



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

“CONSTRUCCIÓN DE UNA IMPRESORA 3D, PARA LA ELABORACIÓN DE OBJETOS
PLASTICOS UTILIZANDO EL MÉTODO DE MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA
(MDF)”

TESIS DE GRADO

Previa obtención del título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

Presentado por:

CARLOS EDUARDO ROMERO BARRENO

GLORIA ORFELINA VACA MORALES

Riobamba – Ecuador

2015

AGRADECIMIENTO

A mis padres quienes con su apoyo, dedicación y ejemplo han sabido guiarme durante toda mi vida estudiantil.

A mis hermanos Paul y Diego quienes han sido siempre parte de los momentos importantes de mi vida.

Carlos

Agradezco la confianza y el apoyo brindado por parte de mi Madre, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

Gloria

DEDICATORIA

A todos quienes amo.

Carlos

A Dios ya que él me ha dado fortaleza para continuar cuando he estado a punto de caer.

A mi Madre que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles.

A mis hermanos Carlos, Mariana y Rocío, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

Gloria

NOMBRE	FIRMA	FECHA
---------------	--------------	--------------

Ing. Gonzalo Samaniego

**DECANO DE LA FACULTAD DE
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

.....

.....

Ing. Alberto Arellano

**DIRECTOR DE ESCUELA DE
ING.ENGENÍERIA ELECTRÓNICA
EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES**

.....

.....

Ing. Jorge Paucar

DIRECTOR DE TESIS

.....

.....

Lcdo. Luis Viñan

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....

.....

**DIRECTOR DEL CENTRO DE
DOCUMENTACION**

.....

.....

NOTA:

.....

“Nosotros, Carlos Eduardo Romero Barreno y Gloria Orfelina Vaca Morales, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos es esta: Tesis, y el patrimonio intelectual de la misma pertenecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”.

Carlos Romero

Gloria Vaca

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ABS	Acrilonitrilo butadieno estireno
CAD	Diseño asistido por computador.
CAM	Fabricación asistido por computador.
CNC	Control Numérico por Computador
FDM	Modelado por deposición fundida.
FFF	Fabricación del filamento fundida.
G-Code	Código G
Gnd	Tierra, Masa
GNU	Licencia Pública General
GNU GPLv3	Licencia Pública General versión 3
GPL	Licencia Pública general de Affero
IDE	Entorno Grafico
NA	Normalmente Abierto
NEMA	National Electrical Manufactures Association
NC	Normalmente Cerrado

NTC	Coeficiente térmico Negativo
OSI	Iniciativa open Source
OSS	Software de Código abierto
PLA	Poliácido ácido
PID	Proporcional, Integral, Derivativo
PTFE	Teflón Politetrafluoroetileno
PEEK	Poliéter éter cetona
PTC	Coeficiente Térmico Positivo
PC	Polycarbonato
PVA	Alcohol de polivinilo
RP	Protipado rápido
RepRap	Auto-repeticiones
SLS	Laser selectivo de sinterización
.STL	Estereolitografía
SST	Hardware de Fuente Abierta
SD	Secure Digital
Vcc	Voltaje Continuo

INDICE GENERAL

PORTADA

AGRADECIMIENTO

DEDICATORIA

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD

RESPONSABILIDAD DE LOS AUTORES

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS

INDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ANEXOS

CAPÍTULO I	19
INTRODUCCIÓN.....	19
1.1 MOTIVACIÓN.....	19
1.2 ANTECEDENTES	20
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS.	21
1.4 OBJETIVOS.....	21
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	21
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
1.5 HIPÓTESIS.....	22
CAPÍTULO II	23
ESTADO DEL ARTE: IMPRESORAS 3D MDF	23
2.1 INTRODUCCIÓN.....	23
2.2 FUNCIONAMIENTO	24
2.3 ETAPAS DEL PROCESO ADITIVO	25

2.3.1	MODELADO	25
2.3.2	IMPRESIÓN	26
2.3.3	ACABADO	26
2.4	VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	27
2.5	APLICACIONES	27
2.6	MATERIAL (Filamento de Plástico).....	28
2.6.1	ABS	28
2.6.2	PLA.....	30
2.6.3	OTROS	30
CAPITULO III		32
ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS Y ELECTRÓNICOS		32
3.1	MECANISMOS DEL SISTEMA DE MOVIMIENTO	32
3.1.1	MECANISMO DE MOVIMIENTO EJES X e Y.....	32
A.	SISTEMA ALFA	32
B.	SISTEMA HBOT	33
C.	SISTEMA COREXY.....	34
3.1.2	MECANISMO DE MOVIMIENTO EJE Z.....	35
A.	TORNILLO SIN FIN ACOPLADO A UN MOTOR.....	35
3.1.3	MECANISMO DE TRANSMISIÓN	37
3.2	SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS	39
3.2.1	SELECCIÓN DE LAS PLACAS ELECTRÓNICAS:	40
A.	ALTERNATIVA A: ARDUINO MEGA 2560 + RAMPS 1.4 + DRIVERS A4988.....	40
B.	ALTERNATIVA B: MINITRONICS.....	44
C.	ALTERNATIVA C: SANGUINILOLU	45
D.	SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA:.....	47
3.2.2	ACTUADORES	48
A.	ALTERNATIVA A: SERVOMOTORES DE CORRIENTE CONTINUA	48
B.	ALTERNATIVA B: MOTORES A PASOS.....	49
C.	SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA:.....	51
3.2.3	INYECTOR (HOT-END).....	52

A.	ALTERNATIVA A: J-HEAD MK-V	52
B.	ALTERNATIVA B: BUDA-STYLE	53
C.	ALTERNATIVA C: ARGENTO	54
D.	SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA:	55
3.2.4	SENSORES:	56
A.	ALTERNATIVA A: FINAL DE CARRERA:	56
B.	ALTERNATIVA B: SENSORES INFRARROJOS DE PROXIMIDAD Sharp (4-30cm)	57
C.	SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA:	58
3.2.5	EXTRUSOR	59
A.	ALTERNATIVA A: EXTRUSOR DIRECTO:	59
B.	ALTERNATIVA B: EXTRUSOR BOWDEN	60
C.	SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA	61
3.2.6	SENSORES DE TEMPERATURA (TERMISTOR)	61
3.2.7	RESISTENCIA	63
3.2.8	CAMA CALIENTE (MK2b)	64
3.2.9	FUENTE DE ALIMENTACIÓN	65
CAPITULO IV		68
DISEÑO Y SOFTWARE DE LA IMPRESORA 3D (MDF)		68
4.1	DISEÑO MECÁNICO DE LA IMPRESORA 3D	68
4.1.1	CORE XY	68
A.	ESTRUCTURA Y SISTEMA DE MOVIMIENTO COREXY:	70
4.1.2	EJE Z	75
A.	PESO QUE SOPORTA EL EJE Z:	76
B.	CALCULO DEL TORQUE EJE Z:	76
4.1.3	CÁLCULOS DE LOS PASOS DEL MOTOR PARA CONSEGUIR UN DESPLAZAMIENTO LINEAL DE 1MM EN LOS EJES X, Y, Z Y EXTRUSOR.	79
A.	PASO POR REVOLUCIÓN	79
B.	PASOS POR MM EJES XY	79
C.	PASOS POR MM EJE Z	80
D.	PASOS POR MM EXTRUSOR	80
4.1.4	RESOLUCIÓN DE LA IMPRESORA 3D	80

4.2	CONEXIONES	81
4.2.1	CONEXIÓN RAMPS V1.4 CON ARDUINO MEGA 2560	81
4.2.2	CONEXIÓN RAMPS V1.4	82
4.2.3	CONEXIÓN ENTRE ARDUINO MEGA SHIELD Y DRIVERS DE MOTORES A PASOS.....	83
4.2.4	CONEXIÓN ENTRE ARDUINO MEGA SHIELD Y TERMISTORES	83
4.2.5	CONEXIÓN ENTRE ARDUINO MEGA SHIELD Y FUENTE DE ALIMENTACION.....	84
4.2.6	CONEXIÓN ENTRE ARDUINO MEGA SHIELD Y ALIMENTACION EXTRUSOR	84
4.3	SOFTWARE	85
4.3.1	OPEN SOURCE	85
A.	SOFTWARE DE CÓDIGO ABIERTO	86
B.	HARDWARE ABIERTO	88
4.3.2	SOFTWARE PARA LA IMPRESIÓN 3D	88
A.	FIRMWARE	90
a.	SPRINTER.....	90
b.	MARLIN	91
4.3.3	MODELADO 3D.....	92
A.	Ejemplos de software libre para técnicas de modelado 3D:	93
4.3.4	SOFTWARE DE REBANADO.....	94
A.	SOFTWARE DE CORTE O REBANADO: SLIC3R.....	96
B.	CONFIGURACION SLIC3R.....	97
C.	Revisión del software más usado:.....	98
4.3.5	SOFTWARE DE INTERFAZ (Conectarse a la impresora 3D).....	99
A.	PRONTERFACE.....	100
CAPITULO V		102
IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE LA IMPRESORA 3D		102
5.1	MONTAJE DEL SISTEMA MECÁNICO	102
5.1.1	MONTAJE COREXY	103
5.1.2	MONTAJE DEL EXTRUSOR SOBRE EL SOPORTE	103
5.1.3	MONTAJE DEL EJE Z.....	104
5.1.4	MONTAJE DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE (CARCASA)	105

5.1.5	MONTAJE DE LOS SENSORES FINALES DE CARRERA.....	105
5.1.6	MONTAJE FINAL DE LA IMPRESORA 3D	106
5.2	PRUEBAS Y RESULTADOS DE LA IMPRESIÓN 3D	107
5.2.1	CONFIGURACION DEL SOFTWARE.....	107
A.	CONFIGURACION DE LOS PARÁMETROS DE IMPRESIÓN.....	109
B.	SOFTWARE CAD/CAM	113
5.2.2	REQUISITOS PARA UN SISTEMA DE IMPRESIÓN 3D: MDF	114
A.	RESUMEN DE LA IMPRESORA 3D	114
B.	PUESTA EN MARCHA DE LA IMPRESORA:	114
C.	PRIMERA IMPRESIÓN Y CALIBRACIÓN	115
5.2.3	PRUEBAS Y RESULTADOS.....	118
A.	PRUEBAS MECÁNICAS	118
B.	PRUEBAS SOFTWARE	126
C.	PRUEBAS ELECTRÓNICA DEL SISTEMA	127
D.	OBJETOS IMPRESOS	130
5.2.4	ACABADO	132
5.2.5	VALIDACIÓN DE LA HIPOTESIS	133

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

RESUMEN

SUMMARY

GLOSARIO

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II.I: Ventajas y Desventajas (FMD)	27
Tabla III.I: Tabla de interpretación, Porcentaje y Calificación	40
Tabla III.II: Características de la Ramps v 1.4	41
Tabla III.III: Ventajas y Desventajas de la Ramps	41
Tabla III.IV: Ventajas de Arduino Mega 2560	43
Tabla III.IV: Características Minitronics	45
Tabla III.V: Ventajas y Desventajas Minitronics	45
Tabla III.VI: Valoración Placas	47
Tabla III.VII: Selección de la alternativa Placa.....	47
Tabla III.VIII: Ventajas y Desventajas de un servomotor	49
Tabla III.IX: Ventajas y desventajas de los motores pasos	50
Tabla III.X: Valoración Actuadores	51
Tabla III.XI: Selección Alternativa Actuator.....	51
Tabla III.XII: Valoración Hot-end.....	55
Tabla III.XIII: Mejor Alternativa Hot-end.....	55
Tabla III.XIV: Ventajas y Desventajas Finales de carrera	57
Tabla III.XV: Valoración Sensores.....	58
Tabla III.XVI: Mejor Alternativa Sensores	58
Tabla III.XVII: Valoración Extrusor.....	61
Tabla III.XVIII: Mejor Alternativa Extrusores	61
Tabla V.XIX: Figuras Impresas (Diferentes parámetros)	127

INDICE DE FIGURAS

Figura II.1: Modelado por Deposición Fundida, Funcionamiento	24
Figura II.2: Etapas del proceso Aditivo	25
Figura II.3: Modelado	26
Figura II.4: Impresión	26
Figura II.5: Acabado	27
Figura II.6: Filamento de Plástico.	28
Figura II.7: Filamento ABS	29
Figura III.1: Sistema Alfa	33
Figura III.2: Funcionamiento HBOT	33
Figura III.3: Sistema de movimiento HBOT	34
Figura III.4: Sistema Movimiento Corexy	35
Figura III.5: Tornillo sin fin con Acople.....	36
Figura III.6: Acople Flexible	36
Figura III.7: Poleas y Correas.....	38
Figura III.8: Polea Motriz y Conducida.....	39
Figura III.9: Shield	40
Figura III.10: Arduino Mega 2560	42
Figura III.11: Pololu	44
Figura III.12: Minitronics	44
Figura III.13: Sanguinololu.....	46
Figura III.14: Servomotor DC.....	49
Figura III.15: Motor a pasos.....	50
Figura III.18: Hot-end J-HEAD MK-V	53

Figura III.19: Hot-end Buda- Style	54
Figura III.20: Hot-end Argentó	54
Figura III.21: Final de carrera	56
Figura III.22: Sensor Sharp	57
Figura III.23: Esquema Extrusor Directo	59
Figura III.24: Esquema Extrusor Bowden	60
Figura III.25: Termistor 100 NTC	62
Figura III.26: Resistencia	63
Figura III.27: Cama Caliente	64
Figura III. 28: Fuente de alimentación	67
Figura IV.1: Mecanismo CoreXY	69
Figura IV.2: Estructura CoreXY	70
Figura IV.3: Soporte motores	71
Figura IV.4: Soporte Poleas	71
Figura IV.5: Soporte Guiado	72
Figura IV.6: Sistema de Guiado	72
Figura IV.7: Soporte Extrusor	73
Figura IV.8: Correa de distribución GT2	74
Figura IV.9: Poleas	74
Figura IV.10: Motor NEMA 17	75
Figura IV.11: Sistema Z	75
Figura IV.12: Conexión Ramps	82
Figura IV.13: Conexión Pololus	83
Figura IV.15: Conexión Termistores	84
Figura IV.16: Conexión Fuente de alimentación	84

Figura IV.17: Conexión Alimentación Extrusor	85
Figura IV.18: Logo Open Source	85
Figura IV.19: Hardware Open Source.....	88
Figura IV.20: Esquema del Software	89
Figura IV.21: Firmware	92
Figura IV.22: Modelado en SolidWorks	93
Figura IV.23: Slic3r.....	96
Figura IV.24: Pronterface	100
Figura V.1: Montaje CoreXY.....	103
Figura V.2: Montaje del Extrusor en el Soporte	104
Figura V.3: Montaje eje Z	104
Figura V.4: Carcasa de la Impresora 3D	105
Figura V.5: Montaje Sensores	106
Figura V.6: Montaje Final de la Impresora 3D	106
Figura V.7: Asistente de Configuración	107
Figura V.8: Tipo de Firmware	108
Figura V.9: Tamaño de la Cama.....	108
Figura V.10: Diámetro de la boquilla	108
Figura V.11: Diámetro del filamento	109
Figura V.12: Temperatura de extrusión	109
Figura V.13: Configuración impresora	110
Figura V.14: Configuración del filamento.....	110
Figura V.15: Configuración de impresión.....	111
Figura V.16: Diseño en SolidWorks.....	113
Figura V.17: Objeto en Extensión .stl	113

Figura V.18: Plataforma de impresión	116
Figura V.19: Ajuste Offset	117
Figura V.20: Warping	117
Figura V.21: Objetos impresos	118
Figura V.22: Prueba Eje X: 10mm	119
Figura V.23: Prueba Eje X: 100mm	120
Figura V.24: Resultado Eje X: 100mm.....	120
Figura V.25: Prueba Eje Y: 10mm	121
Figura V.26: Resultado Eje Y: 10mm	121
Figura V.27: Prueba Eje Y: 100mm	122
Figura V.28: Resultado Eje Y: 100mm.....	122
Figura V.29: Imagen .PNG	123
Figura V.30: Tornillo con momento flector	124
Figura V.31: Mecanismo de Sujeción de la Superficie de Impresión	124
Figura V.32: Prueba Eje Z: 10mm	125
Figura V.33: Resultado Eje Z: 10mm.....	125
Figura V.34: Figuras Impresas (Diferentes parámetros)	127
Figura V.35: Prueba Arduino Mega 2560	128
Figura V.36: Ajuste Corriente de los Motores a pasos.....	129
Figura V.37: Impresión	130
Figura V.38: Diferentes Acabados	132

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Manual de Usuario

Anexo 2: Manual Técnico

Anexo 3: Conexiones shield (Ramps v1.4 + Arduino Mega 2560 + Pololus)

Anexo 4: Drivers A4988

Anexo 5: Motor a pasos NEMA 17 y serie GT2 (poleas y correas)

Anexo 6: Finales de Carrera Mecánicos.

Anexo 7: Características técnicas de los termistores

Anexo 8: Planos sólidos y Vistas de Corexy

Anexo 9: Configuración Firmware y Software

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN

En la actualidad la impresión 3D (también llamada fabricación aditiva), es pionera en cuanto se refiere a tecnología porque es un proceso que se realiza en tres dimensiones, lo cual despierta interés de cómo es posible que se pueda realizar objetos sólidos de diferentes formas a partir de un modelo digital de computador.

Además su proceso de impresión es limpio, fácil de usar e ideal para la oficina, estas piezas construidas a base de filamento de plástico pueden resistir al calor, químicos, entornos húmedos y a la tensión mecánica. Esto lo hace bastante diferente de las técnicas de mecanizado tradicionales, que se basan principalmente en el moldeo de material por procesos sustractivos, y la impresión de un objeto puede durar varias horas o varios días, dependiendo del método utilizado, su tamaño, complejidad del modelo, tipo de maquinaria y el número de modelos a fabricarse simultáneamente.

Los objetos que son aditivamente manufacturados pueden utilizarse en cualquier lugar durante todo el ciclo de vida del producto, desde la pre-producción (prototipado rápido), a la producción a gran escala (manufacturación rápida), además de aplicaciones útiles y personalización de post producción. Con la implementación de la impresora 3D ampliaremos nuestros conocimientos en el campo de la electrónica, y obtendremos una impresora 3D de bajo costo con software libre.

1.2 ANTECEDENTES

En los últimos años el crecimiento de la industria ha generado una creciente demanda de equipos más eficaces, rápidos y actualizados tecnológicamente; y así, satisfacer a tiempo las necesidades del mercado en la implementación de modelos y maquetas en tres dimensiones, todo esto acompañado de capacitación, uso de maquinarias y software avanzados.

Una de las tecnologías que se ha incorporado hace poco tiempo en la industria como en centros educativos, estudios de diseño y agencias de publicidad, es las Impresiones 3D, utilizadas y aprovechadas por los diseñadores para materializar sus diseños virtuales creados en un software de CAD. Las Impresoras 3D son un instrumento indispensable en el diseño, modificación e impresión de objetos ya que nos permite ejecutar todo tipo de testeos del mismo antes de promoverlo al mercado.

En nuestro país aún no se evidencia el potencial de esta impresora 3D, pero quizá más adelante se conozcan sobre sus beneficios, ya que esta es una herramienta que podría cambiar el sistema de producción actual.

Sería ideal que en nuestra institución se implementara una impresora 3D, ya que sus utilidades serían amplias y diversificadas.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS.

La realización de este proyecto se justifica plenamente teniendo en cuenta que una impresora del tipo planteado permitirá crear modelos físicos en 3D rápidamente y de una forma sencilla y asequible para una amplia variedad de aplicaciones, además que constituye una innovación que podría ser utilizada en el campo educativo.

La mayoría de la manufactura actual, se la efectúa en máquinas determinadas cuya función está fijada con claridad y si el producto cambia, la máquina también debe readaptarse o cambiarse, al disponer de una impresora 3D este problema se suprimiría.

El límite es la imaginación y la aptitud para presentar ideas en 3D. Permite efectuar prototipos de productos con facilidad, lo que implica una mejora en el diseño de éstos.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Construir una impresora 3D para la elaboración de objetos de plástico bajo el método de modelado por deposición fundida (MDF).

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la tecnología de impresión de modelado por deposición fundida.
- Identificar puntos débiles de la impresora 3D (MDF), analizarlos y buscar alternativas de mejoramiento.
- Analizar y seleccionar los materiales más adecuados para la construcción de la impresora 3D.
- Montar y calibrar la impresora 3D.

- Implementar mejoras.
- Seleccionar un lenguaje CAD para crear los diseños en 3D que posteriormente serán impresos.
- Determinar el tipo de extrusor que se utilizará en las impresiones.
- Imprimir diferentes tipos de objetos plásticos 3D cuyas dimensiones en altura, ancho y profundidad alcanzarán como máximo 10 cm.

1.5 HIPÓTESIS

Mediante la utilización de un lenguaje CAD y una impresora 3D es posible materializar modelos tridimensionales.

CAPÍTULO II

ESTADO DEL ARTE: IMPRESORAS 3D MDF

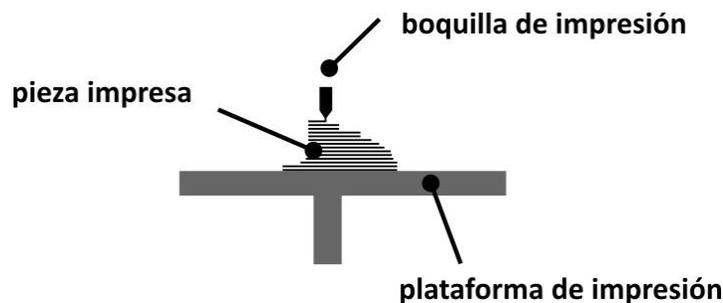
2.1 INTRODUCCIÓN

La impresión 3D es un conjunto de fases sucesivas que permite hacer objetos tridimensionales sólidos a partir de un modelo digital. La impresión 3D se logra utilizando procesos aditivos, que es la creación de objetos tridimensionales mediante capas sucesivas de material fundido. La impresión 3D se diferencia de los mecanizados tradicionales, que se basan fundamentalmente en la eliminación de material por procedimientos tales como torneado, fresado, perforación y corte.

FDM fue inventado por Scott Crump a finales de los años 80. Después de patentar esta tecnología comenzó la compañía Stratasys en 1988. El software que viene con esta tecnología genera automáticamente las estructuras de apoyo si es necesario. La máquina suministra dos materiales, uno para el modelo de una forma y una estructura de soporte desechable.

El Modelado por Deposición Fundida utiliza filamentos plásticos ABS o PLA que están enrollados en un cilindro y se van desenrollando para proveer material (Filamento de Plástico), a la boquilla de extrusión. La boquilla se calienta a una temperatura adecuada para derretir el material, esta boquilla se mueve en dos direcciones horizontal y vertical, por medio de un mecanismo de control numérico que es controlado de modo directo por medio de un software de fabricación asistida por computadora (CAM). El objeto se fabrica por extrusión de pequeñas proporciones de material fundido de esta manera se forman las capas sucesivas de un objeto.

Generalmente se utilizan motores a pasos o servo motores de corriente continua para mover el cabezal de extrusión como se indica en la (figura II.1)



Fuente: <http://tallerdesoluciones.blogspot.com.ar/2009/09/15/modelado-por-deposicion-fundida-principio-de-funcionamiento/>

Figura II.1: Modelado por Deposición Fundida, Funcionamiento

2.2 FUNCIONAMIENTO

Las impresoras 3D que ejecutan la tecnología por deposición fundida (FDM), fabrican los objetos capa a capa, por medio de un inyector que funde y extruye el filamento según las coordenadas del objeto a imprimir.

La tecnología por deposición fundida (FDM), en algunos objetos requiere el uso de dos materiales para llevar acabo el trabajo de impresión: material de impresión, que corresponde al objeto terminado, y el material de soporte, que actúa como estructura de la pieza a imprimir. El extrusor transmite el filamento de plástico a la boquilla de impresión, esta se mueve en dos ejes X, Y, y a su vez va depositando el material sobre la plataforma de impresión, el eje Z se desliza hacia abajo cada vez que va a empezar la siguiente capa de impresión. Cuando la impresora 3D finaliza la impresión, esperamos que la plataforma de impresión se enfríe, para posteriormente retirar el material de soporte, rompiéndolo o con algún objeto corto punzante, una vez hecho esto la pieza está lista.

2.3 ETAPAS DEL PROCESO ADITIVO

Para imprimir un objeto en 3D tenemos las siguientes etapas (Figura II.2).

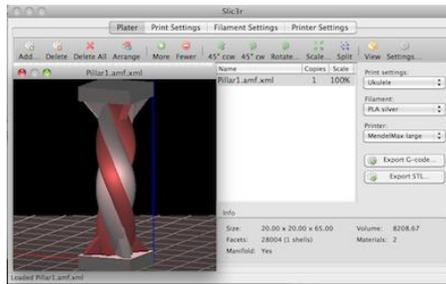


Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura II.2: Etapas del proceso Aditivo

2.3.1 MODELADO

La impresión 3D tiene planos virtuales de diseños Asistidos por Computadora (CAD) o animación de software de modelado como guías para la impresión. Dependiendo de la máquina a utilizarse, el filamento de plástico se deposita sobre la plataforma de impresión hasta que las capas de material completen el objeto y el modelo 3D final haya sido impreso (Figura II.3).



Fuente: <https://sites.google.com/site/3dprinterlist/home/software/cam/slic3r>

Figura II.3: Modelado

2.3.2 IMPRESIÓN

Para realizar una impresión 3D, la maquina interpreta el diseño y calcula el número de capas sucesivas de material que tendrá el objeto para construirlo a partir de una serie de secciones transversales. Estas capas que corresponden a las secciones transversales virtuales a partir de un diseño CAD, se unen automáticamente para producir la configuración externa que va a tomar el objeto a imprimir. Lo principal de esta técnica es su capacidad de imprimir cualquier forma o característica geométrica (Figura II.4).



Fuente: <http://www.fotochismes.com/2013/04/12/%C2%BF-como-va-eso-de-la-impresion-en-3d-iker-moran-nos-lo-cuenta/>

Figura II.4: Impresión

2.3.3 ACABADO

Muchas veces la resolución del objeto impreso es suficiente para varias aplicaciones, pero para obtener una mayor resolución en el objeto impreso se puede lograr mediante la

impresión de objetos ligeramente sobredimensionados. Algunas técnicas de fabricación son capaces de utilizar múltiples materiales durante la construcción de las piezas. Algunos utilizan soportes durante el proceso de impresión, estos son extraíbles o solubles tras la finalización de la impresión, y se utilizan para apoyar voladizos durante la impresión (Figura II.5).



Fuente: <http://latamisrael.com/un-poco-de-futuro-para-imprimir-objetos-reales-en-3d-a-todo-color/>

Figura II.5: Acabado

2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Tabla II.I: Ventajas y Desventajas (FMD)

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Detección temprana de errores	Acabado superficial no demasiado bueno, aspecto granulado.
Realiza piezas que tienen una alta precisión	Necesidad de soportes en algunos modelos.
Campos de tolerancia máxima de 0,1 mm en 400 mm de longitud.	Presenta escasa consistencia vertical.
Los prototipos creados no se deforman	Exactitud restringida debido al tamaño de los filamentos
Aptos para pintar, cromar y mecanizar.	No es bueno para detalles pequeños.
Las piezas son menos pesadas que en la estereolitografía.	No se pueden hacer paredes muy delgadas
Su velocidad relativa y bajo coste, permite hacer pequeñas series	Lento para piezas voluminosas
Excelente resistencia a la temperatura desde 85°C a 250°C	

Fuente: Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

2.5 APLICACIONES

El Modelado por Deposición Fundida (MDF) en la actualidad es una técnica muy utilizada en la industria para la creación rápida de prototipos. El prototipado rápido facilita los

ensayos interactivos y el modelado por deposición fundida es utilizado para la creación de diversas estructuras usadas en el campo de la ingeniería en general.

2.6 MATERIAL (Filamento de Plástico)

Actualmente existen dos tipos diferentes de plástico ampliamente usados en las impresoras 3D de bajo costo, y unos pocos más que son menos comunes. Lo que es interesante es que más plásticos están siendo desarrollados y probados, lo que ofrecerá un rango mucho más amplio de características físicas, químicas y mecánicas, abriendo así el camino de nuevas aplicaciones para la impresión 3D. La disponibilidad de nuevos materiales de impresión puede cambiar rápidamente el mercado del filamento.

Los filamentos de plástico son actualmente producidos en dos diámetros estándar, 1.75 mm y 3 mm (Figura II.6).



Fuente: <http://www.realovirtual.com/es/noticias/560/impresora-3d-economica-da-vinci-10>

Figura II.6: Filamento de Plástico.

2.6.1 ABS

El segundo tipo de filamento más comúnmente usado está hecho de Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS), un plástico elaborado a base de petróleo usado para muchos propósitos entre ellos los bien conocidos legos. Los vapores que despiden poseen cierto olor e incluso son considerados peligrosos para la salud, así que es altamente

recomendado usar ventilación con extracción de olores al imprimir ABS por un tiempo prolongado. La temperatura de fundición del ABS está en el rango de 210-260°C (Figura II.7).



Fuente: <http://spanish.3dprinter-materials.com/sale-2035357-3d-printer-consumables-3mm-abs-filament-plastic-red-blue-for-3d-printing.html>

Figura II.7: Filamento ABS

Un objeto de ABS es usualmente impreso sobre una cama caliente cuya temperatura está alrededor de los 130°C, cubierta con cinta Kapton para asegurar la fijación, lo que representa un costo adicional y mayor complejidad al momento de imprimir. No todos los usuario de impresoras 3D consideran la opción de imprimir sobre una superficie caliente, en lugar de aquello lo hacen sobre una superficie fría cubierta con capas de pegamento a base de cianoacrilato, agua o incluso spray de cabello, sin embargo el uso de una cama caliente es recomendado ya que ayuda a reducir el desprendimiento de objetos de gran superficie.

Una ventaja del ABS sobre el PLA es que los objetos resultantes son más robustos y menos quebradizos, y pueden resistir altas temperaturas. El filamento de ABS está disponible en muchos colores, colores brillantes en la oscuridad, oro y plata, e incluso colores que cambian con la temperatura.

2.6.2 PLA

El filamento de plástico más común está hecho de ácido poliláctico (PLA), un plástico biodegradable y ambientalmente amigable derivado del almidón, su temperatura de fundición está en el rango de 180-230°C. No despiden vapores tóxicos al fundirlo, por lo que no requiere precauciones especiales de seguridad o ventilación.

Se adhiere bien a la cama caliente. Los objetos impresos en PLA son robustos pero relativamente frágiles y no pueden ser usados cuando se requiere de resistencia a altas temperaturas.

El filamento de PLA no es muy costoso y está disponible en color natural o en varios colores brillantes, sólidos o semitransparentes, y los objetos impresos con este material tienen una agradable superficie lisa.

