

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

IMPRESORA 3D POR EXTRUSIÓN DE PLÁSTICO

Autor 1

MAURICIO ARTURO MORENO GERENA

Programa Académico

INGENIERIA ELECTROMECHANICA

Director(es) del trabajo de grado

JUAN GONZALO ARDILA MARIN

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Fecha

03- MAYO - 2014

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

ABSTRACT: *Undoubtedly 3D printers have come to stay, every time we talk over them, their quick evolution will one day be as common as having a paper printer. But, what is the 3D printing?, it is a process that turns a 3d graphics into physic objects; this process is similar to paper printing, hence de concept of “3D printing”, the main difference is that instead printing over a single plane a bidimensional object, it prints on overlapping planes to create a tridimensional object.*

There are three methods to create 3D prints: Compaction, injection or addition of polymers and stereolithography. On this project is used the injection of polymers. The most used materials are ABS and PLA. But also of plastics there are some varieties of materials that can be used; in fact any material that can retain its solid state at room temperature and can be easily extruded at not too high temperatures can be used as “ink” for the 3d printer.

How it is made? The creation of a 3D printer is divided into the following parts:

- *Electronics: Consist of stepper motors on each one of its axis, a power engine for the extruder feeder, a heating resistance, a thermistor for the extruder, a control panel, and finally, and interface controller cards.*
- *Mechanics: One housing with all the fixing accessories, security guards, runners for X, Y and Z axis, a support base for the control panel, a material feeder and the extruder.*

How they work? The 3D printer is basically a 3 axis numerical control machine (3 axis CNC) with an extruder. The extruder is the component that heats and melts the plastic to do it out in form of a continuous thread that is constructing 3D parts as they move through a programmed path over the 3 axis.

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

RESUMEN

Es indudable que las impresoras 3D han venido para quedarse, cada vez se habla más de ellas, su rápida evolución hará que un día sea tan común como tener una impresora de papel. Pero, ¿Qué es la impresión 3d? es un proceso que convierte gráficos 3d en objetos físicos, Este proceso es similar al de imprimir sobre un papel, de ahí el concepto de "imprimir en 3d", la diferencia principal es que en vez de imprimir sobre un plano se crea un objeto tridimensional. Existen tres métodos para crear impresiones 3d: por compactación, por adición o de inyección de polímeros y estereolitografía. Para el caso de este proyecto se utiliza el método de inyección de polímeros, los más utilizados son ABS y PLA. Pero además del plástico, se pueden llegar a utilizar una gran variedad de materiales. En realidad, cualquiera que se mantenga en estado sólido a temperatura ambiente pero que se pueda extruir con relativa facilidad a temperaturas no muy altas para usarse como tinta en la impresión 3D. ¿Cómo se fabrica? La fabricación de una impresora 3D está dividida en las siguientes partes: Electrónica: compuesta por motores paso a paso para cada uno de sus ejes, motor para el alimentador del extrusor, drivers para el control de los motores, resistencia calefactora y termistor para el extrusor, panel de control, tarjetas para el controlador y la interface, Mecánica: la estructura con todos los accesorios de fijación, guardas de seguridad, los carros de los ejes X, Y, Z, la base, soporte para panel de control, el alimentador de material y el extrusor. ¿Cómo funcionan? La impresora 3D es básicamente una máquina de control numérico (CNC) de tres ejes y un extruder. El extruder es el componente que calienta y funde el plástico para que salga en forma de hilo.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Palabras claves:

Impresión 3D Print 3D
 Extrusor Extruder
 Filamento Filament
 G- código G-code
 Reprap

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo no habría sido posible sin la influencia directa o indirecta de muchas personas a las que agradezco profundamente por estar presentes en las distintas etapas de su elaboración, así como en todo el tiempo que a tardo mi carrera, principalmente mi esposa y mis dos hijas porque considero que he invertido mucho tiempo de ellas para lograr mis retos personales.

Al profesor Juan Gonzalo Ardila por su interés, preocupación y supervisión del proceso de éste y otros proyectos, hizo posible que mi trabajo se desarrollara de manera satisfactoria, a nivel personal y académico.

A mis amigos y compañeros Carlos Mario Vélez, Jorge Zapata y Gabriel Pérez. Por su importante aporte y participación activa en el desarrollo del trabajo.

A todos los docentes de la Institución Universitaria ITM que compartieron sus conocimientos dentro y fuera de clase, sembrando la inquietud por la indagación continua y haciendo posible que mí formación profesional se resuma en una gran satisfacción por el alcance de mis metas.

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

ACRÓNIMOS

ABS: Acrilonitrilo-butadieno-estireno.

PLA: poliácido láctico

BED: La placa de acumulación de la impresora 3D en el que se fabrican las piezas.

CAD: Diseño asistido por ordenador

FDM: Método de deposición fundida.

FFF: Fusión fabricación de filamentos.

OBJ: Sencillo formato de datos definición geometría que representa la geometría 3D.

RP: Prototipado rápido.

SLS: Sintonización selectiva por láser

STL: Litografía estéreo

TABLAS DE CONTENIDO

Contenido

| | |
|---|----|
| RESUMEN | 3 |
| RECONOCIMIENTOS | 5 |
| ACRÓNIMOS | 6 |
| TABLAS DE CONTENIDO | 7 |
| Ilustraciones | 9 |
| Tablas | 12 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 13 |
| 1.1. Generalidades | 13 |
| 1.2. Objetivos | 14 |
| 1.2.1 General | 14 |
| 1.2.2 Específicos | 14 |
| 1.3. Organización del trabajo | 15 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 15 |
| 2.1 El proyecto Reprap | 16 |
| 2.1.1. MakerBot Industries | 25 |
| 2.1.2. Ultimaker | 27 |
| 2.2. El Proyecto Clone Wars | 28 |
| 2.3. Tecnologías para la manufactura por capas | 34 |
| 2.4. Software | 41 |
| 2.4.1. Software de Interface | 41 |
| 2.4.2. Firmware | 47 |
| 2.5. Hardware | 50 |
| 2.5.1. Tarjeta de Control Arduino Mega 2560 | 51 |
| 2.5.2. Tarjeta de Interface RAMPS 1.4 | 56 |
| 2.5.3. Driver para motor Paso a paso A4988 Pololu | 58 |

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

| | | |
|---------|---|-----|
| 2.5.4. | Motores Paso a paso..... | 62 |
| 2.5.5. | Finales de Carrera | 65 |
| 3. | METODOLOGÍA | 66 |
| 4. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 68 |
| 4.1. | Diseño | 68 |
| 4.1.1. | Estructura | 68 |
| 4.1.2. | Carro del Eje X | 69 |
| 4.1.3. | Carros de los Ejes Y, Z..... | 75 |
| 4.1.4. | Sistema de Alimentación de Material | 76 |
| 4.1.5. | Extrusor..... | 77 |
| 4.1.6. | Panel de control..... | 78 |
| 4.1.7. | Soporte para Fuente y Tarjetas Electrónicas | 79 |
| 4.1.8. | Soporte para Carreta de Material | 80 |
| 4.1.9. | Ensamble general | 81 |
| 4.2. | Ensamble | 82 |
| 4.2.1. | Ensamble de la estructura | 82 |
| 4.2.2. | Ensamble del carro del Eje X | 86 |
| 4.2.3. | Ensamble carros de los ejes Y, Z..... | 89 |
| 4.2.4. | Montaje de los carros X, Y, Z en la Estructura..... | 91 |
| 4.2.5. | Ensamble del sistema de alimentación | 92 |
| 4.2.6. | Ensamble del extrusor | 97 |
| 4.2.7. | Ensamble de Soporte y tarjetas Electrónicas..... | 100 |
| 4.2.8. | Conexión de la Electrónica | 102 |
| 4.2.9. | Preparación de la fuente | 103 |
| 4.2.10. | Conexión de los Motores Paso a Paso..... | 103 |
| 4.2.11. | Montaje y conexión de finales de carrera..... | 104 |
| 4.2.12. | Conexión del Extrusor..... | 106 |
| 4.2.13. | Conexión del panel de Control y SD..... | 106 |
| 4.3. | Ajustar el firmware | 111 |
| 4.4. | Descargar el firmware | 117 |

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

| | |
|--|-----|
| 4.5. Ajustes y calibración | 121 |
| 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO | 124 |
| A continuación presento algunos de los inconvenientes presentados en las primeras pruebas..... | |
| | 125 |
| REFERENCIAS | 133 |
| ANEXOS | 135 |

Ilustraciones

| | |
|---|----|
| Figura 1. Primer modelo de impresora 3D del proyecto Reprap, Darwin | 17 |
| Figura 2. Impresora 3D Modelo Cupcake de MakerBot | 19 |
| Figura 3. Impresora 3D modelo Mendel del proyecto Reprap | 20 |
| Figura 4. Árbol genealógico de los modelos de impresoras del Reprap | 21 |
| Figura 5. Impresora 3D Modelo Prusa Mendel del proyecto Reprap..... | 22 |
| Figura 6. Impresora 3D modelo Prusa Mendel Interacion 2, del proyecto Reprap | 23 |
| Figura 7. Impresora 3D modelo Printrbot, del Proyecto Reprap..... | 24 |
| Figura 8. Impresora 3D modelo Thing-O-Matic, de MakerBot..... | 26 |
| Figura 9. Impresora 3D modelo Replicator, de MakerBot..... | 27 |
| Figura 10. Impresora 3D modelo Ultimaker DIY-Kit..... | 28 |
| Figura 11. Madre, primera impresora de Clone Wars, modelo Thing-O-Matic de MakerBot..... | 30 |
| Figura 12. Primer juego de piezas para clonar una Prusa Mendel Iteración 2 hecho por un clon del Proyecto Clone Wars, por la Prusa Mendel, R2, de Juan González Gómez. | 32 |
| Figura 13. Estructura Formato .STL..... | 38 |
| Figura 14. Diversidad de figuras 3D que se pueden descargar de la Web | 40 |
| Figura 15. Secuencia de capas de una pieza | 42 |
| Figura 16. Diferentes Software de interface..... | 43 |
| Figura 17. Cuadro comparativo comportamiento de temperatura | 49 |
| Figura 18. Tarjeta Arduino Mega..... | 51 |
| Figura 19. Tarjeta RAMPS 1.4..... | 56 |
| Figura 20. Tarjeta Driver Pololu | 59 |
| Figura 21. Rotor de un Motor Paso a paso | 63 |
| Figura 22. Estator de un motor Paso a paso | 63 |

| | |
|--|----|
| Figura 23. Bobinado de Motor bipolar y Unipolar | 64 |
| Figura 24. Motor Paso a paso | 64 |
| Figura 25. Final de carrera | 65 |
| Figura 26. Estructura | 68 |
| Figura 27. Soporte para Patas Niveladoras | 69 |
| Figura 28. Carro Eje X | 70 |
| Figura 29. Carro Eje X con Base Móvil | 70 |
| Figura 30. Esquema de Fuerzas para los carros de los ejes X, Y, Z. | 71 |
| Figura 31. Carros Ejes Y, Z | 76 |
| Figura 32. Sistema de Alimentación | 77 |
| Figura 33. Extrusor | 78 |
| Figura 34. Panel de Control | 79 |
| Figura 35. Soporte para Componentes Eléctricos | 80 |
| Figura 36. Soporte para Rollo de Material | 81 |
| Figura 37. Ensamble General..... | 82 |
| Figura 38. Perfiles y Cubos de Fijación.. | 84 |
| Figura 39. Soportes Patas Niveladora y Placas en L | |
| Figura 40. Tuercas previamente introducidas en el perfil..... | 85 |
| Figura 41. Marcos | 85 |
| Figura 42. Placa esquinera con pata niveladora | |
| Figura 43. Estructura Ensamblada | 85 |
| Figura 44. Estructura con patas niveladoras | |
| Figura 45. Piezas Carro Eje X | 87 |
| Figura 46. Preparación de Motores | 88 |
| Figura 47. Ensamble de motor, acople y tornillo de posicionamiento | 88 |
| Figura 48. Carro de eje X..... | 89 |
| Figura 49. Piezas Ensamble Eje Y, Z..... | 91 |
| Figura 50. Ensamble de Ejes Y, Z..... | 91 |
| Figura 51. Ensamble de Ejes Y, Z,... | 92 |
| Figura 52. Posición Inicial para Fijar los las placas laterales | |
| Figura 53. Ensamble de Eje X y la Placa Base | 92 |
| Figura 54. Materiales para Sistema de Alimentación..... | 94 |
| Figura 55. Sistema para Contrapresión de Material | 95 |
| Figura 56. Sistema de Alimentación | |
| Figura 57. Sistema de alimentación instalado | 95 |
| Figura 58. Soporte para Carreta de Material..... | 96 |
| Figura 59. Piezas para el Ensamble del Extrusor | 98 |
| Figura 60. Resistencia y Termistor | 98 |
| Figura 61. Ensamble del Extrusor | 99 |
| Figura 62. Extrusor Ensamblado | 99 |

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

| | |
|--|-----|
| Figura 63. Extruder | 100 |
| Figura 64. Tarjeta Ramps 1.4 y Tarjetas Pololu..... | 101 |
| Figura 65. Fuente | 102 |
| Figura 66. Tarjetas instaladas | 102 |
| Figura 67. Diagrama de Conexión Eléctrica | 102 |
| Figura 68. Fuente | 103 |
| Figura 69. Conector Molex Grande | 103 |
| Figura 70. Conector JUMPER de Cuatro Posiciones | 104 |
| Figura 71. Final de Carrera | 105 |
| Figura 72. Final de Carrera Conectado .. | 105 |
| Figura 73. Final de Carrera y Conector | 105 |
| Figura 74. Conector Aéreo | 106 |
| Figura 75. Componentes para Conexión de SD | 107 |
| Figura 76. Puente Entre los Pines 1, 3, 5, 16 | 107 |
| Figura 77. Plano Conexión EncoderClick..... | 108 |
| Figura 78. EncoderClick | 108 |
| Figura 79. Conector para Reset instalado en la RAMPS 1.4..... | 109 |
| Figura 80. Elementos Conectados | 109 |
| Figura 81. Elementos instalados en la Placa de Inoxidable en L. | 110 |
| Figura 82. Panel de Control..... | 111 |
| Figura 83. Entorno Arduino | 112 |
| Figura 84. Selección de Placa de Control..... | 112 |
| Figura 85. Configuración de Termistores..... | 113 |
| Figura 86. Dimensiones de la Pieza de Prueba | 116 |
| Figura 87. Seleccionar Puerto Serial | 118 |
| Figura 88. Seleccionar tipo de tarjeta | 119 |
| Figura 89. Compilación terminada y cargar | 119 |
| Figura 90. Parámetros pantalla de preferencias. | 120 |
| Figura 91. Ventana JOG..... | 121 |
| Figura 92. Programa de interfacepronterface..... | 123 |
| Figura 93. Cambio de resortes..... | 126 |
| Figura 94. Buje de fibra de vidrio | 127 |
| Figura 95. Boquilla con fuga..... | 127 |
| Figura 96. Conexión de final de carrera | 128 |
| Figura 97. Primeras impresiones de piezas cubicas | 129 |
| Figura 98. Primeras impresiones de piezas circulares | 130 |
| Figura 99. Rana..... | 131 |
| Figura 100. Figuras geométricas | 131 |
| Figura 101. Geometrías que requieren base | 132 |

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Historia del desarrollo de la manufactura por capas | 37 |
| Tabla 2 Características generales representativas de las principales tecnologías en manufactura por capas..... | 37 |
| Tabla 3. Comparativo características técnicas tarjetas interface 1 | 57 |
| Tabla 4. Comparativo características técnicas tarjetas interface 2 | 58 |
| Tabla 5. Combinaciones para programación de Driver | 61 |

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

Este proyecto consiste en la construcción de una impresora 3D, basado en los proyectos Reprap, una máquina capaz de construir piezas a través de la extrucción de filamento de plástico, con un diseño innovador modular libre de lubricación de tipo industrial pero a un bajo costo.

A lo largo del proyecto podremos encontrar las instrucciones que nos permitirán ensamblar una impresora 3D, así como el diseño de la estructura, los carros de los ejes X, Y, Z, su extrusor; que es el dispositivo encargado de extruir el plástico para crear las piezas. Se aporta también en este documento una importante cantidad de información acerca de la electrónica que se requiere para su funcionamiento, así como los programas de software que se necesita para la programación y su uso; llegando a mostrar las primeras muestras de lo que la máquina es capaz de hacer.

Finalmente se incluirá un presupuesto que permitirá al lector conocer la variedad de proveedores a los que podrá comprar los elementos y dispositivos necesarios y obtener una estimación de lo que cuesta construir una impresora 3D.

Las motivaciones que me llevaron a realizar este proyecto fue la idea de poder construir mis propias piezas, tanto las que pueda diseñar, como los modelos que pueda conseguir por internet. Me encanta la robótica, y esta máquina me pareció la oportunidad perfecta no solo para comenzar a introducirme en el mundo de la robótica, sino también para poder hacer o fabricar en un futuro próximo los prototipos de robots que pueda llegar a diseñar. Mi interés es fomentado también por la idea de conseguir hacer dichos prototipos a un costo muy bajo, esto me abre una puerta de un nuevo proyecto que se trata de un equipo para la elaboración del filamento y la búsqueda de diferentes materiales, gamas de colores y muchas cosa más que se pueden innovar en esta campo.

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Otra motivación considerable a introducirme en el mundo de la impresión 3D son los costos a los que uno puede llegar con la elaboración de una máquina basada en proyectos open Source comparada con impresoras comerciales de marcas reconocidas como Makerbot, ultimaker, entre otras. Este proyecto es una oportunidad de ampliar mis conocimientos como ingeniero en el campo de la electrónica, mecánica y automatización y también poner en práctica los conocimientos adquiridos en el proceso de formación de la Universidad.

1.2. Objetivos

1.2.1 General

Crear una impresora 3D monocromática evitando los altos costos que representa la adquisición de una impresora comercial. Apoyado en proyectos interesantes como el Reprap, que es una iniciativa libre que tiene como objetivo crear impresoras 3D. También utilizar este proyecto para introducir al lector al mundo de la impresión 3D, dar soluciones a futuro en el diseño de piezas y matrices para maquinaria industrial, el diseño de piezas artísticas, proyectos de ingeniería, medicina y hasta la recreación de modelos arquitectónicos realizados con programas de CAD.

1.2.2 Específicos

- Elaborar un diseño modular con materiales y accesorios asequibles en el mercado regional, con un área de trabajo de 300 x 300 x 200mm.
- Conocer y manejar un software de diseño para elaboración de los modelos 3D.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

- Implementar un programa de interface gráfica para realizar el laminado de la pieza, crear el código-G y la comunicación con la máquina.
- Adecuar un firmware que se adapte a las necesidades de la electrónica instalada y el software de interface gráfica seleccionado.

1.3. Organización del trabajo

La realización de este proyecto está dividida en cuatro grandes grupos:

Elaboración del diseño, descripción de partes y materiales.

Ensamble y ajuste de la máquina en el siguiente orden, estructura, carros de ejes X, Y, Z, Extrusor, sistema de alimentación del extrusor, montaje de la electrónica y panel de control.

Descripción de ajustes del firmware de acuerdo con los elementos electrónicos instalados para garantizar el buen funcionamiento de la máquina y la precisión de las piezas fabricadas.

Protocolo de calibración de Software de interface para generar el código G acorde con las capacidades de la impresora y algunos consejos prácticos para la elaboración de piezas.

2. MARCO TEÓRICO

Para indagar mínima y brevemente en la historia de la impresión 3D reciente, podemos irnos más o menos hasta 1984, año en que Charles Hull co-fundador de la empresa estadounidense 3D Systems, saca al mercado su primera impresora 3D estereolitográfica o SLS (sintetizado de láser selectivo), momento en el cual las empresas de todo tipo

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

comienzan a tener acceso al prototipo de sus productos de manera rápida aunque no barata, un cambio sustancial en el modo de desarrollar pequeñas piezas en pre-producción. Realmente la impresión 3D aún estaba en los comienzos pero lejos de su uso doméstico, debido principalmente a que la estereolitografía es un proceso relativamente complejo en el que es necesario además, un láser ultravioleta encargado de solidificar la mezcla líquida. Es difícil trasladar este método a máquinas cercanas a nuestro escritorio y tiene unos precios poco asequibles para uso doméstico. Lo mismo ocurre con otra serie de métodos posteriores, como las impresoras de tinta o las que directamente usan un láser para polimerizar el material, etc. Es más adelante cuando empiezan a darse los primeros prototipos de impresión de materiales capa a capa de tipo aditivo (manufactura aditiva), con inyección directa del material en finísimas capas, normalmente algún tipo de polímero plástico. Este método es mucho más asequible y directo, con un tamaño cercano a una producción doméstica y el principal culpable de su desarrollo exponencial. A día de hoy todos conocemos la impresión 3D con un eco importante, como el de la famosa WikiPistola, el mediático proyecto de DefenseDistributed para desarrollar armas directamente impresas en nuestras casas, con un costo aproximado de 25 dólares. Pero mucho antes de llegar a estos extremos o usos perversos de esta tecnología y en el lado contrario, el ámbito de la salud, a finales de los 90 científicos del Instituto Wake Forest de Medicina Regenerativa imprimían el primer órgano humano aportando como material las propias células del paciente, con un riesgo de rechazo nulo. El campo de la medicina regenerativa es uno de los que más se ha beneficiado de esta tecnología, llegando a ser de uso común y ya casi habitual en terrenos como el de la odontología, con máquinas capaces de imprimir nuevas piezas dentales en cuestión de minutos. Es curioso que a pesar de las grandes cantidades de dinero y materiales invertidos en la impresora de órganos un año más tarde, y junto al desarrollo exponencial de la cultura Open source, comienzan a surgir proyectos de impresoras 3D que cualquier persona puede montar, mejorar o replicar en su propia casa con un bajo costo (Portillo, 2011).

2.1 El proyecto Reprap

| | | | |
|---|--|---------|--|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

A continuación presento un estado del arte, parte de la información sustraída del trabajo final de grado presentada por Arturo Vera García, Protocolo de calibración y optimización mecánica de una impresora 3D open source. (García, 2012)

El Proyecto Reprap nace en el año 2005 gracias a la idea del ingeniero Adrian Bowyer de la Universidad de Bath, en el Reino Unido. El nombre Reprap proviene de "Replicating Rapid prototyper" y su filosofía desde el inicio estuvo basada en diseños y desarrollos Open Source, motivados por su idea de que la industria nunca desarrollará una máquina auto-replicable porque no le saldría rentable.

Al cabo de tres años consiguieron desarrollar el primer modelo de impresora 3D del Proyecto Reprap, y en Febrero del año 2008, crearon la primera impresora 3D, el modelo conocido como Darwin; nombre inspirado del creador de La Teoría de la Evolución, Charles Darwin, pues tenían la idea de crear una sucesión de modelos que evolucionen más rápido que las especies de seres vivos. A su vez, esta impresora consiguió crear su primera réplica en Mayo de ese mismo año.

El modelo Darwin que los componentes del Proyecto Reprap terminaron en el año 2008 es una impresora como la que se muestra en la imagen de la figura 1.

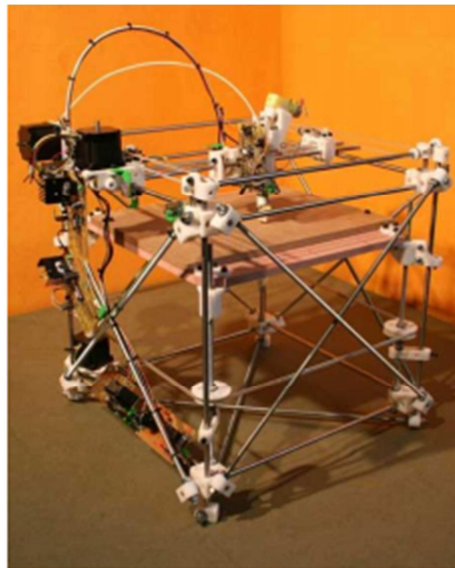


Figura 1. Primer modelo de impresora 3D del proyecto Reprap, Darwin

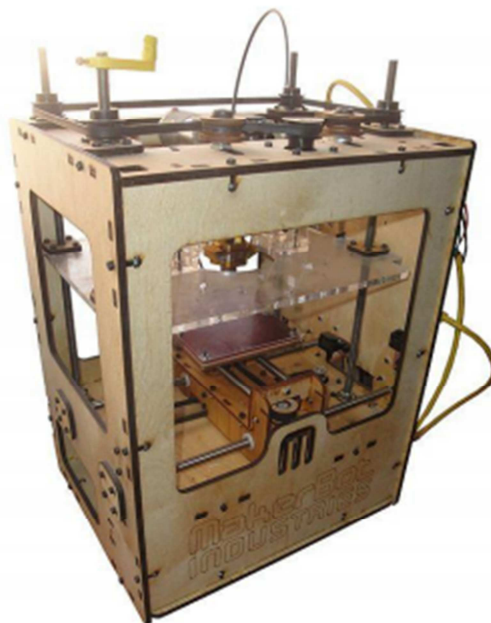
| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

El grupo de ingenieros del Proyecto Reprap creció mucho en poco tiempo y se creó la Reprap Foundation (Fundación Reprap) desde donde se venden piezas impresas. Uno de los impulsores de esta fundación fue el ingeniero Zach Smith, que por otro lado fue uno de los creadores de Makerbot.

Gracias a Reprap Foundation se comenzaron a impartir talleres por todo el mundo. El propio Zach Smith dirigió el taller que se celebró en Febrero de 2009 en el Medialab Prado de Madrid, en el cual se construyó una Darwin.

Zach Smith aprovechó para dar a conocer la noticia de que habían creado MakerBot Industrias, dónde cualquiera podría comprar el material necesario para construirse un modelo de impresora que habían desarrollado en MakerBot, la denominada Cupcake; que costaba en total, incluyendo gastos de envío, alrededor de 715€.

Aunque para los que asistieron al taller del Medialab, entre los que se encontraba Juan González Gómez, que fue el que encargó la Cupcake (que suponía además la MakerBot número 8), fue increíble poder contar con su propia impresora 3D, reconocen que era complicado montarla, requería soldadura y todo el ensamble, y ponerla en marcha; además de que también fue complicado imprimir con ella pues daba muchos fallos. En la imagen de la figura 2 podemos ver el modelo Cupcake, de MakerBot, del que se está hablando.



| | | | |
|---|-----------------------------------|---------|--|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Figura 2. Impresora 3D Modelo Cupcake de MakerBot

Sin embargo esta Cupcake, a la que Juan González bautizó con el nombre R1, le sirvió para imprimirse las piezas con las que se construyó, dos años y medio después, su propia Prusa Mendel, a la que bautizó como R2; e incluso con R2 tardó solo unos meses en imprimirse las piezas necesarias para construirse su tercera impresora 3D, una Prusa Mendel iteración 2 a la que denominó R3. Esto muestra como el mundo de las impresoras 3D es tan fascinante que llega a cautivar por completo a ingenieros entusiastas como Juan González Gómez que es ya todo un experto en este ámbito y el creador del grupo Clone Wars del que posteriormente se hablará en este proyecto.

Continuando con la historia del Proyecto Reprap, cabe destacar también que Zach Smith, que recordemos que era uno de los impulsores de Reprap Foundation, creó la web Thingiverse, que podemos visitar en la siguiente dirección (Thingiverse, 2012). Creó esta web para subir sus diseños en 3D imprimibles y que los usuarios de impresoras 3D pudieran descargarlos. Hoy en día, son muchos los usuarios que suben sus propios diseños para intercambiarlos con otros usuarios; pero además se utiliza la web para valorar los diseños de los demás, compartir información acerca del ensamblado de los diseños que se suben, etc.

El siguiente hecho importante del Proyecto Reprap se dio en octubre del año 2009, cuando terminaron el diseño del modelo Mendel. Este nuevo modelo supuso el mayor avance para Reprap, pues suponía haber conseguido una impresora 3D aún más compacta y fácil de montar y replicar que las que ya existían.

En la figura 3 se muestra una imagen del modelo Mendel.

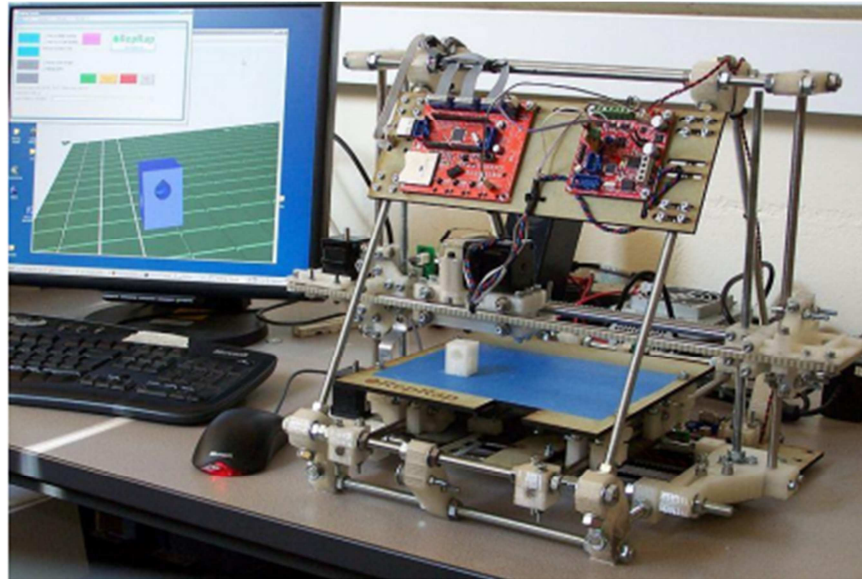


Figura 3. Impresora 3D modelo Mendel del proyecto Reprap

Pero el modelo Mendel no se quedó sólo en eso, de él comenzaron a surgir modelos derivados, como podemos ver en lo que podemos llamar el "árbol genealógico" del Proyecto Reprap, que se muestra en la figura 4.

