos hayan



Figura 4: Distintivo de Open Source Hardware
Fuente: *Open Source Hardware Association* [21]

sido manufacturados, vendidos, garantizados o autorizados en cualquier forma por el diseñador original. Además dichas personas o entidades no deberán usar ninguna de las marcas registradas en posesión del diseñador original [21]. Para mayor detalle revisar sección de Anexos.

Creative Commons

Creative Commons es una organización sin fines de lucro que promueve los bienes Creativos Comunes mediante instrumentos jurídicos gratuitos que consisten en un conjunto de modelos de contrato o Licencias de de Derechos de autor bajo el nombre de **Licencias *Creative Commons* o CC** que ofrece al autor de una obra una manera simplificada y estándar para otorgar permisos al público en general para que lo pueda usar y compartir de acuerdo a los términos elegidos por quien emite la licencia. CC permite al autor cambiar de todos los derechos reservados a Algunos derechos reservados los términos de su obra, sin embargo no llega a reemplazar a los derechos de autor sino mas bien hace que pueda modificar los términos de la licencia como mejor le parezca al autor. *Creative Commons* esta inspirada en la licencia GPL (*General Public Licence*) de la *Free Software Foundation*.

Los diferentes niveles de permisos y restricciones se agrupan en tipos de licencias, su síntesis se presenta a continuación.

Reconocimiento CC BY

Esta licencia permite a otros distribuir, mezclar, ajustar y construir a partir de su obra, incluso con fines comerciales, siempre que le sea reconocida la autoría de la creación original. Esta es la licencia más servicial de las ofrecidas. Recomendada para una máxima difusión y utilización de los materiales sujetos a la licencia, ver figura 5a.

Reconocimiento Compartir Igual CC BY-SA

Esta licencia permite a otros re-mezclar, retocar, y crear a partir de tu obra, incluso con fines comerciales, siempre y cuando te den crédito y licencien sus nuevas

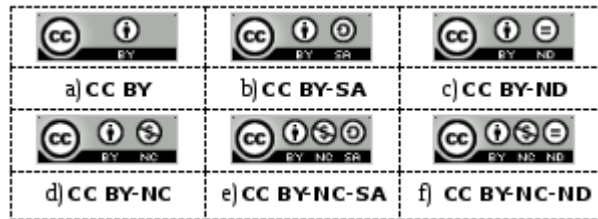


Figura 5: Licencias de *Creative Commons*
Fuente: Licencias *Creative Commons* [22]

creaciones bajo las mismas condiciones. Esta licencia suele ser comparada con las licencias "copyleft" de software libre y de código abierto, ver figura 5b.

Reconocimiento Sin Obra Derivada CC BY-ND

Esta licencia permite la redistribución, comercial o no comercial, siempre y cuando la obra circule íntegra y sin cambios, dándote crédito, ver figura 5c.

Reconocimiento No Comercial CC BY-NC

Esta licencia permite a otros distribuir, re-mezclar, retocar, y crear a partir de tu obra de manera no comercial y, a pesar de que sus nuevas obras deben siempre mencionarte y mantenerse sin fines comerciales, no están obligados a licenciar sus obras derivadas bajo las mismas condiciones, ver figura 5d.

Reconocimiento No Comercial Compartir Igual CC BY-NC-SA

Esta licencia permite a otros distribuir, re-mezclar, retocar, y crear a partir de tu obra de modo no comercial, siempre y cuando te den crédito y licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones, ver figura 5e.

Reconocimiento No Comercial Sin Obra Derivada CC BY-NC-ND

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales, sólo permite que otros puedan descargar las obras y compartirlas con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se pueden cambiar de ninguna manera ni se pueden utilizar comercialmente, ver figura 5f.

2.2.8. Impresión 3D

La impresión 3D es un grupo de tecnologías de fabricación por adición donde un objeto tridimensional es creado mediante la superposición de capas sucesivas de

material. Las impresoras 3D son por lo general más rápidas, más baratas y más fáciles de usar que otras tecnologías de fabricación por adición, aunque como cualquier proceso industrial, estarán sometidas a un compromiso entre su precio de adquisición y la tolerancia en las medidas de los objetos producidos. Las impresoras 3D ofrecen a los desarrolladores de producto, la capacidad para imprimir partes y montajes hechos de diferentes materiales con diferentes propiedades físicas y mecánicas, a menudo con un simple proceso de montaje. Las tecnologías avanzadas de impresión 3D, pueden incluso ofrecer modelos que pueden servir como prototipos de producto [23].

2.2.9. Desarrollo basado en código abierto

Esta Teoría “Viabilidad del modelo de desarrollo basado en código abierto para el diseño de objetos físicos” de Erik de Bruijn (ver figura 6) dice que en la actualidad se ha vuelto muy atractiva la posibilidad de diseñar e imprimir objetos en 3D, el esfuerzo que se requiere para lograrlo se ve claramente recompensado por los resultados obtenidos. Uno de los grandes beneficios de utilizar código abierto para el desarrollo se traduce en que el esfuerzo que debe realizar un único individuo es altamente reducido gracias a que tiene la capacidad de reutilizar recursos existentes, además de tener la oportunidad de colaborar con otros para el desarrollo de proyectos propios y grupales. Por otra parte, las herramientas para participar en este proceso son cada vez más atractivos y accesibles a un conjunto cada vez más amplio de personas. Las actividades innovadoras llegan a ser gratificantes no sólo debido a su utilidad. Por lo tanto, hay varios incentivos intrínsecos que parecen estar altamente motivador, como la autonomía, una competencia sana, colaboración, afinidad.

Con base en las necesidades de innovación de los usuarios para prosperar en la producción de bienes usando código abierto hay tres factores principales que facilitan el desarrollo.

Primero, un costo fijo con incrementos bajos para el participante en el diseño y producción física. Segundo, incentivos suficientes para incurrir en los costos de producción. Tercero, la colaboración abierta como medio para repartir el trabajo y tener acceso a los bienes colectivos mucho más grandes que ayudan a lograr las metas individuales. Para entrar en detalles de cada factor se analiza más a profundidad en lo que respecta a la producción de software y objetos físicos [9].

2.2.10. *Maker Culture* y DIY

El *Maker Culture* contemporáneo es una cultura o subcultura que representa una extensión de la tecnología a base de la cultura DIY (*Do It Yourself*). Intereses típicos

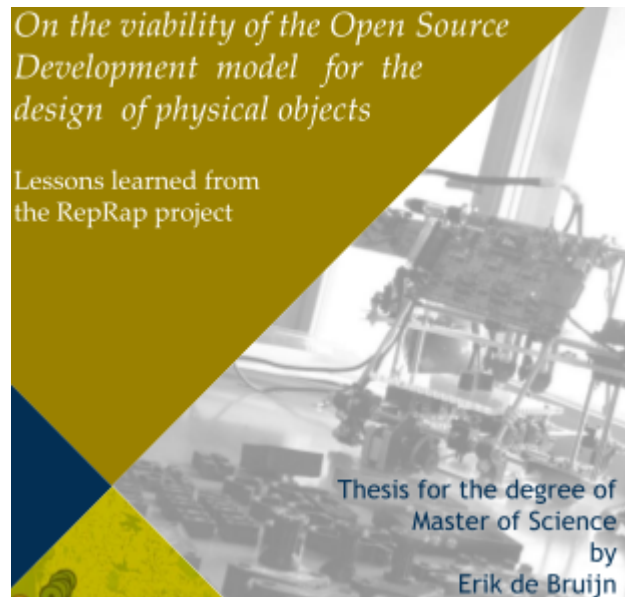


Figura 6: Portada de la Tesis de Maestría de Erick de Bruijn
Fuente: Tesis de Eick de Bruijn [9]

utilizados por la cultura incluyen actividades de ingeniería orientadas tales como la electrónica, la robótica, impresión 3-D, y el uso de CNC herramientas, así como las actividades más tradicionales, como la metalurgia, carpintería y tradicionales artes y artesanías. La subcultura subraya nuevas y únicas aplicaciones de las tecnologías y fomenta la invención y creación de prototipos. Hay un fuerte énfasis en el uso y el aprendizaje de habilidades prácticas y aplicarlos de manera creativa.

La ética DIY se refiere a la ética de la autosuficiencia a través de la realización de tareas sin la ayuda de un experto de pago. Su significado literal es "hágalo usted mismo", la ética DIY promueve la idea de que cualquier persona es capaz de realizar una variedad de tareas en lugar de confiar en los especialistas pagados.

La ética DIY requiere que el interesado busque el conocimiento necesario para completar una tarea dada. El término puede referirse a una variedad de disciplinas, incluyendo mejoras para el hogar, primeros auxilios o trabajos creativos. En lugar de mostrar desprecio por quienes se dedican a trabajos manuales, DIY defiende al individuo promedio que busca ese conocimiento y experiencia. El objetivo central de la ética es la capacitación de las personas y las comunidades, fomentando el empleo de enfoques alternativos ante los obstáculos burocráticos o sociales para el logro de sus objetivos [24].

2.2.11. Revolución industrial

En base a conceptos como *Maker Culture* y el DIY, que no es más que hacer tecnología por medios propios, se crea un movimiento que se nutre de personas inquietas apasionadas por la tecnología, educadores, artesanos, ingenieros, estudiantes, defensores de la filosofía del código abierto, y de todos aquellos cuyo pensamiento gira en torno a cómo inventar o crear cosas nuevas. Son los *Makers*. Este nuevo movimiento genera una revolución industrial en la que los átomos van de la mano de los bits, es decir que ya no solo se comparten bits para formar parte de un pedazo de código sino que ahora esos bits servirán para que se creen nuevos objetos con átomos, es decir objetos físicos. Los bits de información compartida han revolucionado el mundo de la tecnología en los últimos años. Ahora hay tecnologías que hacen posible convertir bits en átomos uno de los más grandes exponentes es la impresión 3D que es una gran revolución sin dejar atrás métodos de prototipado como maquinas CNC y cortadoras láser [25]. Pequeños talleres en cualquier parte del mundo, con un programa CAD, se pueden realizar piezas para componer cualquier tipo producto para vender. Toda esta revolución ha sido posible gracias a una herencia Web creando una red democratizada todos estos años de desarrollo de la web han servido para alcanzar el punto de suficiente madurez para que los bits abran una nueva dimensión a los átomos. Con la utilización de herramientas digitales para crear diseños de nuevos productos y hacer un prototipo. Las herramientas son en uso de principios como el Open Source para compartir bits usando archivos estandarizados de diseño que permiten compartir y re-mezclar, como Arduino, Raspberri pi, y últimamente UDOO. Todo este despliegue de conocimiento y desarrollo es gracias al *Crowdsourcing* gratuito de una red comprometida con el “I+D” gratuito y libre cuyo impacto inmediato es abaratar los costos de prototipado y eliminar las barreras de entrada a esta *Maker Culture*. Hay un buen ejemplo de esta revolución la creación de un artículo de plástico que cuesta \$20 dólares, Hay dos formas de hacer un artículo de plástico. El método industrial tradicional (o moldeado por inyección) requiere 10.000\$ por el molde y sumarle 20\$ en material por cada artículo. El método *maker* (o impresión 3D) requiere 20\$ por artículo, contando tiempo y material. Claro cuesta lo mismo hacer uno que mil pero no se tiene que gastar \$10.000 por el molde esa es la magia del prototipado rápido [26].

2.2.12. Impresión 3D una tecnología mas barata y Ecológica

De acuerdo a una investigación realizada por la Universidad Tecnológica de Michigan en la que se realiza un análisis económico del ciclo de vida de la impresión 3D en un hogar promedio. El Análisis usa como dato principal la cantidad de energía

usada para convertir la materia prima en un producto final de dos maneras distintas. Comprar el producto en una fábrica extranjera o imprimirlo en casa. Los resultados muestran que hacer cosas en una impresora 3D toma de un 41 a 64 por ciento menos energía que hacerlos en una fábrica e importarlos. La impresión 3D puede ahorrar energía usando menos materia prima por ejemplo los juguetes de los niños son hechos de plástico o madera solidá, los juguetes impresos en 3D pueden realizar parcial o completamente huecos lo que significa menos uso de plástico. El PLA es un plástico usado en impresión 3D hecho de recursos renovables como el almidón de maíz que lo convierte en una alternativa mas ecológica a los plásticos hechos en base a derivados del petroleo. La conclusión a la que el estudio llega es que se puede usar menos energía y reducir las emisiones de CO2 imprimiendo en 3D en casa, la motivación de hacer lo correcto, usar menos energía y gastar menos dinero lleva a que la impresión 3D sea mas atractiva que comprar un producto en una tienda [27].

2.2.13. Ventajas de la Impresión 3D

La impresión 3D se destaca por encima de las demás tecnologías de impresión 3D, los principales aspectos se resumen en las siguientes ventajas. Aumentar la innovación: Imprimir los prototipos en horas, obtener los comentarios, mejorar los diseños y repetir el ciclo hasta que los diseños sean perfectos Mejorar la comunicación: Disponer de un modelo 3D realista y a todo color para transmitir mucha más información que con una imagen de ordenador además de crear modelos físicos 3D rápidamente y de una forma sencilla y asequible para una amplia variedad de aplicaciones Acelerar el tiempo de comercialización: Comprimir los ciclos de diseño mediante la impresión 3D de los prototipos demandados sin salir de su oficina con lo que se disminuye el tiempo del prototipado. Reducir los costes de desarrollo: Recortar los costes del prototipado y las herramientas tradicionales también sirve para Identificar los errores de diseño antes y Reducir los viajes a las instalaciones de producción Ganar negocios: Ofrezca modelos 3D realistas a clientes potenciales [28].

2.2.14. Impresoras 3D

Una impresora 3D es un dispositivo capaz de generar un objeto sólido tridimensional mediante la adición de material. Los métodos de producción tradicionales son sustractivos, es decir, generan formas a partir de la eliminación de exceso de material. Las impresoras 3D se basan en modelos 3D para definir qué se va a imprimir. Un modelo es la representación digital de lo que vamos a imprimir mediante algún software de modelado. Con una impresora 3D podríamos generar

un objeto y usando tan solo la cantidad estrictamente necesaria de material, y para hacerlo deberemos tener la representación del objeto en un formato de modelo 3D reconocible para la impresora [29].

2.2.15. El Proyecto RepRap

El proyecto RepRap (*Replicatin Rapid Prototyper*) es una iniciativa creada con el propósito de crear una máquina de prototipado rápido libre que sea capaz de replicarse a sí misma. Una máquina de este tipo puede fabricar objetos físicos a partir de modelos generados por ordenador: de la misma manera que la impresora de un ordenador permite imprimir imágenes en dos dimensiones en papel, RepRap imprime objetos en 3D a base de plástico, permitiendo la fabricación de objetos. Incluso RepRap puede generar las partes necesarias para construir otra máquina igual a ella, es decir, tiene que ser una impresora 3D capaz de poder hacerse a ella misma. Hoy por hoy aún no se ha conseguido una impresora 3D capaz de auto replicarse al 100 %, pero ya se pueden fabricar gran parte de los componentes, desde uniones estructurales, componentes mecánicos y contenedores de partes electrónicas [7].

2.2.16. Proyecto Clone Wars

Clone Wars es un grupo dentro de la Comunidad de RepRap creada con el objetivo de documentar en español todo lo necesario para la creación de una impresora en 3D, fue creado por el Ingeniero Juan González en abril del 2011, como parte de la web de la Asociación de Robótica de la Universidad Carlos III de Madrid (Uc3m). La idea de formar la comunidad nació de los conceptos del Proyecto RepRap, de producir impresoras replicables, es decir crear un clon de otra [7].

2.2.17. Hardware y Robótica Libre

Debido al éxito que ha tenido el modelo Open Source en el desarrollo del software se plantea la interrogante de cómo aplicar este modelo en el desarrollo de hardware en específico a la robótica, sería algo que cambiaría la forma de ver el mundo de la robótica, el desarrollo de robots se daría dentro de la comunidad algo que va evolucionando y mejorando diariamente cada uno tendría los planos y los mejoraría y adaptaría a sus necesidades en diferentes partes del mundo, lo que generaría una evolución de los robots, además de que podrían aparecer ramificaciones del proyecto original, que rebasarían la imaginación de quien propuso originalmente el proyecto. Pero para pensar en aplicarlo en la robótica hay que considerar primero que en el

desarrollo de herramientas de software porque está formado por bits y pueden ser copiados libremente sin ningún costo y aplicar este modelo para compartir es mucho más complicado, dado que los objetos físicos no pueden ser copiados de la misma manera que el software, si lo queremos copiar hay que fabricar otro igual para lo cual se necesita tiempo y dinero [30].

2.2.18. Niveles De Apertura De Hardware

Los proyectos de Open Hardware no solo tienen objetivos comerciales o para la producción de *gadgets* y a proyectos de diseño interactivo, sino que pueden abarcar también proyectos de educación, cooperación y desarrollo en países del tercer mundo. Patrick McNamara definió 4 niveles posibles de apertura en los proyectos de hardware [31].

- **Cerrado:** cualquier hardware que su creador no haga pública ninguna información.
- **Interface abierta:** el usuario dispone de toda la documentación que explica cómo hacer que una pieza de hardware cumpla la función para la cual fue diseñada (mínimo nivel de apertura).
- **Diseño abierto:** la documentación disponible es suficientemente detallada como para que un tercero pueda crear un dispositivo funcional y compatible.
- **Implementación abierta:** está disponible la lista de todos los materiales necesarios para la construcción del dispositivo.

2.2.19. Aplicación de una impresora 3D

Aplicación del modelo Open Source al Hardware

El enfoque que se utiliza en las comunidades de colaboración para compartir información para la elaboración de objetos físicos es el trabajo en base a los diseños. Se parte desde la existencia del objeto físico, el robot en este caso, del cual se tienen los planos de construcción, esos ya son bits luego se les provee de una licencia libre y ya pueden ser compartidos, ver figura 7 .

Un robot libre es aquel del que se dispone los planos necesarios para la construcción y manipulación posterior, planos a los que se les aplica las cuatro libertades del software libre, de manera que a todos se les pueden usar, modificar distribuir para la fabricación del robot. Para compartir un robot es necesario segmentarlo en tres planos, Mecánico, Electrónico y Software. Para su libre distribución debe utilizarse

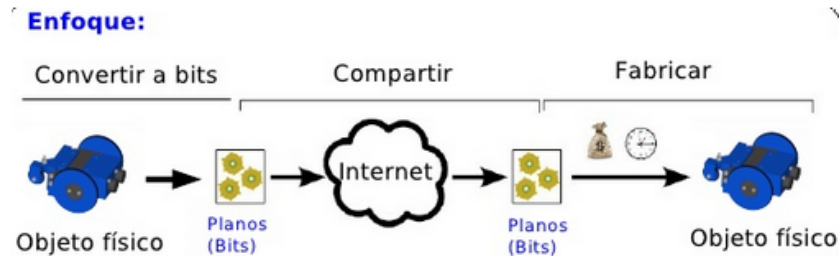


Figura 7: Aplicación de Open Source a Hardware

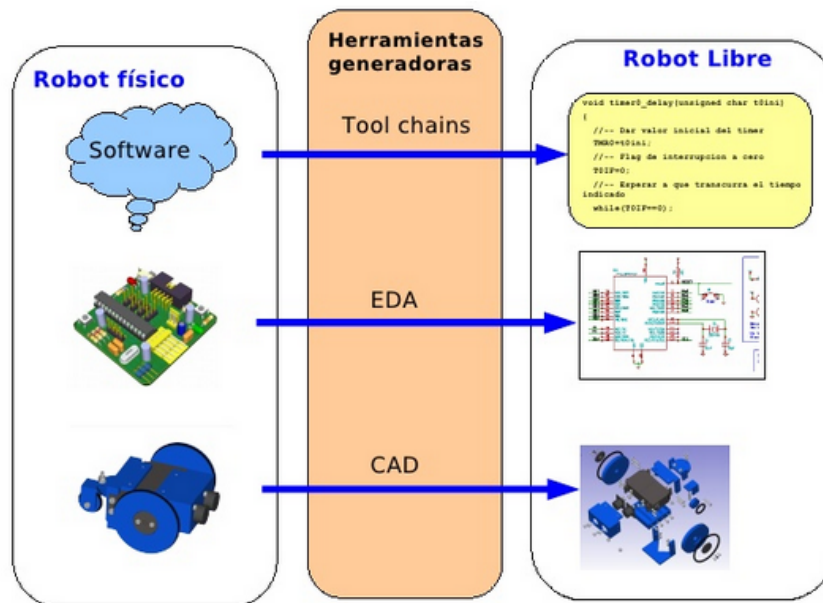


Figura 8: Herramientas generadoras de planos
Fuente: Robots Libres e Imprimibles [30]

herramientas generadoras de planos, *Toolchain*, EDA y CAD (ver figura 8) sean Libres y no pongan restricciones a la modificación y distribución del Software.

En la actualidad existen una gran cantidad de herramientas libres para los tres tipos de planos una muy atractiva solución es el IDE de Arduino que cuenta con una electrónica muy flexible, escalable y personalizable para cualquier tipo de aplicación y la construcción de objetos físicos a partir de un diseño 3D e un CAD, se realiza utilizando una impresora 3D, para esta aplicación de fabricación personal se prefiere la técnica de FFF por ser mas económica. La impresión de la parte mecánica completa el proceso de construcción de un robot libre como se muestra en la figura 9 [30].

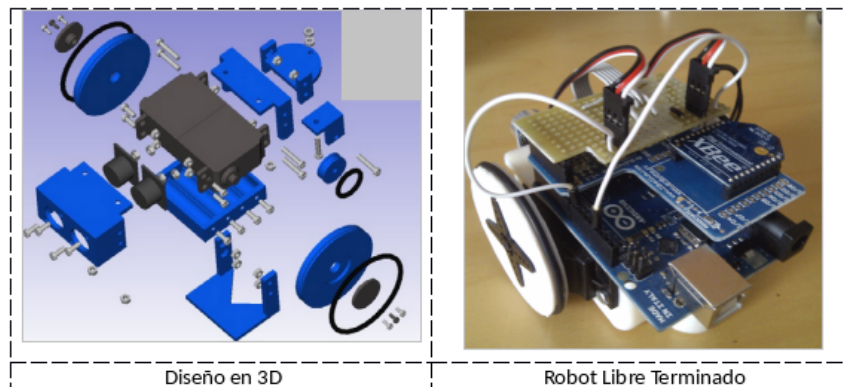


Figura 9: Diseño en 3D convertido en un objeto Físico
Fuente: Robots Libres e Imprimibles [30].

2.2.20. Hardware de impresoras 3D

Las impresoras 3D pueden a grandes rasgos de escritorio o profesionales de acuerdo a su nivel de apertura de hardware desde el nivel cerrado de las profesionales hasta el nivel de implementación abierta de los kits de ensamblaje de las de escritorio, sus listas de materiales son de total dominio y compartidas libremente en las red y han sido desarrolladas por activistas de movimientos de Hardware Abierto, pero esta progresión de profesionales a personales no es totalmente lineal debido a que también existen impresoras de bajo costo con un nivel de apertura cerrado. La total difusión de los planos tiene al mismo tiempo efectos positivos y negativos. Positivo el amplio mercado de componentes originales y genéricos que al mismo tiempo se convierte en negativo porque cada día aparecen nuevos modelos dejando a un lado a los anteriores, sin embargo esta veloz mejora de la tecnología ofrece características novedosas, nuevos materiales de impresión impresoras con una mayor velocidad, confiabilidad y precisión cada vez a menores costos. De cuerdo a esta premisa las impresoras de bajo costo pueden ser divididas en tres grupos, DIY, Pre-ensambladas, y Cerradas [19].

Impresoras DIY

Su nivel de apertura de hardware es totalmente abierto lo que resulta en que sean altamente personalizables, totalmente al estilo *Hacker* que pueden ser modificadas de acuerdo a las necesidades de cada usuario. Un claro ejemplo de esto es la iniciativa RepRap que inicio con un blog para el desarrollo de una impresora 3D de implementación abierta y bajo costo, ahora el proyecto cuenta con una Wiki extensa que esta poblada por una gran genealogía de la familia de impresoras 3D replicables, figura10 . En este movimiento nacieron modelos que ahora son cerrados y

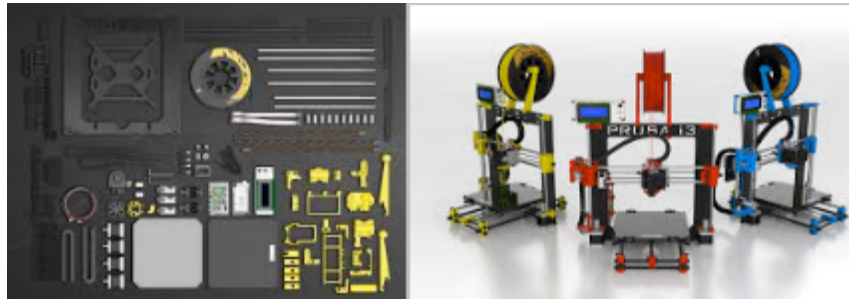


Figura 10: Kit de ensamblaje de una impresora 3D
Fuente: BQ Readers.

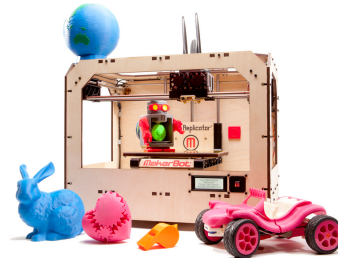


Figura 11: Impresora 3D diseño abierto pre-esamblada
Fuente: MakerBot.

dedicados a la producción de impresoras profesionales como Ultimaker y Makerbot. La familia de impresoras de RepRap constituye un gran ejemplo de este tipo de impresoras [19].

Impresoras pre-ensambladas

Son inspiradas en el proyecto de RepRap pero orientadas a un segmento de mercado con menor interés en la personalización, debido a esto tiene menor apertura en sus componentes ver figura 11 [19].

Impresoras Plug and Play

Si bien es cierto son impresoras personales o de escritorio de bajo costo tienen en común con las impresoras profesionales de alto costo el mínimo o nulo nivel de apertura de hardware con pocos ajustes para ponerla a funcionar convirtiéndose en el símil de la impresora 2d de inyección ver figura 12 [19].

2.2.21. Proceso de producción de un objeto en 3D

El software usado para las impresoras de RepRap puede ser dividido en dos categorías fundamentales: CAD (*Computer Aided Design*) y CAM (*Computer Aided*



Figura 12: Impresora 3D cerrada

Fuente: Kickstarter M3D

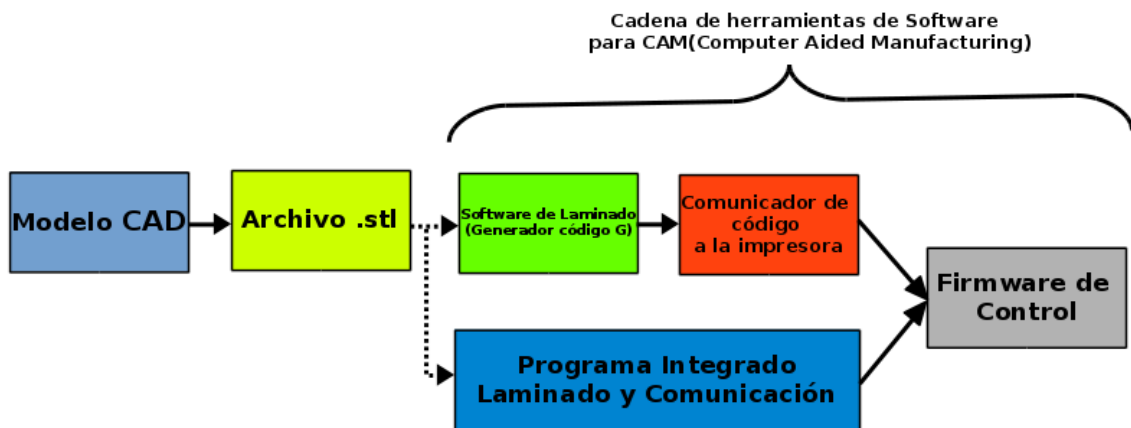


Figura 13: Cadena de herramientas CAM

Fuente: El investigador

Manufacturing), una vez que se ha creado un modelo en 3D mediante el uso de un software CAD o la obtención del mismo mediante descarga, se obtiene un archivo en formato stl (Formato nativo de estereolitografía). Con el modelo listo empieza un proceso de CAM en el que existen varios programas para cada proceso que queda a elección del usuario. Una Cadena completa de herramientas de Software para CAM de RepRap consiste en todos los programas necesarios para llevar un modelo 3D del CAD al firmware. Para una mejor visualización del proceso se muestra la figura 13 [32].

De manera general una cadena de herramientas de CAM, con el valor añadido de ser Open Source, aplicada a un nuevo de acuerdo a [19] vendría definida de la siguiente manera:

1. Diseñar un Modelo 3D en un programa de CAD, por ejemplo OpenSCAD o FreeCAD.
2. Exportar el diseño geométrico a un archivo con formato stl.
3. Generar rutas de movimiento y comandos de extrusión en formato GCode

mediante el uso de un programa de generación de capas (Slicer o Laminado), por ejemplo CuraEngine o Slic3r.

4. Usar un Software de host para comunicar el computador con la impresora mediante USB y enviar el código G, Por ejemplo: Printron, Repetir Host o CURA.
5. El firmware instalado en el controlador de la impresora determina los movimientos que se deben realizar de acuerdo a las instrucciones del código G y finalmente luego de este proceso obtener la figura deseada, los *firmware* más utilizados son Marlin, Sprinter y Repetier.

Este proceso es de manera general el utilizado en este tipo de operaciones, sin embargo pueden existir variantes, por ejemplo:

- El paso 3 y 4 son realizados por un mismo programa, por ejemplo Cura o Repetier Host con Slic3r integrado.
- En el caso de una impresora *Standalone* es decir que funciona sin necesidad de una computadora, luego de obtener el código G en el paso 3, el paso 4 constituye enviar el código a una memoria SD o mediante la red cableada o WIFI hacia el controlador de la impresora, para continuar con el paso 5.

Para realizar el control del proceso de impresión existen dos opciones de acuerdo a la configuración que se use. La primera es que un programa como Cura realice el proceso de laminado, comunicación y monitoreo de la impresora, la segunda es que la impresora trabaje de manera autónoma o *standalone* en donde el código G es almacenado en una memoria SD y el monitoreo de puede realizar mediante un Panel LCD hasta un sofisticado sistema HMI [32].

2.2.22. Modelado en 3D

El fin de una impresora 3D es convertir objetos en 3D creados por lenguajes gráficos en objetos físicos sobre los cuales se pueda hacer pruebas mecánicas, ergonómicas, estéticas o simplemente tener una mejor apreciación de ciertas características que son imposibles de representar mediante un lenguaje gráfico. El modelado es el primer paso dentro del proceso de impresión, que necesita del uso de un software de CAD (Diseño Asistido por Computador). En el mercado informático existen una gran variedad de programas que funcionan en varias plataformas. Los programas pueden ser de pago, con licencia gratuita para fines no comerciales o

totalmente abiertos. Se hará énfasis en el estudio de programas totalmente abiertos que promuevan la difusión de conocimientos y educación expandida.

Al igual que las impresoras los CAD pueden ser profesionales con un alto costo de licencia comercial o con una licencia gratuita de uso no comercial que resulta restrictiva cuando se quieren reproducir objetos de manera comercial sin importar que hayan sido diseñados bajo licencia gratuita, entre estos se encuentran Autocad, Solid Works, Catia, Sketch up, también se puede tener acceso gratuito a software libre de código abierto y en constante evolución como Blender, OpenSCAD y FreeCAD. Vale la pena analizar estos tres últimos teniendo en cuenta que se encajan en la visión del código abierto [19].

OpenSCAD

OpenSCAD (14) es un programa para la creación de modelos 3D sólidos. Es una herramienta libre liberada bajo licencia GPL v2, además es multiplataforma disponible en Linux/Unix, Mac OS y Windows. A diferencia de la mayoría de programas para la creación de modelos en 3D, como Blender por ejemplo, no hace énfasis en aspectos artísticos del modelado en 3D en cambio se fija en los aspectos de CAD, es la aplicación apropiada para la creación de modelos de partes de máquinas.



Figura 14: Lenguaje de Generación de modelos en 3D OpenSCA
Fuente: Página de OpenSCAD [33]

OpenSCAD es un programa para la creación de modelos 3D sólidos (figura 15). Es una herramienta libre liberada bajo licencia GPL v2, además es multiplataforma disponible en Linux/Unix, Mac OS y Windows. A diferencia de la mayoría de programas para la creación de modelos en 3D, como Blender por ejemplo, no hace énfasis en aspectos artísticos del modelado en 3D en cambio se fija en los aspectos de CAD, es la aplicación apropiada para la creación de modelos de partes de máquinas.

OpenSCAD es un compilador que lee un archivo que describe el objeto y crea la figura en 3D, esto brinda al diseñador total control en el proceso de modelado y permite fácilmente realizar cualquier cambio en un proceso de modelado o crea modelos que son definidos por parámetros modificables.

Provee esencialmente dos técnicas de modelado, la primera es Geometría Sólida Constructiva (CSG) y la segunda extrusión de trazos en 2D, para el intercambio de datos de los trazos en 2D utiliza el formato de AutoCad DFX. Además del formato

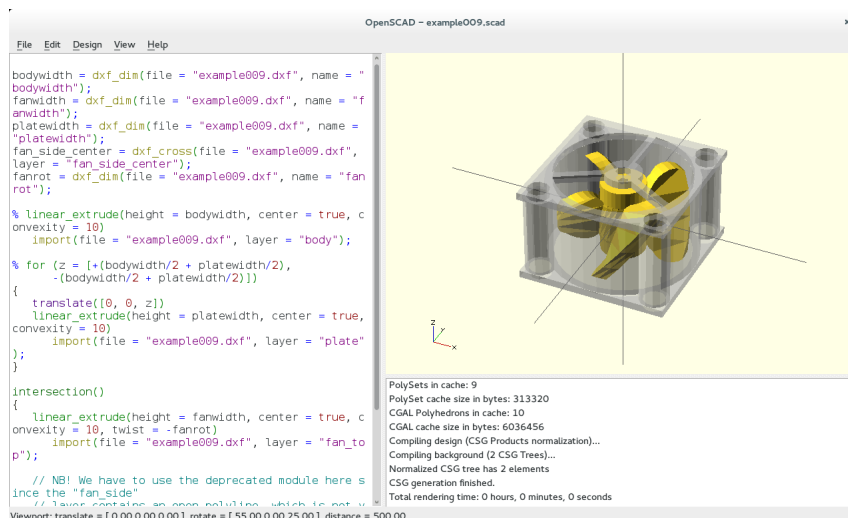


Figura 15: Modelo paramétrico en 3D creado en OpenSCAD
Elaborado por: El investigador.

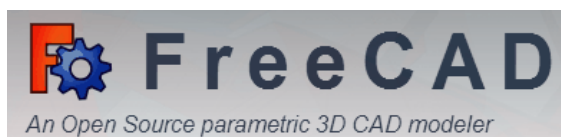


Figura 16: Plataforma FreeCAD
Fuente: Página de FreeCAD [34]

DXF OpenSCAD puede leer y crear modelos en formatos STL y OFF. El formato nativo de OpenSCAD es SCAD [33].

FreeCAD

FreeCAD es un modelador paramétrico (ver figura 16) de propósito general que permite modificar fácilmente los diseños con solo ir atrás en el historial de modificación y cambiando los parámetros. FreeCAD es un programa Open Source bajo licencia LGPL y totalmente modular permitiendo una muy avanzada extensión y personalización sin tener que modificar el núcleo del sistema.

FreeCAD es multiplataforma y lee y escribe en varios formatos como STL, STEP, IGES entre otros. Está orientado a la Ingeniería Mecánica y diseño de productos pero también es útil para una amplia gama de usos en ingeniería (Ver figura 17). Tiene un Kernel de geometría basada en Open CASCADE technology que permite operaciones 3D complejas en formas complejas con soporte nativo para conceptos como representación de límites (BREP), curvas, superficies y NURBS. Además permite realizar una amplia variedad de entidades geométricas, operaciones booleanas, tiene un completo soporte para formatos IGES y STEP [34].

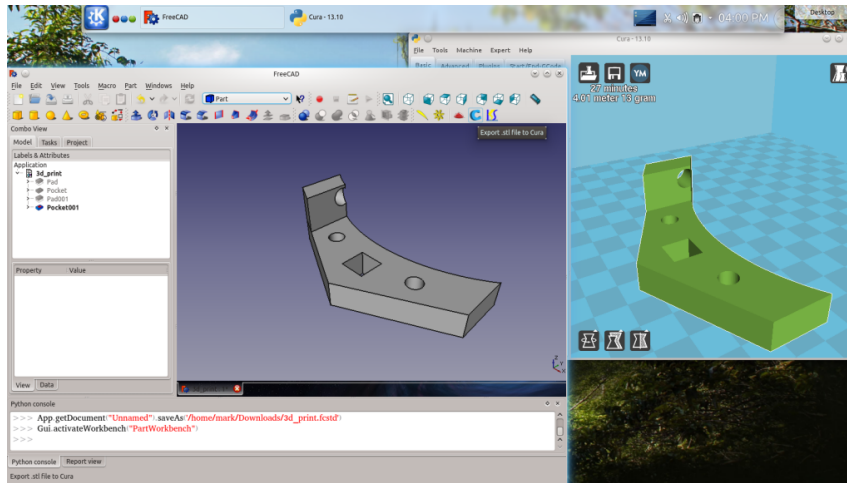


Figura 17: Modelado en 3D con FreeCAD
Elaborado por: El investigador.



Figura 18: Software de modelado 3D Blender
Fuente: Página de Blender [35]

Blender

Blender es un software multiplataforma (ver figura 18) usado para modelado, render, iluminación, creación de gráficos y animación en tres dimensiones. También se utiliza con propósitos de composición digital utilizando la técnica procesal de nodos, escultura, edición de videos y pintura digital. Posee un motor de juegos interno. Sus inicios fueron como software de libre distribución para luego pasar a ser un software libre.

Posse una gran aceptación dentro de la comunidad de diseñadores y animadores independientes, tiene una gran variedad de primitivas geométricas, que incluyen curvas, mallas poligonales, vacíos, NURBS y Metraballs.

Los motores gráficos de Blender están pensados para representar una imagen 3D generando al final una imagen 2D y son de varios tipos, los que vienen por defecto son 3 de pre-renderizado y uno en tiempo real.

Blender tiene un agregado de herramientas para diseño orientado a impresión 3D, cuyo objetivo es lograr que las geometrías extensibles es decir un lado interior y exterior sin huecos. Las secciones de este agregado son estadística, comprobación de errores, Limpieza, Re-dimensionamiento y Exportación[35].

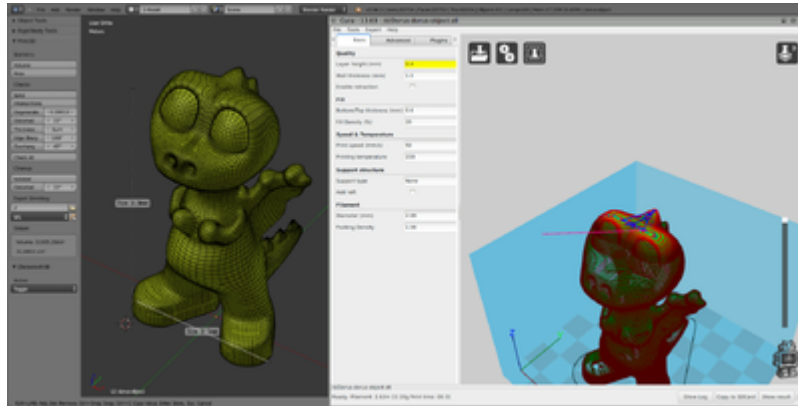


Figura 19: Blender junto con un programa de laminado 3D
 Fuente: Blender Organization [35]

2.2.23. Modelos 3D en repositorios Web

Impresión 3D es un mundo abierto a quienes quieran incursionar en él, para novatos y expertos existen lugares online en donde encontrar y compartir diseños 3D, estos repositorios de diseños en 3D son de gran ayuda para llegar a mas personas, los principales son GitHub, Thingiverse, Youimage, Autodesk 123D, 3D CAD Browser, GrabCAD, Shapeways, 3D warehouse, 3D via y Tracepart, etc. Se explicara los tres primero por su gran vinculación con el desarrollo de impresoras 3D de código abierto.

GitHub

GitHub es una plataforma de desarrollo colaborativo de software para alojar proyectos utilizando el sistema de control de versiones Git. Git es un software de control de versiones diseñado por Linus Torvalds, pensando en la eficiencia y la confiabilidad del mantenimiento de versiones de aplicaciones cuando estas tienen un gran número de archivos de código fuente.

La función principal de GitHub es alojar un repositorio de código y brinda herramientas muy útiles para el trabajo en equipo, dentro de un proyecto. Además de eso, puedes contribuir a mejorar el software de los demás. Para poder alcanzar esta meta, GitHub provee de funcionalidades para hacer un *fork* y solicitar *pulls*. Realizar un *fork* es simplemente clonar un repositorio ajeno (genera una copia en tu cuenta), para eliminar algún *bug* o modificar cosas de él. Una vez realizadas tus modificaciones puedes enviar un *pull* al dueño del proyecto. Éste podrá analizar los cambios que has realizado fácilmente, y si considera interesante tu contribución, adjuntarle con el repositorio original [36].

En la actualidad, GitHub es mucho más que un servicio de alojamiento de código.



Figura 20: Plataforma de desarrollo colaborativo GitHub
Fuente: Introducción a GitHub [36]

Además de éste, se ofrecen varias herramientas útiles para el trabajo en equipo. Entre ellas, caben destacar:

- Una *wiki* para el mantenimiento de las distintas versiones de las páginas.
- Un sistema de seguimiento de problemas que permiten a los miembros de tu equipo detallar un problema con tu software o una sugerencia que deseen hacer.
- Una herramienta de revisión de código, donde se pueden añadir anotaciones en cualquier punto de un fichero y debatir sobre determinados cambios realizados en un objetivo específico.
- Un visor de ramas donde se pueden comparar los progresos realizados en las distintas ramas de nuestro repositorio.

Thingiverse

Thingiverse es una comunidad en línea en la que los usuarios registrados idean y comparten sus diseños 3D más originales, acompañados de notas y explicaciones donde explican y detallan los materiales y técnicas utilizadas y, sobretodo, la finalidad del aparato construido, ver figura 21 . Proporciona principalmente hardware de código abierto bajo la licencia diseños Licencia Pública General de GNU o licencias de *Creative Commons*, los usuarios elegir el tipo de licencia de usuario que desean dar a los diseños que comparten. Impresoras 3D, cortadoras láser, máquinas de fresado y muchas otras tecnologías pueden utilizarse para crear físicamente los archivos compartidos por los usuarios sobre Thingiverse.

Thingiverse se inició en noviembre de 2008 por Zach Smith como un sitio que acompaña a MakerBot Industries, como una empresa que fabrica Kits de impresoras

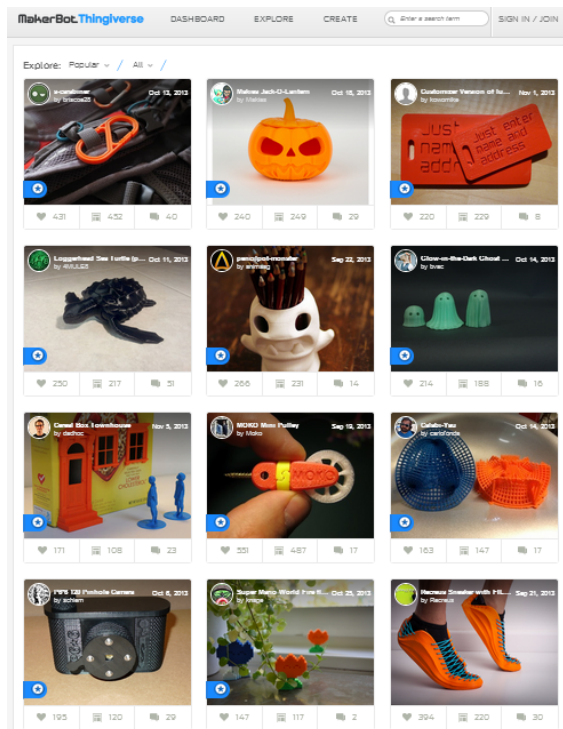


Figura 21: Thingiverse, Universo de cosas, Repositorio de diseños digitales 3D.
Fuente: Página Web de Thingiverse [37]

3D DIY. En la comunidad pueden clasificarse los objetos por categorías: diseños de aparatos automáticos, manuales, eléctricos, aparatos cortantes, herramientas de medida, etcétera. Si queremos echarle un vistazo a la galería para realizar una búsqueda general de objetos, podemos visualizar los objetos por búsquedas más populares, diseños publicados más recientes e incluso realizar búsquedas de objetos al azar. Lo verdaderamente impresionante acerca del sitio web es que los diseños 3D pueden ser imprimidos con la tecnología de MakerBot Industries, de forma que lo que realmente están publicando los usuarios de Thingiverse son diseños de objetos 3D Imprimibles. Una comunidad indispensable donde los fanáticos de la creación, el diseño y el arte [37].

Youmagine

Youmagine es un sitio web creado por Ultimaker donde los usuarios de impresoras 3D para principiantes en el diseño que hagan uso de los modelos existentes pero aún más importante para expertos que colaboran con sus diseños compartiéndolos en esta web, similar al Thingiverse [38].

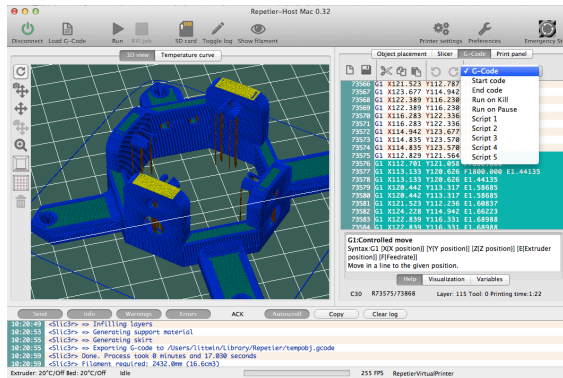


Figura 22: Código G generado para la impresión de un objeto en 3D.
Elaborado por: El investigador.

2.2.24. Código G

G-code o código G es el nombre que se le da al lenguaje de programación de mayor difusión en el Control Numérico o CNC, usado ampliamente en el mundo de la automatización, forma parte de la Ingeniería Asistida por Computador o CAE. También es conocido como lenguaje de programación G. G-code es un lenguaje mediante el cual las personas transmiten a las maquinas o herramientas controladas por computadora las ordenes de lo que deben realizar, ordenes que les indican que hacer , como moverse, que tan rápido y su trayectoria. Principalmente las maquinas controladas por Código G son cortadoras, fresadoras, tornos y tienen un papel muy importante en el control de impresoras 3D, ver figura 22 [39].

2.2.25. Software de generación de Código G

Es de gran importancia dominar un lenguaje o programa de modelado en 3D para obtener una figura que represente de manera digital una pieza que luego será física, sin embargo existe un paso más dentro de la producción de objetos físicos que es convertir el modelo digital a código G. Mediante el proceso de laminado (Slicing) se convierte un diseño digital en 3D en formato STL en capas digitales muy delgadas. Cada capa es un plano de dos dimensiones que la impresora fabricara y luego de apilar todas las capas se obtendrá el objeto físico. Este proceso se lleva a cabo mediante cálculos matemáticos realizados por el software de generación de Código G.

La información contenida en un STL es de muy poca utilidad para la impresora ya que consiste solo una larga lista de coordenadas (X,Y,Z) que identifican los vértices que componen las múltiples capas poligonales de la malla del objeto, ver figura 23.

Para el funcionamiento de la impresora 3D se hace necesario otro tipo de

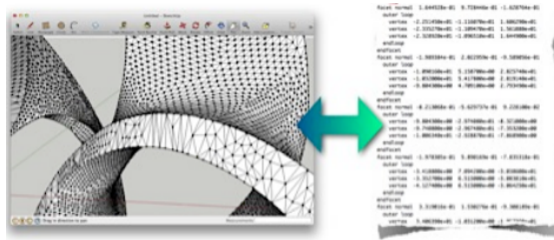


Figura 23: Generación de Código G a partir de un modelo en 3D.

Fuente: Guia Impresión 3D [19]

información como los movimientos del efector final (Fusor), movimientos de la base de impresión en direcciones (X,Y,Z), la cantidad de plástico que se debe calentar y el tiempo en el que se debe empezar y parar la extrusión, así como la temperatura del Fusor y la plataforma de impresión entre otros.

Este proceso de conversión las coordenadas de los vértices a comandos de impresión resulta en un alto uso de recursos de CPU por lo que no se puede realizar en tiempo real en la misma Impresora sino que se necesita realizar este proceso en una computadora y luego enviar el *Código G*, otra razón adicional es que para el proceso el usuario debe proporcionar parámetros adicionales para el laminado como por ejemplo la altura de las capas.

El proceso de laminado se puede describir en los siguientes pasos:

1. Cargar el archivo STL en el programa de laminado en una computadora.
2. Traducir, Escalar, Rotar el modelo hasta que este correctamente posicionado en la plataforma de impresión.
3. Ingresar los parámetros que se necesitan para la correcta impresión de acuerdo al modelo y hardware de la impresora 3D.
4. Comenzar el proceso de creación de capas y la creación del archivo de *Código G*.
5. Enviar el *Código G* a la impresora.

El primer paso resulta evidente, luego se coloca el modelo en el lugar correcto de la plataforma de impresión, la mayoría de los parámetros solo se ajustan una vez debido a que son propias de cada impresora. Es importante revisar la escala debido a que en los archivos STL no se especifica la unidad, podría ser que se espere un modelo en cm y se obtenga uno en mm. En el proceso de creación de capas horizontales el modelo se convierte en un montón de rebanadas y cada una de ellas es procesada por separado para que calcule la mejor ruta por la cual la boquilla deposite el plástico fundido

en el lugar adecuado que describe la manera en la que el efector final funciona, es decir, capa por capa. La calidad final del objeto depende en gran parte del proceso de laminado y la correcta selección de valores que se asignen. En cada programa los parámetros reciben diferentes nombres entre los mas usados y gratuitos Skeinforge, Slic3r, KISSlicer, Cura y MakerWare que están disponibles para Linux, Windows y Mac Os [19].

Skeinforge

Es tal vez el programa de laminado más antiguo, se constituye como un conjunto de Scripts escritos en Python y publicado con licencia GPL. Utilizado inicialmente por Makerbot en su primer modelo de Replicator integrado en ReplicatorG y ahora en MakerWare además fue usado ampliamente en varias impresoras del Proyecto RepRap, es bastante común, gratuito, sin embargo la interfaz de usuario es poco amigable y algunos ajustes llegan a ser demasiado confusos.

Slic3r

Tiene un mecanismo de laminado moderno, es de código abierto desarrollado completamente por una comunidad activa, es apoyado por varios fabricantes de impresoras y se muestra como opción principal en Repetir-Host. Ahorra muchos problemas al momento de registrar los parámetros de laminado porque están agrupados de manera lógica, figura 24a).