Una variación del PLA es el PLA suave o flexible, que debe ser extruido a menor temperatura y a una velocidad muy baja, puede además ser usado para imprimir juntas, correas flexibles, etc.

2.6.3 OTROS

NYLON

Taulman produce un filamento de Nylon ® 618 que tiene algunas características interesantes, entre ellas flexibilidad, ligereza y resistencia química.

PC

Polycarbonato (PC), es un material plástico muy fuerte y durable, con alta claridad óptica y alta temperatura de fusión (alrededor de 270 a 300 ° C).

PVA

Alcohol de polivinilo es un polímero plástico soluble en agua que puede ser utilizado para impresión de soporte de estructuras de PLA y ABS, objetos que se disuelven fácilmente en agua caliente, dejando una superficie perfecta del objeto y simplificando el proceso (suelen ser bastante tedioso) de retirar el apoyo. La temperatura de impresión es de alrededor de 170 ° C y nunca debe superar los 200 ° C.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS Y ELECTRÓNICOS

Para el análisis y selección de los diversos componentes mecánicos y electrónicos, que se usaran en la implementación de la impresora 3D (MDF), se procede a dividir en dos partes: Mecánica y Electrónica sin dejar de lado una parte fundamental que es el Software

3.1 MECANISMOS DEL SISTEMA DE MOVIMIENTO

El mecanismo de movimiento de una impresora 3D debe ser preciso en términos generales. El ser preciso va establecer una buena calidad de impresión.

3.1.1 MECANISMO DE MOVIMIENTO EJES X e Y

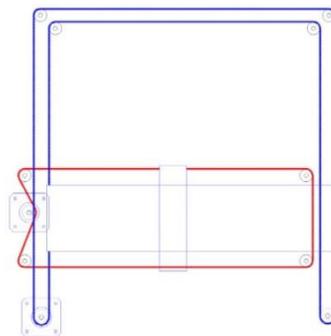
Para el mecanismo de movimiento de los ejes X e Y se analizara mecanismos de sistemas cartesianos porque facilitara su montaje y diseño.

A. SISTEMA ALFA

El sistema de correas alfa es un cartesiano modificado. Esta versión fue el punto de partida al tratar de mezclar la fabricación sustractiva y aditiva con un diseño de correas.

En este sistema el motor del eje Y conduce una correa larga que cubre toda la estructura. El motor del eje X mueve el carro principal con una correa normal. Lo mejor de este diseño es la inercia y la estabilidad, pero la aceleración y el ruido era bastante alto.

La tensión de la correa debía ser perfecta y el circuito se dividió en dos, por lo que se tuvo que equilibrar manualmente la tensión y probar hasta que la correa este perfectamente tensa (Figura III.1).

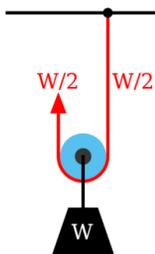


Fuente: <http://blog.fabtotum.com/blog/2014/04/04/belts-and-stuff-experiences-to-share/>

Figura III.1: Sistema Alfa

B. SISTEMA HBOT

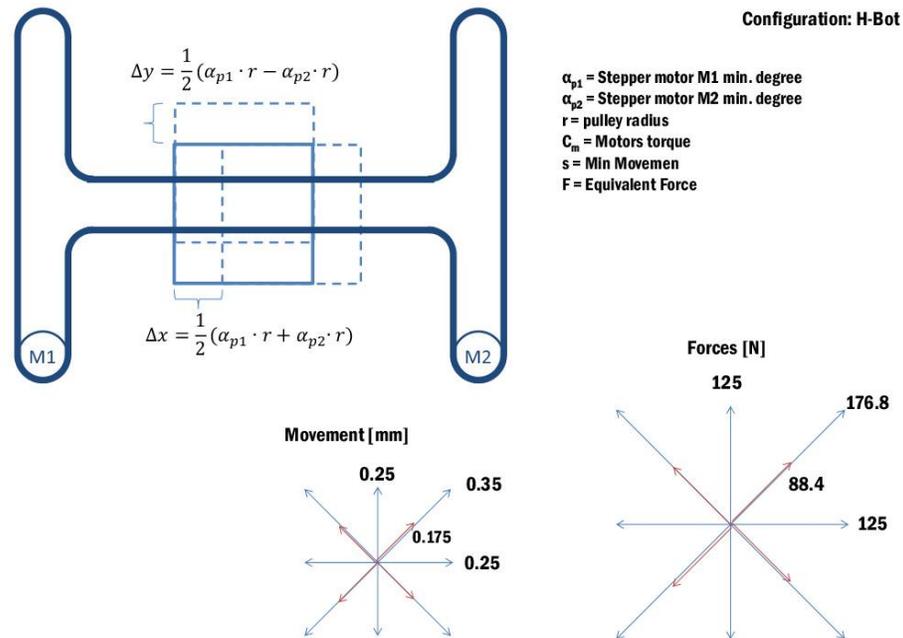
El diseño de Hbot, usa dos motores unidos a una sola correa (Figura III.2).



Fuente: <http://blog.fabtotum.com/blog/2014/04/04/belts-and-stuff-experiences-to-share/>

Figura III.2: Funcionamiento HBOT

El sistema funciona como una polea de barco (o "bloque") donde la fuerza se divide por la mitad. Los movimientos X o Y son básicamente una suma de vectores de 45 grados (Figura III.3).



Fuente: <http://blog.fabtotum.com/blog/2014/04/04/belts-and-stuff-experiences-to-share/>

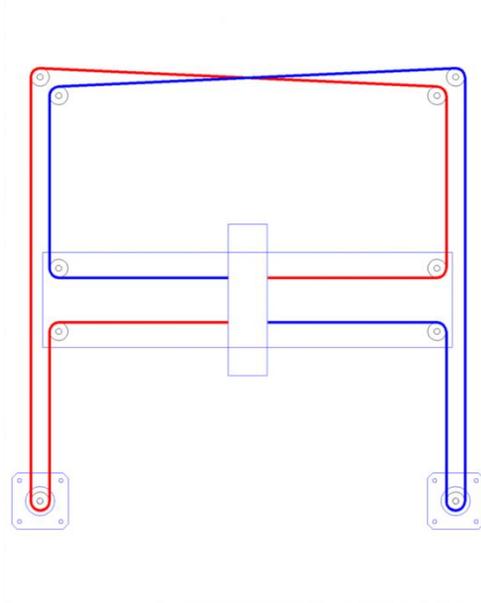
Figura III.3: Sistema de movimiento HBOT

C. SISTEMA COREXY

El CoreXY presenta un cinturón cruzado que equilibra las fuerzas en el pórtico. Desde esta implementación básica el COREXY es un sistema híbrido válido. CoreXY es una técnica, no una aplicación (Figura III.4).

- **Rápido:** (En su mayoría) de cinemática paralela de CoreXY significan que los motores, por lo general la mayor fuente de inercia en un escenario DIY-grado, son estacionarias. Esto permite aceleraciones rápidas.

- **Simple:** CoreXY puede ser implementado con sólo tres placas estructurales.
- **Flexible.** Puede desempeñar diversas funciones.



Fuente: <http://blog.fabtotum.com/blog/2014/04/04/belts-and-stuff-experiences-to-share/>

Figura III.4: Sistema Movimiento Corexy

El mecanismo de movimiento que se utilizara para la parte mecánica es CoreXY ya que tiene incorporado un sistema cartesiano, es decir tiene dos ejes en una sola estructura. Es muy flexible en cuanto a su montaje, además este mecanismo está diseñado para ser utilizarlo en múltiples funciones.

3.1.2 MECANISMO DE MOVIMIENTO EJE Z

A. TORNILLO SIN FIN ACOPLADO A UN MOTOR

En la parte mecánica del eje Z se utilizara tornillos sin fin acoplados a un motor a pasos (Figura III.5). Los tornillos sin fin convierten el movimiento angular de los motores en movimientos lineales. Cada vez que el tornillo sin fin da una vuelta completa, el engranaje

o acople avanza un número de dientes igual al número de entradas sin fin, puede ser un mecanismo irreversible o no, dependiendo del ángulo de la hélice.

Especificaciones:

Longitud: 270mm

Diámetro: 10mm

Paso: 1.25mm



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura III.5: Tornillo sin fin con Acople

Acoples Flexibles

Los acoplamientos flexibles son capaces de transmitir torque con suavidad. Estos absorben los problemas de torsión (Figura III.6). Se utilizara acoples flexibles de 5mm de entrada y salida de acuerdo al eje del motor a pasos Nema.



Fuente: <http://txapuzas.blogspot.com/2009/12/txapu-cnc-hardware.html>

Figura III.6: Acople Flexible

Función

- Conectar y Transmitir la potencia de un eje conductor a un eje conducido
- Proteger el sistema
- Conseguir compensar un total de 4 desalineaciones del eje:
 - Angular
 - Excéntrica
 - Combinada (angular + excéntrica)
 - Movimiento axial

Aplicaciones:

- Eje Encoder
- Posición rotatoria de transmisión
- Stepper y motor sincrónico.

Opciones:

- Diferentes Diámetros y tamaños de agujeros
- Diferentes materiales
- Versión para mayor torsión

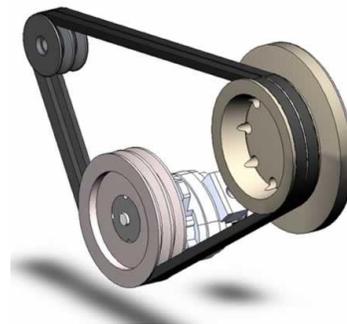
3.1.3 MECANISMO DE TRANSMISIÓN

El mecanismo de transmisión que utiliza CoreXY es: **Sistema de Poleas - correa: mecanismo de transmisión circular.**

El mecanismo de transmisión poleas - correa (Figura III.7), se usa para transferir la potencia mecánica dispuesta por el eje del motor en medio de dos ejes separados entre sí

por un cierto espacio. La transmisión de movimiento del sistema poleas – correa se debe al rozamiento de las correas sobre las poleas, de manera que sólo será posible cuando el movimiento rotórico y de torsión que se ha de transmitir entre ejes sea inferior a la fuerza de rozamiento.

- Este mecanismo de transmisión se usa cuando no se requiere grandes potencias de un eje a otro.
- Es recomendable usar correas dentadas.
- Tener las correas lo suficientemente tensadas para evitar que las correas se salgan de las poleas.



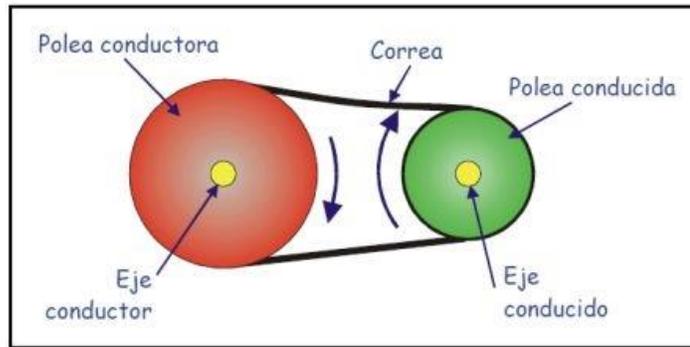
Fuente: <https://sites.google.com/site/tecnorlopez32/tema5-mecanica/02-mecanismos-de-transmision>

Figura III.7: Poleas y Correas

Correas: se usan para transmitir movimiento de rotación entre dos ejes paralelos. Están disponibles en forma plana, redonda y dentada.

Poleas: tenemos dos tipos de poleas, motriz y conducida (Figura III.8).

La polea motriz es la polea conductora, es decir es la que tiene movimiento propio que es causado por un motor.



Fuente: <http://es.slideshare.net/natydelabarrera/sistema-polea-correa-2>

Figura III.8: Polea Motriz y Conducida

La polea conducida es la polea que se mueve con el movimiento propio de la polea motriz.

3.2 SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS

El elemento principal de la impresora 3D es un computador, en el cual se procesa toda la información necesaria para ejecutar las acciones de control que gobiernan a la máquina. Para ello se requerirá de dos interfaces, una entre operador y controlador y la otra entre el controlador y la máquina. La interfaz del operador contiene el panel de control y otros dispositivos, la interfaz de control, están compuestos de varios elementos que comandan los actuadores de los ejes de movimiento, sistema de extrusión, etc.

Para seleccionar los componentes electrónicos de una manera adecuada nos basaremos en la validación de componentes, que es analizar las diferencias entre los productos disponibles, ventajas y desventajas y hacer una evaluación de los mismos, mediante los factores a calificar.

Tabla III.I: Tabla de interpretación, Porcentaje y Calificación

Interpretación	Porcentaje %	Calificación
Insuficiente	0-49	1
Suficiente	50-59	2
Satisfactorio	60-69	3
Bueno	70-79	4
Excelente	80-100	5

Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

3.2.1 SELECCIÓN DE LAS PLACAS ELECTRÓNICAS:

Otro factor importante en el funcionamiento de las impresoras 3D es la electrónica. ¿Por qué hay la existencia de diferentes electrónicas y que diferencias tienen? El porqué es sencillo, es decir no ofrece dificultad al tratarse de hardware libre y electrónica experimental, han aparecido una variedad de proyectos diferentes donde, además, cada uno ha ido transformándose sucesivamente.

A. ALTERNATIVA A: ARDUINO MEGA 2560 + RAMPS 1.4 + DRIVERS A4988

La placa electrónica RAMPS es la interfaz entre una placa Arduino Mega y los drivers de motor de la impresora 3D. Es decir, para tener la electrónica completa para una impresora 3D es necesario un arduino mega, una ramps y cuatro drivers de motor (Figura III.9).



Fuente: http://wiki-es.bcndynamics.com/elegir_impresora_3d

Figura III.9: Shield

Características de la tarjeta RAMPs 1.4

Tabla III.II: Características de la Ramps v 1.4

Procesador	ATmega2560
Memoria	256 KB
Velocidad	16 Mhz
Medidas	100x60x50 mm
Termistores	3
MOSFETs	3
Endstops	6
Drivers motor pp	5 (todos extremos)
Conexión LCD	Si
Conexión Keypad	Si
SD card	Externa

Fuente: http://wiki-es.bcndynamics.com/elegir_impresora_3d

Ventajas y Desventajas RAMPs

Tabla III.III: Ventajas y Desventajas de la Ramps

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Diseño Modular	La producción es costosa
Sobredimensionada	Ocupa más espacio
Reutilizable en otros proyectos	
Conocida	
Utiliza Arduino	

Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Arduino Mega 2560

La apertura de Arduino significa que el micro-controlador puede encontrarse en el corazón de muchos dispositivos de hardware Open Source hoy en día, incluyendo impresoras 3D.

Hasta ahora, la impresora 3D de escritorio más popular ha sido un diseño original de Open Source basado en la impresora original RepRap: Replicator de la MakerBot. Contrariamente al RepRap proyecto no comercial, MakerBot (introducido en enero de 2012) no está enfocada en un objetivo de auto-replicación.

La impresora 3D mejorada tiene más del doble la compilación envolvente, incluye un extrusor doble permitiendo la construcción de dos colores y actualizado la electrónica que incluye una pantalla LCD y un teclado de control para la interacción con el usuario directo sin la necesidad de una PC (Figura III.10).



Fuente: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>

Figura III.10: Arduino Mega 2560

Características:

- **Microcontrolador:** ATmega2560
- **Tensión de alimentación:** 5V
- **Tensión de entrada recomendada:** 7-12V
- **Límite de entrada:** 6-20V
- **Pines digitales:** 54 (14 con PWM)
- **Entradas analógicas:** 16
- **Corriente máxima por pin:** 40 mA
- **Corriente máxima para el pin 3.3V:** 50 mA

- **Memoria flash:** 256 KB
- **SRAM:** 8 KB
- **EEPROM:** 4 KB
- **Velocidad de reloj:** 16 MHz

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ARDUINO

Tabla III.IV: Ventajas de Arduino Mega 2560

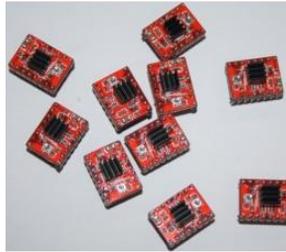
Ventajas
Asequible
Multi-Plataforma
Entorno de Programacion Simple y Directo
Software ampliable y de Código abierto
Hardware ampliable y de Código abierto

Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

DRIVERS A4988 (POLOLUS)

El driver A4988 (Figura III.11), es un controlador de motor microstepping completa con integrado traductor para una fácil operación. Está diseñado para operar motores paso a paso en completa, media tensión, etc. Con una capacidad de transmisión de salida de hasta 35V y ± 2 A.

La función que desempeñan los pololus consiste en ordenar el movimiento de los motores paso a paso, a través de impulsos eléctricos. Los Pololus llevan integrado un potenciómetro que controla la cantidad de corriente que le llega al motor es decir si el potenciómetro no permite el paso de la corriente necesaria para que el motor opere, las bobinas internas de los motores no tendrán la fuerza suficiente para moverse.



Fuente: <http://www.ebammat.com/home/1-Arduino.html>

Figura III.11: Pololu

Características:

- Cinco diferentes resoluciones de pasos: pasos completos, medio paso, un cuarto de paso, un octavo de paso y un XVI de paso.
- Corriente variable, lo que le permite ajustar la corriente máxima de salida con un potenciómetro.
- Apagado térmico, bloqueo de bajo voltaje y protección en exceso de temperatura.
- Protección en corto a tierra y en cortocircuito de carga.

B. ALTERNATIVA B: MINITRONICS

La placa minitronics (Figura III.12), se asemeja la Ramps v1.4. No tiene posibilidades de tener una ampliación ya que todos sus componentes están integrados en una sola placa.



Fuente: <https://sites.google.com/site/3dprinterlist/electronics/integrated-controller-boards/minitronics-1-0>

Figura III.12: Minitronics

Características:

Tabla III.IV: Características Minitronics

Procesador	ATmega1281
Memoria	128KB
Velocidad	16 Mhz
Medidas	94x57x18 mm
Termistores	2
MOSFETs	4
Endstops	3
Drivers motor pp	4+1 (1 es extremo)
Conexión LCD	No
Conexión Keypad	No
SD card	No

Fuente: http://wiki-es.bcndynamics.com/elegir_impresora_3d

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

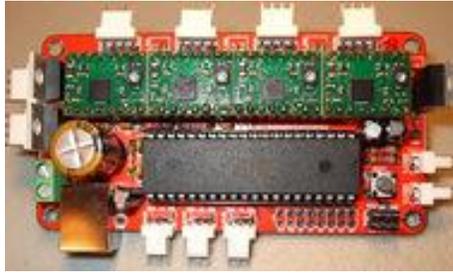
Tabla III.V: Ventajas y Desventajas Minitronics

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Menor Coste	No se puede cambiar los drivers
Menor Tamaño	Las conexiones son las justas y necesarias para la impresora 3D.
Más fácil de montar	

Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

C. ALTERNATIVA C: SANGUINILOLU

Sanguinololu es una placa que tiene integrada todas las funciones que son necesarias para una impresora 3D, tiene una alta relación de capacidad-precio. Los conductores de los motores a pasos son compatibles con los drivers A4988 y DRV8825. La fuente de alimentación para Sanguinololu es flexible y se puede alimentar mediante la entrada de ATX-4 o con el conector de dos pines (Figura III.13).



Fuente: <http://reprap.org/wiki/Sanguinololu/es>

Figura III.13: Sanguinololu

Características:

- Diseño Compacto
- Hasta 4 controladores de motores a pasos
- Soporta múltiples configuraciones de alimentación
- 2 conectores para los termistores
- 2 Mosfets tipo N para el extrusor y base caliente
- Conectores en el borde de la tarjeta
- Pines adicionales para:

UART1 (RX TX),

I2C (SDA SCL),

SPI (MOSI MISO, SCK),

PWM PIN (1)

5 I/O analógicas

Los factores para elegir la mejor alternativa son:

Valoración: Del 1 al 5 de acuerdo a la placa

Tabla III.VI: Valoración Placas

PESO	INTERPRETACION
1	Insuficiente
2	Suficiente
3	Satisfactorio
4	Bueno
5	Optimo

Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

D. SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA:

Tabla III.VII: Selección de la alternativa Placa

ALTERNATIVAS							
		A		B		C	
FACTOR	PESO	Calif.	Ponderado	Calif.	Ponderado	Calif.	Ponderado
Montaje	3	5	15	4	12	3	9
Procesador	4	5	20	3	12	3	12
Velocidad	4	5	20	4	16	2	8
Termistores	5	5	25	4	20	2	10
Drivers	5	5	25	4	20	5	25
Finales de carrera	4	5	20	4	16	4	16
Costo	3	3	9	4	12	5	15
			134		108		90

Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

De acuerdo a esta validación se toma la alternativa A que es Ramps v1.4 + Arduino Mega 2560 + Pololus (A4988), debido a que tiene como características únicas que es expandible para otros dispositivos electrónicos y su facilidad para reemplazar elementos.

3.2.2 ACTUADORES

Debido a las características de una impresora 3D se decide que se utilizara actuadores eléctricos, porque son precisos, fiables, de fácil control, instalación sencilla y son silenciosos.

Los tipos de actuadores eléctricos son varios pero solo nos centraremos en el análisis de los motores a pasos y servomotores de corriente continua. En este tipo de motores la alimentación del devanado inductor se presenta mediante una fuente de alimentación externa a la máquina, por este motivo se puede controlar la velocidad variando su corriente de excitación.

A. ALTERNATIVA A: SERVOMOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

Tienen como característica principal la capacidad de poder ubicarse en cualquier posición dentro de un rango de operación y mantenerse estable en dicha posición.

El control de posición se realiza en lazo cerrado, por lo que se consigue que el control de su posición sea muy preciso.

Los servomotores son en general un conjunto de cuatro cosas: un motor de corriente continua, un conjunto de engranajes, un circuito de control y un sensor de posición que puede ser un potenciómetro.

La posición de los servomotores se puede controlar con mayor precisión que los de motores de corriente estándar, y por lo general tienen tres cables: alimentación, tierra y control (Figura III.14).



Fuente: <http://www.kollewin.com/blog/fanuc-servo-motor/>

Figura III.14: Servomotor DC

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SERVOMOTORES

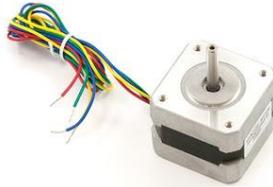
Tabla III.VIII: Ventajas y Desventajas de un servomotor

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Usan bucle cerrado	Costosos
tienen alta precisión y resolución	Complejos de manejar
Aceleración de carga rápida	Sistema de ventilacion se contamina facilmente
Momento de torsión elevado	Requieren mantenimiento
Curva de velocidad lineal	

Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

B. ALTERNATIVA B: MOTORES A PASOS

Los motores paso a paso (Figura III.15), son dispositivos electromagnéticos, incrementales que convierten pulsos digitales en rotación mecánica, sus movimientos son muy precisos y su velocidad es controlable. Se caracteriza por girar un cierto ángulo en función de la excitación específica de sus bobinas. Los más característicos son los de 200 pasos (1.8°). Los motores paso a paso utilizan múltiples electroimanes dentados dispuestos alrededor de un engranaje central para definir su posición. Requieren un circuito de control externo o microcontrolador y no se conecta directamente al Arduino.



Fuente: <http://argobot.blogspot.com/>

Figura III.15: Motor a pasos

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MOTORES A PASOS

Tabla III.IX: Ventajas y desventajas de los motores pasos

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Fácil de Operar	Menor eficiencia
Bajo Costo	Propenso a resonancia
Funcionamiento simple y exacto	Sobrecalentamiento a velocidades elevadas
Gira de forma continua	Potencia nominal baja
Velocidad variable	El funcionamiento a bajas revoluciones no es suave
Es fácil de invertir el sentido de rotación	No se puede utilizar para tareas de alta velocidad
Alta precisión	Pérdida de posición por trabajar en bucle abierto

Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Existen dos tipos de motores de pasos de imán permanente: unipolares y bipolares.

Los motores bipolares tienen un solo devanado por fase. La corriente en un devanado debe revertirse con el fin de revertir un polo magnético, por lo que el circuito de conducción debe ser más complicado, por lo general con un puente H. Hay dos cables por fase, ninguno es común. Son fáciles de reconocer por los 4 hilos que salen de su estructura, tienen dos bobinados, correspondiendo cada uno de ellos a una fase.

Un motor paso a paso unipolar tiene un arrollamiento con toma central por fase. Cada sección de los devanados se enciende para cada dirección del campo magnético. Dado

que en esta disposición un polo magnético se puede invertir sin cambiar la dirección de la corriente, la conmutación de circuitos puede hacerse muy simple para cada devanado. Tienen 5 o 6 hilos que salen de su estructura, el bobinado por cada fase es doble, unido en el interior y puesto en serie nos da 6 hilos, dos para cada bobinado.

Los factores para elegir la mejor alternativa son:

Valoración: Del 1 al 5 de acuerdo a las características de los actuadores.

Tabla III.X: Valoración Actuadores

PESO	INTERPRETACION
1	Insuficiente
2	Suficiente
3	Satisfactorio
4	Bueno
5	Optimo

Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

C. SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA:

Tabla III.XI: Selección Alternativa Actuator

		ALTERNATIVAS			
		A		B	
FACTOR	PESO	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Circuito driver	3	4	12	3	9
Ruido y Vibración	4	3	12	3	12
Método de Control	3	4	12	3	9
Costo	5	1	5	5	25
Torque	3	4	12	4	12
Precisión	4	3	12	3	12
			65		79

Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Como actuador para nuestra impresora tenemos la alternativa B que son los motores a pasos bipolares porque nos permite tener el control de la dirección, velocidad, y de la posición a través de su naturaleza de rotación por incrementos fraccionales, adecuado para las impresora 3D y dispositivos similares, además estos motores son económicos en comparación a los servomotores.

3.2.3 INYECTOR (HOT-END)

Esta pieza se encarga de fundir el filamento de plástico, este fundidor tiene una función crítica ya que deberá estar a la temperatura y velocidad adecuada para obtener una buena calidad de impresión. En el mercado existen diversos inyectores por lo que seleccionaremos un hot-end de acuerdo al modelo de impresora.

A. ALTERNATIVA A: J-HEAD MK-V

El hotend J-HEAD MK-V es actualmente uno de los hotend más compactos y robustos que existe en el mercado. Tiene un mecanizado excelente y un aumento de la longitud en la zona de fusión. Para reducir el peso, se utiliza una boquilla de aluminio. Este hotend es una combinación de ideas de otros diseños de nozzle para reducir el número de componentes de la máquina (Figura III.18).

Especificaciones:

- Heater de aluminio
- Mecanizado del Heater de aluminio
- Termistor 100k
- Manguito interior PTFE
- Boquilla de 0.5mm o 0,35mm

- Disponible para filamentos de 3mm y 1,75mm.
- Temperatura máxima de operación 250°C
- Resistencia de 6.8 ohm y 2.5 watts



Fuente: https://www.hotends.com/index.php?route=product/product&product_id=88

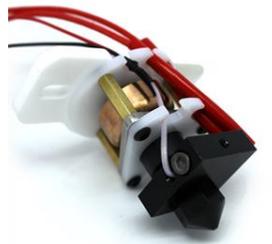
Figura III.18: Hot-end J-HEAD MK-V

B. ALTERNATIVA B: BUDA-STYLE

Buda-Style es un Hotend muy popular en el uso de las impresoras 3D (Figura III.19).

Especificaciones:

- Soporte de aluminio.
- Mecanizado del soporte de aluminio: 18.4 mm, 25 mm, 8.3 mm
- Boquilla de aluminio: 0.4mm, 0.5mm
- Termistor 100k
- Disipador de calor: cobre, aluminio.
- Tubo interior PTFE (filamento de diámetros 1.75mm y 3mm)
- Para utilizar filamento de 3mm, cambiar el tubo PTFE.



Fuente: <http://www.iniciativas3d.com/products/126-hotend-buda-style-v12.aspx>

Figura III.19: Hot-end Buda- Style

C. ALTERNATIVA C: ARGENTO

Posee excelentes características (Figura III.20).

Especificaciones:

- Heater de aluminio
- Manguito de PTFE
- Termistor 100k
- Cartucho de cerámica de calentamiento, 12v y 40 W
- Temperatura de operación de 180° C a 270°C
- Boquilla de aluminio: (0.5mm, 0.35mm)



Fuente: <http://forums.reprap.org/read.php?276,209175>

Figura III.20: Hot-end Argento

Los factores para elegir la mejor alternativa son:

Valoración: Del 1 al 5 de acuerdo a las características de los inyectores.

Tabla III.XII: Valoración Hot-end

PESO	INTERPRETACION
1	Insuficiente
2	Suficiente
3	Satisfactorio
4	Bueno
5	Optimo

Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

D. SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA:

Tabla III.XIII: Mejor Alternativa Hot-end

ALTERNATIVAS							
FACTOR	PESO	A		B		C	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Temperatura	5	4	20	4	20	4	20
Costo	4	3	12	4	16	3	16
# de componentes	5	4	20	3	15	3	15
Boquilla	5	4	20	4	20	4	20
Disponibilidad	3	4	12	4	12	4	12
Resolución	4	4	16	3	12	3	12
			100		95		95

Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Se concluye que el hot-end J-HEAD MK-V es el más adecuado, pues posee especificaciones bastante fiables y el número de componentes es reducido.

3.2.4 SENSORES:

Un sensor es un dispositivo que detecta magnitudes físicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarles en variables eléctricas.

Para conseguir que la impresora 3D realice una impresión adecuada necesitamos un sistema que tenga el conocimiento de todo su entorno y que nos brinde precisión y velocidad. Tenemos los sensores electromecánicos (finales de carrera), y los electrónicos.

A. ALTERNATIVA A: FINAL DE CARRERA:

Conocido como interruptor de límite, es un conmutador de dos posiciones con retorno a la posición origen y tiene una barra inflexible de accionamiento, están situados al final del recorrido de un elemento móvil.

Consta de dos partes cabeza y cuerpo. En la cabeza se detecta el movimiento y en el cuerpo existen interruptores normalmente abiertos (NA), normalmente cerrado (NC) y masa (G) (Figura III.21).



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_final_de_carrera

Figura III.21: Final de carrera

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

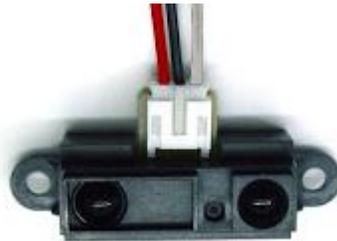
Tabla III.XIV: Ventajas y Desventajas Finales de carrera

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Facilidad de instalación	Velocidad de detención
Robustez del sistema	Posibilidad de rebotes es el contacto
Insensible a estados transitorios	Fuerza de actuación
Trabaja a tensiones altas	
Inmune a la electricidad estática	

Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

B. ALTERNATIVA B: SENSORES INFRARROJOS DE PROXIMIDAD Sharp (4-30cm)

El 2D120X F de Sharp (Figura III.22), es un sensor de medición de distancia, compuesto por una combinación integrada de PSD (detector de posición sensible), IR-LED (diodo infrarrojo emisor de luz).