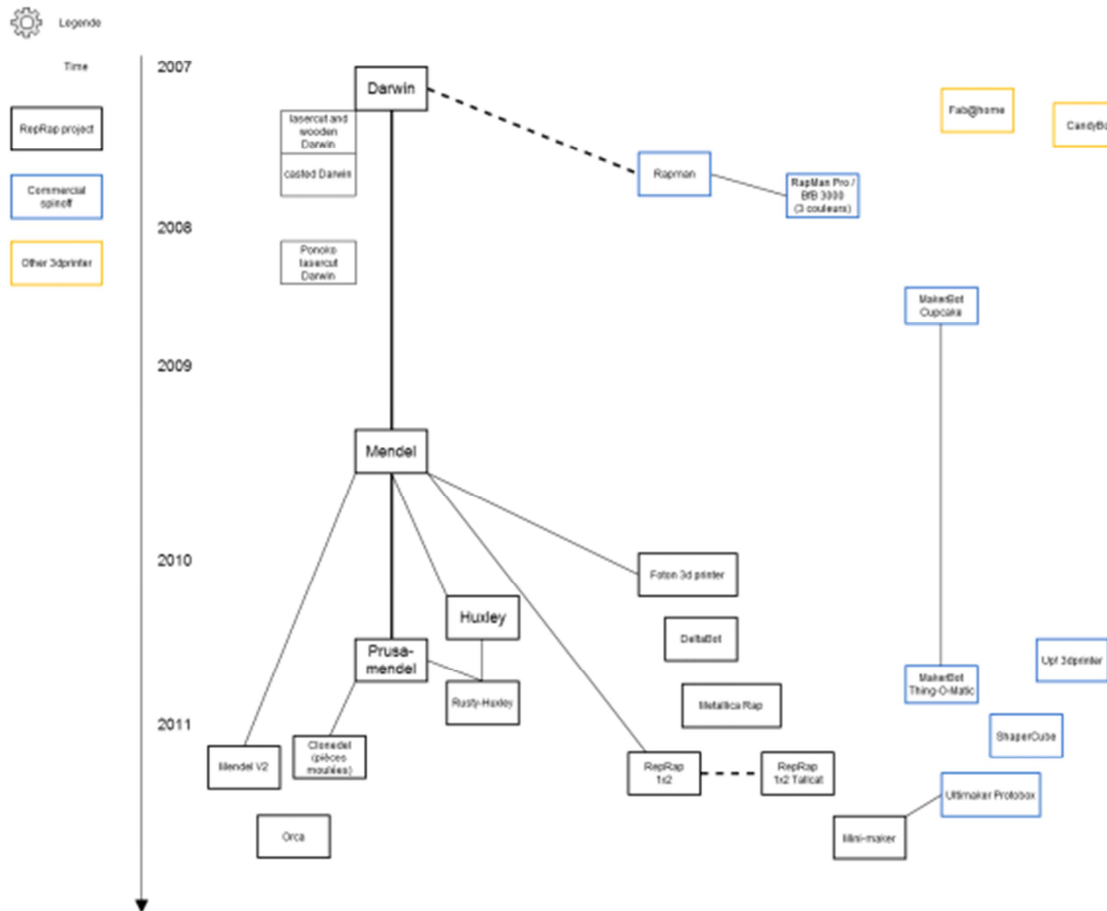


Figura 4. Árbol genealógico de los modelos de impresoras del Reprap

Este árbol genealógico de la figura 4, muestra, no sólo los modelos de impresoras 3D del Proyecto Reprap (los bordeados en negro según texto de la figura), sino también los modelos comerciales (bordeados en azul) y los calificados como "otras impresoras" (bordeados en amarillo).

El principal modelo derivado del Mendel podemos decir que fue el Prusa Mendel. Este modelo fue desarrollado por el ingeniero alemán Josef Prusa, y terminado en Agosto del año 2010. La Prusa Mendel supuso otro paso de gigante para el Proyecto Reprap, pues era aún más simple que la Mendel, está muy bien documentada y en seguida se hizo popular. La Prusa Mendel es el modelo mejor valorado hasta la fecha del Proyecto Reprap.

| | | | |
|---|-----------------------------------|---------|--|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

En Noviembre del año 2011, en menos de un año y medio desde que saliera el modelo Prusa Mendel, se hizo un taller en Colonia (Alemania) dónde se expuso la iteración 2 del modelo. Esta segunda versión incorporaba mejoras que se comentarán como la incorporación de rodamientos lineales y el rediseño de algunas piezas estructurales, entre otros.

Aunque realmente no suponía una gran innovación respecto al modelo Prusa Mendel original.

En la imagen de la figura 5 podemos ver el modelo Prusa Mendel original, el de Agosto del año 2010, y en la de la figura 6 tenemos la segunda versión del modelo Prusa Mendel, el de Noviembre de 2011. El lector verificará que estructuralmente los cambios son difíciles de apreciar a priori.

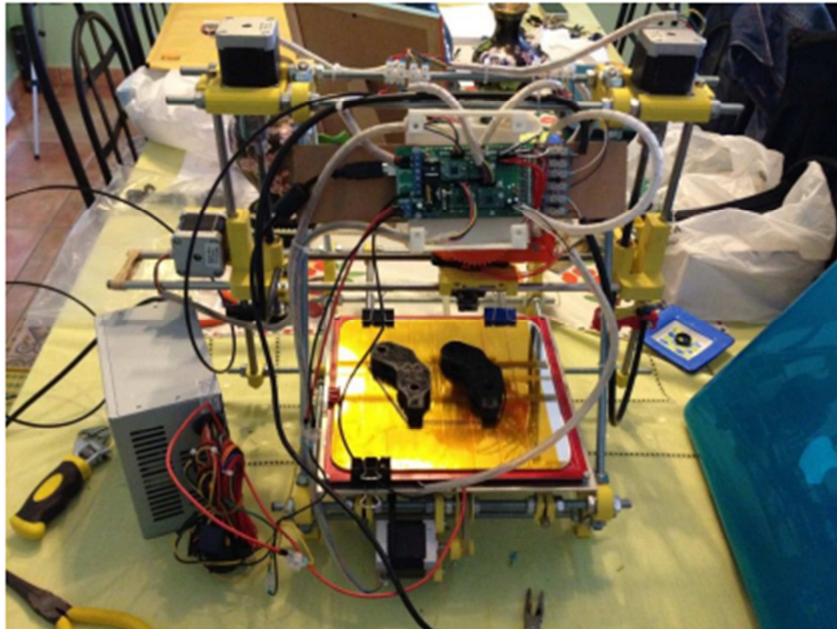


Figura 5. Impresora 3D Modelo Prusa Mendel del proyecto Reprap



Figura 6. Impresora 3D modelo Prusa Mendel Interaccion 2, del proyecto Reprap

Por otro lado, el ingeniero estadounidense BrookDrumm concluyó en Diciembre de 2011 un nuevo modelo de impresora 3D denominado Printrbot, que está llamado a ser la revolución de las impresoras 3D. Este modelo es aún más simple y fácil de montar que el modelo Prusa Mendel. Además es expandible a lo largo de los tres ejes de movimiento, lo que significa que el tamaño de la impresora será personalizable por parte del usuario. El problema que tuvo es que solo estaba diseñada para métrica americana por lo que los usuarios europeos tenían dificultades para construirla; pero ya hay varios ingenieros miembros del proyecto Clone Wars que están rediseñando las piezas para adaptarla a la métrica europea, por lo que pronto será plenamente asequible en Europa también hacerse una Printrbot.

El modelo Printrbot es el que se muestra en la figura 7.

| | | | |
|---|-----------------------------------|---------|--|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

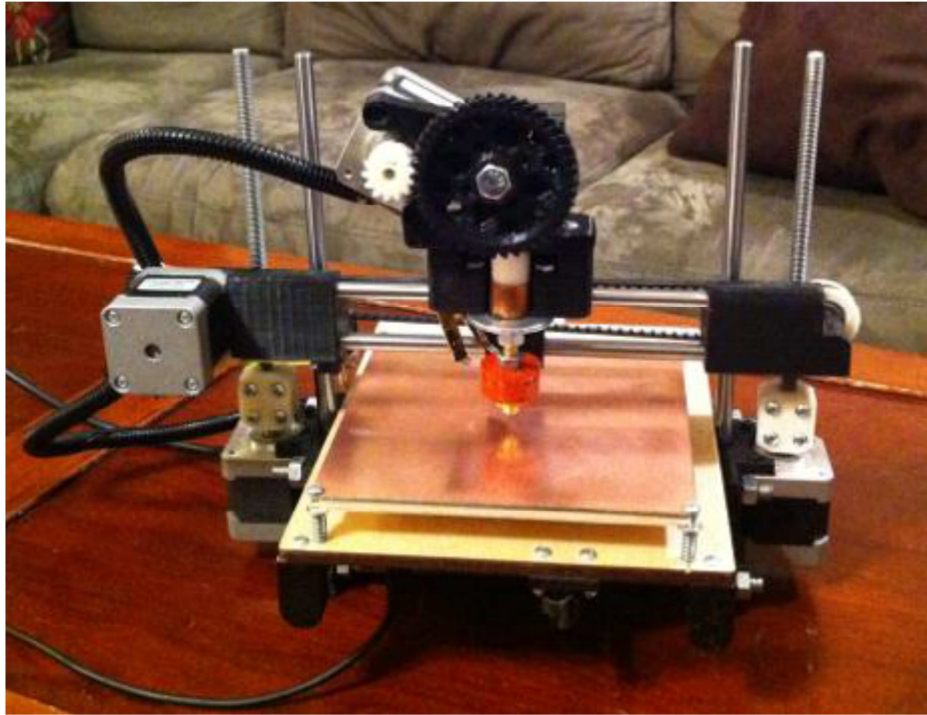


Figura 7. Impresora 3D modelo Printrbot, del Proyecto Reprap

El diseño de la Printrbot fue propuesto en Noviembre de 2011, con la meta propuesta: "Una impresora en cada casa y en cada colegio". Para realizarla se solicitó una financiación de 25.000 dólares, y se recibieron 830.000 dólares; 1808 personas han aportado dinero voluntariamente.

Brook, el creador del modelo, ha iniciado una empresa a través de la web (Printrbot, 2012), en la que vende impresoras de su propio modelo y/o piezas y componentes para las mismas. Actualmente, Josef Prusa, está muy cerca de acabar lo que será la tercera versión del modelo Prusa Mendel. Esta vez, se supone que será una versión totalmente nueva, la cual parece mezclar aspectos de la Mendel, la PrusaMendel y la Printrbot, pero habrá que esperar a que se salga a la luz para ver si realmente es innovadora y es capaz de igualar, o incluso superar, a la Printrbot.

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Para concluir con la historia del Proyecto Reprap, cabe destacar que tiene su propia página web en (Reprap, 2012). Esta web fue creada el 01 de octubre del año 2008 y hoy en día está adaptada a varios idiomas. En la página inicial de la web, en castellano, hablan de en qué consiste el Proyecto Reprap y como ya se ha comentado en este proyecto, hablan de que la motivación fue la creación de máquinas capaces de crear objetos, llegando incluso a replicarse a sí mismas. Comentan que aunque todavía se necesita la ayuda de un ser humano, el objetivo es llegar a un modelo capaz de auto-replicarse por completo de manera autónoma.

Por otro lado, hablan de que al estar basado en la filosofía Open Source, el proyecto permite que todo avance muy rápido. Incluso lo comparan como ya se ha dicho, con la Teoría de la Evolución de Charles Darwin, y llegan a decir que la filosofía Open Source permite que los modelos evolucionen más rápidamente que las especies de los seres vivos.

Por último, hacen referencia al objetivo final de todo el Proyecto, que es conseguir que haya impresoras 3D en cada casa, en cada centro educativo y lo que se comparte como objetivo de las impresoras 3D en general, en cada fábrica. Este último hecho que haya una impresora 3D en cada fábrica, dicen crearía una revolución económica y social; pues por un lado, se reducirían el número de fábricas, la necesidad de transportar bienes y así las necesidades de dinero y por otro lado, aumentarían la autonomía de las industrias, los desarrollos tecnológicos, etc.

2.1.1. MakerBot Industries

Al hablar en el Proyecto Reprap de la figura de Zach Smith hay que hablar también de la empresa MakerBot Industries.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Fue creada en Marzo de 2009 por los ingenieros estadounidenses Zach Smith, BrePettis y Adam Mayer. En julio de ese mismo año se mudaron a su local actual. Su primer producto fue el ya comentado modelo Cupcake y que podemos ver en la imagen de la figura 2.

Su fama comenzó a crecer y recibieron ayuda de la comunidad. En el año 2011, a pesar de haber liberado todos los diseños del modelo Cupcake, recibieron una inversión de 10 millones de dólares.

Evolucionaron su modelo Cupcake al modelo Thing-O-Matic, que es el que se puede apreciar en la figura 8, que fue el modelo adquirido por la Universidad Carlos III de Madrid en Mayo del año 2010.

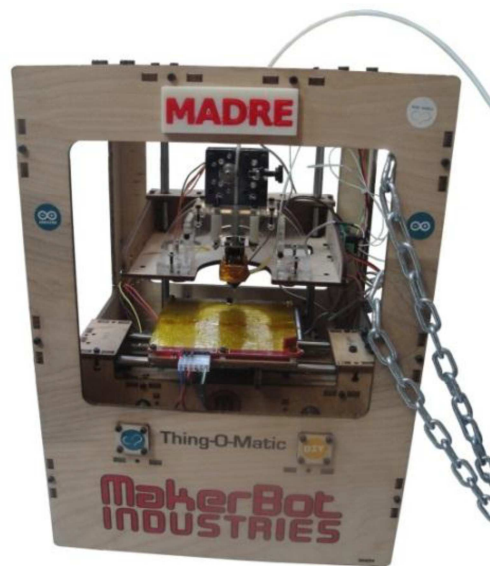


Figura 8. Impresora 3D modelo Thing-O-Matic, de MakerBot

Sin embargo, las impresoras de MakerBot, además de tener un alto precio y de que pierden la esencia de la filosofía Open Source, tienen el gran inconveniente de que su plataforma de impresión (de 10 x 10 cm) es un cuarto de la que tienen modelos como la Prusa Mendel original o su segunda versión (de 20 x 20 cm).

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Finalmente, su último modelo, Replicator, si ha supuesto un avance muy importante al introducir un segundo extrusor. Este segundo extrusor, en lugar de extruir plástico ABS o PLA, como el otro extrusor o los extrusores de los otros modelos de impresoras de Reprap o de MakerBot, extruye un material soluble en agua que se utiliza para recubrir huecos que se deben dejar libres en las piezas, de manera que podemos imprimir modelos que antes era imposible hacerlo, y facilitamos la impresión de modelos en los que la impresora tuviera que imprimir partes del mismo en el aire. Además, aunque no ha llegado al tamaño de la base de impresión de las Prusa Mendel, ha superado el de los anteriores modelos de MakerBot teniendo una base de 10 x 20 cm.

Podemos ver el modelo Replicator en la imagen de la figura 9.

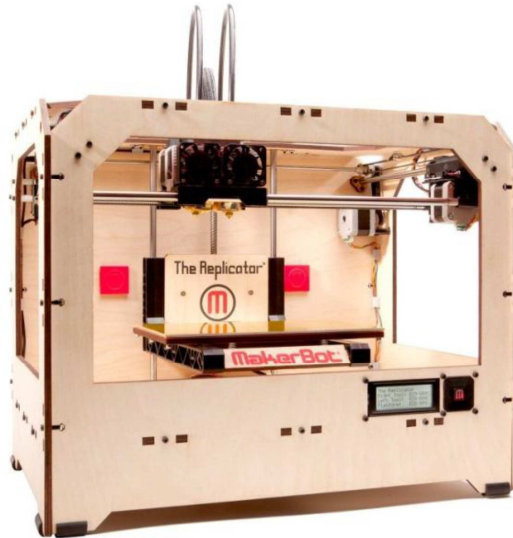


Figura 9. Impresora 3D modelo Replicator, de MakerBot

En los últimos años, han surgido otras impresoras inspiradas por Reprap, siguiendo el comercio impulsado por Makerbot. Algunas de estas son: la impresora PrintrBot (que solo cuesta 450 dólares) o UltiMaker (alrededor de los 1000 dólares). La distribución de estos archivos a través de los repositorios implica únicamente la posibilidad de compartir un diseño, no de alterarlo. Modificar un archivo STL es demasiado complejo con el propósito de impulsar la colaboración, los desarrolladores necesitan herramientas que describan sus diseños y a su vez, sean capaces de generar el archivo formato STL correspondiente.

2.1.2. Ultimaker

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Fue creada en Holanda por tres fabricantes holandeses. Erik De Bruijn y Elserman Martijn reunió Siert Wijnia en protospace.nl el FabLab en Utrecht, Países Bajos. Cada uno de ellos había construido impresoras 3D RepRap de origen abierto antes de su colaboración, y de allí se mejoró el diseño y creó su propia versión de RepRap–Ultimaker como se ilustra en la figura 10.

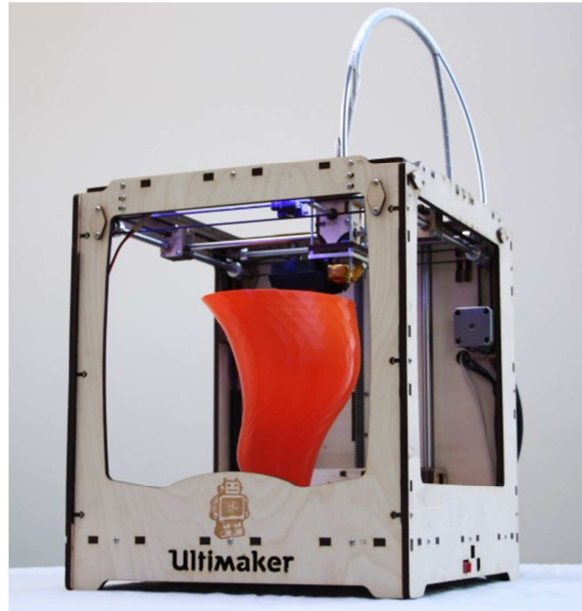


Figura 10. Impresora 3D modelo Ultimaker DIY-Kit

Pocas cosas malas hay que decir de esta impresora. Buscando en la red todo son elogios teniendo en cuenta que es una impresora para hobbistas. Es de las impresoras más rápidas que existen dentro de la gama de bajo costo y la calidad, al contrario que pueda parecer puede llegar a ser incluso mejor que la de los demás modelos. El único problema que puede tener es el no estar tan preparada para novatos como pueden estar las impresoras de la compañía Makerbot. Por estos motivos escogí este modelo para seguir, trabajar con su código realizando reformas para ajustarlos al diseño que se presenta en este trabajo, también porque es compatible con varios programas de interface.

2.2. El Proyecto Clone Wars

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Para finalizar la historia de evolución de las impresoras 3D, creo que es importante comentar el primer proyecto español de impresoras 3D, el Proyecto Clone Wars.

El Proyecto Clone Wars, al que el autor pertenece fue creado por el ingeniero Doctor en Robótica, Juan González Gómez, del que ya hemos hecho mención, en Abril de 2011. Su página web, creada como una parte de la web de la Asociación de Robótica de la Universidad Carlos III de Madrid (Uc3m), es (Reprap, 2012)

Algunos de los integrantes del grupo como el autor, comenzaron a formar parte de Clone Wars cuando Juan Gonzales impartía clase en la Uc3m, comentaba la idea de hacer un grupo que se dedicara a “clonar”, replicar, impresoras 3D modelo Prusa Mendel; inicialmente a partir de la impresora de MakerBot que la Asociación de Robótica de la Uc3m compró, y que recibió en Mayo de 2011. Esta es una impresora 3D modelo Thing-O-Matic a la que la Asociación de Robotica de la Uc3m bautizó con el nombre simbólico de Madre (hace referencia a las réplicas de impresoras que a partir de ella se han hecho y se siguen haciendo).

El día 15 de Abril de 2011 se celebró la primera reunión del Proyecto Clone Wars para exponer los fines del proyecto y para hablar sobre la impresora, Madre, que pronto llegaría y que habría que ensamblar y calibrar. Madre, a la que vemos en la imagen de la figura 11 y que la Asociación de Robótica de la Uc3m recibió el 13 de Mayo de 2011, tras todo el montaje, calibrado, etc., imprimió su primera pieza el 17 de Mayo de 2011.

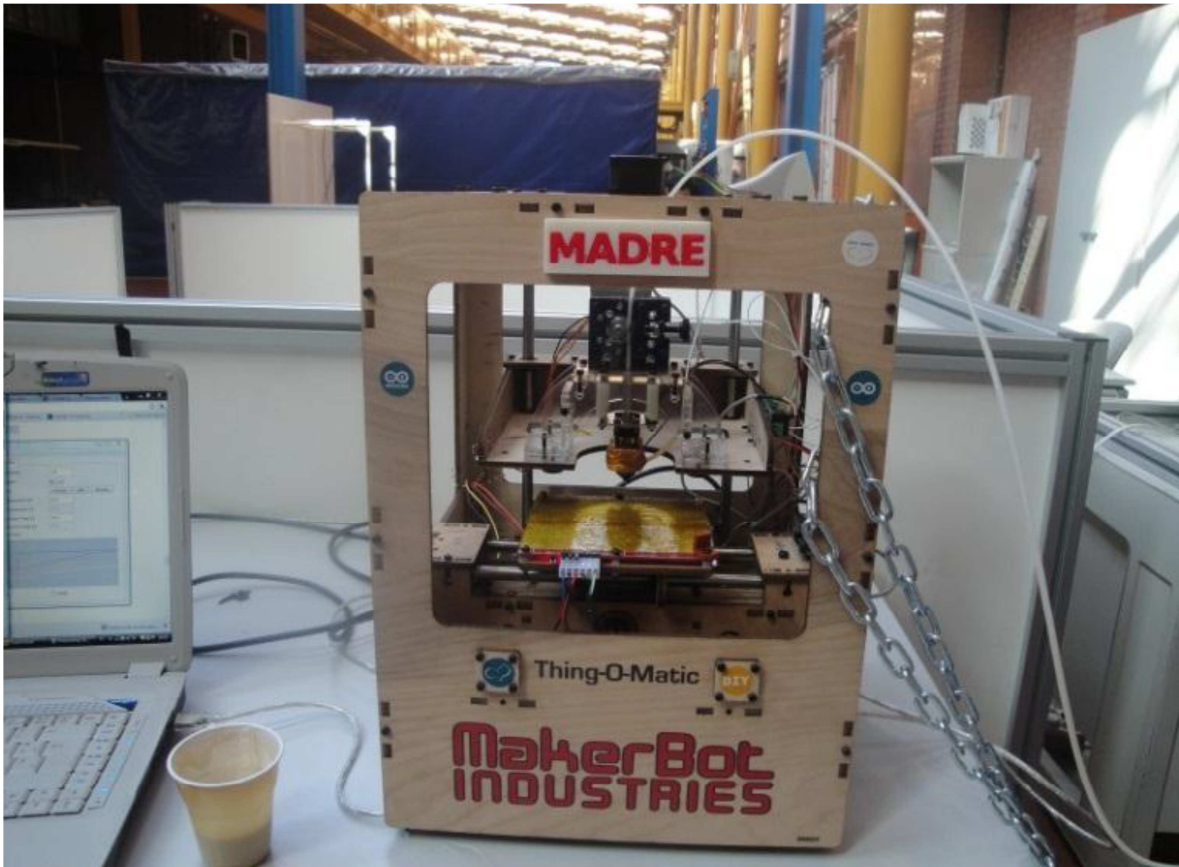


Figura 11. Madre, primera impresora de Clone Wars, modelo Thing-O-Matic de MakerBot

Cada vez fueron más los miembros del Proyecto Clone Wars, al que gracias al grupo de correo de Google, cada vez se unía más gente, ya no solo de la Uc3m, ni siquiera solo de España, sino de todas partes del mundo (Suramérica, Estados Unidos, Suecia, etc).

En Septiembre de 2011, Mardan, la impresora 3D Prusa Mendel creada por el autor, y en la que se basa este proyecto, fue el primer "clon" hecho a partir de Madre y el primer clon ensamblado por completo del Proyecto Clone Wars. Unos meses más tarde, el 11 de Noviembre de 2011, Maese Artorius, Prusa Mendel de Arturo Vera García (estudiante de la Universidad Carlos III y miembro de Clone Wars), estaba también completamente ensamblada; era la segunda réplica que se hacía a partir de Madre. Y, el 11 de Diciembre

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

del mismo año, R2, Prusa Mendel de Juan González Gómez, creada a partir de su Cupcake (R1), llegaba también al final de su montaje. Poco a poco, se fueron acabando más clones, sin embargo, ninguno había conseguido aún imprimir ninguna pieza.

Fue el 24 de Diciembre de 2011 cuando, al fin, Juan Gonzales conseguía imprimir su primera pieza con su impresora R2. El día 31 de Diciembre del mismo año, R2 estaba plenamente calibrada y Juan comenzaba a imprimir piezas para su tercera impresora, R3, y también para donárselas a otros integrantes del Proyecto Clone Wars, para clonar más impresoras más rápido; pues Madre estaba saturada y había gente, externa a la Uc3m, que no tenía acceso a ella.

Con la llegada del año 2012 el Proyecto crecía cada vez más y más rápido. El día 18 de Enero, R2 imprimía por completo el primer juego de Prusa Mendel, que además era ya de la iteración 2 del modelo, y Juan lo utilizaría para construirse su tercera impresora 3D, una Prusa Mendel Iteración 2 a la que llamaría R3. Juego de piezas de gran calidad que se muestra en la imagen de la figura 12.



Figura 12. Primer juego de piezas para clonar una Prusa Mendel Iteración 2 hecho por un clon del Proyecto Clone Wars, por la Prusa Mendel, R2, de Juan González Gómez.

El día 19 de Enero de 2012, la impresora del autor, Mardan, y la impresora de Arturo Vera García, Maese Artorius, imprimían su primera pieza y comenzaban así su periodo de calibración.

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

El grupo seguía creciendo y cada vez eran más los clones que iban acabando su ensamblado. Juan González Gómez llegó a donar hasta diez juegos de piezas, impresas íntegramente por R2, a otros miembros de Clone Wars, que les servían a estos para hacerse sus propias Prusa Mendel Iteración 2, teniendo, a cambio de esta donación, que donar ellos también un juego de piezas a otro miembro, cuando acabaran el ensamblado y calibración de su impresora.

Con el paso del tiempo algún miembro más del Proyecto Clone Wars donó también algún juego de piezas procedentes de sus clones, y el último hito importante es que el clon R3 imprimió su primera pieza el 1 de Abril de 2012.

Al día de hoy somos tantos los miembros que se ha hecho un árbol genealógico de los clones del Proyecto Clone Wars. Dicho esquema se muestra en la web (árbol genealógico del Proyecto Clone Wars, 2012).

Además de todo lo comentado sobre Clone Wars, un aspecto muy importante ha sido cumplir uno de sus objetivos iniciales, que ha sido fundamental para el crecimiento tan fugaz de este Proyecto, y no es otro que el hecho de haber creado una especie de comunidad, en la que todos los miembros a través del grupo de correo, exponemos nuestras experiencias y preguntamos nuestras dudas y obtenemos respuestas para las mismas. Esto ha hecho que los miembros que se van incorporando se integren con facilidad y adquieran experiencia rápidamente en el mundo de las impresoras 3D Open Source.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

2.3. Tecnologías para la manufactura por capas

La tecnología de fabricación por capas lleva varias décadas en el campo industrial, sin embargo, los avances más innovadores se están proyectando en áreas diferentes a las que tradicionalmente han utilizado ésta tecnología. La reducción en el costo abre una interesante oportunidad de inversión para las empresas de todos los tamaños en Colombia, ya que dependiendo del área de trabajo de cada industria, ésta opción de producción de piezas puede llegar a ser una opción rentable y también una oportunidad para modernizar la industria colombiana para hacer frente a los nuevos retos que ofrecen los nuevos tratados de libre comercio y alianzas económicas que recientemente han sido noticia en nuestro país. Otro campo en el que se busca innovar es en los materiales que se usan como "tinta" para la impresión en 3D. Buena parte de los materiales actuales que se están utilizando para imprimir en 3D no son renovables, por lo tanto un gran reto para la tecnología de impresión en 3D, es habilitar materiales renovables para darles un nuevo uso por medio de la impresión. Según Sarah DaVanzo en su artículo 3D Printing On The Moon With Moondust 'ink', se está llevando a cabo investigaciones para poder usar arena y desechos para poder ser usados como materia prima en la impresión en 3D (Bernal Mora, Casteblanco, Lyons Cerón , & Nieto Villamil, 2013).

La manufactura por adición de capas incluso está siendo llamada "la siguiente revolución industrial" por la variedad de opciones que puede llegar a generar. Según Lan Campbell, uno de los fundadores de Innovate 2 Make (Stett Holbrook, 2013) en una declaración para el portal web manufacturingdigital.com, "La fabricación aditiva tiene el potencial de causar un cambio de paradigma en la forma en que diseñamos y hacemos las cosas... es tan simple como eso. Ahora podemos fabricar a partir de la "adentro hacia afuera" y mediante el uso de capas de lograr ángulos y formas que - hace unos años - se habría considerado imposible". Uno de los retos más importantes es que la fabricación por capas permita la creación de piezas más livianas y con las mismas propiedades mecánicas y de calidad; éste sería un gran avance especialmente para la industria aeroespacial y de automóviles. (Horne, Firstly, let's just go over what a slicer is actually doing, why we need to use one and why the settings are so important for good model reproduction., 2013)

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Proceso general (layered manufacturing / LM)

El proceso de la manufactura por capas (LM) inicia en un prototipo virtual (modelo CAD) y termina en un prototipo real (RP), en un modelo o molde de manufactura rápida (RT / RM) o en un bien de consumo (rapidmanufacturing / RM), y es semejante para todas las tecnologías, este proceso consiste en:

- 1º Prototipado virtual: creación del modelo CAD
- 2º Preparación del modelo y del equipo
- 3º Fabricación de la pieza
- 4º Pos proceso.