KISSlicer

Posee una interfaz gráfica muy amigable e intuitiva, hace alarde de su rapidez y facilidad de uso, se presenta como una atractiva alternativa para los principiantes en impresión 3D. Descarga gratuita de la versión estándar pero existe una versión PRO que tiene soporte para múltiples extrusoras y varios objetos entre otras características y esta disponible por \$42 USD , figura 24 b).

Cura

Es un software desarrollado por Ultimaker con el fin de hacer de la impresión 3D más fácil y ágil. Incluye todas las características necesarias para preparar un archivo y para imprimirlo, es decir integra laminado y control. Esta totalmente pre configurada para trabajar con la Impresora Ultimaker 3D , figura 24 c).



Figura 24: Principales Software de Generación de Código G para impresión 3D
Elaborado por: El investigador.

MakerWare

Simple de usar, atractivo a la vista, desarrollado por Makerbot para controlar la familia de las impresoras Replicator, ofrece un mecanismo propio de laminado para obtener resultados más fuertes, más rápidos y consistentes. Skeinforge también puede ser seleccionado como mecanismo de laminado integrado, figura 24 d).

2.2.26. Control Numérico Computarizado

El Control Numérico Computarizado es un sistema que aplicado a máquinas, logra la automatización de las mismas que son operadas usando comandos que son guardados en un medio de almacenamiento que pueden ser computadoras o micro-controladores dejando obsoleto el uso de mandos manuales. La máquina CNC utiliza los datos para controlar la velocidad de los motores para lograr las posiciones establecidas en el código logrando todo tipo de trayectorias, lineales, curvas circulares, etc. en 2D como en 3D. Las máquinas son capaces de controlar los tres ejes al mismo tiempo para crear figuras tridimensionales.

El término control numérico hace referencia a que las ordenes ejecutadas por la máquina son indicadas por códigos numéricos. Los códigos numéricos pueden ser generados de manera manual y automática [40].

Programación Manual El operario tiene que realizar todos los cálculos necesarios y la herramienta interpreta estas ordenes para la producción de la pieza. Los códigos están normalizados de acuerdo a la DIN 66024 y 66025 para que todos los fabricantes de maquinas CNC manejen el mismo lenguaje y un código pueda ser usado en varias marcas de máquinas [41]. Los principales códigos son los siguientes:

- **N:** Correspondiente al número de bloque o secuencia va del N000 al N999.
- **X,Y,Z:** Son las correspondientes a las cotas de las direcciones de los ejes X,Y,Z ya sea de la máquina o de planos cartesianos.
- **G:** Corresponde a la dirección de las funciones preparatorias. Son utilizadas para informar al control acerca de las características de las funciones de mecanizado, entre las más notables la forma de la trayectoria, el tipo de corrección de herramienta, parada temporizada, ciclos automáticos, programación absoluta y relativa, etc. La función G va seguida de un número de dos cifras (00 - 99) que permite programar hasta 100 funciones preparatorias diferentes.
- **M:** es la dirección correspondiente a las funciones auxiliares o complementarias. La función M va seguida de un número de dos cifras (00 - 99).

2.2.27. Firmware de control

El firmware es un bloque de instrucciones de máquina para propósitos específicos, grabado en una memoria, normalmente de lectura/escritura, que establece la lógica de más bajo nivel que controla los circuitos electrónicos de un dispositivo de cualquier tipo. Está fuertemente integrado con la electrónica del dispositivo siendo el software que tiene directa interacción con el hardware: es el encargado de controlarlo para ejecutar correctamente las instrucciones externas. En resumen, un firmware es un software que maneja físicamente al hardware [42].

En el caso de las impresoras 3D es el programa que se instala en el microprocesador y permite la comunicación de la impresora con el ordenador y también controlan los procesos de la impresora, es decir esta encargado de recibir el código G, e interpretar las instrucciones para mover los motores que controlan los ejes y el motor que controla el extrusor. Recibe las medidas de temperatura de los termistores en la cama caliente y el Fusor y se encarga de controlar este valor al que se especifica en las instrucciones.

2.2.28. Materiales de impresión 3D para FFF

PLA

EL poliláctico (PLA o ácido poliláctico) es un polímero bio-degradable que es producido a base de ácido láctico que se obtiene fermentando maíz. Se funde a una temperatura de entre 180 °C Y 220°C, su coeficiente de extrusión es ligeramente mas alto que el del ABS lo que hace que se requiera mas fuerza para su extrusión . Su dimensión estable por lo que no es necesario usar una cama caliente. Su acabado superficial es ligeramente superior y sus produce piezas impresas mas fuertes. Se degrada fácilmente en la presencia de agua u óxido de carbono [43].

ABS

El *acrilonitrilo butadieno estireno* o ABS es un termo-plástico muy utilizado debido a su ligereza y a que puede ser moldeado por inyección o por extrusión, con respecto a otros plásticos tiene mejores propiedades mecánicas y resulta menos frágil, soporta temperaturas mas altas por lo que es usado en piezas plásticas que están en contacto con temperaturas altas sin necesidad de ventilación. Se encuentra más fácilmente en el mercado y requiere menos fuerza para su extrusión pero necesita temperaturas más altas alrededor de 50 °C mas que PLA [44].

2.2.29. Sistema de Control

Sistema de Control de lazo cerrado

En un sistema de control de lazo cerrado el controlador se alimenta con la señal del error de actuación que resulta de la diferencia entre la señal de entrada y la señal de retro alimentación con el objetivo de reducir el error a la salida, el sistema de lazo cerrado implica un sistema retro-alimentado para reducir el error del sistema [45].

Sistema de Control de lazo abierto

En un sistema de control de lazo abierto la salida no afecta a la acción de control es decir no se mide la salida para compararla con la entrada lo que implica que para cada entrada le corresponde una respuesta fija, la precisión del sistema se ve determinado por la calidad de la calibración del sistema [45].

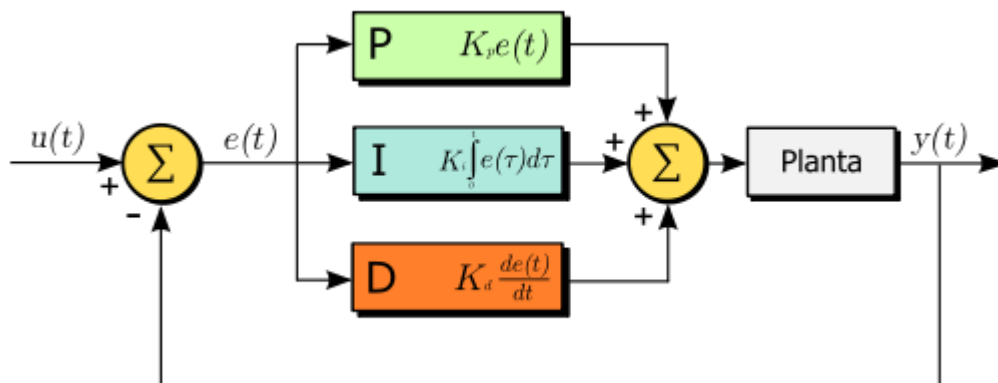


Figura 25: Diagrama de bloques del Control PID
Fuente: Wikimedia Commons

2.2.30. Control Proporcional Integral Derivativo PID

Un PID es un sistema de control de lazo cerrado que calcula el error entre un valor medio y el valor que se desea obtener para aplicar una acción que ajuste el proceso. Este control está compuesto por tres tipos de control: Proporcional, Integral y Derivativo y reúne las ventajas de cada una de las acciones de control en uno solo, la figura 25 muestra un diagrama de bloques del control PID.

El Proporcional determina la reacción del error actual, el Integral hace una corrección proporcional a la integral del error que asegura un esfuerzo de control suficiente para reducir el error a cero. El Derivativo determina la reacción del tiempo en el que se produce el error. La suma de las tres acciones se utiliza para mediante un elemento de control ajustar un proceso como la posición de una válvula o la energía que se provee a un calentador.

La ecuación de un controlador con estas tres acciones combinadas se obtiene mediante la ecuación 1

$$p(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

Donde:

- p(t) Señal de control
- e(t) Señal de error
- Kp Ganancia proporcional ajustable
- Ti Tiempo integral, ajusta la acción integral
- Td Tiempo derivativo

Tabla 2: Parámetros sugeridos como un primer valor de ajuste

	P	PI	PID
Kp	0,5 Kc	0,45Kc	0,6Kc
Ki		Pu/1,2	Pu/2
Td			Pu/8

Fuente: Diseño de controladores [47]

Ki Constante Integral

Kd Constante Derivativa

Reemplazando $K_i = \frac{K_p}{T_i}$ y $K_d = K_p * T_d$ la ecuación 1 haciendo referencia a ambos coeficientes del término integral y diferencial como uno solo, respectivamente, se obtiene la ecuación 2 con una constante por control.

$$p(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

La transformada de Laplace de la ecuación 1 esta representada por la ecuación 3

$$\frac{P(S)}{E(S)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i * s} + T_d * s \right) \quad (3)$$

Los valores de Kp, Kd y Ki se encuentran utilizando métodos de ajuste empíricos, el principal método es el de Oscilación Continua de Ziegler y Nichols [46].

2.2.31. Ajuste de PID con el método de Oscilación Continua

El método de Oscilación continua de Ziegler y Nichols es un método heurístico para ajustar los parámetros del control PID. El procedimiento a seguir es:

- A lazo cerrado, el Td (tiempo derivativo) se lleva a cero y el Ti (tiempo integral) se lleva a su valor máximo.
- Se excita el sistema con un escalón en el valor de referencia y se obtiene
- Kcmáx : K crítica
- Pu: Período de oscilación para Kc

Los valores sugeridos como primer valor de ajuste son los de la tabla 2

Este método debe producir una relación de magnitud de caída entre la primera y la segunda oscilación igual a 4. Esta relación es conocida como rata de caída (r)

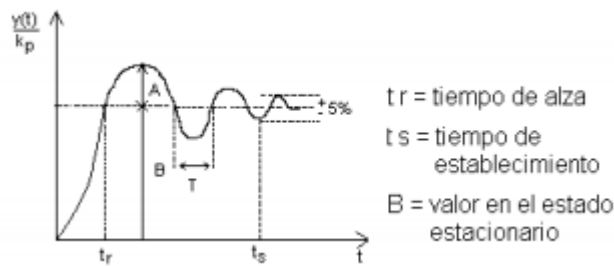


Figura 26: Respuesta transitoria al Ajuste por el método de oscilación.
 Fuente: Diseño de controladores [47]

o “decay ratio”. La figura 26 muestra con detalle las características de la respuesta transitoria [47].

2.3. Propuesta de solución

Mediante la construcción de una impresora 3D de escritorio de mediana escala basada en un modelo Open Source para la elaboración de objetos físicos con un volumen de impresión de 200 x 200 x 200 mm, se busca brindar un modelo de producción de objetos 3D que esté al alcance de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial.

2.4. Fundamentación legal

En el gobierno Ecuatoriano desde el 2007 ha empezado con un cambio estructural del país por lo que ha efectuado varios proyectos y decretos.

2.4.1. Decreto Presidencial N° 1014 versión resumida

Consideraciones

De acuerdo con con el apartado g) del numeral 6 de la Carta Iberoamericana de Gobierno Electrónico, se recomienda el uso de estándares abiertos y software libre como herramientas informáticas, y considerando entre otras cosas que el Gobierno ecuatoriano tiene como principal interés alcanzar la soberanía y autonomía tecnológica y un significativo ahorro de recursos públicos.

En el numeral 1 artículo 6 del acuerdo N° 119 publicado en el registro oficial N° 139, se faculta a la Subsecretaria de Informática a elaborar y ejecutar planes , programas, proyectos, estrategias, políticas, proyectos de leyes y reglamentos para el uso del Software Libre [48].

Decreto

En el artículo 1 se establece como política pública el uso de software libre en sistemas y equipos informáticos.

En el artículo 2 se realiza una definición del Software Libre.

En el artículo 3 se realiza consideraciones Técnicas.

En el artículo 4 se establece excepciones para uso de software propietario.

En el artículo 5 se define un orden de prioridad para la elección de software.

En el artículo 6 se asigna al organismo que dará seguimiento al cumplimiento.

En el artículo 7 se asigna responsables de la ejecución.

2.4.2. Plan Nacional del Buen Vivir 2009-2013 y 2013-2017

Los objetivos del Plan Nacional del Buen Vivir contemplan un cambio tecnológico y reflejan los lineamientos de la ideología de Fuentes Abiertas (*Open Source*)

Objetivos Nacionales para el Buen Vivir 2009-2013

A continuación se describen los objetivos relacionados con Conocimientos de Fuentes Abiertas.

- Objetivo 2: Mejorar las capacidades y potencialidades de la ciudadanía. Dentro de este objetivo se contempla promover la investigación y el conocimiento científico y la innovación tecnológica y el acceso a nuevas tecnologías de información y comunicación [49].

Objetivos Nacionales para el Buen Vivir 2013-2017

- Objetivo 10. Impulsar la transformación de la matriz productiva. En este objetivo se busca encaminar al país hacia una estructura productiva orientada al conocimiento y la innovación.
- Objetivo 11. Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica [50].

2.4.3. Carta abierta a los trabajadores del PROCOMÚN

La carta abierta a los trabajadores del PROCOMÚN es un documento realizado por el equipo de investigación del Proyecto FLOK society (Free/Libre Open Knowledge).

Este proyecto ha sido creado para desarrollar una plan de transición y políticas para cumplir con los objetivos del Plan Nacional del Buen Vivir y que este inspirada y enraizada en un conocimiento libre, abierto y en un prospero procomún.

FLOK Society es un esfuerzo de investigación conjunto entre el Ministerio Coordinador de Conocimiento y Talento Humano, la SENESCYT, (Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación) y el IAEN (Instituto de Altos Estudios Nacionales), el proyecto busca la participación y las aportaciones de la sociedad civil local, pero también incluye un llamamiento explícito a los movimientos globales de cooperación y del procomún para ayudar con consejos y propuestas de política [51].

Linea 1 de FLOK Society

El proyecto FLOK Society presenta varias líneas de trabajo, en la Línea 1 se encuentran los temas relacionadas con Recursos Educativos Abiertos, Cultura libre y abierta y Ciencia Abierta.

Recursos de educación abierta (v.0.1) Dicho con sencillez, esta propuesta de política pública enfatiza la aplicación de los principios del buen vivir al desarrollo del talento humano, incluido un énfasis particular en las políticas públicas activas que fortalezcan el bien público en un contexto de reciprocidad y de creación de valor basada en los comunes [52].

Cultura libre y abierta (v. 1.0) es un documento que analiza cuáles son las mejores condiciones de la generación de bienes y servicios culturales para constituirse en un sector catalizador de las estrategias de transición hacia la economía social del conocimiento en Ecuador. Además se hace un estudio de la Cultura Libre y Economía Social del Conocimiento y como aplicarla a las políticas Publicas del Ecuador[53] .

Ciencia Abierta (v. 0.1) este documento se presenta como una base para las políticas de Economía Social del Conocimiento y para la planificación de dicha economía. Esta propuesta sobre políticas explora la aplicación de los principios de la Ciencia Abierta hacia un re-formulación de la investigación y práctica científica en el Ecuador [54].

CAPÍTULO 3

Metodología

3.1. Modalidad Básica de la investigación

3.1.1. Investigación Bibliográfica

El proyecto fue realizado basándose en la modalidad bibliográfica ya que la explicación del estudio de investigación se fundamentó consultando: libros, revistas, artículos técnicos, antecedentes de proyectos similares y publicaciones en Internet referentes a la Impresión 3D y construcción de Impresoras 3D Open Source.

3.1.2. Investigación de Campo

La investigación fue de campo ya que se acudió a los principales proveedores de materiales en la ciudad y se tuvo contacto con distribuidores Nacionales e Internacionales, para adquirir los materiales necesarios para la construcción de la Impresora, además del contacto con laboratorios de fabricación digital para la investigación de los beneficios de impresión 3D y sus aplicaciones.

3.2. Recolección de información

3.2.1. Plan de recolección de información

La recolección de la información se realizó revisando fuentes Online y libros en búsqueda de documentación necesaria que aporte al desarrollo de la investigación entre las que se encuentran manuales de construcción, guías prácticas, hojas de datos de elementos a usarse además del repositorio existente en el Proyecto RepRap que documenta las alternativas de construcción de Impresoras 3D, el software de soporte y el firmware de control.

3.3. Procesamiento y análisis de datos

La información recolectada se sometió a un análisis comparativo para descartar redundancias en el diseño y también la elección de las mejores alternativas en cuanto al diseño de cada uno de los elementos y accesorios presentes en la impresora 3D.

3.4. Desarrollo de proyecto

- Recolección de información sobre prototipado rápido e impresión 3D.
- Procesamiento de información de prototipado rápido, e Impresión 3D.
- Recolección de información sobre modelos de desarrollo de Impresoras 3D.
- Análisis de requerimientos para la construcción de una impresora 3D.
- Elaboración del diseño inicial de la impresora 3D.
- Análisis de mercado de componentes electrónicos y mecánicos necesarios.
- Procesamiento de información de HMI de los modelos de Impresoras 3D.
- Estudio de los componentes del HMI .
- Diseño y montaje del HMI que muestre las variables físicas en la impresora 3D y brinde puertos de comunicación alternativos al USB.
- Construcción de la etapa mecánica de la impresora.
- Ensamblaje de los componentes electrónicos, probando su funcionamiento.
- Pruebas iniciales de la electrónica, firmware y software, calibración de componentes y primeras impresiones de prueba a baja escala.
- Ajuste de parámetros, búsqueda de mejores resultados mediante diferente software y firmware de control para impresión a mediana escala.

CAPÍTULO 4

Desarrollo de la propuesta

4.1. Modelos de Desarrollo de Impresoras 3D

Desde la aparición de la impresión 3D hasta los últimos avances en este campo ha habido diversas tecnologías, materiales, Ingenieros, Científicos, Empresas y Modelos de impresoras, lo que ha provocado que esta técnica de construcción de objetos haya tenido varios caminos con una infinidad de resultados. Se analiza a continuación una pequeña parte del universo de la evolución de la impresión 3D.

4.1.1. Evolución de la impresión 3D

Luego de una investigación en la cual se ha cubierto parte de la línea temporal que incluye algunos de los aspectos más importantes del desarrollo de la tecnología de impresión, en especial de aquellos en los cuales se tiene acceso a información detallada de su diseño y desarrollo.

La invención de la tecnología resulta de la necesidad de juntar un grupo de impresiones en 2D para lograr un diseño en 3D es así como Charles Hull inventa la Estereolitografía SLA (1986), la primera técnica de impresión 3d basada en datos digitales, dos años más tarde (1988) funda su empresa 3DSystems , al mismo tiempo Scott Crump crea la tecnología de modelado por deposición fundida, FDM (1988) y funda Stratasys , es así como empieza el desarrollo de las tecnologías de impresión en 3D, las impresoras vendidas por dichas empresas estuvieron solo al alcance de industrias y laboratorios de investigación.

Ante las claras barreras económicas que dificultaban el acceso a la impresión 3D, el Profesor Adrian Bowner puso en marcha el proyecto RepRap (2005), mediante la creación de un blog ¹ , con la participación de Erik de Bruijn, Ian Adkins, Simon McAuliffe, Sebastien Bailard, Marius Kintel, Zach Smith entre otros, con el objetivo de crear una impresora 3D replicable de bajo coste, con una mentalidad Open Source

¹<http://blog.reprap.org/>

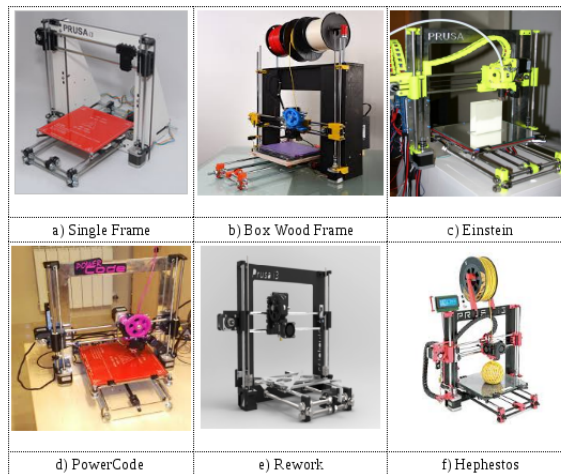
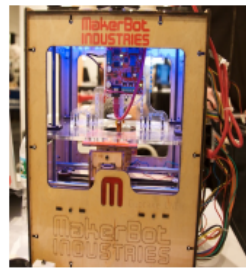


Figura 27: Prusa I3 del Proyecto RepRap Varias versiones
Fuente: El investigador

desde el origen del proyecto, su motivación fue que la industria nunca crearía una impresora en 3D replicable ya que no sería rentable, lo que le llevo a crear varios modelos al alcance de personas que nunca habrían podido comprar una profesional. En su desarrollo deja clara la importancia de que su proyecto se pueda copiar, estudiar, distribuir y mejorar sus diseños y código fuente, por lo que le incluye una licencia GNU GPL. El proyecto nunca fue pensado con el propósito de generar dinero solo son el fin de desarrollar una herramienta que esté al alcance de todos los aquellos que se interesaran en el proyecto. El desarrollo de su impresora se basó en la técnica de FDM y con una variante patente FFF para el uso del proyecto RepRap sin tener que infringir derechos de CopyRight de FDM de Stratasys. La primera impresora fruto del proyecto de Bowner es la RepRap Drawin (2008), que hace honor a su nombre al crear una nueva rama de evolución de este proyecto, dio paso a la creación de sus evoluciones la Mendel (2009), la Huxley (2010), Prusa Mendel (2010), Prusa Mendel I2 (2011) (Figuras 39 a,b,c,d y e respectivamente)y desde el 2013 hasta la actualidad la Prusa I3 ha abierto un amplio camino de desarrollo con los modelos que se describen en la Figura 27.

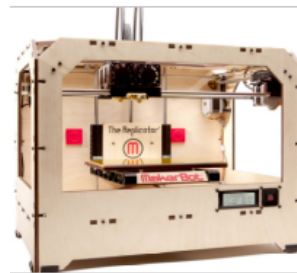
Todo esto se encuentra perfectamente documentado en el sitio web del Proyecto RepRap. En base a los avances y el éxito del Proyecto RepRap uno de los participantes Zach Smith decide junto a otros dos emprendedores, Bre Pettis y Adam Mayer, fundan en Nueva York MakerBot Industries (2009) creada en base al temprano progreso del Proyecto RepRap, en un principio la empresa compartió su filosofía de creación y liberación de planos de construcción bajo licencia Open Source



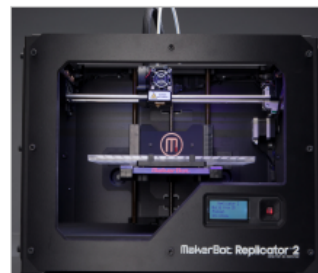
a) MakerBot Cup Cake



b) MakerBot Thing-O Matic

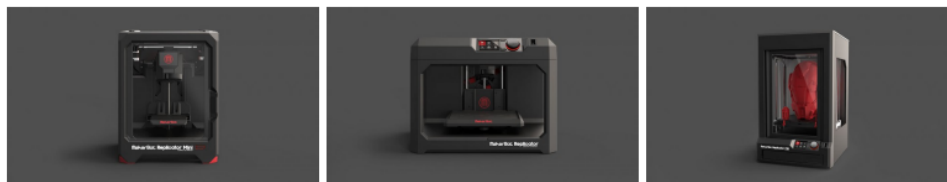


c) MakerBot Replicator



d) MakerBot Replicator 2

Figura 28: MakerBot Modelos de Impresoras 3D
Fuente: El investigador



a) MakerBot Mini

b) MakerBot Replicator 5G

c) MakerBot Replicator Z18

Figura 29: Modelos de MakerBot 2014
Fuente: El investigador

con la diferencia que sus piezas no se imprimían sino que se cortaban con láser y se ofrecía la venta y envío del *kit DIY*, así crearon la CupCake CNC (2009) Figura 28a, ThingOmatic (2010) Figura 28b y Replicator (2011) Figura 28c, la empresa tomo un nuevo rumbo luego del lanzamiento de Replicator 2 (2012) Figura 28d ya que sus diseños no estaban disponibles dejando de lado la filosofía Open Source y tomando un rumbo absolutamente comercial. En Enero del 2014 presento en el CES tres nuevos modelos la MakerBot Mini, MakerBot Replicator de Quinta Generación y la MakerBot Replicator Z18 Figura 29.

De la misma manera que sucedió MakerBot, Erik de Bruijn, Martijn Elserman, Siert Wijnia fundan en Holanda Ultimaker (2011), de Bruijn participo en el Proyecto

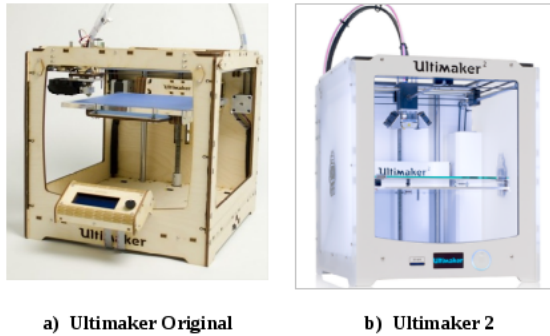


Figura 30: Impresoras 3D de Ultimaker
Fuente: El investigador

Rep Rap, creó una de las primeras réplicas de la Darwin (2008), hizo colaboraciones con el MIT (2009), dio charlas de las ventajas de poder crear réplicas propias basadas en impresión 3D. Creó en el 2011 la Ultimaker 1 (Figura 30 a) basado en el Proyecto Repstrap (Parte del proyecto RepRap) y utiliza un diseño cartesiano inspirado en el desarrollado en el mtm Multifab del MIT MediaLab con cinemática Paralela, cuyo diseño es de código abierto. En el 2013 lanza la actualización de su impresora la Ultimaker 2 (Figura 30 b), que funciona con varios materiales y tiene conexión wi-fi pero es de código cerrado. A diferencia de Makerbot, Ultimaker aún brinda soporte y vende la DIY Ultimaker Original y su software de laminado Cura es gratuito y libre para usarlo en otras impresoras.

Por su parte Brook Drumm decide crear su propia impresora diferente de las demás pero basada en el Proyecto RepRap, Printrobot (2011), es una impresora 3D cuya fabricación fue originalmente financiada a través de Kickstarter. Fue concebida para uso hogareño de usuarios y entusiastas que pretenden dar sus primeros pasos en el tema de la impresión 3D. Esto se debe principalmente a su reducido tamaño, así como a su gran facilidad de ensamblado. Ahora existen varios modelos que se muestran en la figura 31

Debido al gran impacto del proyecto RepRap (Figura 32) Juan González, profesor de ingeniería de la UC3M, creó Clone Wars (2011), un grupo dentro de la Comunidad de RepRap creada con el objetivo de documentar en español todo lo necesario para la creación de una impresora en 3D. La idea de formar la comunidad nació de los conceptos del Proyecto RepRap, de producir impresoras replicables, es decir crear un clon de otra.

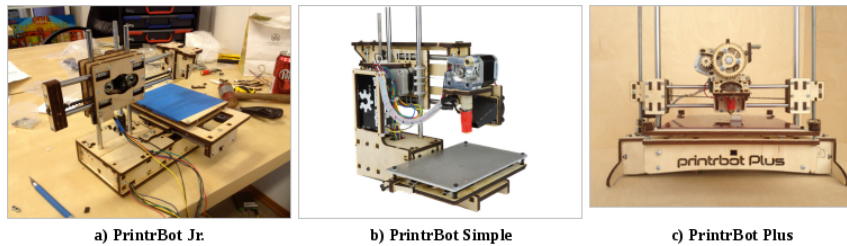


Figura 31: PrintrBot
Fuente: El investigador



Figura 32: Clone Wars Comunidad de RepRap en Español
Fuente: Clone Wars

Uno de los mas importantes participantes del proyecto RepRap llego luego de la aparición de los primeros frutos del proyecto y su aporte fue de gran utilidad para el perfeccionamiento de los sistemas de impresión de bajo costo y alta eficiencia además del crecimiento de la comunidad. El Checo Josef Prusa se unió a RepRap en 2009 en el perfeccionamiento de la RepRap Mendel, luego su éxito fue aplicado en el desarrollo de Prusa I, II y III. Todo su trabajo se centra en el código abierto, sigue muy fielmente los lineamientos del proyecto desarrollando y construyendo impresoras replicables en base a código abierto. Actualmente dirige *Prusa Research 33* y se desempeña como Docente en la Universidad de Charles, es un promulgador de la filosofía de Hardware de código Abierto, las charlas mas exitosas son las de TEDx Praga y Vienna, el MakerFaire Mundial de Nueva York, La Cumbre Open Hardware (MIT) y el MakerFaire Roma considerados como los eventos mas importantes de Impresión 3D y diseño digital. Además de las impresoras ha diseñado la *PCB Heated Bed*, que es una base caliente de impresión hecha a base de una tarjeta de circuito integrado, y el Prusanozzle que es un fusor de metal diseñado para varios materiales.

4.1.2. Mercado de impresoras 3D de prototipado rápido

La impresión en 3D, si bien existe desde hace más de treinta años, recientemente ha empezado a adquirir gran relevancia y popularidad debido a su amplio ámbito de aplicaciones y fundamentalmente gracias al descenso de sus precios, tanto de



Figura 33: Prusa Research, Empresa liderada por Josef Prusa.
Fuente: Prusa Research



Figura 34: Distribución por internet, comercial de UPS 2000
Fuente: Atoms From Bits [56]

impresoras como de consumibles, al menos en la rama de impresoras personales [55].

En la actualidad existe un amplio universo de opciones en cuanto a impresoras 3D respecta, su diversidad depende de muchos factores uno de ellos el más importante es el aspecto económico el año 2000 en los ambientes *geek* ya comenzaba a sonar un nuevo término, *Fabbers*. Con esta contracción, de “fabricante digital”, se hacía referencia a las máquinas capaces de convertir los datos digitales en productos físicos [56]. Sin embargo, los precios de las impresoras tridimensionales eran prohibitivos, oscilaban entre los 48 000 y los 800.000 dólares. Entre 1988 y el año 2000 se vendieron unas 5.500 impresoras en todo el mundo, para uso industrial y científico [55].

En la figura se muestra como se imaginaba la fabricación digital en el año 2000.

Una encuesta [57] realizada en el 2012 a 350 participantes y cuyos resultados muestran varios datos interesantes acerca de la evolución de la impresión en 3D y de sus impresoras uno de los datos sobresalientes en esta encuesta es el año en el que uso por primera vez una impresora 3D.

Vemos en la figura 35 como ha habido un crecimiento exponencial en el uso de impresoras 3D todo debido a que existen nuevos tipos de impresoras más accesibles al movimiento *maker*, que no solo tienen un precio bajo sino que también se encuentran

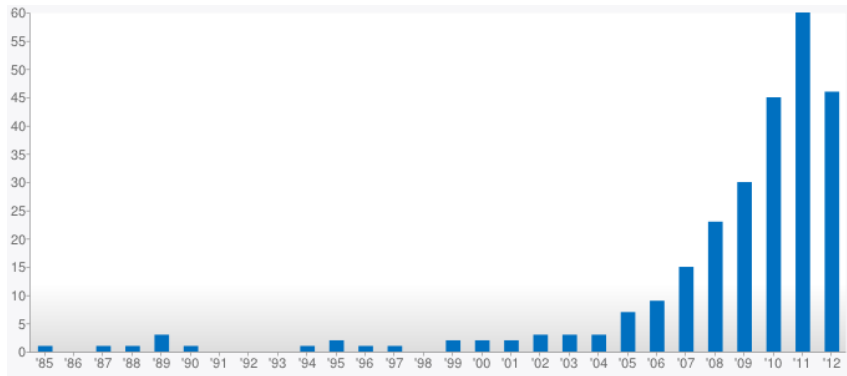


Figura 35: ¿En que año uso una impresora 3D por primera vez?
Fuente: Statistical Studies of Peer Production [57]

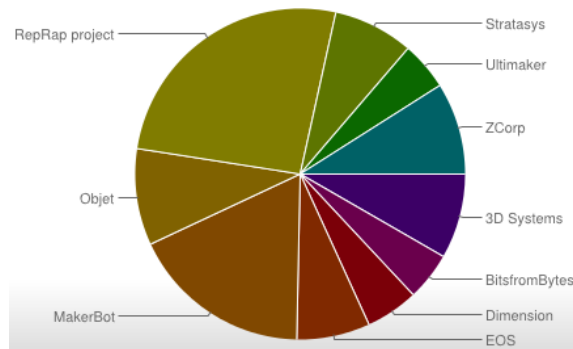


Figura 36: ¿De que empresa es la impresora 3D que usa?
Fuente: Statistical Studies of Peer Production [57]

en un nuevo enfoque de la cultura Open Source en el que cualquier persona puede encargarse un Kit DIY y fabricar su propia impresora y si se trata de una RepRap podría incluso fabricar otra igual, es decir un clon.

En la misma encuesta se revelan los datos de cuáles son las impresoras más usadas hasta esa fecha.

En la figura 36 se muestra claramente que el Proyecto RepRap ocupa el primer lugar, seguido de MakerBot, sus orígenes no son muy distintos dado que MakerBot nació de la misma iniciativa del proyecto RepRap [57].

Una encuesta realizada por 3dhubs más reciente de octubre del 2014 y con una muestra más grande que representa el 1,5% del universo de más de 100,000 impresoras, es decir 1500 muestra un cambio en las tendencias.

3D Printer Manufacturer Distribution

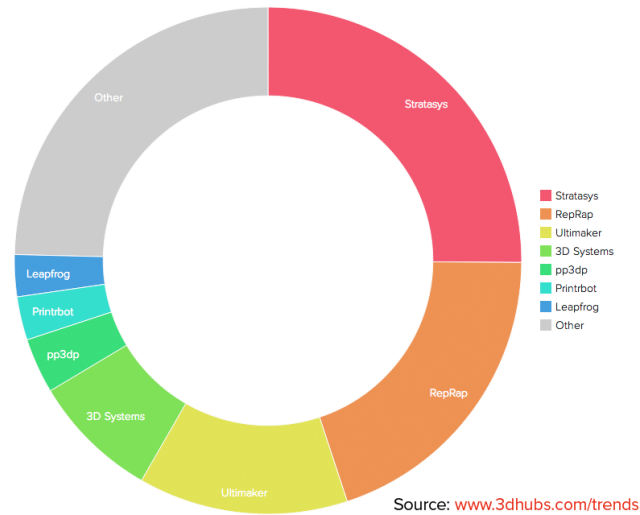


Figura 37: Ventas de productores de impresoras 3D
Fuente: 3DHubs Trends [5]

En la figura 37 se aprecia que Strataysys lidera el mercado dada la reciente compra de Makerbot y Object, pero el proyecto RepRap se mantiene en los primeros lugares en producción de impresoras 3D, también se puede ver un crecimiento de la producción de impresoras por parte de Ultimaker, además existen otras empresas como 3D SYSTEMS, pp3dp, Printrbot, Leapfrog, etc. Lo que crea un amplio mercado en donde existe una gran posibilidad de escoger la impresora que más se adapte a las necesidades del usuario.

En un análisis detallado de la distribución de los modelos se puede apreciar la figura 38 una gran variedad de impresoras de las cuales la más difundida, es la MakerBot Replicator2, luego la Ultimaker 2 .Tercera y con el valor añadido de se Open Source la Prusa I3 goza de una gran popularidad, que a pesar se ser una impresora con menores prestaciones, sin embargo es muy personalizable y al alcance de todos. De manera general vemos que tres grandes manejan el mercado de impresión 3D MakerBot Ultimaker y El Proyecto RepRap [5].

El análisis detallado de todos los modelos características principales y precio se presenta en la sección de Anexos.

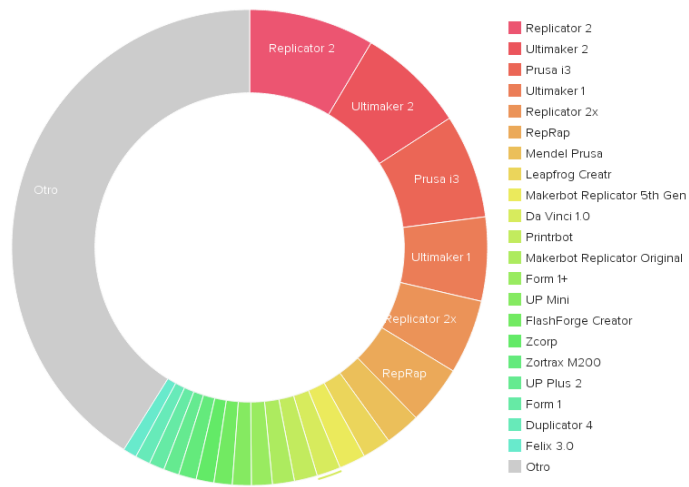




Figura 38: Popularidad de Impresoras 3D
Fuente: 3DHubs Trends [5]

4.2. Impresoras Profesionales y DIY

Dentro del mundo de la impresión 3D existe una extensa variedad de tecnologías de impresión, fabricantes y modelos de impresoras. Para el análisis se toma dos tipos de impresoras una profesional de alto rendimiento y una DIY con las funcionalidades básicas, cada una con su mecanismo de impresión en el caso de las profesionales generalmente STL y las DIY utilizan FFF, las características se describen en la tabla 3 .

Las impresoras Profesionales tienen un gran tamaño, aunque existen modelos con un tamaño similar al de las de escritorio, tienen un alto costo ya que garantizan un alto rendimiento y varias prestaciones pero también presentan alto nivel de restricción de la manipulación de software y hardware impidiendo que se pueda experimentar con los equipos debido a que son impresoras *Plug and Play*, que vienen listas para funcionar. Por otro lado están las impresoras DIY con un tamaño de escritorio, de bajo costo, rendimiento básico pero con el valor agregado de que sus diseños de software como de hardware son de Código Abierto y se puede acceder a ellos lo que permite manipular todos sus componente y a pesar de no ser adecuadas para el uso profesional pueden llegar a convertirse en una herramienta personal de gran valor y potencialidad, por esta razón las impresoras DIY Open Source constituyen un campo de investigación extenso, crean una fuente de conocimiento que puede ser usado para desarrollar nuevas impresoras a diferencia de las profesionales industrializadas cuyo diseño de hardware y software es inaccesible. Las impresoras de escritorio Open Source se constituyen en un camino a seguir para nuevas investigaciones sin tener que estar vinculado con ninguna

Tabla 3: Impresoras Profesionales vs. Escritorio

	Profesional	DIY
Imagen (Referencia)		
Costo Impresora	Alto	Bajo
Materiales de impresión	Polvos plásticos	Rollos de filamento
Costo materiales impresión	Alto	Bajo
Proveedor	Fabricante	Mercado abierto
Carcasa	Metálica	Mdf o acrílico cortado con láser
Software	Propietario	Abierto
Formación	Cursos especializados pagos.	Libre, Código abierto
Prestaciones	Altas	Bajas pero mejorables
Licencias	Copyright	Open Source
Evolución	Lenta	Rápida
Nivel de Personalización	Bajo	Alto

Fuente: El investigador

empresa, por lo tanto no se infringen derechos de copyright y no es necesario tener un laboratorio de investigación con equipos costosos. El mecanismo de impresión que utilizan las impresoras DIY es FFF y utiliza como suministros de impresión ABS y PLA.

El proyecto RepRap se ha constituido en un pilar de referencia para el desarrollo de impresoras 3D Open Source, a través de los años ha ido desarrollando modelos que constituyen un gran aporte al patrimonio tecnológico de la humanidad al cuál todos pueden acceder y usar y compartir ha logrado que la impresión 3D cada día este más al alcance de más personas y los investigadores y desarrolladores que siguen la cultura libre trabajan en conjunto para crear nuevos modelos de los cuales se crean versiones mejoradas, permitiendo así que lleguen a estar a la altura de las prestaciones de las impresoras 3D profesionales. A continuación una descripción de varios modelos originales que tienen como valor añadido que a excepción de los dos últimos pueden imprimir la mayoría de sus piezas para repararse o construir otra igual [19].

4.2.1. Selección del Modelo de Impresora Personal

A continuación se hace un análisis de las características de los miembros mas notables y más documentados de la familia de impresoras pertenecientes al Proyecto RepRap, desde la Darwin, pasando por la Mendel, Prusa Mendel su sucesor la prusa I2 y al final la Prusa I3, para luego analizar a profundidad sus mecanismos y elegir el diseño mas adecuado [7].

RepRap Darwin

Es el modelo más antiguo que se encuentra en la web de RepRap ya que actualmente las demás han evolucionado mejorando el rendimiento y simplificando el conjunto de componentes de la impresora. RepRap se basa en el uso características de robots cartesianos, el extrusor se mueve en el plano XY y la base se mueve en dirección del eje Z el Volumen de impresión de 230mm (X) x 230mm (Y) x 100mm (Z), el material que utiliza es un poliéster bio-degradable PCL. El grosor de su línea y espacio en base a FFF es de 0.5 a 0,2, cada capa tiene un grosor de 0,3 mm, tiene una precisión de 100 um. Funciona con una fuente de 12 VDC 3A pesa 14 Kg. Ver figura 39a). [58]

RepRap Mendel Original

Fue la primera evolución del proyecto RepRap, con este modelo se consiguió un funcionamiento perfecto de la maquina suprimiendo problemas en los ejes, mejoras en el cambio de inyectores, el ensamblaje se simplifico y con ello se hizo más ligera y portátil. extrusor se mueve en el plano XZ y la base se mueve en dirección del eje Y Tiene un volumen de impresión de 200 mm (W) x 200 mm (D) x 140 mm (H), utiliza PLA, HDPE, ABS, El grosor de su línea y espacio en base a FFF es de 0.5 a 0,2, cada capa tiene un grosor de 0,3 mm, tiene una precisión de 100 um. Ver figura 39b). [59]

RepRap Prusa Mendel

La primera evolución del modelo Mendel original se basó en la simplificación del conjunto completo y corrección de errores encontrados en el modelo anterior para mejorar aún más su rendimiento. Tiene un volumen de impresión de 200mm x 200mm x 140mm. Ver figura 39c). [60]

RepRap Prusa I2

Es una mejora de la Prusa mendel (Prusa I1) es un modelo que tiene 63 mejoras entre las cuales esta que los componentes se introducen a presión, se reduce la necesidad de uso de herramientas, mejores correas para el movimiento de los ejes y lo más importante mayor información de cómo construirla. Su volumen de impresión es de 200mm x 200mm x 150mm. Ver figura 39d). [61]

RepRapHuxley

Es una RepRap III basada en la segunda generación de RepRaps, Mini Mendel, es decir es una Mini Mendel con partes re-diseñadas y con mejor documentación, con electrónica definida y una selección de firmwares y software para su manejo. Su volumen de impresión es de 200mm x 200mm x 150mm. Ver figura 39e). [62]

RepRap Prusa I3

Es el último modelo de la familia prusa de la cual se derivan varios modelos como la Einstein, Rework y Hephestos que en esencia son lo mismo pero con modificaciones que mejoran el proceso de impresión. En general tiene un volumen de impresión de (200x200x200)mm, sin embargo y debido a su diseño paramétrico sus piezas pueden ser modificadas para obtener volúmenes mayores o menores. Tiene un marco que le brinda mayor rigidez y tiene un montaje simplificado. Puede imprimir con PLA y ABS. El grosor de su línea y espacio en base a FFF es de 0.5 a 0,2, cada capa tiene un grosor de 0,3 mm, tiene una precisión de 100 um. Ver figura 39f). [63]

Printrbot Plus

Es una impresora 3D creada por Brook Drumm y su fabricación fue originalmente financiada a través de Kickstarter. Fue concebida para uso hogareño de usuarios y entusiastas que pretenden dar sus primeros pasos en el tema de la impresión 3D. Esto se debe principalmente su reducido tamaño, así como su gran facilidad de ensamblado. Su volumen de trabajo es de (100 x 100 x 100) mm una precisión de 100um y una velocidad de 60 mm/s. Ver figura 39g). [64]

Microdelta

Su modelo es muy intuitivo y fácil de armar tiene muy pocos tornillos y tuercas y los tres ejes son de ensamblaje idéntico utiliza Teensylu como tarjeta de control tiene un área de impresión de (120 x 190 x 200) mm y una velocidad de 70 mm/s. Imprime sólo en PLA. Ver figura 39h). [65]

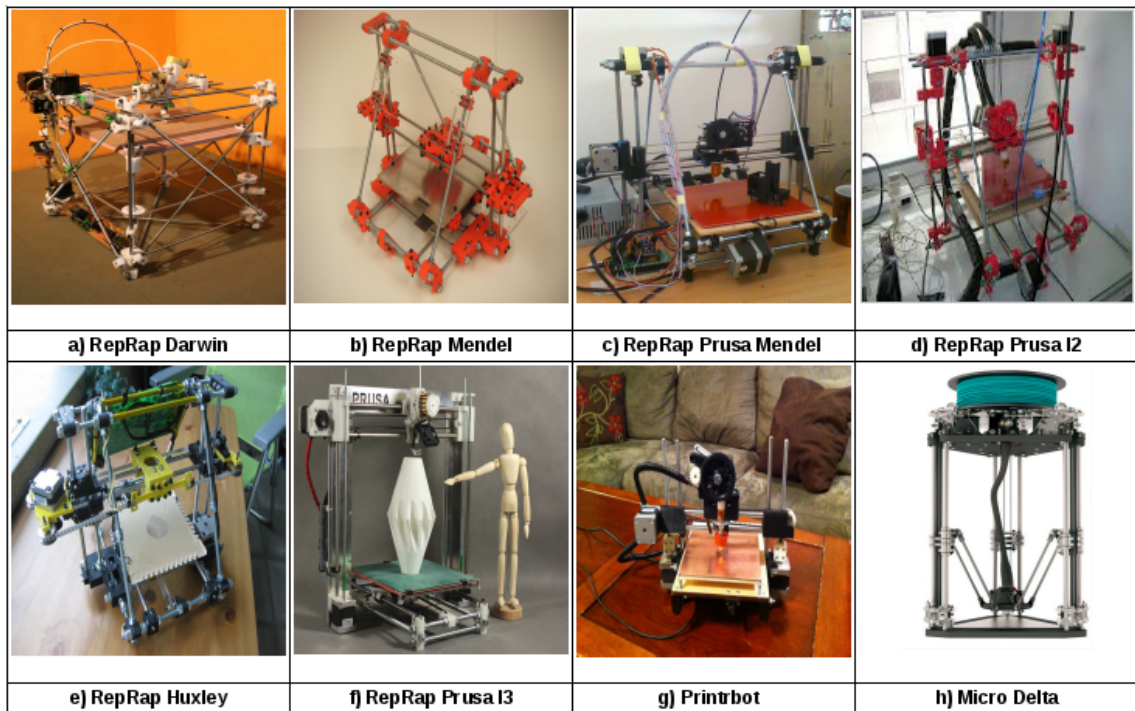


Figura 39: Diferentes modelos de impresoras 3D Open Source
Fuente: El investigador

En la tabla 4 se realiza un resumen de las características para escoger el mejor modelo.

Tabla 4: Tabla de selección de modelo

Modelo	a	b	c	d	e	f	g	h
Documentación	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si
Open Source	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si
Replicable	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	No
Año	2008	2009	2010	2011	2009	2012	2011	2011
Mayor Volumen	Si	No	No	No	No	Si	No	No
Piezas Impresas	66	53	42	37	35	22	N/A	N/A
Construcción	Lenta	Lenta	Lenta	Lenta	Lenta	Rápida	N/A	N/A

Fuente: El investigador

De acuerdo a la documentación encontrada en los diferentes *blogs*, *wikis* y paginas web diseñadores o fabricantes se llega a la conclusión que el proyecto RepRap constituye la principal fuente de diseños de impresoras 3D con una alta participación de los integrantes de la comunidad en el desarrollo colaborativo de proyectos, por esta razón quedan descartadas las opciones de PrintrBot y MicroDelta que no siguen los lineamientos de la comunidad de ser Open Source y Replicables.

En este estudio se tomara como referencia a los modelos Darwin y Prusa I3 por

sus características superiores para el análisis de sus mecanismos de movimiento. Si bien es cierto la Darwin es un modelos discontinuado su análisis es importante por que su sistema ha sido adoptado por otros fabricantes como Makerbot (Figura 28) y Ultimaker (Figura 30) han evolucionado este modelo pero no son Open Source.

4.3. Diseño conceptual Impresora 3D

4.3.1. Definición del Problema

Esta parte del trabajo esta basada en la metodología de la Guía de diseño de Robots de servicio [66]y esta dedicada a describir como nace la idea de la creación del robot de acuerdo a las especificaciones en base a las necesidades de los usuarios lo que lleva a la versión pre-alfa de un Sistema Robótico orientado a la resolución de los problemas planteados. Donde la idea original que es convertir bits en átomos, pasara por varios procesos que se muestran en la figura 40.

El primero es un planteamiento del problema que somete la idea a un análisis en donde se tome en cuenta a los usuarios, al entorno y a las aplicaciones que identifique necesidades para la generación y reproducción de ideas . En un segundo proceso se realiza un análisis de especificaciones generales y concretas que generan las características funcionales y especificaciones técnicas, que nos permite pasar al análisis económico de acuerdo al esquema de la figura 40.

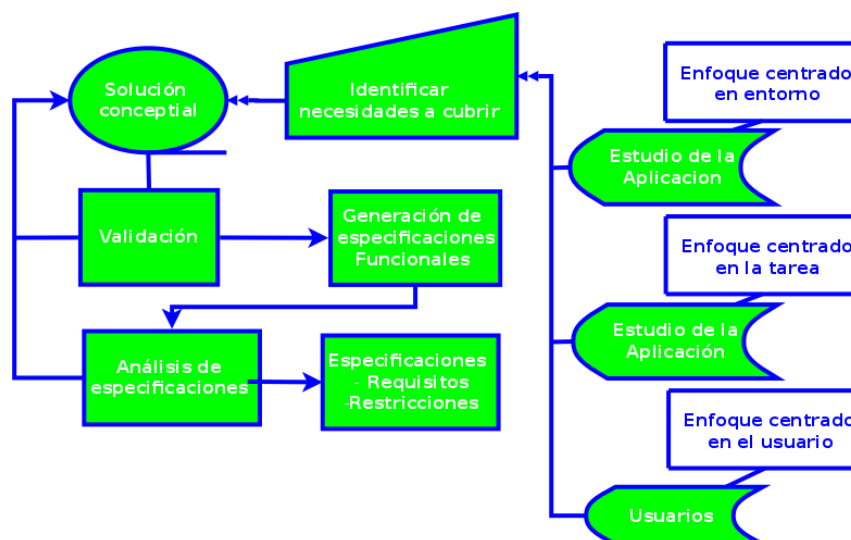


Figura 40: Esquema representativo de la etapa de planteamiento del problema

Fuente: Guía diseño de Robots [66] Realizado en DÍA

4.3.2. Planteamiento del problema

La fabricación digital utiliza de manera simultanea la creación de definiciones de productos y procesos de fabricación, en el contexto de un diseño concurrente, en el cual se pueden realizar en paralelo las distintas fases de diseño y elaboración de un producto, mediante el uso de un sistema integrado, para su funcionamiento incorpora varios elementos, el principal el uso de un computador para la simulación, la visualización en 3D y análisis de las características físicas del producto final [67].