Fuente: <http://jrmpfundiza2012robotica.blogspot.com/p/sensores.html>

Figura III.22: Sensor Sharp

Características:

- Sensor que utiliza señales infrarrojas para medir la distancia de un objeto.
- Ciclo de medición a corto plazo (16.5ms)

- Rango de medición 4 cm a 30 cm
- Tipo de salida analógica.

Los factores para elegir la mejor alternativa son:

Valoración: Del 1 al 5 de acuerdo a las características de los sensores.

Tabla III.XV: Valoración Sensores

PESO	INTERPRETACION
1	Insuficiente
2	Suficiente
3	Satisfactorio
4	Bueno
5	Optimo

Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

C. SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA:

Tabla III.XVI: Mejor Alternativa Sensores

ALTERNATIVAS					
		A		B	
FACTOR	PESO	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Manipulación	3	5	15	3	9
Costo	4	5	20	3	12
Disponibilidad	5	5	25	3	15
Complejidad	3	2	6	4	12
			66		48

Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

La alternativa A es la mejor opción debido a su fácil manipulación, disponibilidad y su bajo costo.

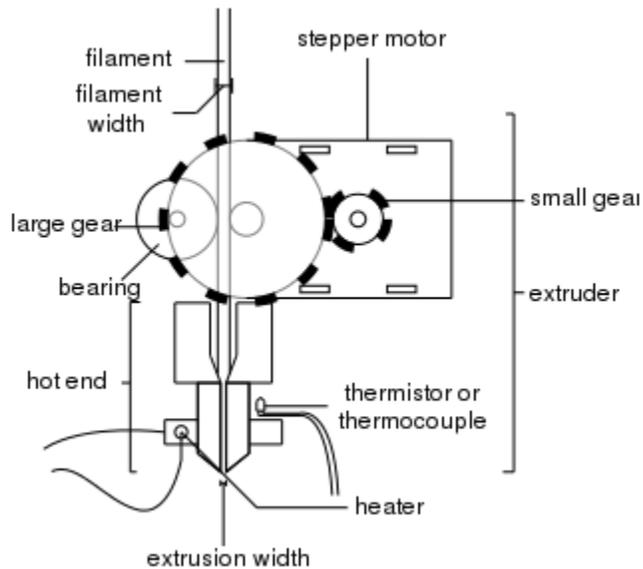
3.2.5 EXTRUSOR

Tenemos dos tipos disponibles de extrusores estos son: extrusor directo y Bowden.

A. ALTERNATIVA A: EXTRUSOR DIRECTO:

En el extrusor directo el motor engranado tira el filamento, para que posteriormente sea fundido. Como característica principal tenemos que el motor del extrusor está directamente encima del extremo caliente (Fusor).

Este tipo de extrusor es muy utilizado por cuestiones de diseño y facilidad en su montaje (Figura III.23).

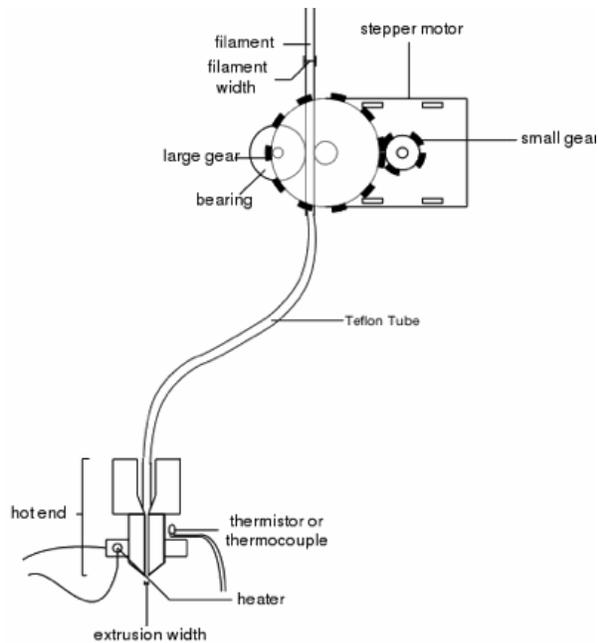


Fuente: <http://start3dprinting.com/2013/07/what-is-a-bowden-extruder/>

Figura III.23: Esquema Extrusor Directo

B. ALTERNATIVA B: EXTRUSOR BOWDEN

El extrusor bowden se compone de dos partes, la primera es que tiene un tubo flexible para guiar el filamento desde el motor de extrusión hacia la boquilla (extremo caliente) (Figura III.24).



Fuente: <http://start3dprinting.com/2013/07/what-is-a-bowden-extruder/>

Figura III.24: Esquema Extrusor Bowden

Este tipo de extrusor reduce el peso de las piezas movilizadas, porque el motor paso a paso está en una posición fija, el extremo caliente se mueve con menos fuerza, lo que permite tener velocidades más rápidas.

Los factores para elegir la mejor alternativa son:

Valoración: Del 1 al 5 de acuerdo a las características de los sensores.

Tabla III.XVII: Valoración Extrusor

PESO	INTERPRETACION
1	Insuficiente
2	Suficiente
3	Satisfactorio
4	Bueno
5	Optimo

Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

C. SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

Tabla III.XVIII: Mejor Alternativa Extrusores

ALTERNATIVAS					
		A		B	
FACTOR	PESO	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Montaje	4	4	16	3	12
Costo	4	3	12	3	12
Precisión	4	4	16	4	16
Diseño	4	3	12	3	12
			56		52

Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

La mejor alternativa es el extrusor Directo por que requiere de una sola plataforma para su montaje, por lo que es fiable y fácil de controlar al momento de su montaje.

3.2.6 sensores de temperatura (termistor)

Termistor 100k NTC

El termistor detecta la temperatura de la cama caliente y la del extrusor, los termistores son resistencias que cambian la resistencia con un cambio en la temperatura. La calidad de los termistores está en un valor de resistencia predecible, conocido con precisión en el

rango de operación. La bajada o subida, depende del tipo de termistor por grado Kelvin(o Celsius), esto se llama coeficiente.

El coeficiente térmico positivo (PTC) se incrementara en la resistencia con un aumento de temperatura, los negativos (NTC) disminuirá (Figura III.25).

Utilizamos un sensor de temperatura para el extrusor de 100K.

Para medir la temperatura de la cama caliente de 10K.



Fuente: <http://bcndynamics.com/es/product/termistor-100k-ntc-epcos>

Figura III.25: Termistor 100 NTC

Características:

- Encapsulado de vidrio, calor resistivo y altamente estables
- Para las mediciones de temperatura hasta 250°C
- Respuesta rápida
- Pequeñas dimensiones
- Conduce: cables dumet (revestido de cobre FeNi)

Especificaciones:

- **Descripción de los pines** 0,15mm de diámetro X 65mm Straight Lead
- **Máxima potencia nominal** 18mW
- **Número de pines** 2

- **Diámetro del producto** 0.8mm
- **Altura del producto** 1.4mm
- **Índice de sensibilidad** 4066K
- **Coeficiente térmico** 4.5% / °C
- **Tipo** NTC

3.2.7 RESISTENCIA

Esta resistencia alcanza altas temperaturas, ideal para calentar el extrusor, con una resistencia de 6.8 Ohm y 2.5Watts (Figura III.26).



Fuente: <http://bcndynamics.com/es/product/resistencia-extruder-6r8-25w>

Figura III.26: Resistencia

Especificaciones:

- **Tipo de Encapsulado** Conformal
- **Potencia nominal** 3W
- **Diámetro del producto** 5,5mm
- **Longitud del producto** 12mm
- **Resistencia** 6.8 Ohm

- **Tecnología** Bobinado
- **Coeficiente de temperatura** $\pm 75 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$
- **Tipo de terminación** Axial
- **Tolerancia** 5%

3.2.8 CAMA CALIENTE (MK2b)

Bandeja PCB resistiva capaz de calentarse hasta más de 110°C , los necesarios para imprimir con filamento ABS y más que suficiente para imprimir con PLA.

Es un circuito de cobre con mínima resistencia para disipar al máximo el calor, esta bandeja sustituye a la clásica bandeja de metal con resistencias y cables en la parte inferior. Posee un montaje simple y tiene una distribución homogénea del calor.

Tiene una tensión de alimentación de 12 V y 24V (Figura III.27).



Fuente: <http://bcndynamics.com/es/product/cama-caliente-pcb-mk2b>

Figura III.27: Cama Caliente

3.2.9 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Para elegir la fuente de alimentación adecuada es necesario conocer el consumo que va a tener la impresora 3D durante su funcionamiento. Para esto se realizara los cálculos de consumo de los diversos componentes:

Motores a pasos NEMA 17

Para la impresora se requiere el uso de 5 motores. Por lo tanto el consumo total de los motores a pasos será:

De manera que la potencia total que consumen los motores será:

$$P_m = V \times I \quad [3.1]$$

Dónde:

$$\begin{aligned} V = \text{Voltaje} & \quad V = 2.8\text{Vdc} \\ I = \text{Corriente} & \quad I = 1.68\text{A/fase} = 3.36\text{A} \end{aligned}$$

$$P_m = 5 \times 2.8\text{V} \times 3.36\text{A}$$

$$P_m = 47.04\text{ W}$$

Cama caliente (MK2b)

Potencia que consumirá la Plataforma caliente:

$$P_{pcb} = V \times I \quad [3.2]$$

Dónde:

$$\begin{aligned} V = \text{Voltaje} & \quad V = 12\text{ Vdc} \\ I = \text{Corriente} & \quad I = 10\text{ A} = 3.36\text{A} \end{aligned}$$

$$P_{pcb} = 12V \times 10A$$

$$P_{pcb} = 120 W$$

Hot-end

Potencia que consumirá el Hot – end:

$$Pr = \frac{V^2}{R} \quad [3.3]$$

Dónde:

$$V = \text{Voltaje} \quad V = 12 \text{ v}$$

$$R = \text{Resistencia} \quad R = 6.8 \Omega$$

$$Pr = \frac{12^2}{6.8}$$

$$Pr = 21.18 W$$

Ventilador

Potencia que consumirá el Ventilador:

$$Pv = V \times I \quad [3.4]$$

Dónde:

$$V = \text{Voltaje} \quad V = 12 \text{ v}$$

$$I = \text{Corriente} \quad I = 0.06 \text{ A}$$

$$P_v = 12V \times 0.06A$$

$$P_v = 0.72 W$$

El consumo de energía que tendrá la impresora 3D, por los componentes que demandan mayor cantidad de energía es:

$$P_t = P_m + P_{pcb} + P_r + P_v \quad [3.5]$$

$$P_t = 47.07W + 120 W + 21.18 W + 0.72 W$$

$$P_t = 188.94 W$$

Hay que tener en cuenta que si queremos ampliar el número de componentes como añadir otro motor, otro extrusor, etc., se necesitara más potencia.

Además es importante recordar que no se ha tenido en cuenta el consumo del microprocesador ATmega2560, así como de los drivers. Por lo tanto será suficiente una fuente de alimentación de unos 360 W. Se utilizara una fuente de alimentación (Figura III.28), de las computadoras que son de 12V y 500W.



Fuente: http://html.rincondelvago.com/fuente-de-alimentacion_1.html

Figura III. 28: Fuente de alimentación

CAPÍTULO IV

DISEÑO Y SOFTWARE DE LA IMPRESORA 3D (MDF)

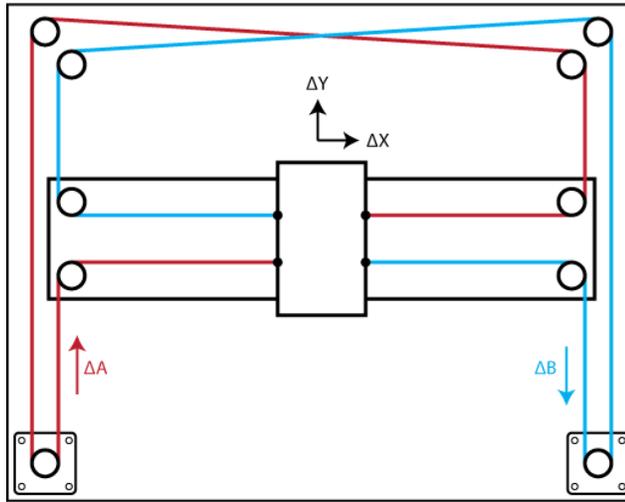
4.1 DISEÑO MECÁNICO DE LA IMPRESORA 3D

4.1.1 CORE XY

Core-XY es una implementación de movimiento lineal de dos ejes desarrollado en MIT Media Labs. El diseño en si es de código abierto; sin embargo es una plataforma móvil de luz que mantiene a los dos motores fijos al bastidor de montaje, además, por el cruce de correa, se eliminan los vectores de par no deseados.

Con el fin de mover los ejes X o Y, ambos motores deben moverse: rotación de ambos motores en una misma dirección resulta un movimiento horizontal, rotación de ambos motores en direcciones opuestas resulta un movimiento vertical y si un solo motor se mueve resulta un movimiento diagonal.

MECANISMO DE REFERENCIA:



Fuente: <http://corexy.com/theory.html>

Figura IV.1: Mecanismo CoreXY

$$\Delta X = \frac{1}{2}(\Delta A + \Delta B) \quad [4.1]$$

$$\Delta Y = \frac{1}{2}(\Delta A - \Delta B) \quad [4.2]$$

$$\Delta A = \Delta X + \Delta Y \quad [4.3]$$

$$\Delta B = \Delta X - \Delta Y \quad [4.4]$$

Características:

- El sistema cartesiano Core-XY es una estructura automática formada por ejes lineales.
- Facilita el Prototipado y manufactura rápida.
- Este sistema es de fácil construcción.
- Tiene rigidez estructural.
- Alto grado de precisión y exactitud.

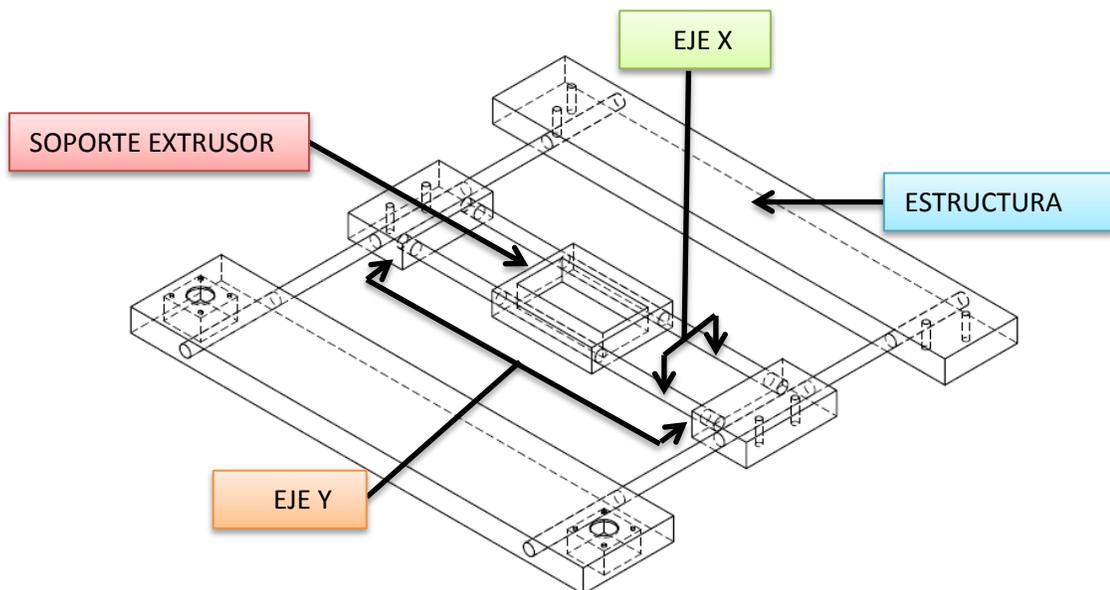
- Facilidad en el control de su posicionamiento y sobre todo tiene un costo reducido.

Especificaciones:

- Dimensiones: 500mmX49mm
- Material: Aluminio de 1 pulgada.
- Área de impresión: 200mmx200mmx200mm

A. ESTRUCTURA Y SISTEMA DE MOVIMIENTO COREXY:

En la (figura IV.2), se observa el sistema cartesiano Corexy que contemplan los ejes X e Y.



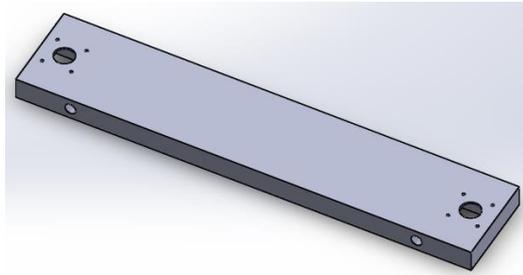
Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura IV.2: Estructura CoreXY

PARTES DEL SISTEMA COREXY

El sistema corexy consta de 5 partes robustas, cada una de ellas es soporte de algún componente electrónico o mecánico.

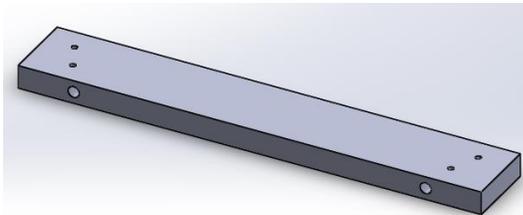
PIEZA 1 SOPORTE DE LOS MOTORES



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura IV.3: Soporte motores

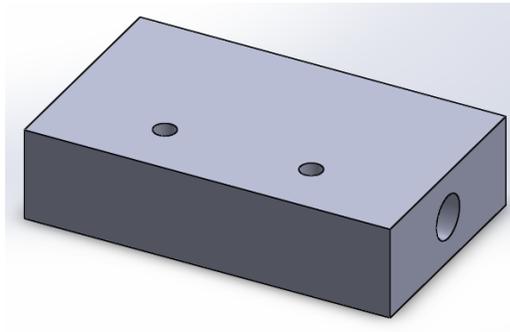
PIEZA 2 SOPORTE DE LAS POLEAS



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura IV.4: Soporte Poleas

PIEZA 3 SOPORTE DEL SISTEMA DE GUIADO



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura IV.5: Soporte Guiado

PIEZA 4 SISTEMA DE GUIADO COREXY

Para finalizar el movimiento del mecanismo corexy necesita un sistema de guiado (Figura IV.6), que tengan las siguientes características:

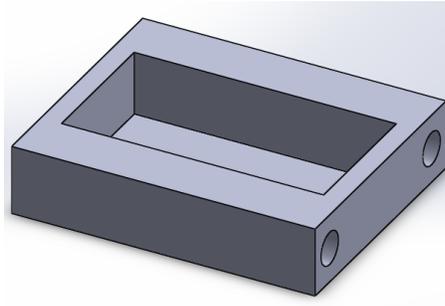
- Guiar los ejes móviles X e Y con una mínima fricción.
- Soportar cargas laterales.
- Los sistemas de guiado por eje son guías longitudinales



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura IV.6: Sistema de Guiado

PIEZA 5 SOPORTE DEL EXTRUSOR



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

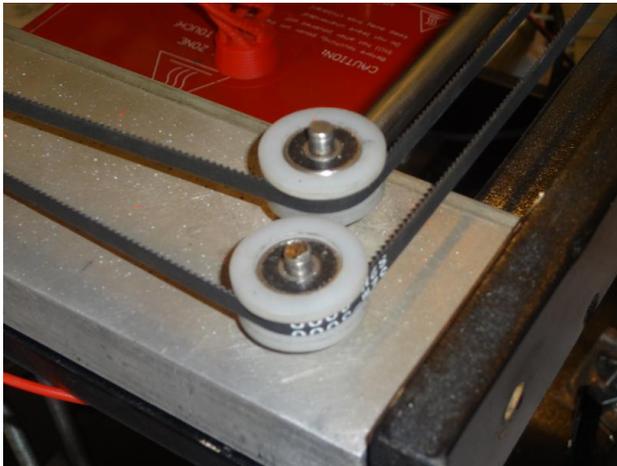
Figura IV.7: Soporte Extrusor

PIEZA 8 SISTEMA DE TRANSMISION: POLEAS-CORREAS

Las poleas y correas son probablemente las partes individuales más importantes cuando se trata de mejorar la calidad de impresión, tenemos dos tipos de correas:

- Diseñados para Sincronizar ejes giratorios: tipo T
- Diseñados para el movimiento lineal: tipo GT2

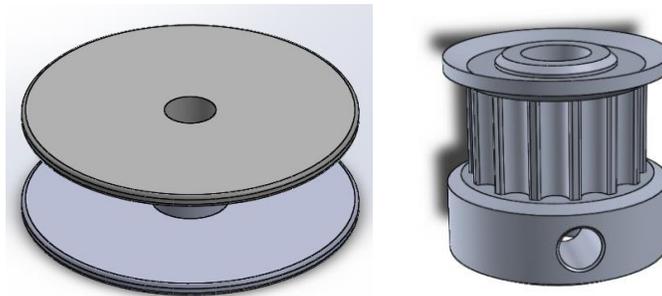
Para obtener una mejor calidad de impresión, se utilizara una polea y una correa que están diseñados para el movimiento lineal. La serie GT2 de correa y polea dentada está diseñado específicamente para este propósito. Estos usan un perfil de diente redondeado que garantiza que el diente de la correa se adapte con suavidad y precisión en la ranura de la polea, por lo que cuando se invierte la dirección de la polea, no hay lugar para la cinta se mueva en la ranura (Figura IV.8).



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura IV.8: Correa de distribución GT2

Utilizaremos la serie GT2 polea y correa dentada:

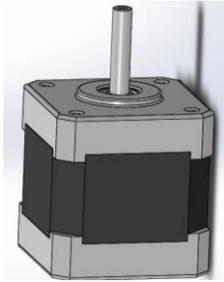


Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura IV.9: Poleas

Motor a Pasos NEMA 17

Como anteriormente se analizó los actuadores que se utilizara para la impresora 3D son los motores a pasos bipolares. Los motores a pasos que se utiliza con frecuencia en las aplicaciones CNC son los motores a pasos Nema. (Ver Anexo 2)



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura IV.10: Motor NEMA 17

Existen tres tipos de motores a pasos NEMA:

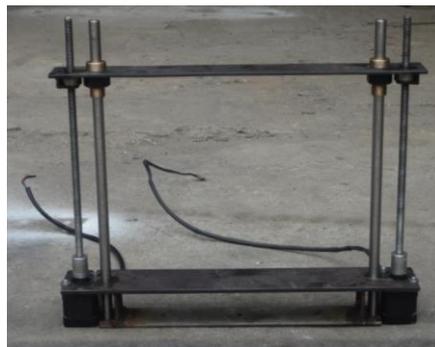
Nema 17: Torque de eje 0,59 N-m, 83 onzas-pulgada, 5,2 libras-pulgada.

Nema 23: Torque de eje 2,08 N-m, 276 onzas-pulgada, 18,4 libras-pulgada.

Nema 34: Torque de eje 3,06 N-m, 434 onzas-pulgada, 27,1 libras-pulgada.

4.1.2 EJE Z

El eje Z se conformara por un mecanismo Tornillo sin fin con Tuerca, su diámetro será de 10mm, este diámetro dará estabilidad al eje y evitara los juegos.



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura IV.11: Sistema Z

A. PESO QUE SOPORTA EL EJE Z:

$$\text{Peso} = \text{Peso específico} \times \text{Volumen} \quad [4.5]$$

$$\text{Volumen} = \pi r^2 \times h \quad [4.6]$$

$$\text{Volumen} = \pi(5 \times 10^{-3})^2 \times (0.27)$$

$$\text{Volumen} = 2.120 \times 10^{-5} \text{ mm}^3$$

$$\text{Peso} = \text{Peso específico} \times \text{Volumen}$$

$$\text{Peso} = 76.930 \frac{\text{N}}{\text{mm}^3} (2.120 \times 10^{-5})$$

$$\text{Peso}_{\text{Tornillo eje Z}} = 1.63 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$\text{Peso}_{\text{Total eje Z}} = 1.63 \times 10^{-3} \text{ N} + 6.86 \text{ N}$$

$$\text{Peso}_{\text{Total eje Z}} = 1.63 \times 10^{-3} \text{ N} + 6.86 \text{ N}$$

$$\text{Peso}_{\text{Total eje Z}} = 6.862 \text{ N}$$

B. CALCULO DEL TORQUE EJE Z:

Dónde:

$$\text{Diámetro} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Pasos} = 1.25 \text{ mm}$$

$$\text{Diámetro de paso} = D_p = 9.37 \text{ mm}$$

$$\text{Ángulo rosca} = 2\phi = 29^\circ \quad \phi = 14.5^\circ$$

$$\text{Ángulo de avance} = \lambda = 2.7^\circ$$

$$\text{Coeficiente fricción pares roscados} = f = 0.20$$

Diámetro de paso:

$$Dp = \text{Diámetro} - \frac{\text{Pasos}}{2} \quad [4.7]$$

$$Dp = 10\text{mm} - \frac{1.25\text{mm}}{2}$$

$$Dp = 9.37\text{mm}$$

Ángulo de avance (λ):

$$\lambda = \frac{1}{\tan} \left(\frac{\text{Pasos}}{\pi \times Dp} \right) \quad [4.8]$$

$$\lambda = \frac{1}{\tan} \left(\frac{1.25\text{mm}}{\pi \times 9.37\text{mm}} \right)$$

$$\lambda = 2.7^\circ$$

Par torsional de ascenso (Tu):

$$Tu = \frac{FDp}{2} \left(\frac{(\cos \phi \tan \lambda + f)}{(\cos \phi - f \tan \lambda)} \right) \quad [4.9]$$

$$Tu = \frac{6.862 \text{ N}(9.37\text{mm})}{2} \left(\frac{(\cos(14.5^\circ) \times \tan(2.7^\circ) + (0.20))}{(\cos(14.5^\circ) - ((0.20)\tan(2.7^\circ))} \right)$$

$$Tu = 8.034 \times 10^{-3} \text{ Nm}$$

Par torsional de descenso (Td):

$$Td = \frac{FDp}{2} \left(\frac{f - (\cos \phi \tan \lambda)}{(\cos \phi + f \tan \lambda)} \right) \quad [4.10]$$

$$Td = \frac{6.862 \text{ N}(9.37 \text{ mm})}{2} \left(\frac{0.20 - (\cos(14.5^\circ) \times \tan(2.7^\circ))}{(\cos(14.5^\circ) + ((0.20)\tan(2.7^\circ))} \right)$$

$$Td = 5.191 \times 10^{-3} \text{ Nm}$$

Potencia requerida para el tornillo de potencia

Dónde:

Potencia = P

Par_torsional_ascenso = T

Velocidad_giro = n

$$P = \frac{Txn}{63000} \quad [4.11]$$

$$P = \frac{0.0708 \text{ lbf. in} \times 47.75 \text{ rpm}}{63000}$$

$$P = 5.36 \times 10^{-5} \text{ hp}$$

$$P = 0.04 \text{ W}$$

La potencia necesaria para impulsar el motor será de 0.04 W, con lo cual se concluye que el motor a pasos Nema 17 es el adecuado en cuanto al torque y en potencia para el

sistema de transmisión en el eje Z, así también es el adecuado para el mecanismo de extrusión y los sistemas de transmisión en X e Y.

4.1.3 CÁLCULOS DE LOS PASOS DEL MOTOR PARA CONSEGUIR UN DESPLAZAMIENTO LINEAL DE 1MM EN LOS EJES X, Y, Z Y EXTRUSOR.

Cálculos necesarios para setear en el firmware:

Dónde:

Ángulo de paso del motor = 1.8° (Ver Anexo 5)

Micropasos del Driver (Ver Anexo 4)

Paso de la correa = 2mm (Ver Anexo 5)

Número de dientes de la polea = 20 (Ver Anexo 5)

A. PASO POR REVOLUCIÓN

$$Pasos_por_resolución = \frac{360}{\angle de Paso} \quad [4.12]$$

$$Pasos_por_resolución = \frac{360}{1.8^\circ}$$

$$Pasos_por_resolución = 200$$

B. PASOS POR MM EJES XY

$$Pasos_por_mm_ejes_X_Y = \frac{pasos_por_revolución \times micropasos_del_driver}{Paso\ de\ la\ correa \times \#_dientes_polea} \quad [4.13]$$

$$Pasos_por_mm = \frac{200}{2 \times 20}$$

$$Pasos_por_mm = 5$$

C. PASOS POR MM EJE Z

$$Pasos_por_mm_eje_Z = \frac{pasos_por_revolución \times micropasos_del_driver}{Paso_del_tornillo} \quad [4.14]$$

$$Pasos_por_mm = \frac{200}{1.25 \text{ mm}}$$

$$Pasos_por_mm = 160$$

D. PASOS POR MM EXTRUSOR

$$Pasos_por_mm_extrusor = \frac{(pasos_por_revolución \times micropasos_del_driver) (\#_dientes_polea_grande / \#_dientes_polea_pequeña)}{Diámetro_efectivo_engranaje \times \Pi}$$

$$Pasos_por_mm = \frac{(200)(43 / 10)}{7 \times \Pi} \quad [4.15]$$

$$Pasos_por_mm = 39.10$$

4.1.4 RESOLUCIÓN DE LA IMPRESORA 3D

Dónde:

$R = \text{Resolución}$

$puu = \text{pasos_unidad_tornillo}$

$p = \text{pasos_tornillo} = 1.25\text{mm}$

$Ns \text{ y } Nm = \text{Número de dientes_engranaje}$

$Ns \text{ y } Nm = \text{no existen valores porque es acople directo}$

$$R = \frac{p}{ppu} \quad [4.16]$$

$$puu = \text{pasos_por_revolución} \times \text{revolución_motor_por_unidad} \quad [4.17]$$

$$\text{Revolución_motor_unidad} = \frac{\text{revolución_tornillo_unidad} \times ns}{Nm} \quad [4.18]$$

$$\text{revolución_tornillo_unidad} = \frac{1}{\text{Paso_tornillo}} \quad [4.19]$$

$$\text{revolución_tornillo_unidad} = \frac{1}{1.25\text{mm}}$$

$$\text{revolución_tornillo_unidad} = 0.8 \text{ mm}$$

Entonces:

$$\text{Revolución_motor_unidad} = \text{revolución_tornillo_unidad} = 0.8 \text{ mm}$$

Reemplazando se tendrá:

$$puu = 3600 \times 0.8 = 2560$$

$$R = \frac{1.25}{2560}$$

$$R = 0.0004\text{mm}$$

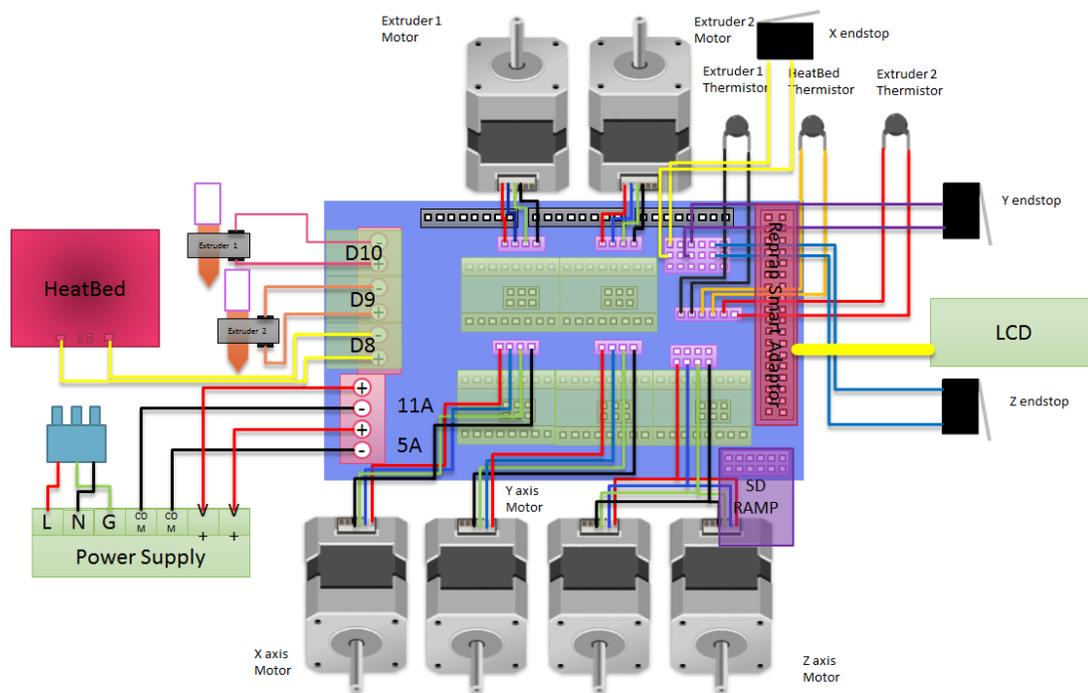
4.2 CONEXIONES

4.2.1 CONEXIÓN RAMPS V1.4 CON ARDUINO MEGA 2560

Un factor muy importante en las impresoras 3D es la electrónica, se ha realizado un análisis sobre la mejor opción y se ha obtenido como resultado Arduino Mega 2560 + Ramps v1.4 + Drivers (A4988).