Prototipado virtual

Existen muchos programas CAD que permiten el modelado de sólidos entre ellos SolidWorks, SolidEdge e Inventor, estos programas utilizan diversos métodos de representación de sólidos construidos en el manejo matemático de superficies y curvas y su representación, estos métodos incluyen: estructura de alambre (wireframe), modelos primitivos o parametrizados, descomposición por celdas, enumeración de ocupación espacial, octrees, modelado de forma libre (free form modeling), geometría constructiva sólida (constructive solid geometry), representación límite de cuerpos (boundary representation / BRep) o representación por barrido (sweep). Las propiedades deseables para el diseñador, a la hora de seleccionar su software de moldeamiento para la utilización de un equipo de manufactura por capas (LM) pueden ser: la representación no debe ser ambigua, la representación debe codificar cualquier sólido de igual manera, debe contar con un dominio lo suficientemente grande, evitar las aproximaciones en el modelo, hacer imposible la creación de un modelo inválido, facilidad para crear representaciones, los modelos deben mantener su unión durante rotación y traslación, crear archivos compactos, permitir el uso de algoritmos de cómputo y lo más importante, que permita la conversión de dichos archivos al formato .STL (formato estandarizado en los equipos de tecnología LM). Hasta ahora, se

| | | | |
|--|--|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

ha tratado de mostrar la razón que subyace en la mejora de la investigación a través de las comunidades de conocimiento. Se ha explicado también cómo, en las comunidades de software y electrónica, este modelo tiene éxito, compartiendo fuentes de diseño. Recientemente, la posibilidad de replicar objetos 3D ha causado el inicio de este movimiento en la investigación del diseño mecánico. El primer requerimiento para compartir un objeto o proceso es la posibilidad de digitalizar la información que este describe. Para la digitalización de objetos existen muchos formatos que permiten la descripción 3D. Actualmente, el formato estándar más popularmente utilizado es el formato Standard Tessellation Language (.STL). (Aguirre, 2004)

Posteriormente se realiza una evaluación preliminar del potencial que dicha tecnología representa para la industria colombiana y se dan una serie de conclusiones y recomendaciones al respecto.¹

| AÑO | TECNOLOGÍA | ESTADO INICIAL DEL MATERIAL | EMPRESA COMERCIAL |
|------|--|---------------------------------------|--|
| 1986 | Estereolitografía Stereolithography — SL | Resina fotosensible en estado líquido | 3DSystems |
| 1987 | Manufactura de partículas disparadas Ballistic particle manufacturing — BPM | Material fundido o semifundido | BPM |
| 1988 | Fabricación laminada Laminated object manufacturing — LOM | Película de material enrollada | Helisis Cubic Technologies |
| 1988 | Fabricación automática diseño controlado Design controlled automatic fabrication — De5CAF | Resina fotosensible en estado líquido | Light sculpting |
| 1988 | Forma fundida (método de deposición de soldadura) Shape melting (weld deposition) | Material fundido o semifundido | Babcock & Wilcox |
| 1989 | Sinterizado selectivo láser Selective laser sintering — SLS | Material particulado | DTM 3DSystems |
| 1990 | Fotopolimerización por UV Solid ground curing — SGC | Resina fotosensible en estado líquido | Cubital (Israel) |
| 1991 | Fabricación laminada Laminated object manufacturing — LOM | Película de material enrollada | Kira (Japón) Solidimension 3DSystems |
| 1991 | Inyección de fotopolímero Jetted photopolymer | Resina fotosensible en estado líquido | Brother Kogyo Kabushiki Kaisha (Japón) |
| 1992 | Deposición de hilo fundido Fused deposition modelling — FDM | Material fundido o semifundido | Stratasys |
| 1992 | Partículas disparadas con material soporte Inkjet whit second support material | Material fundido o semifundido | 3DSystems Solidshape |
| 1992 | Modelado multibocalla Multijet modeling (Thermal SL) — MJM | Resina fotosensible en estado líquido | 3DSystems |

¹ <http://home.att.net>

| | | | |
|--|--|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

| | | | |
|------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1993 | Proyección aglutinante Direct shell production casting — DSPC | Material particulado | Soligen |
| 1993 | Impresión tridimensional 3D printing — 3DP | Material particulado | Zcorp Prometal |
| 1993 | Partículas metálicas disparadas Liquid metal jet printing — LMJP | Material fundido o semifundido | Incre |
| 1998 | Fusión por rayo de electrones Electron beam melting — EBM | Material particulado | Arcam limited (UK) |
| 2000 | Conformado láser de material particulado Laser powder forming — LPF | Material particulado | Optomec |
| 2001 | Prototipado rápido congelado Rapid freeze prototyping — RFP | Agua en estado líquido | New Jersey Institute of Technology |
| 2001 | Variante de estereolitografía Stereolithography (variant) — SL | Resina fotosensible en estado líquido | University of Connecticut |
| 2003 | Variante de sinterizado selectivo láser Selective laser sintering (variant) — SLS | Material particulado | Speed part RP AB (Suecia) |
| 2003 | Sinterizado selectivo por inhibición Selective inhibition sintering — SIS | Material particulado | University of Southern California |

Tabla 1 Historia del desarrollo de la manufactura por capas

| | SL | SLS | LOM | FDM | SGC | 3DP |
|--------------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Dimensiones máximas (cm) | 19x19x25 25x25x25 50x50x60 | 030x38 | 25x33x38 | 30x30x30 | 35x50x50 | 40x50x60 |
| Ventajas | Velocidad Precisión | Materiales Autosoporte | Velocidad Precisión Material | Limpia Materiales Velocidad | Precisión Prop.mec. | Velocidad Precio Color |
| Desventajas | Soportes Postproceso | Tamaño Peso Acabado | Contamina | Acabado | Tamaño Peso Precio | Tamaño Peso Acabado |
| Precio (US\$) | 95000 185000 385000 | 350000 a 400000 | 75000 | 180000 | 490000 | 30000 a 70000 |
| Materiales | Polímero | Polímero Metal Cerámico | Polímero | Polímero | Polímero | Polímero Cerámico |
| Precio (US\$/lb) | 75a110 | 30a60 25a30 | 5a8 9 | 115a185 | 75a110 | 0.35 0.6 |

Tabla 2 Características generales representativas de las principales tecnologías en manufactura por capas.²

Preparación del modelo y del equipo

² Toro Aguirre Alfonso Ignacio, Integración tecnológica de prototipado rápido dentro del laboratorio de manufactura integrada por computador, T.D.G. Ing. Industrial U. Diego Portales, Santiago Chile 2004.

El formato .STL es un método simple de almacenar información acerca de objetos tridimensionales desarrollado por 3DSystems (EEUU), es el formato estándar de transferencia de archivos CAD. Un archivo .STL describe un modelo por medio de la superficie que lo encierra (BRep) con carácter aproximada, pues la descompone en pequeños triángulos definidos cada uno por sus tres vértices y un vector unitario normal al plano del triángulo que define si la superficie es interior o exterior como se ilustra en la fig. 13, los cuatro vectores son especificados por doce coordenadas espaciales debidamente referenciadas a un origen común. Durante la conversión del modelo a archivo .STL en el programa CAD ocurren diversos errores: truncamiento, normales inconsistentes, normales incorrectas, vacíos, muros internos, caras degeneradas o intersecciones incorrectas, lo anterior ha dado pie al desarrollo de programas de reparación que se encargan de identificar y corregir errores en los archivos .STL.

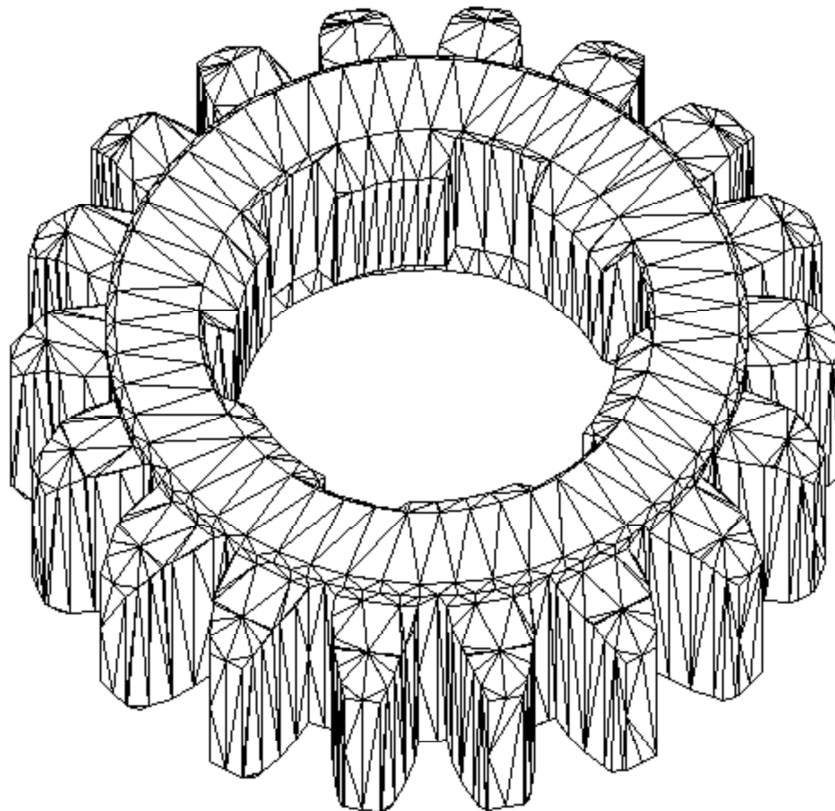


Figura 13. Estructura Formato .STL

El equipo posee un programa CAD/CAM (diseño y manufactura asistidos por computador) encargado de la preparación del modelo, esto consiste en tomar

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

el archivo .STL corregido y someterlo a los procesos de orientación, rebanado, generación de soportes y planeación de trayectorias. La orientación es el posicionamiento de la pieza en el espacio de trabajo y la determinación de la dirección de fabricación de la pieza, tiene implicaciones en el tiempo y costo de la operación, exactitud, acabado y propiedades mecánicas de la pieza y necesidad de soportes. El rebanado es la intersección del modelo con planos perpendiculares a la dirección de fabricación separados una distancia igual al grosor de la capa que permite el equipo, el programa calcula la recta de intersección con cada triángulo cortado y une todas las rectas para determinar el contorno de cada capa para la obtención de la pieza. Los soportes son utilizados para servir de apoyo temporal a salientes de la pieza, mantener su estabilidad, sostener paredes horizontales o inclinadas o prevenir la contracción, no todas las tecnologías requieren la generación de soportes, pero en las que sí el programa permite generalmente el control de los parámetros de generación. La planeación de trayectorias consiste en buscar la forma en que serán construidos los contornos y las capas de la pieza, afecta el tiempo de la operación, exactitud, acabado y propiedades mecánicas de la pieza. Al finalizar este proceso el programa del equipo ha permitido el análisis del archivo CAD .STL y la creación de un archivo CAM en términos CNC (control numérico computacional) que contiene toda la información que define los parámetros de proceso como son: las trayectorias "x-y" (continuas o discontinuas) que seguir el cabezal para crear la capa, el descenso "z" de la mesa que soporta las capas creadas, la velocidad de los movimientos y los demás parámetros propios de cada tecnología como intensidad de radiación o presión de inyección.

(Marin, 2007).

Conseguir modelos 3D a partir de la web

Puede ser una buena idea, antes de empezar a crear nuestros propios modelos 3D que hacen los primeros pasos con una herramienta más o menos difícil de software, se puede echar un vistazo a los muchos modelos y millares hechos por otros y gentilmente compartidos de forma gratuita en la web. A continuación presento un breve recorrido de los repositorios web más útiles de los modelos 3D enunciados por Carlo Fonda en el artículo, Guía práctica para su primera Impresión 3D en la revista Low-cost_3D_printing_screen, que están disponibles actualmente ver fig. 14. (Fonda, 2013)

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

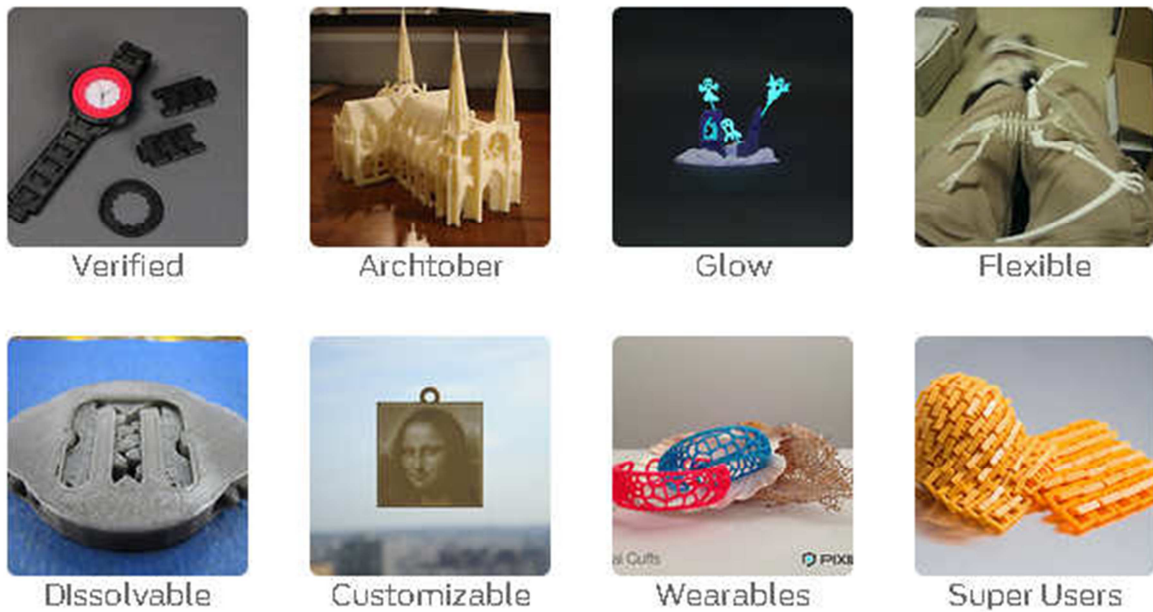


Figura 14. Diversidad de figuras 3D que se pueden descargar de la Web

Thingiverse: Es el repositorio utilizado por la mayoría de los entusiastas de bajo costo de impresión 3D para obtener y compartir sus creaciones. Cuenta con más de 50'000 modelos 3D generados por los usuarios, en su mayoría diseñados para la impresión en 3D, pero a veces también para corte por láser u otras técnicas de artesanía más tradicional. Todo el contenido es libre para descargar y se puede imprimir muy fácilmente, pero lo mejor es comprobar si se ha hecho por otros usuarios y con qué resultados (ver la sección "que ha hecho" en la descripción del modelo).

Autodesk 123D: Es un sitio web con una gran cantidad de objetos que se pueden descargar de forma gratuita después de inscribirse. Los archivos que ya están en formato STL.

3D CAD browser: Es el recurso de intercambio de modelos 3D en línea para diseñadores gráficos CGI y CAD / CAM / CAE ingenieros. Tiene muchos coches, animales, arquitectura y mucho más. Como siempre, descarga gratuita en muchos formatos diferentes después de registrarse. No todos los modelos son adecuados para el bajo costo de la impresión 3D.

GrabCAD: No hay necesidad de entrar a este gran repositorio web para descargar los archivos, hay muchos objetos diferentes - desde digitales 3D

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

pequeñas tuercas y tornillos para coches llenos de carrera con miles de mecánicas perfectamente diseñadas partes -pero sólo una pequeña fracción de los modelos que serían en realidad 3D para imprimir, mientras que la mayoría de los otros son complejos y maravillosos ejercicios de representación 3D foto realista.

Shapeways: Sitio web que ofrece muchos diseños maravillosos subidos por los usuarios, pero casi nada es gratis. Usted puede pagar para descargar algunos de los modelos o simplemente preguntar por Shapeways para imprimir en papel de plástico o de metal (de aluminio latón o de acero, también de oro o plateado) y enviárselo, a un precio razonable, con la garantía de un resultado perfecto.

3D warehouse: El repositorio de SketchUp, con cientos de modelos de todo tipo de objetos, en este debe buscar con cuidado para encontrar los imprimibles.

3D via: Un pequeño repositorio de modelos 3D se puede descargar de forma gratuita después de inscribirse

2.4. Software

2.4.1. Software de Interface

Para un mejor entendimiento del software de interface la explicación y el comparativo de varios software escritos por Carlo Fonda en la revista Low-cost_3D_printing_screen es el más completo y lo cito a continuación. (Fonda, 2013)

Este paso es tal vez el más interesante a lo largo proceso que va desde una idea a un objeto tridimensional real, ya que expone claramente la mayor parte de la sutil e íntimo detalles de cómo funciona una impresora 3D con el fin de convertir parte de filamentos de plástico en bruto en nuestra hermosas creaciones. La preparación de un modelo 3D para imprimir es una delicada combinación de técnica, conocimiento, ciencia y arte, y requiere algo de tiempo para dominar este procedimiento. Para ser impreso, nuestro modelo (guardado o exportado como un archivo .STL) debe ser primero convertido en un conjunto de instrucciones de la impresora (un formato común que se llama

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

g-código): esta tarea se llama corte (debido a que el modelo se "corta" en muchas capas horizontales delgadas que serán impresas en secuencia) y es realizado por los programas informáticos complejos llamados máquinas de cortar como se ilustra en la fig.15.

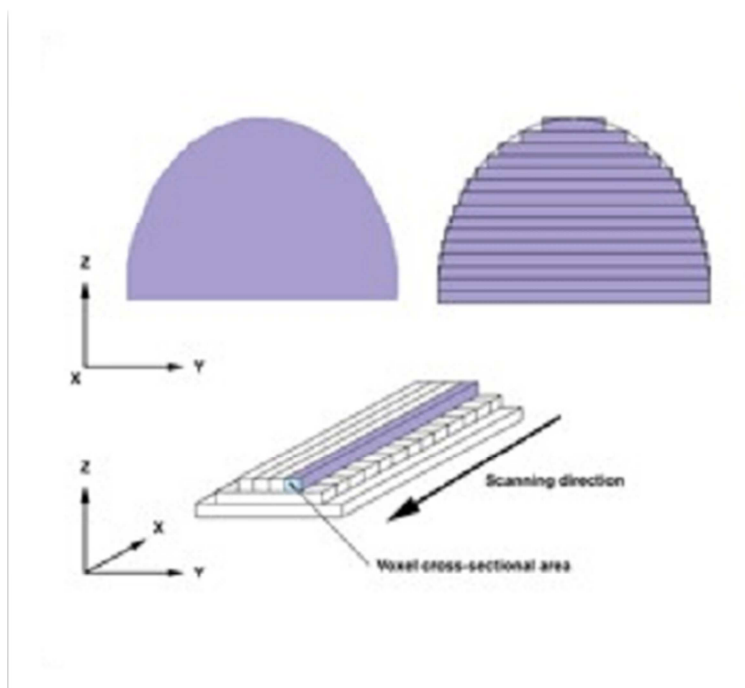


Figura 15. Secuencia de capas de una pieza

De hecho, la información contenida dentro de un archivo STL es de poco o ningún uso para una impresora, ya que consiste en sólo una larga lista de coordenadas $\langle x,y,z \rangle$ y en identificar los vértices que componen las muchas caras poligonales de malla del objeto.

La impresora necesita información muy diferente: los movimientos de la cabeza de impresión y / o la plataforma en las diversas direcciones X, Y y Z, la cantidad de plástico para extruir y el tiempo preciso cuando se tiene que iniciar y detener la extrusión, la temperatura de la boquilla y la plataforma, y así sucesivamente.

Esta es la parte más crítica de todo el proceso de impresión, debido a que la calidad final del objeto impreso está determinada casi exclusivamente por la elección correcta del valor de los muchos diferentes parámetros las capas. Por esta razón, es muy importante el software de interface, y debemos aprender el significado de al menos los parámetros más importantes para elaborar las

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

capas. Por desgracia, son nombre diferentes para cada programa de interface y están definidas en pocos programas disponibles, desde los cuales se va a discutir aquí los cinco más utilizados (con descarga gratis): Skeinforge, Slic3r, KISSlicer, Curay MakerWare (todos están disponibles para Windows, Mac y Linux) fig.16.



Figura 16. Diferentes Software de interface

La mejor manera de experimentar con los parámetros de fraccionado es seguir un orden lógico, y probablemente el mejor es el orden utilizado por Slic3r: hay parámetros relacionados con la impresora y el modelo (y que sólo se cambian cuando se cambia la impresora), otros que están relacionados con el filamento plástico utilizado, y finalmente, los parámetros que puede ser sincronizados para una impresión específica.

a) Configuración de la impresora:

- Tipo de impresora / firmware;
- Tamaño y desplazamiento de la plataforma de impresión, máx Z altura: un valor típico para el área de impresión, las más comunes son de 20x20x20 cm;
- Número de extrusores, los diámetros de sus boquillas, otros parámetros para la extrusión.

b) Configuración de Material:

- El diámetro del filamento: debe ser una medida real precisa, el valor nominal no es lo suficientemente bueno para el cálculo correcto de la longitud del plástico de extrusión;

| | | | |
|---|--|---------|--|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

- El factor de proporcionalidad (o múltiplo o densidad): se utiliza para compensar la expansión del plástico cuando se funde, normalmente es 1el de PLA y 0,9 o menos para el ABS;
- Extrusora y la cama caliente (puede ser diferente para la primera capa);
- El ventilador de enfriamiento.

c) Los ajustes de impresión:

- Altura de la capa (puede ser diferente para la primera capa): por lo general entre 0,1 mm y 80 % de la boquilla tamaño, 0,25 mm es un valor típico.
- El número de capas / o perímetros, espesor de las paredes: el aumento de este valor hará que el objeto sea más robusto.
- Número / espesor de las capas superior / inferior: igual que el anterior.
- Porcentaje de relleno: cantidad de plástico que se utilizará para la mayor parte del objeto, que va normalmente de 0 % (objetos huecos) a 50 % (partes sólidas, muy fuertes), más de 50% rara vez se utilizan, y los valores típicos son alrededor de 10 a 20 %.
- El patrón de relleno: es el patrón utilizado para crear el relleno, se utilizan comúnmente:

Cuadrados (rectilínea) o hexágonos;

- Velocidad de impresión (para las diferentes tareas): esta opción está muy relacionada con la temperatura de la boquilla, el tipo de filamento y la calidad de construcción de la impresora (y la cantidad de lubricación utilizado para ejes y engranajes), una velocidad lenta por lo general ayuda a obtener mejores impresiones;
- Falda y ala: la falda es la cantidad extra de extrusión de plástico antes de empezar a imprimir con el fin de evitar que inicie la impresión con una boquilla de vacío, el borde es un extra espesor del filamento en la primera capa, para que pegarse mejor a la cama;
- Balsa y apoyo: la balsa es otra manera de mejorarla adhesión del objeto a la cama, lo que significa que se aplica una o dos capas de una red de filamentos de plástico adicional, mientras que el soporte es una estructura esponjosa especial de plástico construido de abajo para apoyar las partes del objeto que están en voladizos;

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

- Otras opciones avanzadas.

Impresoras 3D FDM no pueden producir estructuras en otros materiales como voladizos extremos, ya que sería incompatible durante la construcción. Si estos no se pueden evitar, se puede solucionar con una estructura de soporte extra fina que se puede añadir en el objeto, que puede ser cortado después de que el proceso de impresión termine. La mayoría de software fraccionado puede crear automáticamente tal estructura de soporte. La mayoría de las impresoras manejan generalmente voladizos de hasta 45 grados sin ajustes especiales.

El modelo 3D debe ser girada con el fin de reducir al mínimo las partes con un saliente (antes de fraccionar), y un ventilador puede ser orientado a la pieza durante la impresión, para enfriar el filamento tan pronto como se a que sale de la boquilla, antes de que tenga la oportunidad de caer y arruinar la impresión. Por último, el uso de material de apoyo se puede activar en el software de corte, si es necesario. Esta es una molestia debido a que el proceso utiliza más plástico, tarda más en imprimir y usted tiene que limpiar el material de apoyo con una cuchilla después.

Como se mencionó antes, los diferentes programas de fraccionado pueden tener diferentes nombres para la mismo ajuste, y que a veces utilizan parámetros que se definen muy diferente (como el número de perímetros / shells en lugar de espesor de pared, etc), por esto la importancia de entender bien el lenguaje y las definiciones del software de interface que se va a utilizar para su impresora.

Estos son los cinco software de interface más utilizados y por qué se elige el Cura para trabajar en este proyecto

- Skeinforge: probablemente el software de interface para seccionar más antiguo, es un conjunto de scripts escritos en Python y liberado bajo una licencia GPL, que fue el motor de corte predeterminada del Makerbot originales Replicador (integrado en el software ReplicatorG) y muchas impresoras y 3D RepRaps todavía presente como opción en MakerWare (el programa que ocupó el lugar de ReplicatorG para el control de las impresoras más recientes makerbot) y el otro programa común (gratis) Repetier -Host. La interfaz de usuario no es amable, y algunos valores son muy confusos.
- Slic3r: un moderno y completo software de código abierto desarrollado para fraccionar, es ampliamente apoyada por los fabricantes de impresoras y ofrece como opción principal en Repetier-Host. Le ahorra al usuario muchos

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

problemas con su función para grabar los diversos parámetros de fraccionar lógicamente agrupados en diferentes programas.

- KISSlicer: con una interfaz gráfica sencilla y la pretensión de ser rápido y fácil de usar, puede ser una buena opción para los principiantes de La impresión en 3D. Hay una versión "pro" que añade soporte para múltiples extrusoras y múltiples objetos (y algunas otras funciones adicionales) está también disponible por un precio de \$42 (\$25 para "Los usuarios de la educación"). (Fonda, 2013)
- Cura es un software que nos va a permitir convertir los archivos STL que contienen nuestro diseño 3D en piezas físicas en un solo entorno de trabajo.

Originalmente, Cura se llamaba SkeinPyPy. Este nombre proviene de la combinación de Skeinforge con PyPy. Skeinforge es una software que realiza el corte de las piezas 3D en capas (Slic3r) generando el código antes mencionados. Sin embargo, Skeinforge es bastante lento y le puede llevar más de una hora "cortar" modelos complejos.

Skeinforge está hecho en Python, así que lo combinaron con el complemento PyPy el cual lo hacía correr más rápido, la combinación de los dos dieron lugar a "SkeinforgePyPy" que más tarde se llamó "SkeinPyPy".

SkeinPyPy no era más que un paquete que combinaba Skeinforge con PyPy y algunos parches para hacerlo más fácil de usar. El paquete venía preparado para ejecutarlo directamente, sin instalar ningún otro complemento, incluyendo PrintRun para la comunicación con nuestra impresora, y luego están las versiones alpha.

Pero todavía era Skeinforge y el interfaz de usuario de Skeinforge, con 260 opciones de configuración, un poco difícil de usar, muchas de las opciones no se aplican a la impresión 3D y los cambios de configuración no son fáciles.

Así, que se inició el proyecto NewUI. Con el aporte de muchas personas, se creó un interfaz fácil y sencilla de usar. Aún sigue utilizando Skeinforge como backend, pero sin mostrar ninguna de las pantallas complejas de usuario de Skeinforge. En este punto, SkeinPyPy comenzó a evolucionar para hacer Skeinforge más rápido y conseguir un todo en uno, fácil de usar en un solo paquete. Estos paquetes son las versiones Beta del proyecto.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

En este punto, se decidió cambiar el nombre del paquete de SkeinPyPy por CURA, debido a que superó objetivo inicial de "Skeinforge con PyPy", el nombre de CURA se eligió dentro de la comunidad Ultimaker.

Finalmente, en octubre de 2012, Ultimaker contrató al creador de este software para evolucionarlo y hacer otros proyectos relacionados con el software de impresión en 3D. Su autor garantiza que CURA seguirá siendo gratuito, de código abierto y que apoyará a las máquinas RepRap así como a Ultimaker.

- **MakerWare:** bonita y fácil de usar software para controlar el MakerBot Replicador y 2 impresoras Replicator, que también cuenta con su propio software de fraccionado, optimizado para el más fuerte, más rápido y más resultados consistentes. Además, Skeinforge también se puede seleccionar como incrustado en otros generadores de código G.

La elección entre los diferentes software de interface y generador de código G no tiene que ver sólo con las referencias personales o la lista de características de las distintas opciones: Algunas impresoras requieren estrictamente el uso de un solo software específico: un ejemplo es el replicador de MakerBot 2 , la última versión del firmware sólo puede utilizar una versión nueva y al revés - compatible de g-código de llamada .x3g, lo que requiere MakerWare o ReplicatorG, los dos únicos programas que pueden generar este tipo de archivos. En otros casos, los fabricantes de la impresora pueden hacer una fuerte recomendación de utilizar específicamente un programa, como en el caso de la Ultimaker con Cura. Por último, la elección del programa puede ser realmente libertad del usuario, por esto en este proyecto se trabaja con Cura porque es más sencillo, fácil de usar y reúne el programa de fraccionado y el generador de código G, todo en uno.

2.4.2. Firmware

Comparativo de dos firmwares para impresoras 3D Marlin Vs Sprinter

Para que el software se comuniquen con nuestra impresora, esta deberá llevar un firmware en el micro controlador que la gestiona, los dos firmwares más famosos y estables son Sprinter y Marlin. A Sprinter le da soporte en estos momentos Kliment, caru y midopple, está basado en el firmware Tonokips's y soporta, de momento, Ramps, Gen6 y Sanguinololu, además de la carga de G-Code por SD; es posible que funcione con otros, pero estos son los

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

“oficiales”. Marlin es una mezcla de Sprinter y GRBI nuevo, sus principales desarrolladores son Kliment y Caru.

Este firmware nos ofrece las siguientes características:

Interrupción basada en el movimiento con aceleración lineal real.

- Alto intervalo de pasos
- Observa hacia dónde va, y mantiene una velocidad alta cuando es posible, alta velocidad en curvas.
- Interrupción por protección de temperatura.
- Soporte preliminar para el algoritmo de avance Mateo Roberts
- Soporte completo para endstop
- Tarjeta SD
- Carpetas en tarjeta SD (para pronterface)
- Soporte para auto inicio desde tarjeta SD.
- Soporte para display LCD (ideal 20×4)
- Menú para impresión autónoma desde display LCD a través de cliks en un encoder rotatorio.
- Almacenamiento en EEPROM de ej.max-velocidad, max-aceleracion, y variables similares.
- Muchos pequeños detalles y muy útiles procedentes del fork de bkubicek.
- Soporte para arcos
- Sobre muestreó de temperatura
- Selección de temperatura dinámica o “Auto Temperatura”
- Soporte para QTMarlin, una beta para PID de ajuste y pruebas de velocidad-aceleración.
- Control de finales de carrera.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

- Actualizada sdcardlib
- Aviso de sobre temperatura. Útil para la monitorización PID.
- Ajuste PID.
- CoreXYkinematics
- Puerto serie configurable para soportar adaptadores inalámbricos.

Las personas que han utilizado Sprinter, garantizan su fiabilidad, pero el Marlinha impresionado bastante, sobre todo por el control PID que lleva incluido, que maneja a la perfección las temperaturas de nuestro Hotend y Hotbed, en la fig.17 podemos ver el control de temperatura con Marlin y con Sprinter.

