

# UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

## CARRERA INGENIERÍA DE SISTEMAS



### PROYECTO DE GRADO

**“PROTOTIPO CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA LA ELABORACIÓN DE DISEÑOS 3D BASADO EN EL FIRMWARE MARLIN”**

**CASO: TECHBOL**

Para optar al título de Licenciatura en Ingeniería de Sistemas

**Mención: INFORMÁTICA Y COMUNICACIONES**

**Postulante: Mary Patricia Mayta Aliaga**

**Tutor Metodológico: Ing. Marisol Arguedas Balladares**

**Tutor Especialista: Lic. Freddy Salgueiro Trujillo**

**Tutor Revisor: Lic. Rosa Patricia Nina Chura**

**EL ALTO – BOLIVIA**

**2020**

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto va dedicado en primer lugar a dios, por haberme dado las fuerzas para seguir y poder concluir este proceso ya que es uno de los anhelos más deseados.

A mis padres por su amor, su apoyo y la paciencia en todos estos años, que gracias a sus enseñanzas eh podido llegar hasta aquí. Ha sido un orgullo y privilegio ser su hijo.

A mi esposo Jose, gracias a su apoyo incondicional, que me dio fuerzas y ánimos en todo momento.

A mis hermanas (os) por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida. A todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Mary Patricia Mayta Aliaga

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero y antes que nada quisiera agradecer a Dios por la oportunidad que me brindo para realizar este proyecto y aprender de él.

A mis padres ya que me brindaron apoyo incondicional en mis estudios y a lo largo de mi vida.

A mi esposo, mis hermanos y padres por el apoyo y la paciencia en cada momento a lo largo del desarrollo del proyecto.

A mis tutores que fueron un apoyo incondicional Lic. Freddy Salgueiro Trujillo, Ing. Marisol Arguedas Balladares, Lic. Rosa Patricia Chura por toda la sabiduría y experiencia profesional, por sus consejos, colaboración y paciencia a lo largo del desarrollo de este Proyecto, que es un gran pasó en la vida de un estudiante Universitario.

## RESUMEN

La empresa Techbol se dedica al desarrollo tecnológico en la ciudad de El Alto, fomentando proyectos tecnológicos. Uno de los proyectos desarrollados para esta empresa es el Proyecto de este texto "Prototipo de control numérico por computadora para la elaboración de diseños 3D basado en el firmware Marlin 1.1.9". El CNC es una impresora 3D capaz de realizar réplicas de diseños en 3D, creando piezas o maquetas volumétricas a partir de un diseño hecho por ordenador. En universidades nacionales se han realizado proyectos usando esta tecnología como también a nivel internacional haciendo motivante el desarrollo de este proyecto. Este proyecto se construye tras el problema de la falta equipamiento para el prototipado rápido de modelos 3D, causando bajo rendimiento y productividad en la construcción de estas piezas, justificándolo de manera técnicas, económicas y sociales. Las metodologías como Hardware Libre, Bottom Up y CAD como también las herramientas Blender, Eagle, Arduino IDE, etc hacen parte importante al momento de poner manos a la obra. Con el objetivo de conocer los costos de producción se realiza el análisis respectivo sin dejar de lado la calidad. Este proyecto no se limita a cumplir con los objetivos, pero con un gran alcance para la Universidad Pública de El Alto y como no para Techbol. El aporte más importante será la producción en serie de piezas 3D

Dentro del marco aplicativo se desarrolla todo el proyecto con sus respectivos análisis de costo y calidad

Los objetivos propuestos son cumplidos a cabalidad de manera satisfactoria y conforme con la empresa Techbol. Existen varias recomendaciones, manual de usuario e información sobre diseños 3D en la última parte de este texto.

## INDICE GENERAL

CAPITULO I MARCO PRELIMINAR .....	1
1.1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 ANTECEDENTES .....	1
1.2.1 ANTECEDENTES INSTITUCIONALES .....	1
1.2.2 ANTECEDENTES ACADÉMICOS .....	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.3.1 PROBLEMA PRINCIPAL .....	4
1.3.2 PROBLEMAS ESPECIFICOS .....	4
1.4 OBJETIVOS .....	4
1.4.1 OBJETIVO GENERAL .....	4
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
1.5 JUSTIFICACIÓN .....	5
1.4.3 TÉCNICA .....	5
1.4.4 ECONÓMICA .....	5
1.4.5 SOCIAL .....	6
1.5 METODOLOGÍA .....	6
1.5.1 METODOLOGIA DE HARDWARE LIBRE .....	6
1.5.2 DISEÑO BOTTOM-UP .....	7
1.5.3 COSTO DE PRODUCCIÓN .....	8
1.5.4 FACTORES DE CALIDAD .....	8
1.6 HERRAMIENTAS .....	10
1.7 LÍMITES Y ALCANCES .....	11
1.7.1 LIMITES .....	11
1.7.2 ALCANCES .....	11
1.8 APORTES .....	12