La electrónica RAMPs significa RepRap Arduino Mega Pololu Shield y necesita de un Arduino mega para trabajar. Shield son tarjetas electrónicas que se conectan sobre Arduino y le brinda funcionalidades, por ejemplo shield le da a arduino la capacidad de mover motores. En resumen facilita las conexiones del resto de componentes que serán necesarios para que funcione la impresora 3D.

4.2.2 CONEXIÓN RAMPs V1.4

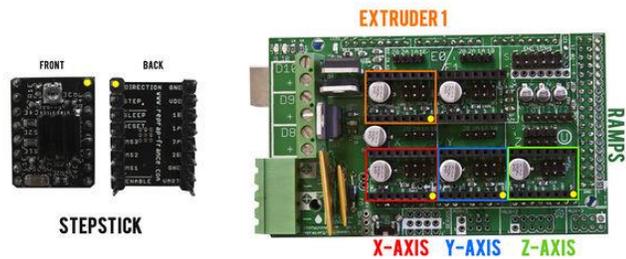


Fuente: <http://3dprinter.org.ua/wp-content/uploads/Ramps-1.4.png>

Figura IV.12: Conexión Ramps

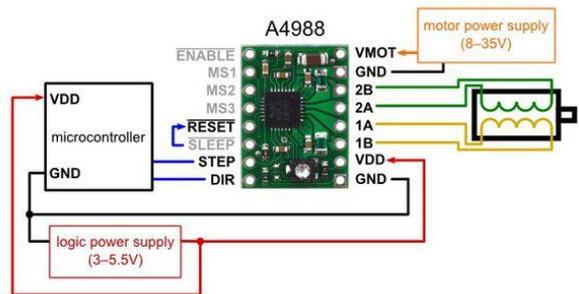
4.2.3 CONEXIÓN ENTRE ARDUINO MEGA SHIELD Y DRIVERS DE MOTORES A PASOS.

Los cuatro drivers permitirán controlar el movimiento de los motores del eje X, Y, Z y del extrusor, este impulsa el filamento de plástico para que sea extruido. Para el eje Z se utilizara dos motores, estos serán controlados mediante un solo drivers, este tendrá la suficiente corriente para que los dos motores funcionen de una manera óptima y adecuada.



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura IV.13: Conexión Polulus



4.2.4 CONEXIÓN ENTRE ARDUINO MEGA SHIELD Y TERMISTORES

En la parte inferior derecha se tiene 3 pares de pines denominados T0, T1, T2, los pines del T0 son para el termistor del extrusor, T1 para el termistor de la cama caliente (heated-bed), y T2 para un extrusor dos.

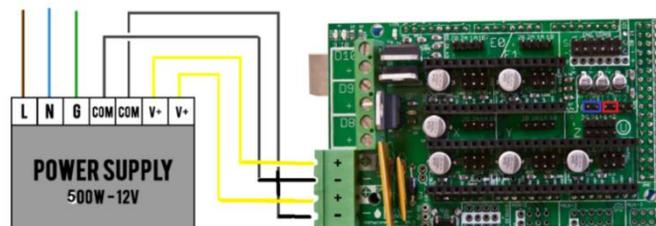


Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura IV.15: Conexión Termistores

4.2.5 CONEXIÓN ENTRE ARDUINO MEGA SHIELD Y FUENTE DE ALIMENTACION

La fuente de alimentación es un dispositivo no crítico en cuanto a los requerimientos, pero si hay que procurar tener una salida de -12V y 12V DC y al menos una corriente de 15A.



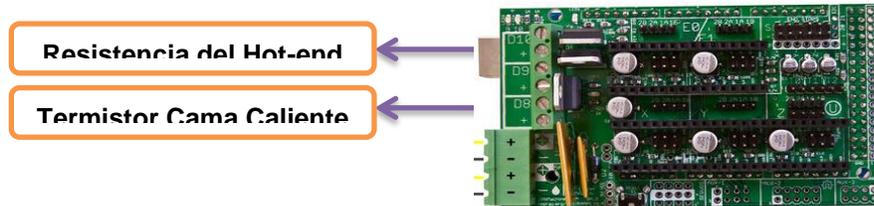
Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura IV.16: Conexión Fuente de alimentación.

4.2.6 CONEXIÓN ENTRE ARDUINO MEGA SHIELD Y ALIMENTACION EXTRUSOR

En la parte superior se tendrá 3 pares de borneras denominados D8, D9, D10, los bornes D10 están destinados a conectar la resistencia de potencia del hot-end, esta resistencia ayuda a soportar temperaturas altas al hot-end. Los bornes de D9 es para una posible

instalación de ventilador y los bornes del D8 se conectarán a la cama caliente de acuerdo a la polaridad.



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura IV.17: Conexión Alimentación Extrusor

Las tres conexiones (heated-bed, ventilador y hot-end), están conectadas internamente a los tres mosfet, estos se encargan de controlar el paso de la corriente a los tres dispositivos que serán conectados.

4.3 SOFTWARE

4.3.1 OPEN SOURCE

Una plataforma Open Source de código abierto, significa que es de libre acceso, el usuario puede manipular el software es decir es autónomo. Una vez obtenido el software puede ser usado, estudiado y cambiado. Ganó popularidad con el auge de Internet, que proporciona acceso a los modelos de producción diversos, vías de comunicación y comunidades interactivas.



Fuente: <http://opensource.org/logo-usage-guidelines>

Figura IV.18: Logo Open Source

Licencias Open Source

Las licencias de código abierto son licencias que cumplen con la definición de Open Source, estas permiten que el software pueda ser usado libremente, modificado y que se pueda compartir. Para ser aprobada por la Open Source Initiative (también conocido como el OSI), una licencia debe pasar por el proceso de revisión de la licencia de Open Source Initiative. Los términos de distribución de software de código abierto deben cumplir con los siguientes criterios.

- Redistribución gratuita
- Trabajos derivados
- Integridad del código fuente del autor
- No discriminación contra personas o grupos.
- No discriminación en función de Endeavor.
- La licencia no debe restringir otro software
- La licencia debe ser tecnológicamente neutral

A. SOFTWARE DE CÓDIGO ABIERTO

Open Source Software (OSS) puede definirse como programas informáticos para que sea legible el código fuente, se hacen disponibles bajo una licencia de copyright (o arreglo como del dominio público) que cumple con la definición de Open Source. Esto permite a los usuarios a utilizar, cambios, mejoran el software, y redistribuirla modificando o sin modificar de forma que a menudo es desarrollado de manera pública y colaborativa. Software de código abierto es el ejemplo más prominente del desarrollo de código abierto y a menudo comparado con contenido generado por el usuario.

En la actualidad la impresión 3D (también llamada fabricación aditiva), es pionera en cuanto se refiere a tecnología, porque es un proceso que se realiza en tres dimensiones, lo cual despierta interés de cómo es posible que se pueda realizar objetos sólidos de diferentes formas, a partir de un modelo digital de computador.

LICENCIAS DE SOFTWARE LIBRE

Las licencias de fuentes abiertas fijan las obligaciones y limitaciones que el licenciante debe cumplir para utilizar, modificar o compartir el hardware/software de código abierto

La GNU licencia general pública (GPL) es la licencia más generalizada de código abierto, de todo el software que se ha aplicado, ninguno es más conocido que el kernel de Linux. De hecho GPL se ha aplicado en la mayoría de módulos de software que se incluyen en las conocidas distribuciones de Linux.

La licencia Creative Commons (CC) se utiliza cuando el autor quiere dar el derecho a las personas para compartir y utilizar lo que han creado. Creative Commons proporciona flexibilidad de parte del autor.

La **Affero GPL** La Licencia GNU Affero General Public License está basado en la GPL de GNU, pero tiene un plazo adicional para que los usuarios que interactúan con el software con licencia a través de una red para recibir la fuente de ese programa. Recomendamos que la gente considere el uso de la AGPL de GNU para cualquier software que comúnmente se ejecuta a través de una red.

B. HARDWARE ABIERTO

Hardware de fuente abierta (SST) se refiere a informática y hardware electrónico que es diseñado de la misma manera como software de código abierto. Hardware de fuente abierta es parte de la cultura de código abierto de que toma las ideas de código abierto a campos distintos de software. El término se ha utilizado principalmente para reflejar la liberación gratuita de información sobre el hardware de diseño, como esquemas, lista de materiales y datos de diseño de PCB, a menudo con el uso del Software Open Source para manejar el Hardware.

Además de las licencias de software disponibles se han recomendado diversas licencias; estas licencias tienen como prioridad plantear problemas concretos del diseño de hardware. Un ejemplo es dado por la licencia del globo. La licencia dice que toda persona tiene el derecho de a fabricar, vender y distribuir tableros globo sin cambios, sin embargo poblada y a cualquier precio.



Fuente: <http://www.aperturaradical.org/tag/open-source-hardware/>

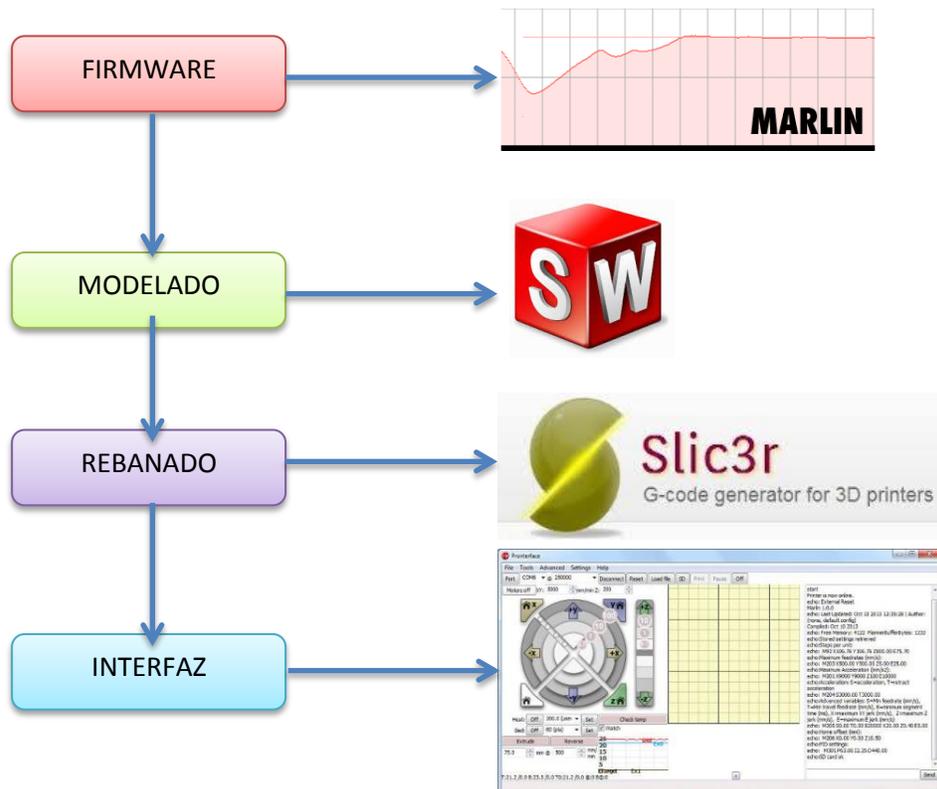
Figura IV.19: Hardware Open Source

4.3.2 SOFTWARE PARA LA IMPRESIÓN 3D

En la actualidad la impresión 3D (también llamada fabricación aditiva), es pionera en cuanto se refiere a tecnología, porque es un proceso que se realiza en tres dimensiones,

lo cual despierta interés de cómo es posible que se pueda realizar objetos solidos de diferentes formas, a partir de un modelo digital de computador.

- Necesitamos un Firmware de control para las tarjetas (Arduino+Ramps+pololus).
- Un Software de Modelado que se utiliza para dibujar y diseñar una idea. El archivo debe tener un formato STL u Obj.
- Un Software de Rebanado (slicing), para generar instrucciones de impresión (G-Code).
- Un Software de Interfaz para que la Impresora se pueda comunicar con el ordenador por medio del código G. Luego imprimir el objeto deseado.



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura IV.20: Esquema del Software

A. FIRMWARE

Para que el software se comunice con la impresora, esta deberá llevar un firmware en el microcontrolador que la gestiona, los dos firmware más famosos y estables son Sprinter y Marlin.

a. SPRINTER

Este es un firmware para RAMPs y otras configuraciones de procesador único de la electrónica RepRap. Soporta la impresión de la tarjeta SD, control activo de la cama caliente.

Características:

- Lector de tarjetas SD
- Control velocidad del extrusor
- Movimiento del control de velocidad
- Aceleración constante o exponencial
- Cuenta con extrusor paso a paso

Electrónica compatible:

- RAMPs
- Sanguinololu
- Teensylu

b. MARLIN

Este es un firmware para configuraciones de un procesador único en la electrónica Reprap. Soporta impresión de carpetas de tarjeta SD y planificación de una trayectoria futura.

Marlín en la actualidad es un Firmware robusto, completo e ideal para la impresión 3D, además nos ofrece las siguientes características:

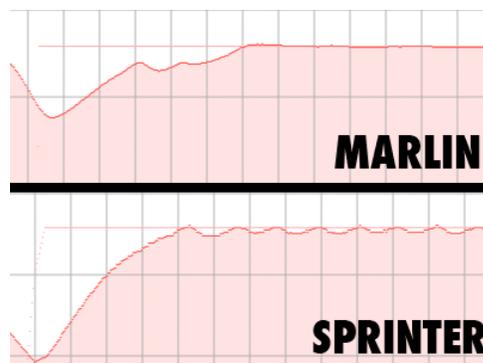
Características:

- Interrupción basada en el movimiento de aceleración lineal.
- Mantiene una velocidad alta cuando es necesario. Alta velocidad en curvas.
- Interrupción por protección de temperatura.
- Tarjeta SD.
- Soporte para endstop.
- Carpetas en tarjeta SD (para pronterface).
- Almacenamiento en EEPROM de máxima velocidad, aceleración y variables similares.
- Selección de temperatura dinámica o auto temperatura.
- Control para finales de carrera.
- CoreXY.
- Puerto serie configurable para soportar adaptadores inalámbricos.

Electrónica compatible:

- RAMPs
- RAMBo
- Sanguinololu

Sprinter garantiza fiabilidad, pero Marlin es un firmware avanzado sobre todo por el control PID y CoreXY que lleva incluido, maneja muy bien las temperaturas del Hotend y Hotbed. En la gráfica siguiente observaremos el control de temperatura con Marlin y Sprinter.



Fuente: <http://www.arduteka.com/2012/12/software-cura-para-impresion-3d-sprinter-vs-marlin/>

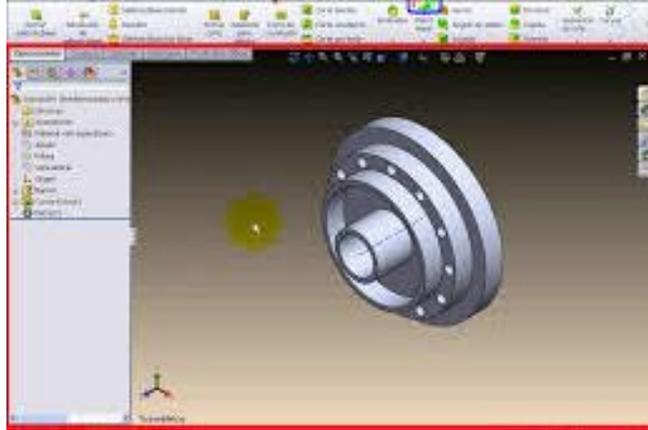
Figura IV.21: Firmware

Como observamos Marlin mantiene constante la temperatura de extrusión a diferencia de Sprinter que es inestable.

4.3.3 MODELADO 3D

El primer paso para la impresión de un objeto real es hacer un modelo 3D digital virtual utilizando un software, a menudo llamado CAD (Computer-Aided-Design). Hay varios de

estos programas para las plataformas más comunes (Windows, Mac OS X, Linux), algunos están disponibles gratis o como código abierto.



Fuente: <http://peruviantec.blogspot.com/2008/10/master-en-solidworks.html>

Figura IV.22: Modelado en SolidWorks

A. Ejemplos de software libre para técnicas de modelado 3D:

- **Sketch Up:** fácil de usar, con una comunidad mundial de usuarios y tutoriales en video, pero limitados de alguna manera, esta optimizado para la creación de modelos arquitectónicos simples.
- **SolidWorks:** El software ofrece una funcionalidad de diseño potente con la intuitiva interfaz de usuario de SolidWorks agilizará el proceso de diseño y será productivo desde el principio.
- **FreeCAD:** Win/Mac/Linux de código abierto 2D y 3D modelador paramétrico con una curva de aprendizaje, tiene una buena documentación y una comunidad de usuarios para ayudar.

- **Blender:** Win/Mac/Linux, potente software de código abierto optimizado para animaciones complejas y representaciones de objetos 3D, intuitivo y difícil de dominar.

Conseguir modelos 3D desde la web puede ser una buena idea, antes de comenzar a crear nuestros propios modelos 3D. Hay miles de modelos creados por compañías y que gentilmente comparten gratuitamente en la web. Algunos repositorios de modelos 3D disponibles son:

- **Thingiverse:** este es el repositorio utilizado por la mayoría de personas que quieren su modelo 3D. Ofrece más de 50000 modelos 3D generados por los usuarios, diseñados principalmente para la impresión 3D, a veces también para el corte de laser u otra técnica tradicional de fabricación. Todo el contenido es libre de descargar y se puede imprimir fácilmente.
- **GrabCAD:** No es necesario iniciar sesión en este repositorio web para descargar los archivos, existen muchos objetos digitales en 3D, desde pequeñas tuercas, pernos todo esto para autos de carrera completos, con miles de piezas mecánicas perfectamente diseñadas.

4.3.4 SOFTWARE DE REBANADO

Este paso tal vez es el más interesante, a lo largo del proceso que va desde una idea a un objeto tridimensional real, porque expone claramente detalles de cómo funciona una impresora 3D para convertir un filamento de plástico crudo en hermosas creaciones. La preparación de un modelo 3D para la impresión es una delicada combinación de conocimientos técnicos de, la ciencia y el arte.

Para ser impreso, nuestro modelo debe ser convertido primero en un conjunto de instrucciones que la impresora pueda entender (un formato común se llama g-code): esta tarea se llama rebanar (porque el modelo es "cortado" en muchas capas delgadas horizontales que se imprimirá en secuencia) y es realizado por programas informáticos complejos llamados cortadores.

De hecho, la información contenida dentro de un archivo STL es de poco o ningún uso en la impresora, ya que solo consta de una larga lista de coordenadas para 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 o la plataforma en las diversas direcciones X, Y y Z, la cantidad de plástico para extruir y la hora exacta de cuando tiene que empezar y parar de extruir, la temperatura de la boquilla y plataforma de impresión y así sucesivamente.

Los comandos para la "conversión" entre las coordenadas de los vértices y la impresión es una tarea pesada, computacionalmente hablando, y no puede ser manejada en tiempo real por el ordenador. Por esto se utiliza un software de ayuda donde se calibra algunos parámetros para la impresión.

Otra razón para hacerlo de esta manera es que el proceso de corte requiere de un buen número de parámetros adicionales que deben ser proporcionados por el usuario (por ejemplo, la altura de las capas), y la interfaz gráfica de una computadora real hace esta tarea mucho más fácil.

El procedimiento estándar para cortar es el siguiente:

- Inicie el programa que es para cortar en un equipo host.

- Cargar el archivo STL del modelo.
- Traducir/escalar/rotar, el modelo hasta que esté bien colocado en la plataforma de impresión.
- Colocar todos los parámetros que son necesarios para una correcta impresión.
- Iniciar el proceso de corte y esperar hasta que se produzca todo el G-código.
- Envíe el G-código a la impresora a través de una conexión USB o dentro de una tarjeta de memoria (generalmente una tarjeta SD o una tarjeta microSD) para ser cargado en la impresora.

A. SOFTWARE DE CORTE O REBANADO: SLIC3R

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



Fuente: <http://www.open-electronics.org/an-interview-with-alessandro-ranellucci-father-of-slic3r/>

Figura IV.23: Slic3r

Como Trabaja slic3r

El concepto fundamental de la tecnología de prototipado rápido, incluida la Fabricación de Filamento Fundido (Fused Filament Fabrication), es la capa. El objeto se 'discretiza' en capas horizontales de acuerdo con la altura de la capa especificada. Las capas más delgadas permiten una mayor resolución, pero éstas requieren de un mayor tiempo de impresión. El concepto de capa permite técnicas aditivas para hacer cualquier forma, incluyendo formas cóncavas o incluso volúmenes cerrados que contienen otros sólidos en el interior; las máquinas sustractivas CNC no serían capaces de hacer estos objetos.

Después de generar las rebanadas del objeto como un conjunto de cortes de sección horizontal, Slic3r genera las trayectorias de herramienta (toolpath) para cada capa. También, para cada trayectoria de herramienta, Slic3r calcula cuánto material se necesita y qué velocidad se debe utilizar, así como cuánto enfriamiento se necesita.

Las trayectorias de herramienta (toolpaths) se configuran de acuerdo con varias opciones que afectan el espesor de las paredes y la solidez interna expresada por un factor de densidad.

Estos parámetros son los más importantes a la hora de configurar Slic3r para obtener una impresión de calidad.

B. CONFIGURACION SLIC3R

1.- Configuración de la impresora:

- Tipo de impresora / firmware;
- El tamaño y desplazamiento de la plataforma de impresión.
- Numero de extrusores, diámetro de sus boquillas.

2.- Configuración del filamento:

- **Diámetro del filamento**
- **Factor de proporcionalidad:** usado para compensar la expansión de plástico cuando se funde, es 1 PLA y 0.9 o menos para ABS;
- **Temperatura de la cama y extrusor**

3.- Configuración de impresión:

- Altura de la capa
- Numero de shells / parámetros o espesor de las paredes:
- Numero / Grosor de las capas superior e inferior
- Porcentaje de relleno
- Patrón de relleno
- Velocidad de impresión
- Skirt y borde
- Raft and support

C. Revisión del software más usado:

- **Skeinforge:** probablemente el mayor software para cortar, es un conjunto de scripts escritos en Python y publicado bajo una licencia GPL, que era el valor predeterminado de corte del motor de la original Makerbot Replicator (integrado en el software de ReplicatorG) y muchas impresoras 3D RepRap y está aún presente como opción en MakerWare (el programa que tomó el lugar de ReplicatorG para controlar las impresoras Makerbot más recientes) y el otro programa (gratis)

común Repetier-Host. La interfaz de usuario no es amigable, y algunos ajustes son bastante confusos.

- **KISSlicer:** con una sencilla interfaz gráfica y la pretensión de ser rápida y fácil de usar, puede ser una buena opción para los principiantes de la impresión 3D. Una versión "pro" que añade soporte para extrusores múltiples y múltiples objetos.
- **Cura:** es desarrollado por Ultimaker con el objetivo de hacer la impresión 3D fácil y racionalizado como sea posible. Incluye todo lo necesario para preparar un archivo 3D, para la impresión y para imprimir y es totalmente pre configurado para trabajar en la impresora 3D de Ultimaker.
- **MakerWare:** uso fácil del software que controla la Makerbot Replicator y Replicator, también ofrece su propias Máquinas par motor, optimizada para ser más fuerte, más rápida y tener resultados consistentes.

La elección entre los diferentes mecanismos de rebanado no tiene que ver solo con las preferencias personales o la lista de prestaciones de las diferentes opciones: algunas impresoras requieren estrictamente el uso de uno o dos rebanadores específicos

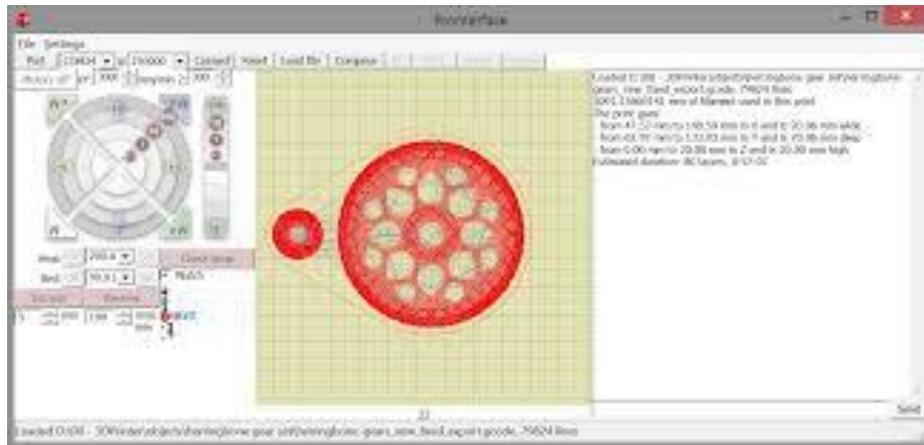
4.3.5 SOFTWARE DE INTERFAZ (Conectarse a la impresora 3D).

Para conectarse a la impresora 3D es necesario un software de PC, llamado "host", por medio de este software se puede enviar instrucciones a la impresora. Algunos de los Softwares libres más conocidos son: Printun (Pronterface), Replicator G, Repetier-Host.

Printun es sencillo y práctico, mientras que ReplicatorG es bastante elegante y funciona muy bien con impresoras de Makerbot, pero da algunos problemas de comunicación con otras impresoras, Repetier-Host es una interfaz sencilla que facilita la conexión USB con la impresora 3D, la visualización de piezas en formato .STL y su laminación en G-code gracias a los laminadores Slic3r o Skeinforge. Todos los programas funcionan en cualquier sistema operativo.

A. PRONTERFACE

Pronterface es un empaquetado de un conjunto de aplicaciones de G-code. Resulta de la combinación de printcore (emisor de G-code), pronsole (línea de comandos del emisor de G-code), pronterface (interfaz gráfica del usuario) y un pequeño conjunto de rutinas (scripts).



Fuente: http://blog.think3dprint3d.com/2013_10_01_archive.html

Figura IV.24: Pronterface

La primera vez que se conecte con la impresora, se necesitara el programa Pronterface, este programa se comunica mediante el conector USB y nos permite:

- Verificar el Funcionamiento de los motores.
- Verificar el funcionamiento de los finales de carrera.
- Calentar el Hot-End (Cabeza).
- Extruir el filamento.
- Monitorizar Temperatura

Igualmente, una vez que tenemos el fichero en formato G-code, este programa nos permite dar la orden de Imprimir.

CAPÍTULO V

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE LA IMPRESORA 3D

5.1 MONTAJE DEL SISTEMA MECÁNICO

Una vez que se realizó el diseño y la selección de componentes electrónicos/eléctricos, se procederá al montaje final de los elementos de la impresora 3D.

RESUMEN DE LAS ESPECIFICACIONES:

Área de impresión: 200mmx200mmx200mm

Filamento de plástico: ABS de 3mm de diámetro color rojo

Resolución de capas: 0.1mm, 0.2mm, 0.3mm, 0.4mm.

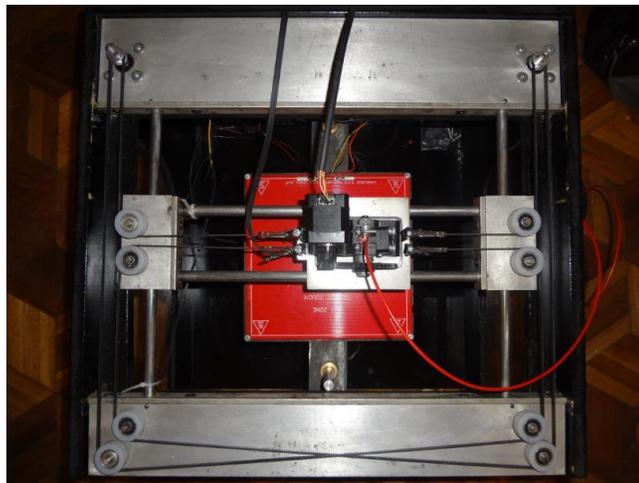
Estructura robusta: Aluminio.

Software de código libre: Marlin, SolidWorks, Slic3r, Pronterface.

Diámetro de la boquilla de extrusión: 0.5mm

5.1.1 MONTAJE COREXY

El sistema corexy consta de cuatro ejes guías paralelos, en los que se encuentra el eje X e Y, sobre estos va montado el soporte del extrusor. El soporte del extrusor se desplazara a través de estos por medio del sistema de transmisión polea-correa, las correas se encuentran fijadas en el soporte del extrusor y las poleas están acopladas en cada uno de los soportes que conforman la estructura de corexy. En un soporte se encontraran acoplados dos motores a paso con sus respectivas poleas.