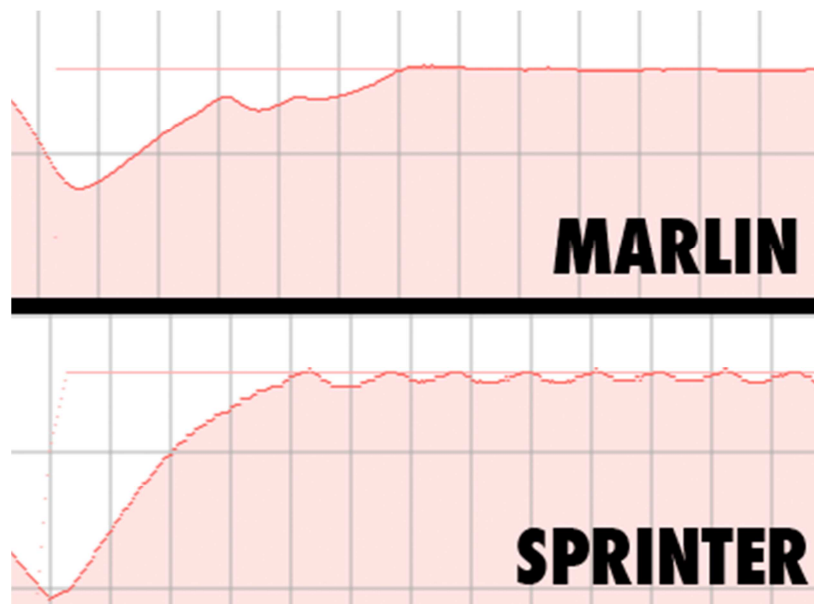


Figura 17. Cuadro comparativo comportamiento de temperatura

Como se puede observar, Marlin mantiene mucho más constante la temperatura de extrusión. Además, a la hora de probar con CURA, Sprinter daba algunos problemas de comunicación de vez en cuando, y moría la impresión instantáneamente, así que por todas estas razones en este proyecto se utilizó MARLIN para trabajar con CURA. (Software para impresión 3D- Sprinter Vs Marlin, 2012).

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

2.5. Hardware

El modelo open source

A menudo se confunden los términos Open Source y Free software, por lo que se ha introducido una pequeña aclaración: mientras que el primero hace referencia a una técnica de desarrollo, Free Software supone más bien una filosofía. Ambos conceptos están relacionados con el cúmulo de ideas en torno a la cooperación entre usuarios y la libertad de distribución y modificación. Sin embargo, Free software aboga por la eliminación de toda barrera, ya sea económica o legal; Open Source no descarta ambas necesidades. De hecho, bajo esta última premisa surgen las licencias de tipo CopyLeft, que apoyan la libre distribución con el mantenimiento de ciertos derechos de autor, como el reconocimiento legal de los mismos en usos posteriores. No es pretensión de este proyecto afrontar este proceso de forma ideológica, por lo que se centrará en el término OpenSource, el cual avala estas bibliotecas. A continuación, una breve historia de la aparición del Open Source en el ámbito del software. Este transcurso ejemplifica los cambios que se producen en torno a los medios y las técnicas, que inevitablemente tienden a adaptarse a esta corriente. Durante años la comunidad Open Source ha estado muy presente en el ámbito de la robótica; en la mayoría de las aplicaciones robóticas actuales participan proyectos como Player/Stage/Gazebo, ROS, OpenCV... pertenecientes a esta comunidad. Recientemente, el mundo de la electrónica ha acogido esta tendencia, llegando a definir una nueva corriente conocida como Open hardware. Con ella han surgido proyectos como Arduino, uno de los más populares y con una gran comunidad a su alrededor. Este consiste en una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos. En este proyecto se empleará un microcontrolador Arduino Mega 2560 como se ilustra en la fig.18, basado en esta tecnología, para el control del prototipo.

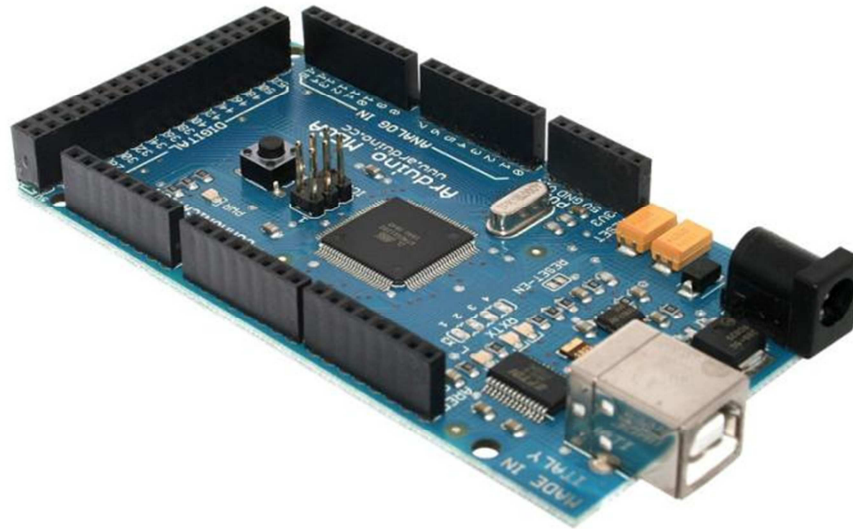


Figura 18. Tarjeta Arduino Mega

Se han desarrollado, hasta la fecha, multitud de posibilidades también en cuanto a electrónica, y contando así con una amplia gama de productos entre los que podemos elegir para configurar nuestra impresora. Además avanzan a gran rapidez. (Zennaro, 2013)

2.5.1. Tarjeta de Control Arduino Mega 2560

A continuación presento las ventajas y los datos técnicos de la tarjeta utilizada en este proyecto extraído de la página principal de Arduino. (ARDUINO, 2013)

Entre estas posibilidades encontraremos microcontrolador están conocidos como los Arduino Mega 2560, el Mega (o ATmega) 1280, etc. Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos. Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores. El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing).

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador, si bien tienen la posibilidad de hacerlo y comunicar con diferentes tipos de software (p.ej. Flash, Processing, MaxMSP).

Las placas pueden ser hechas a mano o compradas y montadas de fábrica; el software puede ser descargado de forma gratuita. Los ficheros de diseño de referencia (CAD) están disponibles bajo una licencia abierta, así pues eres libre de adaptarlos a tus necesidades. El Arduino Mega 2560 es una placa electrónica basada en el ATmega2560 (ficha técnica anexo 11). Lleva 54 entradas / salidas digitales (de los cuales 15 pueden utilizarse para salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertas seriales), un 16MHz oscilador de cristal, una conexión USB, un conector de alimentación, un header ICSP y un botón de reset. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador, simplemente conectarlo a un ordenador con un cable USB, o alimentarla con un adaptador de corriente AC a DC para empezar. La Mega es compatible con la mayoría de los shield para Arduino Duemilanove o Diecimila. La Mega 2560 es una actualización de la Arduino Mega, al que sustituye. El Mega 2560 difiere de todas las placas anteriores ya que no utiliza el chip controlador de USB a serial FTDI. En su lugar, ofrece las ATmega16U2 (ATmega8U2 en la revisión del 1 y la revisión 2 tableros) programado como convertidor USB a serie.

La junta Mega2560 tiene una resistencia tirando de la línea 8U2 HWB a tierra, por lo que es más fácil de poner en modo DFU.

La junta directiva tiene las siguientes características nuevas:

1.0 pinout: añadido pines SDA y SCL cerca al pin AREF y otros dos nuevos pernos colocados cerca del pin RESET, el IOREF que permiten a los escudos para adaptarse al voltaje suministrado desde la pizarra. En el futuro, los escudos serán compatibles tanto con la tarjeta que use el AVR, que operan con 5V y con el Arduino debido que operan con 3.3V. El segundo es un pin no está conectado, que se reserva para usos futuros.

Circuito de rearme fuerte.

ATmega 16U2 sustituir el 8U2.

Esquema, Diseño y Pin Referencia Mapping

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

- Potencia

El Mega Arduino puede ser alimentado a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. La fuente de alimentación se selecciona automáticamente.

Externa (no USB) de potencia puede venir con un adaptador de AC-DC (pared-verruga) o la batería. El adaptador se puede conectar al conectar un centro positivo enchufe de 2,1 mm en el conector de alimentación de la placa. Conduce de una batería se pueden insertar en los encabezados pin GND y Vin del conector de alimentación.

La tarjeta puede funcionar con un suministro externo de 6 a 20 voltios. Si se proporcionan menos de 7V, no obstante, el pin de 5V puede suministrar menos de cinco voltios y la junta puede ser inestable. Si se utiliza más de 12V, el regulador de voltaje se puede sobrecalentar y dañar la placa. El rango recomendado es de 7 a 12 voltios.

Los pines de alimentación son como sigue:

VIN. La tensión de entrada a la placa Arduino cuando se trata de utilizar una fuente de alimentación externa (en contraposición a 5 voltios de la conexión USB o de otra fuente de alimentación regulada). Usted puede suministrar tensión a través de este pin, o, si el suministro de tensión a través de la toma de poder, acceder a ella a través de este pin.

5V. Este pin como salida una 5V regulado por el regulador en el tablero. El tablero puede ser alimentado ya sea desde el conector de alimentación de CC (7 - 12), el conector USB (5V) o el pasador de VIN del tablero (7-12V). El suministro de tensión a través de los 5V o 3.3V pins no pasa por el regulador, y puede dañar su tablero. No es aconsejable.

3V3. Un suministro de 3,3 voltios generados por el regulador a bordo. El drenaje actual máximo es de 50 mA.

GND. Patillas de tierra.

IOREF. Este pin de la placa Arduino proporciona la referencia de tensión con la que opera el microcontrolador. Un escudo configurado puede leer el voltaje pin

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

IOREF y seleccione la fuente de alimentación adecuada o habilitar traductores tensión en las salidas para trabajar con los 5V o 3.3V.

- Memoria

El ATmega2560 tiene 256 KB de memoria flash para almacenar código (de los cuales 8 KB se utiliza para el gestor de arranque), 8 KB de SRAM y 4 KB de EEPROM (que puede ser leído y escrito con la librería EEPROM).

- Entrada y salida

Cada uno de los 54 pines digitales en el Mega se puede utilizar como una entrada o salida, utilizando `pinMode()`, `digitalWrite()`, y `digitalRead` funciones. Operan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 40 mA y tiene una resistencia de pull-up (desconectado por defecto) de 20-50 kOhms. Además, algunos pines han especializado funciones:

De serie: 0 (RX) y 1 (TX); serie 1: 19 (RX) y 18 (TX); serie 2: 17 (RX) y 16 (TX); serie 3: 15 (RX) y 14 (TX). Se utiliza para recibir (RX) y transmisión (TX) TTL datos en serie. Pines 0 y 1 están también conectados a los pines correspondientes del ATmega16U2 USB-to-TTL de chips de serie.

Interrupciones externas: 2 (interrupción 0), 3 (alarma 1), 18 (interrumpir 5), 19 (4) interrumpir, 20 (interrumpir 3), y 21 (interrumpir 2) Estos pines pueden ser configurados para activar una interrupción en un valor bajo, un flanco ascendente o descendente, o un cambio en el valor. Ver el `attachInterrupt()` función para más detalles.

PWM: 2 a 13 y 44 a 46 para salidas PWM de 8 bits con el `analogWrite` función.

SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS) Estos pines soportan comunicación SPI utilizando la biblioteca de SPI. Los pines SPI también se desglosan en la cabecera ICSP, que es físicamente compatible con el Uno, Duemilanove y Diecimila.

LED: 13 Hay un built-in LED conectado al pin digital 13. Cuando el pin es de alto valor, el LED está encendido, cuando el pasador es bajo, es apagado.

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

TWI: 20 (SDA) y 21 (SCL) Apoyar la comunicación TWI utilizando la librería Wire. Tenga en cuenta que estos pasadores no están en la misma ubicación que los pasadores de inmersión recíproca en el Duemilanove o Diecimila.

El Mega2560 tiene 16 entradas analógicas, cada una de las cuales proporcionan 10 bits de resolución (es decir, 1.024 valores diferentes). Por defecto se miden desde el suelo a 5 voltios, aunque es posible cambiar el extremo superior de su rango utilizando el pin AREF y función analogReference ().

Hay un par de otras patas de la placa:

AREF. Voltaje de referencia para las entradas analógicas. Se utiliza con analogReference ().

Restablecer. Lleve esta línea BAJO para reiniciar el microcontrolador. Normalmente se utiliza para agregar un botón de reinicio para escudos que bloquean el uno en el tablero.

- Comunicación

El Arduino Mega2560 tiene una serie de instalaciones para la comunicación con un ordenador, otro Arduino, u otros microcontroladores.

El ATmega2560 proporciona cuatro hardwares UART para TTL (5V) de comunicación en serie. UnATmega16U2 (ATmega 8U2 en la revisión del 1 y 2 juntas de revisión) en los canales de mesa uno de ellos a través de USB y proporciona un puerto com virtual para software en el equipo (máquinas de Windows tendrá un archivo inf., pero las máquinas OSX y Linux reconocimiento de la junta como un puerto COM automáticamente. El software de Arduino incluye un monitor de serie que permite que los datos simples textuales para ser enviados hacia y desde el tablero. Las RX y TX LED en el tablero parpadearán cuando se están transmitiendo datos a través de la ATmega8U2/ATmega16U2chip y conexión USB al ordenador (pero no para la comunicación en serie en los pines 0 y 1).

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

2.5.2. Tarjeta de Interface RAMPS 1.4

Después de que AdrianBowyer y otros que experimentaron con algunos controladores paso a paso Pololu, finalmente tenían un conjunto razonable de Electrónica para ampliar y hacer algo de desarrollo de firmware seria RAMPAS nombre que sale de la unión de (RepRapArduino Mega PololuShield) creada por Johnny Russell. RAMPAS fue originalmente una sola cara (1,5 capas con algunos enlaces de alambre) de diseño que sólo los componentes convencionales necesarios para ser soldado a un PCB "escudo" que se ajustaba a un controlador estándar MEGA Arduino. RAMPAS fue uno de los primeros diseños a definir un conjunto de patillas de conexión de varias funciones, esto hizo que fuera muy fácil de evolucionar más versiones para tener más opciones y capacidad ver fig. 19. Para mantener un pequeño factor de forma de montaje en alguna superficie componentes se utilizan ahora y es justo decir que es probablemente la electrónica más utilizada en el momento (Goncalves, 2013).

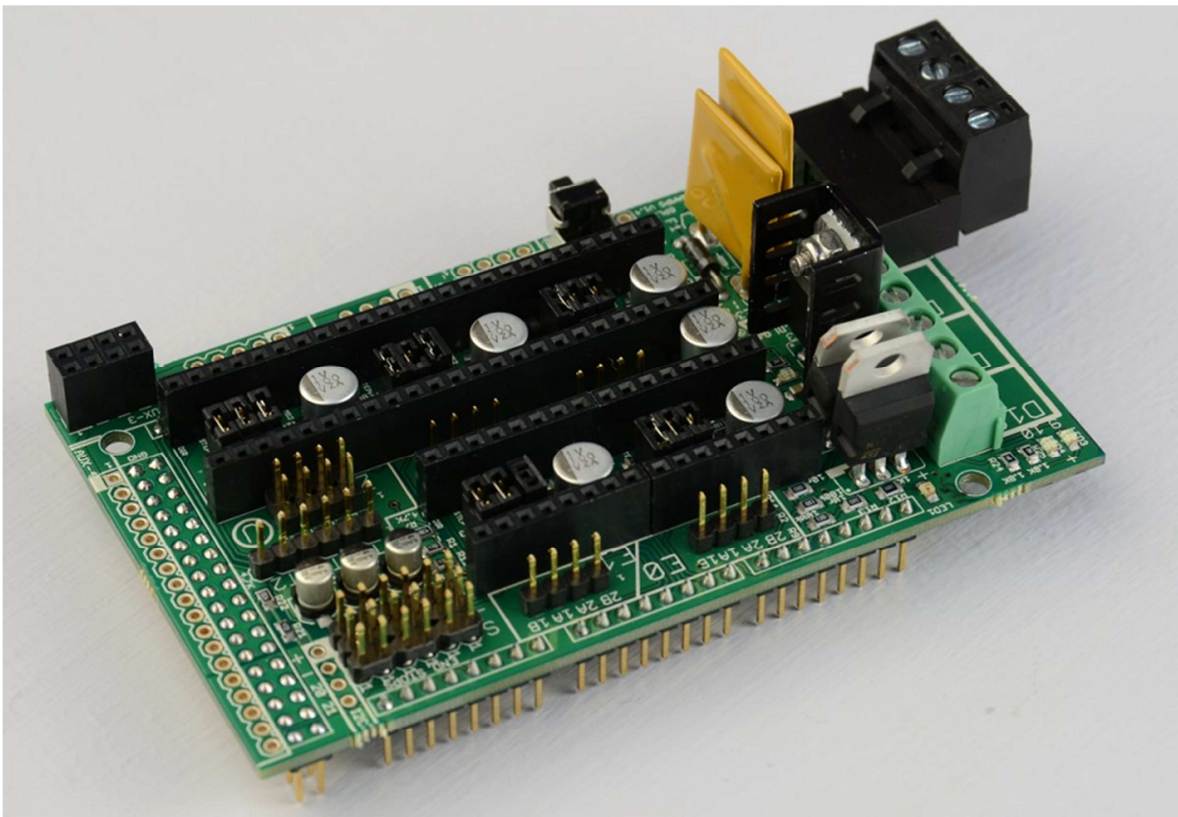


Figura 19. Tarjeta RAMPS 1.4

| | | | |
|--|--|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

La versión 1.4 utiliza montaje superficial condensadores y resistencias para cubrir más casos de emisión de borde. A partir de la versión 1.3 con el fin de que quepan más cosas ya no está diseñado como un fácil circuito de grabado. Si se quiere grabar una PCB o bien obtener la versión 1.25 o Generación 7 Electrónica. Versión 1.25 y anteriores son "1.5 capa de" tableros diseñados (es decir, es tablero de doble cara, pero una de las capas puede ser fácilmente reemplazado con alambre-jumpers) que se puede imprimir en su RepRap con el grabado resistir método pluma, o el hogar fabbed con transferencia de tóner. Esta placa se basa principalmente en Pololu_Electronics y el trabajo de Adrian por Tonok. Grabado de cobre resiste métodos sugeridos por Vik. También inspirada en la obra de Vik con EasyDrivers. Joaz en RepRapSource.com suministra definiciones de pines iniciales y muchas mejoras de diseño. Mucha inspiración, sugerencias e ideas de Prusajr, Kliment, Maxbots, Rick, y muchos otros en la comunidad RepRap. Estas comunidades también han venido desarrollando otras tarjetas que reemplazan la RAMPS e incluso integran la tarjeta Arduino Mega, tabla comparativa de las diferentes placas de interface de la electrónica y sus características. (Horne, RepRap Electronics, past present and future., 2013)

| Comparison table 1 | | | |
|--------------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| Board | RAMPS | Megatronics v2 | Minitronics |
| License | GPL | GPLv2 | GPL |
| Dimensions | 100mm x 60mm | 110mm x 95mm | 95mm x 55mm |
| Power supply | .+12v .+24v | .+12v | .+12v |
| Processor | Atmega2560/Atmega1280 | Atmega2560 | Atmega1281 |
| Speed | 16Mhz | 16Mhz | 16Mhz |
| Memory | 128KB/256KB | 256KB | 128KB |
| Mosfet Outputs | 3 | 5 | 4 |
| Stepper drivers | Module / A4988 | Module / A4988 | |
| Max Extruders | 2 | 3 | 1 (2 with add-on board) |
| Max stepper microsteps | x16 | x16 | x32 |
| Endstops | 6 | 6 | 3 |
| Thermistor inputs | 2 | 3 | 2 |
| Thermocouple | 0 (+2 externally) | 2 (+2 externally) | 0 |
| Programming IDE | Arduino | Arduino | Arduino |
| LCD option | yes | yes | no |
| Click Encoder or Keypad option | yes | yes | no |
| SD Card | yes (add-on board) | yes (built in) | no (external possible) |

Tabla 3. Comparativo características técnicas tarjetas interface 1

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

| Comparison table 2 | | | |
|--------------------------------|------------------------|--------------------|-------------------------|
| Board | RUMBA | Elefu RA V3 | RepRap easy Electronics |
| License | GPL | GPL | GPLv2 |
| Dimensions | 135mm x 75mm | 204mmx90mm | 170mm x 90mm |
| Power supply | .+12v .+24v.+35v | ATX PSU | .+12v to .+24v |
| Processor | Atmega2560 | Atmega2560 | ATmega1284P |
| Speed | 16Mhz | 16Mhz | 20Mhz |
| Memory | 256KB | 256KB | 256KB |
| Mosfet Outputs | 5 | 6 | 5 |
| Stepper drivers | Module / A4988 | Module / A4988 | Module / A4988 |
| Max Extruders | 3 | 3 | 2 |
| Max stepper microsteps | x16 | x16 | x16 |
| Endstops | 6 | 6 | 3 |
| Thermistor inputs | 4 | 4 | 6 |
| Thermocouple | up to 3 (add-on board) | 0 | 0 |
| Programming IDE | Arduino | Arduino | Arduino |
| LCD option | yes - Various modules | yes | Graphic fitted onboard |
| Click Encoder or Keypad option | yes | yes | yes |
| SD Card | yes (add-on board) | yes (add-on board) | yes, built in |

Tabla 4. Comparativo características técnicas tarjetas interface 2

2.5.3. Driver para motor Paso a paso A4988 Pololu

Las principales características y los datos técnicos de que se presentan a continuación se toman de la página principal de Pololu, (Pololu Robotics & Electronics, 2001)

Esta tarjeta A4988 DMOS Microsteppingsirve como controlador, traductor y Protección de sobre corriente; Este controlador de motor paso a paso permite controlar un motor paso a paso bipolar de hasta 2 A de corriente de salida por bobina, fig.20.

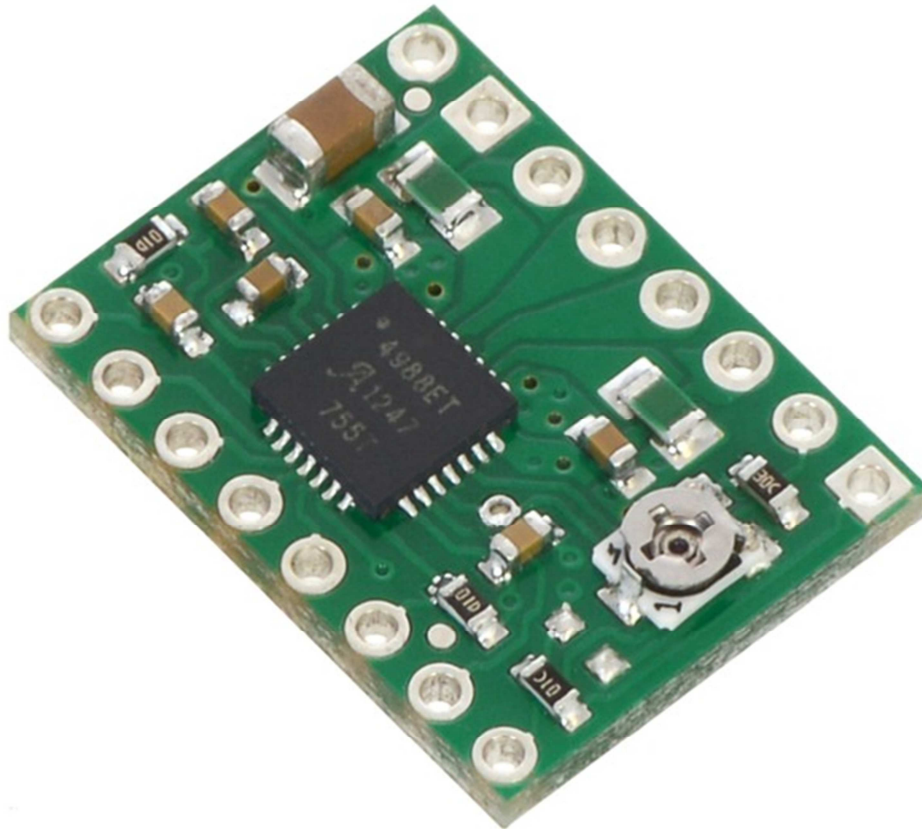


Figura 20. Tarjeta Driver Pololu

Estas son algunas de las características claves:

Interfaz de control de paso y dirección simple. Cinco resoluciones para los diferentes pasos: paso completo, de medio paso, un cuarto de paso, un octavo de paso, y un decimosexto de paso. Control de corriente ajustable le permite ajustar la salida de corriente máxima con un potenciómetro, que le permite utilizar tensiones superiores a la tensión nominal del motor paso a paso para lograr mayores tasas de paso. Control Inteligente de picar que selecciona automáticamente el modo de decaimiento de corriente correcta (disminución rápida o lenta decadencia). El exceso de temperatura de apagado térmico, bloqueo de insuficiencia de voltaje y protección de cruce de corriente. -Short-tierra y la protección de cortocircuito de carga.

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Las conexiones de alimentación

El controlador requiere una tensión de alimentación lógica (3-5,5 V) para ser conectado a través de los pines VDD y GND y una tensión de alimentación del motor (8-35 V) para ser conectado a través de VMOT y GND. Estos suministros deben tener condensadores de desacoplamiento adecuados cerca de la junta, y que debe ser capaz de entregar las corrientes esperados (picos de hasta 4 A para la alimentación del motor).

Es importante saber que esta placa utiliza condensadores cerámicos de baja ESR, lo que lo hace susceptible a destructivos picos de voltaje LC, especialmente cuando se utilizan cables de alimentación más de unos pocos centímetros. Bajo las condiciones adecuadas, estos picos pueden exceder los valores de máxima tensión de 35 V para el A4988 y permanentemente dañar la placa, incluso cuando la tensión de alimentación del motor es tan bajo como 12 V. Una forma de proteger al conductor de estos picos es poner un gran condensador de electrolítico (por lo menos 47 mF) a través de la potencia del motor (VMOT) y tierra en algún lugar cerca de la pizarra, ver ficha técnica Anexo 12.

Paso y micropasos

Los Motores paso a paso suelen tener una especificación de tamaño de paso (por ejemplo, 1,8 ° o 200 pasos por revolución), que se aplica a pasos completos. Un conductor micropasos como el A4988 se tiene resoluciones más altas, permitiendo ubicaciones entre pasos intermedios, que son alcanzados por la activación de las bobinas con los actuales niveles intermedios. Por ejemplo, la conducción de un motor en el modo de un cuarto de paso dará el motor 200 paso por revolución 800 micropasos por revolución mediante el uso de cuatro niveles de corriente diferentes.

La resolución (tamaño de paso) entradas de selección (MS1, MS2, MS3) y permitir la selección de las cinco resoluciones de paso de acuerdo con la siguiente tabla. MS1 y MS3 tener 100 kohmios resistencias de pull-down internos y MS2 tiene una resistencia interna pull-down 50kΩ, así que dejar estos tres clavijas de selección micropasos resultados desconectados en modo de paso completo. Para los modos micropasos funcionen correctamente, el límite de corriente debe ser lo suficientemente baja para que la limitación de corriente sea estable. De lo contrario, los actuales niveles intermedios no se mantienen correctamente, y el motor se saltará micropasos.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

| MS1 | MS2 | MS3 | Resolución Microstep |
|------|------|------|----------------------|
| Bajo | Bajo | Bajo | Paso completo |
| Alto | Bajo | Bajo | La mitad de paso |
| Bajo | Alto | Bajo | Un cuarto de Paso |
| Alto | Alto | Bajo | Un octavo paso |
| Alto | Alto | Alto | Un decimosexto paso |

Tabla 5. Combinaciones para programación de Driver

Las entradas de control

Cada impulso a la entrada de paso corresponde a uno micropaso del motor paso a paso en la dirección seleccionada por el pasador DIR. Tenga en cuenta que los pasadores de STEP y DIR no se tiran a cualquier voltaje determinado internamente, por lo que no deben salir de cualquiera de estos pines flotantes en su aplicación. Si lo que desea es la rotación en una sola dirección, puede atar DIR directamente a VCC o GND. El chip tiene tres entradas diferentes para el control de sus múltiples estados de energía: RST, SLP, y ES. Para obtener más información acerca de estos estados de energía, consulte la hoja de datos. Tenga en cuenta que la RST pin es flotante, y si usted no está usando el pasador, puede conectarlo a la adyacente SLP pines en el PCB para llevar en alto y permitir al a la tarjeta.

Limitación de corriente

Para lograr altas tasas de paso, la alimentación del motor suele ser mucho mayor de lo que sería permisible sin corriente activa limitante. Por ejemplo, un motor paso a paso típico podría tener una corriente nominal máxima de 1 A con una resistencia de la bobina 5Ω , lo que indicaría un suministro máxima del motor de 5 V. El uso de un motor de este tipo con 12 V permitiría mayores tasas de paso, pero la necesidad actual debe ser limitada a menos de 1 A para evitar daños en el motor.

El A4988 es compatible con dicha corriente activa limitante, y el potenciómetro de ajuste en el tablero se puede utilizar para ajustar el límite de corriente. Una

| | | | |
|--|--|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

forma de establecer el límite actual es de poner el controlador en el modo de paso completo y para medir el funcionamiento corriente a través de una única bobina del motor y sin fichar la entrada STEP. La corriente medida será 0,7 veces el límite de corriente (ya que ambas bobinas son siempre en y limitado a 70% del ajuste de límite de corriente en el modo de paso completo). Tenga en cuenta que el cambio de la tensión de la lógica, Vdd, a un valor diferente cambiará el ajuste del límite de corriente ya que la tensión en la "ref" pin es una función de Vdd.

Otra forma de establecer el límite de corriente es medir el voltaje en el pin "ref" y para calcular el límite de la corriente resultante (las resistencias de los sentidos actuales son 0.05Ω). La tensión pin ref es accesible en una vía que está circundada en la serigrafía inferior de la placa de circuito. El límite de corriente se refiere a la tensión de referencia de la siguiente manera:

$$\text{Límite de corriente} = VREF \times 2.5$$

Así, por ejemplo, si el voltaje de referencia es 0,3 V, el límite de corriente es de 0,75 A. Como se mencionó anteriormente, en el modo de paso completo, la corriente a través de las bobinas se limita a 70% del límite de corriente, así que para obtener una completa corriente de la bobina de paso 1 A, el límite de corriente debe ser de $1 \text{ A} / 0.7 = 1,4 \text{ A}$, que corresponde a una VREF de $1,4 \text{ A} / 2.5 = 0,56 \text{ V}$. Véase la hoja de datos A4988 para más información

2.5.4. Motores Paso a paso

A continuación presento una breve explicación del funcionamiento y las partes de un motor Paso a paso extraído d la página web todorobot. (TodoRobot, 2008)

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8°, es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360°. Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado en la posición

| | | | |
|---|-----------------------------------|---------|--|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas. El Principio de funcionamiento de estos motores es básico, estos motores están constituidos normalmente por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en su estator ver fig.21.



Figura 21. Rotor de un Motor Paso a paso

Las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente como se observa en la fig. 22. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) deber ser externamente manejada por un controlador.