El siguiente paso en la fabricación digital es convertir los “bits en átomos”, este termino se refiere a llevar los diseños digitales a objetos físicos es un concepto que se ha venido desarrollando desde comienzos del siglo XXI, donde la idea de una revolución en fabricación que deje obsoleta la fabricación industrial y llevar los procesos de fabricación de la industria al escritorio como un accesorio mas en el desarrollo de nuevas ideas y dar paso a una nueva generación de fabricantes digitales “*fabbers*” que mediante la utilización de herramientas de fabricación digital pueden convertir bits en objetos físicos [56].

Existen varias herramientas de fabricación digital pero de ellas sin duda la mas importante y la que mas repercusiones ha tenido desde su creación es la impresión 3D, sin embargo desde siempre la tecnología de impresión 3D ha estado fuera del alcance debido a los precios elevados de las impresoras que solo estaban destinadas a un reducido mercado de usuarios entre los cuales estaban las industrias y los centros de investigación científica.

Con el objetivo de ampliar el mercado de usuarios y hacer que la tecnología sea menos prohibitiva entre el 2005 y 2008 convergieron una serie de sucesos favorables a la evolución que lleva a la fabricación de objetos de la industria a la manufactura personal de escritorio, entre los cuales esta el proyecto de Adrian Bowyer, el RepRap cuyo objetivo es brindar de impresoras 3D de código abierto que pueden ser replicadas y fabricadas por cualquier persona y que ademas se le pueden aplicar las libertades del Software Libre, lo que permite modificar y evolucionar los diseños originales [55].

La evolución de los procesos de fabricación de la industria a la fabricación digital personal ha avanzado muy rápido gracias al *crowdsourcing* brindando la oportunidad de aportar con nuevos avances a cualquiera que lo desee, de aquí la necesidad de participar en este acontecimiento global con el diseño y construcción de una impresora 3D de escritorio Open Source que utilice conceptos de control numérico para su funcionamiento y sirva en el ideal de llevar la fabricación digital a todos los lugares donde se requiera de ello, con un bajo costo [26].

4.3.3. Análisis, Comprensión y Descripción del Contexto de Uso

Según la Guía de diseño de Robots de servicio [66] en el diseño de un robot se deben tomar en cuenta consideraciones que permitan cumplir con los requerimientos del usuario, para tolerar las limitaciones que implican la ejecución de la tarea a ejecutarse y las determinadas por el entorno. Al tratarse de un proyecto de dimensiones globales en el que en cada parte del mundo se ha hecho un estudio son diferentes puntos de vista, cada uno provee datos de experiencias que nos ayudan a definir el camino que debemos seguir de acuerdo a las experiencias de otros investigadores.

También se debe tomar en cuenta la realidad del entorno en el que se va a desarrollar el proyecto debido a las limitaciones de acceso a ciertos materiales y recursos dentro de los cual se contempla un estudio de mercado de acuerdo a la realidad de nuestro país, permitiendo recopilar información tanto bibliográfica como de campo asociada a la realización de labores referentes al trabajo de investigación. Se cumplió con el estudio en tres perspectivas:

Diseño Centrado en el Entorno: El espacio disponible para el Sistema Robótico debe optimizado al máximo tomando en cuenta que funcionara en espacios de fabricación digital personal, es decir espacios de estudio investigación y hobby, sea virtuales o físicos

Diseño Centrado en el Usuario: La parte mas importante a considerar en el diseño es el usuario ya que convive directamente con el Sistema Robótico, los usuarios pueden usarla para trabajos domésticos o profesionales, no se limita su uso solo a expertos en tecnología o informática, el usuario puede crear objetos físicos sin necesidad de recurrir a herramientas complejas, el sistema debe tener protecciones para que los usuarios no accedan al sistema mientras esta trabajando, sin embargo pueden tener el control del proceso todo el tiempo y pueden supervisarlo en cada una de sus etapas.

Diseño Centrado en la Tarea: Las tareas a realizarse por el sistemas son la elaboración de distintos objetos físicos utilizando como base un diseño digital en 3D creado por un lenguaje gráfico, para lo cual usa una tecnología que tiene como componente principal un plástico que se derrite a una cierta temperatura y produce el objeto por capas de acuerdo al diseño digital que luego es convertido en un código de control numérico que luego es interpretado por el Sistema Robótico, se debe tener en cuenta las dimensiones máximas del objeto a imprimir, el espesor de cada capa

de material, el diámetro del filamento de plástico que se usará y el error aceptable en cada una de las magnitudes descritas y la cantidad de horas de trabajo continuas del robot sin necesidad de mantenimiento.

4.3.4. Identificación de las Necesidades a Cubrir

La impresión 3D es un campo muy general, pero de acuerdo al análisis inicial se llega al estudio cuantitativo de las necesidades a cubrir. Con los datos obtenidos de un estudio bibliográfico y de campo se definen de manera cuantitativa ciertas especificaciones, que aseguran que el sistema funcione según lo requerido, las experiencias del Proyecto RepRap sirvieron de mucho en el análisis de las necesidades y la generación de las especificaciones que se detallan a continuación:

- El diseño de los componentes de la impresora deben ser paramétricos para que se pueda utilizar múltiples tamaños de cojinetes o rodamientos.
- El diseño debe ser modular para que se pueda modificar un aspecto sin que afecte el funcionamiento de las demás partes.
- Las piezas deben ser imprimibles en lo máximo posible para replicar el modelo.
- El tamaño máximo aproximado de la Impresora debe ser de 45cm x 45cm x 45cm (L,A,H)
- Las articulaciones deben convertir el movimiento circular de los motores en movimiento lineal.
- Se debe diseñar los componentes tomando en consideración que a futuro su mantenimiento sea fácil, no dejar piezas móviles en lugares sin acceso.
- Optimizar recursos electrónicos utilizando una plataforma de desarrollo Open Source.
- La impresora será de código abierto para que otras personas puedan acceder a los planos.
- La tecnología que se usará para la impresora 3D es FFF (Fabricación con Filamento Fundido).
- El volumen de impresión debe alcanzar 20 cm x 20 cm x 20 cm.
- El Sistema Robótico debe se debe diseñar con tres ejes lineales perpendiculares entre si, que funcione con control numérico CNC.

- El extrusor debe manejar un mecanismo que convierta la potencia que genera el motor de movimiento circular en movimiento lineal que lleve el filamento de plástico desde el extremo frío hacia el extremo caliente, de ser necesario se debe diseñar un reductor para entregar la potencia necesaria.
- El extrusor debe tener dos extremos aislados, con un extremo frío por donde ingresa el filamento de un determinado diámetro y un extremo caliente donde se funde el material y su diámetro de salida es menor.
- La temperatura del extremo caliente extrusor debe funcionar con un control PID, con un valor de temperatura de referencia de acuerdo al tipo de plástico usado.
- El extrusor de la máquina debe estar en la capacidad de operar con filamentos plásticos de 1.75 mm y 3 mm.
- Los materiales de impresión son PLA y ABS.
- La base de impresión debe tener un control PID para que el nivel de temperatura sea el adecuado de acuerdo al tipo de material.
- Un HMI se encargara de manipular los datos del código G procesado en un computador independiente y realizara el control y monitoreo de posición y variables de impresión como temperatura y velocidad.
- El sistema debe de estar en posibilidad de conectarse a una toma de energía eléctrica de 110v AC, debe contar con el sistema que convierta en niveles energía de DC necesarios para cada componente de la máquina.
- El costo comercial de la máquina no debe exceder los \$1500 dólares.

4.3.5. Características Funcionales

En el diseño de un Sistema Robótico de acuerdo a [66] se hace necesario definir especificaciones mediante el estudio de la funcionalidad que debería tener el sistema para que pueda alcanzar los objetivos de la aplicación.

El desarrollo de un Sistema Robótico no solo depende de que se cumpla las secuencias de movimientos requeridos además de eso tiene que cumplir además con todos los requerimientos económicos y tener claro el aspecto de derechos de explotación del producto alcanzado.

Definir claramente las especificaciones de un sistema ayuda a que el diseño final cumpla sus objetivos con el menor uso de recursos, es una parte importante del diseño

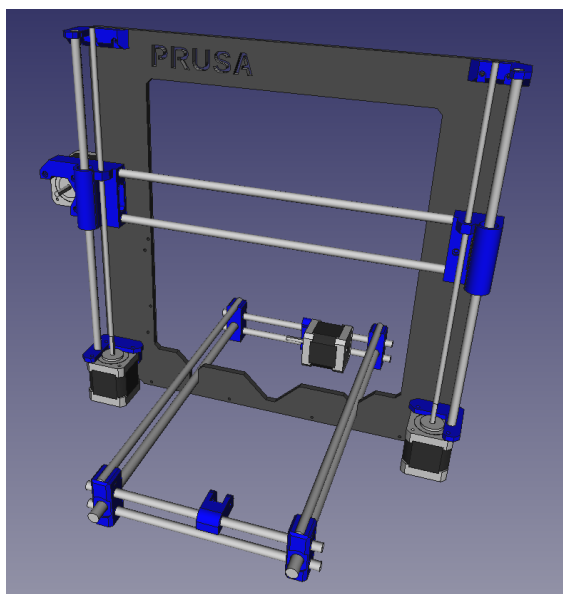


Figura 41: Escenario del robot
Fuente: El investigador. Realizado en OpenSCAD

que evita asignar característica demasiado generales a los Sistemas Robóticos que luego provoca que los diseños sean poco precisos y no cumplan completamente con los requerimientos del usuario.

El proceso de generación de especificaciones se aplica a cuatro agentes básicos: tarea escenario usuario y seguridad.

Escenario

Se ha definido claramente desde un principio que el escenario donde funcionara el robot debe ser la cotidianidad de la mesa de trabajo de un estudiante, investigador o fabricante digital, *Fabber*, apasionado por el movimiento *Maker*.

El escenario es un entorno estático cuya única restricción será que tenga el espacio suficiente para colocar el robot cuyos movimientos son predecibles de acuerdo a sus ejes cartesianos y se realizan dentro del espacio destinado para el volumen externo del sistema, ver figura 41, puede ser variante en el tiempo dada la versatilidad que debe tener su manejo que permite mover el robot de un lugar a otro dentro del entorno de trabajo sin afectar su funcionalidad brindándole un bajo nivel de complejidad, la incertidumbre sera impredecible debido a que cada usuario tiene un ambiente de trabajo distinto.

Un aspecto importante en el sistema es que debe ser seguro sin ninguna amenaza debido a que el sistema es imperturbable por la acción externa del usuario, ver figura 42.

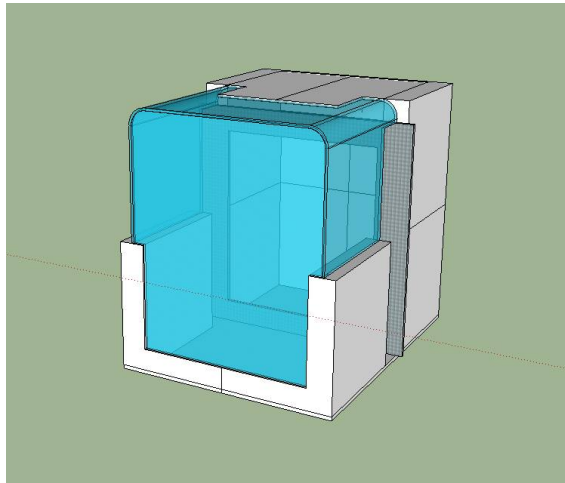


Figura 42: Seguridad del robot(carcasa)
Fuente: El investigador. Realizado en Sketch Up



Figura 43: Geometría del escenario
Fuente: El investigador. Realizado en Inkscape

La geometría del escenario, que en este caso puede ser muy variante, el robot puede tener cualquier posición y orientación, la única limitación que se establece es que respete el espacio que necesita el robot para ser ubicado, las dimensiones aproximadas del robot incluida la carcasa es de 45 cm x 45 cm x 45 cm (L,A,H), ver figura 43 .

Un escenario que se imagina como el mas común es una mesa de trabajo en donde estará ubicado el productor de diseños en 3D digitales, es decir, un computador sea de escritorio o portátil, que proporciona una localización y planificación útil en el diseño. Se proporcionan un mapa de escena de la posibles ubicación del Sistema Robótico, la única restricción para el escenario es que soporte los aproximadamente 15 kilos de peso incluido el rollo plástico de suministro .

Con respecto al área de trabajo del robot, queda bien definida mediante los mapas de escena que definen claramente la región de trabajo del robot, dejando acotados los limites y restricciones para evitar colisiones.

El robot se encuentra aislado del entorno lo que lo hace de fácil adaptación a cualquier escenario, no debe reaccionar a estímulos del escenario por lo que no se necesitan sensores que midan las magnitudes físicas externas a él.

Usuario

El escenario está compuesto por varios elementos que componen el entorno, además de esto debe existir espacio para el Sistema Robótico y el usuario, el objetivo del diseño centrado en el usuario es conseguir datos que describan el proceder de los usuarios de un producto y utilizar esta información para guiar el desarrollo del producto desde el principio para que al final resulte un producto provechoso para el usuario dándole un alto nivel de uso siendo en el caso particular de la impresora 3D el universo de usuarios es muy grande cada uno con necesidades distintas, por lo que es importante diseñar el producto para que su uso sea intuitivo, lo que lleve a que cualquier usuario sin importar su nivel o formación académica pueda usar y entender sin problema el equipo con un alto nivel de satisfacción y eficiencia de uso lo que lleve a una rápida adopción del sistema para el uso en la resolución de problemas diarios, teniendo como placentero el uso de la impresora 3D debido a su diseño cómodo y ergonómico [68].

Tarea

La principal tarea de la impresora 3D es convertir diseños digitales en 3D en objetos físicos, es decir convertir la información expresada en bits en objetos físicos compuestos de átomos, este proceso lo realiza por adición de material usando un dosificador de plástico que crea el objeto por capas de acuerdo a las instrucciones de un código interpretado por un sistema de control numérico, algo muy útil al momento de visualizar un diseño dado que los lenguajes gráficos son incapaces de contener la información necesaria para la realización de ensayos del producto. Las principales tareas que cumple la impresora 3D pertenecen a campos como la producción de maquetas, prototipos y modelos estéticos y funcionales. Es importante también decir que las tareas a realizar pertenecen al prototipado rápido, con propósitos educativos, investigación experimental y como Hobby dentro de los lineamientos de la cultura libre, el movimiento *Maker*, el DIY y el DIWO. Los objetos creados son en parte una muestra del concepto que se creará y hacer las pruebas de ingeniería de dicho objeto.

Seguridad

El aspecto de la seguridad es de gran importancia en el diseño de un Sistema Robótico, es primordial que se cumpla con todos los objetivos en el diseño del robot pero que además se garantice la seguridad en todos los procesos del sistema. En el caso del diseño de un impresora 3D es necesario considerar que realiza sus movimientos muy cerca del usuario, el robot no debe causar daño al usuario funcionando normalmente pero tampoco en la eventualidad de un fallo que en caso de existir debe causar el menor daño posible, asegurados estos puntos en el diseño se puede continuar con el planteamiento y cumplimiento de objetivos relativos al robot en funcionalidad, rapidez, precisión y demás factores.

Normativa para Evaluación del Riesgo y Seguridad La norma referente a maquinas con control numérico, nomenclatura de ejes y movimientos es UNE 116001:1988 [69].

Riesgo y Seguridad para el Usuario El riesgo es una proporción que resulta luego de realizar la multiplicación de dos magnitudes, por un lado las consecuencias resultantes de un accidente y por otro lado la probabilidad de que ocurra el accidente. Por cuestiones de facilidad de calculo existe una tabla que divide el riesgo en cuatro grados de peligrosidad en función de que el daño sea inexistente, leve intenso o mortal. De acuerdo al análisis de las fuerza necesaria para la operación del robot no se maneja suficiente como para causar daño a una persona, sin embargo la manipulación de altas temperaturas para el proceso de extrusión de plástico pueden llegar a causar un daño leve al usuario, por lo que de acuerdo a la escala de cuatro niveles un impresora 3D tiene un grado 2.

Debido a que existe la posibilidad de que el usuario sufra un leve daño se hace necesario diseñar un mecanismo que proteja al usuario además de la lógica programable. Se puede clasificar en dos grupos. La estrategia pre contacto que en nuestro caso será una carcasa adecuada que aisle los componentes con alta temperatura y siendo una estrategia pos contacto de responsabilidad del usuario mediante el uso de guantes.

Mecanismos para Reducir el Riesgo La seguridad es un aspecto que no debe descuidarse, sin embargo no debe repercutir en la disminución de las prestaciones del robot, debe encontrarse un punto medio mediante la implementación de políticas desde los primeros niveles de diseño que se basen la fiabilidad, uso de componentes con seguridad intrínseca y el uso de redundancias de control. Consiguiendo así un

Sistema Robótico que cuide sus dimensiones y rango de operación, use componentes que brinden seguridad como frenos reductoras contrapesos, todos ellos que eviten situaciones de enredo de cables y en el ultimo caso uso de barras y finales de carrera. Todo esto dentro de la redundancia de sistemas de control que sin embargo de su utilidad aumenta el valor económico, la complejidad y el numero de componentes.

4.3.6. Especificaciones Técnicas de un Robot según Aplicación

Las especificaciones Técnicas según [66]se detallan a continuación.

Espacio de Trabajo Útil y Efectivo

Para realizar una aproximación de la definición del espacio de trabajo, se empieza diciendo que es el espacio dentro del cual el mecanismo puede trabajar, de manera mas formal se define el termino espacio de trabajo como “El espacio de trabajo de un robot está definido como el grupo de puntos que pueden ser alcanzados por su efector final ”.

El espacio de trabajo útil hace una representación del lugar geométrico de todas las posiciones que alcanza el robot con cualquier orientación de su extremo, también conocido como espacio de trabajo de orientación total (ETOT). Mientras que el espacio de trabajo efectivo o máximo define los puntos accesibles para el robot en al menos una orientación, conocido también como alcance.

En el caso de una impresora 3D el espacio de trabajo útil y efectivo aportan la misma información debido a que la tarea a ejecutar solo se relaciona con el posicionamiento del efector final, el espacio de las tareas será el que represente la plataforma de impresión, la plataforma de impresión tiene una forma cuadrangular de 20 cm por lado y el objetivo es que el espacio de trabajo represente un cubo de 200 mm por lado es decir un volumen de impresión de $8 \times 10^6 mm^3$ o $8 \times 10^{-3} m^3$.

Capacidad de Carga

La capacidad de carga de un robot está definida por el peso en gramos que puede manipular en las tareas a realizar, en el caso de la impresora 3D la única carga que tiene que soportar el sistema es el del efector final, en el caso de un extrusor simple de tecnología FFF utiliza un motor de pasos con un peso de aproximadamente 500 gramos incluido los reductores plásticos y tornillos.

Tipo de Configuración

El tipo de configuración de un robot hace referencia a la disposición de las articulaciones de sus componentes, en el caso del Sistema Robótico usado para impresión 3D, necesita estar sobre una base fija a una superficie plana con disposición horizontal, es decir robots estáticos, la clasificación de los robots de acuerdo a la forma física (geometría) que se le ha dado al brazo del robot que se basa en el sistema de coordenadas usado para su diseño. En la actualidad no existe una manera estándar de clasificar robots pero en la práctica se utiliza la geometría del brazo que se basa en el diseño del sistema mecánico, de acuerdo al sistema de coordenadas usado y al tipo de articulaciones que permiten los movimientos de los elementos que conforman el robot. Considerando cuatro configuraciones básicas [70]:

- Robot Cartesiano PPP
- Robot Cilíndrico RPP
- Robot Esférico RRP
- Robot Articulado RRR

Debido a la forma cuadrada de la base de impresión se debe escoger una configuración que se adapte de mejor forma al espacio de trabajo que se represento mediante la forma de un cubo por lo que se descarta las configuraciones de robots cuyo espacio de trabajo son cilíndricas o esféricas que si bien es cierto podrían cumplir el trabajo pero el desperdicio de espacio de trabajo se daría por la diferencia de las superficies, dejando como la configuración mas apta a la cartesiana que tiene movimientos lineales de alta precisión por tanto cumple con la geometría requerida. Una impresora 3D con tecnología FFF necesita de una base de impresión sea esta caliente o fría dependiendo si se utiliza ABS o PLA y un extrusor para que coloque las capas de plástico para generar el objeto tridimensional. Cada modelo de los mostrados en la figura 39 tiene su propio mecanismo de movimiento, de acuerdo a los movimientos de cada uno de sus ejes, para mover la base y el extrusor de acuerdo a las ordenes del código que genera una figura, en la sección 4.2.1 se concluye que el Sistema Robótico debe ser diseñado haciendo referencia a uno de los dos tipos de mecanismos; el de la Darwín o Prusa I3, que cumplen con el requisitos conceptuales de ser impresoras de código abierto, replicables y con las especificaciones técnicas de ser robots cartesianos, estos modelos tienen dos sistemas de movimiento distintos que se analizan a continuación.

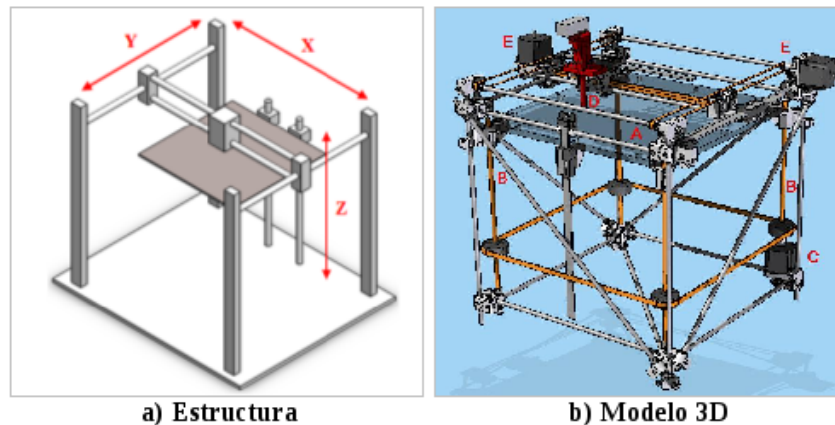


Figura 44: Representación de RepRap Darwin
Fuente: Mecanismos de movimiento [71]

Sistema de movimiento A

El soporte de la estructura son cuatro columnas que forman un cuadrado, mediante el mecanismo se apoya en las columnas genera un movimiento en el plano XY, en este plano se encuentra el extrusor y la base de impresión se mueve a lo largo del eje Z, es decir con relación a este eje tenemos un extrusor fijo y una base móvil, figura 44a . Esta estructura fue utilizada como base para el desarrollo de Darwin, la primera impresora del Proyecto RepRap, figura 44b. La ventaja de este modelo tiene mayor estabilidad en el extrusor y mayor área de impresión en XY en contraparte el movimiento de la base puede resultar mas complejo y necesita mas materiales para su construcción, tanto plásticos como de acero, tiene un volumen de impresión (230 x 230 x 100) mm o $5,29 \times 10^6 \text{ cm}^3$.

Sistema de movimiento B

El mecanismo ubica el extrusor sobre el eje X, este eje se desliza sobre dos sistemas de varillas paralelas que constituyen el eje Z, la base de impresión esta ubicada en un mecanismo que se desplaza a lo largo del eje Y. Este sistema tiene una base fija y un extrusor en movimiento tomando como referencia al eje Z, los modelos de Mendel, Prusa I, II y III usan este sistema. En la figura 45a se muestra el esquema.

Hasta la Prusa II la estructura de soporte se construía con varillas roscadas formando dos triángulos paralelos que implica menos estabilidad y mas materiales, y no era un diseño paramétrico, el modelo Prusa I3 tiene por soporte un marco de aluminio, acrílico o madera, figura 45b La ventaja de este mecanismo es que genera un amplio volumen de impresión de (200x200x200)mm o $8 \times 10^6 \text{ cm}^3$, 100 mm. más de altura que la Darwin, con un diseño compacto y simple que optimiza el uso de

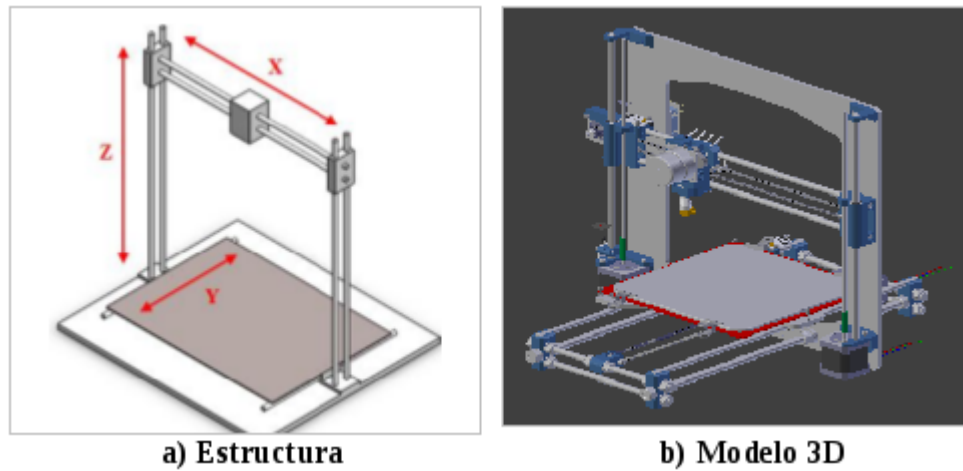


Figura 45: Representación de RepRap Prusa I3

Fuente: Mecanismos de movimiento [71]

piezas impresas figura. Las desventaja de este sistema es la inestabilidad del eje Z y el movimiento de la base en Y genera un mayor espacio de trabajo total y no cuenta con una protección.

Los costos y facilidad de fabricación y montaje así como su rigidez estructural son factores importantes a tomar en cuenta, se hace un análisis de los dos sistemas y sus modelos escogidos.

Selección del sistema de movimiento

Del sistema A el modelo Darwín (Figura 39a) resulta demasiado antiguo poco documentado y poco eficiente en el uso de los materiales de construcción por lo que se descarta esta posibilidad.

Del sistema B la impresora mas evolucionada y mas actualizada es la Prusa I3 que ademas al contar con un marco sólido resulta una mejor alternativa por su rigidez y optimiza el uso de materiales, razón por la cual ha alcanzado un amplio éxito y alta aceptación lo que ha llevado a los miembros de la comunidad a experimentar con el modelo original y perfeccionar cada uno de sus componentes, las versiones Einstein, Rework, Powercode y Hephestos (figura 27) han hecho su aparición con sustanciales mejoras todas ellas con sus respectivas licencias que permiten que sus planos sean estudiados y compartidos. La presente investigación ha llegado a determinar cuales son los mecanismos de las diferentes versiones de la Prusa I3 que mas éxito han tenido en las diferentes versiones y que se verán reflejados en la lista de materiales para la construcción de la presente impresora 3D, además de ellos se harán mejoras adicionales para que la impresora trabaje en modo *standalone*.

La selección del modelo Prusa I3 cumple con varios requisitos conceptuales y

especificaciones técnicas, las razones se detallan a continuación:

- La principal razón es que el modelo Prusa I3 tiene configuración PPP tipo Pórtico que se escogió de acuerdo al estudio de mercado y popularidad de modelos y es la más adecuada para una impresora 3D por especificaciones técnicas concretas de construcción.
- El diseño es mas sencillo debido a que el movimiento se cada eje es independiente y el espacio de trabajo del robot paralelo es menor.
- La estructura paralela tiene un margen de error menor y repetibilidad dos veces mejor que un robot serial.
- La velocidad de un robot paralelo es mayor que el de un robot serial lo que proporcionaría un menor tiempo de impresión que le brinda mayor producción a la impresora 3D.

Dimensión Mínima y Máxima

Para esta sección se utiliza como referencia a [66]. Considerando que el espacio de trabajo del sistemas es espacial y que no se necesita una gran destreza en el efector final se puede considerar un diseño de un robot con tres grados de libertad de acuerdo a la configuración cartesiana de pórtico seleccionada cada grado representa un eje XYZ. En el caso de esta configuración robótica escogida las dimensiones mínimas vienen dadas por el espacio sobre el cual debe trabajar, además el espacio máximo esta dado por la estructura externa del robot. Un parámetro que se puede analizar de acuerdo a las dimensiones del robot es la suma de las longitudes de cada eslabón de la cadena cinemática ecuación 4.

$$L = \sum_{i=1}^n (a_i + d_i) \quad (4)$$

$$L = a_1 + d_1 + a_2 + d_2 + a_3 + d_3$$

$$L = (0 + 20cm + 0 + 20cm + 0 + 20cm)$$

$$L = (20cm + 20cm + 20cm)$$

$$L = 60cm$$

Donde L representa la suma de las longitudes y las variables a_i y d_i representan los parámetros de Denavid-Hartenberg por cada articulación de las existentes.

También se puede calcular el índice de longitud estructural Q sin dimensiones ecuación 5.

$$Q = \frac{L}{\sqrt[3]{W}} \quad (5)$$

$$W = 20cm \times 20cm \times 20cm$$

$$W = 8000cm^3$$

$$Q = \frac{60cm}{\sqrt[3]{8000cm^3}}$$

$$Q = \frac{60cm}{20cm}$$

$$Q = 3$$

Donde L es la suma de longitudes y W es el volumen de trabajo.

Coefficiente de Diseño

Permite evaluar la capacidad de carga de un sistema y compararla con otros sistemas de distinta masa debido a que relaciona la longitud móvil del robot con la masa del mecanismo, ecuación 6.

$$C_d = \frac{Alcance \times N_{GDL}}{M} \quad (6)$$

$$C_d = \frac{60cm \times 3}{10000gr}$$

$$C_d = 0,18 \frac{cm}{gr}$$

Donde el alcance hace referencia a la longitud móvil del robot, NGDL los grados de libertad y M la masa del Sistema Robótico.

Precisión y Repetibilidad

En una impresora 3D con tecnología FFF que crea el objeto con un proceso de extrusión de plástico por capas la calidad de la impresión se mide de acuerdo a la altura de cada capa, mientras mas delgadas sean mayor es el detalle y la resolución del objeto impreso, una resolución aceptable en una impresora 3D es de 100 μm .

La repetibilidad de la impresora 3D mide la capacidad de un robot para regresar al mismo punto y se cuantifica mediante el error del robot al repetir una posición varias veces y debe tender a ser el menor posible debido a que la impresora 3D tendrá que regresar reiteradamente al mismo punto para crear una nueva capa de material con una posición levemente diferente debido a errores mecánicos que deben ser minimizados con un correcto diseño, los valores de repetibilidad deberán estar en el rango de $\pm 0.05 \text{ mm}$.

Estructura

De acuerdo a lo que se había definido previamente en un proceso de selección de la mejor estructura mas apta es la del modelo Prusa I3 con configuración de un Robot Cartesiano PPP Paralelo conocido como robot tipo Pórtico.

Eslabones y Articulaciones

Un robot cartesiano esta constituido principalmente por tres eslabones donde cada uno representa un eje del sistema de coordenadas que le da el nombre al robot, es decir XYZ, además esta es una configuración lineal que para sus movimientos utiliza articulaciones prismáticas o deslizantes que se representan con la letra P lo que le da al robot la configuración PPP.

Actuadores

Los actuadores que se usaran en esta aplicación son principalmente motores eléctricos debido a la baja cantidad de torque necesario para el funcionamiento del sistema, y dentro de los motores eléctricos debido a la exactitud de sus movimientos los motores de Paso a Paso son los mas indicados para este robot, que serán usados para el movimiento de cada uno de sus ejes y para el funcionamiento del extrusor montado en el efector final.

Sistema Sensorial

En cuanto al sistema sensorial se utilizara sensores de final de carrera que le indicaran al robot el inicio y el final de cada eje sirviendo para la funcione de puesta

en cero del sistema. Además se requiere también de sensores de temperatura que indiquen el valor presente en el sistema de extrusión y en la base caliente necesaria para la impresión.

Efactor Final

El efector final va en el extremo del robot es el equivalente a una mano humana que se encarga de realizar la tarea para la cual fue diseñado el robot en el caso de una impresora 3D el efector final consta de un extrusor de plástico que se encarga de calentar el filamento y dosificar o extrudir el plástico con la ayuda de un motor de pasos en cada capa del modelo a imprimir. En una impresora 3D el extrusor a pesar de tener un actuador no se considera como un grado de libertad adicional debido a que su tarea consiste en dosificar el material por lo que se le considera a todo el conjunto como el efector final sin considerar al movimiento del motor debido a que no realiza un proceso de manipulación.

Eficiencia Energética y Sostenibilidad

La eficiencia energética va de acuerdo al tipo de material que se utilice por ejemplo si utilizamos PLA no es necesaria la utilización de una base caliente para que el material se adhiera a la misma lo que no sucede con el ABS que necesita que la base tenga una cierta temperatura que lleva a que se necesite una fuente con una mayor potencia lo que implica que se necesite mas energía para la producción de objetos en ABS.

La impresión 3D ya tiene un intrínsecamente el valor agregado de utilizar menos energía para producir un producto y utiliza de manera eficiente la materia prima por lo tanto produce menos dióxido de carbono que implicaría producir un producto en una fabrica y llevarlo a la casa del cliente. Además que los materiales de impresión como el PLA que es fabricado a base de recursos renovables, que lo convierte en una alternativa ecológica a las alternativas hechas con plástico derivado del petroleo.

Los termoplásticos PLA y ABS son los mas utilizados en impresión 3D, pero a su favor el PLA tiene la característica de ser biodegradable ligero y fácil de utilizar, su punto de fusión es mas bajo que ABS y puede ser utilizado sin una base caliente factores que le permiten un ahorro de 32% de energía con respecto a utilizar ABS, todos estos factores hacen que el PLA tenga un reducido impacto medio ambiental [72].

Montaje, Puesta en Marcha y Mantenimiento

Para un mejor funcionamiento y ahorro de materiales de construcción es recomendable realizar un diseño de manera modular para que se pueda utilizar elementos similares que lleva a que se abarate el costo de producción además el diseño se deberá realizar de manera paramétrica lo que permite que cada una de sus piezas pueda ser dimensionada de acuerdo a las necesidades del diseñador y que permita utilizar el mismo diseño para realizar impresoras mas grandes o mas pequeñas sin necesidad de re-diseñar los planos de la impresora y que solo se necesite ajustar el mismo parámetro en todas las piezas

4.3.7. Justificación de las Condiciones Económicas

Estudio de Mercado

Debido a la evolución de las aplicaciones de la impresión 3D que hasta hace poco tiempo solo servía para la producción de prototipos en laboratorios sofisticados con impresoras a las que solo podían acceder quienes tuvieran un gran presupuesto asignado a investigación, pero esto a ido cambiado debido a que la gama de productos que se pueden producir se a ampliado llegando a ser útil en una gran cantidad de aplicaciones.

La impresión 3D tiene en la actualidad una tasa de crecimiento sobre todo en sectores en donde existe un bajo nivel de producción, con diseños complejos y altamente personalizados. La impresión 3D se ha convertido en la principal herramienta en fabricación personal [73].

Los principales factores que han incidido en el crecimiento acelerado del mercado de impresión 3D son el apareamiento tanto de nuevas tecnologías de impresión de la mano de nuevos materiales disponibles como el apoyo de gobiernos y centros de estudio a la investigación de esta temática y por sobre todo un enorme mercado sin explotar que ha hecho conciencia acerca de los beneficios de la utilización de nuevas técnicas de impresión que dejan de lado a las tradicionales.

De acuerdo a un estudio realizado por MarketsandMarkets [74] el mercado de impresión 3D, que comprende a impresoras, materiales y servicios en un análisis geográfico de mercado “El continente Americano acapara la mayor cuota del mercado seguida por Europa”.

El crecimiento de ventas de impresoras 3D en el 2014 ha tenido un aumento del 73% con respecto al año anterior y tendrá un 100 % de crecimiento en el 2015, es decir, duplicará las ventas, lo que supone un crecimiento acelerado del mercado. [74]

Análisis FODA 📄 📈			
	Positivo	Negativo	
Internos	FORTALEZAS 📄 📈 Tecnología Innovadora. La impresión 3D es mas económica. Fácil aprendizaje. Flexibilidad y producción rápida	DEBILIDADES 📄 📈 Pocos proveedores de nacionales. Dependencia de plásticos. Vacío legal de producción de armas. Copyright en productos fabricados.	
	Externos	OPORTUNIDADES 📄 📈 Al alcance del publico en general. Impresión 3D es una tendencia mundial. DIY se enriquece con la impresión 3D. Prototipado y construcción de maquetas.	AMENAZAS 📄 📈 Nuevas tecnologías mas baratas. Tendencias temporales. Cambios adversos en el mercado.

Figura 46: Análisis FODA impresora 3D
 Fuente: El investigador. Realizado en Xmind

Análisis FODA Impresora 3D

La matriz FODA es una herramienta que permite realizar un análisis que se puede aplicar a cualquier empresa, individuo, situación o producto que este actuando como objeto de estudio. Permite colocar la situación estudiada en un cuadro que permite obtener un diagnostico para en base a ellos tomar decisiones acorde a los objetivos del proyecto. En la figura 46 se muestra una matriz FODA de un impresora 3D.

Análisis de Costes Directos e Indirectos

Con los datos obtenidos en el estudio de mercado se procede con el análisis de los costos y tiempos de realización del proyecto.

Determinación de Tareas

La realización del proyecto de acuerdo con lo previsto puede verse afectado por factores externos que pueden retrasar la ejecución del proyecto, además la duración de las actividades solo se pueden precisar cuando se ha empezado con su ejecución, sin embargo, es muy importante dedicar atención a la realización de una agenda

de actividades para saber cuanto tiempo van a durar y cuanto van a costar, en un principio consume mucho tiempo y resulta difícil pero este procedimiento servirá de base para realizar las siguientes actividades con mayor agilidad.

Las tareas que se deben realizar en el presente proyecto de detallan en la sección 3.4 del capítulo tres del documento que se resume básicamente en las siguientes actividades:

- Recolección y procesamiento de información sobre prototipado rápido, impresión 3D, modelos de desarrollo de Impresoras 3D.
- Análisis de requerimientos para la construcción de una impresora 3D.
- Elaboración del diseño inicial de la impresora 3D.
- Análisis de mercado de componentes electrónicos y mecánicos necesarios.
- Construcción de la impresora.
- Ajuste de parámetros, búsqueda de mejores resultados.
- Diseño y montaje de mejoras.

Determinación de Costes

De acuerdo a las actividades establecidas para el desarrollo del proyecto el siguiente paso es realizar una estimación de los costos, estos costos serán de tres tipos : Directos, Indirectos e Imprevistos.

Costos Directos Se considera como costos directos al costo de la materia prima, costo de elementos industrializados y costo de maquinaria utilizada.

En la tabla 5 se detalla el valor de los elementos utilizados para la construcción del prototipo de Impresora 3D.

Costos Indirectos En esta sección se considera tres aspectos, los materiales consumibles utilizados, los imprevistos y el costo de ingeniería.

En esta parte es importante resaltar que el desarrollo de un producto de código abierto, el costo de ingeniería se baja al máximo debido a que el costo se distribuye entre todas las personas que apoyaron el desarrollo del proyecto. En este caso solo se considera como costo de ingeniería a las mejoras que se adicionan al modelo original y el tiempo del investigador para desarrollar el producto que es de aproximadamente 100 horas.

En la tabla 6 se detallan los costos indirectos del proyecto.

Tabla 5: Tabla de costos directos

Materiales	Costo
Materia prima	
Varillas Roscadas, Varillas Lisas Tornilleria, etc.	45
Aluminio, Acrílico, MDF, PLA, etc	185
Elementos industrializados	
Elementos eléctricos y electrónicos, Rodamientos, Sensores, Actuadores	690
Costo de producción	
Uso de maquinarias : Torno, Taladro de mano y pedestal, Sierra	15
Cortadora Láser, Doblador de acrílico.	205
Total de costos directos	\$1140

Fuente: El investigador. Realizado en LibreCalc

Tabla 6: Tabla de costos indirectos

Ítem	Costo USD
Consumibles	40
Ingeniería	300
Imprevistos	20
Total de costos directos	360

Fuente: El investigador. Realizado en LibreCalc

Costo Total El costo total del proyecto es la suma de los costos directos e indirectos, se detalla en la tabla 7.

Evaluación Financiera

Igual de importante que el análisis técnico es el análisis económico para sustentar la viabilidad económica de un proyecto mediante el uso de técnicas matemático-financieras para determinar ganancias o pérdidas, en un principio el objetivo de todo proyecto es que genere ganancias o al menos represente un ahorro frente al proceso que reemplaza, en el caso de la impresora 3D reemplaza los procesos de fabricación tradicional y además el objetivo es que produzca ganancias para financiar proyectos de investigación futuros.

Para iniciar el análisis económico es necesario realizar una evaluación financiera del proyecto, se inicia planteando el uso comercial de la impresora 3D como un servicio por el cual se debe cobrar un valor por su servicio que forma los ingresos y por otro lado los egresos son los valores necesarios para la operación del proyecto.

Tabla 7: Tabla de costos indirectos

Ítem	Costo USD
Costos Directos	1140
Costos indirectos	360
Total de costos del proyecto	1500

Fuente: El investigador. Realizado en LibreCalc

Ingresos

Para realizar un intercambio de dinero por servicio es necesario conocer dos aspectos presentes en una impresión, el tiempo y la cantidad de material utilizado. Se analiza de esta manera debido a que son dos factores independientes, para una impresión en alta calidad el tiempo se duplica con relación a una impresión en calidad media.

Impresión 3D es una tecnología nueva en el mercado y con una creciente aceptación, luego de realizar un estudio de mercado entre otros proveedores de servicio se encuentra que el precio por hora va desde 4 dólares la hora hasta 10 dólares y un costo por gramo de material que va desde 20 centavos hasta 50 centavos. Para ingresar en el mercado de impresión y ser competitivo se procede a tomar los valores más bajos, es decir 4 dólares la hora y 20 centavos el gramos, con calidad media se utilizan aproximadamente 10 gramos de material cada hora es decir en total por una hora de impresión se debe cobrar 6 dólares. Estos valores además de cubrir los gastos de producción producen un alto nivel de ganancia.

El promedio de tiempo de una impresión es de 4 horas es decir que en un día se podrán imprimir máximo dos trabajos similares, sin embargo se plantea un escenario pesimista en donde en promedio solo se tenga el trabajo equivalente a 4 horas diarias y se trabajará 5 días a la semana, se da un nivel de error considerando 4 semanas en las cuales por vacaciones feriados o por mantenimiento la impresora no cumplirá su cuota diaria, es decir solo producirá 48 semanas. La ecuación 7 muestra el trabajo en horas proyectado a un año y la ecuación 9 muestra los ingresos proyectados en un año que resulta del numero de horas multiplicado por el valor estimado de cada hora.

$$\#horas - anuales = Semanas * Dias - Semana * horas - diarias \quad (7)$$

$$\#horas - anuales = 48 * 4 * 5$$

$$\#horas - anuales = 960[h]$$

Tabla 8: Tabla de gastos operativos

Ítem	Cantidad	Mensual (USD)	Anual (USD)
Material	1	65	780
Energía	1	15	180
Arriendo	1	100	1200
		Total USD Anual	2160

Fuente: El investigador

Fuente: El investigador. Realizado en LibreCalc

$$\#gramos - anual = horas - anuales * 10 \quad (8)$$

$$\#gramos - anual = 9600[g]$$

$$Ingreso - anual = \#horas - anual * valor - hora \quad (9)$$

$$Ingreso - anual = 960 * 6$$

$$Ingreso - anual = 5760[USD]$$

Egresos Los egresos presentes en un negocio dedicado a la impresión 3D, Mantenimiento, Operativo y depreciación. No se considera contratar personal por lo que no se cuanta con este gasto.

Mantenimiento: La impresora necesita de un mantenimiento preventivo cada mes, se destina 15 dólares al mes, es decir, 180 dólares al año.

Operativos: Para cumplir con la producción anual se necesita 10 gramos por hora y en la ecuación 8 se muestra que son necesarios 9,6 Kilos anuales para cumplir con la producción, se sobre dimensiona este valor a 12 Kilos es decir un kilo al mes, el costo promedio de un kilo es de 65 dólares. Para el pago de energía se destinan 15 dólares al mes suficiente para cubrir las necesidades de un negocio pequeño. Finalmente se considera un arriendo de 100 dólares. Los gastos operativos anuales totales se muestran en la tabla .

Además se considera un valor de depreciación de 500 dólares anuales.

A partir del cálculo de los ingresos anuales calculados con la ecuación 9 se tiene los ingresos anuales, y se proyectan a tres años, que es el tiempo de vida útil de un equipo informático de acuerdo a las normas de contabilidad ecuatorianas, de acuerdo a esto se establece el estado de resultados de la tabla 9.

Tabla 9: Resultados Proyectados

CONCEPTO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3
INGRESOS	\$5760.00	\$5760.00	\$5760.00
(-GASTOS)	\$2840.00	\$2840.00	\$2840.00
Personal	-	-	-
Mantenimiento	\$180.00	\$180.00	\$180.00
Operativos	\$2160.00	\$2160.00	\$2160.00
(-) Depreciación	\$500.00	\$500.00	\$500.00
UTILIDAD OPERATIVA	\$2920.00	\$2920.00	\$2920.00
25 % Trabajadores	-	-	-
UTILIDAD LIBRE IMP.	\$2920.00	\$2920.00	\$2920.00

Fuente: El investigador. Realizado en LibreCalc

Tabla 10: Flujo de Caja Impresión 3D

CONCEPTO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3
INGRESOS		\$5760.00	\$5760.00	\$5760.00
(-GASTOS)		\$2840.00	\$2840.00	\$2840.00
Personal		-	-	-
Administrativo		\$180.00	\$180.00	\$180.00
Operativos		\$2160.00	\$2160.00	\$2160.00
(-) OTROS		-	-	-
UTILIDAD NETA		\$3420.00	\$3420.00	\$3420.00
- Inversión	\$1500.00	-	-	-
FLUJO NETO EFECTIVO	-\$1500.00	\$3420.00	\$3420.00	\$3420.00

Fuente: El investigador. Realizado en LibreCalc

El flujo de caja es la acumulación neta de activos líquidos en un período establecido, utilizado para medir liquidez, rentabilidad o crecimiento de un negocio o para analizar un proyecto como en este caso.

La tabla 10 muestra en detalle el flujo de caja de un negocio basado en el servicio de impresión 3D considerando una inversión inicial de \$1500 Dólares, para tres años de vida útil de un equipo informático.

Herramientas de Análisis Económico

Las herramientas de análisis económico brindan la posibilidad de evaluar la viabilidad del proyecto, para este análisis existen tres indicadores el periodo de recuperación, el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

Método de Valor Actual Neto

El VAN de un proyecto se calcula con la ecuación 10 y es igual a la suma de todos los flujos netos proyectados menos la inversión inicial. Si el resultado es positivo la inversión es favorable, en el caso de ser negativo representa un panorama no favorable para una inversión.

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^T \frac{FNE_n}{(1+i)^n} \quad (10)$$

Donde:

I_0 Inversión Inicial, **FNE** Flujo Neto Efectivo, **i** TMAR **n** Número de años.

El TMAR es la tasa mínima aceptable de rendimiento que es la mínima cantidad que se espera a recibir en un negocio, de acuerdo al BCE (Banco Central del Ecuador) la tasa para proyectos tecnológicos es del 12%

Con este valor y los FNE anuales calculamos el VAN aplicando la ecuación 10.

$$VAN = -I_0 + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \frac{FNE_3}{(1+i)^3}$$

$$VAN = -1500 + \frac{3420}{(1,12)^1} + \frac{3420}{(1,12)^2} + \frac{3420}{(1,12)^3}$$

$$VAN = -1500 + 3053,57 + 2726,40 + 2434,29$$

$$VAN = 6714,26$$

Método de Tasa Interna de la Renta

Se denomina Tasa Interna de Rentabilidad a la tasa de descuento que hace que el VAN de una inversión sea igual a cero. Este método considera que una inversión es aconsejable si la TIR resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor [66].

La tasa de referencia es la TMAR es decir un proyecto debe tener un TIR mayor al TMAR

Para conocer el TIR se utiliza la ecuación 10 con un Valor de VAN igual a 0.

$$0 = -I_0 + \sum_{n=1}^T \frac{FNE_n}{(1+TIR)^n}$$

$$TIR = 221,11 \%$$

Tiempo de Recuperación de la Inversión

El Tiempo de recuperación de la inversión es el periodo de tiempo necesario para que la inversión produzca las ganancias para recuperar el dinero invertido.

En la ecuación 11 se divide la inversión inicial para el flujo neto efectivo anual, que nos da una fracción equivalente a seis meses.

$$TRI = \frac{Inversión}{FNE} \quad (11)$$

$$TRI = \frac{1500}{3420}$$

$$TRI = 0,44 \text{ Año}$$

$$TRI \approx 6 \text{ meses}$$

Resumen y conclusión análisis económico

En la tabla se muestran los valores de los indicadores económicos, el VAN es positivo por lo tanto el proyecto es rentable, el TIR tiene un porcentaje muy por encima de lo esperado que convierte al proyecto en una inversión segura.

Tabla 11: Resumen de resultados Económicos

Indicador	Resultado
VAN	6714.26 USD
TIR	221.11 %
PRI	6 meses

Fuente: El investigador. Realizado en LibreCalc

4.3.8. Determinación de la Topología: Síntesis Estructural

Para resumir, el esquema de selección del tipo de Sistema Robótico se presenta en la figura 47.

4.4. Diseño basado en Control Numérico

4.4.1. Código G en impresión 3D

El código G o *G-Code* es utilizado por máquinas de control numérico CNC como un lenguaje de descripción de operaciones de máquina y se utiliza también como

lenguaje de programación para el control de las máquinas generando estructuras de programación como bucles o condicionales [75].

El Código G describe los diferentes movimientos y operaciones que una máquina CNC debe realizar para fabricar un objeto descrito en un archivo CAD 3D que luego se convierte en un archivo de texto que puede leerse y modificarse, aunque lo más habitual es que el código se visualice como el camino por donde la herramienta recorrerá, siendo por lo tanto una imagen 3D.

El Código G es utilizado en diversas máquinas CNC entre ellas las impresoras 3D, una máquina CNC cuenta con 5 ejes los tres primeros ejes se utilizan para posicionar el efector final y los dos ejes adicionales proveen la información de giro del efector final o herramienta de fabricación. En una impresora 3D los tres primeros ejes son XY (forman el plano) y el Z (altura). Básicamente el mecanismo de los tres primeros ejes en una impresora 3D se encargan de posicionar el efector final en cada uno de los puntos que son indicados por el Código G. El efector final en este caso es un dosificador de plástico que permanece siempre con la misma orientación por lo que no necesita de los ejes de giro [19].