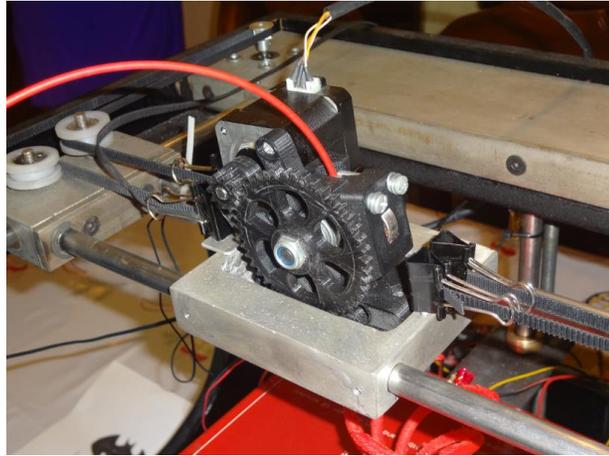


Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.1: Montaje CoreXY

5.1.2 MONTAJE DEL EXTRUSOR SOBRE EL SOPORTE

Este mecanismo de soporte se encuentra montado en un punto medio de los ejes X, Y, es decir sobre un sistema cartesiano. La función que desempeñara el soporte será dar movilidad al extrusor para que no tenga ningún problema al momento de desplazarse en los ejes, de esta manera la boquilla de extrusión depositara filamento fundido sin problema durante la impresión.



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.2: Montaje del Extrusor en el Soporte

5.1.3 MONTAJE DEL EJE Z

El eje z consta de un tornillo sin fin con acople flexible, lo que le permite desplazar a la plataforma de impresión en sentido vertical de forma ascendente o descendente.



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

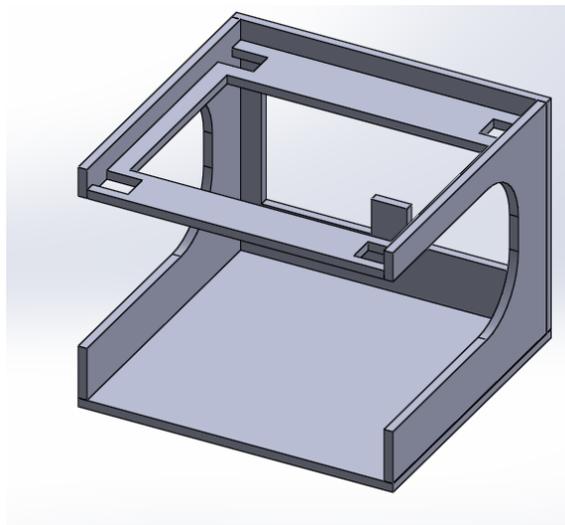
Figura V.3: Montaje eje Z

5.1.4 MONTAJE DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE (CARCASA)

La carcasa para la impresora 3D ese realizo en madera MDF de 15 líneas. Este grosor de madera será lo bastante robusta para soportar el peso del mecanismo CoreXY.

Especificaciones:

Dimensiones: 500mmx490mm

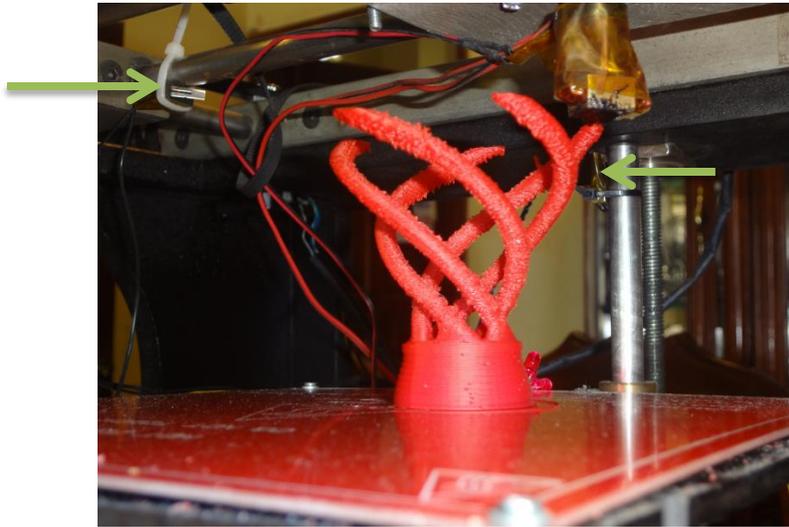


Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.4: Carcasa de la Impresora 3D

5.1.5 MONTAJE DE LOS SENSORES FINALES DE CARRERA.

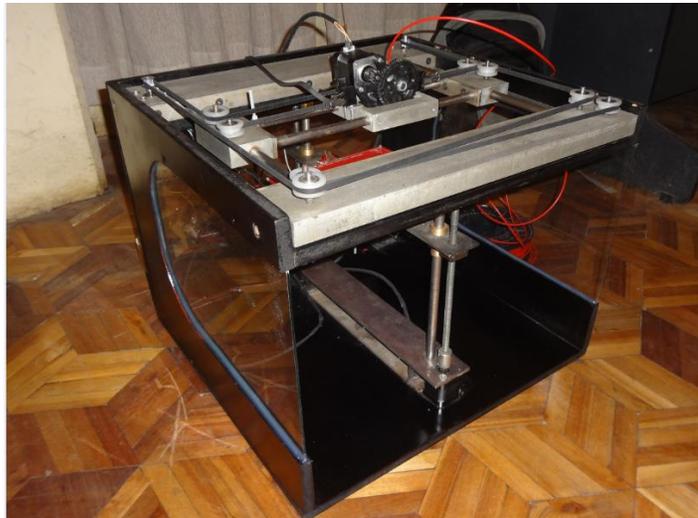
Para calibrar los tres ejes de la impresora 3D se necesitara establecer un punto de partida conocido como HOME (0,0,0), este punto no dará la posición inicial de la que partirá el extrusor al momento de la impresión.



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.5: Montaje Sensores

5.1.6 MONTAJE FINAL DE LA IMPRESORA 3D



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.6: Montaje Final de la Impresora 3D

5.2 PRUEBAS Y RESULTADOS DE LA IMPRESIÓN 3D

5.2.1 CONFIGURACION DEL SOFTWARE

Como se mencionó anteriormente Slic3r es un instrumento que convierte un objeto tridimensional en órdenes de impresión. Rebana el modelo en capas horizontales, genera trayectorias y calcula la porción de filamento que se utilizara en la impresión.

Slic3r está incluido en los paquetes de software de host más importantes: Pronterface, Repetier-Host, ReplicatorG

ASISTENTE DE CONFIGURACION

El asistente de configuración le pide una serie de preguntas y crea una configuración de Slic3r para comenzar.

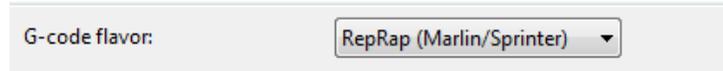


Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.7: Asistente de Configuración

En esta ventana nos pide una serie de configuraciones de la maquina como son:

Tipo de Firmware: El G-Code producida por Slic3r se adapta a determinados tipos de firmware. El primer paso que le pedirá el firmware que utiliza la impresora.



G-code flavor: RepRap (Marlin/Sprinter) ▼

Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.8: Tipo de Firmware

Tamaño de la cama: Esta configuración define la distancia máxima que el estirador puede viajar a lo largo de los ejes X e Y. Si las dimensiones no están fácilmente disponibles para la impresora y luego se puede medir fácilmente.

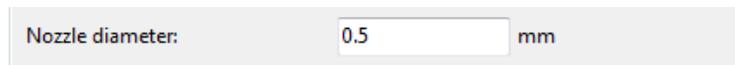


Bed size: x: 200 y: 200 mm

Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.9: Tamaño de la Cama

Diámetro de boquilla: El diámetro de la boquilla tienen valores comunes de 0,5 mm y 0,35 mm.



Nozzle diameter: 0.5 mm

Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.10: Diámetro de la boquilla

Diámetro del filamento: Para que Slic3r pueda producir resultados exactos se debe saber con la mayor precisión posible cuánto material es empujado a través de la extrusora.

Aunque el filamento utilizado en impresoras FDM se vende en diámetros de 3 mm o 1,75 mm. Por lo tanto se recomienda altamente tomar varias mediciones de una longitud del filamento y utilizar la media. Por ejemplo, mediciones de 2.89, 2.88, 2.90 y 2.91 produciría un promedio de 2.895, y así se utilizaría.



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.11: Diámetro del filamento

Temperatura de extrusión: La temperatura de extrusión dependerá del material y que pueda operar en un rango de temperaturas. Una regla muy general es que PLA se encuentra entre 160° C y 230° C y ABS miente entre 215° C y 250° C.



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

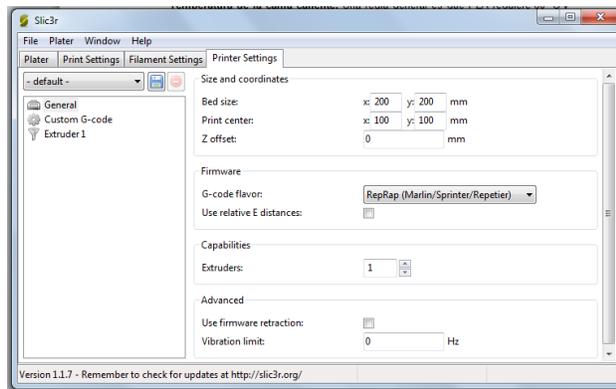
Figura V.12: Temperatura de extrusión

Temperatura de la cama caliente: Una regla general es que PLA requiere 60° C y ABS requiere 110° C.

A. CONFIGURACION DE LOS PARÁMETROS DE IMPRESIÓN

Estos parámetros son los más importantes a la hora de configurar Slic3r para obtener una impresión de calidad.

Configuración de la impresora:

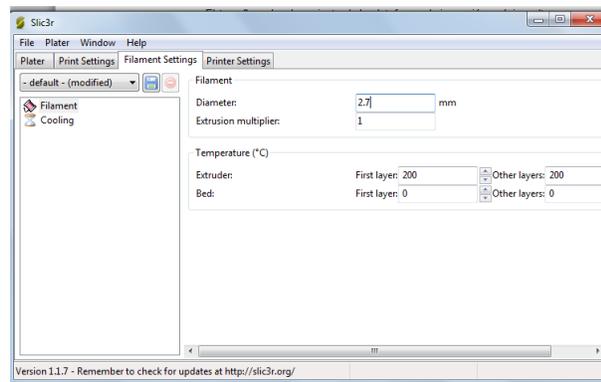


Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.13: Configuración impresora

- Tipo de impresora / firmware.
- El tamaño y desplazamiento de la plataforma de impresión, máxima altura eje Z: valor típico de la mayoría de impresoras comunes: 20x20x20cm.
- Numero de extrusores, diámetro de sus boquillas, otros parámetros para la extrusión.

Configuración del filamento:

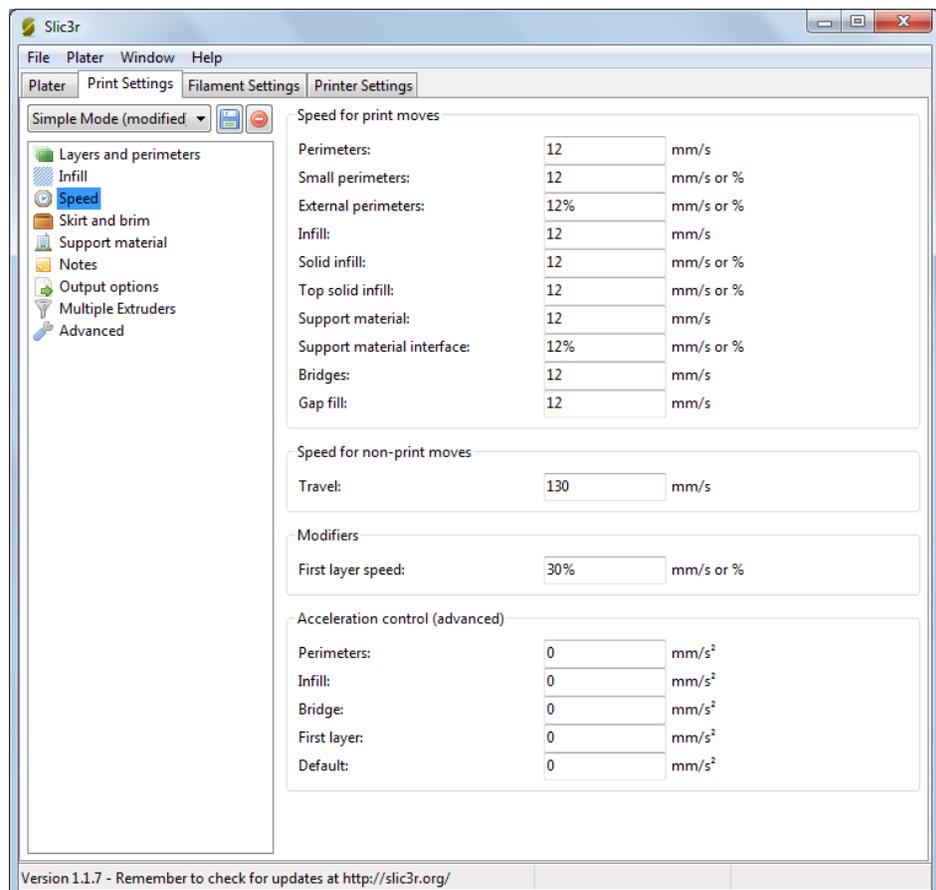


Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.14: Configuración del filamento

- **Diámetro del filamento:** debe ser una medición precisa y real, el valor nominal no es suficiente para el correcto cálculo de la longitud del plástico para extruir.
- **Factor de proporcionalidad:** usado para compensar la expansión de plástico cuando se funde, es 1 PLA y 0.9 o menos para ABS.
- **Temperatura de la cama y extrusor** (pueden ser diferentes para la primera capa)

Configuración de impresión:



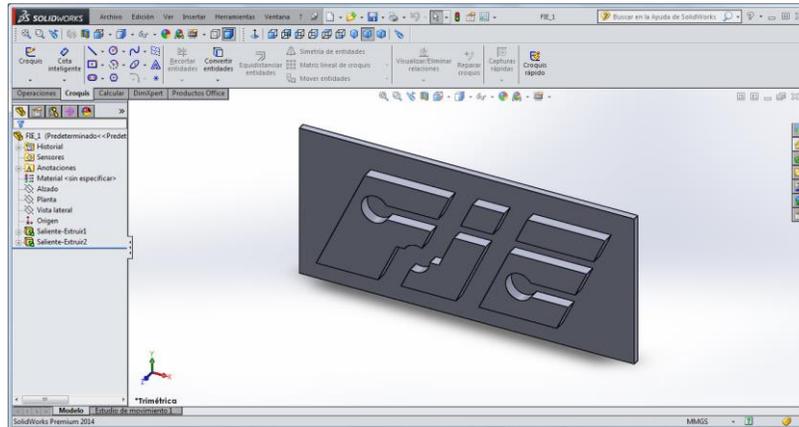
Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.15: Configuración de impresión

- **Altura de la capa** (puede ser diferente la primera capa): generalmente entre 0.1mm y 80% del tamaño de la boquilla, 0.25mm es un valor típico.
- **Numero de shells / parámetros o espesor de las paredes:** aumentar este valor hará el objeto más robusto.
- **Numero / Grosor de las capas superior e inferior:** aumentar este valor hará el objeto más robusto.
- **Porcentaje de relleno:** cantidad de plástico que se utilizará para el volumen de los objetos, que va normalmente desde 0% (objetos huecos) al 50% (partes sólidas y fuertes), más del 50% es rara vez utilizada, y los valores típicos están alrededor del 10-20%.
- **Patrón de relleno:** este es el patrón usado para crear el relleno, comúnmente usado para cuadrados o hexágonos.
- **Velocidad de impresión:** este ajuste se relaciona mucho con la temperatura de la boquilla (nozzle), el tipo de filamento y la calidad de construcción de la impresora, generalmente una velocidad lenta ayuda a obtener mejores impresiones.
- **Skirt y borde:** skirt es la cantidad extra de plástico extruido antes de la impresión actual para evitar empezar la impresión con la boquilla vacía, el borde es un espesor extra del filamento en la primera capa, para que el objeto se pegue mejor a la cama.
- **Raft and support:** raft es otra forma de mejorar la adherencia del objeto a la cama, por medio de una o dos capas de filamento de plástico extras, mientras que el soporte es una estructura esponjosa especial de plástico construida desde abajo para apoyar las partes del objeto que de otra manera no se podrían imprimir, porque tienen colgantes.

B. SOFTWARE CAD/CAM

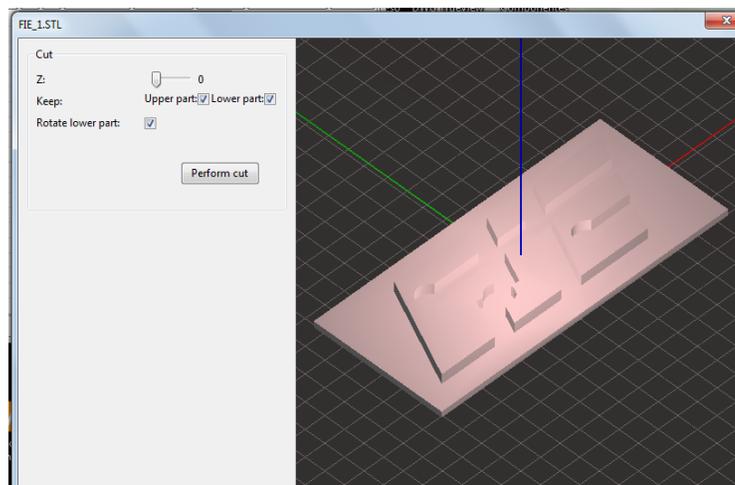
Los diseños de los objetos que se deseen imprimir se realizaran en un software CAD (SolidWorks), estos diseños se guardaran con extensión STL.



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.16: Diseño en SolidWorks

Una vez guardado el archivo con extensión STL., se abrirá en el software Slic3r (CAM). Se configurara los parámetros necesarios para obtener una buena impresión.



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.17: Objeto en Extensión .stl

Posteriormente se exportara el Código-G del diseño para que el software de interfaz pueda interpretarlo.

5.2.2 REQUISITOS PARA UN SISTEMA DE IMPRESIÓN 3D: MDF

A. RESUMEN DE LA IMPRESORA 3D

- Tecnología de impresión: FMD
- Estructura de impresión: CoreXY y tornillo sin fin con acople
- Software de control (interfaz): Pronterface.
- Software de laminado (corte): Slic3r
- Formato de impresión: G-Code

B. PUESTA EN MARCHA DE LA IMPRESORA:

Colocación del filamento de plástico: En este punto se debería tener la impresora 3D lista para empezar a imprimir, el filamento con el diámetro correcto y por supuesto el tipo y el color de filamento para el diseño,

Cargar el filamento: se requiere del inyector y la acción del engranaje de la extrusora, ya sea a mano o por la activación del extrusor-motor paso a paso. Después de sacar un poco de plástico, se asegurara que la boquilla ha sido rellena con el plástico y está listo para la primera impresión.

Proceso usual de impresión:

- **Enlazar la impresora:** Encontrar los parámetros correctos para las conexiones y si finalmente se establece la conexión, se empezara a enviar

comandos g-code a la impresora, para comprobar si todo funciona correctamente.

- **Enardecer el extrusor y la Plataforma de impresión**
- **Guardar el diseño en formato STL., del software CAD.**
- **Cargar el modelo en formato STL.**
- **Laminar (Cortar) el diseño:** se creara un archivo de código g producido por el software de corte, debidamente configurado según las propiedades que se quiera para el objeto. Ahora se tiene que cargar el Código-G del objeto que se desea imprimir en el software de interfaz (control) Pronterface.
- **Empezar con la impresión 3D.**

C. PRIMERA IMPRESIÓN Y CALIBRACIÓN

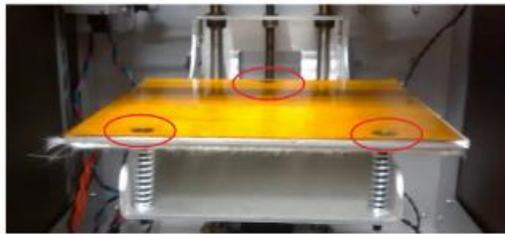
Antes de intentar la primera impresión es vital que la impresora esté correctamente calibrada. Saltando este paso resultará una frustración e impresiones fallidas, así que es importante tomarse el tiempo para asegurarse de que la máquina está correctamente configurada.

Cada máquina puede tener un procedimiento de calibración propio. Aquí se tiene una lista de puntos claves que deben abordarse.

- Estructura estable y correctamente alineada.
- Las correas que estén tensadas.
- Filamento libre de la bobina, sin causar demasiada tensión en el estirador.
- Establecer la corriente para los motores paso a paso en el nivel correcto.

- En el Firmware los ajustes que sean correctos incluyendo: velocidad de movimiento de los ejes y la aceleración; control de la temperatura, topes; direcciones de los motores.
- El Extrusor este calibrado en el firmware con los pasos correctos: en mm para el filamento.
- **Nivelación de la plataforma de impresión:**

Lo ideal es tener una plataforma plana como sea posible y perfectamente paralelo a los ejes del cabezal de impresión móvil, en todas las direcciones. Para alcanzar este objetivo, el usuario debe mover la cabeza en todas direcciones, comparando su posición vertical con el de la plataforma y el nivel de este último por medio de unos tornillos, subiendo o bajando las cuatro esquinas de la plataforma.



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.18: Plataforma de impresión

Después de la nivelación, la plataforma debe ser cuidadosamente limpiada y cubierta con una cinta apropiada en la superficie: se puede hacer con una o más capas de cinta azul (para PLA) o cinta Kapton (para ABS) o el material apropiado requerido para otros tipos de plástico.

- **Ajuste de Offset del eje Z:**

La posición óptima de tope del eje Z es donde la punta de la boquilla apenas toca la superficie de la cama. Una hoja de papel es un buen indicador para la distancia que debe tener la cama con la punta de la boquilla.



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.19: Ajuste Offset

Después de la calibración de los puntos críticos se procede a la primera impresión, teniendo un primer inconveniente que es el denominado Warping. Warping es la deformación de las capas del objeto que está en proceso de impresión, por un rápido enfriamiento del filamento, por lo que el objeto se despegue de la base y empieza a curvarse.



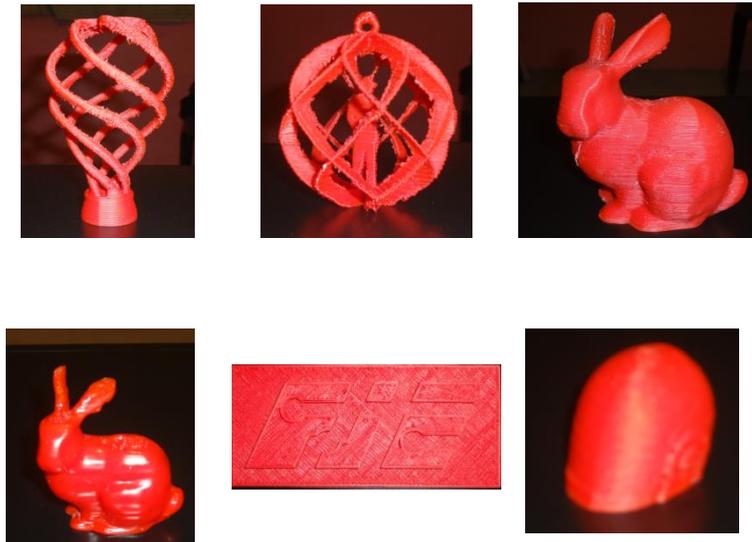
Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.20: Warping

Para evitar el Warping tómanos en consideración lo siguiente:

- La plataforma de impresión debe estar nivelada, plana y a una temperatura adecuada.
- La superficie de la cama caliente debe estar limpia.
- La distancia de la boquilla de extrusión con la cama caliente debe de ser la altura de una hoja de papel.

En la figura V.21 se puede observar los diversos modelos que fueron impresos por la impresora 3D (MDF), los cuales tienen las dimensiones deseadas, y una buena resolución.



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.21: Objetos impresos

5.2.3 PRUEBAS Y RESULTADOS

A. PRUEBAS MECÁNICAS

SISTEMA COREXY

A fin de comprobar el correcto funcionamiento del Sistema COREXY se procedió a accionar los movimientos individuales de cada eje, determinándose fluidez a lo largo de todo el desplazamiento y condiciones de operación normales en los motores, no se presentó pérdida de pasos ni sobreesfuerzo. Para verificar la exactitud de los desplazamientos lineales se envió mediante software al sistema controlador comandos de desplazamiento de 10 mm para cada eje, se señaló la posición inicial del extremo del coche que soporta el extrusor y con un calibrador se tomó la medida desde el punto anteriormente señalado hasta la nueva posición de éste, obteniéndose como resultado 10 mm, con lo que podemos determinar que los valores receptados por la placa controladora coinciden perfectamente con el desplazamiento real, lo que garantiza que los objetos impresos guardarán las dimensiones con las que fueron diseñados.

EJE X

PRUEBA 1: 10mm = 1cm

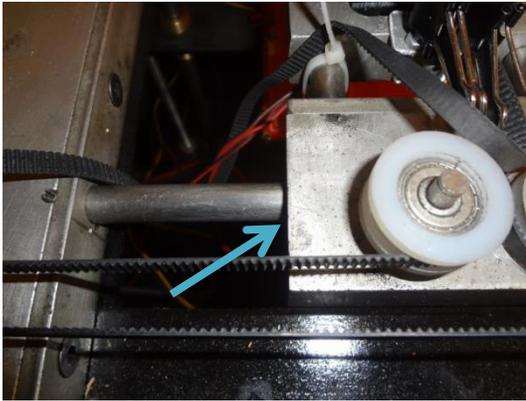


Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

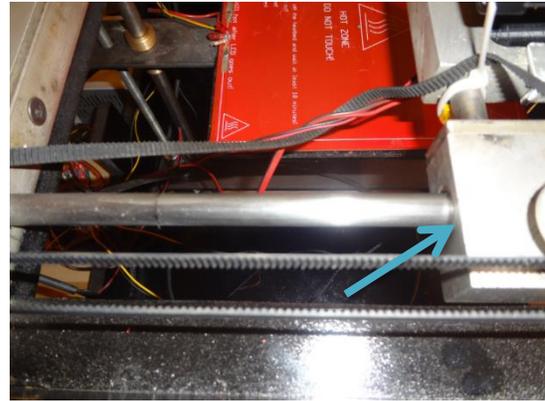
Figura V.22: Prueba Eje X: 10mm

PRUEBA 2: 100mm = 10cm

Posición inicial



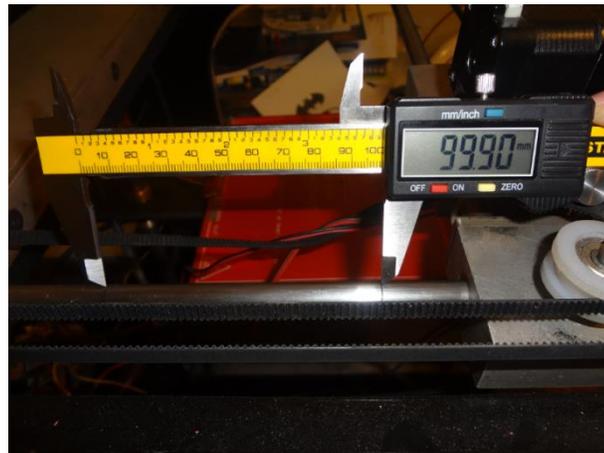
Posición Final



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.23: Prueba Eje X: 100mm

Resultado



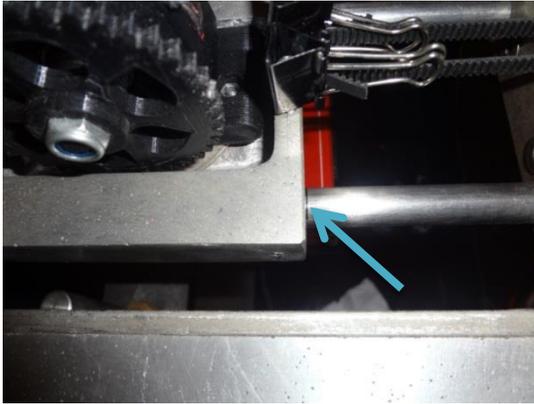
Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.24: Resultado Eje X: 100mm

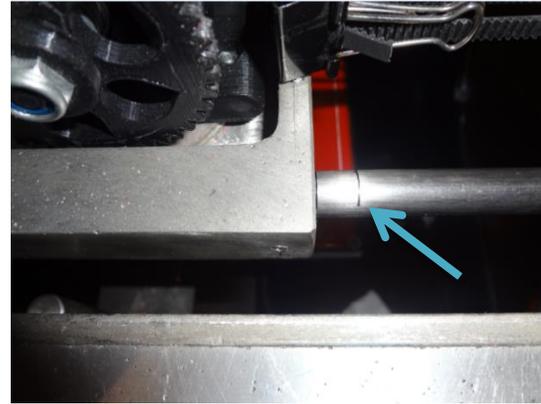
EJE Y

PRUEBA 1: 10mm = 1cm

Posición Inicial



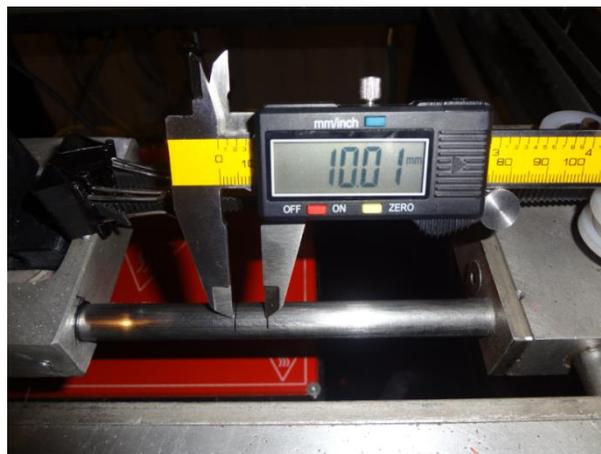
Posición Final



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.25: Prueba Eje Y: 10mm

Resultado

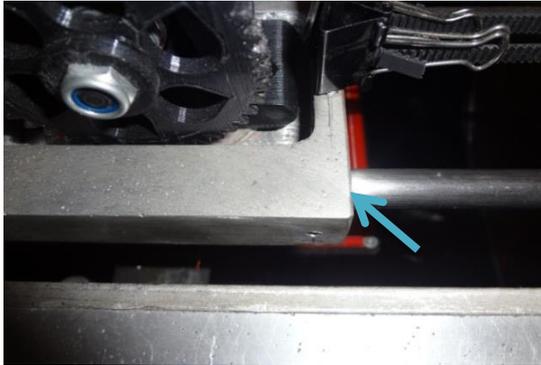


Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

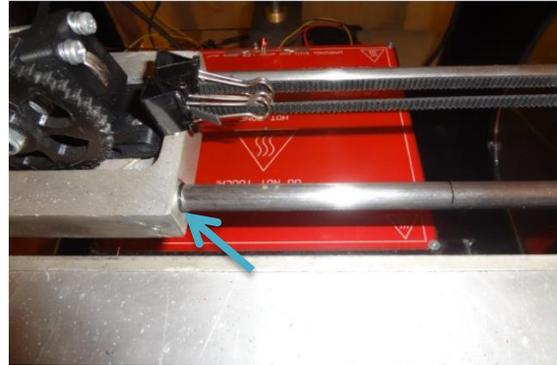
Figura V.26: Resultado Eje Y: 10mm

PRUEBA 2: 100mm = 10cm

Posición Inicial



Posición Final



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.27: Prueba Eje Y: 100mm

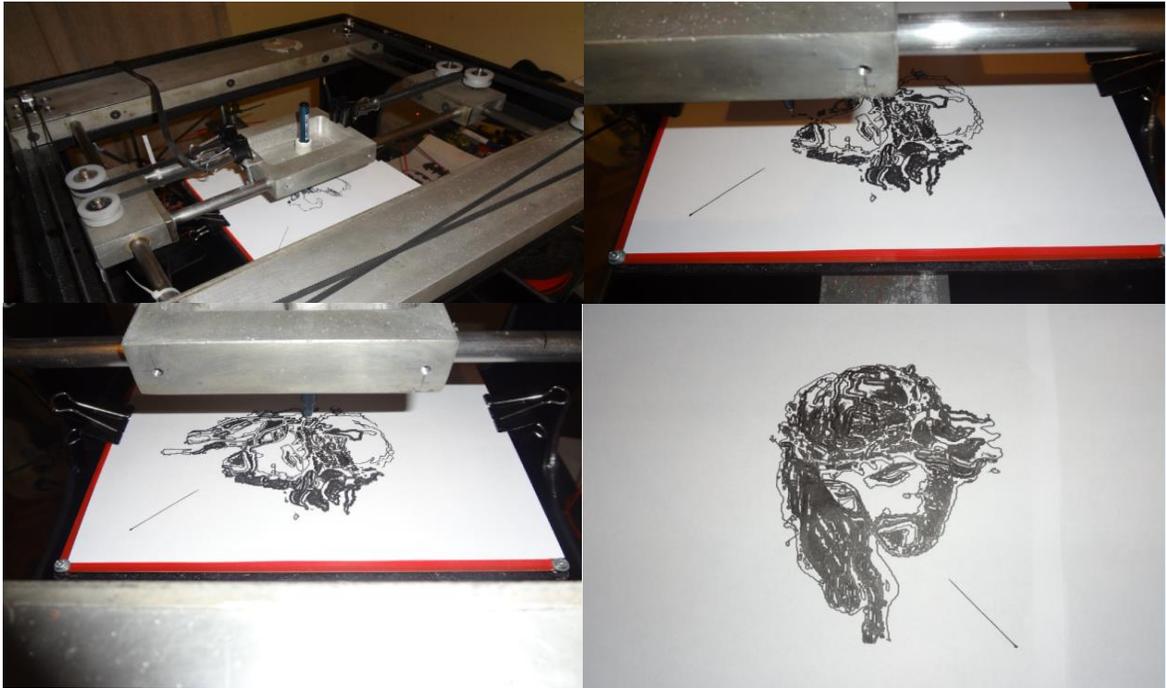
Resultado



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.28: Resultado Eje Y: 100mm

Se puso además en marcha el sistema como Plotter, se generó el código G necesario para reproducir una imagen .PNG en blanco y negro, se ejecutó el programa, se observaron resultados favorables en el dibujo completado.