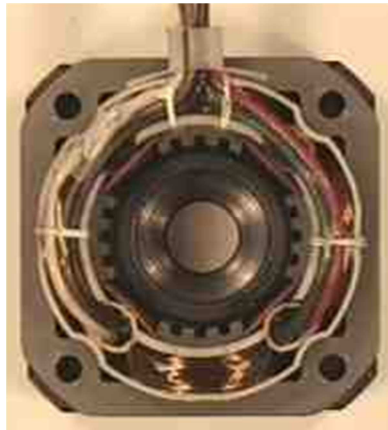


Figura 22. Estator de un motor Paso a paso

Existen dos tipos de motores paso a paso de imán permanente fig.23:

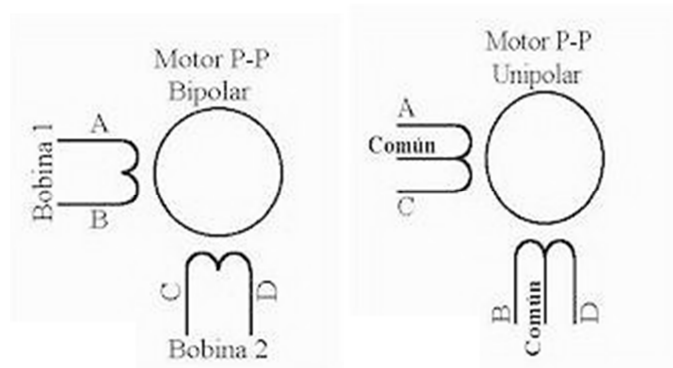


Figura 23. Bobinado de Motor bipolar y Unipolar

Bipolar: Estos tiene generalmente cuatro cables de salida, necesitan ciertos trucos para ser controlados, debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento. Es necesario un H-Bridge por cada bobina del motor, es decir que para controlar un motor Paso a Paso de 4 cables (dos bobinas), se necesita usar dos H-Bridges iguales.

Unipolar: Estos motores suelen tener 6 o 5 cables de salida, dependiendo de su conexión interna. Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar.

Motor: NEMA 23, fig.24.

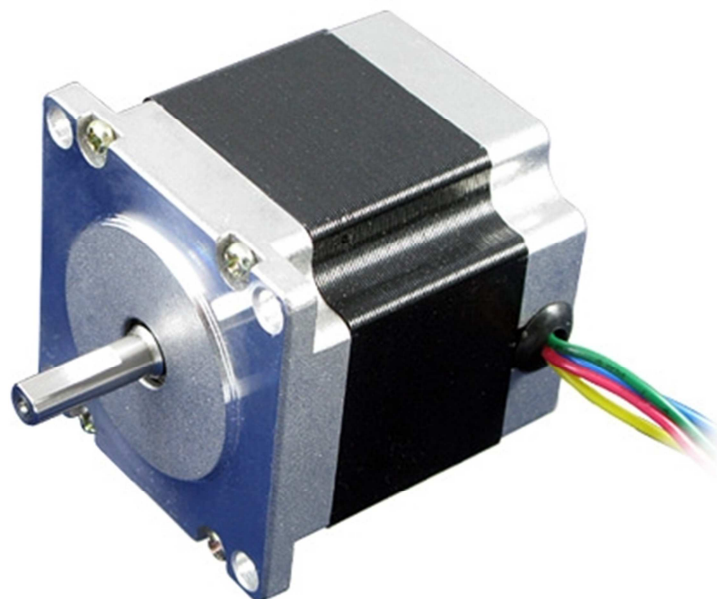


Figura 24. Motor Paso a paso

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

2.5.5. Finales de Carrera

Dentro de los componentes electrónicos, se encuentra el final de carrera o sensor de contacto (también conocido como "interruptor de límite") o limitswitch, son dispositivos eléctricos, neumáticos o mecánicos situados al final del recorrido de un elemento móvil como se ilustra en la fig. 25, como por ejemplo una cinta transportadora, con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito.

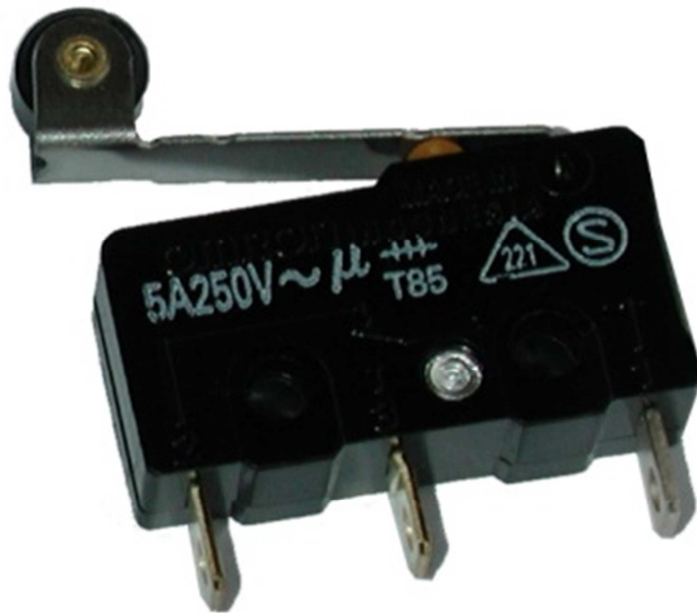


Figura 25. Final de carrera

Internamente pueden contener interruptores normalmente abiertos (NA o NO en inglés), cerrados (NC) o conmutadores dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados, de ahí la gran variedad de finales de carrera que existen en mercado. Los finales de carrera están fabricados en diferentes materiales tales como metal, plástico o fibra de vidrio. (García, 2012)

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

3. METODOLOGÍA

Para elaborar este proyecto se recolectó información en internet, revistas y libros acerca de las impresoras 3D actuales y sus avances, identificando el tipo de proyecto y las etapas para el desarrollo de la máquina.

Luego se realizó el diseño mecánico de la máquina iniciando con el modelado 3D en Autodesk Inventor® y siguiendo con la selección de materiales de fácil consecución y bajo costo, y de los procesos necesarios para la manufactura, el problema se abordó por partes de la siguiente forma: estructura, carro del eje X, carros de los ejes Y y Z, sistema de alimentación de material, extrusor, panel de control, soporte para fuente y tarjetas electrónicas, y soporte para carreta de material; finalmente se modeló el ensamble general, luego de tener el modelo 3D con sus respectivos planos, en los cuales se especificaron los materiales y procesos de manufactura necesarios para la construcción de las partes y el montaje del sistema, se procedió a la fabricación.

De manera alternativa se adelantó trabajo en la selección de la fuente, de las tarjetas electrónicas (Arduino, RAMPS1.4), de los motores paso a paso, de los finales de carrera, y de la tarjeta SD, además se diseñó el circuito electrónico de control y el panel. Por último, en esta fase de diseño, se seleccionó el software de interface CURA de entre varias opciones "open source" disponibles.

Después de tener las piezas fabricadas y todos los accesorios y componentes eléctricos se realizó el ensamble en el siguiente orden: ensamble de la estructura, ensamble del carro del eje X, ensamble de los carros de los ejes Y y Z, montaje de los carros X, Y, Z en la estructura, ensamble del sistema de alimentación, ensamble del soporte para carreta de material, ensamble del extrusor, ensamble de soporte para fuente y tarjetas electrónicas, conexión de la electrónica, preparación de la fuente, conexión de los motores paso a paso, montaje y conexión de finales de carrera, conexión del extrusor, conexión del panel de control y de la tarjeta SD.

Concluyendo los ensambles mecánicos y electrónicos se ajustó el firmware que fue descargado en la placa Arduino y por último después de tener todo montado se configuró la comunicación de la máquina por medio del software de interface para crear el código-G compatible con el firmware instalado y realizar el ajuste y la calibración de la máquina.

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Durante el ajuste y la calibración se presentaron varios inconvenientes en las primeras pruebas, los errores en el ensamble y conexiones eléctricas fueron resueltos, y se dio inicio a la documentación y edición del informe presentado.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Diseño

Para realizar esta impresora se tuvo en cuenta que la mayoría de los materiales fuera de consecución local y bajo costo y utilizando procesos de corte laser, corte por chorro de agua, micro perforado, fresadora y torno convencional:

4.1.1. Estructura

La estructura es el marco externo que va soportar los carros de los ejes X, Y, Z, el extrusor, la bandeja donde se encuentra instalada la fuente y la electrónica, panel de control y el soporte del rollo de material, diseñada en un tipo de perfil T-Slot de Aluminio práctico por la variedad de accesorios con que se cuenta para la fijación de los mismos como se muestra en la fig.26, también permite que la estructura sea modular, es decir que las uniones se pueden desplazar a lo largo de la ranura del perfil.

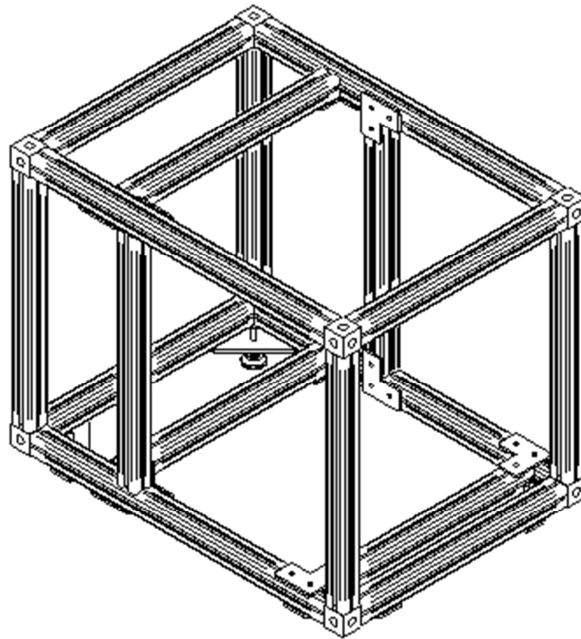


Figura 26. Estructura

| | | | |
|---|-----------------------------------|---------|--|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

La estructura está compuesta por un marco inferior y uno superior unidos con unos cubos perforados que también permiten la fijación de los parales de las cuatro esquinas, adicionalmente tiene dos parales en los laterales para la fijación del carro del eje Y, en el marco inferior tiene dos travesaños que son para soportar el carro del eje X, estos están asegurados al marco con un accesorio en L, igual que los laterales, Anexo 1

En la parte inferior tiene una placa esquinera que sirve para dar rigidez al marco y soporte para el montaje de las patas niveladoras fig.27

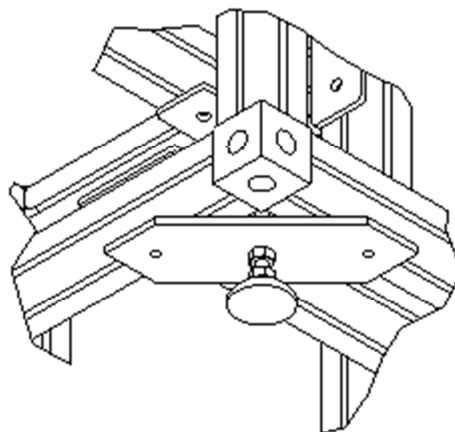


Figura 27. Soporte para Patas Niveladoras

4.1.2. Carro del Eje X

El carro del eje X instalado en el marco inferior de la estructura y asegurado de los dos travesaños que permiten centrarlo respecto a la posición de desplazamiento del eje Y, ilustrado en la fig.28 y planos en el Anexo 2

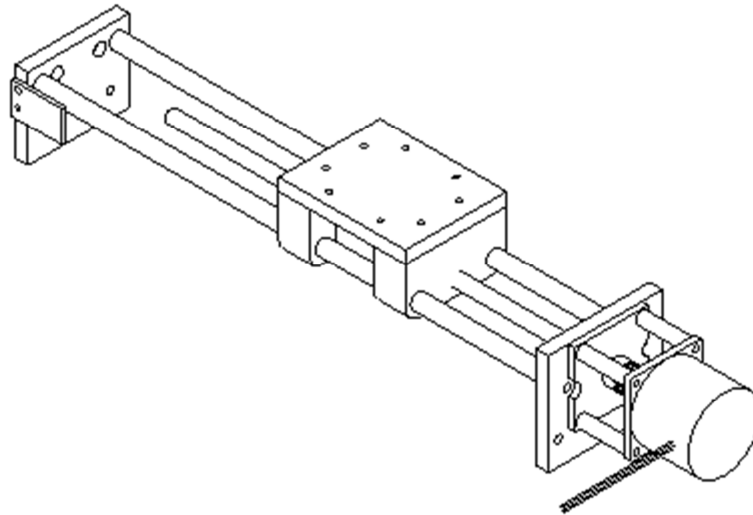


Figura 28. Carro Eje X

Está compuesto por dos placas laterales que sirven para fijación al perfil, amarre de los ejes de guía, leva para el sensor y en el extremo derecho tiene cuatro perforaciones adicionales para asegurar el motor paso a paso separado con unos bujes, el eje del motor, se empalma con una barra roscada M10 X 1.5 con un acople que asume des-alineamientos mínimos para transmitir el movimiento al bloque central que se desliza sobre los ejes de guiado, este eje en particular desplaza la base donde se realiza la impresión como se muestra en la fig.29.

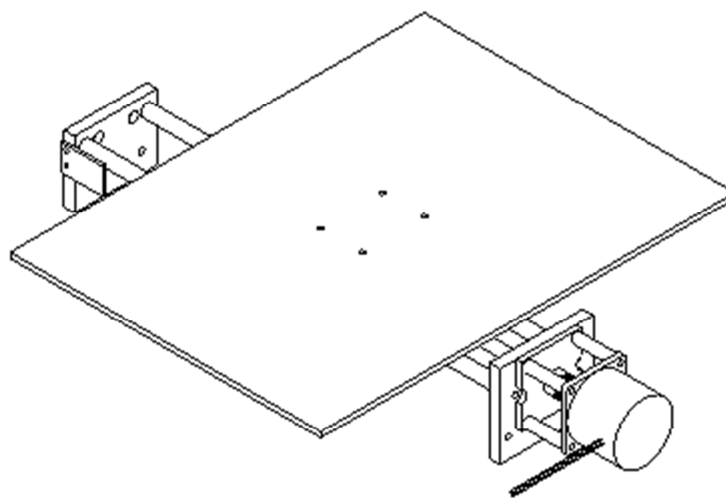


Figura 29. Carro Eje X con Base Móvil

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

- Calculo para determinar el par de carga del motor paso a paso

Para encontrar el par de los motores necesario para accionar los sistemas que utilizamos en la impresora, representados como los ejes X-Y-Z. Del sistema de posicionamiento cartesiano. El accionamiento se realiza con motores de 1.8° por paso, unido mediante un acoplamiento elástico de plástico directamente a un husillo, con un paso de 1.5 mm. La sujeción está formada por un soporte con rodamientos, en el otro extremo se dispone un rodamiento sin precarga (FAG, 2000). El elemento de guiado está formado por una guía lineal de 12 mm, con un patín sin precarga, fig30. La masa de todos los elementos que carga cada eje X-Y-Z es de 1.5 Kg aproximadamente.

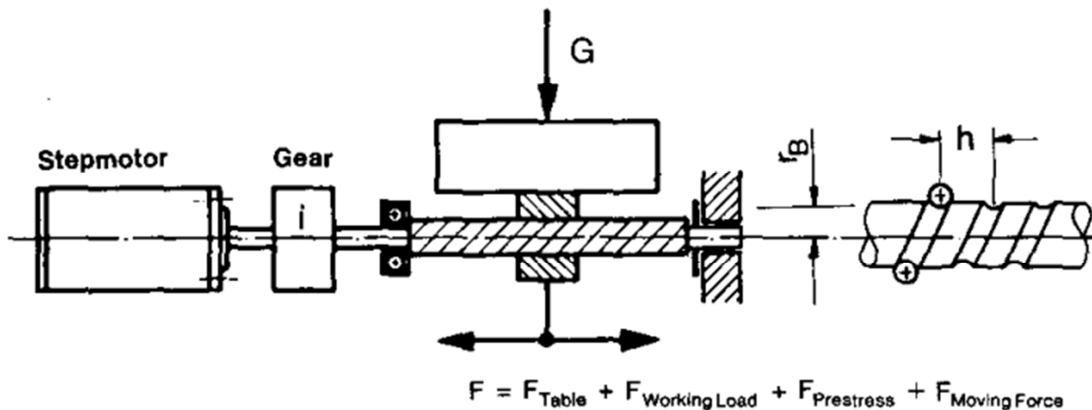


Figura 30. Esquema de Fuerzas para los carros de los ejes X, Y, Z.

F= Fuerza total [N]

h= paso del husillo [cm]

r_B = rodamientos para husillos radio medio [cm]

μ_B = coeficiente de fricción cojinete del husillo

i = relación de transmisión

η = Eficiencia coeficiente de conversión de M a fuerza axial

| | | | |
|---|-----------------------------------|---------|--|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

$$\eta = \frac{\tan \alpha}{\tan(\alpha + \varphi)}$$

El torque del motor se obtiene de la suma del torque de la carga más el torque de la aceleración

$$M = M \text{ carga} + M_I \text{ [Ncm]}$$

$$M_I = F \left(\frac{h}{2\pi\eta} + r_B \cdot \mu_B \right) \frac{1}{i} \text{ [Ncm]}$$

M_I = Torque aceleración

Determinación de la carga F en la tuerca del Husillo, fig.31.

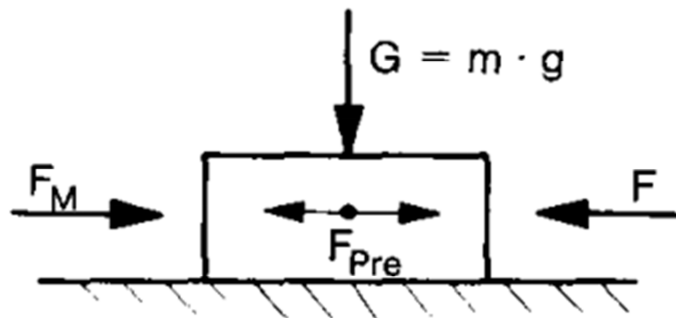


Figura 31. Esquema de Fuerzas que soporta la palca móvil del carro

$$F = \mu \cdot G + F_M + F_{pre} \text{ [N]}$$

G = peso del carro y de la estructura [Kg] ≈ 10 m.N

F_M = fuerza de desplazamiento [N]

F_{pre} = pretensado cuando se utiliza contra tuerca

μ = coeficiente de fricción

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

m = masa [Kg]

- Datos del Montaje

G= 20 N

F_M = 8.5 N

μ = 0.1 acero y bronce

η = 0.3 para husillos de acero con tuerca de bronce

Diámetro de Husillo = 12mm

Longitud del Husillo = 510 mm

Paso h = 1.5mm

Recorrido = 300mm

r_B.μ_B = 0.15 cm para fricción entre acero y bronce

- Requerimientos

Velocidad = 3 m/min = 5cm/s

Tiempo de posicionamiento = 1mm =0.1s

Resolución = 0.01mm

- Torque requerido

$$F = 0.1 * 20N + 8.5N + 0 = 2.85N$$

$$ML = 2.85N \left(\frac{1.5}{2\pi * 0.3} + 0.15cm \right) = 2.70 Ncm$$

Para este cálculo no se tiene relación de transmisión ni precarga

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

- Momento de Inercia

$$J_{ext} = J_{rot} + J_{trans} \quad [\text{Kgcm}^2]$$

$$J_{rot} = 0.5 * \pi * r^4 * L * \gamma [\text{Kgcm}^2]$$

$$J_{rot} = 0.5 * \pi * 0.6\text{cm}^4 * 51\text{cm} * 7.85 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} * 10^{-3} = 0.0815 \text{ Kgcm}^2$$

$$J_{trans} = m \left(\frac{h}{2\pi} \right)^2 [\text{Kgcm}^2]$$

$$J_{trans} = 1.5 \text{ Kg} \left(\frac{0.15}{2\pi} \right)^2 = 0.0832 \text{ Kgcm}^2$$

$$J_{ext} = 0.0815 + 0.0832 = 0.898 \text{ Kgcm}^2$$

- Frecuencia de operación

$$V = \frac{h}{Z * i} * f \quad [\text{cm/s}]$$

$$f = \frac{V * Z * i}{h} = \frac{5 \frac{\text{cm}}{\text{s}} * 200 \text{p/rev}}{0.15 \text{ cm}} = 6666.7 \quad [\text{S}^{-1}] = [\text{Hz}]$$

- Datos del motor seleccionado

Ángulo de paso: 1.8 grados

Paso por vuelta: 200

Fases: 2

Alambres No.: 4

Corriente: 2.8A

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Par: 0.9 N.m (127 oz * in)

Diámetro de Eje, 6.35mm

Inductancia: 1.2 mH

Resistencia: 0,8 ohmios

Torque freno: 400 gcm

Inercia del rotor: 280 g-cm²

Peso: 0,6 kg (1,4 libras)

Largo: 54 mm

Este motor es seleccionado sobredimensionado para tener la posibilidad en un futuro de cambiar el extruder por una herramienta de corte.

4.1.3. Carros de los Ejes Y, Z

Los ejes Y y Z están acoplados con el bloque central para tener un diseño más compacto, estos sistemas al igual que el eje X cuentan con ejes de guiado, barra roscada de M10 X 1.5 y su respectivo acople para transmitir el movimiento, el carro del eje Y tiene dos placas laterales para la fijación al perfil y a su vez la del extremo derecho sirve para la fijación del motor paso a paso con los bujes separadores como lo podemos observar en la fig.32, el eje del carro Z en la placa del extremo superior se fija el motor y en la placa del extremo inferior se fija el extrusor y el racor para conectar la manguera de alimentación del material que se va a extruir, planos Anexo 3.

| | | | |
|---|-----------------------------------|---------|--|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

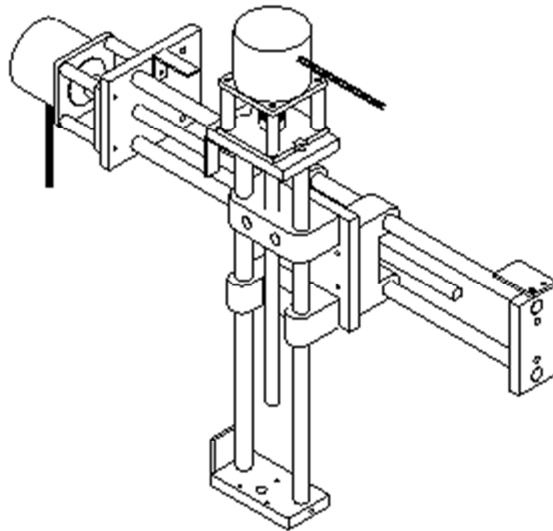


Figura 31. Carros Ejes Y, Z

4.1.4. Sistema de Alimentación de Material

La alimentación del material es controlada por un motor paso a paso instalado en una placa que cuenta con dos perforaciones para la fijación al perfil de la estructura, en el eje del motor se instala un piñón de 12mm de diámetro preferiblemente con un paso de 2mm y dientes agudos, a la misma placa se asegura un sistema que tiene una polea con un rodamiento (ref. 624-2Z) para que gire libremente, estos están insertados en el alojamiento de una placa que esta pre-tensionada con dos resortes para generar tensión y aumentar la fricción cuando pasa el hilo de material entre el piñón y la polea, la tensión de la placa debe ser ajustable, Fig. 33 y planos Anexo 4.

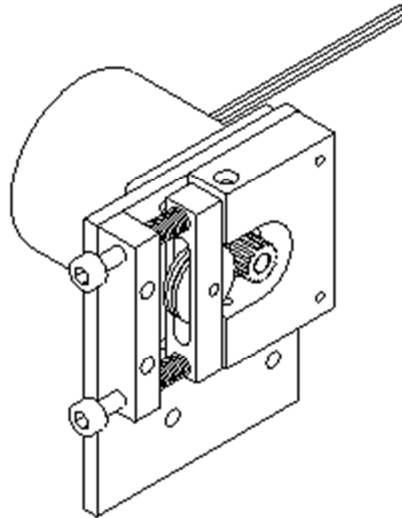


Figura 32. Sistema de Alimentación

4.1.5. Extrusor

El extrusor está basado en un modelo Budaschnozzle 1.3 que se encuentra publicado en la Web, la cual se le realizó una reforma de diseño que surgió durante las primeras pruebas y que se evidenciará más adelante³.

El Extrusor según la fig.34, está compuesto por una placa en fibra de vidrio con agujeros para la fijación al carro del eje Z, también tiene un agujero para atravesar un buje que va al interior en un material aislante (Teflón) por donde pasa el material, rodeado de arandelas y discos disipadores fabricados en aluminio, todo esto se conecta a través de un buje aislante con un espárrago perforado que soporta la placa donde se aloja la resistencia, el termistor y por último la boquilla que es la que define el diámetro del filamento que va a ser extruido, Anexo 5.

³<http://reprap.org/wiki/LulzBot/Budaschnozzle>

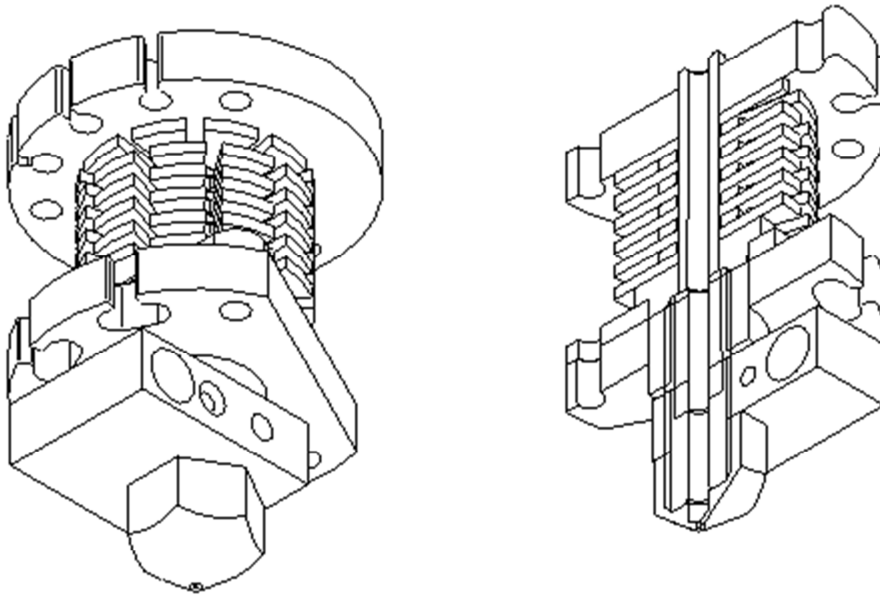


Figura 33. Extrusor

4.1.6. Panel de control

El panel de control se instala con el fin de manipular la máquina manualmente sin la necesidad de estar conectada a un ordenador y para esto también se incorpora una tarjeta para lectura de memoria SD.

Consta de una lámina de acero inoxidable fabricada por corte laser y doblada en forma de L, con dos ranuras para la fijación al perfil, la cual soporta una pantalla LCD 4 x 16, un encoder (318,ENC130175F-12PS) a la cual se diseñó e imprimió una perilla; que fue una de las primeras piezas que se fabricó en la impresora y por último un pulsador para el reset como se ilustra en la fig.35, Anexo 6.

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

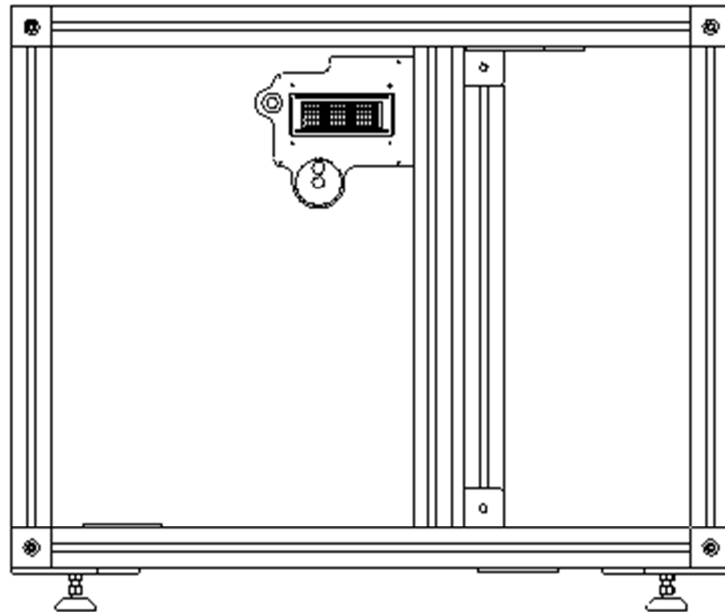


Figura 34. Panel de Control

4.1.7. Soporte para Fuente y Tarjetas Electrónicas

Esta bandeja está fabricada en una lámina doblada en acero inoxidable de 1.5mm de espesor, con cuatro perforaciones para fijarla al perfil de la estructura, en extremo tiene perforaciones para fijar la fuente de energía y en el otro perforaciones para fijar la tarjeta Arduino, la Ramps 1.4 y el ventilador de refrigeración de la tarjetas, en la parte central tiene dos agujeros para las prensaestopas por donde salen los cables de los motores y los finales de carrera, fig.36, plano Anexo 7.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

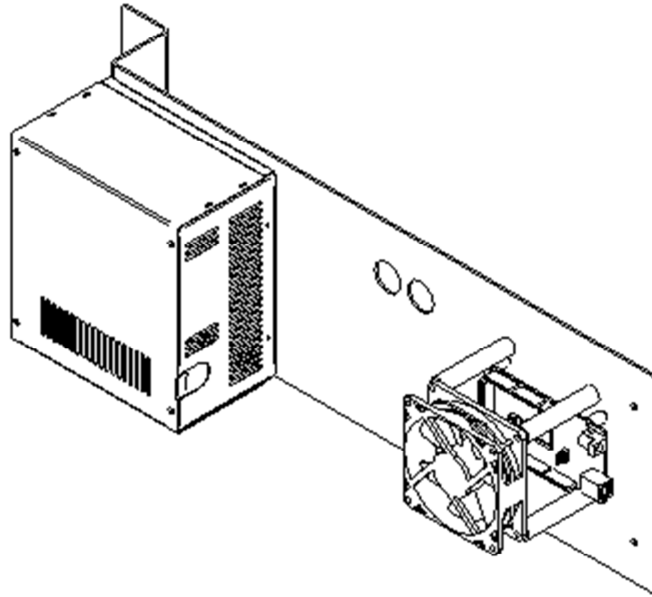


Figura 35. Soporte para Componentes Eléctricos

4.1.8. Soporte para Carreta de Material

El soporte para la carreta de alimentación ubicado en la parte superior de la máquina está fabricado con dos placas laterales de aluminio unidas entre si con dos espárragos de M12x 1.75, recubiertos con un tubo para que la carreta ruede sobre ellos libremente, para fijar al perfil tiene dos ángulos perforados, como se puede observar en la fig.37, planos Anexo 8.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

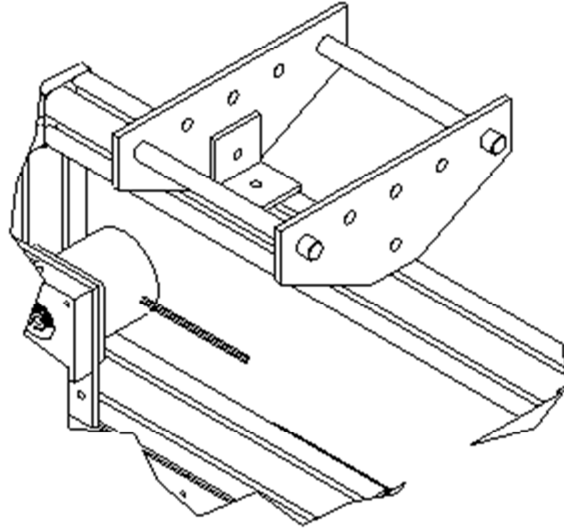


Figura 36. Soporte para Rollo de Material

4.1.9. Ensamble general

En la fig.38, se puede observar el diseño en 3D de la máquina con todas sus partes ensambladas y su respectivo plano en el Anexo 9.