Un set de instrucciones de Código G para impresión 3D realiza las siguientes tareas:

- Posiciona el efector final en el plano horizontal para generar una capa y luego se mueve verticalmente a la siguiente capa.
- Controla la velocidad de movimiento del efector final.
- Determina la temperatura a la que se funde el plástico y la velocidad de extrusión.
- Enciende la ventilación cuando sea necesario.

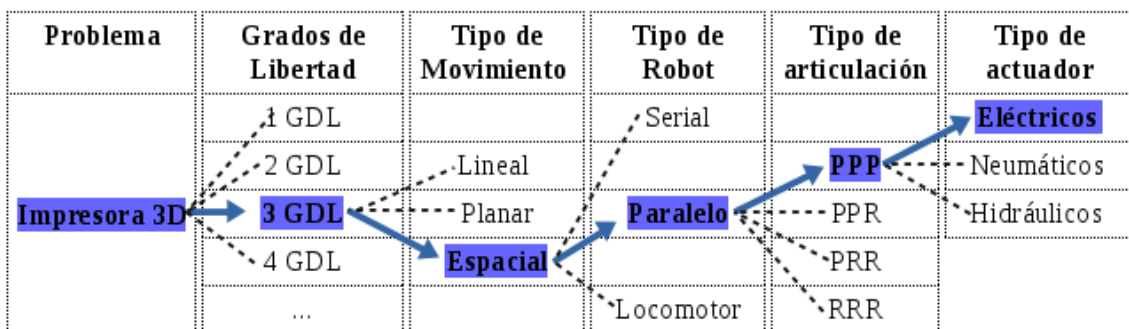


Figura 47: Síntesis estructural Impresora 3D
Fuente: El investigador. Realizado en InkScape

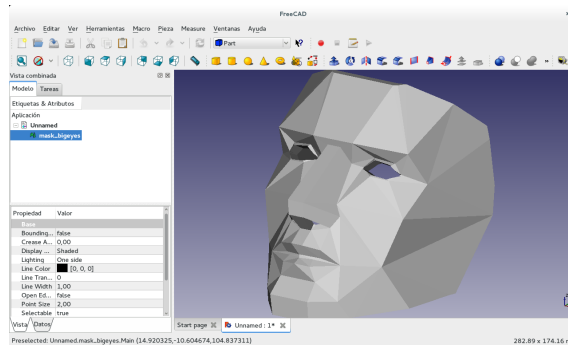


Figura 48: Modelo 3D en FreeCAD
Fuente: El investigador. Realizado en FreeCAD.

- Pausa la impresión para que se enfríe correctamente una capa antes de continuar con la siguiente.

Todas estas tareas se realizan en base al diseño de un programa de modelado en 3D CAD, sin embargo, necesitan pasar por un formato intermedio STL que luego es leído por un programa de fabricación asistida por computador CAM encargado del proceso de laminado mediante el cual se generan las especificaciones del Código G que se describen detalladamente en la sección 4.9.4.

4.4.2. Proceso Fabricación digital

La impresión 3D es un proceso de fabricación digital, para empezar es necesario un modelo en 3D exportado en formato STL (Figura 48).

Desde el punto de vista matemático un modelo 3D es un grupo de formulas matemáticas que describen un mundo en 3D, este modelo 3D generado puede ser visualmente correcto sin embargo puede contener algunos errores que no le permitan estar listo para pasar al siguiente paso de impresión, defectos como huecos caras invertidas u objetos que no formen un solo cuerpo, estos errores se relacionan directamente con la creación de modelos complejos que incluyan cavidades intersecciones o simplemente curvas [19].

Un modelo Imprimible debe tener algunas características ideales como que del objeto sea una variedad (Objeto geométrico estándar) y solido no hueco, se pueden diseñar objetos huecos pero siempre tendrán una parte interna que esta llena y es sólida esta es la propiedad que hace que el programa de laminado pueda distinguir la parte interna y externa del objeto para saber donde, cuando y cuanto plástico depositar. Si existiera un hueco microscópico en la aproximación poligonal (malla) de la superficie no se garantiza la integridad de la superficie por lo tanto los resultados de laminado e impresión contendrán errores también [76].

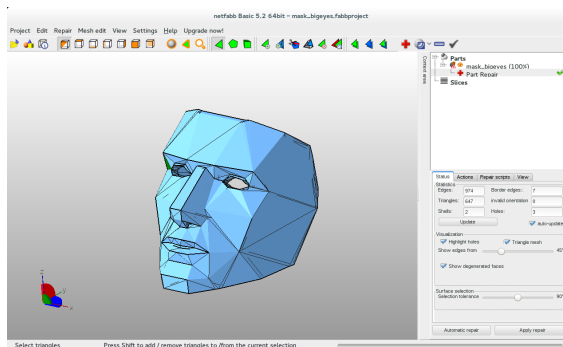


Figura 49: Netfabb Basic Analizador de Mallas
Fuente: El investigador. Realizado en Netfabb Basic

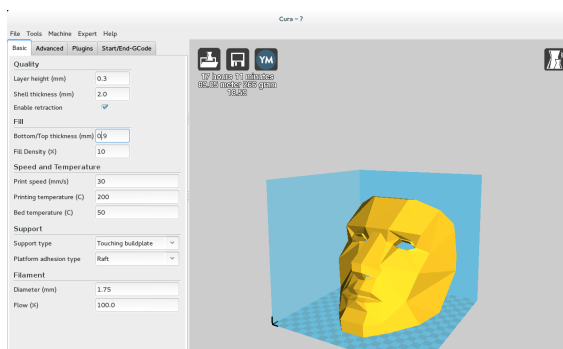


Figura 50: Objeto laminado en Cura y listo para imprimir
Fuente: El investigador. Realizado en Cura

Es por esta razón que se recomienda el uso de un analizador de mallas, NetFabb Studio Basic es gratuito y multiplataforma y sirve para el análisis y manipulación de la complejidad de la malla del objeto, figura 49, para reducir su complejidad y número de elementos que resulta muy útil al momento de laminar un objeto complejo, pero fundamentalmente repara las mallas del objeto para que no exista errores en el laminado.

Una vez revisado el archivo se procede a Cargar en el programa de laminado Cura cuya explicación detallada se encuentra en la sección 4.9.4. En la figura 50 , se muestra el objeto en 3d. El modo de visualización Layers que muestra el camino por donde recorrerá el efector final capa a capa, se visualizan detalles propios de la impresión como tipo de adhesión a la plataforma y soporte de partes suspendidas.

Luego de laminar el objeto puede ser enviado a la impresora por USB, tarjeta SD o Red, luego de lo cual empezara la impresión y al transcurrir el tiempo necesario la impresión estará lista como se muestra en la figura 51.



Figura 51: Objeto impreso en 3D
Fuente: El investigador

4.4.3. Generación de Código G

Del Código G Generado para la impresión de la figura 51 se ha extraído y comentado algunos fragmentos para comprender su funcionamiento y se muestran en la tabla 12.

Estas son las instrucciones presentes en una impresión 3D [75], a continuación se presenta una set completo de las instrucciones de Código G del Firmware Marlin, que es similar a muchos otros firmware y esta basado en códigos G de máquinas CNC según la normas DIN 66024, DIN 66025 e ISO 1056 y adaptado a las necesidades de una impresora 3D.

En la sección de anexos se detalla una lista de códigos G.

Código	Descripción
G21	Designar los milímetros como unidad.
G90 :	Usar posicionamiento absoluto
M82 :	Colocar el extrusor en posicionamiento absoluto
M107 :	Apagar ventilador
G28 X0 Y0 :	Mover el extrusor a la posición 0,0 del plano
G28 Z0 :	Bajar el extrusor hasta la posición 0 en altura
G1 Z15.0 F1200	Mover la plataforma 15mm en Z
G92 E0 :	Iniciar la extrusión en 0
G1 F200 E5	Extruir 5mm de material
G1 F9000 :	Establecer velocidad a 9000 milímetros/minuto
M117 Imprimiendo :	Escribir mensaje en el LCD
G0 F9000 X58.972 Y85.198 Z0.300:	Posicionamiento rápido en 58.972,85.198,0.300
G1 F1200 X60.320 Y84.421 E0.02927:	Establecer velocidad a 1200 milímetros/minuto y posicionar en 60.320,84.421 y extruir a 0.02927
G1 X63.363 Y83.286 E0.09046 :	Posicionar en 63.363,83.286 y extruir a 0.09046
...Líneas de Código	Similares para completar la primera capa.
M106 S127 :	Encender ventilador a la mitad de potencia (127)
G0 F9000 X62.284 Y90.092 Z0.400:	Posicionar rápidamente en 62.284,90.092,0.400
G1 F540 X61.718 Y90.448 E4.19702 :	Posicionar en 61.718,90.448 y extruir a 4.19702
G1 X61.271 Y90.723 E4.20031 :	Posicionar en 61.271,90.723 y extruir a 4.20031
G1 X60.679 Y91.092 E4.20468 :	Posicionar en 60.679,91.092 y extruir a 4.20468
...Líneas de Código	Similares en cada capa, hasta la última.
M104 S0 :	Apagar el extrusor
M140 S0 :	ApagaR la cama caliente
G1 E-1 F300 :	Retraer filamento (para liberar presión)
G28 X0 Y0 :	Mover a 0,0
M84 :	Apagar motores

Tabla 12: Fragmento de código G con la descripción de los códigos

4.4.4. Control manual en Linux con GtkTerm y Python

Los Códigos G controlan la maquina de control numérico en este caso una impresora 3D, como se explicó, un programa de laminado es el encargado de convertir la geometría 3D en un set de instrucciones que luego serán enviadas, interpretadas y ejecutadas automáticamente. En el caso que se quiera manipular la impresora manualmente existen dos opciones se puede utilizar el terminal de comunicaciones serial que viene incorporado en el Software de control de la impresora como se utiliza en la figura 107 para realizar el autoajuste del PID, o utilizar un terminal de comunicación genérico, para el ejemplo se utilizará el terminal de comunicaciones Gtkterm cuya funcionalidad es enviar por el puerto serial todo lo que se escribe con el teclado y muestra las respuestas del puerto serial [77].

Control manual con Terminal serial Gtkterm Para imprimir un objeto en 3D el proceso es automático solo basta con seguir el proceso de CAD-CAM, sin embargo, con propósitos de I+D+i se proponen alternativas de control de la máquina CNC (Impresora 3D) [77]. En este caso la alternativa es enviar directamente hacia el puerto serial en el que esta conectado la impresora los Códigos G y posteriormente optimizar el procedimiento con la utilización de un lenguaje de programación (Python) que usara el puerto serial y enviara los Códigos G.

El procedimiento en Linux para realizar la comunicación serial es el siguiente.

- Arrancar el terminal de comunicaciones, Gtkterm.
- Seleccionar el puerto serie (/dev/ttyACM0) y la velocidad: 115200 baudios.
- El firmware responderá con "start" para indicar que está listo y la comunicación se ha establecido.
- Por defecto no se visualiza los comandos escritos, se debe habilitar "Local Echo"
- Se prueba la comunicación con el comando M115, que devuelve la información del firmware.

En este punto la comunicación se ha establecido y se pueden enviar comandos de Código G , se experimenta con los siguientes comandos

Código	Descripción
M114:	Leer la posición actual.
G28 :	Hace un 'homing'.
G1 X50:	Ir a la posición (50,0,0).
G1 X0:	Volver al origen (0,0,0).
G1 X50.5:	Ir a la posición (50.5,0,0).
G1 X50 F6000:	Ir a la posición (50,0,0) a la velocidad de 6000mm/min (100mm/sec)
G1 F3000:	Fijar la velocidad a 3000 mm/min.
G1 X50 Y50:	Movimiento de dos ejes. Ir a la posición (50,50,0)
G1 X100 Y100 Z30:	Ir al punto (100, 100, 30). Todos los ejes se mueven y se detienen a la vez (Movimiento coordinado).
G90:	Pasar a coordenadas absolutas.
G91:	Pasar a coordenadas relativas

Para evitar escribir cada vez las instrucciones y optimizar el proceso se utiliza Python, de la siguiente manera

- Ejecutar el interprete Python
- Escribir el programa
- Ejecutarlo

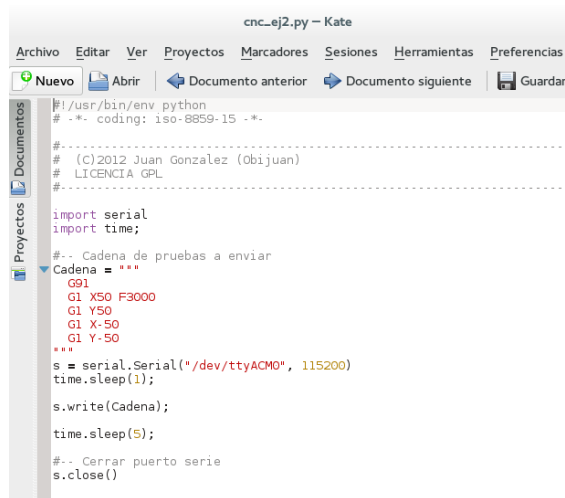
Para demostración en la figura 52 se muestra una aplicación que describe el movimiento del extrusor creando un cuadrado de 50 mm de lado.

4.5. Diseño funcional Impresora 3D

De acuerdo a la sección 4.3.6 en la que se analizan las especificaciones técnicas concretas de un robot se hizo un análisis de todas ellas dentro de la formulación del diseño conceptual y es importante profundizar en las que se ven directamente relacionadas con la elaboración del diseño funcional y además se añade la especificación del sistema de control en Hardware y Software que son parte del diseño funcional.

Todas las especificaciones se mencionan a continuación:

- Estructura
- Eslabones y Articulaciones



```
cnc_ej2.py - Kate
Archivo  Editar  Ver  Proyectos  Marcadores  Sesiones  Herramientas  Preferencias
Nuevo  Abrir  Documento anterior  Documento siguiente  Guardar
#! /usr/bin/env python
# -*- coding: iso-8859-15 -*-
#-----
# (C)2012 Juan Gonzalez (Obijuan)
# LICENCIA GPL
#-----
import serial
import time;

#-- Cadena de pruebas a enviar
Cadena = """
G91
G1 X50 F3000
G1 Y50
G1 X-50
G1 Y-50
"""
s = serial.Serial("/dev/ttyACM0", 115200)
time.sleep(1);
s.write(Cadena);
time.sleep(5);
#-- Cerrar puerto serie
s.close()
```

Figura 52: Aplicación de control manual de una CNC con python.
Fuente: El investigador, Realizado en Kate y Python

- Actuadores
- Sistema Sensorial
- Efector Final
- Sistema de control

En cada sistema se hará un repaso conceptual de sus características con un enfoque superficial luego se presentara las alternativas técnicas para la implementación del sistema y finalmente se realizara el diseño final de cada sistema, una de las premisas en el diseño conceptual es que cada sistema debe ser modular, es decir que cumpla su función y pueda ser modificado sin afectar a los demás sistemas.

4.5.1. Estructura

En la sección se analizo los factores a considerar en el diseño estructural de una Impresora en 3D, de diseño modular de código abierto y replicable. Se inicio en la sección 4.1.1 con la evolución de los mecanismos de impresoras 3D hasta llegar al modelo mas evolucionado del proyecto RepRap. Luego en un estudio de mercado de la sección 4.1.2 se analizo cuales son los modelos más vendidos actualmente y finalmente en la sección 4.2 se hizo comparación entre impresoras Profesionales y Personales DIY y profundizando el estudio en la sección 4.2.1. Las conclusiones de estos estudios son las siguientes:

- Impresión 3D es una tecnología relativamente antigua con casi tres décadas existencia sin embargo durante las dos primeras estuvieron muy lejos del

alcance del público en general y en la última década el proyecto RepRap abrió un camino de desarrollo de impresoras 3D de código abierto para que mas personas tengan acceso a ellas, el modelo Prusa I3 es el modelo más evolucionado de este proyecto, que mantiene los lineamientos originales.

- En el mercado existen varias marcas de impresoras 3D, y las más vendidas pertenecen a empresas o Proyectos que hace 10 años no existían. La impresora de código abierto mas “vendida” es la Prusa I3.
- El excelente acabado de los objetos producidos por impresoras profesionales resulta un punto sin importancia debido a su alto costo, el punto mas fuerte de las impresoras DIY es su relación calidad costo. Llegando a producir objetos con un acabado que se aproxima cada vez más al de las impresoras profesionales, pagando una fracción del costo de una profesional.

En cada conclusión el modelo de impresora Prusa I3 tiene puntos fuertes, pero además hay que considerar al primer modelo de su línea de evolución la Darwin, que posee otro sistema mecánico y luego de un análisis de especificaciones técnicas del tipo de configuración de la sección 4.3.6 se confirma que el diseño mas adecuado sobre el cual se debe diseñar el Sistema Robótico es el modelo de impresora 3D Prusa I3 del proyecto RepRap, ²y su variación Hephestos de la empresa Bq.³

El modelo Prusa I3 cumple con varios requerimientos para ser el modelo sobre el cual se desarrolle la investigación. El mas importante de todos es que es un modelo de código abierto sobre el cual se pueden aplicar las libertades de estudio, copia, modificación y redistribución. Otras razones no menos importantes son el cumplimiento de los requisitos del diseño conceptual y en esta parte se hará un análisis de las especificaciones del diseño funcional de todos sus subsistemas, donde se validará el diseño de los sistemas del modelo original o se introducirán mejoras como ya se ha realizado para crear las variaciones del modelo que se aprecian en la figura 27.

La estructura mecánica consta de tres ejes, XYZ, sobre el que se trabajara en la modificación de sus partes para un mejor desempeño y la posterior distribución de los diseños. Un aspecto deficiente del modelo es la ausencia de un sistema de aislamiento o carcasa que se añadirá al diseño y se diseñará un Interfaz de usuario inalámbrica.

²<https://github.com/josefprusa/Prusa3-vanilla>

³<https://github.com/bq/prusa-i3-hephestos>

4.5.2. Eslabones y Articulaciones

En un robot las partes individuales reciben el nombre de eslabones, la característica de un eslabón es su rigidez que le permite conservar la distancia entre dos puntos aunque se encuentre en movimiento. Los eslabones de un robot se acoplan mediante articulaciones o pares cinemáticos. Una articulación acopla dos eslabones y proporciona las restricciones físicas para el movimiento relativo entre eslabones, especifica como un eslabón se mueve respecto de otro. Las articulaciones se clasifican en Rotacional, Prismática, Helicoidal, Cilíndrica, Esférica y Planar.

La impresora 3D Prusa I3 es un Sistema Robótico con tres grados de libertad dispuesto en forma de un robot cartesiano con tres ejes XYZ, es decir, tiene tres grados de libertad uno por cada eje. Cada eje se describe por separado sus eslabones y articulaciones. Cada eslabón es un elemento que permanece rígido y conserva la distancia entre dos puntos a pesar de encontrarse en movimiento y la articulación sirve como acople entre dos eslabones y brinda las restricciones de movimiento.

Eje Y El eje Y esta formado por dos eslabones el primer eslabón es una placa que se mueve sobre un sistema de guiado lineal mediante cuatro rodamientos lineales, estos se deslizan sobre dos varillas lisas dispuestas de manera paralela, y se apoyan sobre el segundo eslabón, figura 53. La articulación se forma con el giro del actuador transmitido a un Mecanismo de polea - correa que genera el movimiento horizontal del primer eslabón (figura 54), el segundo eslabón es una estructura rectangular sobre la cual se apoyan las guías lineales y es encargado de sujetar el mecanismo de polea - correa . El segundo eslabón además se une a la estructura principal mediante el marco y este va unido al eje Z formando un solo eslabón común a los dos ejes, esto le brinda estabilidad a todo el sistema.

Eje Z El eje Z esta formado por dos sub-sistemas análogos de eslabones y articulaciones(Izquierdo y Derecho), en cada uno de ellos existen dos eslabones en los extremos de un sistema de guiado lineal sobre el cual se mueve un tercer eslabón mediante dos rodamientos lineales, figura 55. Este eslabón se mueve verticalmente gracias a una articulación basada en la trasmisión del movimiento circular del actuador hacia el tercer eslabón con un sistema tornillo - tuerca, figura 56. Este mecanismo de movimiento funciona en paralelo para cada uno de los dos sub-sistemas permitiendo que cada uno de los terceros eslabones suba a la misma velocidad que su análogo. En cada sub-sistema los dos primeros eslabones sujetan el actuador y mecanismo de movimiento y se unen al marco que conecta con el eje Z con eje Y. Cada uno de los terceros eslabones sirven también de soporte para el eje X.

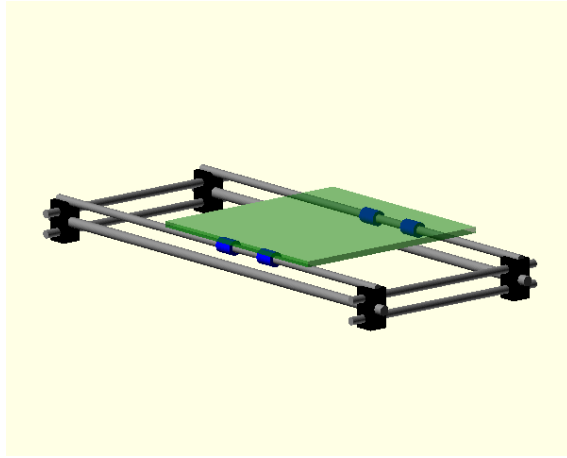


Figura 53: Sistema Eslabones y Articulación del Eje Y
Fuente: El investigador. Realizado en OpenSCAD

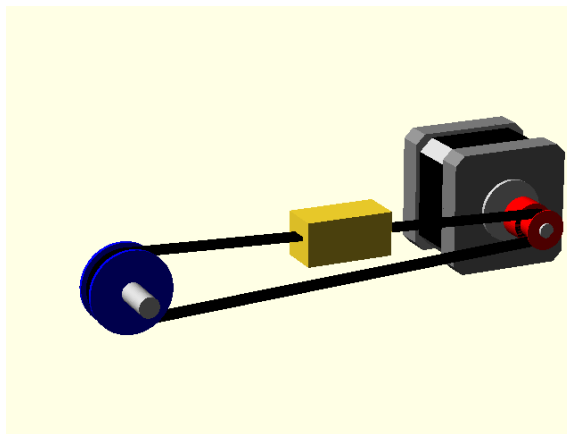


Figura 54: Sistema de transmisión de movimiento, Eje X y Eje Y
Fuente: El investigador. Realizado en OpenSCAD

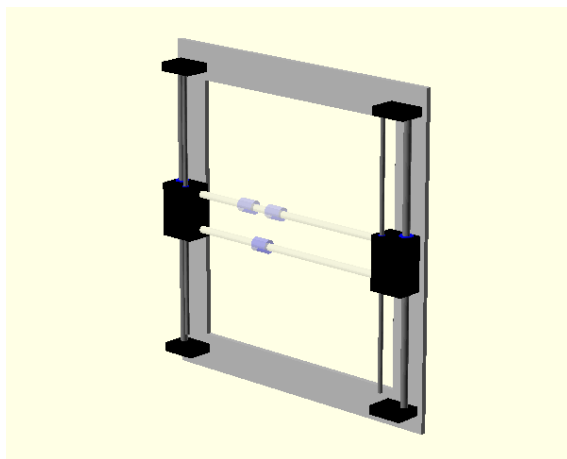


Figura 55: Sistema Eslabones y Articulación del EjeZ
Fuente: El investigador. Realizado en OpenSCAD

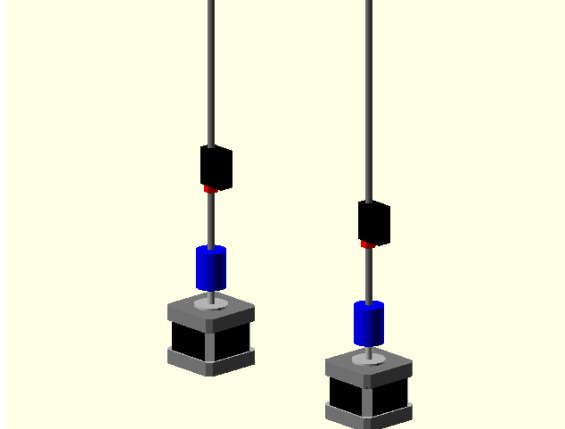


Figura 56: Sistema de transmisión de movimiento de Eje Z
Fuente: El investigador. Realizado en OpenSCAD

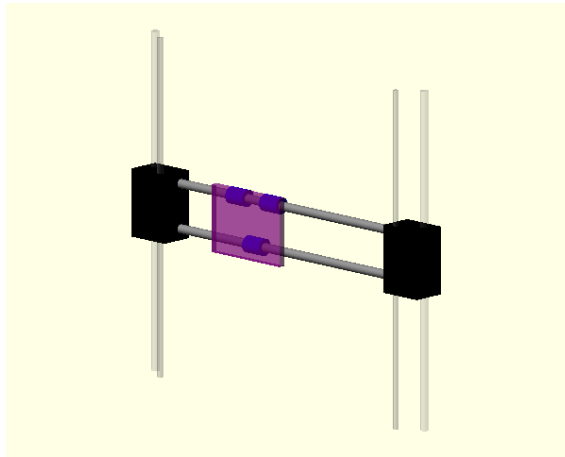


Figura 57: Eslabones y Articulaciones del Eje X
Fuente: El investigador. Realizado en OpenSCAD

Eje X El eje X esta formado por tres eslabones, los dos primeros se ubican en los extremos de un mecanismo de guiado lineal formado por dos varillas paralelas, sobre el cual se deslizan un tercer eslabón mediante tres rodamientos lineales, figura 57. Este eslabón se mueve horizontalmente gracias a una articulación basada en un mecanismo de transmisión de movimiento de polea - correa, figura 54. Los dos primeros eslabones están unidos al mecanismo de movimiento del eje Z, el izquierdo se encarga de sujetar el actuador y el derecho sujeta la polea tensora . El tercer eslabón del Eje X es una placa sobre la cual se sujetará el sistema de extrusión.

Mecanismos de transmisión de Movimiento

En un Sistema Robótico es indispensable tener mecanismos que transmita el movimiento de los actuadores, llamados fuerza motriz, hacia los eslabones o

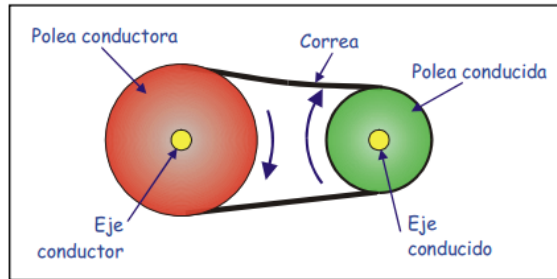


Figura 58: Trasmisión de Movimiento por Polea Correa
Fuente: Mecanismos [78]

elementos conducidos. Los elementos mecánicos deben ir colocados sobre ejes de guiado. Los tipos de transmisión se distinguen de acuerdo al tipo de movimiento, sea lineal, circular y alternativo. De acuerdo al tipo de mecanismo tendrá estos movimientos a la entrada y a la salida.

Polea - Correa Sincronizada

Es un mecanismo que transmite el movimiento Circular de la fuerza motriz y lo convierte en un movimiento lineal del elemento conducido [78]. Básicamente se trata de dos poleas (conductor y conducida) en sus ejes que giran al mismo tiempo por efecto de una correa. Los ejes de las poleas normalmente son paralelos. Los elementos del mecanismo se muestran en la figura 58 y su finalidad se describe a continuación:

- El **Eje conductor** es el eje motriz que determina el movimiento que se ha de transmitir al otro eje, sobre el cual se monta la **Polea conductora** .
- El **Eje conducido** es el eje que recibe el movimiento y sobre el se monta la **Polea conducida**.
- La **Correa** es un aro flexible que se abraza a ambas poleas y se encarga de transmitir el movimiento.

Las correas pueden tener varias formas y diferentes formas de transmisión, en el caso de la correa sincronizada la fuerza que transmite la polea conductora a la correa se realiza mediante el empuje de dientes de la polea que se engranan en los dientes de la correa, de esta manera se evita utilizar una transmisión por rozamiento y la tensión requerida es menor produciendo menor carga al motor . De esta manera la el mecanismo de transmisión por Correa Sincronizada tiene un mecanismo similar al de transmisión por engranajes pero con mayor flexibilidad gracias al material de la correa .

Las **ventajas** de este mecanismo son

Tabla 13: Tabla de especificaciones de polea y correa GT2

Polea GT2	Correa GT2
20 dientes en aluminio negro	Dientes de 2mm de paso
Para correas de 6mm.	6 mm de ancho
Diámetros interno 5mm, externo 16 mm	Correa Abierta
2 tornillos prisioneros M3 incluidos	Fabricada con poliuretano
Diámetro sección dentada 12.2 mm	

Fuente: Stock Drive Products / Sterling Instrument [80]

- Alto rendimiento de entre 95 y 98 % con un bajo costo
- Funcionamiento silencioso, no es preciso lubricarlo y tiene cierta flexibilidad.
- Tiene una transmisión constante

Las **desventajas** son:

- A una alta tensión la correa puede salirse
- Luego de un tiempo de trabajo la correa tiende a perder sus medidas.
- La correa dentada necesita de una polea dentada que es mas costosa que una polea lisa.

Las correas sincronizadas son básicamente correas planas con una serie de dientes con forma trapezoidal espaciados uniformemente y por lo general tienen una forma circular [79]. Con una dimensión específica o también llamadas sin fin que no se puede cortar ni unir porque daría problemas de que haya dientes que no engranen correctamente, sin embargo en el Sistema Robótico en estudio se usan en sistemas en los que el objetivo no es transmitir el movimiento al otro eje sino a un eslabón entre los dos ejes se puede utilizar correas dentadas abiertas que se unen al eslabón y este se encarga de cerrar la trayectoria y su movimiento será lineal limitado por la distancia entre los ejes, figura 54.

Las correas y poleas dentadas utilizadas cumplen la normativa GT2 [80], la polea que se utiliza es hecha de aluminio negro, figura 59 y esta diseñada específicamente para brindar un movimiento lineal suave que brindan un movimiento preciso. Las especificaciones se muestran en la tabla 13.

El sistema de polea correa se complementa con la polea conducida que en este caso es un rodamiento axial de bolas, diseñados para soportar cargas axiales. Para el proyecto se utilizarán el 608zz y el 624zz.



Figura 59: Polea y correa sincronizada GT2
Fuente : Gadgets 3D



Figura 60: Rodamiento axial de bolas
Fuente : Gadgets 3D

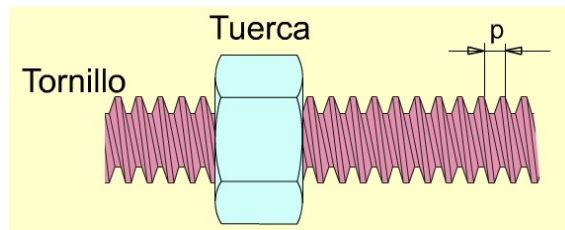


Figura 61: Transmisión de movimiento Tornillo Tuerca

Tornillo - Tuerca

El mecanismo de transmisión de movimiento por Tornillo - Tuerca también llamado tornillo de transmisión o de potencia convierten un giro o desplazamiento angular en un desplazamiento lineal continuo transmitiendo fuerza y potencia mecánica, el sistema consiste en un tornillo que gira alrededor de una tuerca, figura 61. El sistema tiene dos configuraciones:

- Tornillo de posición fija (No puede desplazarse longitudinalmente) cuando gira provoca el movimiento de la tuerca.
- Tuerca de posición fija (No puede girar ni desplazarse) produce el deslizamiento del tornillos cuando esta girando.

En cualquiera de las dos configuraciones el avance se produce mediante la ecuación

$$A = p.n.e \tag{12}$$

-

Donde:

A Es el avance del elemento móvil

p Es el paso del tornillo

e Es el numero de entradas del tornillo

Además de convertir el movimiento circular en lineal tiene la ventaja de que el avance depende del paso de la rosca del tornillo, es decir la distancia entre dos crestas del tornillo, por cada vuelta del tornillo la tuerca solo avanza la distancia del paso y la velocidad de avance además depende de la velocidad de giro del motor, figura 62. Una característica adicional de este sistema es que no es reversible, es decir no puede convertir el movimiento lineal en circular.

Este elemento mecánico se utiliza para aumentar las fuerzas o pares de torsión con una relación de movimiento mayor a la unidad en la que la cresta de la rosca

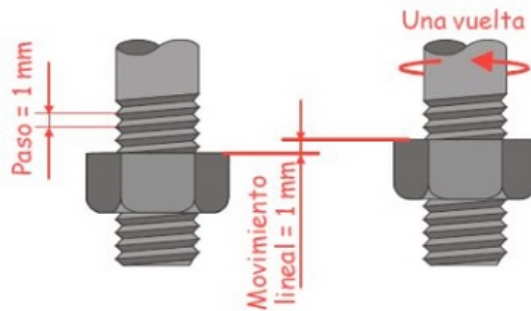


Figura 62: Movimiento lineal producido por la tuerca y tornillo
Fuente: Sistema Tornillo Tuerca [81]

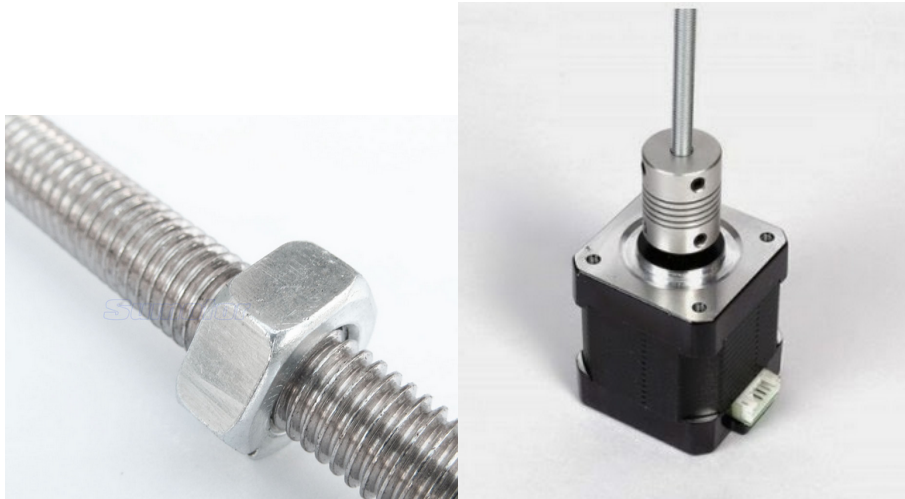


Figura 63: Mecanismo de tuerca y tornillo aplicado al Eje Z
Fuente: Investigador

recorre una gran distancia a lo largo de la hélice mientras que el elemento movido se desplaza una pequeña cantidad a lo largo del eje del tornillo [81].

Las tuercas y tornillos utilizados en el desarrollo de el Sistema Robótico tienen una forma triangular de acuerdo a la norma DIN 975 con un grado de dureza de 8.8 un diámetro de 5 mm. fabricada con acero al carbono y un acabado de Zinc Plateado. Este tornillo va acoplado a un motor y hacen mover la tuerca, como se mostró en la figura 56 y se muestra un diseño práctico en la figura 63 .

Sistema de Guiado Lineal por Eje

El elemento principal de un sistema de guiado por eje es el eje macizo que generalmente es una varilla de acero inoxidable sobre la cual se desplaza un rodamiento lineal a bolas con escaso rozamiento, figura 64. Los rodamientos lineales son elementos rotativos para movimientos de traslación, la fuerza es transmitida por



Figura 64: Sistema de guiado lineal por Eje
Fuente: Schaeffler Iberia [82]



Figura 65: Varilla lisa y rodamiento lineal LM8UU
Fuente: Investigador

elementos rotativos, estos elementos ocupan un espacio constructivo mínimo con una gran capacidad de carga, muy baja fricción y su rigidez es alta. Además de las ventajas estructurales este sistema es económico y soporta altas temperaturas mayores a 800 °C [82].

Para el Sistema Robótico se utiliza como eje del sistema guiado una varilla lisa de acero inoxidable de 8mm y Rodamientos de bolas lineales LM8UU, figura 65 .

Carcasa

El modelo Prusa I3 Original contiene todos los elementos necesarios para su correcto funcionamiento y para reducir costos de fabricación no se considera en el diseño una carcasa, la ventaja de esto es que se tiene una completa visión de todos los elementos mecánicos y fácil acceso a ellos para mantenimiento y la impresión puede ser observada desde todos los ángulos y ocupa menos espacio de trabajo. Por otra parte los elementos electrónicos y cables quedan visibles , esta es la principal desventaja de este modelo por esta razón es necesario diseñar y construir una carcasa que cubra todo el espacio de trabajo y que además brinde un espacio para colocar todos los elementos electrónicos y aislar al área de trabajo de factores externos como

corrientes de aire polvo y mantener la temperatura controlada, este diseño al igual que el resto del sistema desde tres puntos de vista, usuario tarea y entorno que fueron analizados en el diseño conceptual.

El principal lineamiento del diseño de la carcasa debe ser conservar las ventajas y corregir las desventajas, es decir, el diseño de la carcasa debe cerrar todo esto sin que el volumen total de la impresora aumente, se logre organizar los elementos eléctricos y electrónicos de manera que no sean visibles y que el área de trabajo tenga un ambiente controlado todo esto sin perder la visibilidad desde todos los ángulos .

Para lograr cumplir con todos los requerimientos de la carcasa se empieza realizando un análisis de los movimientos de la impresora para determinar los puntos mínimos y máximos del desplazamiento de los ejes de la impresora para saber cuales son los límites del espacio de trabajo y evitar que golpeen los elementos de la carcasa, de este análisis se determina las medidas externas de la carcasa.

Obtenidas las medidas mínimas para que la carcasa cubra todo el espacio de impresión sin que intervenga en los movimientos de la impresora se procede a diseñar la estructura en dos materiales, uno que funcione como soporte y otro estético.

Para el diseño del soporte se utiliza láminas de MDF por su excelente relación rigidez peso en comparación a otras alternativas de metal, la función de esta estructura es solucionar todos los problemas relacionados con los componentes electrónicos generando un espacio cerrado en la parte superior detrás del marco en donde se colocan todos los elementos necesarios para el funcionamiento de la impresora. Además esta estructura esta diseñada para servir de soporte al segundo material.

El segundo material es un acrílico transparente con esto se logra que no se pierda la ventaja de la visibilidad desde todos los ángulos.

Se ha elegido el MDF como estructura y al acrílico como recubrimiento considerando que una estructura solo en MDF sería económica y liviana pero poco atractiva y si fuese solo acrílico sería muy atractiva pero costosa y pesada , de esta manera utilizando ambos materiales se combinan sus bondades, figura 66.

4.5.3. Actuadores

Un actuador es un dispositivo capaz de transformar un tipo de energía en un proceso físico. Este proceso recibe la orden de un controlador y en función de esta genera la orden para activar el proceso final. En el Sistema Robótico existen varios actuadores, para cada uno de ellos ser realizara una introducción teórica seguida de una selección y la descripción de la mejor opción [83].

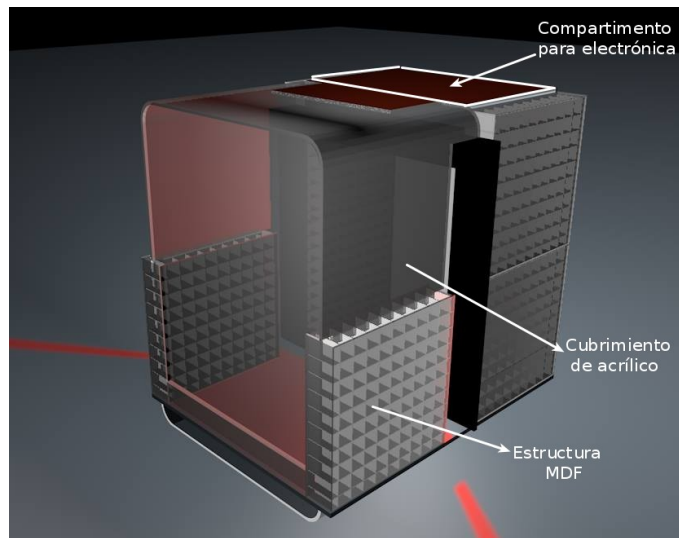


Figura 66: Disposición de los materiales de la carcasa
Fuente: Investigador. Realizado en Cinema 4D.

Motores

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas que convierten en energía mecánica la energía eléctrica que absorben por sus bornes. Existen motores eléctricos de varios tipos dependiendo del tipo de corriente que utilicen, cada uno tiene características propias que lo hacen más aptos para unas aplicaciones que para otras, para una impresora 3D los motores más adecuados y que cumplen los requerimientos de energía son los de corriente directa de los cuales se deberá escoger el más adecuado [83].

Selección de los motores

Los motores más comunes son los motores de corriente continua, este tipo de motores se usan generalmente en los juguetes. Sus características principales en que giran libremente y a una alta velocidad. Los motores de CC no tienen una velocidad nominal conocida tienen un tiempo de arranque y al finalizar también necesitan un tiempo para disminuir su velocidad antes de parar completamente por estas razones tratar de lograr que estos motores giren una cantidad determinada por ejemplo dos vueltas resulta imposible mucho menos aún fracciones de vuelta, este fenómeno se trata de controlar mediante la regulación de la corriente, con la determinación exacta del tiempo de arranque y paro del motor, sin embargo la inercia del motor sigue presente y depende las magnitudes como peso del motor, fricción de los ejes, temperatura de la bobina, núcleo de hierro e imanes. La manera de controlar un motor de CC es utilizarla en una configuración de servomotor que además del motor

Tabla 14: Análisis de los motores

Tipo de motor	Servomotor	Motor de Paso a Paso
Imagen		
Velocidad	Por encima de las 1000 rpm	Debajo de 500 rpm
Retro alimentación	Si	No
Torque	Alto en cortos periodos	Constantemente Alto
Tipo de Lazo	Abierto	Cerrado
Resolución o Paso	Hasta 200 por revolución Hasta 1600 con micro pasos	Valores Típicos 500, 1000, 2000 pasos por revolución
Precio	Según su tamaño	10-20% mas barato
Mantenimiento	Cambio de escobillas	Ninguno
Salidas de control	Tres	4 bipolares, 5 o 6 en unipolares
Mantenimiento	Si	No

Fuente: Investigador

de CC tiene un juego de engranajes una retro-alimentación con potenciómetro y un circuito de control que compara la posición actual con la deseada [84].

Un motor de paso a paso en cambio puede dar pasos de un determinado numero de grados desde 1.8° a 90° debido a la configuración de sus bobinas que son energizadas por separado y a diferencia de un motor de CC no utiliza escobillas. Lo que lo convierte en mas preciso, los bajos niveles de velocidad y torques que maneja el sistema hacen que el motor de paso a paso sea el mas adecuado. El motor de paso a paso escogido es el Nema 17.

En la tabla 14 se realiza una comparación de las características de cada tipo de motor teniendo como referencia motores similares, cada motor funciona mejor en diferentes situaciones.

Motores Paso a Paso

Un motor Paso a Paso (Stepper Motor) es un dispositivo que convierte pulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos lo que significa que es capaz de avanzar una cantidad de grados en cada paso que esta determinada por el sistema de control, cada paso mueve el motor una distancia conocida lo que hace que este dispositivo sea utilizado en aplicaciones donde se necesite repetibilidad.. Este paso puede ir desde 1.8° hasta 90° , es decir, para completar un giro de 360° se necesitaran de 200 pasos en la mas baja configuración a 4 pasos en la mas alta.

El motor siempre tendrá un número finito de pasos pero al utilizar la técnica de Micro pasos se incrementa la cantidad de pasos enviando una onda senoidal a la bobinas en el interior del motor, en la mayoría de los casos los micro pasos permite

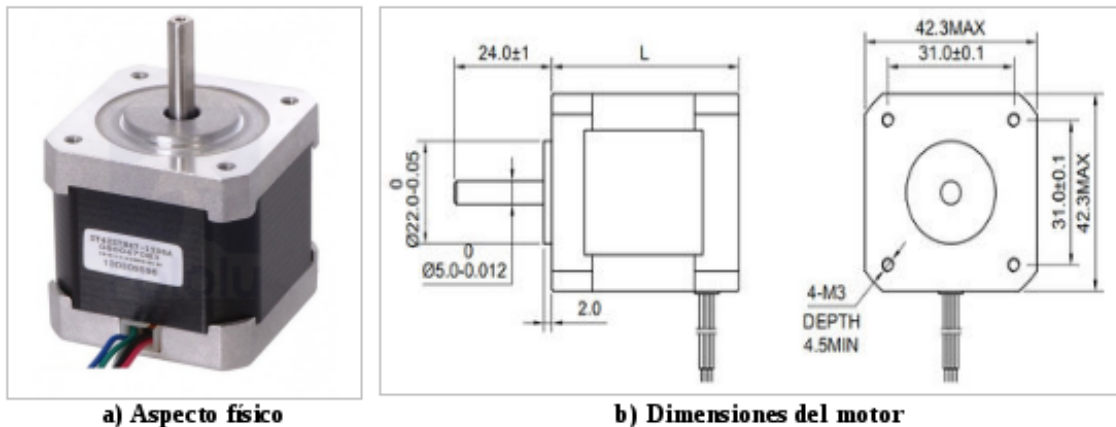


Figura 67: Motor de paso a paso
Fuente: Investigador

que el motor se mueva de una forma mas fluida y precisa [85].

Motor Paso a Paso Nema 17

El Nema 17 es un motor de paso a paso, figura 67a, con una cara frontal de 42.3mm x 42.3mm (figura 67b), es un motor bipolar con un ángulo de paso mínimo de 1.8°. Es un motor muy robusto ampliamente utilizando en impresoras 3D DIY del proyecto RepRap recomendado para garantizar la mejor fiabilidad [85]. Sus principales características son:

- Peso: 350 gramos
- Diámetro del eje: 5 mm
- Longitud del eje: 25 mm
- Pasos por vuelta: 200 (1,8°/paso)
- Corriente: 1.2 Amperios por bobinado
- Tensión: 4 V
- Resistencia: 3.3 Ohm por bobina
- Torque: 0.4 N*m
- Inductancia: 2.8 mH por bobina

Configuración de los pasos de un Motor PAP

El motor de paso a paso Nema 17 tiene una resolución de 1.8° , con el driver A4988 permite obtener mayor resolución de los micro-pasos que se logran energizando las bobinas con niveles de corriente intermedia. El driver puede ser configurado para dar 4 8 o 16 micro-pasos por cada paso del motor. Se utilizará a su máxima resolución con 16 micro-pasos. La resolución del motor con 1.8° es de 200 pasos por revolución, con los micro-pasos configurados en 16 se divide cada paso para 16.

$$pasos - rev = \frac{360^\circ}{1.8^\circ} = 200 \text{ Sin micro-pasos}$$

$$pasos - rev = \frac{360^\circ}{\left(\frac{1.8}{16}\right)^\circ} = 3200 \text{ Con micro-pasos}$$

Es decir, cada paso del motor es de 1.8° con el driver este paso se divide para 16, cada micro-paso representa un ángulo de 0.1125° con el que se necesitan 3200 pasos para completar una vuelta del motor logrando una resolución mayor [71].

Pasos por milímetro

En la configuración de los motores además de la resolución de los micro-pasos es necesario saber cuantos micro-pasos necesita dar para completar un milímetro lineal. Este parámetro es importante en la configuración del firmware [86].

Ejes X Y Para el mecanismo de transmisión de movimiento polea correa sincronizada, los pasos por milímetro se calculan muy exactamente con las características del motor, polea y correa. El motor Nema 17 tiene 200 pasos por revolución y trabaja configurado con un micro-paso de 16. La polea tiene 20 dientes y su paso es de 2 mm, todas estas características completan los parámetros de la ecuación 13 [86].

$$Pasos_{mm} = \frac{Pasos_{revolucion} * Micro - pasos}{Paso_{correa} * Numerodientes} \quad (13)$$

$$Pasos_{mm} = \frac{200 * 16}{2 * 20} = 80$$

Ejes Z Para el mecanismo de transmisión de movimiento tuerca tornillo, los pasos se calculan con los datos de la varilla roscada y los micro-pasos del motor. El paso de una varilla de 5 mm de diámetro es 0.8mm y la configuración del motor es la misma que para los ejes Y, estos valores se remplazan en la ecuación 14 [86].

$$Pasos_{mm} = \frac{Pasos_{revolucion} * Micro - pasos}{Paso_{varilla}} \quad (14)$$

$$Pasos_{mm} = \frac{200 * 16}{0,8} = 4000$$

Extrusor Para el extrusor con un mecanismo de reducción y con un perno de tracción, los pasos se calculan basados en la relación de reducción de acuerdo al número de dientes de los engranes y el diámetro del perno de tracción, la relación del reductor es de 43:13 y el diámetro del perno es 7 mm, según la ecuación 15 [86].

$$Pasos_{mm} = \frac{(Pasos_{revolucion} * Micro - pasos) * (\frac{dientes_{grande}}{dientes_{pequeño}})}{\pi * Diametro_{perno_{tracción}}} \quad (15)$$

$$Pasos_{mm} = \frac{(200 * 16) * (\frac{43}{13})}{7 * \pi} = 481,31$$

Base de impresión

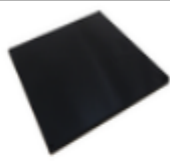


Todo el material de la impresión será depositado sobre la base de impresión, de que esta base tenga las condiciones adecuadas para recibir todo el material depende el éxito de la impresión, la primera capa que se adhiere sobre esta base es la que definirá el éxito o fracaso de la impresión.

Selección de la base de impresión

La base de impresión completa el trabajo del extrusor, debe ser colocada de manera que reciba el material depositado. Pueden ser bases calientes o frías dependiendo del material que se utilice en la impresión en la tabla 15 se detalla las principales características de cuatro de las más populares y usadas.

La base de impresión es un aspecto muy importante en la construcción de una impresora 3D ya que en donde se fija la primera capa del material y en donde se asienta toda la figura terminada, dependiendo del material que se utilice se necesita una base fría o caliente. La base caliente puede imprimir con PLA y ABS sin embargo la base fría solo acepta PLA, para poder cumplir con el objetivo de que la impresora 3D pueda imprimir en varios materiales que incluyen el ABS y el PLA se necesita una base caliente. La base caliente basada en silicona consume mucha más corriente y solo es fabricada por una empresa a pesar de brindar buenos resultados no tiene la misma relación calidad costo que la Mk2A que además de ser la más utilizada y tiene varios proveedores su diseño es libre y puede ser fabricada de manera artesanal por lo que será usada en el presente proyecto.

Tabla 15: Análisis de la base de impresión.