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.29: Imagen .PNG

SISTEMA TUERCA Y TORNILLO

Para verificar el ascenso y descenso de la plataforma de impresión se puso en marcha el sistema conformado por el tornillo sin fin acoplado al eje del motor. Las primeras pruebas determinaron que el peso que debía ser levantado provocaba un momento flector que hacía que en ciertos tramos del tornillo el movimiento se vuelva demasiado forzado, lo que causaba pérdida de pasos en el motor.



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.30: Tornillo con momento flector

Para solucionar éste inconveniente se optó por instalar otro sistema del mismo tipo en el otro extremo del soporte de impresión de modo que el sistema quede nivelado por completo y no haya ningún problema con el torque necesario para levantar todo el peso que conforma el mecanismo de sujeción de la superficie en donde será impreso el objeto.



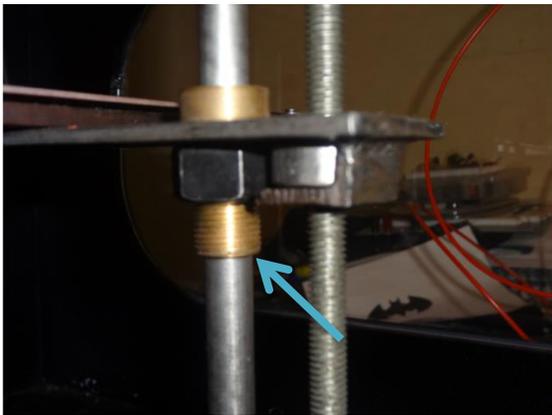
Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.31: Mecanismo de Sujeción de la Superficie de Impresión

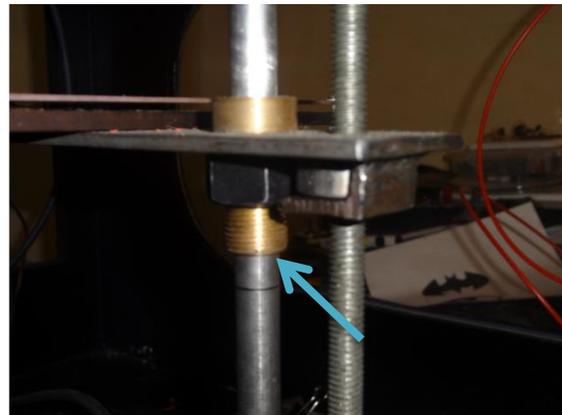
Una vez conseguido un fluido movimiento de subida y bajada se procedió a verificar la coincidencia de los desplazamientos, se señaló un punto de referencia, mediante software se ordenó una subida de 10 mm y se verificó la coincidencia de la medida, se obtuvieron resultados favorables.

PRUEBA 1: 10mm = 1cm

Posición Inicial



Posición Final



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.32: Prueba Eje Z: 10mm

Resultado



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.33: Resultado Eje Z: 10mm

B. PRUEBAS SOFTWARE

SLICER

Se pudo determinar que el tiempo que el software toma para “rebanar” la pieza y generar las trayectorias que deben ser descritas por la herramienta varía en función de la complejidad del modelo. Las piezas simples sin mayor detalle tardan un mínimo de tiempo en ser procesadas mientras que si se trata de diseños que posean voladizos en los que se tiene que generar material de soporte para posibilitar la impresión el tiempo aumenta considerablemente.

PRONTERFACE

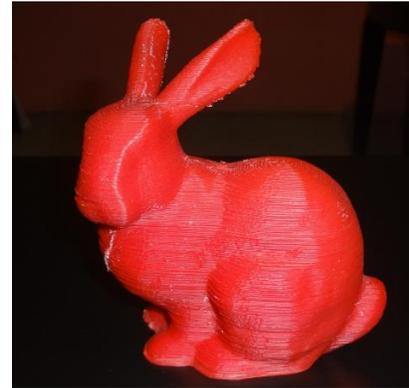
Pronterface es un software completamente validado que como se esperaba no presentó ningún tipo de inconveniente. Las instrucciones enviadas desde éste hacia la impresora respondieron sin ningún problema.



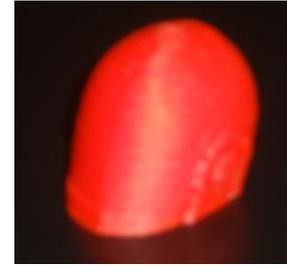
PIEZA_1: Espiral



PIEZA_2: Bombillo



PIEZA_3: Conejo



PIEZA_ 4: Conejo

PIEZA_ 5: Logo_FIE

PIEZA_ 6: Casco_juguete

Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.34: Figuras Impresas (Diferentes parámetros)

Tabla V.XIX: Figuras Impresas (Diferentes parámetros)

PIEZAS PARÁMETROS	PIEZA_ 1	PIEZA_ 2	PIEZA_ 3	PIEZA_ 4	PIEZA_ 5	PIEZA_ 6
Resolución de impresión (mm)	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4	0.2
Densidad de relleno (%)	40	50	30	40	30	40
Patrón de relleno	honeycomb	rectilinear	honeycomb	line	honeycomb	rectilinear
Velocidad de impresión (mm/s)	30	40	15	20	25	12
Tiempo de impresión	03:35:13	03:13:41	08:12:26	03:10:05	04:35:20	01:30:15

Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

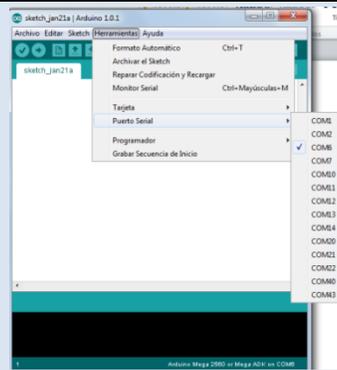
C. PRUEBAS ELECTRÓNICA DEL SISTEMA

ARDUINO MEGA2560

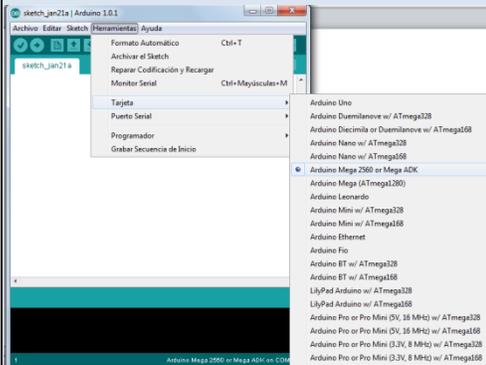
Para confirmar la correcta operación del Arduino, se realizó un programa sencillo que involucró lectura de entradas y activación de salidas, se cableó los sensores y actuadores necesarios para verificar el proceso, se ejecutó el programa cargado en la placa y se obtuvieron los resultados esperados.



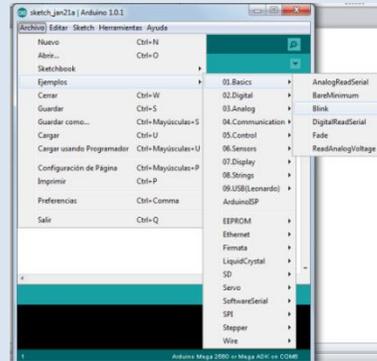
Arduino Mega 2560



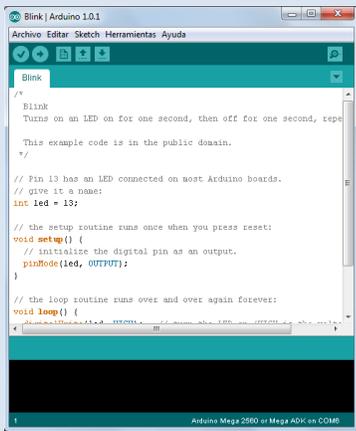
Seleccionar el Puerto Serial donde esta conectado el Arduino Mega.



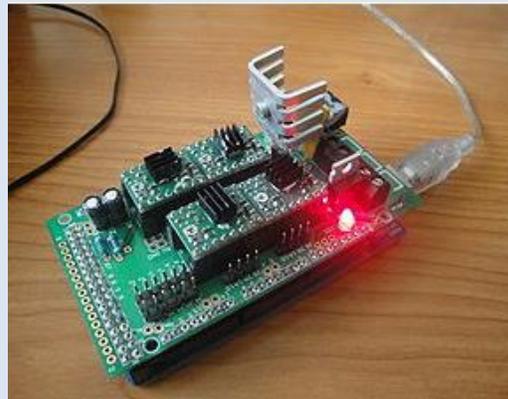
Seleccionar la Tarjeta Arduino Mega 2560



Abrir el ejemplo "Blink" para comprobar la tarjeta Arduino Mega 2560.



Ejemplo Blink descargado en Arduino Mega 2560



Descargando en la Ramps 1.4 + Arduino Mega 2560

Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.35: Prueba Arduino Mega 2560

RAMPS V 1.4, DRIVERS A4988 Y MOTORES A PASOS

Se conectó el motor al driver montado previamente en el socalo correspondiente en la ramps V1.4, se comunicó la electrónica con el pronterface y se envió la orden de mover el motor. Inicialmente el motor producía ruido pero el eje no giraba, se determinó que este comportamiento se debía a la falta de corriente por lo que se movió el potenciómetro regulador de corriente incluido en el driver hasta conseguir que el motor responda. Se debe ser cuidadoso al momento de realizar este ajuste ya que si la corriente se fija en un valor demasiado alto se corre el riesgo de producir un sobrecalentamiento en el driver lo cual puede conducir a una pérdida de pasos. Para ajustar un valor adecuado se midió la corriente de consumo del motor y se ajustó el valor a 200 mA, con éste valor se garantiza el movimiento de los motores de los ejes X e Y sin producir un sobrecalentamiento, para los motores del eje z se ajustó un valor de 400 mA al igual que para el motor del extrusor.



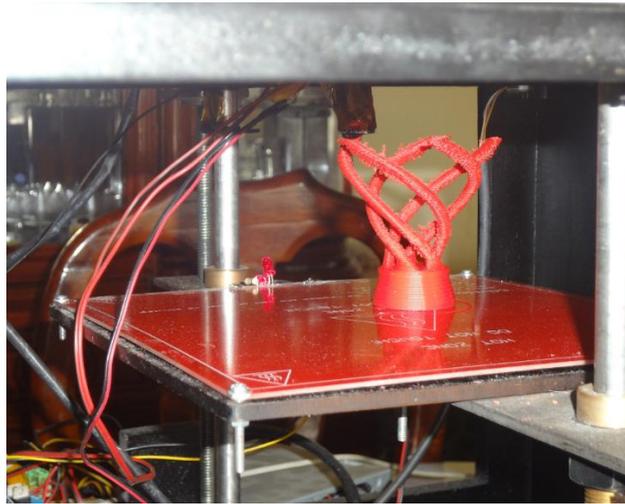
Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.36: Ajuste Corriente de los Motores a pasos

EXTRUSOR, PLATAFORMA DE IMPRESIÓN Y TERMISTORES

Una vez conectados tanto la plataforma como el fusor con sus respectivos elementos de determinación de temperatura (termistores) se encendieron y a través de pronterface se observó la correcta realimentación de la temperatura.

D. OBJETOS IMPRESOS



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.37: Impresión

En cuanto a los resultados obtenidos en los objetos impresos se puede concluir que estos varían de acuerdo principalmente a los parámetros seleccionados en el software de rebanado, un objeto impreso con una altura de capa mínima tendrá mejor resolución que uno en cual la altura de capa sea mayor. Otro dato a destacar es los objetos que necesitan de material de soporte para ser impresos, en estos casos el proceso de remoción de éste material compromete en ocasiones de manera considerable la calidad de la pieza acabada.

Las superficies pequeñas sobre las que se extruye el material para conformar una nueva capa son susceptibles de ser deformadas con facilidad debido a que el material depositado en la capa anterior no ha tenido el tiempo suficiente para secarse, lo que hace que el recorrido de la capa actual deforme la anterior, ésta deformación puede ser reducida y en el mejor de los casos evitada agregando un ventilador que apunte directamente al objeto que está siendo impreso.

Caso similar se aprecia con la velocidad de impresión, una velocidad muy alta causará desprendimiento y deformación en capas anteriores a la que está siendo actualmente impresa.

En ocasiones el fusor lleva material colgante, el cual choca contra los perímetros ya impresos provocando que una gota de material se adhiera a estos, ocasionando un acabado granulado.

Al tratarse de imprimir varias piezas a la vez hay que señalar que el software de rebanado las considera como una sola, por lo que en ocasiones las trayectorias generadas por este para ser descritas por la herramienta generan una alternancia en la conformación de piezas, es decir que por ejemplo el fusor puede empezar haciendo la mitad de una circunferencia, viajar a otra posición y después regresar para terminar de describir esta circunferencia, comportamiento que obviamente provoca una discontinuidad en la impresión de piezas, por lo que es recomendable imprimir piezas individualmente.

El software puede manejar pendientes de hasta aproximadamente 45 grados sin necesidad de generar material de soporte, sin embargo se puede tratar de hacer impresiones que tengas ángulos mayores a este, casos en los que el filamento extruido al no poder adherirse por completo da un aspecto “colgante” (mínimamente cuando el

ángulo es no mucho mayor a 45 grados), aspecto que puede ser corregido con un tratamiento post-impresión a base de vapor de acetona.

Si se somete a la pieza impresa a un tratamiento con vapor de acetona se debe considerar varios aspectos de ésta, destacando como uno de los principales el tamaño. El tiempo que la pieza debe ser expuesta a éste vapor varía en proporción directa al volumen del objeto. Hay que considerar que si se excede en el tiempo se corre el riesgo de perder el detalle.

En general se puede decir que el detalle de los objetos impresos varía en proporción inversa a la altura de capa, y además un 40% de densidad de relleno y un patrón tipo panel de abeja logran conformar una pieza de gran resistencia mecánica , a una velocidad de impresión aceptable y con un buen acabado.

5.2.4 ACABADO

Después que la impresora ha terminado de imprimir un objeto, nos va a tomar un par de minutos para que todas las piezas se enfríen, y en caso de ABS será también mucho más fácil despegarlo de la cama. Entonces se tendrá que eliminar las estructuras de apoyo, con la ayuda de un cuchillo afilado o una cuchilla.



Fuente: Carlos E. Romero B., Gloria O. Vaca M. (Autores)

Figura V.38: Diferentes Acabados

Como un paso adicional, y si es necesario un acabado brillante, la superficie del objeto se puede pulir, usando papel de lija (con precaución, como este puede incluso dañar la superficie lisa), o mediante el uso de solventes químicos (vaporizado por ejemplo, acetona para ABS y otros disolventes para PLA, calor (por medio de un soplador de aire caliente) o incluso una capa de pintura de recubrimiento transparente u opaco.

5.2.5 VALIDACIÓN DE LA HIPOTESIS

La hipótesis planteada es:

¿Mediante la utilización de un lenguaje CAD y una impresora 3D es posible materializar modelos tridimensionales?

Mediante la utilización de un lenguaje CAD y una impresora 3D fue posible materializar modelos tridimensionales.

La hipótesis se valida plenamente dado que al utilizar el software de modelado SolidWorks fue posible diseñar un objeto tridimensional (Logo FIE), el cual tras haber sido cambiado de formato a uno que sea compatible con el software de rebanado fue posible convertirlo en instrucciones de código G, que pudieron ser comprendidas por el firmware, el cual a su vez se generó trayectorias que fueron descritas con precisión, permitiendo así la conformación de modelo originalmente diseñado.

CONCLUSIONES

1. La tecnología de impresión de modelado por deposición fundida es pionera e indispensable en la actualidad ya que tiene múltiples aplicaciones en diversos campos de la industria.
2. Con el análisis de los componentes de la parte mecánica, electrónica y de control se identificó los puntos débiles y fuertes de las mismas, que son fundamentales al momento de la implementación de la impresora 3D.
3. El perfecto paralelismo y perpendicularidad de los ejes garantiza el correcto deslizamiento del coche que porta el extrusor y la correcta movilidad de la lámina sobre la que se coloca la plataforma de impresión, evitando así que en el proceso de impresión los motores experimenten un exceso de carga el cual cause una pérdida de pasos y una consiguiente falla en la impresión.
4. La impresora construida puede ser utilizada como una máquina CNC de propósito general y puede ser aplicada para diversos fines tales como corte, taladrado, plotter, etc., teniéndose obviamente que reemplazar la herramienta y haciéndose ciertas modificaciones en el software.
5. Con el fin de reducir el ruido y la vibración en el proceso de impresión se debe procurar hacer trabajar a los drivers con la mínima resolución de paso posible, en el caso de los drivers A4988 un dieciseisavo de paso.
6. Las figuras de geometría complicada que requieren de material de soporte para su impresión deben ser objeto de un estudio previo el cual determine la posición apropiada en la que éste debe ser ubicado para facilitar el rebanado, la impresión y ahorrar material de soporte.

7. El sistema corexy a diferencia de un sistema cartesiano tradicional en el que el eje Z levanta todo el mecanismo de extrusión y guiado del eje X, levanta únicamente la plataforma de impresión y el objeto impreso lo cual reduce considerablemente el peso permitiendo aumentar la velocidad de impresión.
8. Los parámetros de impresión del software rebanador deben ser modificados en función de la pieza a conformar, esto con el fin de obtener una mayor calidad en la impresión.

RECOMENDACIONES

1. El material de soporte generado por el software rebanador utilizado, es en la mayoría de casos demasiado complicado de desprender de la pieza terminada por lo que se recomienda que cuando se requiera imprimir geometrías complejas que tengan voladizos se utilice un software auxiliar que genere éste material.
2. Se recomienda que los usuarios menos avanzados en la impresión 3D, utilicen para empezar los archivos de configuración que se envían por defecto con la máquina. Una vez que se tenga un poco de experiencia se puede empezar a hacer pruebas cambiando algunos parámetros dentro de la configuración de Slic3r.
3. No tocar la base de deposición, en caso de hacerlo, limpiar la superficie antes de empezar con la impresión para garantizar la correcta adherencia del filamento en su primera capa.
4. Al momento de imprimir hacerlo en ambientes secos, libres de polvo y con gran ventilación ya que el filamento de plástico (ABS) es altamente toxico.
5. Para una buena adherencia de las primeras capas del objeto a imprimir nivelar el fusor a una distancia mínima de la plataforma caliente, distancia del grosor de una hoja de papel bond A4.

RESUMEN

Se diseñó y construyó una impresora 3D que utiliza la tecnología MDF (Modelado por deposición fundida) para reproducir objetos volumétricos modelados en un software CAD. La impresora del tipo planteado permitirá crear modelos físicos en 3D rápidamente, de forma sencilla y con una buena calidad. La máquina consta de tres mecanismos de movimiento (X, Y, Z) y un mecanismo de extrusión.

La estructura mecánica del sistema cartesiano de movimiento (coreXY) se construyó a partir de cuatro planchas de aluminio de 2.5 cm de espesor dispuestas paralelamente de par en par y un sistema de guiado sobre el cual se desplaza una pieza que sirve de soporte para el mecanismo de extrusión, éste conjunto de 50 x 49 cm se soporta sobre una estructura de madera MDF de 1.5 cm de espesor y 40 cm de altura, que a su vez contiene los tornillos y motores que componen el sistema de movimiento de subida y bajada de la plataforma de impresión del eje Z.

La impresora es controlada mediante una placa Arduino más una placa Ramps V1.4 más drivers A4988, esta placa nos permite la interpretación de los códigos G que describen las trayectorias de desplazamiento de los ejes. Se puede concluir que el detalle de los objetos impresos varía en proporción inversa a la altura de capa, así como que con un 40% de densidad de relleno y un patrón tipo panal de abeja se logra gran resistencia mecánica del objeto, una velocidad de impresión aceptable y buen acabado.

ABSTRACT

A 3D printer was designed and built. This printer uses the technology FMD (Fused Deposition Modelling) in order to reproduce volumetric objects modelled using the CAD software.

This proposed printer will allow us to create 3D physical models in less time, simple manner and with a high quality. This machine has three movement mechanisms (X, Y, Z) and an extrusion mechanism.

The mechanical structure of the Cartesian system of movement (coreXY) was built with four 2.5 cm aluminum boards thickness. These boards were placed in pairs and in a parallel way with a heading system, thorough which a part that serves as a support for the extrusion mechanism, moves. This piece of 50 x 40 cm lies on a MDF wooden structure. This structure has 1.5 cm of thickness and 40 cm of height. It also contains the screws and the machines which form the movement system of rise and fall of the printing platform in the Z axis.

The printer is controlled by an Arduino board plus a V 1.4 Ramps board plus A4988 drivers. This board allows us the interpretation of the G codes which describe the trajectory of the axis movements. It can be concluded that the details of the printed objects varies in a reverse proportion in relation to the height of the layer as well as a 40% of filling density and a pattern of a honeycomb a great mechanical resistance can be obtained, as well as an acceptable printing speed and good details.

GLOSARIO

ABS: Acrilonitrilo butadieno estireno. Un termoplástico utilizado como material de la impresora 3D.

Cama: Placa de impresión, donde las piezas se hacen realidad.

Correa: Cinturón de engranajes, generalmente de fibra reforzada para prevenir que se estiren. Sirve para transferir el movimiento de los motores a otras partes de la máquina.

Extremo caliente (Hot-end): La boquilla caliente del mecanismo de extrusora, que es lo suficientemente caliente para derretir el plástico (o potencialmente otros materiales). Piezas del extremo caliente utilizan materiales que soportar temperaturas hasta 240 ° C.

Extruir: Colocación del material de impresión en la plataforma en el extrusor, normalmente termoplástico en estado líquido y empujándolo a través de una boquilla pequeña comúnmente conocido como un "hot end".

FDM: Modelado por deposición fundida. El término fusionados con la deposición modelado y su abreviatura para FDM son marcas registradas por Stratasys Inc. El término equivalente fundió filamento fabricación (FFF), fue acuñado por los miembros del proyecto RepRap para proporcionar una frase que sería legalmente sin restricciones en su uso.

FFF: Fabricación de filamentos fundidos. Donde un filamento de material (plástico, cera, metal, etc.) se deposita sobre o junto con el material mismo (o similar) hace un ensamble (por calor o adherencia).

Filamento: Material plástico de impresoras 3D.

G-code: La información que se envía por el cable desde un PC hacia la impresora 3D. Este G-Code es lo que interpreta la impresora a la hora de imprimir los objetos.

Motor paso a paso: Motores que funcionan sólo con incrementos discretos de la rotación.

NEMA: Significa referirse a un tamaño específico de motores paso a paso.

PEEK: Cetona del éter del poliéter. Una temperatura elevada termoplástica utilizada como barrera térmica en el extrusor.

PLA: Ácido poliláctico. Un polímero termoplástico biodegradable utilizado como material de la impresora 3D. Punto de fusión de 150-160° C. Las propiedades del material pueden variar, dependiendo la forma de la fabricación.

PTFE: Politetrafluoretileno (teflón). Un termoplástico resbaladizo que se utiliza a menudo como un tubo de la extrusora para minimizar la fricción con el filamento.

RAMPS: RepRap Arduino Mega Pololu Shield, es una de las placas electrónicas más usadas en las impresoras 3D.

RepRap: Una máquina RepRap es una máquina de prototipado rápido que puede fabricar una fracción significativa de sus propias partes.

STL: Corto para estéreo litográficos, que es un formato de archivo recomendada para describir objetos 3D.

ANEXOS

ANEXO 1

MANUAL DE USUARIO



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

“CONSTRUCCIÓN DE UNA IMPRESORA 3D, PARA LA ELABORACIÓN DE OBJETOS
PLASTICOS UTILIZANDO EL MÉTODO DE MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA
(MDF)”

MANUAL DE USUARIO

Previa obtención del título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

Presentado por:

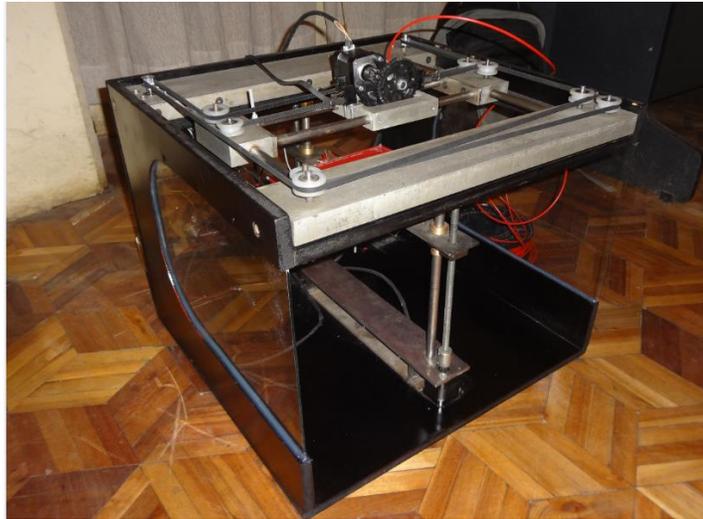
CARLOS EDUARDO ROMERO BARRENO

GLORIA ORFELINA VACA MORALES

Riobamba – Ecuador

2015

MANUAL DE USUARIO



INDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCION.....	144
1.2	PARTES DE LA IMPRESORA 3D Y ESPECIFICACIONES	144
1.3	INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD.....	145
1.3.1	AREA DE TRABAJO.....	145
1.3.2	SEGURIDAD ELECTRICA	145
1.3.3	SEGURIDAD PERSONAL	145
2.	MANTENIMIENTO	146
3.	PASOS PARA IMPRIMIR UN OBJETO.....	146
3.1	CALIBRACION.....	146
3.2	CONFIGURACION DE LOS PARAMETROS DE IMPRESIÓN.....	147
4.	IMPRESIÓN.....	151
4.2	PRONTERFACE.....	151
5	RECOMENDACIONES:.....	151

1. INTRODUCCION

La impresión 3D o aditivo de fabricación (AM) se conoce a los diversos procesos de impresión de un objeto tridimensional, que utilizan procesos aditivos (impresión por capas). Estos objetos puede tener cualquier forma o geometría, y se elaboran a partir de un modelo 3D o de otra fuente de datos electrónicos.

El Modelado por Deposición Fundida utiliza filamentos plásticos como es ABS o PLA que esta enrollado en un cilindro y se va desenrollando para proveer material (Filamento de Plástico), a la boquilla de extrusión. La boquilla se calienta a una temperatura adecuada para derretir el material, esta boquilla se mueve en dos direcciones, horizontal y vertical, por medio de un mecanismo de control numérico que es controlado de un modo directo mediante un software de fabricación asistido por ordenador (CAM).

1.2 PARTES DE LA IMPRESORA 3D Y ESPECIFICACIONES

Especificaciones técnicas:

Tecnología de impresión 3D	FMD
Area de impresión	200mmx200mmx200mm
Filamento de plástico	ABS 3mm diámetro
Resolución de capas	0.4mm, 0.3mm, 0.2mm, 0.1mm
Estructura	Aluminio
Software	De código libre
Boquilla de impresión	0.5mm de diámetro

1.3 INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

1.3.1 AREA DE TRABAJO

- Mantener el área de trabajo limpia y ordenada.
- Mantener alejadas a las personas que no están relacionadas con la impresión 3D, mientras está imprimiendo la máquina.
- Coloque la maquina en una estructura amplia y robusta.
- Al momento de imprimir, hágalo en una zona que posea ventilación, especialmente si imprime con filamento ABS.