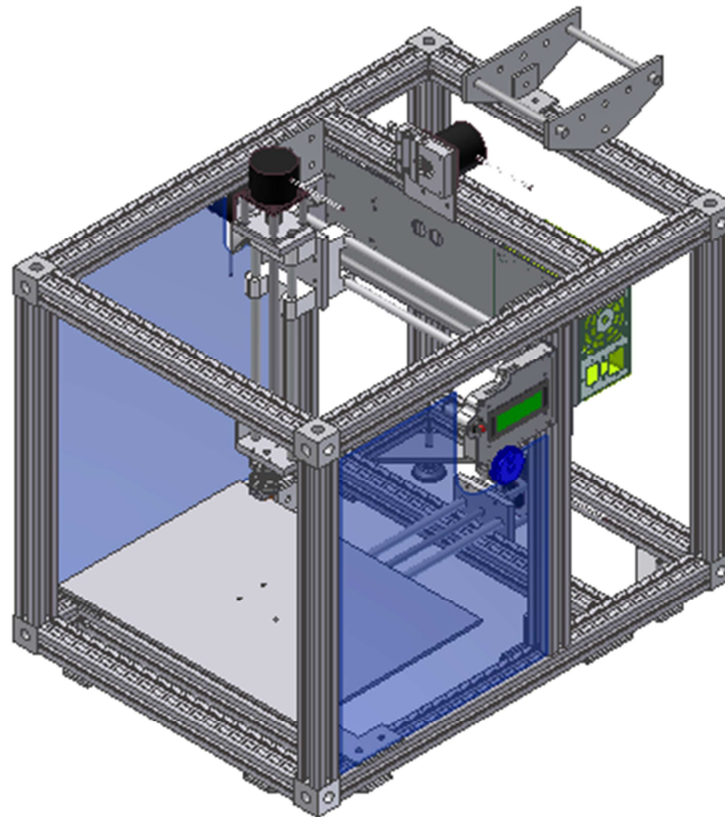


Figura 37. Ensamble General

4.2. Ensamble

Para ensamblar esta máquina es necesario tener listo una serie de piezas y accesorios tales como tornillos, tuercas, varillas lisas y roscadas, rodamientos, resortes y demás elementos electrónicos como motores, tarjetas, termistores, resistencia, cables y otros elementos auxiliares.

Estos materiales pueden adquirirse de muchas maneras unos fabricados otros son comerciales incluso es posible encontrar Kits que engloban gran parte en sitios web.

4.2.1. Ensamble de la estructura

Para ensamblar la estructura se requiere los siguientes materiales:

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

4 Perfiles de 38 x 38 x 610mm cortados bien a escuadra y roscados M8 en los dos extremos

4 Perfiles de 38 x 38 x 640mm cortados bien a escuadra y roscados M8 en los dos extremos

2 Perfiles de 38 x 38 x 640mm cortados bien a escuadra

4 Perfiles de 38 x 38 x 425.8mm cortados bien a escuadra y roscados M8 en los dos extremos

3 Perfiles de 38 x 38 x 425.8mm cortados bien a escuadra

8 Cubos perforados para fijación de perfil

10 Palcas en L para fijación de perfil

4 Placas Esquineras, soporte de para pata niveladora

4 Patas niveladoras, con vástago M8

28 Tuercas para Perfil M6

8 Tuercas M8

24 Tornillos Socket M8 x 20mm

28 Tornillos Button M6 x 15mm

Algunos materiales se ilustran en las fig.39,40.

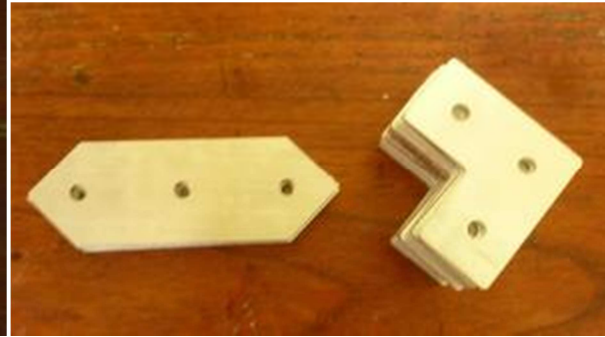


Figura 38. Perfiles y Cubos de Fijación Niveladora y Placas en L

Figura 39. Soportes Patas Niveladora

El ensamble de la estructura se realizó primero armando dos marcos el inferior y el superior uniendo los perfiles de 610mm y 425.8mm roscados en la puta con los cubos perforados en las cuatro esquinas del marco, se aseguraron con tornillos Socket M8 x 20, los perfiles T-Slot utilizados en este proyecto son muy prácticos por la flexibilidad que prestan para los ensambles pero se debe tener en cuenta de introducir por las ranuras de cada perfil las tuercas que se van a necesitar, esto en los casos donde se tapan las puntas del perfil o las entradas de las ranuras fig.41. Después de tener los marcos como se ilustra en la fig. 42 se procede a fijar los párales (perfiles de 640mm) para unir los dos marcos y formar un cubo; luego se define la parte inferior para instalar las placas esquineras fijándolas con las tuercas de perfil que se ingresaron en las ranuras previamente y los tornillos botton M6 x 15mm, como se ilustra en la fig.43. Luego se procede a instalar las patas niveladoras y se aseguran con las tuercas M8 para finalmente tener una estructura como se muestra en la fig. 44 y 45.



Figura 40. Tuercas previamente introducidas en el perfil



Figura 41. Marcos pata niveladora



Figura 42. Placa esquinera con pata niveladora



Figura 43. Estructura Ensamblada niveladoras



Figura 44. Estructura con patas niveladoras

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Instalación de los dos párales ubicados en los laterales de la estructura para esto primero se fijan las placas en L a la estructura tanto en el marco inferior como el superior con los tornillos botton M6 x 15mm, luego se monta el perfil de 640mm y de igual forma lo aseguran a las placas en L.

De los tres perfiles que van como travesaños de 425.8mm, se instaló el del marco superior que soporta el alimentador y los que van en el marco inferior se pueden instalar de una vez o también fijarlos primero en el carro del Eje X y luego fijar todo el conjunto a la estructura para mayor comodidad.

4.2.2. Ensamble del carro del Eje X

Para este ensamble se requieren los siguientes componentes:

1 Placa lateral

1 Placa lateral con fijación de Motor Eje X

2 Ejes de guiado

1 Tornillo Posicionamiento con rosca M10

2 Arandela de Fijación de Tornillo

1 Tapa Lateral

1Placa Roscada bloque central

1 Placa de guiado bloque central

1 Pieza para unión de placas de bloque central Eje X

1 Placa base

1 Motor paso a paso Nema 23

4 Bujes Separadores

1 Acople para eje del motor

4 Tornillos socket M6x 20mm

4 Tornillos socket M5x 60mm

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

2 Tornillos socket M5x 45mm

2 Tornillos socket M5x 25mm

2 Tornillos socket M5x 15mm

2 Tornillos socket M5x 10mm

1 Tornillos socket M4x 10mm

4 tornillos avellanados M5 x 10mm

4 Turcas para perfil M6

En la fig.46 se ilustran las piezas necesarias para el ensamble del carro del eje X.

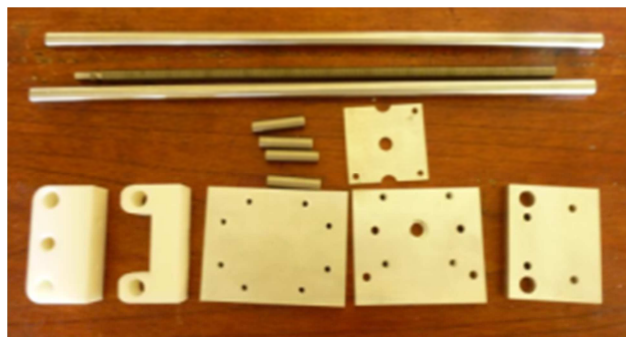


Figura 45. Piezas Carro Eje X

Antes de iniciar el ensamble es importante verificar que las guías deslicen suavemente en los agujeros de las placas del bloque de guiado y ajustar si es necesario, estas placas se ensamblan con el soporte de la base formando un bloque, después de ensamblada se vuelve a verificar que la guías deslicen suavemente, luego se prepara el motor paso a paso realizándole una cara plana en el ejesi no la trae de fábrica, con el fin de asegurar el acople para que no se gire como se muestra en la fig.47.



Figura 46. Preparación de Motores

Se une el motor y tornillo de posicionamiento roscado M10 con el acople, luego se ensambla el motor a la placa lateral con las dos arandelas de fijación instalada en la ranura de la barra roscada y se asegura con los tornillos socket M5x 60mm y separándolo con la tapa lateral y los bujes separadores como se observa en la fig. 48.

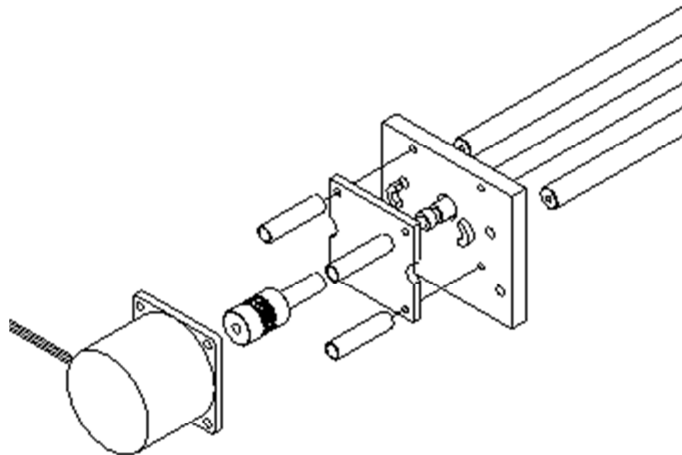


Figura 47. Ensamble de motor, acople y tornillo de posicionamiento

Luego se fijaron los ejes de guiado para introducirle el bloque central previamente ensamblado y roscándolo para liberar espacio y poder instalar la tapa lateral que falta para finalmente obtener un sistema como se ilustra en la fig. 49.

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |



Figura 48. Carro de eje X

4.2.3. Ensamble carros de los ejes Y, Z

Como se mencionó anteriormente estos carros están unidos por el bloque de guiado central y para el ensamble se utilizaron los siguientes materiales:

- 1 Placa lateral fijación motor eje Y
- 1 Placa lateral eje Y
- 2 Eje de guiado de 420mm para el eje Y
- 2 Eje de guiado de 320mm para el eje Z
- 1 Tornillo posicionamiento con rosca M10 por 360mm para el eje Y
- 1 Tornillo posicionamiento con rosca M10 por 260mm para el eje Z
- 4 Arandela de fijación de tornillo
- 2 Tapa lateral
- 2 Placa roscada bloque central
- 2 Placa de guiado bloque central
- 1 Placa de acoplamiento de Ejes Y-Z
- 1 Leva para final de carrera

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

2 Motor paso a paso Nema 23

8 Bujes separadores

2 Acople para eje del motor

4 Tornillos socket M6x 20mm

8 Tornillos socket M5x 60mm

4 Tornillos socket M5x 45mm

4 Tornillos socket M5x 25mm

4 Tornillos socket M5x 15mm

4 Tornillos socket M5x 10mm

2 Tornillos socket M4x 10mm

5 Turcas para perfil M6

1 Tornillo Button M6 x 15mm

En la fig. 50 se ilustran los materiales principales para este ensamble



| | | | |
|---|-----------------------------------|---------|--|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Figura 49. Piezas Ensamble Eje Y, Z

Antes de ensamblar estos carros se revisó que las guías deslizaran suavemente en los agujeros del bloque central (Placa roscada y de guiado), el ensamble del motor, acoples, tornillo de posicionamiento con rosca M10, placa lateral para fijación de motor, tapa lateral y bujes separadores; se realiza de la misma forma que la del eje X y que se ilustra en la figura 21. Después de fijar las guías se ensamblaron las placas de roscado y de guiado en cada carro por independiente con sus respectivas placas laterales para luego ensamblarlos como muestra en la fig. 51 con la placa de Acoplamiento de Ejes Y-Z.



Figura 50. Ensamble de Ejes Y, Z.

4.2.4. Montaje de los carros X, Y, Z en la Estructura

El ensamble de los ejes Y,Z se realizó fijando las placas laterales del carro del eje Y a los perfiles laterales asegurándolos con los tornillos socket de M6 X 20 y las tuercas que se introdujeron previamente en las ranuras del perfil en la posición más alta que se pueda, esto para cuando se desplace el eje Z al mínimo recorrido no se choque con la base, ilustrado en la fig. 52 y 53.



Figura 51. Ensamble de Ejes Y, Z, Fijar los las placas laterales



Figura 52. Posición Inicial para Fijar los las placas laterales

En el eje X se ensamblaron los perfiles de 425.8mm (travesaños) con las placas laterales del carro con tornillos socket de M6 X 20 mm en una posición centrada para luego montar todo el conjunto completo a la estructura asegurándolo de las placas en L para fijación al perfil y por ultimo de ensamble la placa base amarrándola con los tornillos Avellanados M5 x 10mm, fig. 54.



Figura 53. Ensamble de Eje X y la Placa Base

4.2.5. Ensamble del sistema de alimentación

Maratales utilizados:

- 1 Soporte para fijación de alimentador al perfil
- 1 Placa para guiado del material

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

- 1 Placa fija tensor de alimentación material
- 1 Soporte para rueda de apoyo alimentación de material
- 4 Buje separador
- 1 Polea de contrapresión
- 1 Piñón paso a paso de 2mm y dientes agudos para eje del motor
- 1 Motor paso a paso Nema 23
- 1 Rodamiento de bolas ref. 624-2Z
- 2 Resortes de compresión con \varnothing interno de 6mm, \varnothing de alambre 0.8mm, número de espiras 6 y una longitud total de 18mm.
- 2 Racores 3/16 con rosca de 1/8
- 1 Manguera de 3/16 de 600mm de longitud
- 2 Tornillos socket M6x 15mm
- 2 Tornillos socket M5x 45mm rosca completa
- 2 Tornillos socket M5x 20mm
- 2 Tornillos socket M4x 35mm
- 1 Tornillos socket M4x 15mm
- 2 Tornillo Button M6 x 15mm
- 2 Tuercas M5
- 3 Tuercas M4
- 2 Tuerca para Perfil M6
- 1 Prisionero M4

Ilustración de materiales del sistema fig. 55.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

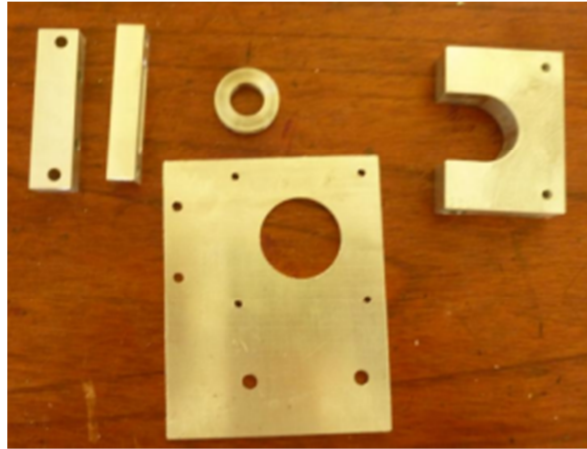


Figura 54. Materiales para Sistema de Alimentación

Primero se insertó el rodamiento con ref. 624-2Z en la polea de contrapresión con un ajuste forzado y se ensambló en el soporte con el tornillo socket M4x 15mm y se aseguró con una tuerca, luego se acopló con la placa fija del tensor con los tornillos socket M5x 45mm separado con los resortes como se ilustra en la fig. 56, por otro lado se montó el piñón al motor paso a paso y se aseguró con un prisionero M4 para luego fijarlo al soporte del alimentador separado con cuatro bujes con los tornillos socket M5x 20mm de un costado y el otro con los tornillos socket M4x 35mm y a la vez asegurar la placa que guía el material de alimentación y el sistema de contrapresión que se ensambló previamente con los tornillos socket M5x 20mm y por último se instaló el racor de 3/16 para tener un ensamble completo como se muestra en la fig. 57.



| | | | |
|---|-----------------------------------|---------|--|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Figura 55. Sistema para Contrapresión de Material
 Figura 56. Sistema de Alimentación

El soporte de fijación cuenta con dos perforaciones para asegurar este sistema al perfil con los tornillos Button M6 x 15mm y las tuercas para perfil instaladas previamente en travesaño del marco superior y en una posición centra como se ilustra en la fig. 58.

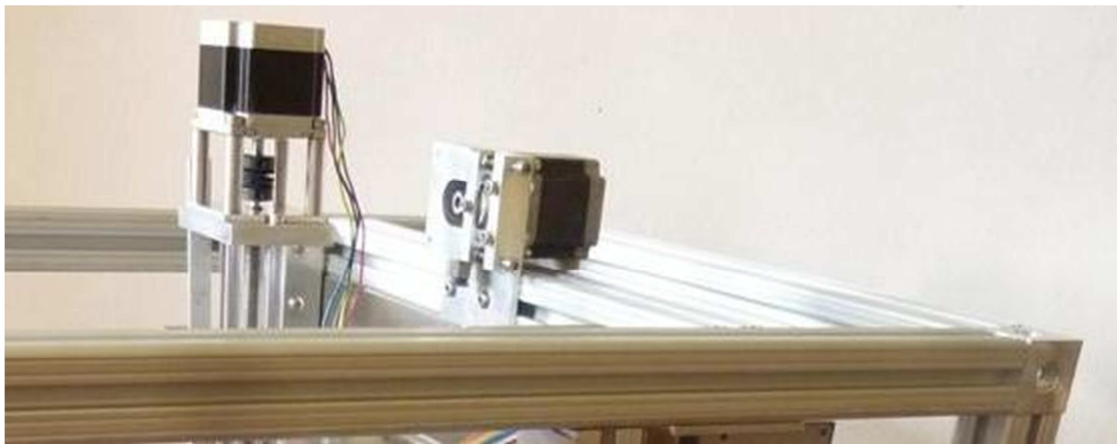


Figura 57. Sistema de alimentación instalado

Ensamble de soporte para carreta de material

El ensamble del soporte se realizó con los siguientes componentes:

2 Placas laterales

2 Pie amigo para fijación de placa lateral

2 Barras roscadas de M12 x160mm de longitud

2 Tubos en PVC con diámetro interno de 12mm y 110mm de longitud

2TornillosButton M6 x 20mm

2TornillosButton M6 x 15mm

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

4 Tuercas M12

2 Tuercas M6

2 Tuercas para perfil M6

Primero se ensambló las placas laterales con los pie amigo, asegurándolos con los tornillos Button M6 x 20mm y las tuercas M6 de la perforación inferior de las placas laterales y alineando las caras planas que van a asentar con el perfil; luego se roscaron una tuerca M12 en cada una la barras roscadas en un extremo y se insertaron en los agujeros de 12mm de las placas laterales teniendo en cuenta que los pie amigo queden para la parte de adentro y se aseguró con otra tuerca, se insertó el tubo y se repitió el mismo procedimiento en el otro extremo dejando que el tubo gire libremente.

Después de realizar este ensamble se fijó al marco superior de la estructura en el extremo posterior bien centrado asegurando los pie amigo con los tornillos Button M6 x 15mm y las tuercas para perfil M6 insertadas previamente, ver montaje en fig. 59.



Figura 58. Soporte para Carreta de Material

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

4.2.6. Ensamble del extrusor

Para el ensamble del extrusor se utilizaron los siguientes materiales:

- 1 Disco aislante
- 1 Buje conector
- 4 Discos disipadores
- 1 Acople roscado
- 1 Esparrago M10 x 1.5 perforado
- 1 Placa aislante
- 1 Placa de Apoyo
- 1 Soporte para resistencia
- 1 Boquilla de agujero 0.5mm
- 1 Resistencia 6.8 HOM
- 1 Termistor de 100K
- 3 Arandelas para tornillo M6
- 3 Tornillos socket M3 x 40mm
- 1 Prisionero M4 x 5mm
- Silicona de alta temperatura
- Recubrimiento en teflón

En la fig.60 y 61, se puede observar las piezas que se utilizaron para este montaje.



Figura 59. Piezas para el Ensamble del Extrusor

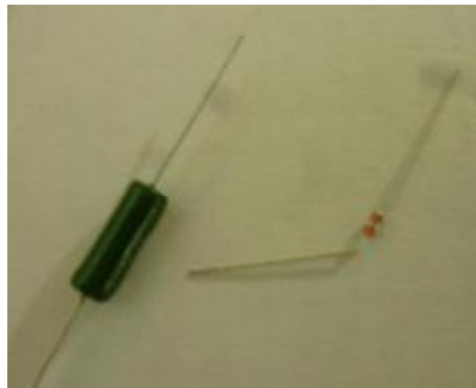


Figura 60. Resistencia y Termistor

El ensamble del extrusor se realizó introduciendo el buje conector en el orificio central de disco aislante y luego se colocaron en el mismo buje los disipadores separados con una arandela con diámetro interno de 6mm y el acople roscado que soporta en el diámetro externo las placas aislante y la de apoyo, en la rosca interna de éste se roscó el espárrago perforado al cual se instala el bloque que soporta la resistencia y se asegura con un prisionero, en la parte sobrante del espárrago se fija la boquilla como se ilustra en la fig. 62 y 63.

| | | | |
|---|-----------------------------------|---------|--|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |



Figura 61. Ensamble del Extrusor



Figura 62. Extrusor Ensamblado

Después de tener estas piezas ensambladas se procede a montar la resistencia la cual se le soldaron unos cables de extensión igual que el termistor para introducirlos en los agujeros respectivos de la placa soporte y se aplicó silicona de alta temperatura para que los cables expuestos no tengan contacto con el metal también se recubrió el cable con un tubo flexible de teflón que soporta altas temperaturas para finalmente tener un montaje como se muestra en la fig. 64.

| | | | |
|---|-----------------------------------|---------|--|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |



Figura 63. Extruder

Finalmente el conjunto completo se ensambló en la placa lateral inferior del eje Z con los tornillos socket M3 x 40mm adicionalmente se instala un racor de 3/16 con rosca de 1/8 para conectar una manguera hasta el alimentador para transportar el material al extrusor.

4.2.7. Ensamble de Soporte y tarjetas Electrónicas

Materiales utilizados:

- 1 Bandeja en Acero inoxidable
- 8 Ejes soporte (4 de 20mm y 4 de 80mm)
- 1 Fuente para computador de 12V, 750W
- 1 Tarjeta Arduino Mega 250
- 1 Tarjeta Ramps 1.4
- 4 Tarjetas A4988 pololu
- 1 ventilador de 3" a 12V
- 4 Tornillo Button M6 x 15mm
- 8 Tornillos socket M2.5 x 15mm
- 4 Tornillos socket M2.5 x 25mm

4 Tuercas para Perfil M6

4 Tuercas M2.5

Ilustración de las tarjetas fig. 65.

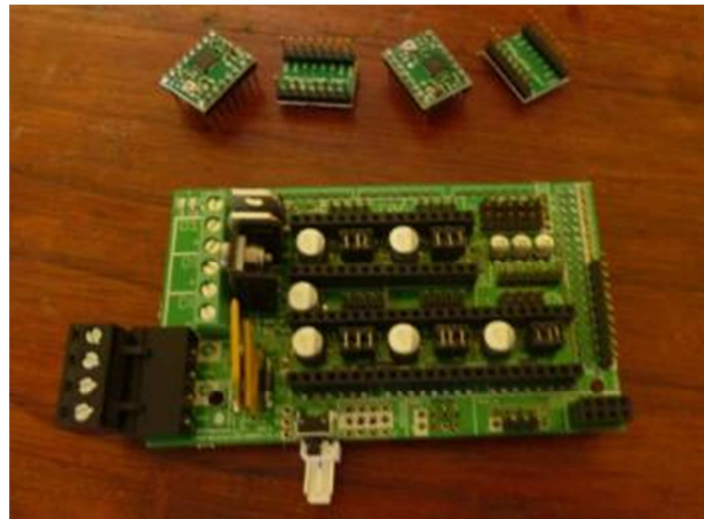


Figura 64. Tarjeta Ramps 1.4 y Tarjetas Pololu

En la bandeja antes de montarla a la estructura se instaló del extremo derecho la fuente fijándola con los tornillos socket M2.5 x 15mm en la parte izquierda se instaló la tarjeta Arduino Mega 250 y se aseguró con tornillos socket M2.5 x 25mm separándola de la bandeja con los Ejes separadores más cortos luego sobre esta se acopló la tarjeta Rams 1.4 que viene diseñada para esto, de igual forma se acoplan las tarjetas A4988 pololu como se ilustra en la fig. 66 y 67.



| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Figura 65. Fuente

Figura 66. Tarjetas instaladas

Después se fijó todo el conjunto a la estructura con los tornillos Button M6 x 15mm de los parales laterales con las tuercas para perfil que se insertaron previamente; una vez finalizadas las conexiones electrónicas se debe instalar un ventilador de 3" asegurado con los ejes separadores sobre las tarjetas para mantenerlas refrigeradas.

4.2.8. Conexión de la Electrónica

La conexión eléctrica de todos los componentes se realizó con base al siguiente diagrama fig.68 y el plano de la tarjeta Ramps1.4, Anexo 10

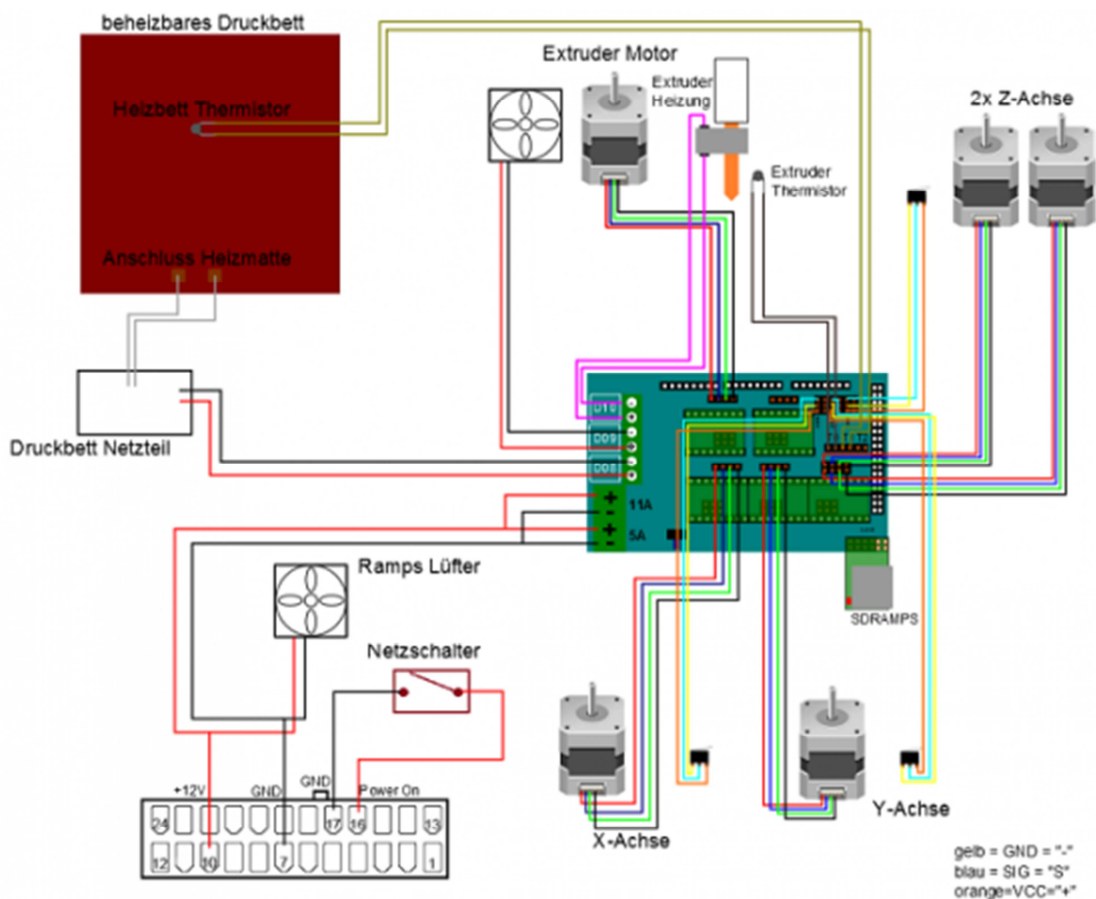


Figura 67. Diagrama de Conexión Eléctrica

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

4.2.9. Preparación de la fuente

Para este caso se trabajó con una fuente de ordenador fue necesario puentear dos cables del conector Molex grande el de color verde que es Ps - on con el negro que es GND o común para que la fuente funcione, esto se puede hacer de varias formas, la que se utilizó fue recortando los cables antes del conector y se soldaron, luego se recubrieron con termo encogible para aislarlos, fig. 69 y 70.