Base	Lexan	Metacrilato	Mk 2a	Silicona
Imagen				
Licencia	Copy Right	GPL	GPL v2	Copy Right
Autor(es)	SABIC	bq	Josef Prusa	Quintessential
Dimensiones	(200x200x 3)mm	(200x200x 8)mm	(200x200x3) mm	(200x200x 4)mm
Tipo	Frio	Frio	Caliente	caliente
Materiales	ABS PLA	PLA	ABS PLA	ABS PLA
Voltaje	NA	NA	12 V.	12 V.
Corriente	NA	NA	10 A	15 A

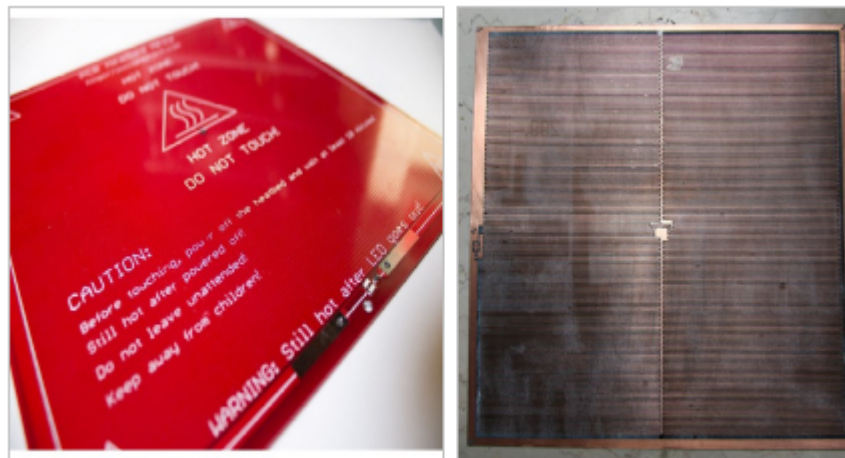
Fuente: Investigador

Base Caliente MK2

La base caliente transforma energía eléctrica en energía térmica, es el lugar en donde reposan las piezas al ser impresas (Figura 68a), tiene que alcanzar una cierta temperatura (100°C para el ABS, 60°C para el PLA) para evitar que la pieza tenga un gradiente de temperaturas muy elevado durante la impresión (parte de abajo fría parte de arriba caliente) que generaría deformaciones en la pieza. Es posible que no se necesite para imprimir PLA, porque es térmicamente estable, es decir, no varía mucho su dimensión con la temperatura.

La base caliente creada por Josef Prusa, esta construida a manera de un circuito impreso (PCB) con dos lados, el lado inferior consta de varias pistas dispuestas de manera paralelas (Figura 68b) y la parte superior con una serigrafía y dependiendo del fabricante lleva un termistor integrado. La impresión se realiza de manera segura en la parte superior y funciona muy bien, sin embargo es mas eficaz y se calienta mas rápido en la parte inferior solo hay que tener en cuenta que el extrusor no golpee los leds [87].

- Área total del PCB: 214 mm x 214 mm .
- Área útil del PCB :200mm x 200mm.
- Profundidad de las pistas: 35 um.
- Voltaje de alimentación: 12v / 24v (MK2a / MK2b)



a) Acabado Profesional

b) DIY

Figura 68: Base Caliente
Fuente: Investigador

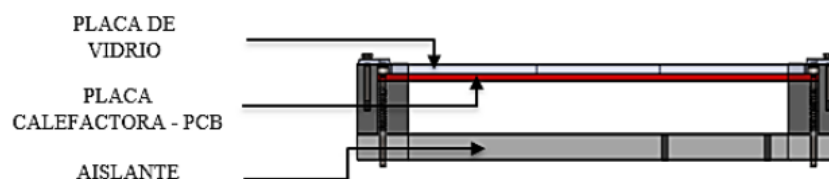


Figura 69: Montaje de la base Caliente con PCB
Fuente: Tesis Impresora 3D ESPEL [71]

- Corriente: 11 A.
- Potencia útil: 130 W.
- Termistor: 100k tolerancia 1%.

Montaje del PCB La base caliente PCB no es totalmente plana, lo ideal es poner sobre ella una lamina de vidrio que es bastante plano. Lo que también es importante es un intercambio rápido de superficies de impresión, en lo que también resulta muy útil el vidrio. Para sujetar el vidrio al PCB se pueden usar sujetapapeles o piezas impresas, el montaje se muestra en la figura 69 [88].

4.5.4. Sistema Sensorial

Un sensor es un dispositivo eléctrico o mecánico que convierte magnitudes físicas en valores mensurables de dicha magnitud en tres fases: Primero el fenómeno es captado y el sensor muestra una señal eléctrica proporcional a la variable física, segundo la señal eléctrica es acondicionada y expresada como un voltaje que

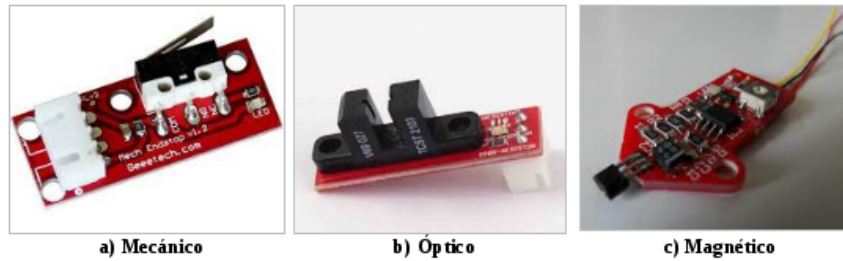


Figura 70: Tipos de finales de carrera
 Fuente: RepRap Organization [90]

finalmente sera manipulada para ser leída por un controlador. En un Sistema Robótico los sensores tienen un papel muy importante, para una impresora 3D se necesitan dos tipos de sensores: finales de carrera y termistores para medir posición y distancia respectivamente [89].

Finales de Carrera

Los finales de carrera (*endstop*) son sensores que se ponen en los límites del movimiento de un sistema para detectar la llegada del límite y detener el movimiento del motor. Existen varios dispositivos para señalar el límite de un movimiento, Mecánicos, Ópticos y Magnéticos tienen un principio de funcionamiento común, al llegar el dispositivo móvil al sensor este envía una señal eléctrica para indicar la situación [90].

Mecánicos Son la forma más básica de finales de carrera (figura 70a), hecho de un interruptor de corriente, dos cables. Cambiar el estado del interruptor envía señales a los componentes electrónicos.

Ópticos Estos finales de carrera ópticos observan el nivel de luz y reaccionan a los cambios repentinos (figura 70b). cuando un objeto cruza el haz de luz envía un cambio de nivel eléctrico.

Magnéticos Estos finales de carrera; sensores de efecto Hall es un transductor que varía su salida de tensión en respuesta a un campo magnético (figura 70c). Sensores de efecto Hall se utilizan para la conmutación de la proximidad, el posicionamiento, detección de velocidad, y aplicaciones de detección de corriente.

Fuente: RepRap Organization [91]

Pin	Nombre	Función
1	Vcc	Provee 5V. al switch.
2	GND	Conexión a Tierra.
3	GND	Conexión a Tierra.
4	Signal	Estado binario del switch.

Tabla 16: Pinout de un Final de carrera mecánico

Selección del Final de carrera

Los tres tipos de finales de carrera: mecánicos, ópticos y magnéticos. El final de carrera mecánico es una solución simple para un problema simple, se requiere saber cuando un eje de la impresora ha alcanzado su límite máximo o mínimo en lugar de jugar con *flags* de posición o interruptores de haces de luz además de su bajo costo, fácil diagnóstico de fallas pronto mantenimiento, se escoge el final de carrera mecánico.

Final de carrera V1.2

Este tipo de final de carrera fue diseñado por MakerBot Industries bajo licencia GNU GPL v3. El tope final mecánico utiliza un interruptor de palanca para detectar cuando se activa. El interruptor está cableado de manera que cuando se activa, pone su señal en BAJO. También hay un LED en el tablero que se ilumina cuando se activa el interruptor. Esto puede ser de gran ayuda cuando se está depurando, en la tabla 16 el pinout del final de carrera mecánico y en la figura el esquemático, las pistas y el pictórico del Final de carrera [91].

Sensor de Temperatura

Tradicionalmente la temperatura es aquella variable que miden los termómetros, sin embargo, se mide también basándose en alguna propiedad termométrica, por ejemplo la expansión de un líquido, la resistencia de un conductor, la tensión eléctrica de un par termoelectrico, existe una gran variedad y dependiendo de la aplicación se escoge el más adecuado, en la tabla 17 se muestran algunos tipos de sensores de temperatura que pueden ser manipulados y leídos por un controlador [92].

El termistor se selecciono en el momento de escoger el Fusor de plástico Budas G3D, debido a que esta optimizado para ser usando junto con el termistor de 100k EPCOS.

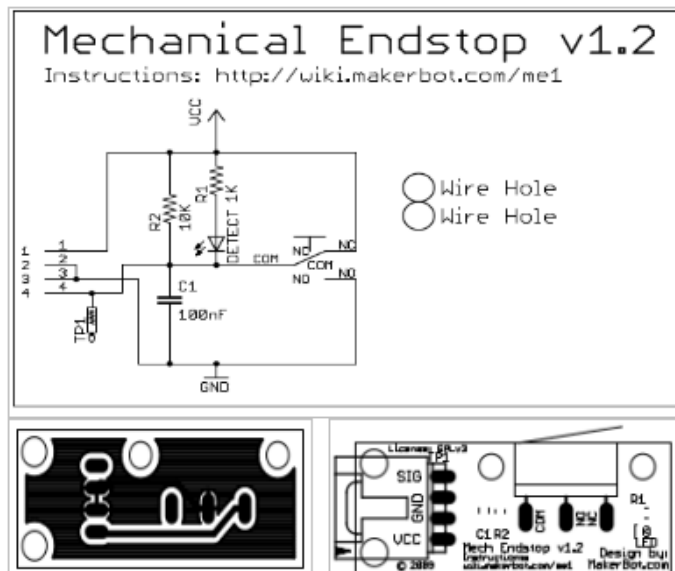


Figura 71: Esquemático, Pistas y Pictórico Endstop v1.2
 Fuente: RepRap Organization [91]

Tabla 17: Tipos de sensores de Temperatura y Características

Tipo de termómetro	Rango [°C]	Costo	Linealidad
Termoresistencia	-150 a 600	Medio	Alta
Termocupla	-150 a 1500	Bajo	Alta
Termistor	-15 a 115	Medio	No lineal
Integrado Lineal	0 a 100	Medio	Muy alta

Fuente: Sensores de Temperatura [92]



Figura 72: Termistor EPCOS B57560G1104F
Fuente: Gadgets 3D

Termistor 100k EPCOS

Un termistor es un sensor resistivo de temperatura. En un semiconductor la resistividad varia con la temperatura, esta característica es aprovechada para medir temperatura. El termino se forma de la unión de las palabras **Resistor** **Termicamente** Sensible.

El termistor EPCOS 100k, Figura 72, es un Termistor de tipo NTC, es decir tiene un coeficiente de temperatura negativo y cuando la temperatura aumenta disminuye su resistencia [93].

Las características del Termistor 100K EPCOS son:

- Rango de medición desde -55 °C hasta 300 °C
- Resistencia Nominal de 100 K ohmios
- Vida útil de 1000 horas a 300 °C.
- Soporta ambientes secos y húmedos sin daños
- Encapsulado de vidrio resistente al calor, altamente estable.
- Régimen de potencia 50mW
- Tolerancia 1 %
- Estilo de terminación radial
- Nombre del artículo en catalogo B57560G1104F

4.5.5. Efecto Final

El efecto final es el elemento encargado de los procesos necesarios para convertir el filamento en un objeto en 3D fundiendo el plástico para luego colocarlo en capas sucesivas, en el caso de una impresora 3D el efecto final recibe el nombre de Extrusor de plástico y esta formado por dos elementos:

- El fusor que es el encargado de derretir el plástico.
- El Reductor que es el encargado de empujar el plástico hacia el fusor.

Fusor de plástico

El principio de funcionamiento de un extrusor (ver figura 73) se basa en introducir un filamento de algún tipo de plástico con un diámetro de 1,75 mm o 3 mm por el extremo frío del extrusor o cold-end y empujarlo a través del extremo caliente o hot-end del fusor para que salga por una boquilla a una velocidad razonable, en primer lugar sobre la base de impresión que puede ser fría o caliente dependiendo del tipo de plástico y luego sobre la capa anterior para construir el modelo en 3D.

Por lo general dependiendo del modelo del extrusor el extremo del cold-end es el más voluminoso, la base del extrusor está sobre un eje que soporta las demás partes. En ciertos diseños el extremo frío está dividido en dos partes, la una conduce el filamento que está conectada a la base y un tubo flexible. El alimentador de filamento es un motor con una rueda dentada que presiona el filamento hacia una placa de presión o la superficie de un rodamiento, el movimiento del motor es transmitido mediante engranajes para aumentar el torque y la suavidad. El extremo frío está unido al extremo caliente por medio de un aislante térmico generalmente PEEK, que debe ser lo suficiente rígido para asegurar la transferencia de material de un lado al otro sin transferencia de calor.

El extremo caliente que consiste en una cámara que funde el filamento que sale por una boquilla con un diámetro menor al del filamento en el orden de 0.15 mm a 0.75 mm para formar una delgada y pegajosa capa de plástico que se adhiere sobre la base de impresión, tanto la cámara como la boquilla están construidas con bronce o aluminio.

En la parte exterior del extremo caliente está el calefactor el cual está construido de un alambre de nicromo o de una resistencia de alambre devanado. La potencia requerida para que la temperatura en el extremo caliente esté en el rango de 150 °C a 200 °C está en el orden de los 40 W. El control de temperatura se realiza con un termistor ubicado muy cerca de la boquilla [94].

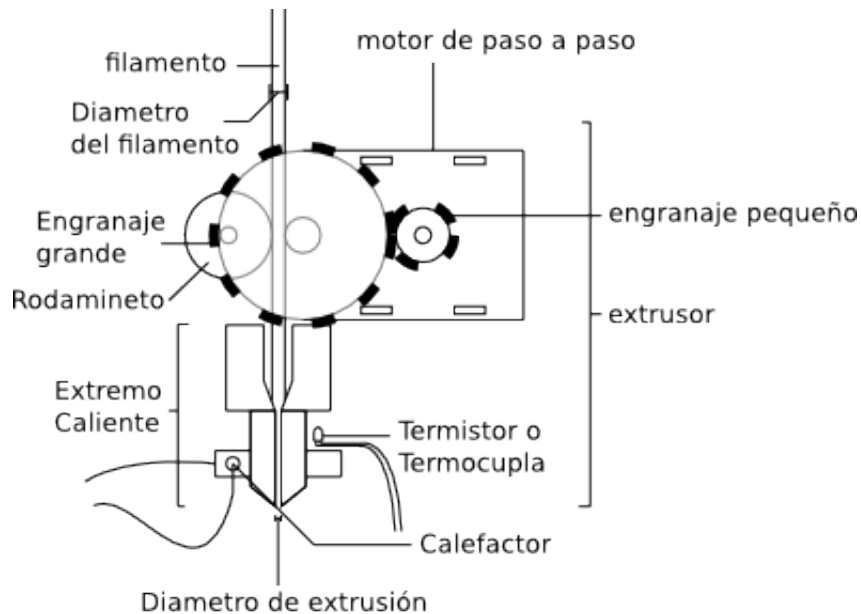


Figura 73: Diagrama de los componentes de un extrusor
Fuente: Funcionamiento del Extrusor [94]

Selección del Fusor

El extrusor es el responsable de alimentar el filamento de plástico, derretirlo y depositar el material en la plataforma de extrusión, en el mercado existen varias alternativas en la tabla 18 se hace el análisis de las características de cuatro de los mas populares.





Un criterio importante a tomar en cuenta el momento de seleccionar el extrusor es la calidad de extrusión que viene dada por el diseño de su cold end y la transición hacia el hot end para que el resultado final sea el requerido por el usuario. Siguiendo el lineamiento de la investigación se ha hecho el estudio de extrusores de código abierto y en base a las experiencias de otros usuarios encontradas en las *wikis* y foros se hace el análisis de los cuatro mas usados de los cuales se evaluá su tipo de montaje, disipación de calor, resolución de problemas y el material del que esta fabricado.

El **J-Head** tiene un bajo costo, sin embargo necesita de una pletina para su montaje y por estar fabricada en una sola pieza de ptfе resulta difícil solucionar un atasco de plástico y si se excede la temperatura se funde con facilidad.

El Prusa Jr es completamente fabricado con acero inoxidable, sin embargo tampoco esta libre de atascos al no tener disipación y también necesita una pletina adicional para su montaje.

Tanto el **Budas** como el **Arcol** tienen una pletina de sujeción incorporada y son desmontables en caso de atascos con el plástico, tienen un disipador propio, la

Tabla 18: Análisis del Extrusor

Hotend	Budas G3D V1.2	Arcol V4	J-head mk 4	Prusa
Imagen				
Licencia	GPLv3	CC BY-NC 3.0	GPL	GPL v3
Autor(es)	Gadgets 3D	Arcol	Reifsnyderb	Josef Prusa
Modelo Base	Arcol.hu	Original	Varios	North 90
Pletina	Si (sujeción)	Si (sujeción)	No	No
Tipo de Montaje	Flat Plate	Flat Plate	Groove Mount	Groove Mount
Material	PEEK, PTFE, aluminio, acrílico,	Acero inoxidable, PTFE	PTFE, Acero inoxidable	Acero inoxidable
Diámetro Filamento (mm)	1.75 mm, 3mm	1.75 mm, 3mm	1.75 mm, 3mm	1.75 mm, 3mm
Diámetro boquillas	0.15 mm a 0.75 mm	0.35 mm, 0.5 mm	0.4 mm, 0.35mm, 0.3mm, 0.25mm	0.4 mm, 0.6 mm
Temperatura Max	260 °C	260	248 °C	220-260 °C

Fuente: Investigador

temperatura máxima que soportan es relativamente alta.

Tomando en cuenta estos factores se concluye que los que tienen un mejor montaje, disipación de calor y mayor facilidad de mantenimiento son el Budas y el Arcol, ambos son muy similares sin embargo el Budas G3D v1.2 tiene piezas de acrílico que resultan más duraderas que la madera del Arcol y por su alta disponibilidad en el mercado se ha elegido el modelo **Budas G3D v1.2**.

BudaschNozzle G3D v1.2

El BudaschNozzle es un extrusor de alto rendimiento (Figura 74) destinado a ser usado en impresoras del proyecto RepRap. La versión comercial del extrusor viene completamente ensamblado, solo hace falta conectarlo al controlador y está listo para funcionar. Sin embargo su licencia GPL brinda la libertad de estudiarlo, modificarlo y reproducirlo de acuerdo a las condiciones de la licencia. La empresa Gadgets 3D lo re diseñó para no usar madera sino piezas de acrílico que le brinda un mejor aspecto y son más duraderas [95].

El fusor disipa el exceso de calor perfectamente y al mismo tiempo que evita que el material se sobre caliente y el extrusor se dañe. Por otra parte, su construcción permite al usuario para encaminar los cables sin el peligro de dañar el fusor cuando

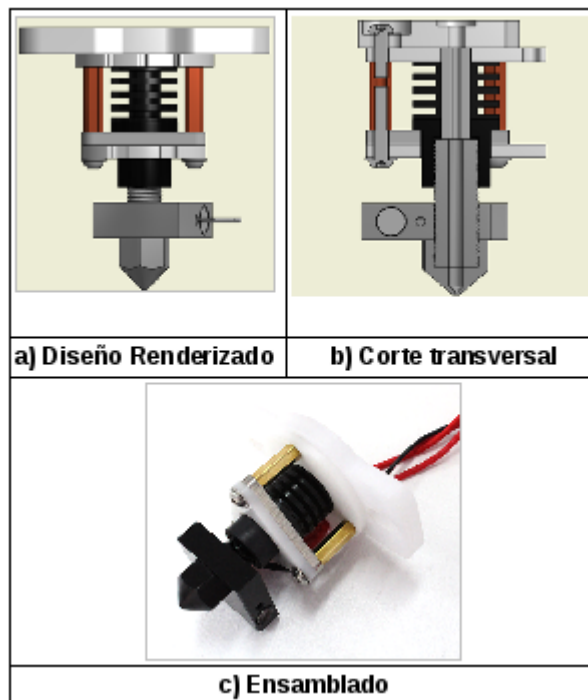


Figura 74: Budaschnozzle G3D V1.2

Fuente: Gadgets 3D

está trabajando. Además, la estructura del calentador se mejoró con la introducción de un nuevo calentador de cerámica de alta calidad.

Las principales características del extrusor son :

- Fácil ensamblado sin el uso de pegamento.
- Alivio de la tensión del Filamento.
- Final caliente fabricado con un bloque de aluminio.
- Retenedor de cable incorporado.
- Medidas en la parte mas larga 57mm, 40mm, 40mm.
- Boquilla de aluminio mecanizado M10 con un orificio interno de 0.4mm o 0.3 mm.
- Orificio para termistor EPCOS 100k.
- Resistor para calentamiento de Fusor 6.8 Ohm, 12v / 40 W (Vishay) diametro de 6 mm y 25 mm de largo.
- Disipador de aluminio.

- Aislante de PEEK.
- Interior de PTFE.
- Placas de madera cortadas en laser.
- Para uso de filamento de 3 mm. Filamento de 1.75 mm puede ser usado cambiando el tubo interior de PTFE.
- Placa de respaldo de acero inoxidable.

Diseño del Reductor

El reductor es el mecanismo que multiplica el par del motor para que la presión que ejerce al empujar el plástico supere la presión del interior del fundidor que depende de la geometría y del fusor la viscosidad del material [13]. En la geometría interna del fusor tiene 3 mm de diámetro en la parte mas amplia y el orificio de la boquilla mas pequeña mide 0.3 mm, mientras mas pequeño el orificio de la boquilla se necesita mayor presión sobre el material. En cuanto al material se toma como referencia a PLA que tiene un factor de fricción mas alto.

En el proceso de extrusión se toman en cuenta tres variables y la relación que existe entre ellas, La temperatura, la velocidad y la presión. El comportamiento de la presión en función de las otras dos es el siguiente:

- Cuando la temperatura del material disminuye se necesita mayor presión. Cuando el plástico tiene menor temperatura resulta en una mayor viscosidad lo que provoca que se necesite un mayor esfuerzo cortante que es proporcional a la presión.
- Cuando la velocidad de extrusión aumenta también aumenta la presión necesaria.

La presión total necesaria para la extrusión de PLA a una temperatura de 220 °C con una velocidad máxima de 210 mm/s es 15 MPa, para calcular la fuerza F necesaria a la entrada del extrusor se utiliza la ecuación 16 , con un radio de 0.0015 mm.

$$F = P * A \tag{16}$$

$$F = 15 * 10^6 [Pa] * 3,14 * (0,0015 [m])^2$$

$$F = 106,02 [N]$$

Se tomara como base para el desarrollo del reductor las medidas del extrusor del suizo Jonas Kuhling llamado Greg Waden, el radio del engrane grande que se movera es de 18 mm, con la ecuación se calcula el torque que debe proveer el motor.

$$T_1 = F * r_1 \quad (17)$$

$$T_1 = 106,02[N] * 0,018[m]$$

$$T_1 = 1,91[N * m]$$

El motor de pasos seleccionado para la impresora 3D es un Nema 17 con un torque nominal de 0.4 [N*m], es decir, el reductor debe brindar el torque necesario, para encontrar la relación entre los dos torques utilizamos la ecuación .

$$Relación = \frac{T_1}{T_m} \quad (18)$$

$$Relación = \frac{1,91}{0,4}$$

$$Relación = 4,77$$

Para asegurar el funcionamiento del torque en condiciones adversas de presión, se procede a sobre dimensionar la relación aproximado a 5

La potencia necesaria del motor P_{me} se calcula con la ecuación 19.

$$P_{me} = T_m * W_m \quad (19)$$

Donde W_m es la velocidad angular que se calcula con la ecuación 20. Y T_m es el torque del motor.

$$W_m = W_{max} * Relación \quad (20)$$

$$W_{max} = \frac{V_{max}}{r_r} \quad (21)$$

Sin embargo, antes es necesario conocer la velocidad angular máxima con la ecuación 21 donde r_r es el radio de la rueda motriz será de 5mm de acuerdo al diseño base del extrusor y la velocidad lineal máxima V_{max} es 210mm/s

$$W_{max} = \frac{210 \frac{mm}{s}}{5mm}$$

$$W_{max} = 42 \frac{rad}{s}$$

$$W_{max} = \frac{(42 \frac{rad}{s}) * 60}{2 * \pi} = 401,07 [rpm]$$

$$W_m = W_{max} * Relación$$

$$W_m = 401,07 [rpm] * 5 = 2005,35 [rpm]$$

$$W_m = 2005,35 [rpm] * \frac{2\pi}{60}$$

$$W_m = 210 \frac{rad}{s}$$

Con estos datos reemplazando en la ecuación 19 se tiene

$$P_{me} = 0,4 [Nm] * 210 \frac{rad}{s}$$

$$P_{me} = 84 [W] * \frac{1}{746} \left[\frac{HP}{W} \right]$$

$$P_{me} = 0,113 [HP]$$

En un motor Nema 17 la potencia es 6.3 W a 4.2 voltios, pero si se aplica 12 voltios la potencia máxima es 18 W y la velocidad lineal máxima es 138 mm/s. Entonces utilizando la ecuación 20 de la velocidad angular en función de la velocidad máxima lineal 21 se tiene la ecuación .

$$W_m = \frac{V_{max}}{r_r} * Relación \quad (22)$$

$$W_m = \frac{138 \left[\frac{mm}{s} \right]}{5 [mm]} * 5$$

$$W_m = 138 \left[\frac{rad}{s} \right] * \frac{60}{2\pi}$$

$$W_m = 1317,8 [rpm]$$

Es decir, que la velocidad angular máxima del motor es de 1317.8 [rpm] cuando el mecanismo debería girar a 2005.35 [rpm] lo que justifica la necesidad de un reductor. Y aplicando la ecuación 19 se obtiene la potencia máxima. La salida del reductor entrega la potencia a las ruedas conductoras (motriz y conducida), por medio de un eje que gira a 462.4 [rpm].

$$P_{me} = 0,4 [Nm] * 138 \left[\frac{rad}{s} \right]$$

$$P_{me} = 55,2 [W] * \frac{1}{746} \left[\frac{HP}{W} \right]$$

$$P_{me} = 0,074 [HP]$$

Con los datos obtenidos se concluye que se debe diseñar una reductora para aumentar el torque en un espacio reducido, es decir la reductora deberá ser de engranajes rectos con el fin de cumplir con las siguientes funciones:

- Recibir la potencia del motor a través de un eje giratorio.
- Transmitir la potencia a través de engranajes que reducen la velocidad al valor deseado.
- Entregar la potencia a una velocidad menor a un eje de salida al cual se acopla el conductor de filamento.

De lo analizado se obtienen las siguientes consideraciones de diseño:

- El reductor debe transmitir un torque de 1.91[Nm]
- La potencia entregada a la salida del reductor a las ruedas conductoras (motriz y conducida), por medio de un eje que gira a 1317.8 [rpm].
- La relación de transmisión debe ser de al menos 5.

Se deben cumplir estas consideraciones con los siguientes datos:

- Potencia a transmitir: $P_s = 0,074 [HP]$.
- Velocidad de giro del piñón: $n_p \approx 1317,8 [rpm]$.
- Número tentativo de dientes del engrane pequeño $N_p = 13$.
- Paso diametral tentativo $P_d = 24$ (paso fino).
- Relación tentativa de trabajo: 5.

El diámetro del engrane pequeño se calcula con la ecuación 23 .

$$D_p = \frac{N_p}{P_d} \quad (23)$$

$$D_p = \frac{13}{24}$$

$$D_p = 0,54 [\text{pulgadas}]$$

$$D_p = 13,7 [\text{mm}]$$

La velocidad de giro del engranaje pequeño se calcula con la ecuación 24.

$$n_g = \frac{n_p}{\text{Relación}} \quad (24)$$

$$n_g = \frac{1317,8 [\text{rpm}]}{5}$$

$$n_g = 263,56 [\text{rpm}]$$

La carga transmitida al engranaje pequeño se calcula con la ecuación .

$$W_t = \frac{126000 * P_s}{n_p D_p} \quad (25)$$

$$W_t = \frac{126000 * 0,074 [\text{HP}]}{1317,8 [\text{rpm}] 0,54}$$

$$W_t = 13,1 [\text{Lb}]$$

El factor de forma de diente de Lewis Y es un parámetro que determina la resistencia de los dientes de los engranajes. De acuerdo a la tabla de valores hallada en [96] para una profundidad completa de 13 dientes de 20° el factor de Lewis es $Y_p = 0,512$.

El ancho de cara mínimo del engranaje de la reductora se calcula con la ecuación , considerando un esfuerzo flexionante admisible $S_{at} = 6000 [\text{PSI}]$ y un factor de seguridad $SF = 1$.

$$F = \frac{W_t * P_d * SF}{S_{sat} Y_p} \quad (26)$$



Figura 75: Diseño del reductor del extrusor
Fuente: Investigador. Realizado en OpenSCAD

$$F = \frac{13,1 [Lb] * 24 * 1}{6000 [PSI] * 0,512}$$

$$F = 0,1 [pulg]$$

$$F = 2,5 [mm]$$

En el engranaje grande $N_G = 43$ es decir tiene 43 dientes. Y el diámetro de paso $D = 65 [mm]$, para una profundidad completa de 43 dientes de 20° el factor de Lewis del engranaje es $Y_p = 0,575$ [96]. Con la ecuación 27 se calcula el esfuerzo de los dientes del engranaje pequeño y grande para un ancho de cara de 0.1 pulgadas.

$$\sigma = \frac{W_t * P_d * SF}{F * Y_p} \quad (27)$$

$$\sigma_{pequeño} = \frac{13,1 [Lb] * 24 * 1}{0,1 [pulg] * 0,512}$$



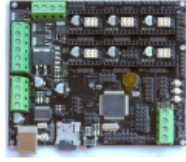
$$\sigma_{pequeño} = 6000 [PSI]$$

$$\sigma_{grande} = \frac{13,1 [Lb] * 24 * 1}{0,1 [pulg] * 0,575}$$

$$\sigma_{grande} = 5461,82 [PSI]$$

El esfuerzo de los engranajes es menor o igual al esfuerzo admisible de 6000 PSI [96], el diseño final del reductor se muestra en la figura 75.

Tabla 19: Selección del Controlador (1)

Controlador	RAMPS 1.4	RAMPS-FD	Megatronic v2
Imagen			
Licencia	GPL	GPL	GPL V2
Dimensiones	(100 x 60) mm	(100 x 100) mm	(110 x 95)mm
Alimentación	+12v, +24v	+12v, +24v	+12v
Procesador	Atmega 2650	AtmegaSAM3X	Atmega 2560
Velocidad	16 Mhz	84 MHz	16 Mhz
Memoria	256 KB	256 KB	256 KB
Salidas Mosfet	3		5
Stepper Drivers	A4988	A4988 (3.3 V)	A4988
Max Extrusores	2	3	3
Max micro paso	x16	x16	x16
Fin de carrera	6	6	6
Entr. termistor	2	2	3
Tercocuplas	0 (2 externas)	0 (2 externas)	2 (2 externas)
IDE	Arduino	Arduino	Arduino
LCD	Si (externo)	Si (externo)	Si (externo)
Micro sd	Si (externo)	Si (externo)	Si (integrado)

Fuente: Investigador, basado en [97]

4.5.6. Sistema de control



El sistema de control es el hardware encargado de recibir y ejecutar el Código G para controlar todas las funciones de la máquina CNC, estará encargada de mover motores leer temperaturas y demás funciones.

Selección del Controlador

El controlador es el cerebro de la impresora, en la mayoría de impresoras se ha popularizado el uso de controladores basados en Arduino, aunque existen muchas opciones pueden ser intercambiables y básicamente hacen lo mismo. Estos controladores pueden ser un todo en uno con el micro-controlador y la electrónica necesaria en una sola placa o la solución más usada es un Arduino Mega con una placa externa (*Shield*) que se le puede montar encima, en las tablas 19 20 se hace una descripción de las características de los diferentes controladores.

Existen varias tarjetas electrónicas en el mercado que permiten controlar los movimientos de los motores de una impresora 3D [97], de las que se han considerado para este estudio tienen varios aspectos generales en común como el *IDE*, las licencias y todas usan el mismo *Stepper driver*, además el objetivo de este trabajo es contar

Tabla 20: Selección del Controlador (2)

Controlador	Minitronics	Rumba	Rep rap EE
Imagen			
Licencia	GPL	GPL	GPL V2
Dimensiones	(95 x 55)mm	(135 x 75)mm	(170 x 90)mm
Alimentación	+12v	+12v +24v +35v	+12v a +24v
Procesador	Atmega 1281	Atmega 2560	Atmega 1284P
Velocidad	16 Mhz	16 Mhz	20 Mhz
Memoria	128 KB	256 KB	256 KB
Salidas Mosfet	4	5	5
Stepper Drivers	A4988	A4988	A4988
Max Extrusores	1	3	2
Max micropaso	x32	x16	x16
Fin de carrera	3	6	3
Entr. termistor	2	4	6
Tercocuplas	0	3 (externo)	0
IDE	Arduino	Arduino	Arduino
LCD	no	Si (externo)	Si (integrado)
Micro sd	No	Si (externo)	Si (integrado)

Fuente: Investigador, basado en [97]

con un sistema flexible sobre el cuál se pueda experimentar ampliamente y exista una completa disponibilidad de accesorios y compatibilidad de software y firmware, también es importante que sea un sistema modular que sus componentes puedan ser remplazados individualmente. El controlador que cumple estos requerimientos y por esta razón es el mas difundido es RAMPS en su versión 1.4, y además de las características funcionales se considera su alta disponibilidad en el mercado y por estas razones ha sido elegido como controlador de la impresora 3D. Ramps funciona como una *shield* de Arduino Mega sus características se amplían en el siguiente literal.

Arduino Mega Pololu Shield

El RepRap *Arduino Mega Pololu Shield* [98] o Ramps esta diseñada para albergar toda la electrónica de potencia necesaria para manejar una impresora 3D de RepRap en una pequeña placa de bajo costo(Figura 76). La interfaz de Ramps es un Arduino Mega que cuenta con la poderosa plataforma de Arduino y tiene mucho espacio para expansión. Su diseño modular incluye un conector para los controladores de pasos y la electrónica de control del extrusor todo en un solo *shield*. Además se puede

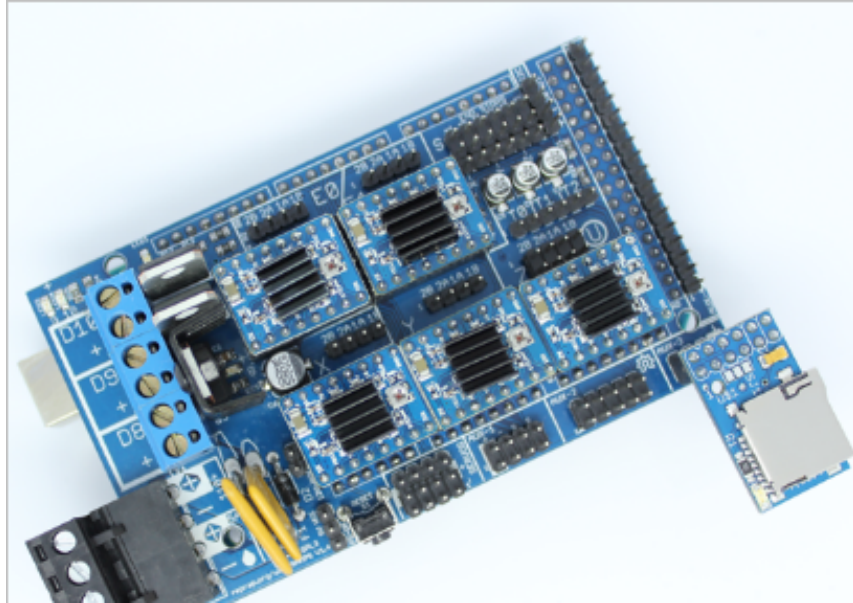


Figura 76: RepRap Arduino Mega Pololu Shield
Fuente: RepRap Organization [98]

reemplazar fácilmente sus componentes por daño o actualizaciones. Además se puede añadir mas placas de expansión de Arduino siempre y cuando el Ramps quede en lo alto del arreglo.

En la versión 1.4 se utiliza un montaje superficial de resistencias y condensadores, entres sus principales características están :

- Tiene prestaciones para manejar un robot cartesiano y extrusor.
- Expansible para controlar otros accesorios.
- Tiene 3 Mosfet para salidas del calefactor o ventiladores y tres circuitos de termistor.
- Se implementan fusibles de 5A para seguridad y protección de los componentes.
- El control de la cama caliente se realiza mediante la utilización de un fusible adicional de 11 A.
- Se pueden encajar 5 controles de motor de paso a paso Pololu.
- Los Pololus se pueden retirar fácilmente de sus conectores.
- Se puede expandir mediante el uso de los pines de comunicación I2C y SPI.
- Todos los mosfet están conectados a pines PWM para una mayor versatilidad.

- Conectores tipo servo son utilizados para conectar los finales de carrera motores y leds.
- Estos conectores están hechos de oro para una corriente de 3A, muy compactos y disponibles a nivel mundial.
- Conector USB tipo B.
- Se puede añadir un lector de tarjetas SD.
- Leds indican cuando la salida del calefactor esta activada.

Ramps es un proyecto Open Source bajo licencia GNU GPL v3 sus planos están disponibles para estudio y modificación. Sus diseños estan disponibles para su descarga y se detallan en la sección de anexos.

Arduino MEGA

El arduino MEGA [99] es una placa electrónica basada en el micro-controlador ATmega1280 y cuanta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 14 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs, un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para el funcionamiento del micro-controlador; basta con conectarlo a un computador con un cable USB, a un adaptador o a una batería para empezar. Mega es compatible con la mayoría de los shields diseñados para el Arduino Duemilanove o Diecimila.

Características principales:

- Micro-controlador ATmega:1280
- Voltaje de funcionamiento: 5V
- Voltaje de entrada (recomendado): 7-12V
- Voltaje de entrada (límites): 6-20V
- Pines digitales I / O: 54 (14 PWM)
- Pines de entrada analógica: 16
- Corriente DC por Pin I / O: 40 mA
- Corriente DC pin de 3.3V : 50 mA
- Memoria Flash: 128 KB

Tabla 21: Pololu A4988 esquemático y características

Tamaño	(15 x 20) mm	
Peso	2.4 g	
Voltaje mínimo de operación	8 V	
Voltaje máximo de operación	35 V	
Corriente Continua por fase	1 A	
Corriente Maxima por fase	3A	
Voltaje Lógico mínimo	3 V	
Voltaje Lógico máximo	5.5 V	
Resolución de micro pasos	Full, 1/2, 1/4, 1/8 y 1/16	
Protección de polaridad	No	
Pines Soldados de fábrica	Si	

Fuente: Pololu Robotics and Electronics [100]

- SRAM: 8 KB
- EEPROM: 4 KB
- Velocidad de reloj: 16 MHz

La programación se realiza mediante el software de Arduino, El ATmega 1280 viene pre-cargado con un gestor de arranque que le permite cargar nuevo código a la misma sin el uso de un programador de hardware externo. Se comunica utilizando el protocolo STK500.

Pololu A4988 Controlador de Motores Paso a Paso

Esta es una placa para el controlador de micro pasos de un motor de paso a paso A4988 [100] de la marca G3D con protección de sobre corriente y altas temperaturas. Este controlador es utilizado como interfaz entre la tarjeta controladora y los motores, simplifica la seña que debe ser enviada al motor para controlar sus movimientos, va sobre el *shield* Ramps .Su diseño esquemático y características se muestran en la tabla 21 .

Selección del Firmware

Para que el código G sea ejecutado se necesita que la electrónica de la impresora 3D, en particular el micro-controlador tenga instalado un firmware que es el encargado de ejecutar las ordenes del código G al convertirlas en movimientos de motores.

Tabla 22: Comparación Marlin Vs. Sprinter

Característica	Sprinter	Marlin
Diseño Base	Original	Sprinter, Grbl
Control Temperatura	On/Off	PID
Previsión de movimientos	No	Si
Protección de temperatura	No	Si
Soporte Tarjeta SD	No	Si
Soporte LCD	No	Si

Fuente: El Investigador

En la actualidad dentro de las impresoras de código abierto del proyecto rebrap se manejan diseños modulares por lo que en cada segmento del proceso de impresión se puede utilizar por separado un componente tanto de hardware como de software independiente del resto de la cadena de herramientas CAM, en este caso el firmware tiene varias posibilidades: Sprinter, Teacup, Marlin, Grbl, Repetier-Firmware entre otros, pero para la mayor parte de la comunidad que colabora en el crecimiento de las prestaciones del firmware los preferidos son el **Sprinter** y el **Marlin** en la tabla 22 se comparan sus principales características [101].

Marlin es un firmware desarrollado inicialmente por Erik van der Zalm en base a Sprinter y Grbl, es decir, toma todas las prestaciones de Sprinter y las mejora gracias al éxito del proyecto, es la mejor opción en Firmware por lo que ha sido escogido para el presente proyecto, en una comparación del control de temperatura se muestra en la figura 77 , muestra una curva mucho mas estable en el Marlin que es una razón más para que sea el mas apto.

Marlin

Es uno de los firmwares más utilizados basado en versiones de otros que incluso aún continúan en uso y desarrollo [102]. Se basa principalmente en Sprinter pero tiene muchas cualidades extras, las principales son :

- Menú para impresión autónoma desde display LCD a través de cliks en un encoder rotatorio.
- Almacenamiento en EEPROM de variables por ejemplo velocidad máxima ,aceleración máxima, y variables similares.
- Muchos pequeños detalles y muy útiles procedentes del fork de bkubicek.
- Soporte para arcos Sobremuestreo de temperatura Selección de temperatura dinámica o “Auto Temperatura”

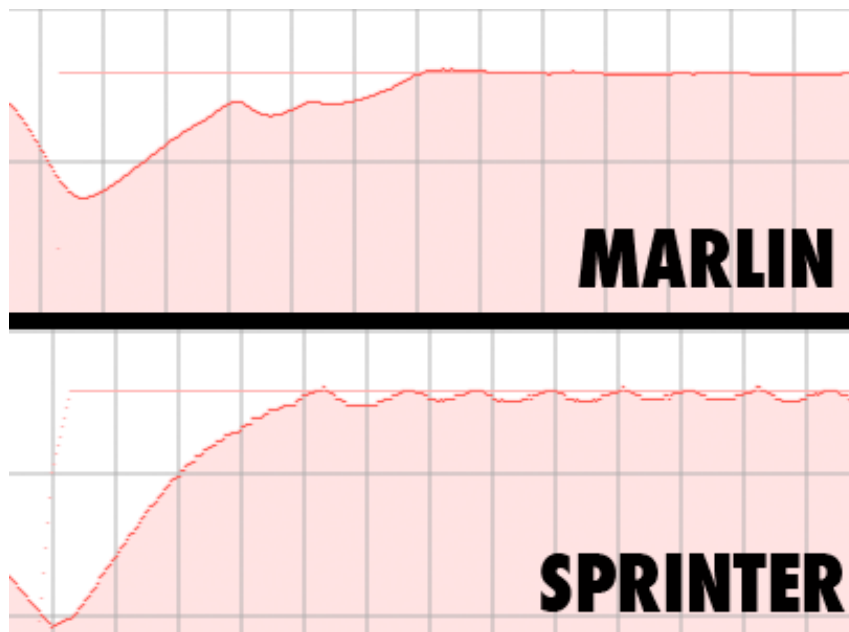


Figura 77: Comparación del control de temperatura Marlin Vs. Sprinter
Fuente: Marlin vs Sprinter [101]

- Soporte para QTMarlin, una beta para PID de ajuste y pruebas de velocidad-aceleración.
- Control de finales de carrera.
- Actualizada sdcardlib
- Aviso de sobre temperatura, útil para el monitoreo PID.
- Ajuste PID.
- CoreXY kinematics

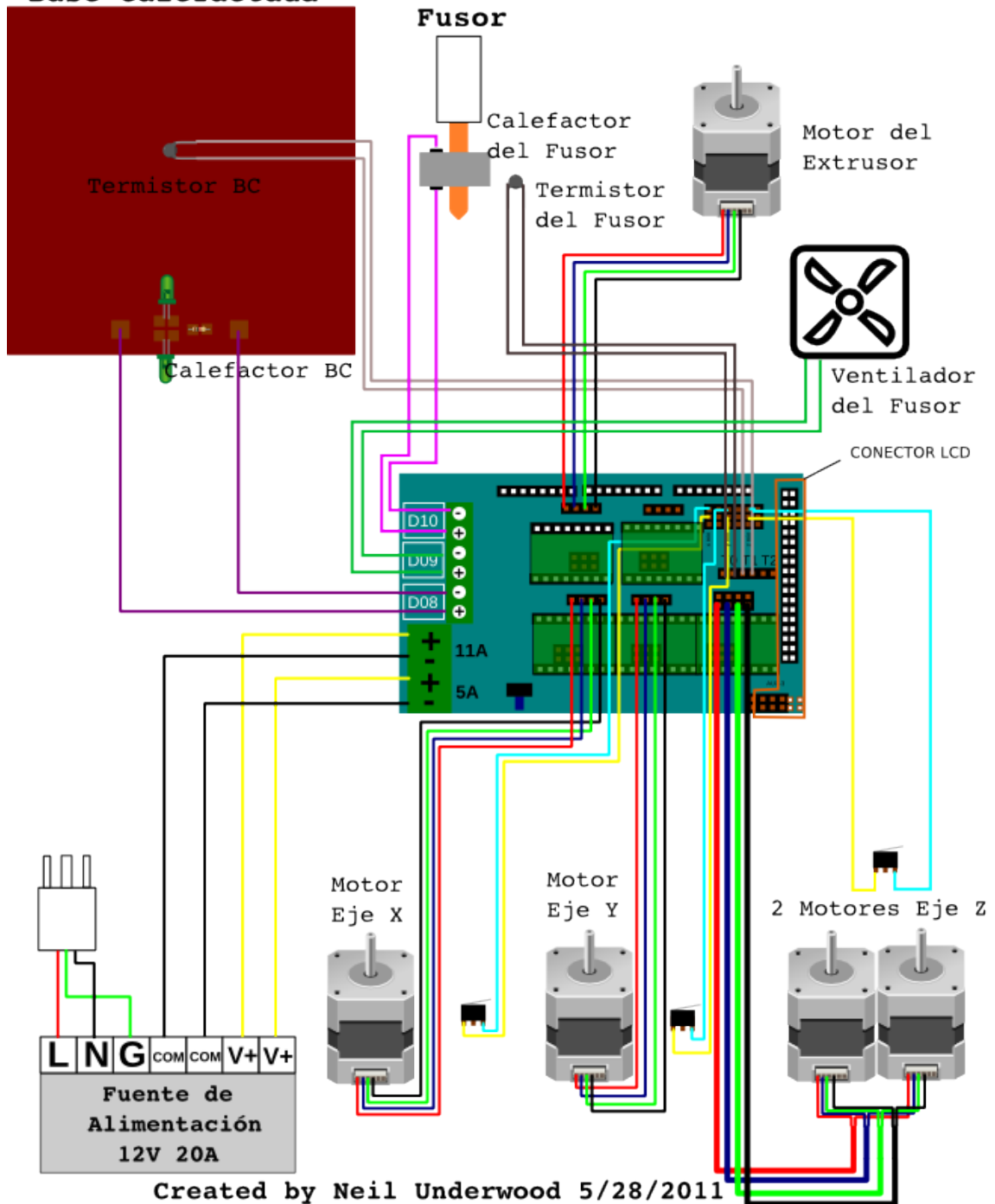
Marlin toma el gran diseño del firmware Sprinter y lo mejora en varios aspectos “*Making additions to the already good Sprinter Firmware*” [102].

4.5.7. Conexión componentes electrónicos

La base del sistema electrónico es un Arduino Mega 2560 sobre el cual se coloca un *shield* RAMPS 1.4 que es una placa que sirve de interfaz entre la alimentación eléctrica, los actuadores, los sensores y los drivers con la tarjeta arduino. En la figura 78 se muestra un diagrama general de conexión de los componentes con el RAMPS.

RepRap Arduino Mega Pololu Shield 1.4

Base Calefactada



Created by Neil Underwood 5/28/2011

Editado por AndSanGue 31/01/2015

Figura 78: Diagrama de conexión de componentes con el RAMPS 1.4

Fuente: Investigador, Neil Underwood. Modificado en InkScape

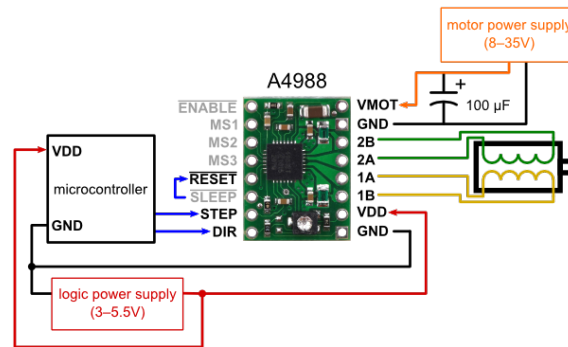


Figura 79: Diagrama de conexión A4988
Fuente: Pololu Robotics and Electronics [100]

Conexión del Driver A4988 con el Arduino Mega

La RAMPS sirven básicamente para distribuir la conexión del Arduino hacia los diferentes elementos necesarios para el control de la impresora. En el caso del driver A4899 este driver se debe conectar hacia el Arduino y el motor se conectará a sus salidas mediante la RAMPS.

En la figura 79 se muestra la conexión necesaria para el funcionamiento del driver [100], para su funcionamiento controlando los motores de la impresora 3D se detalla su conexión a continuación:

- El pin del 1 (EN) se conecta al Arduino con una resistencia de pull-up de 10k.
- Los pines del 2 al 4 (MS1-3) se conectan a 5V.
- Los pines 5 y 6 (RESET y SLEEP) se cortocircuitan.
- Los pines 7 y 8 (STEP y DIR) se conectan a salidas del Arduino.
- Los pines 9 y 10 (VMOT y GND) se conectan a la fuente de alimentación de motores.
- Los pines del 11 al 14 (2B, 2A, 1B, 1A) se conectan a las bobinas del motor de pasos.
- Los pines 15 y 16 (VDD y GND) se conectan a la fuente de alimentación lógica.

En el diagrama de conexiones de la RAMPS se encuentran realizadas estas conexiones para cada motor, en la tabla 23 se muestran los pines del Arduino que se utilizan para conectarlo con los pines de STEP y DIR de cada driver, en los anexos se muestra un diagrama con todas las conexiones correspondientes [98].