1.3.2 SEGURIDAD ELECTRICA

- No exponer a la impresora a condiciones inapropiadas como lluvia y humedad
- Mantener los cables de conexión fuera del alcance del calor, componentes químicos, etc.

1.3.3 SEGURIDAD PERSONAL

- No toque los elementos móviles mientras la impresora esté en funcionamiento.
- Para evitar quemaduras o deformaciones en el objeto, no toque el diseño, con la mano, mientras la impresora funciona.
- No tocar el extrusor, ni la cama caliente,

2. MANTENIMIENTO

- Asegurarse que las correas dentadas GT2 estén bien tensadas. Ya que si no lo están se deslizaran del eje de la polea, ocasionando pequeños desplazamientos de las capas de filamento al momento de imprimir.
- Revisar y ajustar los tornillos de los diferentes componentes.
- Limpiar la impresora, esto incluye todos los componentes mecánicos y electrónicos.
- Limpiar la superficie de impresión, para obtener una mejor adherencia de las primeras capas del objeto a imprimir.

3. PASOS PARA IMPRIMIR UN OBJETO

El software de interfaz Pronterface nos permite controlar todos movimientos de nuestra impresora 3D, una de las ventajas que posee es que nos permite manipular la impresora manualmente, lo que facilita la calibración de los puntos críticos de la misma.

3.1 CALIBRACION

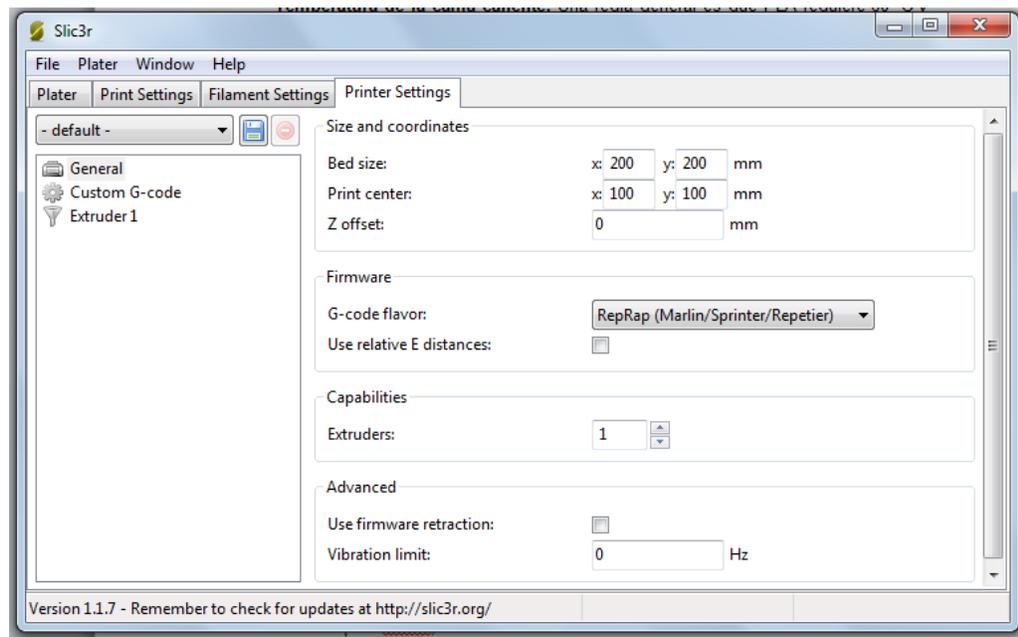
La calibración es uno de los puntos más importantes al momento de querer obtener una buena impresión. Tenemos que calibrar el extrusor con respecto a la plataforma de impresión, de manera que su separación sea el grosor de una hoja de papel. Esto es importante para lograr que las primeras capas de filamento se adhieran perfectamente y así lograr que el objeto se imprima sin problemas.

Otro factor importante es la limpieza del vidrio sobre el cual se imprime el objeto. Límpielo con un agua y jabón.

3.2 CONFIGURACION DE LOS PARAMETROS DE IMPRESIÓN

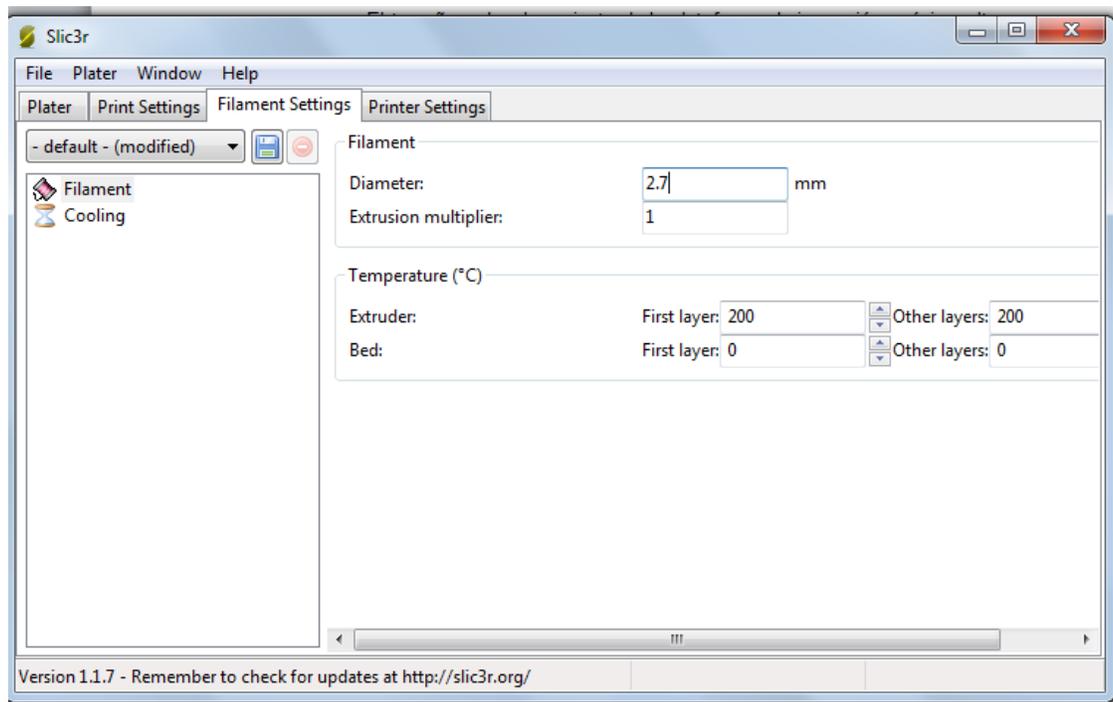
Estos parámetros son los más importantes a la hora de configurar Slic3r para obtener una impresión de calidad.

Configuración de la impresora:



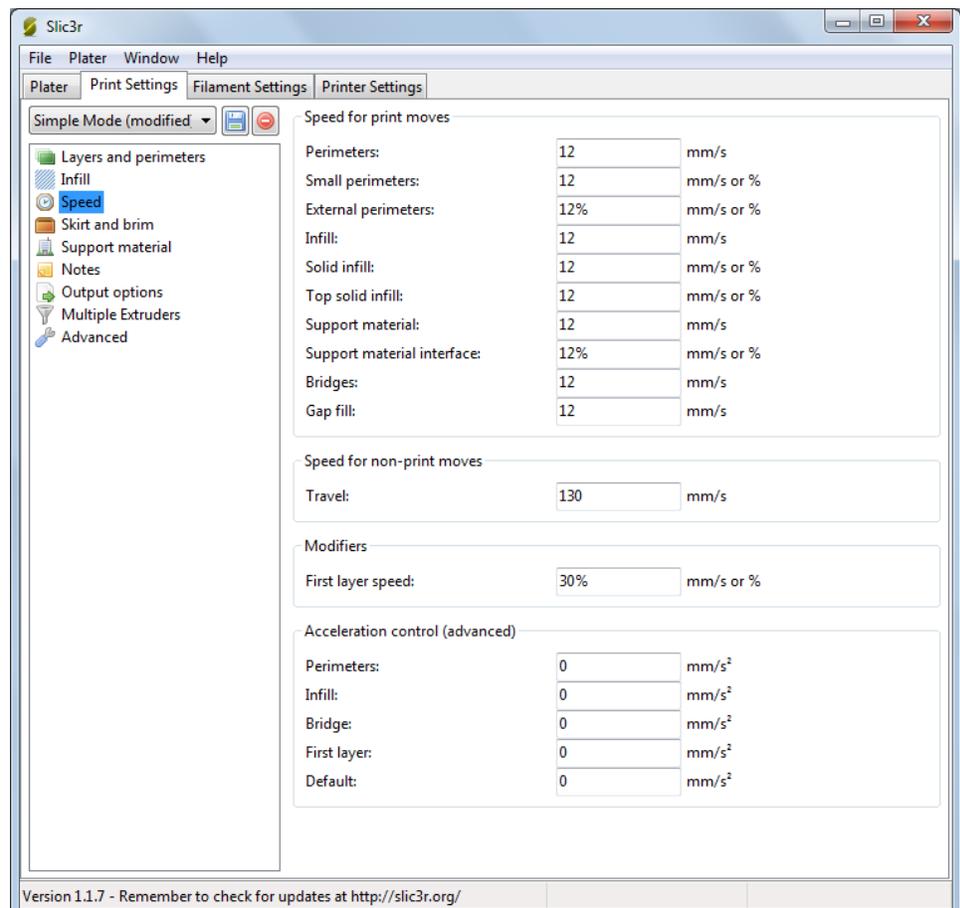
- Tipo de impresora / firmware;
- El tamaño y desplazamiento de la plataforma de impresión, máxima altura eje Z: valor típico de la mayoría de impresoras comunes: 20x20x20cm.
- Numero de extrusores, diámetro de sus boquillas, otros parámetros para la extrusión.

Configuración del filamento:



- **Diámetro del filamento:** debe ser una medición precisa y real, el valor nominal no es suficiente para el correcto cálculo de la longitud del plástico para extruir.
- **Factor de proporcionalidad:** usado para compensar la expansión de plástico cuando se funde, es 1 PLA y 0.9 o menos para ABS.
- **Temperatura de la cama y extrusor** (pueden ser diferentes para la primera capa). Se recomienda alcanzar una temperatura de extrusión de 230°C y de cama caliente 110°C para filamento ABS. Y para filamento PLA se recomienda tener una temperatura de extrusión de 100°C y 90°C para la cama caliente.

Configuración de impresión:



- **Altura de la capa** (puede ser diferente la primera capa): generalmente entre 0.1mm y 80% del tamaño de la boquilla, 0.25mm es un valor típico;
- **Numero de shells / parámetros o espesor de las paredes**: aumentar este valor hará el objeto más robusto;
- **Numero / Grosor de las capas superior e inferior**: aumentar este valor hará el objeto más robusto;
- **Porcentaje de relleno**: cantidad de plástico que se utilizará para el volumen de los objetos, que va normalmente desde 0% (objetos huecos) al

50% (partes sólidas y fuertes), más del 50% es rara vez utilizada, y los valores típicos están alrededor del 10-20%;

- **Patrón de relleno:** este es el patrón usado para crear el relleno, comúnmente usado para cuadrados o hexágonos;
- **Velocidad de impresión:** este ajuste se relaciona mucho con la temperatura de la boquilla (nozzle), el tipo de filamento y la calidad de construcción de la impresora, generalmente una velocidad lenta ayuda a obtener mejores impresiones;
- **Skirt y borde:** skirt es la cantidad extra de plástico extruido antes de la impresión actual para evitar empezar la impresión con la boquilla vacía, el borde es un espesor extra del filamento en la primera capa, para que el objeto se pegue mejor a la cama.
- **Raft and support:** raft es otra forma de mejorar la adherencia del objeto a la cama, por medio de una o dos capas de filamento de plástico extras, mientras que el soporte es una estructura esponjosa especial de plástico construida desde abajo para apoyar las partes del objeto que de otra manera no se podrían imprimir, porque tienen colgantes.

Una vez que configuremos todos los parámetros, exportamos el Código-G y guardamos.

4. IMPRESIÓN

4.2 PRONTERFACE

La primera vez que nos conectemos a la impresora, necesitamos el programa Pronterface, este programa se comunica mediante el conector USB y nos permite:

- Verificar el Funcionamiento de los motores.
- Verificar el funcionamiento de los finales de carrera.
- Calentar el Hot-End (Cabeza).
- Extruir el filamento.
- Monitorizar Temperatura

Igualmente, una vez que tenemos el fichero en formato G-code, este programa nos permite dar la orden de Imprimir.

En la ventana principal de Pronterface configurar la velocidad en baudios y el puerto Com por el cual se conecta la PC con la impresora.

Abrir o arrastrar el Código-G en Pronterface.

Setear la temperatura del extrusor y de la cama caliente

Finalmente imprimir.

5 RECOMENDACIONES:

- Fíjese que la plataforma de impresión esta nivelada: induzca el cabezal de extrusión a cada esquina de la cama, para asegurarse que haya la misma distancia entre la boquilla y la cama.

- Fíjese que la cama caliente este a su temperatura adecuada.
- Imprima en vacío: esto es una manera de asegurarse que el hotend y el extrusor están funcionando perfectamente.
- Comprobar regularmente la altura del extrusor.

ANEXO 2

MANUAL TÉCNICO



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

“CONSTRUCCIÓN DE UNA IMPRESORA 3D, PARA LA ELABORACIÓN DE OBJETOS
PLASTICOS UTILIZANDO EL MÉTODO DE MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA
(MDF)”

MANUAL TÉCNICO

Previa obtención del título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

Presentado por:

CARLOS EDUARDO ROMERO BARRENO

GLORIA ORFELINA VACA MORALES

Riobamba – Ecuador

2015

MANUAL TÉCNICO

IMPRESORA 3D, UTILIZANDO EL MÉTODO DE MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA

1. INTRODUCCIÓN

En este manual se especifican todas las partes que conforman la máquina de impresión 3D, los puntos críticos que debe tener en cuenta el operador o cualquier persona para encender e iniciar el proceso de impresión 3D, todas las personas que deseen manipular la impresora 3D tienen que poseer este manual.

2. COMO UTILIZARLA

La impresora 3D debe ser manipulada siguiendo las especificaciones expuestas a continuación:

- Leer el manual cuidadosamente antes de utilizar la impresora.
- Usar la impresora 3D solo si está en un estado óptimo.
- Operar la impresora 3D de una manera óptima para evitar posibles errores al momento de imprimir objetos.
- La impresora 3D consta de dos partes: mecánica y electrónica, en la parte electrónica tenemos sensores, placas electrónicas y actuadores que hacen posible el funcionamiento de la máquina, no manipularlos sin una investigación previa, caso contrario tendremos dificultades al momento de ponerla en marcha.
- El filamento de plástico a utilizar debe ser ABS o PLA de diámetro de 2.8mm como mínimo y 3mm como máximo.

3. INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

Tener conocimientos teóricos y técnicos para que la impresora 3D, obtenga más vida útil.

3.1 Información General

- Las personas que vayan a manipular la impresora deben seguir las normas de seguridad para evitar quemaduras.
- La persona que vaya a manipular la impresora 3D debe estar plenamente capacitada.
- Debemos tener en cuenta que si se sigue un procedimiento adecuado, la impresora rendirá a su máximo.

3.2 Parte Mecánica

- La estructura mecánica de la impresora 3D es importante para que esta funcione con precisión, un pequeño desfase en la estructura podría estropear la calibración de los componentes y el área de impresión.
- Cuando se haya calibrado los soportes mecánicos que conforman el sistema cartesiano CoreXY y también los soportes en los que se desplaza la cama caliente, se puede encender la impresora 3D.

3.3 Parte Eléctrica

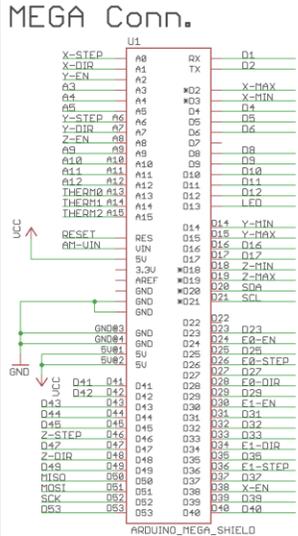
La fuente de alimentación, alimenta las placas electrónica, los motores a pasos y los sistemas térmicos de nuestra impresora 3D, con 12 voltios de corriente continua, 15 A y 500Watt.

4. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

PROBLEMA	SOLUCIÓN
No hay corriente	Verificar los cables que esten conectados
El extrusor o la cama caliente no alcanzan la temperatura óptima	Verificar que la impresora se haya conectado con el software
	Verificar las conexiones de los termistores
	Verificar las temperaturas en el softawre de interfaz
El filamento no se extruye	Posible existencia de reflujos de material en el Hotend
	La distancia es demasiado ancha entre el idler y el bloque principal del extrusor
No existe comunicación con la impresora 3D	Verificar que el cable USB este conectado a la PC y a la impresora
	Verificar que el puerto com sea el correcto
	Asegurese que el software de interfaz se conecte con la impresora

ANEXO 3

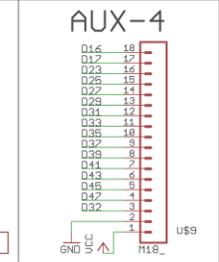
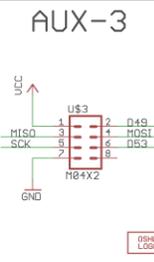
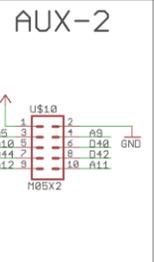
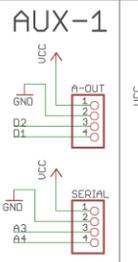
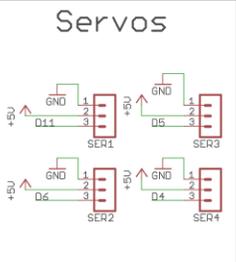
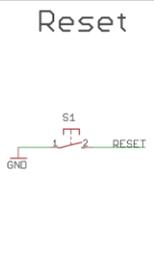
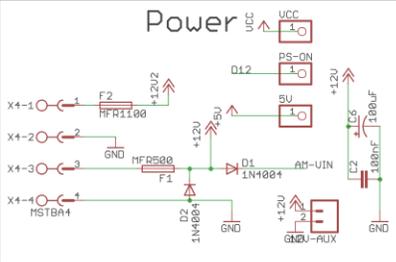
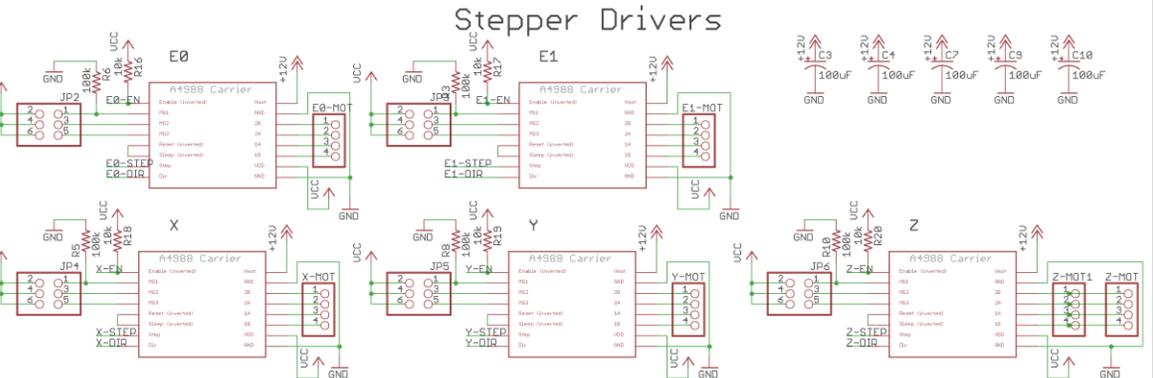
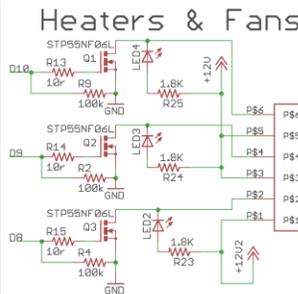
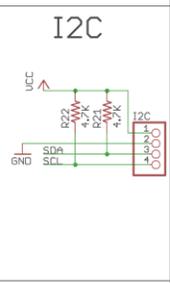
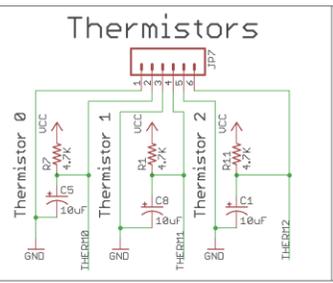
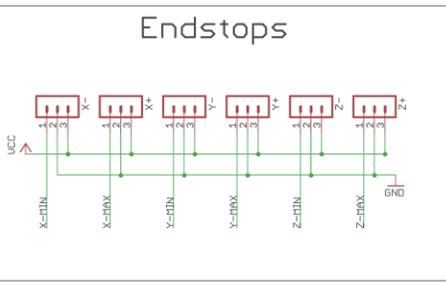
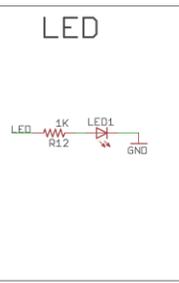
**CONEXIONES SHIELD (RAMPS V1.4 + Arduino Mega 2560
+ Pololus)**



RAMPS 1.4 (RepRap Arduino Mega Pololu Shield)

reprap.org/wiki/RAMPS1.4

Copyright 2011 Johnny Russell Ultimachine GPL v3



ANEXO 4

DRIVERS A4988 POPOLU

DIAGRAMA DE CONEXIÓN.

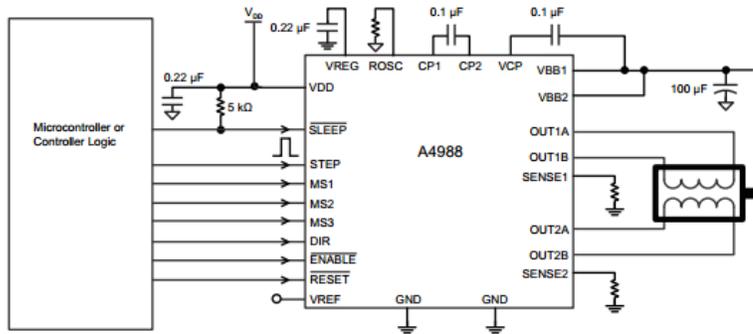
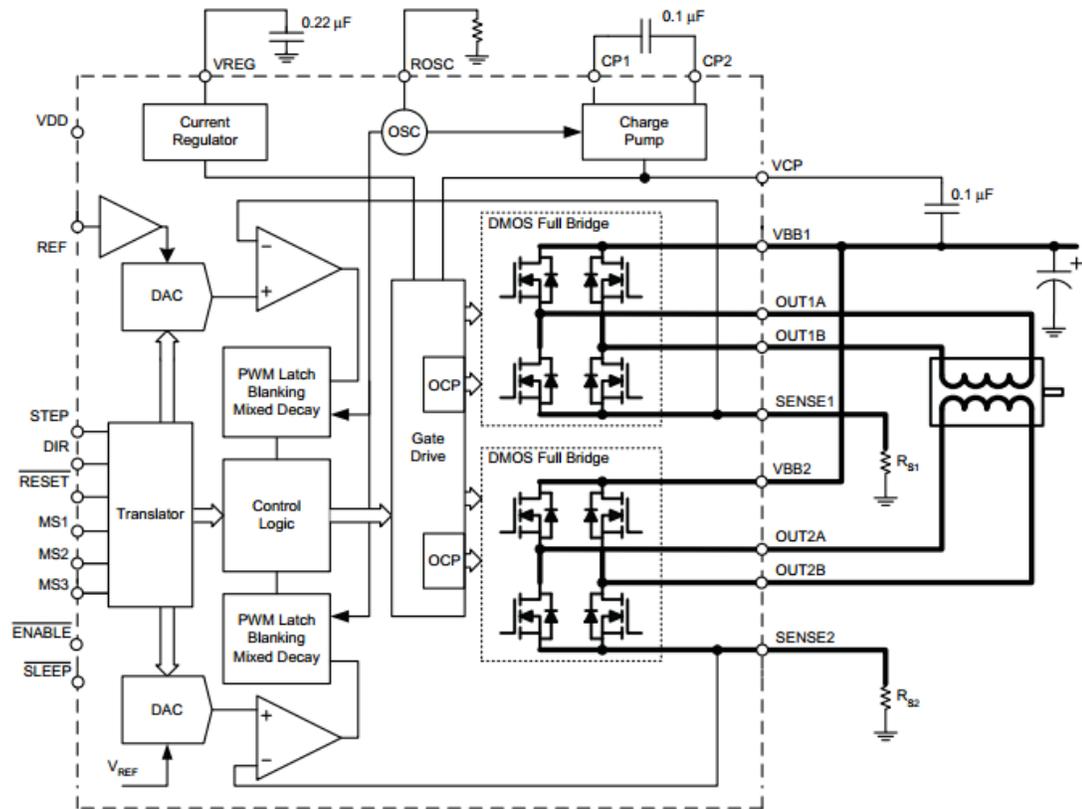


DIAGRAMA DE BLOQUES FUNCIONAL



ELECTRICAL CHARACTERISTICS¹ at $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{BB} = 35\text{ V}$ (unless otherwise noted)

Characteristics	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ. ²	Max.	Units
Output Drivers						
Load Supply Voltage Range	V_{BB}	Operating	8	–	35	V
Logic Supply Voltage Range	V_{DD}	Operating	3.0	–	5.5	V
Output On Resistance	R_{ON}	Source Driver, $I_{OUT} = -1.5\text{ A}$	–	320	430	m Ω
		Sink Driver, $I_{OUT} = 1.5\text{ A}$	–	320	430	m Ω
Body Diode Forward Voltage	V_F	Source Diode, $I_F = -1.5\text{ A}$	–	–	1.2	V
		Sink Diode, $I_F = 1.5\text{ A}$	–	–	1.2	V
Motor Supply Current	I_{BB}	$f_{PWM} < 50\text{ kHz}$	–	–	4	mA
		Operating, outputs disabled	–	–	2	mA
Logic Supply Current	I_{DD}	$f_{PWM} < 50\text{ kHz}$	–	–	8	mA
		Outputs off	–	–	5	mA
Control Logic						
Logic Input Voltage	$V_{IN(1)}$		$V_{DD} \times 0.7$	–	–	V
	$V_{IN(0)}$		–	–	$V_{DD} \times 0.3$	V
Logic Input Current	$I_{IN(1)}$	$V_{IN} = V_{DD} \times 0.7$	–20	<1.0	20	μA
	$I_{IN(0)}$	$V_{IN} = V_{DD} \times 0.3$	–20	<1.0	20	μA
Microstep Select	R_{MS1}	MS1 pin	–	100	–	k Ω
	R_{MS2}	MS2 pin	–	50	–	k Ω
	R_{MS3}	MS3 pin	–	100	–	k Ω
Logic Input Hysteresis	$V_{HYS(IN)}$	As a % of V_{DD}	5	11	19	%
Blank Time	t_{BLANK}		0.7	1	1.3	μs
Fixed Off-Time	t_{OFF}	OSC = VDD or GND	20	30	40	μs
		$R_{OSC} = 25\text{ k}\Omega$	23	30	37	μs
Reference Input Voltage Range	V_{REF}		0	–	4	V
Reference Input Current	I_{REF}		–3	0	3	μA
Current Trip-Level Error ³	em	$V_{REF} = 2\text{ V}$, % $t_{TRIPMAX} = 38.27\%$	–	–	± 15	%
		$V_{REF} = 2\text{ V}$, % $t_{TRIPMAX} = 70.71\%$	–	–	± 5	%
		$V_{REF} = 2\text{ V}$, % $t_{TRIPMAX} = 100.00\%$	–	–	± 5	%
Crossover Dead Time	t_{OT}		100	475	800	ns
Protection						
Overcurrent Protection Threshold	I_{OCPST}		2.1	–	–	A
Thermal Shutdown Temperature	T_{TSD}		–	165	–	$^\circ\text{C}$
Thermal Shutdown Hysteresis	T_{TSDHYS}		–	15	–	$^\circ\text{C}$
VDD Undervoltage Lockout	V_{DDUVLO}	V_{DD} rising	2.7	2.8	2.9	V
VDD Undervoltage Hysteresis	$V_{DDUVLOHYS}$		–	90	–	mV

ANEXO 5

MOTOR A PASOS NEMA 17 Y SERIE GT2 (poleas y correas)

ESPECIFICACIONES:

Angulo de paso: 1.8°

Par: >=5kg-cm

Voltaje: 2.8 Vdc

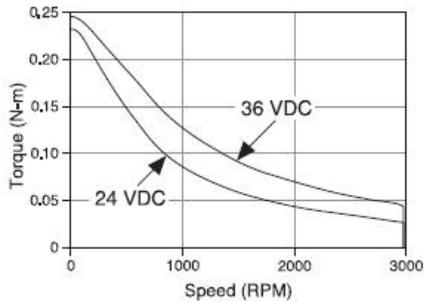
Intensidad: 1.68 A/fase

NEMA 17 Motor	
Electrical	
Step angle	1.8 deg
Steps per revolution	200
Angular accuracy	±3%
Phases	2
Industry Standards	
Industrial standards	CE, UR
Sealing standards	IP40
RoHS Compliance	Yes
Physical	
Operating temperature	-20 to 40 °C
Shaft load (20,000 hours at 1,500 rpm)	
Radial	15 lb (6.8 kg) at shaft center
Axial push	6 lb (2.7 kg)
Axial pull	15 lb (6.8 kg)
Recommended heat sink size	10 x 10 x 1/4 in. aluminum plate

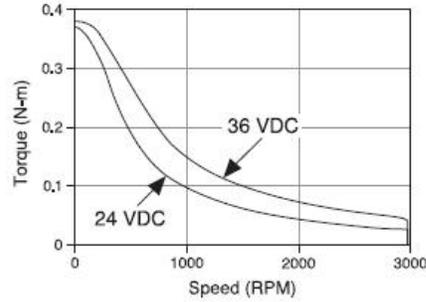
NI Part Number	Manufacturer Part Number	Dual Shaft	Drive	Amps/Phase	Holding Torque oz-in. (N . m)	Rotor Inertia oz-in.-s ² (kg-m ² x 10 ⁻³)	Phase Inductance mH	Phase Resistance Ω ±10%	Detent Torque oz-in. (N . m)	Thermal Resistance °C/watt	Max Speed rpm
780067-01	CTP10ELF10MAA00	no	P70530	1.0	43 (0.30)	0.0005 (0.0040)	7.7	5.25	1.98 (0.014)	6.21	3000
780068-01	CTP10ELF10MMA00	yes									
780069-01	CTP11ELF11MAA00	no		1.1	63 (0.44)	0.0008 (0.0050)	11	5.19	2.55 (0.018)	5.44	
780070-01	CTP11ELF11MMA00	yes									
780071-01	CTP12ELF10MAA00	no		1.0	80 (0.56)	0.0011 (0.0070)	12	6.51	2.97 (0.021)	4.71	
780072-01	CTP12ELF11MAA0	yes									