Figura 68. Fuente

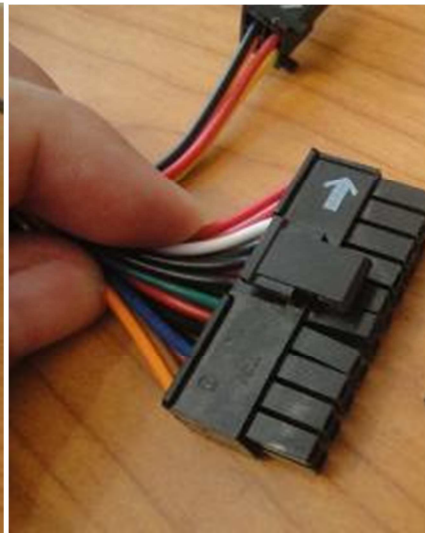


Figura 69. Conector Molex Grande

Luego se separaron 4 cables dos amarillos 12V y dos negros GND instalándoles una terminal en la punta para conectarlos en el conector de alimentación de potencia de la tarjeta Ramps 1.4 como se muestra el diagrama de conexión eléctrica y el Anexo 10- A

4.2.10. Conexión de los Motores Paso a Paso

Para conectar los motores paso a paso Nema 23 bipolar, primero se deben identificar las bobinas con un multímetro, en este caso los colores de la bobinas fueron azul y amarillo y la otra verde y rojo, después se verificó que los cables tengan la longitud necesaria hasta la conexión en la tarjeta

| | | | |
|---|-----------------------------------|---------|--|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Ramps1.4 la cual pasarían por unas canaletas que se instalaron pegadas al perfil de la estructura para proteger los cables; como el cable que vino de fábrica no fue suficiente se empalmó y se aisló muy bien. Al final del cable se soldaron unos terminales para empalmarlos en un conector JUMPER de cuatro posiciones como se ilustra en la fig. 71.

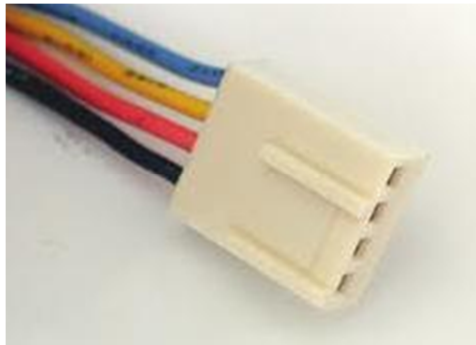


Figura 70. Conector JUMPER de Cuatro Posiciones

Después de tener los motores de los ejes X, Y, Z y el del alimentador con su respectivo conector se identificó en el plano eléctrico el puerto de salidas para cada motor en la tarjeta Ramps 1.4 para conectarlos, Anexo 10- B

4.2.11. Montaje y conexión de finales de carrera

En cada uno de los carros o ejes X, Y, Z se instalaron dos finales de carrera para controlar el mínimo y el máximo recorrido accionados por una leva que se ubico estratégicamente para que accioné el micro antes de que el bloque móvil central de cada eje se choque con las placas laterales.

En las placas roscadas y de guía del bloque central se realizaron dos perforaciones con broca de 2mm con la distancia entre centros de cada final de carrera para asegurarlos con tornillos M2.5 se instalaron como se muestra en la fig. 72.



Figura 71. Final de Carrera

Luego se instalaron las levas asegurándolas en las placas laterales de los carros de cada eje con tornillos socket M4 x 15 mm a diferencia de la leva del eje Y que se aseguró en la estructura para mayor facilidad.

Para conectar los finales de carrera se utilizó cable para sensor de dos hilos porque viene con una protección como encauchado en un extremo se instalaron terminales tipo FASTON HEMBRA con soldadura y se recubrieron con termo encogible en el otro extremo después de presentarlo y medir la longitud necesaria hasta la tarjeta Ramps 1.4 se suelda en las puntas del cable un conector Header hembra de dos pines como se muestra en la fig. 73, 74, para luego conectarla en la tarjeta según el plano Anexo 10-C, para estar seguros de que todo quedo bien conectado se verificó la continuidad con un multímetro.

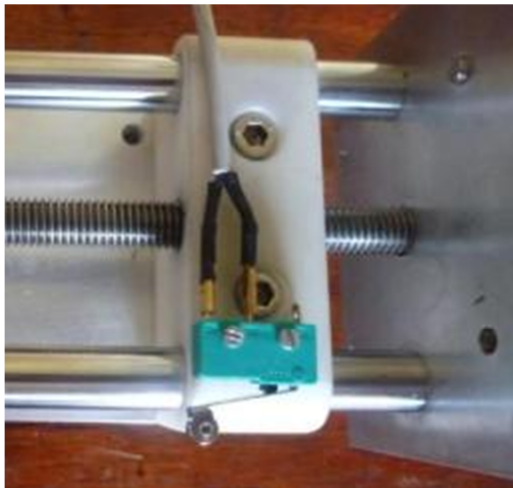


Figura 72. Final de Carrera Conectado y Conector

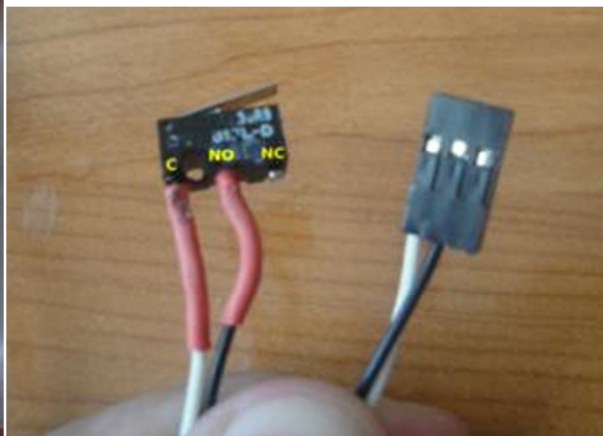


Figura 73. Final de Carrera

| | | | |
|---|--|---------|--|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

4.2.12. Conexión del Extrusor

Como en el ensamble se instalaron unos cables de extensión a la resistencia y el termistor ahora se conecta un terminal de cuatro pines aéreo para que de la facilidad de retirar el extrusor cuando sea necesario para mantenimiento o cambio de algún repuesto, para conectarlo a la tarjeta Ramps 1.4 se fabricó una extensión a la que se le instaló en un extremo el compañero de conector de cuatro pines, ilustrado en la fig. 75, y en el otro extremo midiendo la longitud necesaria un conectores tipo JUMPER de dos posiciones para el termistor de 100K y para la resistencia dos terminales tubulares para cable calibre 18, y se conectan en la tarjeta según el plano eléctrico Anexo 10-D.



Figura 74. Conector Aéreo

4.2.13. Conexión del panel de Control y SD

La conexión del panel y la SD fue basada en el plano del Anexo 10-E, primero se conectó la SD utilizando los siguientes materiales:

- 1 SDRAMPS
- 2 Conectores tipo JUMPER de cuatro posiciones
- 1 Conectores tipo JUMPER de seis posiciones

| | | | |
|---|--|---------|--|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

8 Cables de diferentes colores

En la fig. 76 se ilustran los componentes.

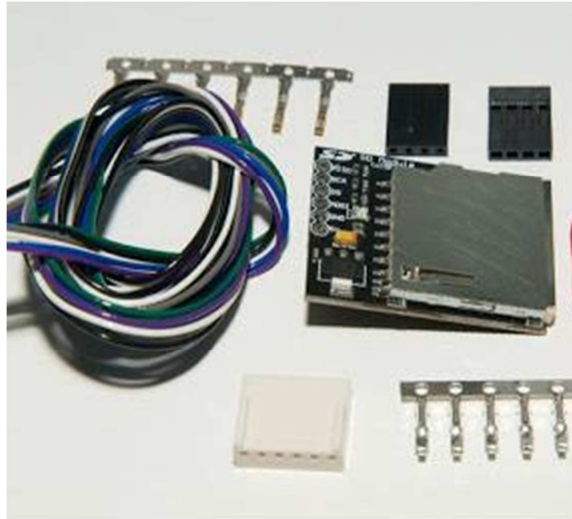


Figura 75. Componentes para Conexión de SD

La tarjeta SD se puede conectar directamente de la RAMPS 1.4 pero para más comodidad se instaló en el panel de control y para esto se fabricó una extensión con los cables de colores recortándolos con la distancia necesaria y en sus extremos se instalaron los conectores JUMPER.

Luego se conectó una pantalla de cristal LCD 4 x 16 realizando un puente entre los pines 1, 3, 5, 16 que son la tierra (GND) y otro entre los pines 2 y 15 para la iluminación de la pantalla como se ilustra en la fig. 77.



Figura 76. Puente Entre los Pines 1, 3, 5, 16

Luego se instaló de la parte frontal una serie de pines tipo FASTON macho para que a través de una extensión se pueda conectar a la tarjeta RAMPS 1.4 según el plano Anexo 10-F.

En el panel de control también se instaló un Encoderclick318,ENC130175F-12PS para navegar por los subniveles del control y para movimientos manuales, el cual se ensambló en un circuito universal impreso de 30 x 20mm según el plano de la fig.78, las terminales se llevaron a un terminal para conectarlos con una extensión de tres cables con la misma longitud y conectores JUMPER de la anteriores para conectarlo a la tarjeta RAMPS 1.4 según el plano del Anexo 10-G. "Ver fig. 79"

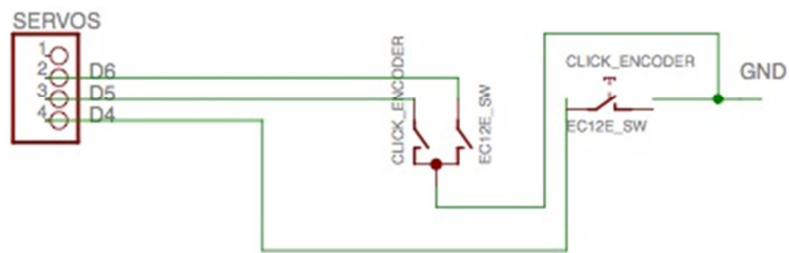


Figura 77. Plano Conexión EncoderClick



Figura 78. EncoderClick

Adicionalmente con una extensión de dos cables con conectores JUMPER se instaló un pulsador conectado a la tarjeta RAMPS 1.4 para el Reset y tenerlo directamente en el panel, fig. 80.

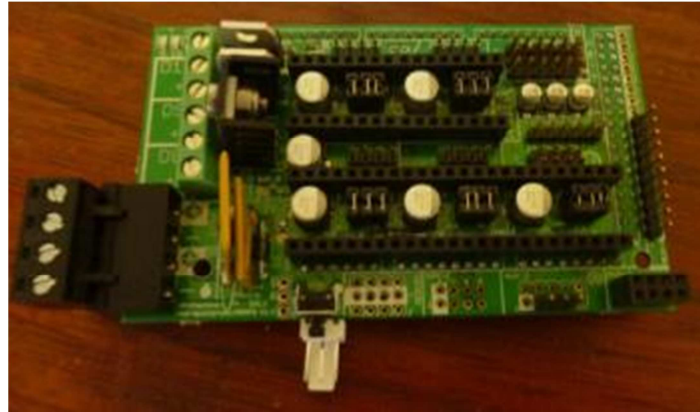


Figura 79. Conector para Reset instalado en la RAMPS 1.4

Después de tener las conexiones listas como se observa en la fig. 54 que quedan compartiendo la tierra (GND); se aseguró la LCD 4X 16 a la placa inoxidable en L con los tornillos M2 x 10 y las tuercas de la parte interna, de esta forma se aseguró el Encoder click y el pulsador con su respectiva tuerca, ilustrado en la fig. 81.



Figura 80. Elementos Conectados

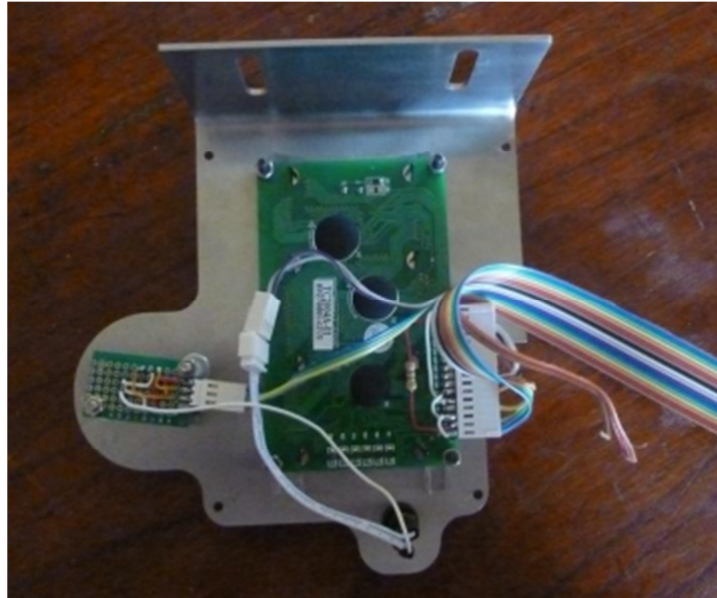


Figura 81. Elementos instalados en la Placa de Inoxidable en L.

Luego se instaló el conjunto completo en la estructura con tornillos M6 X 15 Botton y las tuercas de perfil instalada previamente, este montaje del panel permite el desplazamiento vertical y horizontalmente para ubicar mejor según la necesidad, ilustrado en la fig. 83.



| | | | |
|---|--|---------|--|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

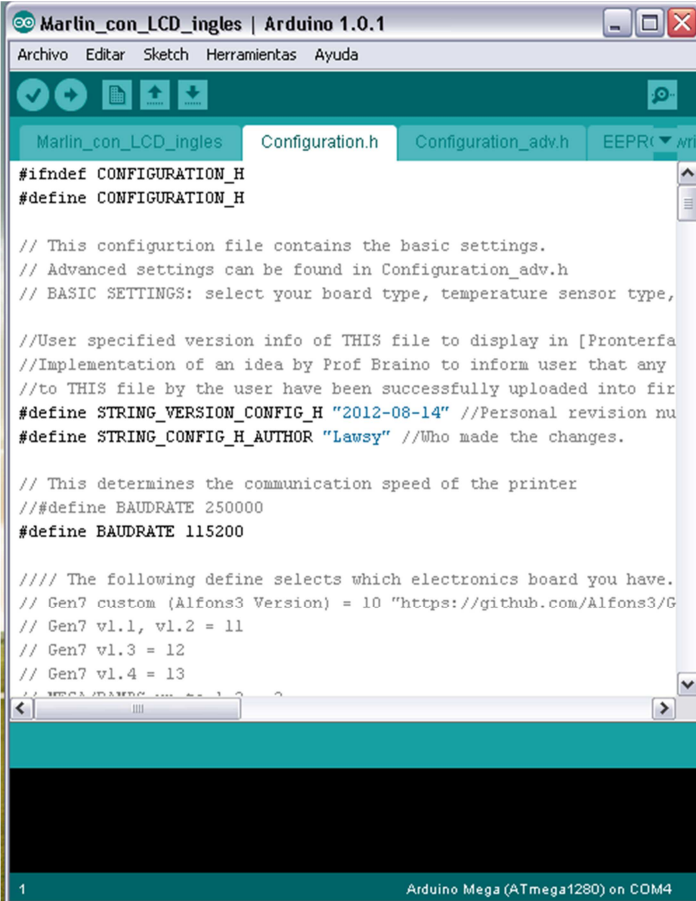
Figura 82. Panel de Control

4.3. Ajustar el firmware

Para introducir el firmware a la placa Arduino Mega 2560, se usó el IDE Arduino1.0.1, dado que era la última versión en el momento que se realizó el proyecto; puede que no está preparado para los cambios que han surgido en el IDE en las versiones más nuevas.

Una vez se instaló el IDE, se localizó el archivo Marlin.pde en la carpeta del firmware descargado “Marlin V.1” y se abrió con el IDE de Arduino.

Luego, se seleccionó la pestaña configuration.h y se empezó a observar el código, allí es donde se realizan todos los cambios, como se puede observar en la fig. 84.



```

Marlin_con_LCD_ingles | Arduino 1.0.1
Archivo  Editar  Sketch  Herramientas  Ayuda
Marlin_con_LCD_ingles  Configuration.h  Configuration_adv.h  EEPROM

#ifndef CONFIGURATION_H
#define CONFIGURATION_H

// This configuration file contains the basic settings.
// Advanced settings can be found in Configuration_adv.h
// BASIC SETTINGS: select your board type, temperature sensor type,

//User specified version info of THIS file to display in [Prontersfa
//Implementation of an idea by Prof Braino to inform user that any
//to THIS file by the user have been successfully uploaded into fir
#define STRING_VERSION_CONFIG_H "2012-08-14" //Personal revision nu
#define STRING_CONFIG_H_AUTHOR "Lawzy" //Who made the changes.

// This determines the communication speed of the printer
//define BAUDRATE 250000
#define BAUDRATE 115200

//// The following define selects which electronics board you have.
// Gen7 custom (Alfons3 Version) = 10 "https://github.com/Alfons3/G
// Gen7 v1.1, v1.2 = 11
// Gen7 v1.3 = 12
// Gen7 v1.4 = 13
// MEGA2560 v1.0 = 14

1
Arduino Mega (ATmega1280) on COM4

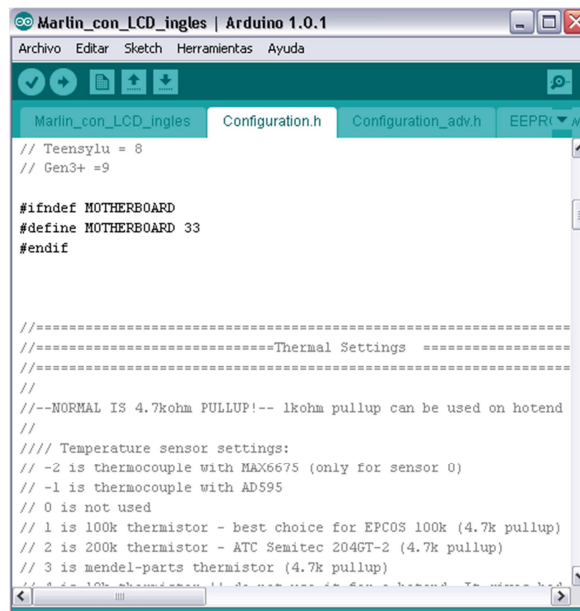
```

| | | | |
|--|--|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Figura 83. Entorno Arduino

La primera variable que se tiene es “baudrate” que va a ser la velocidad a la que comunique nuestra placa con CURA, por lo que se debe coincidir en sendas configuraciones, si tenemos problemas de comunicación, se puede probar a usar 115200.

Ahora se debe elegir la placa con la que se va controlar la impresora 3d, como se muestra en la fig.85.



```

Marlin_con_LCD_ingles | Arduino 1.0.1
Archivo  Editar  Sketch  Herramientas  Ayuda

Marlin_con_LCD_ingles  Configuration.h  Configuration_adv.h  EEPROM  Ardi

// Teensylu = 8
// Gen3+ =9

#ifndef MOTHERBOARD
#define MOTHERBOARD 33
#endif

//=====
//=====Thermal Settings =====
//=====
//
//--NORMAL IS 4.7kohm PULLUP!-- 1kohm pullup can be used on hotend
//
//// Temperature sensor settings:
// -2 is thermocouple with MAX6675 (only for sensor 0)
// -1 is thermocouple with AD595
// 0 is not used
// 1 is 100k thermistor - best choice for EPCOS 100k (4.7k pullup)
// 2 is 200k thermistor - ATC Semitec 204GT-2 (4.7k pullup)
// 3 is mendel-parts thermistor (4.7k pullup)

```

Figura 84. Selección de Placa de Control

En este caso, se usó una placa Arduino MEGA con ramps 1.4 y un extrusor simple, como se puede ver en las líneas comentadas, a cada modelo de placa se le ha asignado un número, que se debe introducir detrás de la instrucción #define MOTHERBOARD, en este caso, el 33, por ejemplo, una Megatronics, se debe introducir el 78, después de tener la placa seccionada.

Se sigue bajando, para configurar el termistor y los termopares, según la fig. 86.

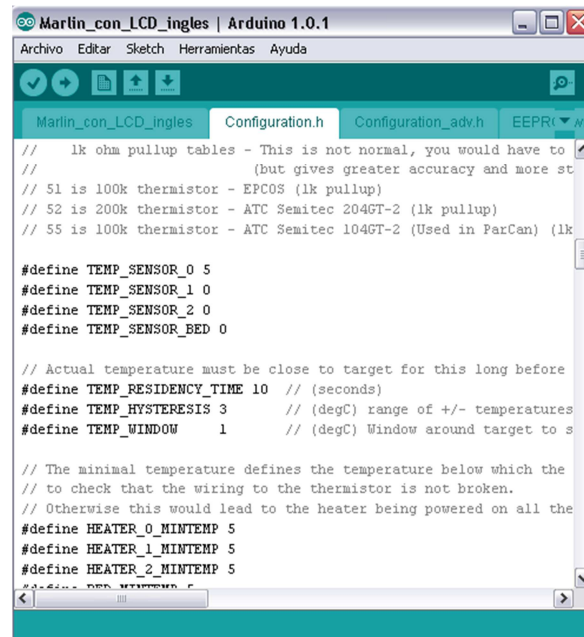


Figura 85. Configuración de Termistores

Después se seleccionan los sensores que tengan instalados en la placa, y se introducirán en las siguientes variables.

```

#define TEMP_SENSOR_0 5

#define TEMP_SENSOR_1 0

#define TEMP_SENSOR_2 0

#define TEMP_SENSOR_BED 0

```

Como en esta placa tan solo se tiene un sensor para el extrusor, realmente solo se afecta el primero, se seleccionó el valor 5 dado que el sensor es un termistores de 100k.

Se sigue bajando, hasta encontrar la configuración de los endstop para invertir la lógica de los finales de carrera si es necesario, la cual se realizó en los siguientes parámetros,

| | | | |
|--|--|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

```

constbool                X_ENDSTOPS_INVERTING                =true;
//settotrueinvertthellogicoftheendstops.

constbool                Y_ENDSTOPS_INVERTING                =true;
//settotrueinvertthellogicoftheendstops.

constbool                Z_ENDSTOPS_INVERTING                =true;
//settotrueinvertthellogicoftheendstops.

```

Si se quiere desactivar algún motor cuando no se esté usando, podemos hacerlo desde este parámetro, normalmente se desactiva el eje Z, para que permanece estático en cada capa.

```

#define DISABLE_X false
#define DISABLE_Y false
#define DISABLE_Z false
#define DISABLE_E false // For all extruders

```

En esta parte del programa se puede invertir la dirección de algún eje, para este caso se realizó desde las siguientes variables, con esta configuración, se debe conseguir que cuando se haga un "homing" los ejes vayan hacia los finales de carrera que se definen como home, o en caso contrario, se desplazaran al otro extremo.

```

#define INVERT_X_DIR false // for Mendel set to false, for Orca set to true
#define INVERT_Y_DIR false // for Mendel set to true, for Orca set to false
#define INVERT_Z_DIR false // for Mendel set to false, for Orca set to true
#define INVERT_E0_DIR true // for direct drive extruder v9 set to true, for geared extruder set to false
#define INVERT_E1_DIR false // for direct drive extruder v9 set to true, for geared extruder set to false
#define INVERT_E2_DIR false // for direct drive extruder v9 set to true, for geared extruder set to false

```

| | | | |
|---|--|---------|--|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Lo siguiente que se ajustó, fueron las dimensiones máximas de la impresora, de manera que evita llegar a los topes de cada eje y quemar algún driver, en este caso se colocó unas dimensiones de:

```
//Travel limits after homing
#define X_MAX_POS 300
#define X_MIN_POS 0
#define Y_MAX_POS 300
#define Y_MIN_POS 0
#define Z_MAX_POS 180
#define Z_MIN_POS 0
```

La mejor manera de saber los límites, es hacer un homing, y a continuación, ir haciendo click en el botón "mover 10mm" del entorno Cura del software de interface con la máquina conectada en línea y contarlos, esto en cada eje.

La siguiente instrucción sirve para ajustar la velocidad en que realiza el homing como fue demasiado rápido, se cambia estos valores por unos inferiores, y listo.

```
#define HOMING_FEEDRATE {50*40, 50*40, 4*40, 0} // set the homing speeds (mm/min)
```

Y esta variable que es la más importante, es la que permite calibrar la máquina correctamente, de manera que si le mandan la orden de mover 10mm desde el menú de control manual que aparece cuando se selecciona print en el CURA, ésta se mueva 10mm y no 35 (Medidas para motores de 400 pasos por vuelta, si se tienen de 200, serán aproximadamente la mitad)

```
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT {1958,1958,2148,98} // default steps per unit for ultimaker
```

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Se realizó una medición con un calibrador digital el movimiento de los ejes desde el menú de control manual que aparece cuando se selecciona print en el entorno de CURA y se pulsa la tecla 10 de cada eje, y con una sencilla regla de tres se corrige el valor.

Esos cuatro valores corresponden a los ejes X, Y, Z y E, siendo E el alimentador del extrusor, que también se calibró.

Cuando se refiere a una regla de tres, quiere decir, que si en la variable pone 1000, y mueve 14 cuando debería mover 10, se calcula la corrección, con la siguiente fórmula: $(1000 \times 10) / 14 = 714.28$, de manera que se cambia 1000 por 714.28 y así se encuentra algo aproximado para fabricar la primera pieza de calibración.

Para verificar la calibración se imprimió un rodaja de $\varnothing 25\text{mm} \times 3\text{mm}$ como se muestra en la fig.87 y se midieron las caras para comparar con las dimensiones reales que ha impreso la máquina, para volver a corregir.

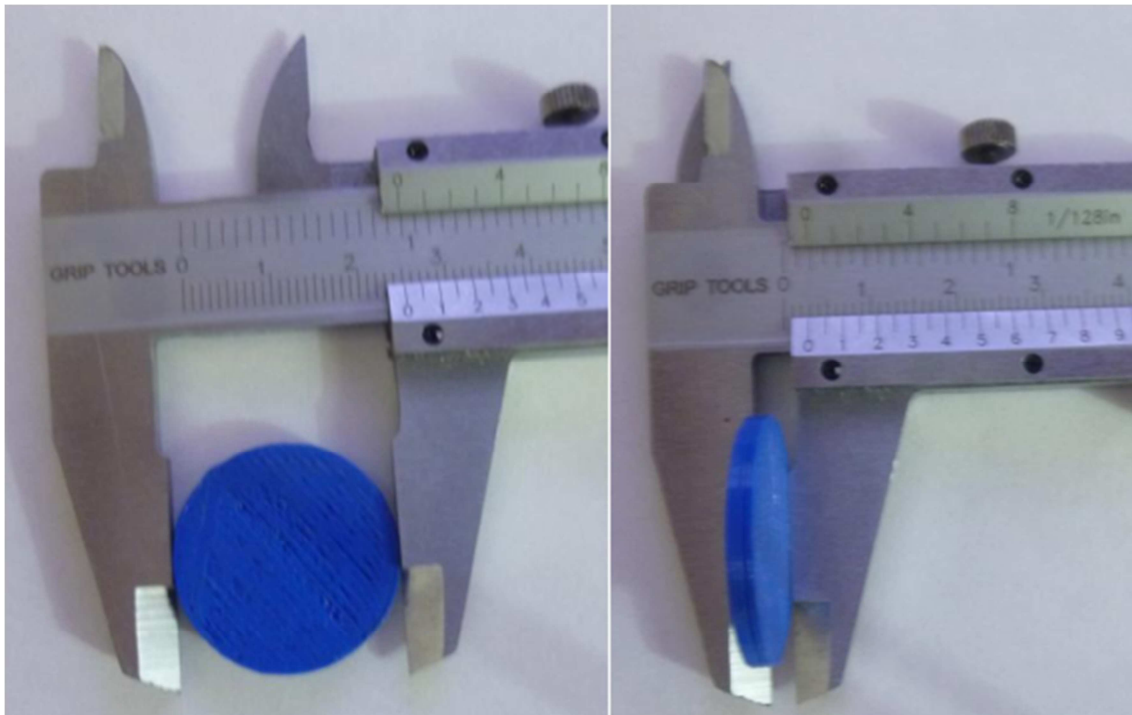


Figura 86. Dimensiones de la Pieza de Prueba

Es recomendado poner el mismo valor en los ejes X y Y para obtener unos círculos perfectos.

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Por último, se ajustó una variable que determinó la velocidad máxima de la impresora, este valor está muy relacionado con el anterior lo cual se ajustó paralelamente subiendo poco a poco.

```
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE          {30, 30, 5, 45}
```

De nuevo, responde a la configuración de ejes X, Y, Z y extrusor.

4.4. Descargar el firmware

Para descargar el firmware primero se conectó la tarjeta Arduino con un cable de impresora USB al ordenador sin energizar la fuente, luego en el ordenador se abrió el entorno de IDE Arduino y se realizó el mismo proceso de buscar la carpeta del firmware ya modificado y se abrió el archivo Marlin.pde, se configuró el puerto USB del menú herramientas, puerto serial, se definió el puerto para la correcta comunicación con la tarjeta. Se verificó que el programa compilara bien sin errores, fig.88, 89 y por último se le da cargar, fig.90.

| | |
|---------|--|
| Código | |
| Versión | |
| Fecha | |

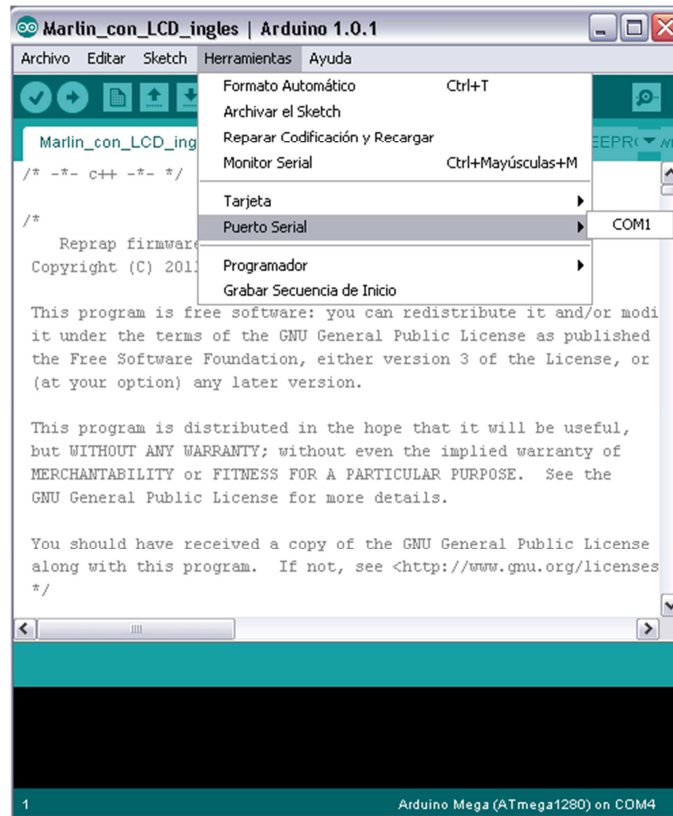


Figura 87. Seleccionar Puerto Serial

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Cuando se instaló CURA por primera vez, apareció un asistente de configuración muy básico donde hay que configurar el área de trabajo, el diámetro de la boquilla, y luego se entra al modo de impresión rápida, modo que no se recomienda usar, puesto que no permite usar todos los parámetros y se pierde lo divertido de la impresión 3D.