Tabla 23: Conexión entre el Arduino y el Driver A4988

Motor	Pin Driver	Pin Arduino
Eje X	EN	D38
	STEP	A0
	DIR	A1
Eje Y	EN	A2
	STEP	A6
	DIR	A7
Eje Z	EN	A8
	STEP	D46
	DIR	D48
Extrusor 0	EN	D24
	STEP	D26
	DIR	D28
Extrusor 1	EN	D30
	STEP	D36
	DIR	D34

Fuente: Arduino Mega Pololu Shield [98]

Tabla 24: Conexión entre el Arduino y finales de carrera

Eje	Posición FDC	Pin Arduino
X	Mínimo	D3
	Máximo	D2
Y	Mínimo	D14
	Máximo	D15
Z	Mínimo	D18
	Máximo	D19

Fuente: Arduino Mega Pololu Shield [98]

Conexión de los Finales de carrera con el Arduino Mega

Los finales de carrera mecánicos seleccionados tipo placa tienen cuatro pines (SIGNAL,GND,GND,VCC) [98], es decir de alimentación y un pin de señal que va conectado al arduino que indica cuando el final de carrera se ha activado. En la tabla se muestran las conexiones posibles del arduino con los finales de carrera. Como se puede apreciar los existe la posibilidad de colocar seis finales de carrera uno al principio y otro al final de cada eje, sin embargo, solo es necesario colocar uno al principio e indicarle el final del eje mediante código.

Conexión de los calefactores con el Arduino Mega

Para alimentar los calefactores de los extrusores y la base caliente es necesario utilizar una etapa de potencia, con un transistor mosfet para lograr la corriente

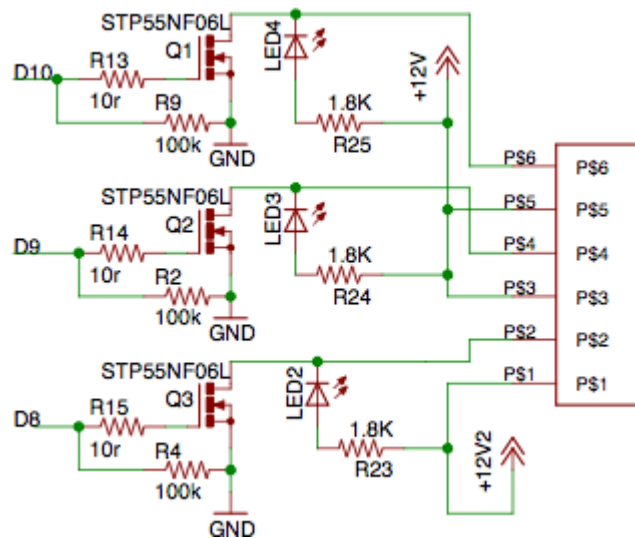


Figura 80: Diagrama de conexión etapa de potencia
Fuente: Arduino Mega Pololu Shield [98]

Tabla 25: Conexión entre el Arduino y las salidas de potencia

Calefactor	Salida de Arduino	Salida potencia
Base caliente	D8	P\$1 (+)
		P\$2 (-)
Extrusor 0	D9	P\$3 (+)
		P\$2 (-)
Extrusor 1	D10	P\$5 (+)
		P\$2 (-)

Fuente: Arduino Mega Pololu Shield [98]

necesaria para el funcionamiento de los calefactores, además por el alto consumo de corriente es necesario colocar fusibles de protección.

El diagrama de la etapa de potencia se muestra en la figura 80, y las salidas de potencia y su conexión con los calefactores se detallan en la tabla 25. Las RAMPS tienen la capacidad de manejar dos extrusores, pero en este caso la salida del segundo extrusor se utilizará para controlar un ventilador de capa [98].

Conexión de los sensores de temperatura con el Arduino Mega

Los sensores de temperatura seleccionados tienen dos pines que van conectados a la ramps y de ahí dirigidos hacia el Arduino en la tabla 26 se muestran las conexiones de los tres termistores posibles [98].

Tabla 26: Conexión entre termistores y Arduino

Elemento	Termistor	Pin Arduino
Extrusor 0	T0	A13
Base Caliente	T1	A14
Extrusor 1	T2	A15

Fuente: Arduino Mega Pololu Shield [98]



Figura 81: Controlador impresora con Pronterface en un Raspberry Pi

Fuente: WDZapod

4.5.8. Diseño Interfaz de Usuario

Los programas de laminado incluyen una interfaz de usuario para comunicarse con la impresora y enviar los códigos G, además de controlar las variables de temperatura y controlar el avance de la impresión, esto provoca que la impresora necesite estar conectada siempre al computador, es decir la impresora no es independiente.

Con el objetivo de independizar la impresora es necesario diseñar una interfaz de usuario encargada de recibir y ejecutar los código G y realizar el monitoreo de las variables de impresión. Para este fin existen diferentes soluciones desde el uso de una tarjeta SD hasta una computadora basada en placa de bajo coste, figura 81, sin embargo esta última solución es poco viable debido a que necesita accesorios adicionales como ratón y teclado.

De acuerdo al estudio realizado los fabricantes de impresoras 3D han optado por incluir una sola una pantalla LCD monocromática para manipular los archivos de código G y para comunicarse y controlar la impresora remotamente se utiliza un servidor de impresión conectado mediante una red LAN.

Con este propósito se escoge un LCD compatible con RAPMS 1.4 y Marlin, la razón para escoger el LCD fabricado por Gadgets 3D es que sus diseños y archivos para fabricación se encuentran liberados. Y para comunicarse con la impresora 3D se utiliza un servidor de impresión con interfaz web instalado en un Raspberry Pi

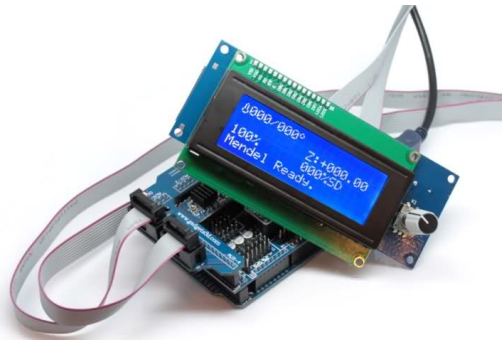


Figura 82: Panel LCD G3D
Fuente: Gadgets 3D

Panel LCD G3D

El LCD Panel G3D, Figura 82, permite imprimir un objeto con los Códigos G almacenados en una tarjeta SD, muestra todas las variables de impresión y permite realizar la preparación de la impresora antes de imprimir un archivo realizando las rotaciones del mando [103].

Para su funcionamiento es necesario conectarlo mediante dos juegos de cables planos al RAMPS que se encargarán de entregarle la energía necesaria y recibir los datos de la SD, además los cables de alimentación están separados de los cables de datos.

Configuración del Firmware: Para que el firmware Marlin instalado en la RAMPS reconozca el LCD es necesario activar esta línea de código (`#define G3D_PANEL`) del archivo `configuration.h`.

Raspberry Pi modelo B+

Raspberry Pi (Figura 83) es una placa base de 85 x 54 milímetros con un procesador ARM Broadcom BCM2835 con 700 MHz de velocidad y con un overlocking hasta 1 Ghz, y un GPU VideoCore IV y 512 Mbytes de memoria RAM. La versión la B+ viene con 4 puertos usb, puerto hdmi, puerto Audio y Video, Puerto ethernet, y un puerto GPIO. El diseño no incluye una unidad de almacenamiento pero cuenta con un puerto para tarjeta micro SD y se alimenta mediante un puerto micro USB [104].

En un Raspberry Pi se puede instalar distribuciones linux para arquitectura ARM, las principales son:

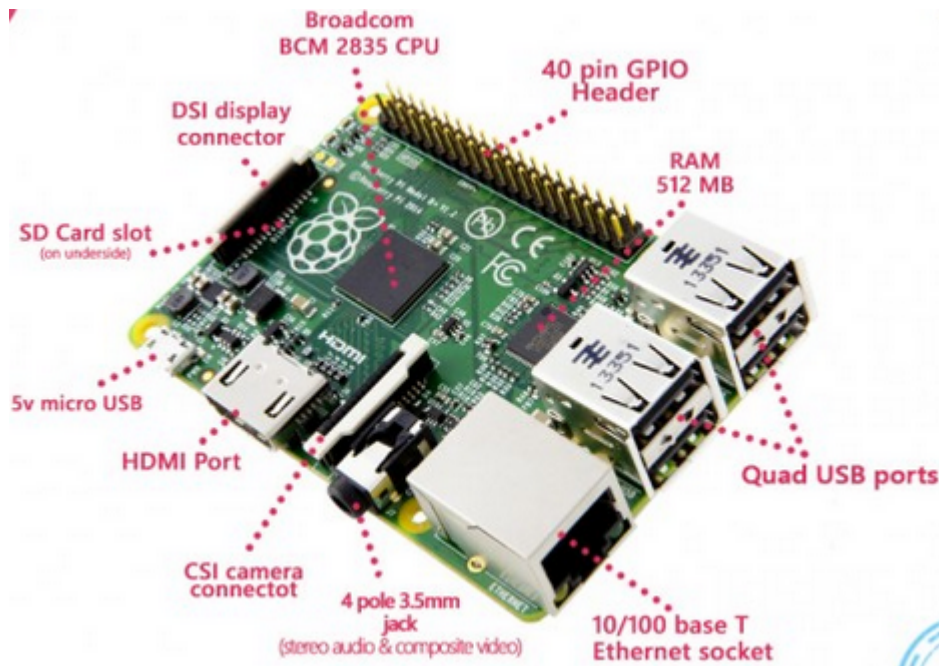


Figura 83: Raspberry Pi B+
Fuente: Organización Raspberry Pi

- Raspbian (Derivada de debian)
- Arch Linux ARM (Derivado de Arch Linux)
- Pidora (Derivado de Fedora)
- Snappy Ubuntu Core (Derivado de Ubuntu)
- OpenELEC (Basado en Scratch)
- Risc Os (No derivado de Linux)

4.5.9. Configuración de la interfaz web de control

El sistema de control es un programa encargado de enviar el código G y realizar el monitoreo de la impresión, generalmente los sistemas de control se comunican con la impresora mediante el puerto USB.

El control mediante web permite independizar la impresora, para lograrlo se utiliza el Raspberry Pi B con el software de control Octoprint instalado.

Octoprint

OctoPrint es un software gratuito, de código abierto, bajo licencia AGPL, desarrollado por Gina Gausge basada en el código de Cura, en un inicio se llamo

CuraWebUI, desarrollado para el control de Impresoras 3D al que se accede desde un navegador web, es decir es un servidor de impresión instalado en un Raspberry Pi que permite controlar tu impresora 3D de forma remota a través de la red y además permite el monitoreo constante de las variables del proceso mediante una comunicación bidireccional al igual que cualquier software de control conectado por USB y además se puede visualizar el proceso de impresión mediante una cámara web.

Octoprint Incluye herramientas para el análisis y visualización de código G para ver una proyección del resultado de la impresión. Octoprint ha creado una comunidad de desarrolladores que asegura la alta compatibilidad con la mayor cantidad de impresoras 3D sin importar que tarjeta de control o Firmware utilice.

Está disponible para Raspberry Pi como parte de la distribución especializada OctoPi o como un paquete para su instalación si se desea instalar en otra distribución compatible. Para el proyecto lo mejor es utilizar la distribución OctoPi.

OctoPi

OctoPi es una distribución Linux compatible con ARM creada por Guy Sheffer como una imagen para SD, basada en Raspbian, la distribución de Debian para Raspberry Pi. Octopi esta desarrollado exclusivamente para ser compatible con el software de control OctoPrint e incluye todo lo necesario para su funcionamiento además del Mjpg-streamer para transmisión de video en tiempo real y creación de timelapse, es decir esta es una distribución especializada con todas las dependencias necesarias para impresión 3D instaladas.

Instalación de OctoPi

OctoPi se instala con el proceso de cualquier otra distribución de Raspberry. Usando una computadora se graba la imagen de la distribución en una tarjeta SD y luego se la coloca en el Raspeberry, a continuación el proceso detallado

Primero se descarga la distribución OctoPi desde la página oficial de OctoPi en GitHub. ⁴

Para escribir una imagen se necesita de una herramienta de escritura de imágenes, en Linux esta herramienta se llama **dd**. La herramienta **dd** puede borrar una partición de la computadora por lo tanto es necesario asegurarse que dispositivos están conectados con el comando df-h, en este caso la tarjeta SD aparece como sdb1 y sdb2 debido a que tiene particiones como se muestra en la figura 84. Una vez

⁴<https://github.com/guysoft/OctoPi>

identificas las unidades deben ser desmontadas para que no sean leídas ni escritas mientras se copia la imagen.

```
[root@localhost asanchez]# df -h
S.ficheros          Tamaño Usados  Disp Uso% Montado en
«Resultados omitidos»
/dev/sdb1           56M   9,7M   47M  18% /run/media/asanchez/boot
/dev/sdb2           15G   2,4G   12G  18% /run/media/asanchez/3d81

[root@localhost asanchez]# umount /dev/sdb1
[root@localhost asanchez]# umount /dev/sdb2
```

Figura 84: Resultado del comando df -h

Luego de desmontar la unidades se puede ejecutar la herramienta dd para copiar la imagen desde la ruta de origen (if) a la ruta de la micro SD (of), figura 85.

```
Sintaxis:
dd bs [Block size] if [Ruta imagen] of [nombre del dispositivo]

[root@localhost asanchez]# dd bs=4M if=/run/media/asanchez/
Datos/2015-01-31-octopi-0.11.0.img of=/dev/sdb
781+1 registros leídos
781+1 registros escritos
3276800000 bytes (3,3 GB) copiados, 630,032 s, 5,2 MB/s
```

Figura 85: Resultado del comando dd

La herramienta dd no brinda reportes constantes de su avance, sin embargo, luego de alrededor de 5 minutos la imagen se habrá copiado y estará lista para colocar en el Raspberry Pi.

Preparación de OctoPi

Luego de copiar la imagen de OctoPi a la tarjeta es necesario realizar la configuración inicial de Octoprint, para este fin existen dos alternativas. La primera es conectar al raspberry un monitor con entrada HDMI un teclado y un mouse. La segunda es conectar el raspberry mediante un cable ethernet y acceder a el desde otra computadora mediante SSH.

Se procede con la segunda opción y luego de conectar el Raspberry a la red, el Router le asigna automáticamente una dirección IP, para averiguar esta dirección en una computadora con Linux de la misma red ejecutamos la herramienta de escaneo de redes **nmap** con el modificador **-sn** seguido se la dirección de red y el prefijo . Luego de lo cual se obtiene las direcciones IP y los nombres de los host que las utilizan como se muestra en la figura.

Una vez realizado este análisis, se observa que la dirección IP del Raspberry es 192.168.0.117 y se procede a ingresar mediante el servicio de SSH, que viene

```
[root@localhost asanchez]# nmap -sn 192.168.0.0/24

Starting Nmap 6.45 ( http://nmap.org ) at 2015-03-16 20:36 ECT
Nmap scan report for 192.168.0.1
Host is up (0.00087s latency).
MAC Address: C4:6E:1F:31:96:9C (Tp-link Technologies Co.)
Nmap scan report for 192.168.0.101
Host is up (0.010s latency).
MAC Address: E8:DE:27:37:88:57 (Tp-link Technologies Co.)
Nmap scan report for 192.168.0.107
Host is up (-0.095s latency).
MAC Address: 20:C9:D0:96:26:BD (Apple)
Nmap scan report for 192.168.0.117
Host is up (0.0024s latency).
MAC Address: B8:27:EB:B5:C1:55 (Raspberry Pi Foundation)
Nmap scan report for 192.168.0.112
Host is up.
Nmap done: 256 IP addresses (5 hosts up) scanned in 2.16 seconds
[root@localhost asanchez]#
```

Figura 86: Resultado del Comando nmap en la red del Raspberry
Fuente: El investigador.

```
[root@localhost asanchez]# ssh pi@192.168.0.117
pi@192.168.0.117's password:
Linux octopi 3.18.5+ #744 PREEMPT Fri Jan 30 18:19:07 GMT 2015 armv6l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
NOTICE: the software on this Raspberry Pi has not been fully configured. Please
run 'sudo raspi-config'

pi@octopi ~ $ sudo raspi-config
Generating locales (this might take a while)...
 en_GB.UTF-8... done
 es_EC.ISO-8859-1... done
Generation complete.
Current default time zone: 'America/Guayaquil'
Local time is now:      Fri Mar 13 10:00:19 ECT 2015.
Universal Time is now:  Fri Mar 13 15:00:19 UTC 2015.
```

Figura 87: Acceso mediante ssh para configuración inicial de OctoPi
Fuente: El investigador.

instalado y habilitado por defecto. Para iniciar la conexión al Raspberry Pi requiere autenticarse, luego de esto aparece un descargo de responsabilidad y al ser la primera vez que se inicia OctoPi aparece una notificación que indica que para terminar la configuración se ejecute el comando `sudo raspi-config` .

Luego de esto se abre una interfaz gráfica que se muestra en la figura 88, en la que se procede a realizar tareas esenciales como expandir el sistema para que utilice todo el espacio de la SD, cambiar la contraseña, establecer la zona horaria y el lenguaje utilizado por el sistema y cambiar el hostname de octopi a dinamo.

Cuando las configuraciones han concluido se finaliza la herramienta y el sistema se reinicia y cierra la sesión de SSH, cuando el sistema se ha reiniciado se procede a establecer una nueva conexión de SSH esta vez utilizando el nombre del *host* , para

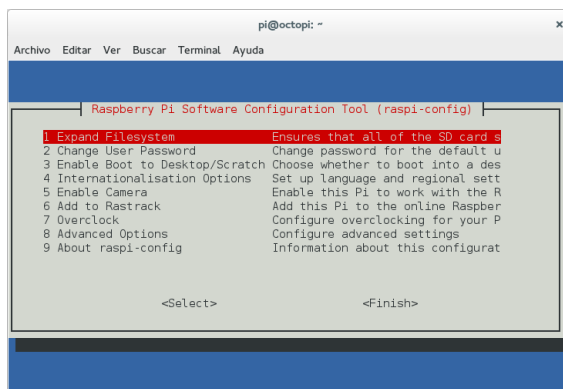


Figura 88: Herramienta de configuración del sistema de Raspberry Pi
Fuente: El investigador.

```

The system is going down for reboot NOW!
pi@octopi ~ $ Connection to 192.168.0.117 closed by remote host.
Connection to 192.168.0.117 closed.

Sintaxis: ssh «usuario»@«Nombre del Host».local

[root@localhost asanchez]# ssh pi@dinamo.local
pi@dinamo.local's password:
Linux dinamo 3.18.5+ #744 PREEMPT Fri Jan 30 18:29:53 GMT 2015 armv6l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
pi@octopi ~ $

```

Figura 89: Inicio de sesión en SSH con el nombre del *Host*
Fuente: El investigador.

poder realizar esta operación sin una dirección IP se necesita del servicio de DNS sobre IP Bonjour. En la figura 89 se muestra el proceso anterior, la sintaxis para SSH y su aplicación.

Una vez establecida la sesión SSH con Raspberry se procede a configurar la conexión inalámbrica, primero se conecta un adaptador Wifi USB al Raspberry para proveerle del Hardware necesario.

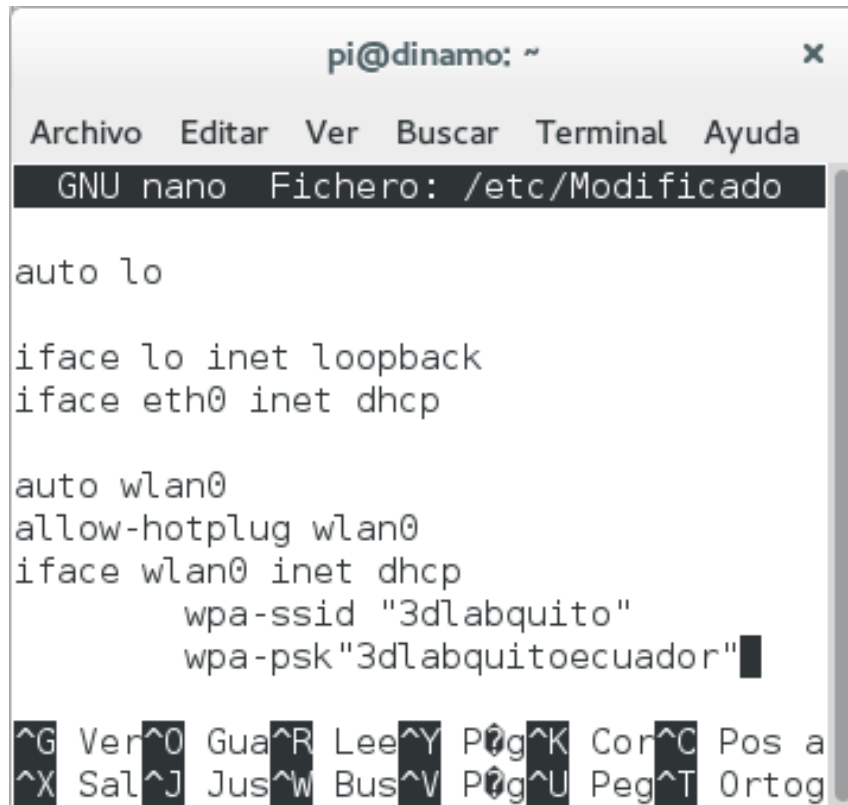
Para configurar el acceso a una red WLAN es necesario modificar el archivo interfaces del directorio /etc/ network e indicarle la identificación de la red y su contraseña.

En la figura 90 se muestra el procedimiento seguido para modificar el archivo.

Para verificar la configuración ejecutamos el comando ifconfig, en la figura 91se muestra el resultado del comando en el que se observa las interfaces de red y sus detalles.

Ahora el Raspberry Pi esta listo para comunicarse por ethernet o Wifi con la red LAN y se puede acceder a el para controlar y realizar el monitoreo de la impresión,

```
pi@dinamo ~ $ sudo nano /etc/network/interfaces
pi@dinamo ~ $ █
```



The screenshot shows a terminal window titled "pi@dinamo: ~" with a menu bar containing "Archivo", "Editar", "Ver", "Buscar", "Terminal", and "Ayuda". Below the menu bar, the text "GNU nano Fichero: /etc/Modificado" is displayed. The main content of the terminal is the configuration for the wlan0 interface, which includes setting it to be auto, allowing hotplug, and configuring it for DHCP with a specific SSID and PSK. The configuration text is as follows:

```
auto lo

iface lo inet loopback
iface eth0 inet dhcp

auto wlan0
allow-hotplug wlan0
iface wlan0 inet dhcp
    wpa-ssid "3dlabquito"
    wpa-psk "3dlabquitoecuador"█
```

At the bottom of the terminal, there is a status bar with various keyboard shortcuts represented by symbols like ^G, ^O, ^R, ^Y, ^K, ^C, ^a, ^X, ^J, ^W, ^V, ^U, ^T, and ^O.

Figura 90: Configuración de la conexión inalámbrica
Fuente: El investigador.

```
pi@dinamo ~ $ ifconfig
eth0      Link encap:Ethernet  HWaddr b8:27:eb:b5:c1:55
          inet addr:192.168.0.117  Bcast:192.168.0.255
          Mask:255.255.255.0

«Resultados Omitidos»

wlan0     Link encap:Ethernet  HWaddr 00:13:ef:c0:05:fc
          inet addr:192.168.0.116  Bcast:192.168.0.255
          Mask:255.255.255.0
```

Figura 91: Interfaces de red conectadas al Raspberry Pi
Fuente: El investigador.



Figura 92: Manipulación de la Impresora 3D con el LCD.
Fuente: El investigador.

también se ha conectado una webcam al Raspberry para tener un reporte en tiempo real de la impresión.

Uso de la interfaz de control

La interfaz de control esta diseñada para ser operada directamente mediante el LCD o a distancia mediante el uso del servidor de impresión Octoprint Instalado en Octopi, es sistema Operativo de Raspeberry Pi.

LCD

El LCD tiene una pantalla monocromática que permite manipular la impresora mediante la el giro del mando además cuando la impresora se manipula remotamente se muestra todas las acciones realizadas mediante mensajes en la pantalla, figura . Utilizando una tarjeta SD se le pueden transferir todos los archivos de códigos G para imprimir, las acciones que permite realizar el LCD se muestran en la sección de anexos .

OctoPrint

OctoPrint es un software de control de impresoras mediante el navegador Web, basado en el código fuente de Cura, es decir tiene todas las funcionalidades de un software de control pero sin la necesidad de conectarse a la impresora por USB.

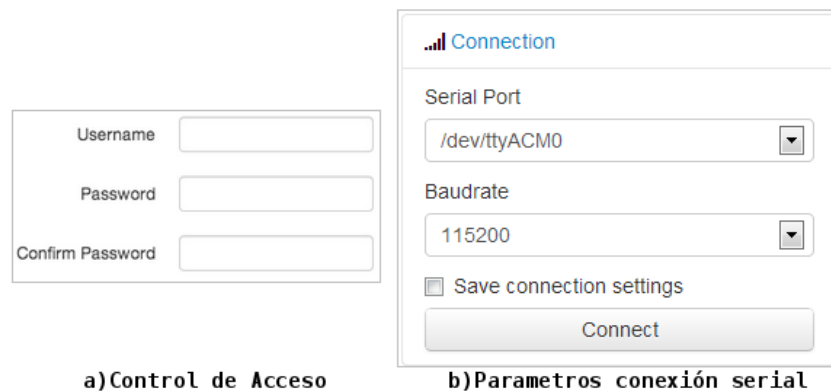


Figura 93: Configuraciones iniciales de Octoprint
Fuente: El investigador.

A diferencia de Cura Octoprint no tiene un motor de laminado, pero tiene todas las opciones de control y permite subir archivos laminados en otro programas y los envía a la impresora.

Para acceder a Octoprint hay que abrir un navegador web y escribir la dirección IP del Raspberry Pi (192.168.0.116 o 192.168.0.117) o el nombre del host en este caso “dinamo.local”. La primera vez que se accede a Octoprint nos pide configurar un usuario y contraseña (figura 93a) para proteger a la impresora que es visible en la Red pero solo se puede controlar autenticándose con el usuario creado.

Una vez abierta la página se ha accedido a Octoprint pero para conectarse con la impresora lo primero que se debe hacer es definir el puerto al que esta conectado y la velocidad de transmisión en Baudios como se muestra en la figura 93b .

La página principal de Octoprint ofrece varias opciones de control y monitoreo que se detallan a continuación y se muestran en la figura 94 .

Estado (Estate): Muestra la información del estado de la máquina y del progreso de impresión mediante la actualización continua de los parámetros.

Archivos (Files): En esta sección se administra los archivos de impresión. Aquí se suben y se procesan los archivos de código G para enviarlos a la impresora.

Ventana principal de Octoprint.

Esta parte de la página es un panel que cuenta con varias pestañas con las cuales se puede navegar entre las distintas funciones de Octoprint.

Temperatura (Temperature) Es un panel en donde se muestra la curva de temperatura del extrusor y de la base caliente un diagrama Temperatura vs. Tiempo,

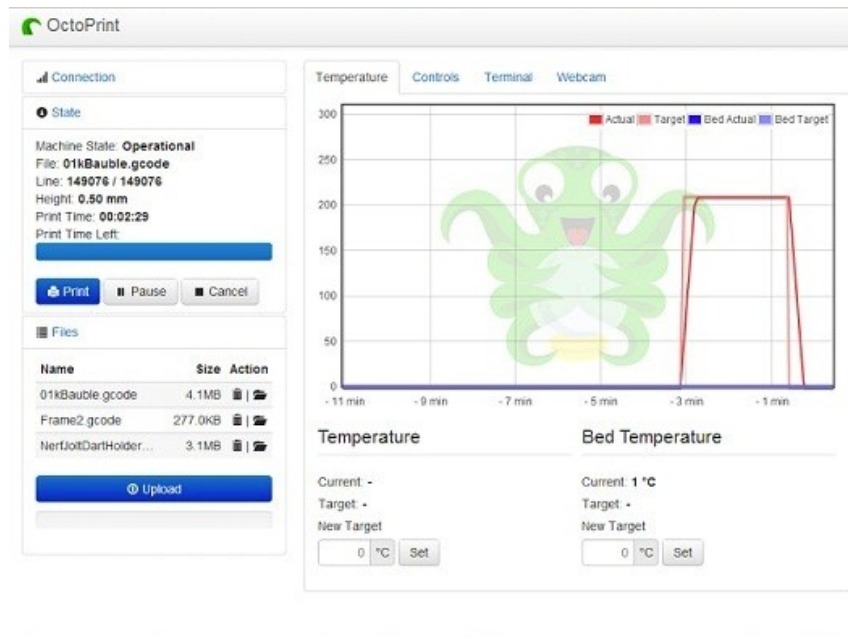


Figura 94: Opciones de visualización y control de Octoprint
Fuente: El investigador.

en donde se muestra la temperatura actual y la deseada. Además existe la opción de controlar manualmente la temperatura de la impresora para pre-calentar los elementos antes de realizar la impresión.

Control En este panel mediante el uso de la herramienta mjpg-streamer se muestra en tiempo real la imagen de la impresión captada por la webcam instalada en la impresora. Además se encuentra un panel donde se puede activar los motores y los ventiladores.

Visualizador de Código G (G code viewer) Funciona como una herramienta para analizar los archivos de código G para impresión y los avances de código en tiempo real durante la impresión.

Terminal Brinda una conexión serial hacia la tarjeta de control de la impresora y permite introducir y enviar manualmente los códigos G hacia la impresora.

Time-Lapse El Time-Lapse es un efecto visual que consiste en que todo lo que se haya capturado se mueva muy rápido, en este caso se puede programar para que se tome varias fotografías durante la impresión y al final genere un video que resuma todo el proceso.



Figura 95: Configuración acceso desde Android
Fuente: El investigador.

OctoDroid

Si se desea acceder a Octoprint desde un celular, el procedimiento es igual abrir el navegador y escribir la dirección IP o el nombre del host, sin embargo, Octoprint no esta optimizada para navegadores de *smartphones*. Octodroid es una aplicación para Android con todo lo necesario para acceder a Octoprint pero con una interfaz optimizada para *Smartphones*.

En este caso lo que se necesita además de la IP es un código llamado *Api Key* que se lo obtiene en la interfaz web ingresando a Settigs luego en la pestaña Api se muestra un código para ingresarlo en el celular se selecciona un nombre y se establece la conexión como se muestra en la figura 95.

La aplicación Octodroid tiene las mismas opciones que la aplicación web de Octodroid, solo distribuido de una manera mas amigable para el uso en una pantalla mas pequeña.

4.6. Diseño Mecánico Impresora 3D

En esta sección se aplica todos los materiales seleccionados y se aplican todas las configuraciones estudiadas y diseñadas, para lo cual se procede con la construcción de todos los sub-sistemas de acuerdo al diseños conceptual y funcional que se detalla a continuación:

- Estructura
- Eslabones y Articulaciones

- Actuadores
- Sistema Sensorial
- Efecto Final
- Sistema de control

4.6.1. Lista de materiales

La lista de materiales se ha organizado de acuerdo a los subsistemas de la impresora, se necesitan básicamente dos tipos de componentes los que se pueden imprimir y los que no. Los imprimibles son parte principal de la estructura y unen todos los demás componentes no imprimibles que son varillas y demás que se detallan en la tabla 27.

4.6.2. Construcción de estructura

La estructura de la impresora 3D es un diseño realizado en base a un robot cartesiano por lo tanto esta conformado por tres ejes, cada uno tiene su mecanismo de transmisión de movimiento, eslabones y articulaciones, por lo tanto el proceso de construcción se realiza en cada eje y su unión para formar la estructura total, luego se colocará la carcasa como una protección.

Eje Y

La construcción de la estructura empieza por el eje Y debido a que es la base de la estructura. La estructura (figura 96) esta formada por cuatro esquinas de plástico unidas por varillas roscadas y aseguradas con tuercas y arandelas. En las varillas transversales van las piezas de plástico que sujetan el motor y el rodamiento del sistema de transmisión de movimiento. Paralelo a las varillas roscadas longitudinales se colocan las varillas lisas con los rodamientos lineales para el movimiento de la base de impresión.

La segunda parte del eje Y es la base de impresión que esta formada por cuatro cojinetes plásticos impresos que se unirán a los rodamientos lineales que van fijados a una lámina de aluminio además a esta lámina se sujetará la correa dentada mediante una pieza de plástico, figura 97 ,además sobre esta lámina se colocará la base caliente.

En la figura 98 se aprecia la estructura del eje Y ensamblada.

Tabla 27: Lista de materiales

C	Descripción
Estructura	
1	Marco de aluminio 6mm
1	Base de aluminio 6mm
1	Set de piezas impresas
1	Set de varillas Roscadas y lisas
1	Set de tornillería (Tuercas, tornillos, arandelas)
6	Muelles de compresión
2	Adaptadores de eje de aluminio de 5 mm.
1	Set piezas acrílico y MDF de la carcasa
Eslabones y Articulaciones	
2	Poleas GT2
2	Correa GT2 (metro)
11	Rodamientos lineales LM8UU
2	Rodamientos Axiales (1 x 608zz, 1 x 624zz)
Actuadores	
5	Motores Nema 17
1	Base caliente PCB Mk2a
Sistema Sensorial	
3	Finales de Carrera mecánicos
2	Termistores
Efecto final	
1	Set de piezas de plástico tipo Greg Waden
3	Rodamientos Axiales 608zz
1	Tornillo de tracción (tuercas y arandelas)
1	Fusor Budas v1.2 G3D
1	Ventilador
Sistema de control	
1	Arduino Mega 2560
1	Shield Ramp 1.4
5	Driver A4988 G3D
2	Ventiladores
1	Conector de ventiladores
2	Fuentes de alimentación (12 V 20A y 5V 2A)
1	Raspberry B+
1	Webcam
1	Adaptador Wifi-USB

Fuente: Investigador

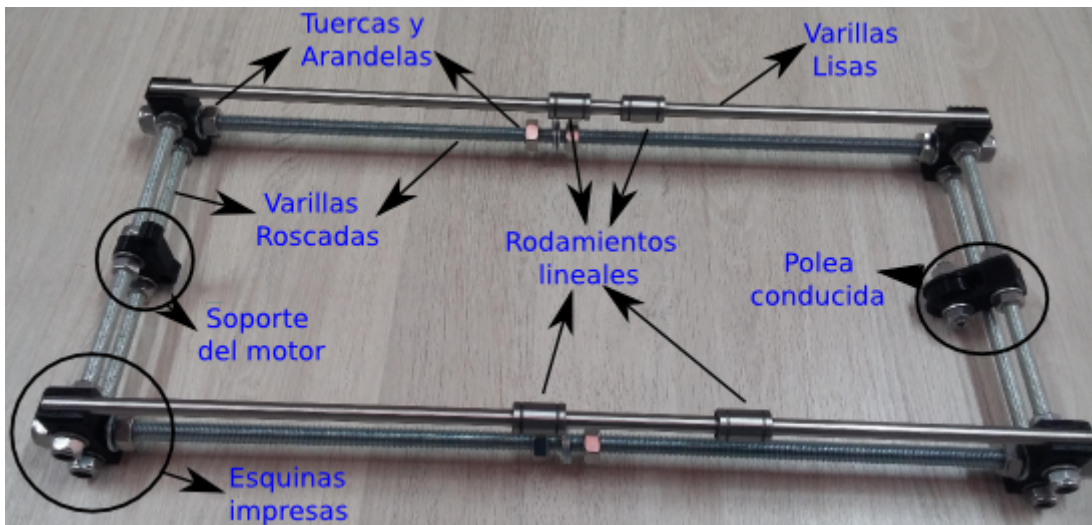


Figura 96: Estructura de la base del eje Y
Fuente: Investigador

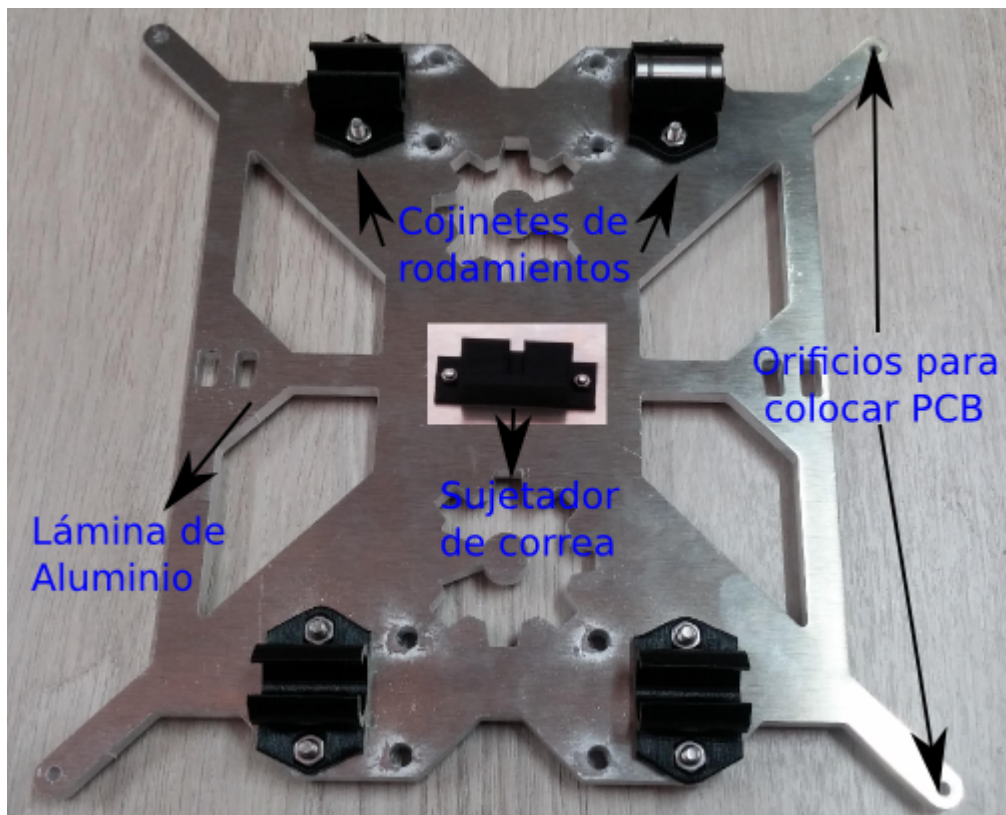


Figura 97: Base de impresión
Fuente: Investigador

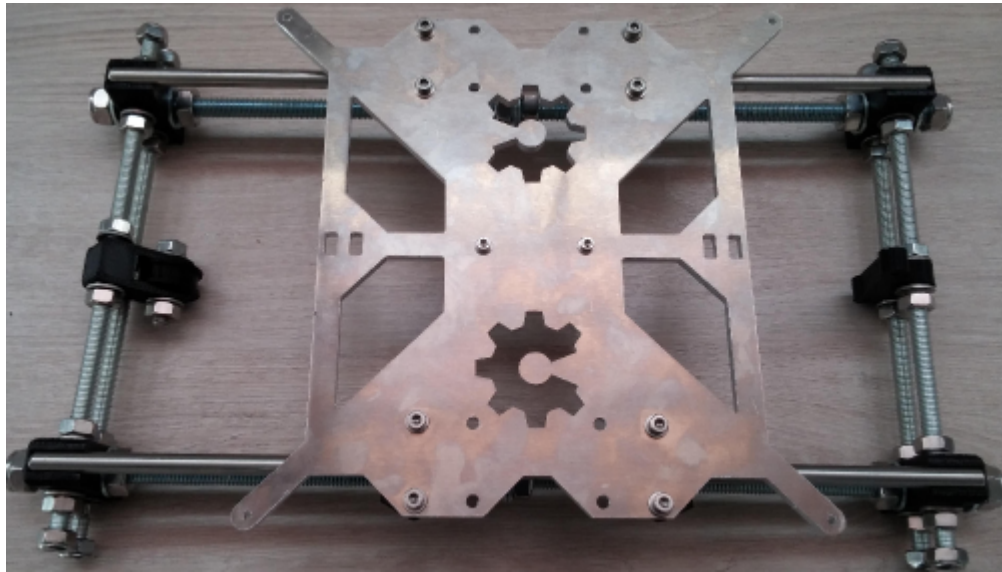


Figura 98: Estructura del eje Y
Fuente: Investigador

Eje X-Z

El eje Z se construye sobre el marco de aluminio, el sistema de guiado y transmisión de movimiento se sujetan sobre cuatro piezas de plástico fijadas al marco sobre el eje Z se colocan dos piezas plásticas que servirán de soporte para el eje X, a las que se transmite el movimiento con tuercas y se mueven sobre las varillas lisas con rodamientos lineales.

Primero se coloca la polea conducida del eje X, se colocan los tornillos de transmisión de movimiento y los rodamientos lineales dentro de las piezas de plástico y se colocan las varillas lisas dentro de los rodamientos, el resultado se muestra en la figura 99.

Las piezas del eje X se juntan con dos varillas lisas que llevan puestos los rodamientos lineales y las varillas lisas del eje X se fijan en las piezas de plástico de las esquinas y estas a su vez se fijan al marco como se muestra en la figura 100.

4.6.3. Actuadores y Sistema sensorial

El siguiente paso luego de construir la estructura es colocar los actuadores, primero se colocan los motores en los soportes para el eje X, Y y Z luego se colocan los mecanismos de sistema de transmisión de movimiento, es decir, las correas y poleas en los ejes Y y X y los acoples entre el motor y el tornillo del eje Z, figura . El

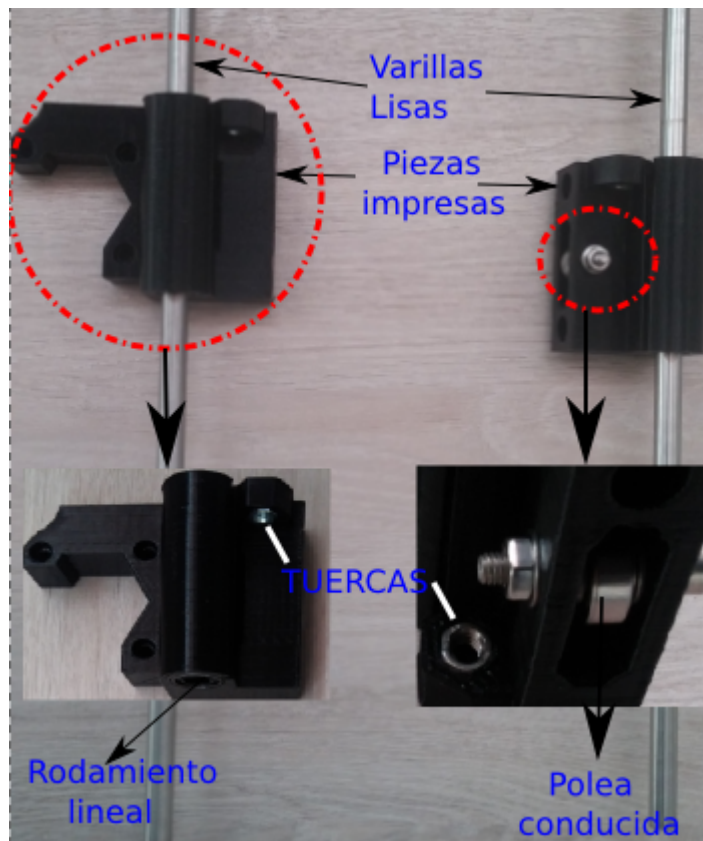


Figura 99: Piezas de plástico del Eje X
Fuente: Investigador

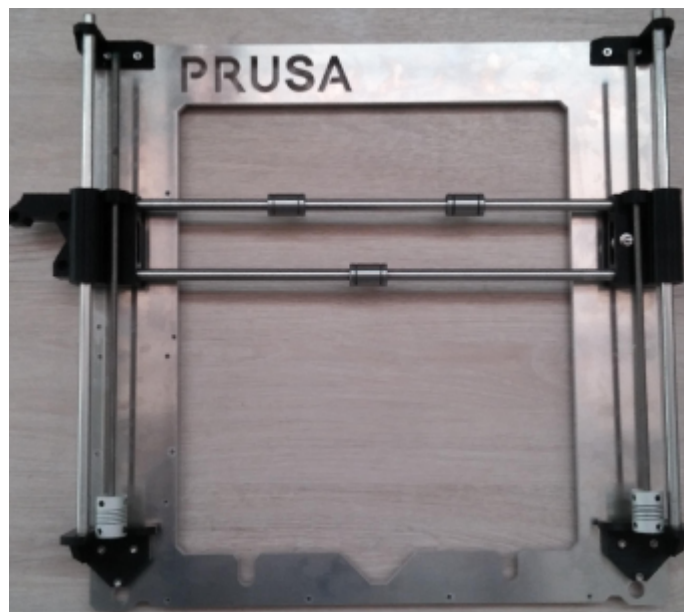


Figura 100: Eje X-Z unidas al marco de la impresora
Fuente: Investigador

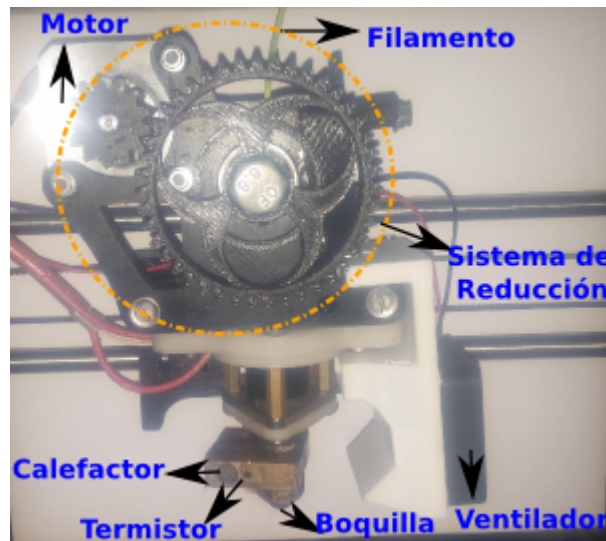


Figura 101: Efecto final, extrusor de plástico
Fuente: Investigador

siguiente actuador es la base caliente que se coloca sobre la base de aluminio del eje Y, figura 102.

El sistema sensorial esta formado por sensores de posición y de temperatura, los finales de carrera se colocan con sujetadores de plástico en sus respectivos lugares del eje X, los sensores de temperatura se colocan en la debajo de la base caliente y en el fusor para medir sus respectivas temperaturas, figura 102.

4.6.4. Efecto final

El efecto final es un extrusor de plástico formado por motor acoplado a un mecanismo de reducción encargado de aumentar el torque del motor para empujar el plástico hacia el fusor, el mecanismo de reducción esta formado por piezas impresas así como el soporte y el sujetador del filamento , figura 101 .

En la figura 102 se muestran todos los sistemas ensamblados y conectados solo esperando la conexión al sistema de control.

4.6.5. Carcasa

La construcción de la carcasa empieza por el corte laser del MDF para el soporte de la electrónica y estructura interna, figura 103 . Primero se construye el soporte del compartimento de elementos electrónicos y luego la estructura , esta estructura esta cortada en una sola planca para evitar usar tornilleria y brindarle mayor rigidez, figura 104.

Luego de esto se procede a ensamblar todos los componentes de MDF unidos a

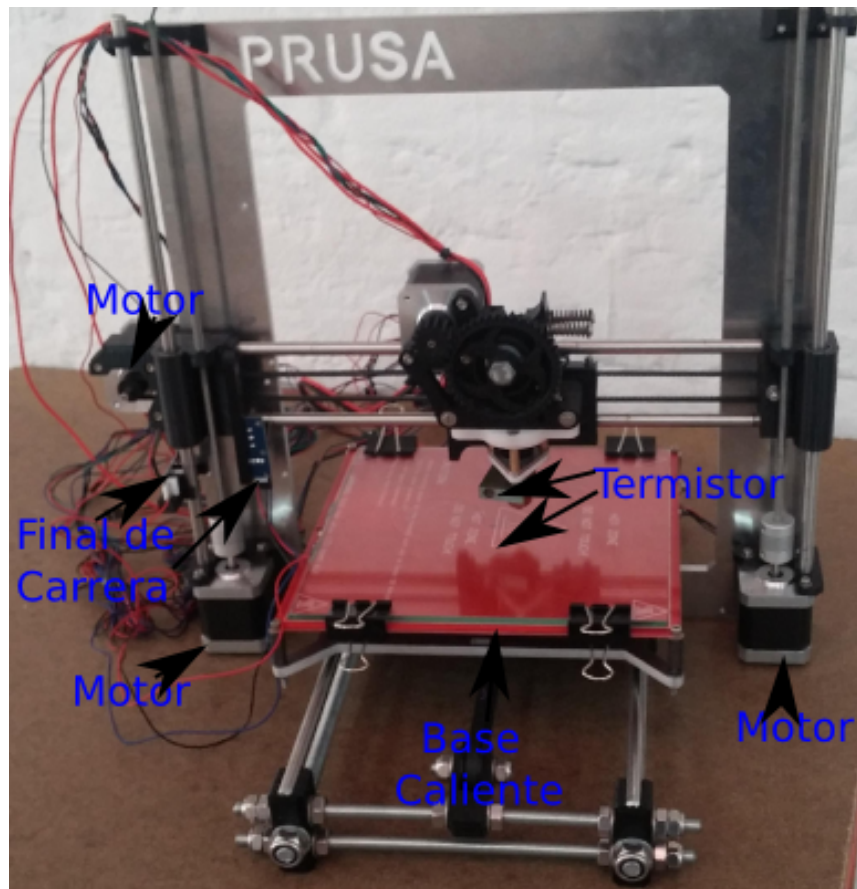


Figura 102: Ensamblaje de los ejes, actuadores y sensores
Fuente: Investigador



Figura 103: Compartimento de componentes electrónicos
Fuente: Investigador



Figura 104: Estructura de MDF cortada en laser
Fuente: Investigador

una base común a toda la estructura creando un armazón sobre el que se colocara posteriormente los acrílicos, figura 105.

Sobre este armazón se colocan las láminas de acrílico transparente y se finaliza con el ensamblaje, en la figura 106 se observa el montaje final de la impresora.

4.7. Configuración de Firmware

El firmware es un bloque de instrucciones de maquina grabados en una memoria de lectura y escritura con un propósito en específico y establece una lógica del nivel más bajo que permite controlar el funcionamiento de los circuitos electrónicos, es decir es el software que interactúa directamente con el Hardware.

En el caso de la impresora 3D en desarrollo estas instrucciones son escritas en el lenguaje del IDE de Arduino, compiladas y luego cargadas en la memoria de un Arduino Mega R3, y mediante la utilización de las Ramps y los drivers A4988 para controlar todas las entradas y salidas para que se comporte como una máquina de control numérico CNC.

Marlin es un *Firmware* escrito en Arduino IDE, por Erwin van der Zalm y Camiel Gubbels, quienes se basaron en el Firmware Sprinter y lo mejoraron con aportes de la comunidad de RepRap disponible para su descarga en el repositorio de GitHub, consta de una carpeta con varios archivos de Arduino IDE, cada uno tiene una tarea específica, como la configuración de parámetros básicos, control de motores, control de temperatura, control de LCD y lector de memorias SD, distribución de pines, etc. Todo perfectamente documentado para su estudio y modificación [102].