Torque vs Speed

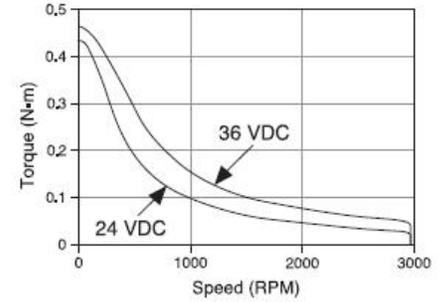
780067-01 and 780068-01
Torque versus Speed at 1.0 A



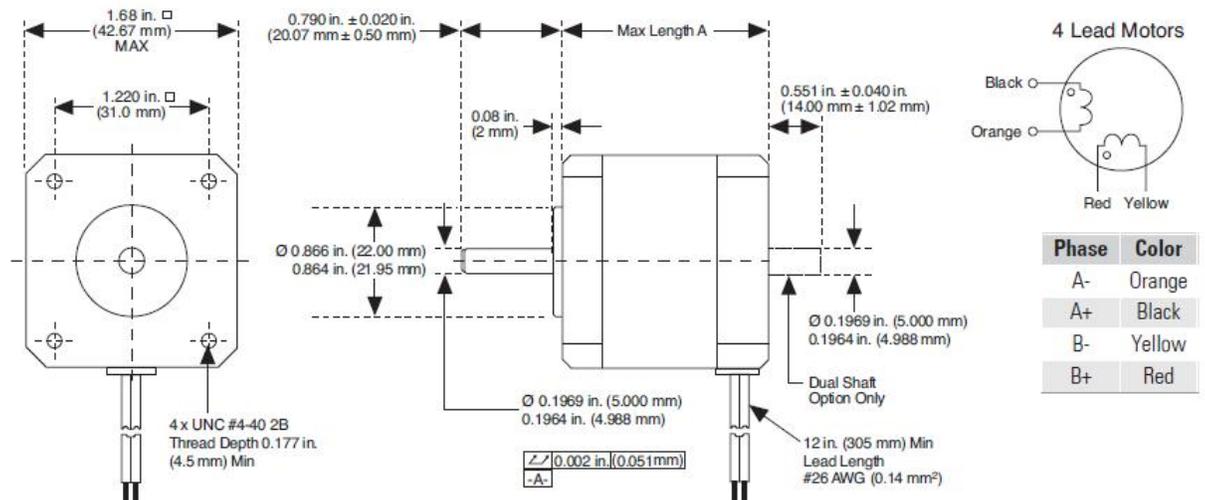
780069-01 and 780070-01
Torque versus Speed at 1.1 A



780071-01 and 780072-01
Torque versus Speed at 1.0 A



Dimensions and Wiring



Perfil de diente (tipo de correa): GT2

Tipo de polea: GT2

Paso métrico (Brea): 2mm

Brea: 2mm

Ancho de la correa dentada: 6mm

Diente: 20

Forma: correa abierta

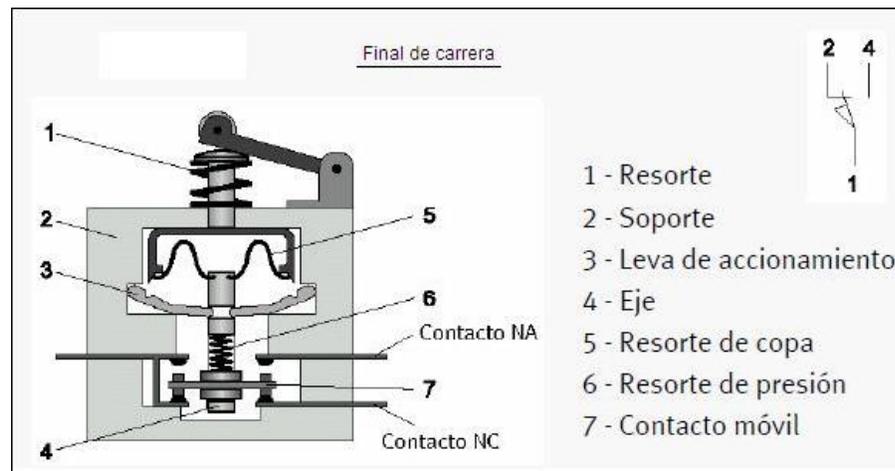
Diámetro interior y exterior: 5mm

Anchura máxima de la correa: 6mm

ANEXO 6

FINALES DE CARRERA MECÁNICOS

Partes final de carrera:



Con palanca mediana:

ANEXO 7

CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS TERMISTORES

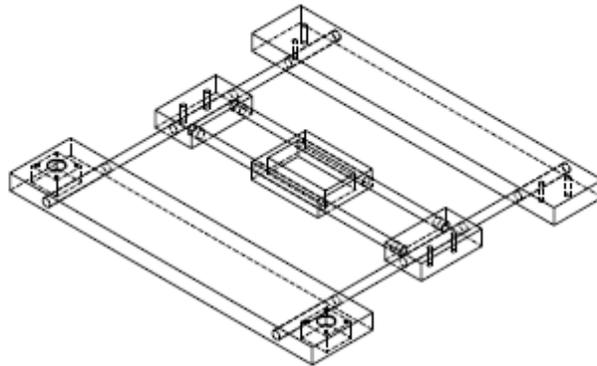
ESPECIFICACIONES:

Automotive Electronics,Industrial Electronics,Home Appliances	
Description of Terminals	0.15mm dia. x 65mm Straight Lead
Maximum Power Rating	18mW
Mounting	Through Hole
Pin Count	2
Product Diameter	0.8mm
Product Height	1.4mm
Sensitivity Index	4066K
Thermal Coefficient	4.5%/°C
Thermal Time Constant	3s
Type	NTC

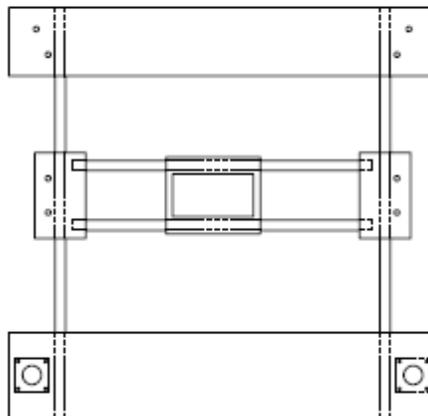
ANEXO 8

PLANOS SOLIDOS Y VISTAS DE COREXY

ENSAMBLAJE SISTEMA CORE-XY



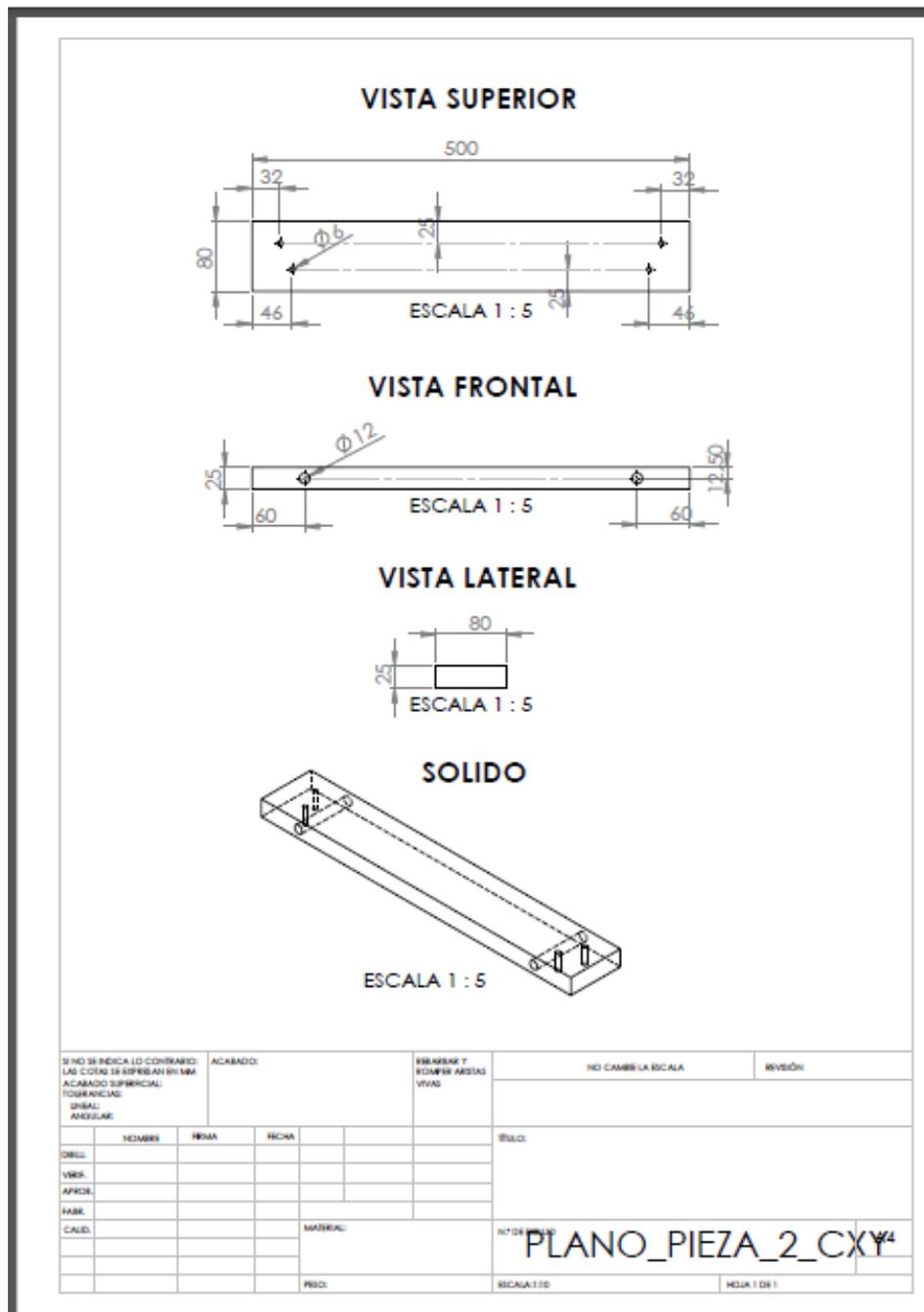
ESCALA 1 : 5



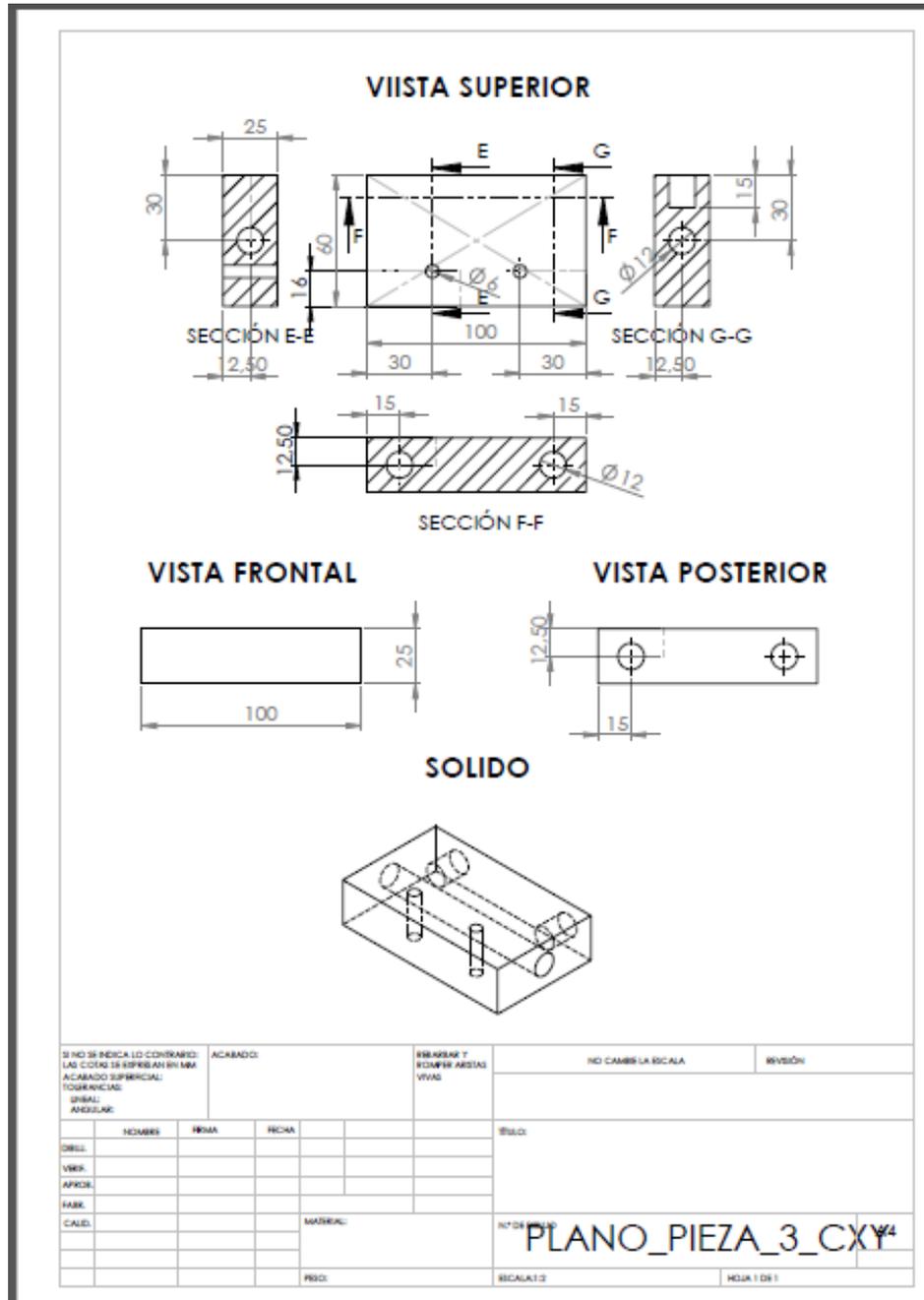
ESCALA 1 : 5

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: ANGULOS:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIA LA ESCALA	REVISIÓN
DESIGN.	NOMBRE	PRIMA	FECHA		DISEÑO:	
VERSI.						
APROB.						
FABR.						
CALED.				MATERIAL:	N° DE DIBUJO	
					ENSAMBLAJE	
				PREC:	ESCALA 1:5	A4
					HOLA 1 DE 1	

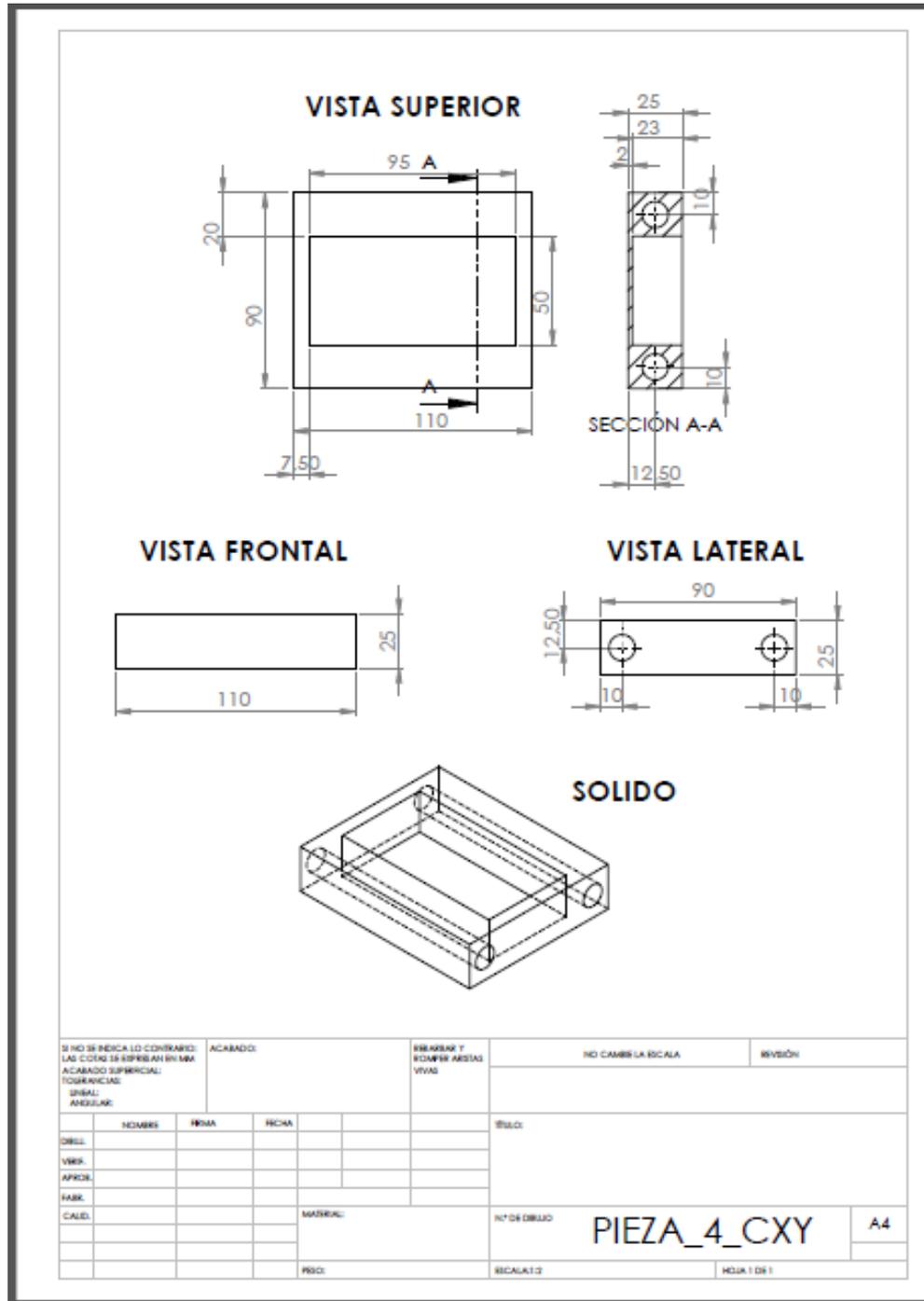
PLNO_PIEZ_2_CXY



PIEZA_PLANO_3_CXY



PLANO_PIEZA_4_CXY



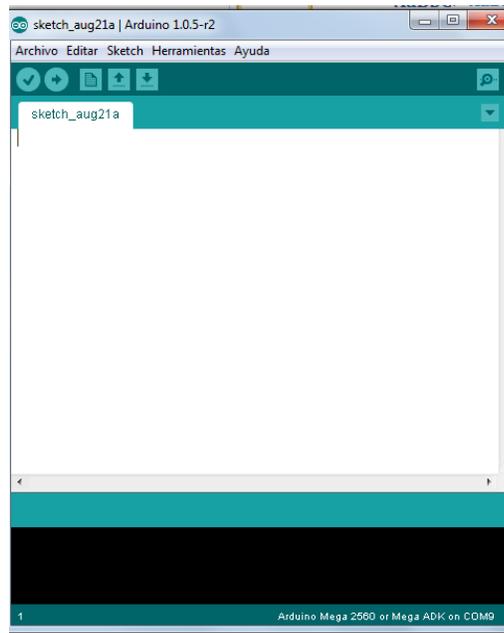
ANEXO 9

CONFIGURACION FIRMWARE Y SOFTWARE

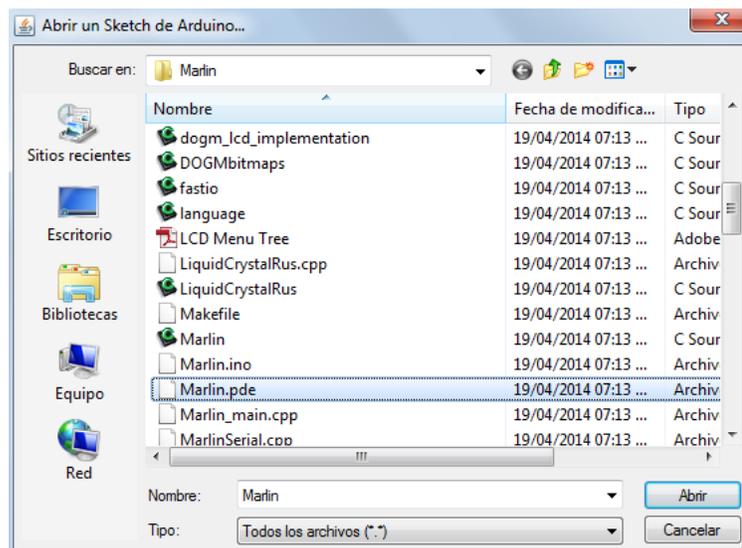
CONFIGURANDO MARLIN

Como primer paso para que nuestra impresora 3D funcione de una manera óptima, es configurar Marlin.

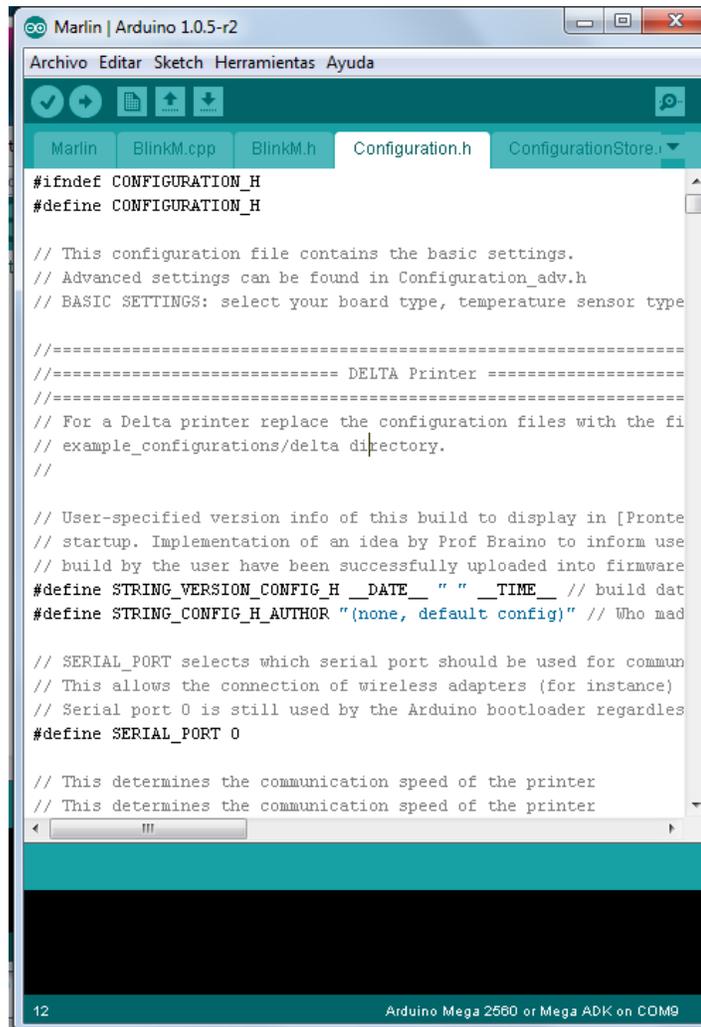
Para introducir el firmware a la placa, usaremos el IDE Arduino 1.0.5-r2, dado que marlín es compatible con esta versión, podemos descargarlo directamente de la página oficial de Arduino.



Una vez instalado el IDE Arduino, debemos abrir el archivo de Marlin.ino o Marlin.pde, en el cual centraremos nuestra configuración.



Una vez abierto Marlin, seleccionamos la pestaña configuration.h, es dónde se encuentra el código a cambiar.



```
#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

//=====
//===== DELTA Printer =====
//=====
// For a Delta printer replace the configuration files with the fi
// example_configurations/delta directory.
//

// User-specified version info of this build to display in [Pronte
// startup. Implementation of an idea by Prof Braino to inform use
// build by the user have been successfully uploaded into firmware
#define STRING_VERSION_CONFIG_H __DATE__ " " __TIME__ // build dat
#define STRING_CONFIG_H_AUTHOR "(none, default config)" // Who mad

// SERIAL_PORT selects which serial port should be used for commun
// This allows the connection of wireless adapters (for instance)
// Serial port 0 is still used by the Arduino bootloader regardles
#define SERIAL_PORT 0

// This determines the communication speed of the printer
// This determines the communication speed of the printer
```

La primera variable que tenemos que determinar es la velocidad de comunicación de la impresora con Pronterface que viene dada en baudios “baudrate” por lo general a 250000, y si tenemos problemas de comunicación probar a usar 115200.

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

Seguidamente seleccionamos el tipo de placa que estamos utilizando y con la cual controlaremos nuestra impresora 3D, en nuestro caso tenemos Arduino Mega con Ramps v1.4 y un extrusor simple.

```
#ifndef MOTHERBOARD
#define MOTHERBOARD 33
#endif
```

Como lo dijimos anteriormente usaremos Arduino Mega con Ramps v1.4 y un extrusor simple por lo que seleccionamos: **#define MOTHERBOARD 33.**

Ahora tenemos que configurar los sensores de temperatura (termistores) del extrusor y cama caliente.

Tenemos comentadas todas las opciones, así que seleccionaremos los sensores que estamos utilizando en nuestras placas.

```
#define TEMP_SENSOR_0 1 //-1
#define TEMP_SENSOR_1 0 //-1
#define TEMP_SENSOR_2 0 //0
#define TEMP_SENSOR_BED 4 //0
```

Estamos trabajando en la placa solo con dos sensores, uno para el hodend y el otro para la cama caliente, entonces solo afecta al primero y al último. Hemos seleccionado el valor de 1 para el hodend ya que es un termistor de 100k y otro de 10k que es el número 4 para la cama caliente.

CAPITULO VI

BIBLIOGRAFIA

1.- BUDYNAS, R. y NISBETT, J. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley., 8va ed., México, McGraw-Hill., 2008., pp. 50-200

2. - CANESSA, E. et al. Low-cost 3D printing for science, education & sustainable development. Primera ed., Italia, s.e., 2013., 202 p.

3.- COUNCIL, A. y PETCH, M. Impresión 3D: La rebelión de la tercera revolución industrial., Editorial Kindle., s.l., Gyges 3D., 2014., pp. 30-250.

4.- DÍAZ, V. y LÓPEZ, B. Tornillo sin fin., Primera ed., España, Carlos III de Madrid., 2008., 30 p.

5.- KALPAKJIAN, S. y SCHMID. S. Manufactura, ingeniería y tecnología., 4ta ed., México, Prentice Hall., 2002., pp. 10-150.

6.- MALDONADO, G., Diseño, construcción y programación de una máquina de control numérico. Tesis .Quito. Escuela de Ciencias y Tecnologías Aplicadas., Universidad Internacional del Ecuador., 2012., pp. 50-100.

8.- NAVARRETE, P. y CHANCUSI, S., Diseño y construcción de una impresora 3D auto replicable., Tesis. Latacunga. Carrera de Ingeniería en Mecatrónica., Universidad de la Fuerza Armadas., 2014., pp. 20-60.

9.- QUILODRÁN, V. Acoplamientos mecánicos., Primera ed., Chile, Universidad tecnológica de Chile., 2011., 55p.

10.- RUIZ, J. Arduino: Manual de programación., Primera ed., California, Creative Commons., 2007., 150p.

11.- VAZHNOV, A. Impresión 3D - como va a cambiar al mundo., Primera ed., Argentina, Baikal., 2013., pp. 5-30.

BIBLIOGRAFIA DE INTERNET

1.- CORE [X, Y].

<http://corexy.com/>

2014/09/15

2.- DOCUMENTO INFORMATIVO – OPEN SOURCE.

<http://www.openbiz.com.ar/Open%20Source.pdf>

2014/05/15

3.- DRIVER DE MOTOR PASO A PASO A4988 (STEPSTICK).

<http://www.dx.com/es/p/stepstick-a4988-stepper-motor-driver-module-white-black-186465#.VEia5mdAdsU>

2014/08/10

4.- EL SERVOMOTOR.

<http://www.info-ab.uclm.es/labelec/solar/electronica/elementos/servomotor.htm>

2014/09/25

5.- FILAMENTO

<http://fabricame.com/impresion-3d-filamento/>

2014/06/25

6.- HOTEND J-HEAD MK-V

<http://bcndynamics.com/es/product/kit-hotend-j-head-mk-v-3mm05mm>

2014/05/22

7.- MAQUINAS HERRAMIENTAS CON CONTROL NUMÉRICO.

http://www.industrial.frba.utn.edu.ar/MATERIAS/procesos_industriales/archivos/curso_control.pdf

2014/05/05

8.- MECANISMOS Y MAQUINAS.

<http://tecnologiamolina.webcindario.com/Tema%203%20Mecanismos%20y%20maquinas.pdf>

2014/03/20

9.- MINITRONICS

<http://wiki-es.bcndynamics.com/minitronics>

2014/05/22

10.- MODELADO POR DEPOSICIÓN DE HILO FUNDIDO

<http://tfmrimuned.wordpress.com/modelado-por-deposicion-de-hilo-fundido-fdm/>

2014/06/12

11.- MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA

http://es.wikipedia.org/wiki/Modelado_por_deposici%C3%B3n_fundida

2014/06/12

12.- MOTORES PASO A PASO.

<http://www.docentes.unal.edu.co/hfvelascop/docs/CLASES/DIGITALES2/LABORATORIO/Motor%20Paso%20a%20Paso.pdf>

2014/07/29

13. - PCB HEATBED.

http://reprap.org/wiki/PCB_Heatbed

2014/05/08

14. - RAMPS V1.4

<http://wiki-es.bcndynamics.com/ramps>

2014/05/30

15. - SANGUINOLOLU/ES

<http://reprap.org/wiki/Sanguinololu/es>

2014/04/02

16.- SECCIÓN DE MOTORES A PASOS

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/hernandez_b_ii/capitulo3.pdf

2014/08/30

17.- SENSOR INFRARROJOS SHARP GP2Y0A02YK S320107

<http://www.superrobotica.com/S320107.htm>

2014/08/12

18.- SOFTWARE PARA IMPRESIÓN 3D

<http://www.arduteka.com/2012/12/software-cura-para-impresion-3d-sprinter-vs-marlin/>

2014/06/30

19. - SOFTWARE Y FIRMWARE.

http://zootec.com.ar/Prusa_i3.html

2014/04/29

20. - TIPOS DE HOT-END

<http://blog.reclone3d.com/2013/01/comparativa-de-hotends/>

2014/29/09

21.- TIPOS DE SENSORES

http://www.profesormolina.com.ar/tecnologia/sens_transduct/tipos.htm

2014/07/02