Después se configuró las preferencias del programa: File =>Preferences

En esta pestaña se configuró la velocidad del motor del alimentador y posición donde se quiere que impriman las piezas, la cantidad de Extrusores que se tienen, la densidad del material que se va utilizar, el puerto serial para la comunicación con la máquina y la velocidad de comunicación "baudrate" para que coincida con la que se ajustó en el firmware, ver fig.91.

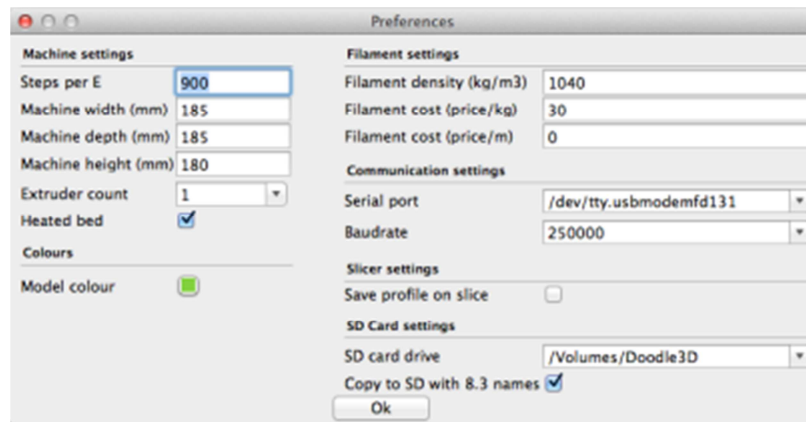


Figura 90. Parámetros pantalla de preferencias.

Terminando la configuración se ingresó a la ventana JOG, donde se pueden controlar los ejes de nuestra impresora, hacer homing pulsando en la casita y extruir o retraer plástico, como se ilustra en la fig. 92.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |



Figura 91. Ventana JOG.

La primera de ellas muestra una gráfica de la temperatura, del extrusor, además de tener un par de campos donde poder introducir la temperatura a mano para precalentar la impresora o cambiar de abs a pla, por alguna razón.

En la tercera pestaña speed es algo muy útil, permite variar en tiempo real diferentes valores de impresión como las paredes exteriores, interiores, el relleno o el material de soporte.

Por último está la pestaña de terminal, donde se observa si hay algún error en la impresión.

Después de tener listas todas las configuraciones con esta pestaña se empieza a realizar todos los ajustes necesarios con la máquina en línea.

4.5. Ajustes y calibración

El primer ajuste que se realizó fue en los movimientos de los ejes X, Y, Z, en la ventana JOG dando click al botón X+ o X- para saber si estaba girando en la dirección correcta y así se realizó para todos los ejes, en caso de ser necesario invertir la dirección se edita nuevamente el código como se explicó anteriormente, luego se desplazó a los límites de cada eje para verificar y ajustar cada uno de los finales de carrera que se activen correctamente o que no se encuentren invertidos el máximo en la posición del mínimo, también se aprovechó que se encontraban en cada extremo para ajustar la posición de la boquilla con respecto a la placa base, es decir que en todo el recorrido de los

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

ejes X y Y la boquilla esté dentro de la base y se ajustó desplazando todo el carro en las ranuras del perfil y luego se aseguró bien firme.

El ajuste del recorrido mínimo del eje Z es de los más importantes porque se calibró del tal forma que cuando el eje está en el mínimo la boquilla montada en el extrusor queda a 0.1mm de distancia con respecto a un vidrio instalado sobre la placa base para que no choque, para lograr este ajuste se instaló en el accionamiento del final de carrera de este recorrido una leva con una ranura para poder desplazar.

Con estos ajustes se procede al ajuste de la placa base que como se mencionó anteriormente tiene sobrepuesto un vidrio de 5 mm de espesor y 300 x 300mm de longitud para imprimir sobre él y para que no se peguen las piezas, esto porque se trabaja con un material que no requiere base caliente (PLA), se desplaza el extrusor a cada una de las cuatro esquinas del vidrio y se comprueba que tenga la misma medida de 0.1mm entre la boquilla y el vidrio para que la máquina quede bien nivelada y de esta forma las piezas tengan la escuadra perfecta.

Para la calibración del sistema de alimentación fue necesario recurrir a un nuevo software de interface llamado "pronterface" como se ilustra en la fig. 93, porque éste programa tiene la opción de programar la cantidad en mm de materia que se va extruir y de esta forma se calibra la velocidad y la cantidad de material, por ejemplo si se coloca un valor de 100mm luego se alimenta y con el calibrador se verifica que cumpla esa medida en caso contrario se ajusta nuevamente en el firmware la cantidad de pasos y la velocidad como se explicó anteriormente.

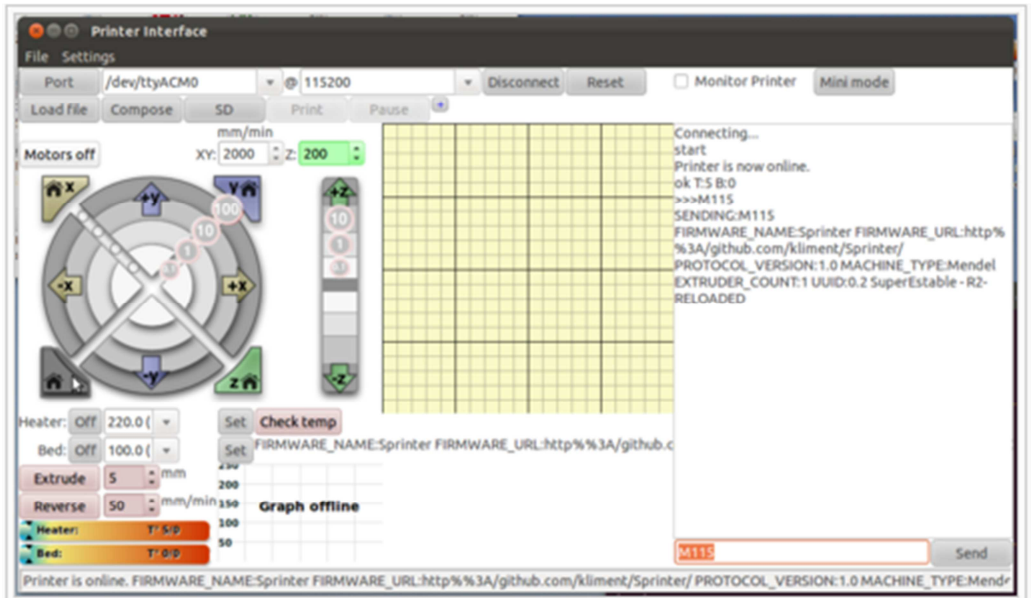


Figura 92. Programa de interfacepronterface

Con la máquina conectada en línea nuevamente con el software de interface CURA se abrió la ventana JOG y luego Temp donde se puede verificar si funciona correctamente la resistencia y el termistor, en el recuadro pequeño se ajustó una temperatura inicialmente de 70°C para observar el comportamiento que sea estable, se comparó con un multímetro poniendo la termocupla en la boquilla para evaluar perdidas, después de tener un estimado precedimos a poner una temperatura de 190°C para trabajar el PLA y se evaluó la alimentación o como fundía el material, también se midió con el calibrador el filamento extruido para comparar con el diámetro de la boquilla que estaba montada para tener una idea del ancho de las capas.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

La motivación de este proyecto se ha cumplido satisfactoriamente y conseguí construir una máquina, Open Source, que es capaz de imprimir en tres dimensiones los diseños que hago o descargo de internet, Las pruebas de impresión muestran que la impresora imprime exitosamente, sin embargo el desarrollo no está 100% completo, aun se pueden hacer muchas mejoras y pruebas con otros polímeros que posean mejores propiedades mecánicas, para así obtener objetos funcionales. Los Materiales como el PLA y ABS (materiales que utilizaron en este proyecto) tienen propiedades tales que permiten utilizarlos en múltiples usos, además de tener una temperatura de trabajo bastante grande (hasta 60°C). En cuanto al diseño se logró obtener uno que fuera posible compatibilizar con los requerimientos Open Source que se necesitaban, cabe recordar que otro objetivo era la creación de una máquina de bajo costo, fácil construcción y posible de recrear con los conocimientos básicos de mecánica y electrónica, impresora que es posible obtener el software mediante internet y comprar los materiales (electrónicos y mecánicos) desde múltiples proveedores, permitiendo que cualquier persona pueda crear una de éstas en su casa , el armado es sencillo que puede ser hecho siguiendo el plano de ensamble.

Me he introducido en el mundo de las impresoras 3D, además, me ha servido para ampliar mis conocimientos, no solo en el ámbito general de las impresoras 3D, sino que también he aprendido mucho sobre electrónica (sobre los motores paso a paso, transistores, etc.).

Para la construcción se utilizó tecnología de fabricación digital, esta tecnología ha estado desarrollándose y creciendo durante los últimos años, ésta permite el diseño, personalización y creación de objetos funcionales en la comodidad del hogar, dejando atrás el periodo donde la industria tenía el control de la fabricación y las personas sólo pueden elegir del stock que las empresas ofrecen, por esto, a este desarrollo se le proclama como la revolución de la fabricación digital (a modo de compararlo con la revolución industrial). En el futuro se espera que todas las personas tengan impresoras3D de escritorio, donde podrán echar a volar su imaginación en la creación de objetos, también

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

existirá un negocio de objetos virtuales, donde se podrá comprar el archivo en internet, para luego imprimirlo con tu impresora, también las futuras aplicaciones de impresión en 3D podría incluir la creación equipamiento científico de código abierto u otras aplicaciones basadas en la ciencia, como la reconstrucción de fósiles en paleontología, replicando artefactos antiguos y de valor incalculable en la arqueología, la reconstrucción de huesos y partes del cuerpo en patología forense y la reconstrucción de evidencia adquirida muy dañada de investigaciones de la escena del crimen.

Al hacer este tipo de aportaciones y diseños, estoy seguro de poder afirmar que poco a poco nos vamos integrando en el Proyecto Reprap, pues no debemos olvidar que su filosofía Open Source busca precisamente esto, que personas de cualquier lugar del mundo cojan sus modelos, sus diseños, los desarrollen, los personalicen, los mejoren, etc., a fin de que la evolución de las impresoras 3D sea lo más rápida posible y se pueda alcanzar, cuanto antes, los objetivos marcados para el Proyecto; por un lado, conseguir una máquina plenamente auto-replicable y, por otro lado, conseguir que haya una impresora 3D en cada casa, en cada centro educativo y en cada fábrica.

Voy a seguir trabajando en la difusión de las ventajas que aporta esta tecnología, mediante presentaciones, charlas y talleres como se ha venido haciendo con la creación de la comunidad 3D Medellín, evidencia de esto fue la ponencia en campus party y el artículo en El Colombiano. Al mismo tiempo continuaré con el servicio de diseño 3D, impresión bajo demanda, venta de impresoras 3D ya montadas y en kit, servicio técnico, repuestos y consumibles.

A continuación presento algunos de los inconvenientes presentados en las primeras pruebas

En el sistema de alimentación con la máquina a punto, es decir temperatura de 190°C y una posición adecuada de la boquilla con respecto a la placa base, se detectó que al extruir material el piñón se patina con facilidad y como el sistema tiene forma de tensionar aumentando la carga de los resortes gradualmente para ir evaluando pero se llegó al límite máximo, por lo tanto se tuvo que cambiar los resortes por unos con mayor diámetro para dar mejor tensión como se ilustra en la fig. 94.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

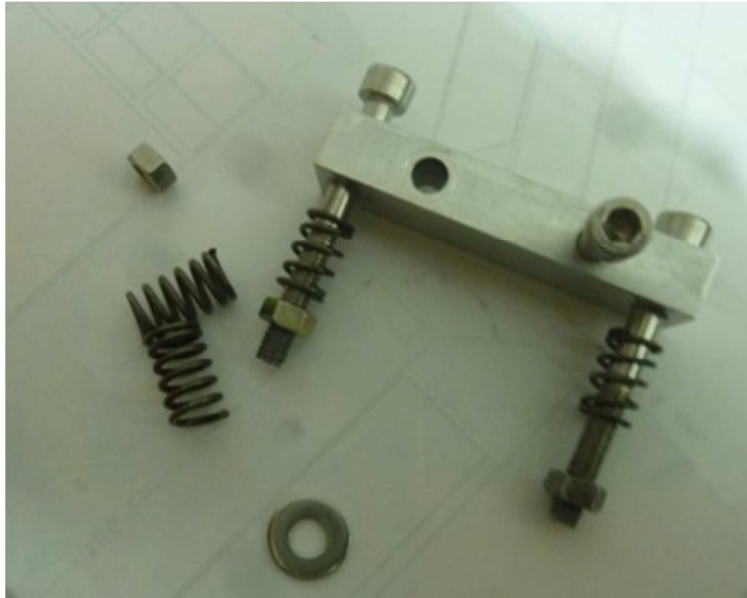


Figura 93. Cambio de resortes

Otro inconveniente que se presentó en el momento de realizar las primeras impresiones fue en el extrusor porque no alimentaba el material y después de varios ensayos modificando parámetros de temperatura, velocidad y cantidad de material se detectó que el buje del extrusor por donde pasa el filamento de plástico a la boquilla fabricado en fibra de vidrio no era de un material adecuado y el plástico se quedaba pegado de las paredes, para éste buje se requiere un material aislante pero con un bajo coeficiente de fricción por lo tanto se fabricó en teflón, ver fig.95.



| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Figura 94, Buje de fibra de vidrio

Es importante ajustar muy bien la boquilla o verificar que asiente en la parte interna contra el tornillo para evitar fugas de material, ver fig. 96.



Figura 95. Boquilla con fuga

Posibles errores que se pueden presentar en el ensamble y conexiones eléctricas con sus respectivas soluciones.

Respecto a las conexiones de los motores, aunque se dispone del esquema de conexiones de la placa electrónica, es posible que el cableado del modelo de motor que se está utilizando sea de unos colores diferentes. Así que se debe asegurar de colocar el bobinado correctamente, es decir, que se pongan los cables en los conectores de forma adecuada.

Un pequeño error que puede aparecer cuando se está probando el movimiento en alguno de los ejes o del motor del extrusor, estos se mueven en sentido contrario a como se le establece desde el ordenador. En ese caso, se podría

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

cambiar la configuración en el firmware que se esté usando, pero es mucho más sencillo quitar el conector de los pines del circuito integrado, girarlo 180° y volver a colocarlo en los mismos pines. El lector podrá comprobar que el motor ya se mueve en los sentidos indicados por el ordenador.

En cuanto a los finales de carrera, se quiere insistir una vez más en que en caso de escoger la conexión descrita en el documento se aseguren de que los terminales utilizados del final de carrera sean el Común (C) y el de Normalmente Cerrado (NC),

Se deben hacer las conexiones en los pines que en la placa vienen denominados como X-min, Y-min y Z-min, para que los finales de carrera marquen al software el origen en cada eje.

Como se puede ver en la fig.97, tomando esa posición de la placa, el cable blanco, que viene del terminal Común (C) del final de carrera, va al pin central en el circuito integrado; y, el cable negro, que viene del terminal Normalmente Abierto (NO), del final de carrera, va al pin de la derecha.



Figura 96. Conexión de final de carrera

Otro aspecto a tener en cuenta es que, normalmente, con los finales de carrera se conectan unas resistencias de 10 K Ω para intercalarlas en el cable que va al terminal Común (C) del final de carrera (el blanco en el caso visto anteriormente), entre el pin del circuito integrado y el propio terminal. Sin embargo, esta resistencia se utiliza para hacer la función de una resistencia Pull Up/Pull Down, pero, al menos en el caso de la Ramps1.4, esta resistencia ya va integrada en el circuito electrónico, por lo que si usted utiliza una Ramps1.4 no debe utilizar la resistencia con los finales de carrera; y, si usa una Sanguinololu o cualquier otra opción de placa electrónica, asegúrese de

| | | | |
|---|-----------------------------------|---------|--|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

comprobar si en esa placa viene integrada la resistencia de Pull Up/Pull Down, antes de conectar.

Resultados de las primeras pruebas

A continuación se dan muestras de los resultados obtenidos en las primeras impresiones, sin calibración; y se contrastan con los obtenidos después realizar una buena calibración.

Primeramente, se obtuvieron piezas cúbicas con la calidad de la que se muestra en la fig.98

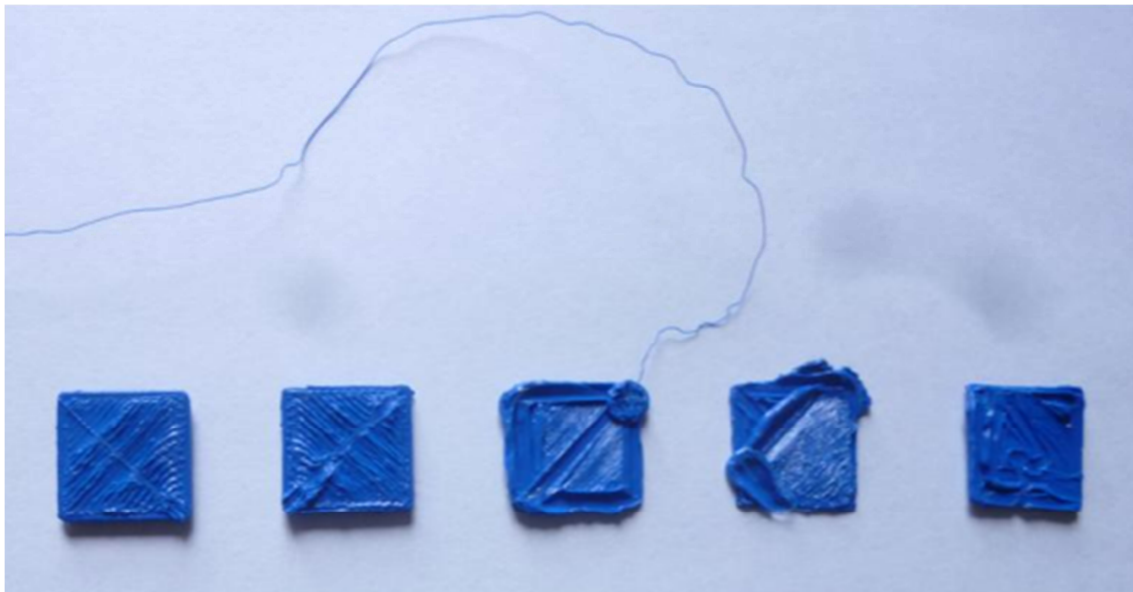


Figura 97. Primeras impresiones de piezas cubicas

Las primeras piezas con caras circulares fueron con una calidad como la que se ve en la fig. 99.

| | | | |
|---|-----------------------------------|---------|--|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

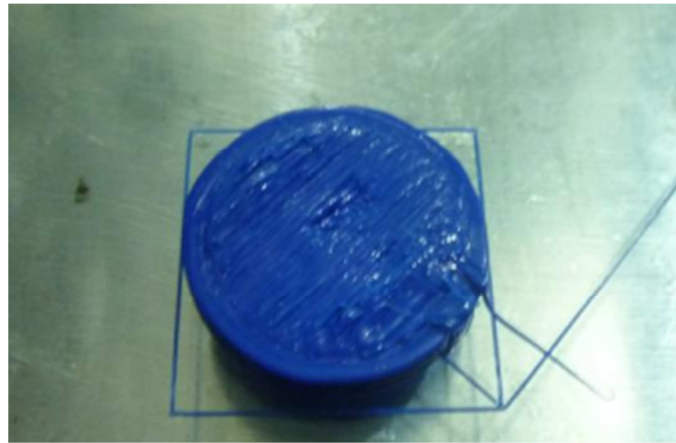


Figura 98. Primeras impresiones de piezas circulares

Si se observa bien, el cubo no tiene exactamente una forma cúbica, ni mucho menos el cilindro la forma cilíndrica; sobre todo hay deformaciones en sus caras circulares. Esto es porque lo primero que se debe configurar es el firmware, que los ejes se muevan exactamente la distancia que se le ordena y que el motor del extrusor impulse la cantidad de plástico indicado.

También se ve que tanto el cubo como el cilindro, no están bien rellenos, porque además la capa superior está incompleta; se ve como las capas están un poco separadas, se nota mucho donde empieza cada capa porque hay varios milímetros que no están impresos en ese inicio de cada capa, etc. Esto es porque en el CURA, o programa de generación de Gcode que se utiliza, hay que ajustar mejor algunos parámetros como: la velocidad de los ejes, la velocidad de extrusión, la altura de las capas, la temperatura, la retracción (distancia que el extrusor echa para atrás el cable en los momentos en los que el extrusor debe moverse sin extruir plástico, para que no queden hilos de cable por todos sitios que caen por la propia inercia mientras el extrusor hace ese movimiento sin extruir), etc.

Sin embargo, poco a poco se irán mejorando los parámetros de configuración consiguiendo una buena calibración. Hasta llegar a ser capaz de obtener piezas con una calidad tan buena, o incluso mejor, que la que se puede ver en las imágenes de la fig.100, de la fig.101 o de la fig.102, por poner algunos ejemplos.

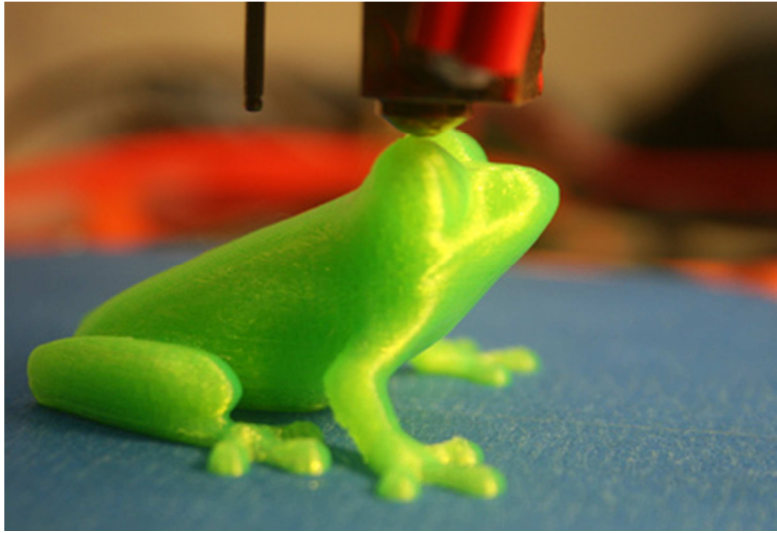


Figura 99. Rana

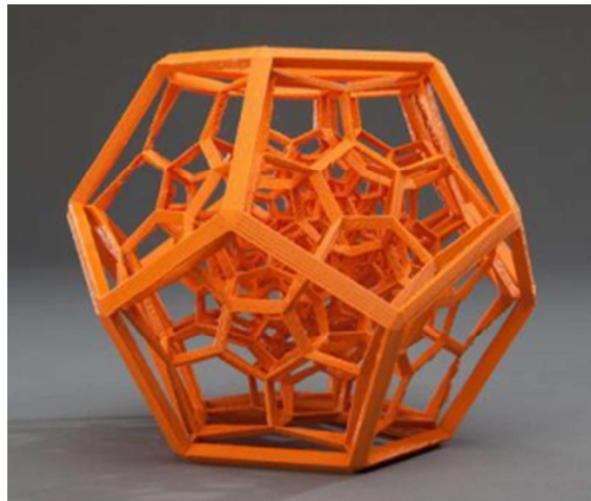


Figura 100. Figuras geométricas

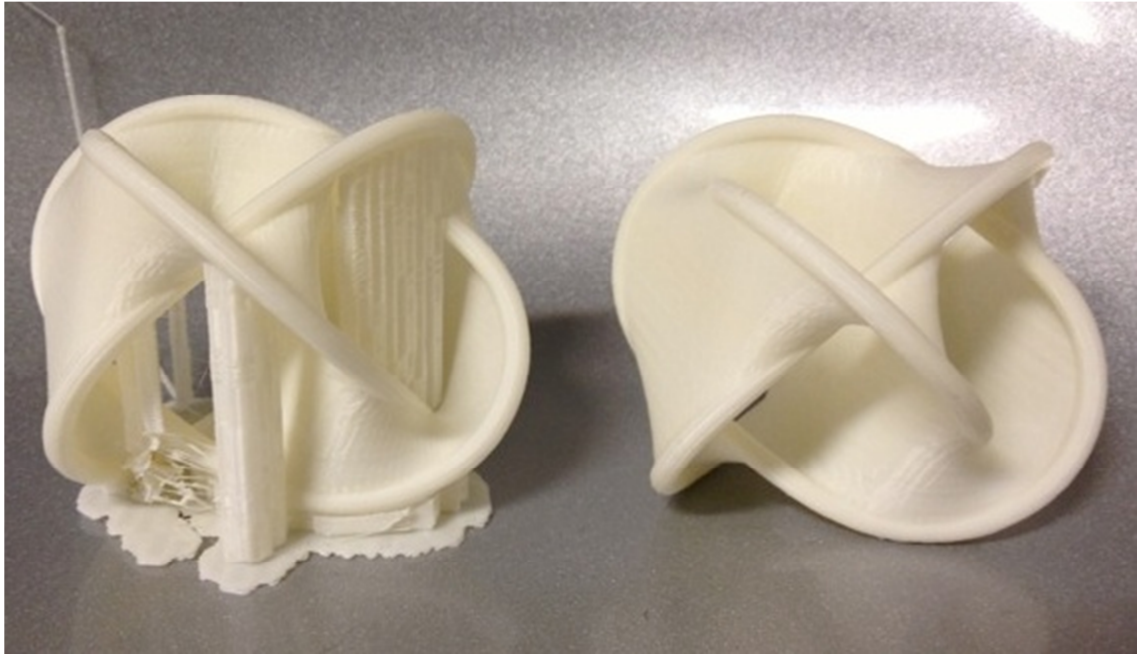


Figura 101. Geometrías que requieren base

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

REFERENCIAS

árbol genealógico del Proyecto Clone Wars. (07 de 06 de 2012). Obtenido de <http://asrob.uc3m.es/images/d/d0/2012-06-02-clone-wars-genealogy.png>

Software para impresión 3D- Sprinter Vs Marlin. (02 de Diciembre de 2012). Obtenido de CURA: <http://www.arduteka.com/2012/12/software-cura-para-impresion-3d-sprinter-vs-marlin/>

Aguirre, A. I. (2004). *INTEGRACIÓN TECNOLÓGICA DE PROTOTIPADO RÁPIDO DENTRO DEL LABORATORIO DE MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADOR.*

ARDUINO. (2013). *Arduino* . Obtenido de <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>

Bernal Mora, D. L., Casteblanco, J. E., Lyons Cerón , A., & Nieto Villamil, J. S. (20 de 06 de 2013). *Fabricar.* Obtenido de http://fabricar.16mb.com/index.php?option=com_content&view=article&id=101&catid=59&Itemid=392

FAG. (2000). *Rodamientos FAG.* Obtenido de <http://www.baleromex.com/catalogos/C-FAG.pdf>

Fonda, C. (2013). A Practical Guide to Your First 3D Print. *Low-cost_3D_printing_screen*, 33-35.

García, A. V. (2012). *Protocolo de calibración y optimización mecánica de una impresora 3D open source.* Madrid.

Goncalves, P. (2013). Practical exploration of 3D printing. *REPRAPMAGAZINE.* Obtenido de www.REPRAPMAGAZINE.COM

Horne, R. (2013). Firstly, let's just go over what a slicer is actually doing, why we need to use one and why the settings are so important for good model reproduction. *Reprap Magazine Issue No. 1*, 16-17.

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

Horne, R. (2013). RepRap Electronics, past present and future.
RepRapMagazine_Issue_2_lowres, 36 - 46.

Marin, I. J. (11 de 2007). *EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL POTENCIAL DE LA MANUFACTURA POR CAPAS PARA LA INDUSTRIA COLOMBIANA*. Medellín. Obtenido de <http://www.ilustrados.com/documentos/manufactura-capas-prototipado-rapido-050208.pdf>

Pololu Robotics & Electronics. (2001). *Pololu*. Obtenido de A4988 Stepper Motor Driver Carrier: <http://www.pololu.com/product/1182/>

Portillo, J. (02 de 05 de 2011). *YouTube*. Obtenido de YouTube: <http://www.youtube.com/watch?v=d4K3WoRcXFk>

Printrbot. (07 de 06 de 2012). *Printrbot*. Obtenido de <http://printrbot.com/>

Reprap. (07 de 06 de 2012). *Proyecto Reprap*. Obtenido de http://reprap.org/wiki/Main_Page

Stett Holbrook. (2013). Printing the world on your desktop. *Make*, 8.

Thingiverse. (10 de 06 de 2012). *Thingiverse*. Obtenido de <http://www.thingiverse.com/>

TodoRobot. (28 de Marzo de 2008). *Todorobot*. Obtenido de <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>

Zennaro, M. (2013). The Role of Open Source Software and Hardware in the 3D Printing Revolution. *Low-cost_3D_printing_screen*, 63-66.

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | |
| | | Versión | |
| | | Fecha | |

ANEXOS

Anexo 1. Plano para elaboración de la estructura

Anexo 2. Planos para fabricación y ensamble del carro del eje X

Anexo 3. Planos para fabricación y ensamble de los carros ejes Y, Z

Anexo 4. Planos para fabricación y ensamble del sistema de alimentación de material

Anexo 5. Planos para fabricación y ensamble del extrusor

Anexo 6. Plano para fabricación del Panel de control

Anexo 7. Plano para la fabricación del soporte para fuente y tarjetas electrónicas

Anexo 8. Planos para fabricación de soporte para carreta de material

Anexo 9. Plano para el ensamble general

Anexo 10- A. Preparación de la fuente

Anexo 10- B. Conexión de los motores paso a paso

Anexo 10-C. Montaje y conexión de finales de carrera

Anexo 10-D. Conexión del extrusor

Anexo 10-E. Conexión del panel de Control y SD

Anexo 10-F. Pantalla de cristal LCD 4 x 16

Anexo 10-G. Pulsador para reset

Anexo 11. Ficha técnica ARDUINO MEGA 2560

ANEXO 12. Ficha técnica Driver para motor Paso a paso A4988 Pololu

Anexo 13. Lista de materiales utilizados para fabricación de la impresora