Para cargar el firmware Marlin en el Arduino Mega hay que seguir varios pasos:

1. Primero es necesario instalar el Arduino IDE desarrollado en base a Processing, Wiring y Java. Arduino IDE es una plataforma de desarrollo de código abierto



Figura 105: Armazón de MDF
Fuente: Investigador



Figura 106: Montaje final de la impresora
Fuente: Investigador

y de libre descarga que puede ser obtenido en la página oficial de Arduino.

2. Luego de ejecutar el Arduino IDE se debe abrir el Archivo Marlin.ino y en la pestaña Configuration.h se deben configurar varios parametros de acuerdo a nuestra máquina, que se detallaran en la sección 4.7.1
3. Una vez configurados los parámetros en el código se procede a indicarle al Arduino IDE que se esta utilizando una Arduino Mega en el puerto que le haya asignado el computador, luego se envía el código al Arduino Mega y la placa esta lista para recibir las ordenes del programa de Generación de Código G.

4.7.1. Configuración de los parámetros del Firmware Marlin

El Código de Marlin esta orientado a ser modular y que se pueda utilizar en distintas placas de control (ver sección 4.2.1) por esta razón es importante hacer un análisis de los parámetros a configurar para que este código funcione de acuerdo a las necesidades del modelo en desarrollo. A continuación de describen las secciones de código a definir (DEFINE) [102].

Puerto Serial (SERIAL_PORT): Es el puerto que se define por defecto 0 en el código, sin embargo el Bootloader se encarga de definir eso cuando se conecta al Computador.

Velocidad de Transmisión (BAUDRATE): Determina la velocidad de la comunicación con la impresora en bits por segundo (baudios), se define una de las velocidades recomendadas por Arduino, se define 115200 que es la mas utilizada debido a su compatibilidad con las tarjetas de control y computadoras.

Tarjeta de Control (MOTHERBOARD): Aquí se define que tipo de tarjeta electrónica va a ser encargada del control de la impresora en nuestro caso un Arduino Mega con un *Shield Ramps 1.4* que se le define con el número 33.

Número de Extrusores (EXTRUDER): Este Firmware permite utilizar hasta tres extrusores pero para nuestro caso es necesario solo uno definiendo así el 1

Sensores de temperatura (TEMP_SENSOR): Los sensores de temperatura pueden ser termistores o termocuplas de diferentes fabricantes con diferentes valores nominales de resistencia o dispuestos en diferentes configuraciones, en este proyecto

se utiliza un termistor EPCOS de 100k con un pull up de 4.7k por lo tanto se define el número 1 tanto para el fusor como para la base caliente.

Temperatura Mínima y Máxima (MINTEMP , MAXTEMP): Es la temperatura mínima y máxima para que la impresora pueda funcionar se define 5 para indicar la cantidad mínima de grados centígrados. tanto para el fusor como para la base caliente. En la temperatura máxima se debe tomar precauciones debido a que si los componentes alcanzan valores mayores a los establecidos por el fabricante se fundirán y quedarán inservibles en el caso de nuestro fusor 260 grados y la base caliente 130 grados.

Control de Temperatura PID (PIDTEMP): La sección 4.7.2 se dedica exclusivamente a la configuración de los valores del PID, que son $K_p = 31.21$ $K_i = 1.39$ $K_d = 174.89$. Para activar un control de temperatura On-Off basta con comentar la línea `#define PIDTEMP`.

El control PID tiene varios valores por definir:

- **Corriente (PIDMAX).**- Define la corriente máxima que alimentara el extrusor, por defecto definida como 256.
- **Rango de temperatura (PID_FUNCTIONAL_RANGE).**- Define el rango de temperatura máxima y mínima que activara el PID, por defecto definido como 10 °C.
- **Suma de errores máxima (PID_INTEGRAL_DRIVE_MAX).**- Limita a un numero finito de términos de la suma de errores de la integral, definido por defecto como 255.
- **Factor de Suavizado (K1).**- Factor de suavizado para el PID, por defecto 0,95.
- **Periodo de Muestreo (PID_dT).**- Define el periodo de muestreo de la rutina de temperatura por defecto $((16.0 * 8.0)/(F_CPU / 64.0 / 256.0))$.

Control de Temperatura de la Base Caliente (PIDTEMPBED): Resulta similar al control del fusor pero más simple, el autoajuste de los parámetros del PID se detallan en la sección 4.7.2, para la base usada los valores son $K_p = 10.00$, $K_i = 0.023$ y $K_d = 305.4$.

Temperatura de extrusión Mínima (EXTRUDE_MINTEMP): Evita extrusiones con el plástico frío, se define 170 °C, temperatura a la que el PLA no se derrite para evitar daños en el mecanismo de extrusión.

Límite máximo de extrusión (EXTRUDE_MAXLENGTH): Pone un límite a la extrusión de plástico en una sola orden, depende de las dimensiones del volumen de impresión por defecto viene definido como (X_MAX_LENGTH +Y_MAX_LENGTH).

Invertir Lógica de finales de carrera (X_ENDSTOPS_INVERTING): Define el funcionamiento de los finales de carrera, FALSE hace que los finales de carrera funcionen con su configuración por defecto circuito cerrado cuando el pulsador esta abierto, y circuito abierto cuando el pulsador esta pulsado. Para invertir esta lógica se define TRUE.

Desactivar motores sin uso (DISABLE_<EJE>): Desactiva los motores cuando no se los usa, esto ayuda a optimizar el uso de corriente cuando un motor esta estático y no es necesario enviarle corriente, en el caso particular del modelo en construcción se desactivara los motores del eje Z definiendo TRUE, los demás motores se definen FALSE.

Sentido de Giro de motor (INVERT_<EJE>_DIR): El giro del motor se puede invertir girando los conectores de los motores, sin embargo este parámetro realiza una inversión por firmware. TRUE Invierte el giro y FALSE mantiene el sentido de giro.

Homing (<EJE>_HOME_DIR): El homing es un proceso mediante el cual la impresora busca un punto de partida, aquí definimos si la impresora hace homing en el principio en el final del Eje definiendo -1 (Mínimo) o 1 (Máximo).

Control de inicio (min_software_endstops): Definiendo este parámetro como true la impresora no se moverá mas allá del limite inferior definido por firmware.

Control de Fin (max_software_endstops): Definiendo este parámetro como true la impresora no se moverá mas allá del limite superior definido por firmware.

Limites de los Ejes (<EJE>_MIN_POS 0 , <EJE>_MAX_POS): Define en mm la cantidad de recorrido de los ejes luego de realizar homing. El límite inferior para todos los ejes es 0. El límites superiores para el eje X es 200 mm, para el eje Y 200 mm y para el eje Z 180 mm.

Dimensión Máxima (<EJE>_MAX_LENGTH): Se calcula en base a los límites inferiores y superiores de la impresora con (<EJE>_MAX_POS - <EJE>_MIN_POS).

Numero de Ejes (NUM_AXIS): En fragmentos del código se hace referencia al eje X,Y,Z,E como un vector por lo que es necesario definir el número de ejes considerando a los extrusores como ejes, en el caso de la impresora tiene un extrusor por lo tanto se define 4 ejes.

Velocidad de homing (HOMING_FEEDRATE): Cuando se ejecuta la orden de homing la velocidad difiere de la utilizada para imprimir y por defecto se define como {2000, 2000, 100, 0} en donde cada posición del vector es la velocidad en mm/minuto del eje correspondiente.

Pasos del eje por unidad (DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT): En esta sección de código se definen los pasos que deben dar cada motor para completar el movimiento de un milímetro. Los valores que se definen en un vector en donde cada posición corresponde a la cantidad de pasos necesarios.

Para definir estos valores es necesario hacer un análisis de los elementos mecánicos (poleas, correas, tornillos y tuercas) y electrónicos (configuración de los micro-pasos del driver) utilizados, realizado en la sección 4.5.3, del cual se concluyo que los valores a definirse son {80,80,4000,481.31}.

4.7.2. Sintonización del PID en el Firmware de control

Sintonizar el control PID [105] en el firmware Marlin hace referencia a encontrar los valores correspondientes a la constante de proporcionalidad, el tiempo integral y el tiempo derivativo representados en el firmware por los valores de Kp, Kd y Ki que son parte de la ecuación 2 del control PID, esta parte del Firmware se encuentra en los archivos temperature.cpp y temperature.h

Para la Sintonizar los valores del fusor el firmware hace uso del método de oscilación continua de Ziegler y Nichols que primero encuentra una ganancia que maximiza las oscilaciones en torno al valor de referencia y utiliza la amplitud y el

periodo de estas oscilaciones para determinar los valores proporcionales integrales y diferenciales del control.

Para realizar un ajuste automático con el firmware es necesario enviar desde un terminal un Gcode con el siguiente formado

$$M303 E < \#extrusor > S < temperatura > C < ciclos >$$

Donde

M303 Es el Gcode para iniciar el autoajuste del fusor, para la base caliente se utiliza M301

E<#> Indica en que fusor sera realizada la operación, por defecto se realiza en el fusor E0, se utiliza el E-1 para representar a la base caliente.

S<temperatura> S seguido de un valor que por defecto es 150, representa el valor de temperatura referencia para realizar el autoajuste en grados centigrados.

C<ciclos> C seguido de un valor, representa el numero de ciclos del método de oscilación continua alrededor de la temperatura de referencia.

Para realizar un ejemplo de autoajuste del PID utilizaremos los valores por defecto del código M303 que son los siguientes

$$M303 E0 S150 C3$$

Que bastaría con escribir M303, es decir por defecto el código M303 se realiza en el fusor 0 con una temperatura de 150 °C, tres ciclos, pero si queremos mejorar estos valores podemos ajustar los valores, por ejemplo para imprimir con ABS :

Fusor $M303 E0 S230 C10$

Base $M303 E - 1 S130 C10$

Luego de enviar esta orden la impresora empieza el proceso de autoajuste con los valores que se le indican, al finalizar el autoajuste devuelve los valores del PID como el ejemplo de la figura 107 en el que se utilizo valores por defecto, además se aprecia los demás componentes como los resultados de los anteriores ciclos de ajuste, la gráfica de temperatura y la temperatura en ese instante.

Para el firmware estos valores (Kp,Ki,Kd) indican los valores del contador del control de potencia soft-PWM que va desde 0 hasta el PID_MAX, para cada elemento de la ecuación 2. Soft-PWM es una librería de Arduino para producir

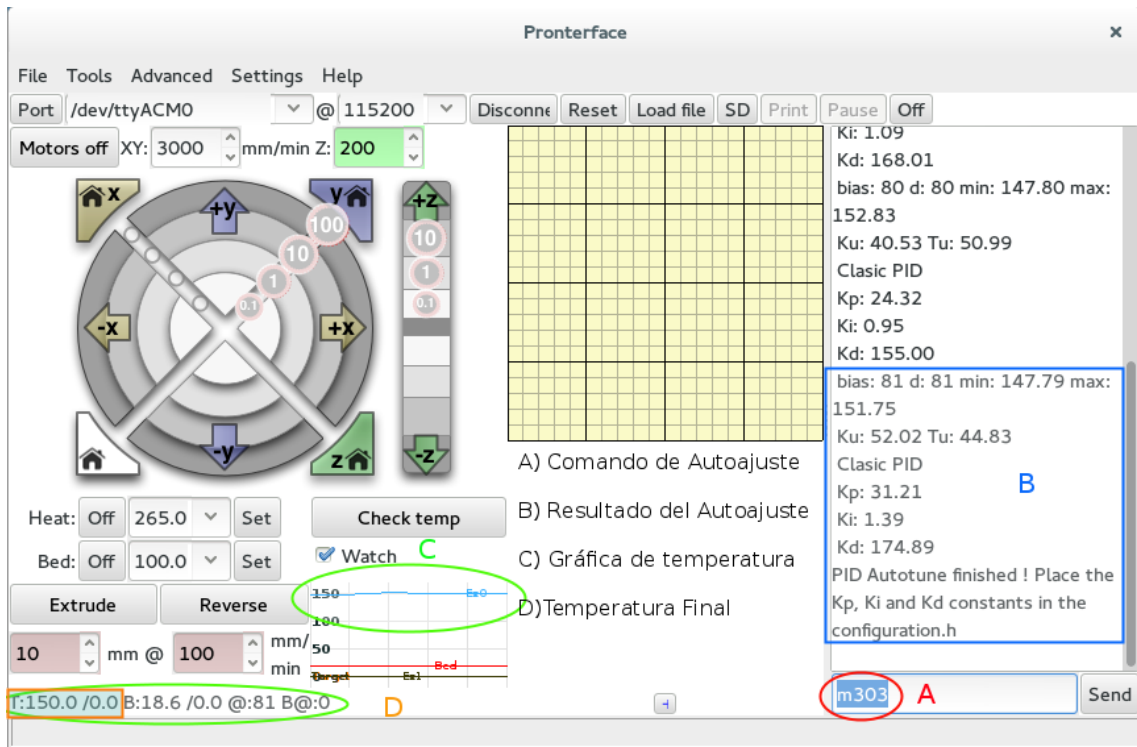


Figura 107: Resultado del proceso de autoajuste realizado en Pronterface
Fuente: Investigador

señales PWM en un pin cualquiera. Soft-PWM regula el ciclo de trabajo de la señal de control para el fusor o base caliente asociado.

La constante K_p del control Proporcional (P) es el valor del contador, representa los cambios a la salida softPWM por cada grado de error.

La constante K_i del control Integral (I) es el valor del contador que representa el cambio por cada unidad de error de tiempo integral.

La constante K_d del control Derivativo (D) es el valor del contador que representa el cambio esperado en la salida debido al ritmo actual de cambio en la temperatura.

En la rutina de autoajuste con valores por defecto realizada y cuyos valores se muestran en la figura 107 y luego de reemplazarlos en la ecuación 28 se ha determinado que el control de una temperatura de 150 °C el SoftPWM debe de estar sesgado de acuerdo al la ecuación 29

$$p(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (28)$$

$$softPWM = 31,21e(t) + 1,39 \int_0^t e(t) dt + 174,89 \frac{de(t)}{dt} \quad (29)$$

El valor de la suma de errores representada por la integral se limita a una gama

de valores \pm PID_INTEGRAL_DRIVE_MAX establecidos en configuration.h con un valor por defecto de 255.

Los controladores PID comerciales típicamente utilizan parámetros basados en tiempo como se plantea en la ecuación 1, es decir :

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \text{ y } K_d = K_p * T_d$$

De donde se despeja el tiempo integrador y el tiempo diferencial :

$$T_i = \frac{K_p}{K_i} \text{ y } T_d = \frac{K_d}{K_p}$$

Reemplazando los valores de Kp, Ki y Kd se obtiene los siguientes valores de tiempo:

$$T_i = \frac{31,21}{1,39} \text{ y } T_d = \frac{174,89}{1,39}$$

$$T_i = 22,45[s] \text{ y } T_d = 125,82[s]$$

Ti significa un ajuste para compensar el error integrado durante 22 segundos y Td significa un ajuste para compensar la temperatura proyectada alrededor de 126 segundos en el futuro.

4.8. Software

Como se vio en la 4.4.2 para la fabricación digital se requiere de un *toolchain* para la generación de un objeto en 3D. Por lineamiento de la investigación se utiliza software de código abierto en todas las etapas de la generación.

En esta etapa se considera como punto de partida un diseño 3D sin errores y en formato STL, es decir, no se considera el diseño del archivo 3D.

Para procesar un Modelo 3D digital son necesarias dos etapas antes de que la impresora genere el objeto físico, el laminado y la comunicación. Las alternativas de comunicación son mediante USB, Tarjeta SD o Red. La selección de un software para la etapa de laminado se realiza a continuación.

4.8.1. Selección del software de Laminado.

La selección del software de laminado es un tema muy importante porque la calidad de la impresión depende de la capacidad del laminador de convertir correctamente el modelo 3D en código G. Un software de laminado analiza el

modelo capa por capa y transforma la información del modelo en coordenadas de desplazamiento, produciendo un fichero en el formato de código G. Se ha realizado el análisis de dos opciones. La primera el uso de dos programas Slic3er y Repetier (Laminador y comunicador) y la segunda opción Cura un software con ambas funciones integradas.

Opción 1 Slic3er y Repetier Host

Slic3r es un laminador de código abierto desarrollado completamente por una comunidad activa, es apoyado por varios fabricantes de impresoras y se muestra como opción principal en Repetir-Host.

Para utilizar Slic3r se debe iniciar el Repetier-Host y seleccionar a Slic3r como programa de laminado luego abrir el archivo del modelo 3D y seleccionar los parámetros de impresión para generar el código G [106].

Opción 2 Cura

Cura es un software de código abierto desarrollado por Ultimaker para sus impresoras, pero puede ser utilizado libremente por otras impresoras, tiene la opción de indicarle con que impresora será utilizado. Asume los dos papeles, software de laminado (Cura Engine) y control de la impresora. Una vez abierto se carga el archivo del modelo 3D, luego se puede configurar parámetros referentes a la calidad, el porcentaje de relleno, velocidad, temperatura, etc. En Cura además estima el tiempo y la cantidad de material necesario para la impresión que varia de acuerdo a los parámetros que se le indique. El código generado se graba en una tarjeta SD o se transfiere directamente a la impresora [107].

Selección: **Slic3r** ofrece la capacidad de modificar parámetros avanzados para la generación de códigos G para obtener mejores resultados en una impresión, sin embargo establecer los valores adecuados de estos parámetros requiere de un conocimiento profundo del resultado de cada configuración del laminador y se requiere de otro programa de control. Por otra parte **Cura** ofrece una interfaz mucho más amigable, que permite que mostrar los parámetros de configuración de acuerdo a la experiencia del usuario (básico, avanzado y experto) resulta muy útil para ingresar en el mundo de impresión 3D esta es la razón por la cual será utilizado en este proyecto.

```
asanchez@localhost:/home/asanchez
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
[asanchez@localhost ~]$ su
Contraseña:
[root@localhost asanchez]# yum -y install cura.noarch
```

Figura 108: Comando de instalación en Fedora 20
Fuente: Investigador

4.9. Configuración de Software de laminado

Cura es un programa de laminado 3D creado por David Braam, es un software Open Source Gratuito bajo una licencia AGPLv3, actualmente desarrollado por Ultimaker y utilizado en sus impresoras, sin embargo se puede utilizar también en las impresoras del proyecto RepRap, una característica de cura es que tiene su propio motor de laminado, funciona como host que envía el código a la impresora y otras herramientas que lo convierten en una solución todo en uno para impresión 3D, sin embargo su motor de laminado puede ser usado en otro software como RepetierHost. Su descarga se la puede realizar desde el sitio oficial de Ultimaker [108]sin costo.

Cura esta basado en Skeingforge pero introduce opciones de laminado mas simples, con una interfaz mas intuitiva y sencilla, sin embargo pierde algunas propiedades que para un principiante pasan desapercibidas por lo que se recomienda su uso a quienes incursionan en el mundo de impresión 3D. El visor del programa muestra el objeto en 2D y 3D y el resultado del laminado da una idea clara de como se va a producir el objeto gracias a su rápido proceso de laminado [109].

4.9.1. Instalación en Linux

Cura esta disponible en los repositorios de programas para Linux, para su instalación basta con acceder a los repositorios mediante el comando de instalación de paquetes, en este caso utilizaremos como sistema operativo base un Fedora 20, por lo que se procede a ingresar al terminal como súper usuario, como se muestra en la figura 108.

Luego de esto se instalarán todas las dependencias, el CuraEngine que es el motor de laminado y el Software Cura.

La primera vez que se ejecuta el Software aparece un ayudante de primera ejecución que guiara en la elección de la máquina a usar en nuestro caso una PRUSA I3, figura 109.

Finalmente se mostrará el entorno de trabajo de Cura 110.

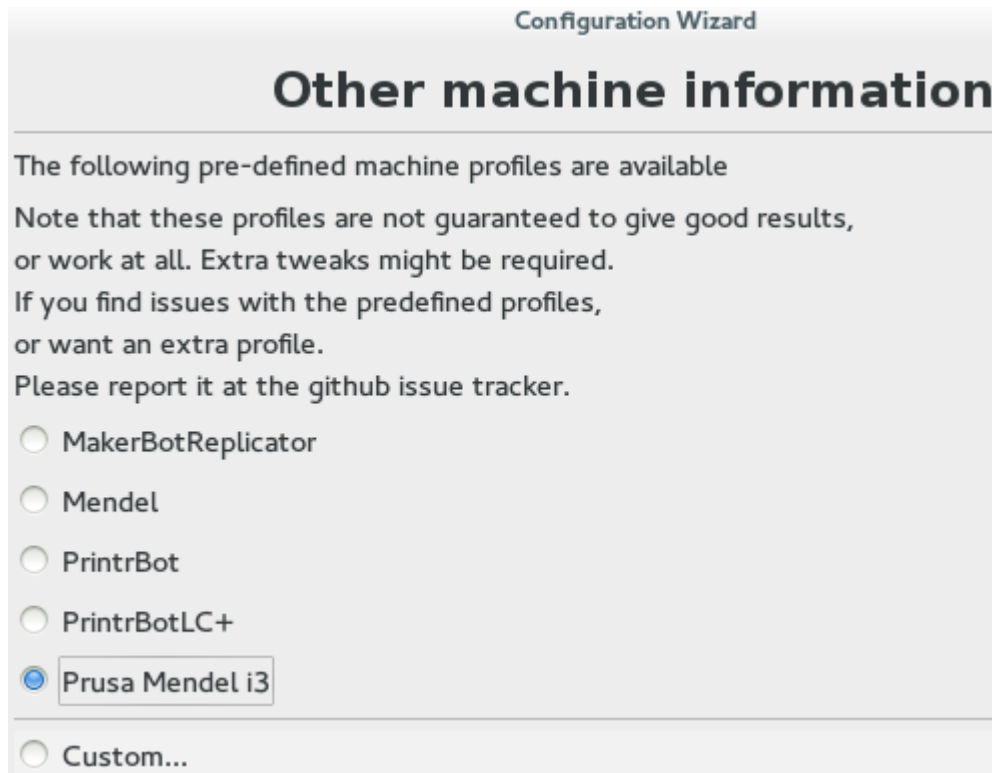


Figura 109: Selección de la Prusa i3 dentro del Ayudante.
Fuente: Investigador

4.9.2. Reconocimiento del entorno

El área de impresión representa el volumen real de la impresora y es en donde se visualizarán los objetos en 3D, en la esquina superior derecha existen 3 iconos, el primero sirve para abrir el modelo, el segundo para imprimir o guardar en una tarjeta SD y el tercero para compartir en YouMagine como se muestra en la figura 110.

Cuando se carga un modelo se visualiza opciones de transformación del modelo, para rotar, escalar o hacer espejos de acuerdo a los requerimientos del usuario, además se tienen opciones de visualización, todo esto se muestra en la figura 111.

Load (Cargar): Abre una ventana para escoger el archivo del modelo en 3D, otra manera de hacer esto es arrastrar el modelo hasta el área de impresión.

Print With USB (Imprimir con USB): Cuando la impresora esta conecta inicia la conexión y abre el panel de impresión para enviar el código G directamente pero si no esta conectada se puede guardar el código en una tarjeta SD con la opción *Save toolpath* (Guardar en la ruta) que se muestra en este caso.

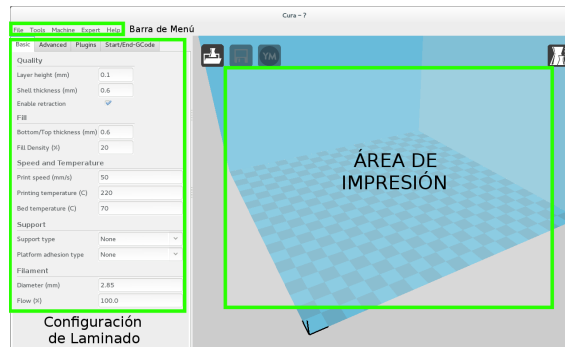


Figura 110: Entorno de trabajo de Cura
Fuente: Investigador

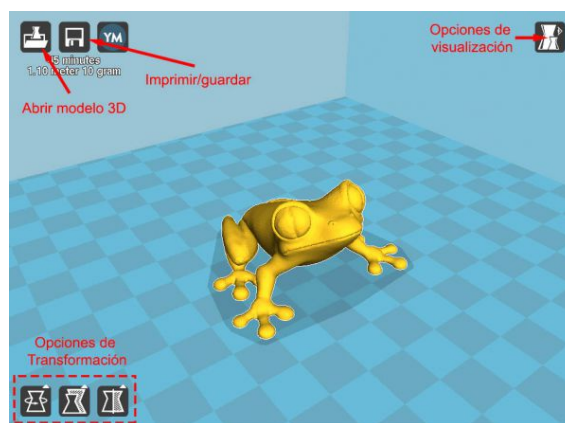


Figura 111: Area de impresión 3D con opciones de transformación y visualización
Fuente: Investigador

Share on YouMagine (Compartir en YM): Youmagine es un repositorio de diseños en 3D propiedad de Ultimaker donde se pueden compartir los diseños.

View Mode (Modo de Visión)

Cura ofrece cinco modos de visión del objeto en el área de impresión, cada uno ofrece distintas características que ayudan en el análisis de las figuras.

Normal: Muestra el resultado final de la impresión.

Overhang (Sobresalidos): Resalta las zonas del objeto que superan el ángulo máximo configurado, ayuda a estimar si el objeto necesita un soporte para la impresión.

Transparent (Transparente): Permite ver a través de la figura haciéndola transparente.

X-Ray (Rayos X): Además de poder ver a través del objeto esta función muestra cavidades o elementos internos del objeto.

Layers (Capas): Muestra el diseño por capas de impresión, permite ver como actuará la impresora.

Opciones de transformación:

En la parte inferior izquierda se encuentran tres opciones que permiten transformar los objetos que ajustan los resultados del objeto.

Rotate (Rotar): Esta transformación rota el objeto en cualquiera de los tres ejes y da la opción de deshacer los cambios con la opción *reset*, también tiene la opción *Lay Flat* que apoya el objeto en la base por su parte plana, figura 112a.

Scale (Escalar): La función *Scale* modifica las medidas del objeto de acuerdo a un factor que por defecto está en 1 y lo hace de manera proporcional a menos que se desee cambiar cada eje desactivando la casilla *Uniform Scale*. En esta función también se deshacen los cambios con la opción *Reset*. Con la opción *To max* el objeto se escala hasta ocupar toda el área de impresión figura 112b.

Mirror (Espejo): Esta opción crea un espejo del objeto en cualquiera de los tres ejes figura 112c.

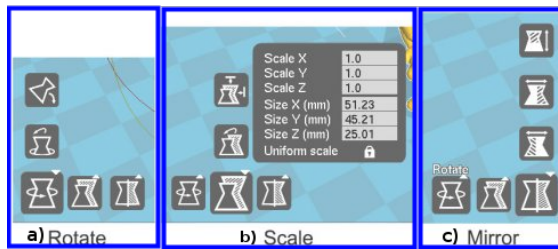


Figura 112: Opciones de transformación de objetos en Cura
Fuente: Investigador

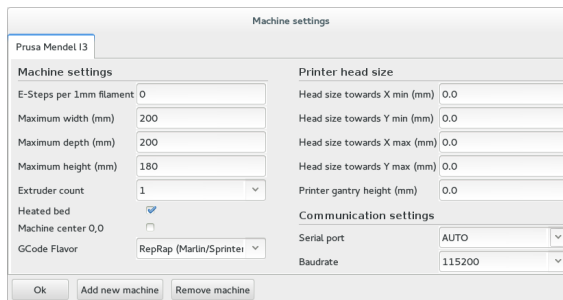


Figura 113: Preferencias de la impresora Prusa I3 dentro de Cura
Fuente: Investigador

4.9.3. Preferencias de la Impresora 3D

Machine Settings (Configuración de la maquina):

Las preferencias de la impresora se utilizan para indicarle al programa las especificaciones de la máquina, como sus dimensiones, cantidad de extrusores, existencia de base caliente, tipo de Firmware utilizado, dimensiones del extrusor, y valores referentes a la comunicación serial, como se muestra en la figura 113 .

E-Steeps per 1mm filament (Pasos por 1 mm): Define los pasos que el motor debe para extruir un milimetro de filamento, este parámetro puede ser configurado en el firmware, en este caso este parámetro se deja en 0.

Maximun width/ depth/ height (Ancho/ Profundidad/ Altura Máxima):

Los límites de impresión son las distancias máximas que puede alcanzar el fusor de la impresora en cada eje, es decir estos valores forman el volumen máximo de impresión.

Extruder count (Cantidad de Extrusores): Cura puede ser configurado para usar mas de un extrusor y hay que indicarlo en este parámetro.

Heated bed (Cama Caliente): La base caliente es un elemento opcional en algunas impresoras por eso este parámetro permite indicar si la impresora cuenta con esta opción.

Machine center 0,0 (Centro de Máquina 0,0): Esta opción cambia el punto de inicio de la máquina al centro de la base de impresión, de lo contrario el punto 0,0 por convenio esta en la parte inferior izquierda de la base.

Build area shape (Forma del Área): Las bases de impresión pueden ser circulares o cuadradas dependiendo del modelo de impresora.

Gcode flavor (Tipo de Gcode): Cada impresora puede utilizar un Firmware distinto que interprete el Gcode de acuerdo a su configuración.

Printer head size (Tamaño de cabezal de impresión): Cuando se imprimen varios objetos simultáneamente existe la posibilidad de que el fusor golpee los objetos, en este caso es necesario especificar las mediadas del fusor y los elementos de su entorno.

Comunicación settings: Los parámetros de comunicación son el *Baudrate* (Velocidad de Comunicación) y el puerto, si colocamos en AUTO ambos valores el programa se encarga de detectar estos parámetros.

4.9.4. Configuración del laminado

El programa tiene dos modos que se pueden elegir en la pestaña Expert, el modo Quickprint que muestra información extremadamente básica y el modo Full settings que brinda mayor flexibilidad de uso. Se hará un análisis del Modo Full Settings.

Basic (Configuración básica)

Quality (Calidad)

La calidad de la impresión depende de tres factores altura de capa, grosor de bordes y retracción.

Layer height (Altura de capa): La altura de la capa es un parámetro del que depende directamente la calidad de la impresión indica la altura de capa a la que se va a realizar la impresión.

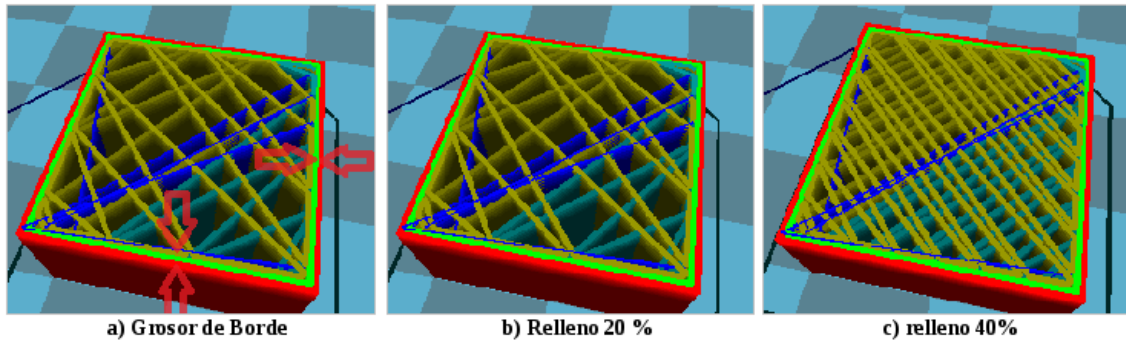


Figura 114: Parámetros de calidad a) Grosor Borde b) y c) Relleno
Fuente: Investigador

Shell Thickness (Grosor del borde): El grosor del borde es un parámetro cuyo valor determina la anchura de los bordes del objeto y depende del diámetro de la boquilla por lo que se recomienda que los valores que se coloquen sean múltiplos de este.

Enable retraction (Habilitar retracción): Cuando el fusor se traslada de un lugar a otro puede tener fugas de material por lo que se recomienda habilitar esta opción que hace que el material se retraiga cuando no este imprimiendo.

Fill (Relleno)

El relleno influye en la cantidad de material que se utiliza para crear un objeto.

Bottom/Top thickness (Grosor de la capa inferior y superior): Las capas superior e inferior no se ven afectadas por la configuración de relleno por tanto serán macizas, con el parámetro grosor le indicamos cuantos milímetros deberán tener estas capas.

Fill Density (Densidad de relleno): El relleno es la cantidad de material que se usa en la construcción de la sección interior de un objeto, con 0 % el se construye solo los bordes y las capas inferiores y superiores y con 100 % es totalmente macizo.

Speed and Temperature (velocidad y temperatura)

La velocidad y la temperatura son valores importantes que varían de acuerdo al material y al objeto que se desee construir y los resultados que se deseen obtener.

Print speed (velocidad de impresión): La velocidad de impresión es inversamente proporcional a la calidad, si se desea una buena calidad la velocidad debe ser baja pero si el acabado y la presentación estética no es importante se puede usar una velocidad alta, el rango de velocidades depende de los mecanismos de movimiento de la impresora, la velocidad de referencia más baja sugerida es 28 mm/s y puede llegar hasta 60 mm/s sin que la inercia del extrusor sea un problema.

Printing Temperature (temperatura de impresión): Cada tipo de plástico tiene sus especificaciones de temperatura que incluso varían entre fabricantes pero generalmente el PLA imprime a una temperatura entre 190 y 210 °C y el ABS entre 220 y 240 °C que son los plásticos más utilizados.

Fija la temperatura del Fusor 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 220-240^o y para el PLA de 190-210^o

Bed Temperature (temperatura de la cama caliente): La adhesión de la primera capa de material depende en el caso del ABS a una temperatura de alrededor de 100 °C en la base de impresión, para el PLA es suficiente con 60 °C.

Support (soporte)

Debido a la tecnología de impresión FFF usada en las impresoras es necesario generar soportes para que capas superiores que quedan suspendidas en el aire no tengan problemas en su construcción.

Support type (tipo de soporte): Esta opción generará los soportes en donde el programa lo crea necesario, las dos opciones son "*Touching Buildplate*" o "*Everywhere*" la primera genera soporte para las capas que se apoyen en la base y la segunda genera en donde sea necesario

Platform adhesion type (plataforma de adhesión): La primera capa es la más importante en la impresión, su buena adhesión a la plataforma determinará el resultado de la impresión. Se cuenta con dos opciones la primera es *brim* que como lo dice su traducción es una capa similar a una ala de sombrero que se crea alrededor del objeto, figura 115a y la segunda es *Raft* que genera una base con varias capas debajo del objeto, figura 115b.

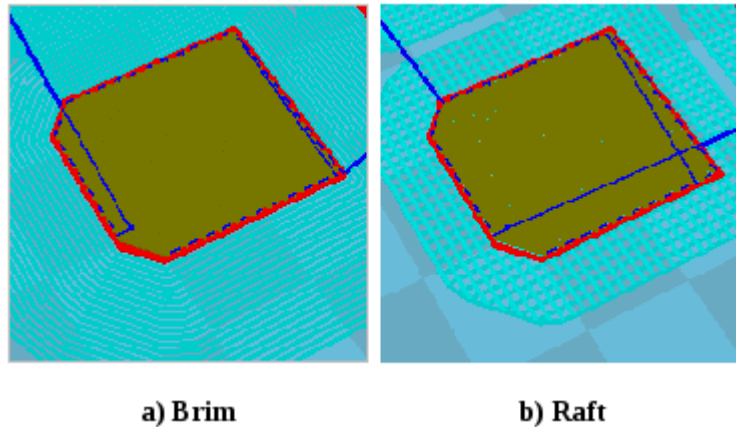


Figura 115: Tipos de plataformas de adhesión. a) Raft b) Brim
Fuente: Investigador

Filament (Filamento)

Existen varios fabricantes de filamentos y no todos proveen exactamente las mismas medidas por lo que es necesario configurar estos parámetros

Diameter (Diámetro de filamento): Los estándares de diámetros de filamentos son 3 mm y 1,75mm sin embargo también existe de 2,85 mm.

Flow (Multiplicador del flujo de filamento): Corrige errores mecánicos del extrusor o del diámetro filamento mediante la modificación del filamento entregado.

Advanced (Configuración avanzada)

Machine (Máquina)

Nozzle size (Diámetro de la boquilla del Fusor): El diámetro de la boquilla determina la calidad del objeto impreso y es un elemento que se puede cambiar, en esta sección se indica esta medida que puede ser desde 0.25 mm hasta 0.8 mm dependiendo del fabricante del fusor.

Retraction (Retracción)

Speed (velocidad): Esta es la velocidad con la que se retrae el filamento cuando esta habilitada la opción de Enable retraction

Distance (Distancia): Se necesita especificar la cantidad de filamento que se va a retraer.

Quality (Calidad)

Initial layer thickness (grosor de la capa inicial): La capa inicial es la mas importante, de una buena adhesión dependerá que la impresora complete las demás capas del objeto, para que tenga el mismo valor que las demás el valor de este parámetro es 0.

Initial layer line with (Ancho de linea inicial): El ancho de la primera linea define el flujo del material en la primera capa junto con el parámetro anterior correctamente configurados brindan una correcta adherencia.

Cut off object botton (Corta la base del objeto): Este parámetro permite que iniciemos la impresión de la figura en una capa superior, cortando la parte que este por debajo de la distancia que se le indique.

Speed (Velocidad)

Travel speed (Velocidad de desplazamiento): Cuando el extrusor tiene que moverse sin imprimir no es necesario que conserve la velocidad de impresión, en este parámetro se le indica a que velocidad debe moverse en sus desplazamientos, que es mayor a la velocidad de impresión.

Bottom layer speed (velocidad de la primera capa): La velocidad a la que se deposita el material en la primera capa es otro factor que influye en su adherencia, esta velocidad es menor a la velocidad de impresión de las demás capas.

Infill speed (velocidad de relleno): El resultado estético de la figura depende de la velocidad con la que se impriman los contornos, el interior puede tener una mayor velocidad de impresión sin afectar al resultado de la impresión.

Outer shell speed (Velocidad de la capa externa): De este parámetro depende el acabado de la capa exterior, en caso de ser necesario esta velocidad puede ser disminuida respecto a la velocidad de impresión.

Inner shell speed (Velocidad de los bordes interiores): Dependiendo de la cantidad de bordes definidos en el parámetro *Shell Thickness*, existen bordes internos en los que al igual que los rellenos se puede aumentar la velocidad sin afectar la calidad de la impresión.

Expert config	
Retraction	
Minimum travel (mm)	1.5
Enable combing	<input checked="" type="checkbox"/>
Minimal extrusion before retracting (mm)	0.1
Skirt	
Line count	1
Start distance (mm)	3.0
Minimal length (mm)	150.0
Cool	
Fan full on at height	0
Fan speed min (%)	100
Fan speed max (%)	100
Minimum speed (mm/s)	10
Cool head lift	<input type="checkbox"/>
Infill	
Solid infill top	<input checked="" type="checkbox"/>
Solid infill bottom	<input checked="" type="checkbox"/>
Infill overlap (%)	15
Support	
Fill amount (%)	10
Distance X/Y (mm)	0.7
Distance Z (mm)	0.2
Spiralize	
Spiralize the outer contour	<input type="checkbox"/>
Brim	
Brim line amount	30
Raft	
Extra margin (mm)	5
Line spacing (mm)	1.0
Base thickness (mm)	0.3
Base line width (mm)	0.7
Interface thickness (mm)	0.2
Interface line width (mm)	0.2
Fix horrible	
Combine everything (Type-A)	<input checked="" type="checkbox"/>
Combine everything (Type-B)	<input type="checkbox"/>
Keep open faces	<input type="checkbox"/>
Extensive stitching	<input type="checkbox"/>
Ok	

Figura 116: Configuraciones de modo experto
Fuente: Investigador

Cool

Minimal layer time (tiempo mínimo de capa): El enfriamiento de las capas influye en el acabado del objeto es importante por lo que se sugiere ajustar este valor en 10 segundos.

Enable cooling fan (Habilitar ventilador de capa): En el caso de que la impresora cuente con un ventilador que ayude a enfriar las capas resulta útil activarlo.

Configuración de Experto

En la pestaña Expert de la barra de menú, las opciones de *Quick Print* y *Full Settings* también existe la opción para abrir configuraciones aún más avanzadas, *Open Expert Settings*, que permite aún mas opciones de personalización, figura 116

Retraction (retracción)

La impresora hará la retracción del filamento siempre que tenga que moverse de un punto a otro sin imprimir. Esta retracción se realiza para evitar que gotee el plástico.

Minimun travel (desplazamiento mínimo): Fija el desplazamiento mínimo para el que se realizará la retracción del filamento.

Enable combining: Si esta opción está marcada, además de realizarse la retracción, la impresora va a evitar que el HotEnd pase sobre los orificios o huecos.

Minimal extrusion before retracting (mínima extrusión antes de retraerse): Fija la cantidad mínima de plástico que se debe de extruir antes de realizar la retracción. Si no se extruye al menos esta cantidad de filamento, la retracción será ignorada.

Z hop when retracting (elevación del eje Z al retraer): Esta opción hace que se eleve el eje Z cuando se realizan desplazamientos. Es una opción muy útil y que va a mejorar la calidad de piezas que tengan detalles pequeños, evitando junto con la retracción que aparezcan hilos que afeen la impresión. Para piezas simples recomiendo tenerla desactivada (ya que activarla va a incrementar el tiempo de impresión), si la pieza es compleja y tiene detalles, se puede introducir en este parámetro una altura que sea el doble de la altura de capa que se esté usando.

Skirt

El *skirt* o falda es una línea que va a rodear el modelo que estemos imprimiendo. Esta línea tiene 2 propósitos, el primero es determinar los límites donde estará contenido el modelo y el segundo es limpiar el *Hot-End* eliminando posibles burbujas de aire de su interior o suciedad de la propia boquilla.

Line count (Número de líneas): Fija el numero de vueltas que dará rodeando al objeto.

Start distance (Distancia al objeto): Establece la distancia de separación entre el objeto y la falda.

Minimal length: (longitud mínima): Establece la longitud mínima que tendrá la falda. En piezas pequeñas la falda no será suficientemente grande para limpiar correctamente el HotEnd, por lo que se fija una distancia mínima, incrementando el número de vueltas hasta llegar a esta distancia.

Cool

Los parámetros contenidos en "Cool" afectan a la forma en la que se va a enfriar la pieza, pudiendo modificar las opciones del ventilador de capa o los tiempos mínimos de impresión.

Fan full on at height (Ventilador activo a cierta altura): Esta opción va a activar completamente el ventilador de capa a partir de la altura seleccionada. Para las capas inferiores, el ventilador funcionará a una velocidad proporcional, estando siempre desactivado para la capa inicial.

Fan speed min/max (velocidad máxima y mínima del ventilador): Estos parámetros establecen la velocidad máxima y mínima del ventilador de capa. Dependiendo del ventilador instalado en la impresora, hay que regularlo para que el flujo de aire sea correcto, ya que un flujo excesivo enfriará la pieza demasiado rápido y puede hacer que aparezcan rajaduras en la pieza.

Minimum speed (velocidad mínima): Establece la velocidad mínima de impresión. Este parámetro es muy importante, ya que al imprimir a muy baja velocidad el plástico se va a recalentar demasiado deformando la impresión, por ello es necesario fijar una velocidad mínima para que esto no suceda. Este valor va a depender del tipo de filamento con el que estemos imprimiendo, para la mayoría de filamentos un valor de 10 a 15mm/s es suficiente.

Cool head lift (Sube para enfriar): Si esta opción está seleccionada, va a elevar el Fusor al completar una capa si no se ha cumplido el tiempo mínimo establecido para cada capa, dándole tiempo a enfriarse y separándose para no recalentar el plástico.

Infill

Solid infill top/bottom (relleno sólido superior e inferior): Al seleccionar estas opciones, tanto la capa inferior como la superior serán sólidas y no se verán afectadas por el factor de relleno que se tenga aplicado al diseño. Es recomendable tenerlas siempre activadas.

Infill overlap (solapamiento del relleno): Este parámetro controla la cantidad de relleno que se va a solapar con los bordes. El valor que trae por defecto (15%) funciona bien.

Support Los soportes son elementos que en muchas ocasiones son totalmente necesarios para imprimir el modelo, y en función de las características del mismo, habrá que modificar los soportes para que se adapten lo mejor posible al diseño y sean fáciles de retirar.

Structure type (tipo de estructura): Podemos seleccionar entre dos tipos de estructuras, una compuesta por una cuadrícula (grid) y otra compuesta por líneas (lines). Elegid la que mejor se adapte a vuestro modelo, aunque la estructura "grid" da por lo general mejores resultados.

Overhang angle for support (ángulo máximo para soportes): Indica el ángulo máximo para el que se empezarán a usar los soportes. Este ángulo toma como referencia la vertical, teniendo un muro vertical un ángulo de 0° y un puente horizontal un ángulo de 90° . La mayoría de impresoras son capaces de crecer con ángulos de al menos 45° , por lo que los soportes no son necesarios para ángulos inferiores. Fijad el valor en 45° y aumentar el valor hasta determinar el límite de vuestra máquina.

Fill amount (Cantidad de relleno): Fija el relleno que se va a usar para los soportes. El relleno va a definir la separación entre las líneas de soporte, vuestra impresora deberá de crear puentes usando estas líneas y salvando estos huecos. Suelen funcionar bien valores de relleno del 20 % al 50 % (en función del diseño).

Distance X/Y (Distancia X/Y): Establece la separación entre los bordes del objeto y los soportes. Si esta distancia es muy pequeña, se pueden unir los bordes con los soportes haciendo que los soportes sean muy complejos de retirar y afeando la terminación final de la pieza. Una separación de 0.7mm será suficiente para Fusors con boquillas de hasta 5mm.

Distance Z (Distancia Z): Establece la separación en Z (altura) que habrá entre el soporte y la pieza. Esta distancia está determinada en gran medida por la altura de capa que se use, siendo lo más correcto introducir aquí un valor que sea la mitad de la altura de capa. Los valores 0.1mm o 0.15mm funcionan bien.

Spiralize

Spiralize the outer contour: Esta opción imprime el contorno del objeto con una base sólida. Convierte un elemento sólido en un objeto hueco.

Only follow mesh surface: Esta opción imprime la superficie o cáscara del objeto, sin que se tengan en cuenta la base, el relleno o la capa superior.

Brim

Brim line amount (Ancho de la visera): En este parámetro se indica el ancho que va a tener la visera. Cuanto mayor sea el ancho de la visera, mayor va a ser la adhesión que tendrá el objeto. El tamaño de la visera va a depender de la superficie de contacto y de la forma que tenga la pieza, siendo valores comunes los que están comprendidos entre 5 y 20 milímetros.

Raft Aquí podemos configurar todos los parámetros de la base de impresión. Esta base, como se comentó en la "configuración del laminado", va a mejorar la adhesión de la pieza creando una especie de malla sobre la que se imprimirá el objeto.

Extra margin (Margen extra): Este parámetro fija el margen que sobresaldrá la base del objeto. **Line spacing (Espacio entre líneas):** Fija la distancia entre las líneas que formaran la malla.

Base thickness (Espesor de la base): Establece el espesor que tendrá la base. Por defecto se suelen hacer 1 o 2 capas de base (en función del espesor de capa).

Base line width (Ancho de la línea de base): Este parámetro modifica el grosor de las líneas con las que se confecciona la base. Da buenos resultados usar líneas que tengan el doble de ancho que la boquilla del Fusor (dará dos pasadas por línea).

Interface thickness (Espesor de la capa intermedia): Establece el grosor de la capa intermedia que tiene la base. **Interface line width (Espesor de la línea intermedia):** Establece el grosor de las líneas que forman la capa intermedia de la base.

Airgap: Este parámetro modifica el espacio entre la última capa de la base y la primera capa del objeto. Esta separación va a influir en la facilidad a la hora de retirar la base del objeto.

Surface layers (capas de la superficie): Fija el número de capas de la parte superior de la base

Fix Horrible

Las opciones incluidas en "Fix horrible" son opciones para intentar mejorar o reparar los objetos. El programa por defecto realiza modificaciones en el diseño 3D que puede dar como resultado efectos no deseados y que alteren el modelo original. Las opciones contenidas en "fix horrible" por si solas o combinadas entre sí, cambian la manera en que CURA va a interpretar el modelo 3D, solventando posibles problemas a la hora de imprimir.

Por defecto CURA suele reparar correctamente todos los errores del modelo 3D, estas opciones solo son recomendables activarlas en casos excepcionales, ya que pueden afectar negativamente a la impresión.

Combine everything (Type A): Une todas las partes del modelo en base a las normales intentando mantener los orificios internos intactos.

Combine everything (Type B): Une todas las partes del modelo ignorando orificios internos y conservando la capa exterior.

Keep open face: Mantiene abiertos pequeños huecos que pudiera tener el modelo. Por defecto CURA cierra los huecos o grietas pequeñas del modelo, ya que los toma como errores del diseño.

Extensive stitching: Repara los agujeros o grietas del modelo, cerrando los orificios que tengan polígonos que se toquen.

Las dos últimas opciones que podemos encontrar dentro de la pestaña "Expert" son:

Run first run wizard, con esta opción podemos ejecutar el asistente para la configuración inicial. Este asistente se ejecuta por defecto la primera vez que instalamos el programa

Run bed leveling wizard, al pulsar esta opción, se va a ejecutar un asistente que ayuda en el proceso de nivelación de la cama.

4.9.5. Perfiles de impresión

Cada parametro del software CURA puede ser configurado de acuerdo a las necesidades de los modelos 3D, en cualquier caso los factores que varían y definen la calidad de impresión de detallan en la tabla 28

Perfil	D. Baja	D. Media	D. Alta	D. Muy Alta
Altura Capa (mm)	0.3	0.2	0.1	0.05
Grosor Paredes (mm)	1.2	1.2	1.2	1.2
Velocidad (mm/s)	70	60	50	40
Grosor 1ra Capa (mm)	0.3	0.2	0.1	0.1

Tabla 28: Perfiles de impresión de acuerdo a las calidades

Fuente: El Investigador

4.10. Mantenimiento de los componentes de la impresora

La Impresora 3D del presente proyecto sigue los lineamientos del Código Abierto y del hágalo usted mismo, es decir, por su naturaleza ciertos componentes necesitan de un mantenimiento preventivo, la frecuencia del mantenimiento depende de la intensidad de uso pero se recomienda que se realice cada mes con un uso moderado de la impresora [110].

Las actividades que se contemplan para un mantenimiento adecuado se deben seguir en el orden que se muestra y antes de proceder con el mantenimiento es necesario desconectar la alimentación de la impresora hasta el paso 6 y 7 en los que es necesario mover los motores para comprobar su correcta posición.

Revisión de Tuercas y Tornillos. La vibración generada por la impresión causa que las tuercas se aflojen, es necesario comprobar que estén apretados para que los mecanismos realicen sus movimientos de acuerdo a lo esperado.

Limpieza de ventiladores y electrónica. Al igual que en otros aparatos electrónicos como computadoras y Portátiles es necesario realizar una limpieza de ventiladores e integrados para que la el calor se disipe correctamente.

Verificación de la tensión en las correas dentadas Las bandas con el tiempo pierden sus propiedades agrandándose o resquebrajarse, es necesario revisar que estén lo suficientemente tensas, en el caso que no lo estén proceder a ajustarlas.

Limpieza, aceiteado de las varillas lisas y engrasado de varillas roscadas. Los mecanismos de guiado lineal y transmisión de movimiento están constantemente bajo fricción por esta razón es necesario mantener un lubricado correcto en las varillas roscadas y lisas.

Mantenimiento del cristal de la base de impresión. La base de impresión debe estar totalmente limpia por esta razón se recomienda darle un rápido

mantenimiento luego de cada impresión.

Limpieza y comprobación del funcionamiento del extrusor. Por la cristalización del material dentro del extrusor se recomienda limpiarlo, para este proceso es necesario calentar el extrusor y pasar por el conducto una alambre delgado mas fino que la boquilla. Para este fin se recomienda usar agujas finas usadas en acupuntura. Antes de continuar es necesario esperar que el fusor se enfríe.

Nivelación del eje Z y la base de impresión Es necesario verificar que cada uno de los eslabones del eje Z estén a la misma distancia de la base de impresión y que la punta del extrusor tenga la misma distancia hacia la base de impresión en todos los puntos. Para esto se mueve manualmente los motores del eje Z y luego enviando comandos desde el sistema de control posicionar el extrusor en cada esquina y la distancia de referencia en la del grosor de una hoja A4 INEN.

4.11. Resultados de impresión

	
<p>Cubo de calibración, Teórico 20mm de arista.</p>	<p>Geometría Circular</p>
	
<p>Logotipos Institucionales</p>	<p>Maquetas de Arquitectura Modelo Volumétrico</p>

Figura 117: Resultados de Impresión 3D
Fuente: El investigador

	
<p>Aplicaciones Veterinaria : Hueso Pata de Vaca</p>	<p>Aplicaciones Médicas: Cavidades Corazón Humano</p>
	
<p>Geometría Compleja</p>	<p>Aplicaciones Ingeniería petróleos</p>

Figura 118: Resultados de Impresión 3D
Fuente: El investigador


	<p>Aplicaciones Médicas: Corazón Humano</p>		<p>Aplicaciones Arquitectura: Cuarto de máquinas Barco</p>
	<p>Aplicaciones Robótica : Rodamientos Lineales</p>		<p>Aplicaciones Robótica : Smart Trap</p>

Figura 119: Resultados de Impresión 3D
Fuente: El investigador

	
<p>Aplicaciones varias</p>	<p>Aplicaciones varias</p>
	
<p>Aplicaciones varias</p>	<p>Aplicaciones varias</p>

Figura 120: Resultados de Impresión 3D
Fuente: El investigador

CAPÍTULO 5

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- El principal lineamiento de esta investigación ha sido tomar el camino del Código Abierto. Existen varias razones para escoger este camino por sobre el *CopyRight*, la más importante es permitir el libre acceso a la información para que quienes utilicen un producto de código abierto como el de *RepRap Organization* se distribuye el trabajo y costo de desarrollo entre los participantes y además quienes quieran hacer sus propios aportes y desarrollar un proyecto similar tendrán total acceso y empezarán desde cero.
- El diseño conceptual de la impresora deja claros los objetivos y analiza el proyecto desde el punto de vista de usuario entorno y tarea generando especificaciones técnicas para generar una versión alfa con el equilibrio correcto entre los parámetros . El modelo Prusa I3 es una máquina CNC basada en un robot cartesiano con una configuración PPP de código abierto modular y paramétrico. Para su estudio está dividido en seis sistemas, sobre los cuales se construye la una carcasa y un sistema HMI de control a distancia.
- Los mecanismos de transmisión de movimientos utilizados por la impresora son de dos tipos el primero es de polea correa utilizado para los ejes X y Y y para el eje Z se utiliza un sistema de transmisión de movimiento tornillos tuerca, todos los ejes cuentan con un sistema de guiado por rodamiento lineal de bolas. El mecanismo de extrusión requiere de un sistema de reducción debido a que la potencia entregada por el motor al piñón no es suficiente para empujar al filamento de plástico a través del extremo caliente del extrusor.
- Impresión 3D es un proceso de diseño y fabricación digital, el sistema está formado por varios procesos, para cada se eligió una herramientas de código abierto RepRap desarrolladas en base a un proceso de generación de códigos

para el control numérico de la impresora. Cada uno de estos procesos están al alcance de la comunidad en línea y cierra la brecha entre el investigador y la industria, brindándole la oportunidad de producir sus propios prototipos.

- La temperatura se controla con un PID implementado en el firmware seleccionado, este método es el más eficiente para mantener una variable de temperatura en un valor constante, para establecer los parámetros del PID se hace uso de la característica incorporada en el firmware Marlin que cuenta con un autoajuste de parámetros.
- Los procesos de impresión pueden llevar varias horas para concluir es por eso que tener una impresora conectada todo el tiempo es un gasto de recursos, para solucionar este problema se diseñó e implementó una interfaz humano máquina que convierte a la impresora en autónoma y además puede ser manipulada remotamente mediante red inalámbrica.

5.2. Recomendaciones

- Para crear empresas dedicadas al desarrollo de tecnología y producción de impresoras 3D se recomienda seguir el ejemplo de empresas que han nacido en el proyecto RepRap, como MakerBot y Ultimaker y han hecho del Código Abierto su plataforma de desarrollo de nuevos proyectos para luego convertirse en empresas de éxito mundial que en cuestión de pocos años se ponen a la altura de empresas que llevan décadas en el negocio de impresión 3D. Además son un referente de la importancia del trabajo colaborativo y compartido con el mantenimiento de sus páginas web de modelos en 3D de descarga gratuita.
- Uso de herramientas libres y de código abierto para permitir que los diseños compartidos puedan ser estudiados copiados y modificados sin tener que pagar las licencias del software en el que fueron generados, es decir, para que un diseño sea totalmente libre debe ser generado en un software libre.
- Para experimentar con nuevas formas de impresión y nuevos parámetros para objetos que representen una alta complejidad de impresión o para experimentar con nuevos materiales se recomienda consultar las experiencias de otros usuarios recurriendo a comunidades en línea de impresión 3D, esto ayuda a obtener mejores resultados basado en experimentos de otros usuarios. RepRap es la comunidad más importante en este aspecto que puede ser considerada como un soporte técnico gratuito.

- Se recomienda usar la configuración de los parámetros expuesta en los perfiles de impresión para obtener cuatro niveles de calidad previamente probados por el investigador. Y realizar un mantenimiento preventivo al menos una vez al mes de acuerdo a lo especificado en la sección de mantenimiento.
- A quienes se beneficien de la información contenida en este documento se les recomienda continuar con el lineamiento de código abierto y compartir todo el conocimiento obtenido en la lectura de este trabajo sin poner restricciones a la copia estudio y redistribución.

Bibliografía

- [1] J. A. Berni, “Historia de la impresión [En Línea].” Disponible en: <http://www.jaberni-coleccionismo-vitolas.com/HistoriadelaImpresion.htm>, 2013. Obtenido Noviembre 2013.
- [2] J. A. Solís, *Historia de las cosas*, ch. Historia del Ordenador, p. 64. Jose Antonio Solís, 2008.
- [3] S. C. Rizo, *Introducción al proyecto de producción. Ingeniería concurrente para el diseño del producto*, ch. Prototipos: Conceptos y Clasificación, pp. 102–106. Ed. Universidad. Politécnica de Valencia, 1999.
- [4] H. Lipson and M. Kurman, *Fabricated: The new world of 3D printing*, ch. Everything is becoming science fiction, pp. 1–5. John Wiley & Sons, 2013.
- [5] 3DHubs, “3d printing trends january 2015,” *3DHubs Trends*, vol. 1, p. 10, 2015.
- [6] Revista Líderes, “Producción de partes con impresoras 3d [En Línea].” Disponible en: <http://www.revistalideres.ec/tecnologia/produccion-parte-impresora0757124301.html>, 2012. Obtenido en Diciembre 2013.
- [7] Organization RepRap, “Definición pagina principal repprap.org [En Línea].” Disponible en: <http://repprap.org/wiki/RepRap/es>, 2013. Obtenido en Noviembre 2013.
- [8] D. Bollier, “Rebuilding ecuador’s economy with open source principles [En Línea].” Disponible en: <http://opensource.com/government/13/11/flok-society-ecuador-economy>, 2013. Obtenido en Noviembre 2013.
- [9] E. DeBruijn, “On the viability of the open source development model for the design of physical objects, Lessons learned from the RepRap project,” Master’s thesis, Tilburg University, 2010.

- [10] L. Rando, *Las Ventajas de las Impresoras 3D al Descubierta*, ch. Aplicaciones funcionales, pp. 1–2. Minidocs Co., 2009.
- [11] Barcelona Dynamics Wiky, “Impresión 3d [En Línea].” Disponible en: <http://wiki-es.bcndynamics.com/impresion3d.>, 23 Octubre 2012. Obtenido en Noviembre 2013.
- [12] J. Bonilla and S. Davalos, “Prototipo de impresora para modelos 3d en cera,” tesis, Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE, 2006.
- [13] G. X. Maldonado Toro, “Diseño, construcción y programación de una máquina de control numérico aplicada al prototipado rápido de modelado por deposición fundida de material para el laboratorio de mecatrónica de la universidad internacional del ecuador,” tesis, Universidad Internacional del Ecuador UIDE, 2012.
- [14] S. Kalpakjian, S. R. Schmid, *et al.*, *Manufactura, ingeniería y tecnología*, ch. Operaciones rápidas de construcción de prototipos, pp. 1176–1177. Pearson Educación, 2002.
- [15] I.d.t.c. ITC-AICE, “Técnica de prototipado rápido en ceramica [En Línea].” Disponible en: <http://www.revistalideres.ec/tecnologia/produccion-parte-impresora0757124301.html>, 2007. Obtenido en Noviembre 2013.
- [16] Imprimalia3D, “Glosario impresión 3d [En Línea].” Disponible en: <http://www.imprimalia3d.com/recursos>, 2013. Obtenido en Enero 2014.
- [17] Alpha Science, “Gcmm 2004,” in *1st International Conference on Manufacturing and Management*, Febrero 2004, Consultado en Marzo 2014.
- [18] C. Hull, “Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography,” 1986, Obtenido en febrero 2014.
- [19] C. Fonda, “Guía práctica para tu primera impresión 3d [En Línea].” Disponible en: <https://impresion3denelictp.files.wordpress.com/2014/03/guc3ada-pre3a1ctica-para-tu-primera-impresic3b3n-3dcarlo-fonda1.pdf>, Marzo del 2014. Obtenido en Octubre 2014.
- [20] Open Source Initiative, “Definición Open Source Initiative [En Línea].” Disponible en: <http://opensource.org/osd>. Obtenido en Octubre 2013.

- [21] Open Source Hardware Association , “Definición de oshw [En Línea].” Disponible en: <http://www.oshwa.org/definition/spanish/>, 2014. Obtenido en Octubre 2013.
- [22] C. Green, “Licencias creative commons [En Línea].” Disponible en: <http://creativecommons.org/licenses/>, 2014. Obtenido en Enero 2014.
- [23] Wikia, “Impresión 3d definición [En Línea].” Disponible en: <http://emergingeconomy.wikia.com/wiki/3DPrinters>, 8 de Noviembre del 2011. Obtenido en Diciembre 2013.
- [24] T. MacMillan, “On state street, maker movement arrives [En Línea].” Disponible en: <http://www.newhavenindependent.org/index.php/archives/entry/makehaven/i20d46594.>, 30 de abril del 2012. Obtenido en Noviembre 2013.
- [25] C. Anderson, *Makers: the new industrial revolution*, ch. The New Industrial Revolution, pp. 17–32. Random House, 2012.
- [26] A. Garcia, “La revolución makers en 14 ideas [En Línea].” Disponible en: <http://www.qtorb.com/2013/06/la-revolucion-makers-en-14-ideas.html>, Junio del 2013. Obtenido en Abril 2014.
- [27] M. Kreiger and J. Pearce, “Environmental life cycle analysis of distributed three-dimensional printing and conventional manufacturing of polymer products [En Línea].” Disponible en: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/sc400093k?journalCode=ascecg>, 23 Septiembre del 2013. Obtenido en Noviembre 2014.
- [28] ZCorp, “Ventajas de la impresión 3d [En Línea].” Disponible en: <http://www.zcorp.com/es/Products/3D-Printers/Advantages-of-3D-Printing/spage.aspx>, 2012. Obtenido en Octubre 2013.
- [29] N. Gomez del Pozuelo, “Qué es una impresora 3d? [En Línea].” Disponible en: <http://www.3dimpresoras3d.com/que-es-una-impresora-3d/>, 28 de Octubre del 2013. Obtenido en Diciembre 2013.
- [30] J. Gonzalez, A. Valero, A. Prieto, and M. Abderrahin, “A new open source 3d-printable mobile robotic platform for education,” *Advances in Autonomous Mini Robots Advances in Autonomous Mini Robots*, vol. 1, p. 10, 2001.
- [31] M. Menichinelli, *Financiación colectiva para proyectores de código abierto*, ch. Primer capítulo: Open Source, p. 1. ., 2011.

- [32] Organization RepRap, “G code processing [En Línea].” Disponible en: <http://reprap.org/wiki/Repraphostsoftware>, Diciembre del 2014. Obtenido en Diciembre 2014.
- [33] M. Kintel, “Acerca de openscad [En Línea].” Disponible en: <http://www.openscad.org/about.html>, Octubre 2014. Obtenido en Octubre 2014.
- [34] FreeCAD, “Acerca de freecad [En Línea].” Disponible en: <http://www.freecadweb.org/wiki/index.php?title=AboutFreeCAD>, 2014. Obtenido en Noviembre 2014.
- [35] Blender, Org., “Acerca de blender [En Línea].” Disponible en: <http://www.blender.org/about/>, 2014. Obtenido en Noviembre 2014.
- [36] L. Castillo, “Introducción a github [En Línea].” Disponible en: <http://conociendogithub.readthedocs.org/en/latest/data/introduccion/>, 2012. Obtenido en Agosto 2014.
- [37] B. Pettis, “Acerca de thingiverse [En Línea].” Disponible en: <http://www.thingiverse.com/about>, 2011. Obtenido en Julio 2014.
- [38] Ultimaker Team , “Acerca de youimagine[En Línea].” Disponible en: <https://www.youmagine.com/>, 2011. Obtenido en Junio 2014.
- [39] Organization RepRap, “Funcionamiento del gcode en firmware de impresión 3d [En Línea].” Disponible en: <http://reprap.org/wiki/G-code>, Febrero 2014. Obtenido en Mayo 2014.
- [40] I. Escalonada, “Diseño y manufactura asistidos por computadora, introducción al cnc [En Línea].” Disponible en: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/mecatronica/docs curso/Anexos/TUTORIALcnc/DOCUMENTOS/TEORIA/CAD-CAMINTRODUCCIONUPIISA.pdf>, Abril del 2014. Obtenido en Octubre 2014.
- [41] J. Peters, “Introducción al control numérico computarizado (cnc), programación manual [En Línea].” Disponible en: [http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Introduccinalcontrolnumericocomputarizado\(CNC\)](http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Introduccinalcontrolnumericocomputarizado(CNC)), Abril del 2014. Obtenido en Octubre 2014.

- [42] Std 610.12-1990(IEEE), “Firmware de impresión [En Línea].” Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Firmware>, Abril 2011. Obtenido en Septiembre 2014.
- [43] Organization RepRap, “Pla [En Línea].” Disponible en: <http://reprap.org/wiki/PLA>, Diciembre del 2014. Obtenido en Diciembre 2014.
- [44] Organization RepRap, “Abs [En Línea].” Disponible en: <http://reprap.org/wiki/ABS>, Diciembre del 2014. Obtenido en Diciembre 2014.
- [45] E. Nuñez, *Acciones de Control*, ch. 1 Introducción, pp. 2–3. ., 2011.
- [46] V. Mazzone, *Controladores PID*, ch. 2 Estructura PID, pp. 1–2. ., 2002.
- [47] U. S. Bolívar, *Introducción al diseño de controladores Industriales*, ch. Ajuste empirico de controladores industriales (Ziegler-Nichols), pp. 14–17. ., .
- [48] R. Correa, “Decreto 1014 [En Línea].” Disponible en: <http://www.estebanmendieta.com/blog/wp-content/uploads/Decreto1014softwarelibreEcuador.pdf>, Abril del 2008. Obtenido en Octubre 2014.
- [49] SENPLADES, “Plan nacional para el buen vivir 2009-2013 [En Línea].” Disponible en: [http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/PlanNacionalparaelBuenVivir\(versionresumidaenespanol\).pdf](http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/PlanNacionalparaelBuenVivir(versionresumidaenespanol).pdf), 2009. Obtenido en Octubre 2014.
- [50] SENPLADES, “Plan nacional para el buen vivir 2013-2017 [En Línea].” Disponible en: <http://documentos.senplades.gob.ec/Plan20Nacional20Buen20Vivir202013-2017.pdf>, 2012. Obtenido en Octubre 2014.
- [51] D. Araya *et al.*, “Carta abierta a los trabajadores del procomun del mundo [En Línea].” Disponible en: <http://floksoctety.org/carta-abierta/>, Abril del 2014. Obtenido en Noviembre 2014.
- [52] D. Araya and P. Bouchard, “Recursos de educación abierta [En Línea].” Disponible en: <https://floksoctety.co-ment.com/text/jaYnhM2KaMD/view/>, Abril del 2014. Obtenido en Noviembre 2014.

- [53] D. Villa, “Cultura libre y abierta.” Disponible en :<https://flokksociety.com/text/tLUaKJev7zt/view/>, Abril del 2014. Obtenido en Noviembre 2014.
- [54] D. Araya, “Ciencia abierta [En Línea].” Disponible en: <https://flokksociety.com/text/Ge3RhtNxB46/view/>, Abril del 2014. Obtenido en Noviembre 2014.
- [55] S. Paniagua, “De reppap a makerbot: la impresión 3d y la manufactura personal [En Línea].” Disponible en: <http://www.sorayapaniagua.com/2013/02/18/de-reppap-a-makerbot-la-impresion-3d-y-la-manufactura-personal/>, Febrero del 2013. Obtenido en Mayo 2014.
- [56] M. Burns, “Atoms from bits the digital revolution in manufacturing,” *Future Focus at TCT 2000*, vol. 1, p. 1, 2000.
- [57] J. Moilanen and T. Vadén, “Manufacturing in motion: first survey on 3d printing community,” *Statistical Studies of Peer Production*, vol. 1, p. 6, 2012.
- [58] Organization RepRap, “Impresora darwin [En Línea].” Disponible en: <http://reprap.org/wiki/Darwin>, Febrero 2014. Obtenido en Mayo 2014.
- [59] Organization RepRap, “Impresora mendel [En Línea].” Disponible en: <http://reprap.org/wiki/Mendel/es>, Febrero 2014. Obtenido en Mayo 2014.
- [60] Organization RepRap, “Impresora prusa mendel [En Línea].” Disponible en: <http://reprap.org/wiki/PrusaMendel/es>, Febrero 2014. Obtenido en Mayo 2014.
- [61] Organization RepRap, “Impresora prusa mendel 2 [En Línea].” Disponible en: [http://reprap.org/wiki/Prusa Mendel \(iteration 2\)](http://reprap.org/wiki/Prusa_Mendel_(iteration_2)), Febrero 2014. Obtenido en Mayo 2014.
- [62] Organization RepRap, “Impresora huxley [En Línea].” Disponible en: <http://reprap.org/wiki/Huxley>, Febrero 2014. Obtenido en Mayo 2014.
- [63] Organization RepRap, “Impresora prusa mendel 3 [En Línea].” Disponible en: <http://reprap.org/wiki/Prusai3>, Febrero 2014. Obtenido en Mayo 2014.
- [64] PrintrBot Corporation, “Impresora printrbot [En Línea].” Disponible en: <http://printrbot.com/shop/assembled-metal-printrbot-plus/>, Febrero 2014. Obtenido en Mayo 2014.

- [65] Organization RepRap, “Impresora micro delta [En Línea].” Disponible en: <http://reprap.org/wiki/MicroDelta>, Febrero 2014. Obtenido en Mayo 2014.
- [66] J. Martínez and J. Sabater, *Guía Docente para el Diseño de Robots de Servicio*, vol. 1, ch. Capitulo 1:Definición del Problema: Diseño Conceptual,, pp. 21–55. AIDICO MH, 2012.
- [67] Siemens Industry Software, “Fabricación digital[En Línea].” Disponible en: <http://www.plm.automation.siemens.com/eses/plm/digital-manufacturing.shtml>, 2014. Obtenido en Junio 2014.
- [68] D. Muriel and E. MorPera, *Diseño centrado en el usuario*, ch. 3 Cómo se aplica en la práctica el diseño centrado en el usuario?, pp. 24 – 51. Universitat Oberta de Catalunya, 2010.
- [69] A. 116, *UNE 116001:1988 Control numérico de maquinas. Nomenclatura de ejes y movimientos*. AENOR, 1988.
- [70] N. Sotomayor, “Robótica industrial [En Línea].” Disponible en: <http://ciecfe.epn.edu.ec/Material/4toNivel/Robotica/ROBOTICA20INDUSTRIAL.pdf>, Septiembre del 2009. Obtenido en Mayo 2014.
- [71] S. Chancusi and P. Navarrete, “Diseño y construcción de una impresora 3d auto-replicable controlada inalámbricamente para el prototipado de piezas plásticas,” tesis, Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE Campus Latacunga, 2014.
- [72] American Chemical Society, “Environmental life cycle analysis of distributed three-dimensional printing and conventional manufacturing of polymer products,” *ACS Sustainable Chem*, vol. 1, pp. 1511–1519, 2013.
- [73] C. Aledo, “El mercado de la impresión 3d alcanzará los 8.410 millones de dólares en 2020 [En Línea].” Disponible en: <http://www.print3dworld.es/2013/11/el-mercado-de-la-impresion-3d-alcanzara-los-8410-millones-de-dolares-en-2020.html>, Noviembre del 2013. Obtenido en Mayo 2014.
- [74] MarketsAndMarkets, “3d printing market by technology [En Línea].” Disponible en: <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/3d-printing-market-1276.html>, 2014. Obtenido en Noviembre 2014.
- [75] Granabot, “Qué es g-code? [En Línea].” Disponible en: <http://granabot.es/que-es-g-code/>, 2014. Obtenido en Enero 2015.

- [76] Alegsá, “Definición de modelo en 3d [En Línea].” Disponible en: <http://www.alegsa.com.ar/Dic/modeloen3d.php>, 2013. Obtenido en Agosto 2014.
- [77] J. González, “Probando el funcionamiento cnc, los comandos g-code [En Línea].” Disponible en: <http://www.learobotics.com/wiki/index.php?title=GuiademontajedelaPrusa2>, Julio del 2012. Obtenido en Enero 2015.
- [78] I. Villalba, “Mecanismos [En Línea].” Disponible en: <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2008/04/mecanismos-transmision.pdf>, Abril del 2008. Obtenido en Enero 2015.
- [79] Enciclopedia Virtual de Ingeniería Mecánica, Universitat Jaume I, “Correa sincronizada [En Línea].” Disponible en: <http://www.mecapedia.uji.es/correasincronizada.htm>, Julio del 2006. Obtenido en Febrero 2015.
- [80] Stock Drive Products / Sterling Instrument , “Handbook of timing belts and pulleys [En Línea].” Disponible en: <http://www.sdpsi.com/D265/PDF/D265T003.pdf>, 2003. Obtenido en Febrero 2015.
- [81] L. Vanegas, “Diseño de tornillos [En Línea].” Disponible en: <http://www.utp.edu.co/lvanegas/disI/Cap8.pdf>, 2007. Obtenido en Febrero 2015.
- [82] Schaeffler, “Sistemas de guiado lineal [En Línea].” Disponible en: <http://www.schaeffler.com/content.schaeffler.es/es/productsservices/inafagproducts/linearproducts/index.jsp>, 2015. Obtenido en Febrero 2015.
- [83] CapsuLabs, “Actuadores [En Línea].” Disponible en: <http://hangar.org/webnouw/wp-content/uploads/2012/01/capsulab101.pdf>, 2012. Obtenido en Diciembre 2014.
- [84] TecnoOficio, “Seleccionar motores.” Disponible en: <http://www.tecnoficio.com/electricidad/velocidaddemotoreselectricos2.php>, 2011. Obtenido en Agosto 2014.
- [85] Organization RepRap, “Stepper motor [En Línea].” Disponible en: <http://reprap.org/wiki/Steppermotor>, Febrero 2014. Obtenido en Julio 2014.

- [86] T. Hunter, “[En Línea].” Disponible en: <http://reprap.org/wiki/TriffidHunter27sCalibrationGuide>, Marzo del 2014. Obtenido en Enero 2015.
- [87] Organization RepRap, “Heated bed [En Línea].” Disponible en: <http://reprap.org/wiki/PCBHeatbedAbouttheMK2a>, 2014. Obtenido en Junio 2014.
- [88] J. Prusa, “Pcb heatbed final mounting and wiring solution [En Línea].” Disponible en: <http://josefprusa.cz/pcb-heatbed-final-mounting-and-wiring-solutio/>, Junio del 2011. Obtenido en Diciembre 2014.
- [89] M. Fuente, “Sensores, módulo universidad de valladolid [En Línea].” Disponible en: <http://www.isa.cie.uva.es/maria/sensores.pdf>, 2010. Obtenido en Diciembre 2014.
- [90] Organization RepRap, “Funcionamiento del endstop [En Línea].” Disponible en: <http://reprap.org/wiki/Endstop>, Marzo del 2014. Obtenido en Septiembre 2014.
- [91] Organization RepRap, “Endstop tipo placa [En Línea].” Disponible en: <http://reprap.org/wiki/Mechanicalendstopv1.2>, Marzo del 2014. Obtenido en Septiembre 2014.
- [92] S. Gil and E. Rodriguez, “Termometría - sensores de temperatura [En Línea].” Disponible en: <http://www.fisicarecreativa.com/guias/sensores-temp.pdf>, 2011. Obtenido en Octubre 2014.
- [93] TKD, “Ntc thermistors for temperature measurement [En Línea].” Disponible en: <http://www.mouser.com/ds/2/136/GlassencSensorsB57540G540G1540-47526.pdf>, 2009. Obtenido en Noviembre 2014.
- [94] D. Casares, “Estudio térmico de un inyector de plástico para impresoras 3d tipo reprap [En Línea].” Disponible en: <http://blog.reclone3d.com/2013/01/comparativa-de-hotends/>, Enero del 2013. Obtenido en Agosto 2014.
- [95] Gadgets 3D , “Extrusor budas v1.2 g3d [En Línea].” Disponible en: <https://gadgets3d.com/index.phpproute=product/product&productid=77>, 2014. Obtenido en Septiembre 2014.
- [96] R. Mott, *Diseño de elementos de máquinas*, ch. Tablas de Factores, pp. 389, 436, 439. Pearson Educación, 2006.

- [97] R. Horne, “Reppap magazine practical exploration of 3d printing vol2 [En Línea].” Disponible en: <http://reprapmagazine.com/issues/2/>, Junio del 2013. Obtenido en Enero 2014.
- [98] Organization RepRap, “Arduino mega pololu shield [En Línea].” Disponible en: <http://reprap.org/wiki/ArduinoMegaPololuShield>, 2014. Obtenido en Marzo 2014.
- [99] Arduino, “Especificaciones arduino mega [En Línea].” Disponible en: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega>, 2014. Obtenido en Marzo 2014.
- [100] Pololu Robotics and Electronics, “Especificaciones a4988 stepper motor driver [En Línea].” Disponible en: <https://www.pololu.com/product/1182>, 2014. Obtenido en Mayo 2014.
- [101] Tr3sdland, “Marlin vs sprinter [En Línea].” Disponible en: <https://www.tr3sdland.com/2012/12/software-cura-para-impresion-3d-sprinter-vs-marlin/>, 2012. Obtenido en Febrero 2014.
- [102] E. Zalm, “Readme marlin [En Línea].” Disponible en: <https://github.com/mcamou/Marlin>, 2014. Obtenido en Enero 2015.
- [103] Organization RepRap, “Gadgets3d shield with panel [En Línea].” Disponible en: <http://reprap.org/wiki/RAMPS1.3/1.4GADGETS3DShieldwithPanel>, Diciembre del 2014. Obtenido en Marzo 2014.
- [104] Fundación Raspberry Pi, “Raspberry pi modelo b+ [En Línea].” Disponible en: <http://www.raspberrypi.org/products/model-b-plus/>, Diciembre del 2014. Obtenido en Marzo 2015.
- [105] Organization RepRap, “Pid tuning [En Línea].” Disponible en: <http://reprap.org/wiki/PIDTuning>, 2014. Obtenido en Noviembre 2014.
- [106] Organization Repetier, “Software de impresión repetier [En Línea].” Disponible en: <http://www.repetier.com/documentation/repetier-host/slicing>, Mayo del 2014. Obtenido en Octubre 2014.
- [107] Organization RepRap, “Software de impresión cura [En Línea].” Disponible en: <http://reprap.org/wiki/Cura>, Marzo del 2014. Obtenido en Octubre 2014.

- [108] Ultimaker Team, “Descarga de cura [En Línea].” Disponible en: <https://ultimaker.com/en/products/software>, 2015. Obtenido en Enero 2015.
- [109] Ultimaker Team, “User manual cura 13.11.2 [En Línea].” Disponible en: <https://ultimaker.com/en/support>, 2014. Obtenido en Enero 2015.
- [110] Larragana Ángel, “Mantenimiento de prusa i3 [En Línea].” Disponible en: <http://diwo.bq.com/mantenimiento-de-prusa-i3-hephestos/>, Febrero del 2015. Obtenido en Marzo del 2015.
- [111] GNU, Org, “Gnu general public license [En Línea].” Disponible en: <http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html>, Junio del 2007. Obtenido en Enero 2014.
- [112] G. C. Helguero, “Diseño y producción facultad de ingeniería mecánica y ciencias de producción espol [En Línea].” Disponible en: <http://www.fimcp.espol.edu.ec/es/departments/mechanicalengineer/research/designandproduction.html>, 2013. Obtenido en Diciembre 2013.
- [113] B. D. Johnson, “Imagine your robot today design one tomorrow [En Línea].” Disponible en: <http://www.intel.com/content/www/us/en/corporate-responsibility/better-future/21st-century-robot-program.html>, Mayo del 2014. Obtenido en Junio 2014.
- [114] A. V. Oppenheim, R. W. Schafer, J. R. Buck, and J. P. García, *Tratamiento de señales en tiempo discreto*, vol. 2. Prentice Hall México, 2000.
- [115] J. L. Pardo, *Montaje y puesta en marcha de sistemas robóticos y sistemas de visión en bienes de equipo y máquinas industriales*, ch. 3 Robótica, pp. 19 – 20. ic editorial, 2012.
- [116] S. K. Saha, *Introducción a la robótica*. Mc Graw-Hill, 2010.
- [117] J. Serrano, “Hardware joins the open movement [En Línea].” Disponible en: <http://cerncourier.com/cws/article/cern/46054>, Junio del 2011. Obtenido en Enero 2014.

Anexos y Apéndices

Anexo A

Términos de distribución del OSHW

Los términos de distribución del «Hardware de fuentes abiertas» habrán de seguir los siguientes criterios:

1. Documentación

El hardware liberado ha de incluir documentación en la forma de ficheros de diseño y deberá permitir la modificación y redistribución de los mismos. Si la documentación no acompaña al producto físico, deberá proporcionarse de manera clara la manera en que conseguir la información por no más que un razonable coste de reproducción, preferentemente por medio de una descarga desde Internet libre de cargo. La documentación deberá incluir los ficheros de diseño en un formato que permita introducir cambios, por ejemplo el formato nativo de un programa de CAD. No se permiten ficheros que intencionalmente oculten el diseño. Tampoco son aceptables como substitutos formatos analógicos alternativos a código informático compilado – como planchas de cobre listas para impresión derivadas de un paquete de CAD. La licencia podría requerir que los ficheros de diseño se proporcionen en formatos abiertos completamente documentados.

2. Alcance

La documentación del hardware deberá especificar claramente que parte del diseño, sino todo, se libera bajo la licencia.

3. Programas informáticos necesarios

Si el diseño bajo licencia necesita de un paquete de informático, bien como parte del mismo, bien para operar de forma apropiada y cumplir sus funciones básicas, la licencia podría requerir que se cumplieran alguna de las condiciones siguientes:

a) Que los interfaces habrán de estar documentados suficientemente como para considerar la posibilidad de crear un paquete informático en código abierto que permitan al dispositivo operar de forma apropiada y cumplir sus funciones básicas. Por ejemplo, esto podría incluir diagramas de tiempo detallados para señales o pseudocódigo que claramente ilustre el interface operando.

b) Que el paquete informático necesario venga liberado bajo una licencia de código abierto aprobada por la OSI.

4. Obras derivadas

La licencia deberá permitir modificaciones y obras derivadas, y permitirá que éstas se distribuyan bajo los mismos términos que la licencia de la obra original. La licencia permitirá la fabricación, venta, distribución y uso de productos creados a partir de los archivos de diseño, los archivos en sí mismos, y derivados de cualquiera de los anteriores.

5. Libre redistribución

La licencia no podrá restringir a nadie de la venta o distribución de la documentación del proyecto. La licencia no podrá requerir el pago de derechos de autor por la mencionada venta. La licencia no podrá requerir ningún derecho de autor o tasa relacionada a la venta de obras derivadas.

6. Atribución

La licencia podría requerir que los documentos derivados y notificaciones de derechos de copia (copyright) asociadas con los dispositivos atribuyan la autoría del/los autor/es licenciante/s a la hora de distribuir ficheros de diseño, bienes manufacturados y/o productos derivados de los mismos. La licencia podría requerir que esta información se hiciera accesible al usuario final utilizando el dispositivo, pero no podrá especificar el formato en que se muestre. La licencia podría requerir que las obras derivadas llevaran un nombre o número de versión distinto de aquel del diseño original.

7. No discriminación a personas o grupos

La licencia no puede discriminar ninguna persona o grupo de personas.

8. No discriminación a campos de aplicación

La licencia no puede restringir a nadie de hacer uso del trabajo (incluyendo el objeto manufacturado) en un campo específico de aplicación. Por ejemplo, no puede restringir el uso de hardware en un determinado negocio, o en investigación nuclear militar.

9. Distribución de la licencia

Los derechos proporcionados por la licencia deberán ser aplicados a todos aquellos a los que sea redistribuido el trabajo sin la necesidad de ejecutar una licencia adicional.

10. La licencia no será específica a un producto

Los derechos proporcionados por la licencia no dependen de que el trabajo licenciado sea parte de un producto determinado. Si una parte de una obra licenciada se usa y distribuye bajo los términos de la licencia, todos aquellos a los que se les

redistribuya la obra deberán tener los mismos derechos que proporcione la obra original.

11. La licencia no deberá restringir otro Hardware o Software

La licencia no deberá colocar restricciones a elementos añadidos a la obra con el trabajo licenciado pero no derivados de él. Por ejemplo, la licencia no deberá asegurar que todo el hardware vendido con el objeto licenciado sea de “open source”, ni que sólo pueda utilizarse software de “open source” para controlar el dispositivo.

12. La licencia será neutra en términos tecnológicos

Ninguna de las cláusulas de la licencia dependerá de una tecnología específica, componente, material o estilo de interface o uso de la misma.

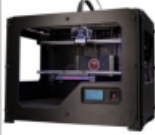


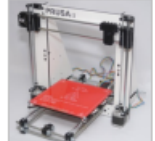
Conclusión

Los firmantes de esta «Definición de Hardware de Fuentes Abiertas» reconocen que el movimiento del código abierto representa sólo una forma de compartir información. Nosotros promovemos y apoyamos todas las formas de apertura y colaboración, estén o no conformes con esta definición.

Licencia CC BY SA

Anexo B

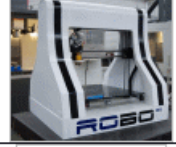

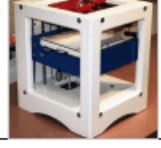
Cuadro Descriptivo de los principales modelos de Impresoras 3d

Fabricante	Modelo	Imagen	Volumen en mm3 (ancho ,largo, alto)	Precio en USD	Tecnología	Ensamblada
Stratasys (MakerBot)	Replicator Mini		100x100x125	1375	FFF	Si
	Replicator 2		285x153x155	2199	FFF	Si
	Replicator 2X		250x169x150	2799	FFF	Si
	Replicator Z18		305x305x457	6499	FFF	Si
M3D	The Micro 3D printer		109x113x116	349	FFF	Si
Proyecto RepRap	Prusa Mendel		195x195x140	483	FFF	Kit DIY
	Prusa I3		200x200x200	895	FFF	Kit DIY

	PrintBot Jr		102x102x102	349	FFF	Kit DIY
Ultimaker	Ultimaker 1		210x210x205	1355	FFF	Kit DIY
	Ultimaker 2		230x225x205	2580	FFF	Si
3D Systems	Cube X		275x265x240	2799	FFF	Si
Delta Micro	Up! Plus 2		140x140x135	1649	FFF	Si

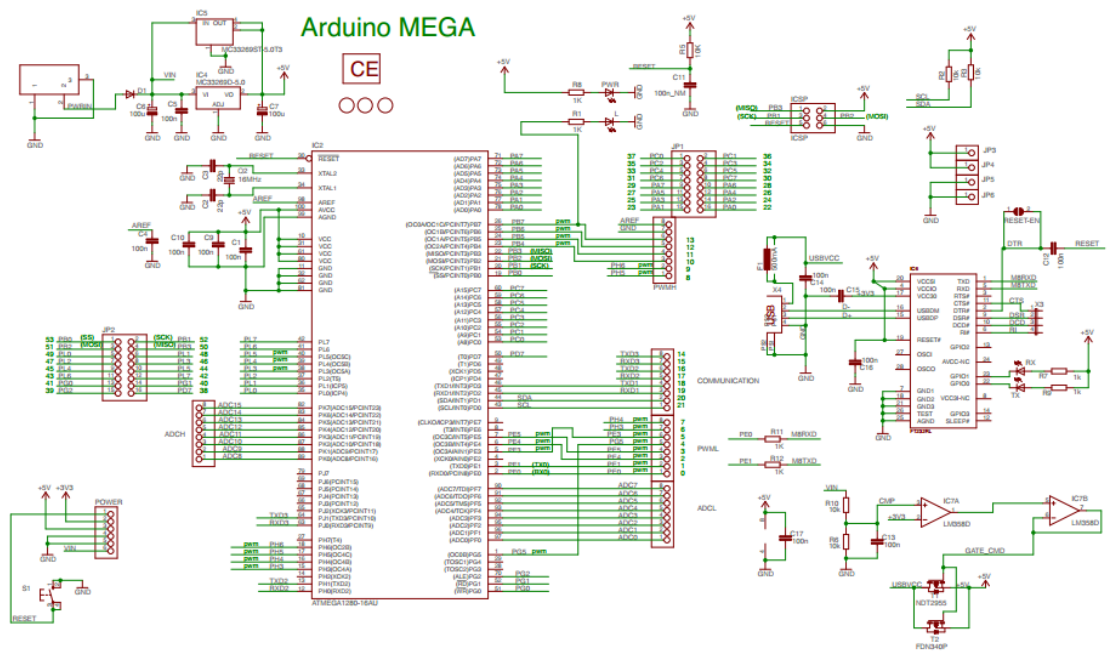
Leapfrog	Creatr		300x250x260	1669	FFF	Si
Kikai Labs	T1.25		200x200x195	2537	FFF	Si
Solidoodle	Solidoodle 3		203x203x203	799	FFF	Si
Stratasys	uPrint SE		203x152x152	15900	FDM	Si
Formlabs	Form 1		125x125x165	3300	SLA	Si

Lulzbot	AO-101		200x190x100	1725	FFF	Si
Felix Printers	Felix 3.0		225x205x235	1498	FFF	Kit DIY
WASP	PowerWASP Evo		260 x 195 x 210	1962	FFF	Kit DIY
DELTAMAKER	DeltaMaker		114x114x280	1099	FFF	Si
MAKERGEAR	M2		203x254x203	1475	FFF	Kit DIY

METAMÁQUINA	Metamáquina 2		200x200x150	1876	FFF	Kit DIY
ROBO 3D	ROBO 3D		254x229x203	799	FFF	Si
BQ	WitBox		200x200x200	2715	FFF	Si
SEEMECNC	Rostock MAX		279x279x349	1000	FFF	Kit DIY
SUMPOD	Mega		600x600x600	4871	FFF	Si

Anexo C

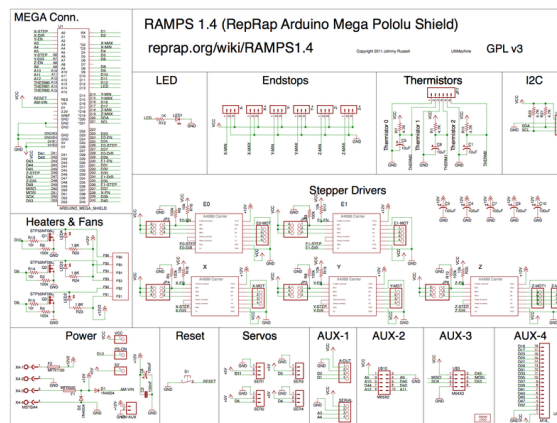
Esquemático del Arduino MEGA



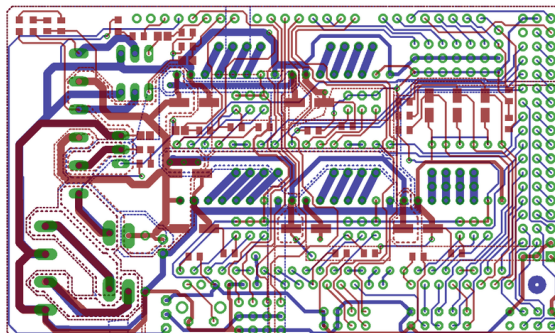
Anexo D

Planos de Ramps 1.4

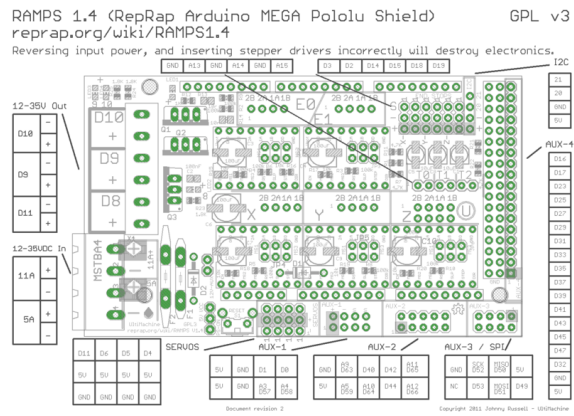
D.1. Esquemático



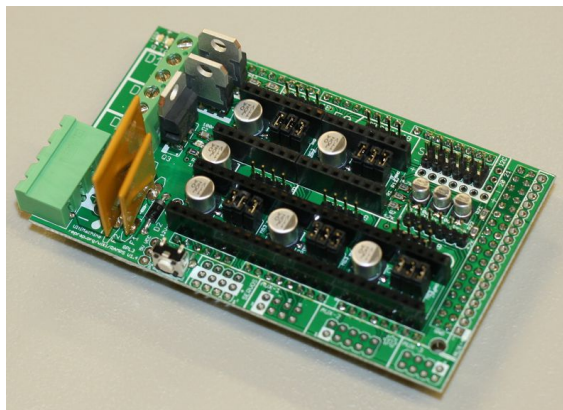
D.2. Pistas del PCB



D.3. Descripción de los conectores



D.4. Diseño finalizado



Anexo E

Códigos G

- G0** Movimiento rápido
- G1** Movimiento coordinado de X Y Z E en línea recta a la velocidad programada.
- G2** CW ARC, movimiento circular según las manecillas del reloj.
- G3** CCW ARC movimiento circular en contra de las manecillas del reloj.
- G4** Dwell S or P, detiene el movimiento de los ejes mientras uno sigue girando a una velocidad determinada.
- G10** Repliega el filamento de acuerdo a la configuración de m207.
- G11** Retrae el filamento de acuerdo a la configuración de M208.
- G28** Regresa todos los ejes a su origen.
- G90** Usa coordenadas Absolutas.
- G91** Usa coordenadas relativas.
- G92** Establece la posición actual a las coordenadas dadas

Códigos M de RepRap

- M0** Paro incondicional. Sucede cuando el usuario presiona el botón en el LCD (solo si ULTRA_LCD esta activado)
- M1** Lo mismo que M0
- M104** Ajusta la temperatura del extrusor según lo deseado
- M105** Lee la temperatura actual

M106 Enciende el ventilador

M107 Apaga el ventilador

M109 Espera que la temperatura actual del extrusor alcance el objetivo

M114 Muestra la posición actual.

Códigos M Personalizados en Marlin

M17 Habilita/enciende todos los motores de pasos.

M18 Deshabilita todos los motores al igual que M84.

M20 Lista los archivos de la Tarjeta SD.

M21 Inicia la tarjeta SD.

M22 Expulsa la tarjeta SD.

M23 Selecciona el archivo de la tarjeta SD (M23 nombre.g) .

M24 Inicia o continua con la impresión con tarjeta SD.

M25 Pausa SD la impresión con tarjeta SD.

M26 Coloca la posición de la tarjeta SD en bytes (M26 S12345)

M27 Da un reporte de la impresión con tarjeta SD.

M28 Inicia la escritura de la tarjeta SD (M28 nombre.g).

M29 Detiene la escritura de la tarjeta SD.

M30 Borra los archivos de la tarjeta SD (M30 nombre.g).

M31 Tiempo de salida desde el pasado M109 o tarjeta SD inicio a serie

M42 Cambiar el estado del pin vía Código G.

M80 Encender la fuente de alimentación.

M81 Apagar la fuente de alimentación.

M82 Establecer códigos E como absolutos (por defecto)

M83 Establecer códigos E como relativo mientras este activado el modo de coordenadas Absolutas (G90)

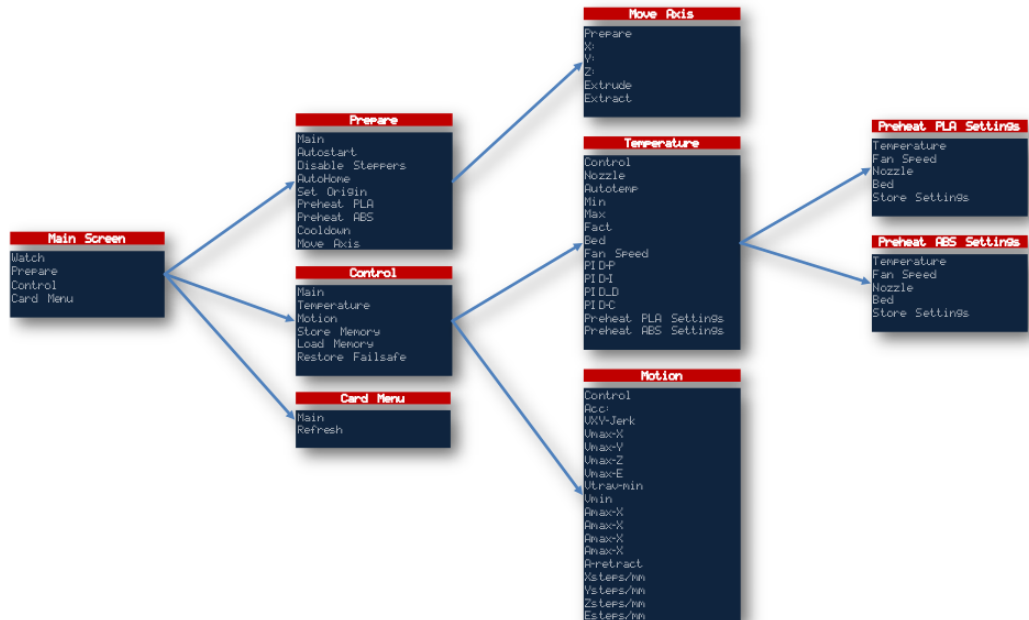
- M84** Desactivar los motores de paso a paso hasta el próximo movimiento, o utilizar S para especificar un tiempo de espera antes de la inactividad, después de lo cual se desactivarán los los motores de paso a paso. S0 para desactivar el tiempo de espera.
- M85** Establece el temporizador de apagado con el parámetro S. Para desactivarlo colocar Cero (por defecto).
- M92** Establece los pasos por unidad de los ejes.
- M114** Leer la posición actual.
- M115** Obtener información sobre el firmware.
- M117** Mensaje del display LCD (cuando aplique).
- M119** Salida del estado del fin de carrera por el puerto serie.
- M140** Establecer la temperatura de la base caliente.
- M190** Esperar que la temperatura actual de la base caliente alcance la temperatura establecida.
- M200** Establecer el diámetro del filamento.
- M201** Establecer las aceleraciones máximas en unidades/ s^2 para los movimientos de la impresora (M201 X1000 Y1000)
- M202** Establecer las aceleraciones máximas en unidades/ s^2 para movimientos de traslación (M202 X1000 Y1000) No se usa en Marlin.
- M203** Establecer la máxima velocidad de alimentación que la maquina puede soportar (M203 X200 Y200 Z300 E10000) en mm/sec
- M204** Establecer la aceleración por defecto: S movimientos normales T Solo por movimientos de filamento (M204 S3000 T7000) en mm/sec^2 también establece el tiempo mínimo de segmento en ms (B20000) para evitar agotamiento del búfer y M20 mínima velocidad de avance.
- M205** Configuración avanzada: mínima velocidad de desplazamiento S = durante la impresión T = solo en viajes , B = mínimo segmento de tiempo X = máximo tirón xy, Z = máximo tirón Z, E = máximo tirón de E.
- M206** Establecer un offset adicional de homming.

- M207** Ajustar la longitud de retracción S [mm positiva] F [Avance mm / s] Z [adicional ascenso z / salto].
- M208** Establecer recuperación = longitud sin retracción S [excedente positivo en mm a M207 S *] F [Avance mm / s].
- M209** Habilita la detección de retracción automática si el laminador no la soporta S<1=true/0=false> G10/11: Cada extrusión normal en un solo movimiento se clasificara como retracción dependiendo de la dirección.
- M220** S- Establece el porcentaje corrección de exceso del Factor de velocidad .
- M221** S- Establece el porcentaje corrección de exceso del Factor de extrusión.
- M240** Pone en funcionamiento la cámara para tomar una foto.
- M301** Establecer parámetros PID.
- M302** Permite extrusión en frio.
- M303** Autoajuste PID S establece la temperatura (Temperatura por defecto = 150C).
- M400** Finaliza todos los movimientos.
- M500** Almacena los parámetros en la EEPROM.
- M501** Lee los parámetros de la EEPROM.
- M502** Regrese a las configuraciones de fábrica.
- M503** Imprimir los parámetros actuales
- M999** Reinicia la impresión luego de haber sido detenida por error.

Anexo F

Árbol del Menú de acciones del LCD de Marlin

Marlin LCD Menu Tree (V1)



Anexo G

Planos de construcción Carcasa MDF y Acrílico