CAPITULO II MARCO TEORICO.....	13
2.1 METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE HARDWARE LIBRE .....	13
2.1.1. PROCESO DE CONCEPTUALIZACIÓN.....	13
2.1.2. PROCESO DE ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS DE HARDWARE LIBRE .....	14
2.1.3 PROCESO DE DESARROLLO DEL PROYECTO EN HARDWARE LIBRE .....	15
2.2 ARDUINO MEGA.....	18
2.2.1 APLICACIÓN DEL ARDUINO.....	19
2.3 CNC (CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA).....	20
2.4 IMPRESORA 3D.....	22
2.4.1 MODELOS FDM.....	23
2.4.2 PROYECTO CLON WARS .....	25
2.4.3 USOS DE IMPRESORAS 3D .....	26
2.5 MOTORES PASO A PASO P.A.P.....	28
2.5.1 MOTOR P.A.P. UNIPOLARES .....	29
2.5.2 MOTOR P.A.P. BIPOLARES .....	30
2.5.3 DRIVERS PARA MOTORES P.A.P.....	32
2.6 EXTRUSION DE FILAMENTO .....	34
2.6.1 PLA (Poliácido Láctico).....	35
2.6.2 ABS (Acrlonitrilo Butadieno Estireno).....	35
2.6.3 ADHERENCIA DEL FILAMENTO .....	36
2.7 MARLIN .....	37
2.8 HERRAMIENTAS CAD EN IMPRESORAS 3D .....	38
2.8.1 SOFTWARE GENERICO ULTIMAKER CURA .....	38
2.8.2 HERRAMIENTAS OPENSORUSE PRONTERFACE.....	39

2.9	FACTORES DE CALIDAD .....	40
2.9.1	EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO .....	41
2.10	COSTO DE PRODUCCIÓN.....	42
2.10.1	ELEMENTOS DE COSTO DE PRODUCCIÓN.....	42
CAPITULO III MARCO APLICATIVO .....		44
3.1	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE HARDWARE LIBRE .....	44
3.1.1	PROCESO DE CONCEPTUALIZACIÓN .....	44
3.1.2	PROCESO DE ADMINISTRACIÓN.....	44
3.1.3	PROCESO DE CONSTRUCCIÓN.....	46
3.1.3.1	Aplicación de la metodología Bottom – Up .....	46
3.2	COSTOS DE PRODUCCION.....	59
3.3.1	EL COSTO DE MATERIA PRIMA.....	59
3.3.2	CALCULO DEL COSTO DE MANO DE OBRA.....	68
3.3.3	COSTOS INDIRECTOS DE PRODUCCIÓN .....	68
3.4	CALIDAD DEL PRODUCTO .....	68
CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		75
4.1	CONCLUSIONES .....	75
4.2	RECOMENDACIONES .....	75
BIBLIOGRAFIA.....		77
ANEXOS.....		79
1.	MANUAL DE USUARIO.....	79
1.1.	INTRODUCCIÓN .....	79
1.2.	OBJETIVO .....	79
1.3.	GUIA DE USO .....	79
2.	ARBOL DE PROBLEMAS.....	84

3.	ARBOL DE OBJETIVOS.....	84
4.	MODELOS STL .....	85

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Proceso de la Metodología Hardware Libre.....	7
Figura 1.2 Estructura Jerárquica de Componentes Bottom-Up .....	7
Figura 2.1 Metodología de diseño Botton-up.....	17
Figura 2.2 Ciclo del Diseño Asistido por Computadora .....	18
Figura 2.3 Ilustración de la placa Arduino y sensores .....	20
Figura 2.4 ejes de un sistema CNC.....	21
Figura 2.5 Tipos de Impresora FDM.....	24
Figura 2.6 Logo proyecto COLN WARS .....	25
Figura 2.7 Impresión de órganos con células madre .....	27
Figura 2.8 Soporte de brazo impreso en 3d .....	27
Figura 2.9 Motor PAP (paso a paso) .....	29
Figura 2.10 Motor PAP unipolar .....	30
Figura 2.11 Secuencia de giro de Motor PAP unipolar .....	30
Figura 2.13 Secuencia de giro de Motor PAP bipolar .....	32
Figura 2.14 Esquema de Extrusión .....	34
Figura 2.15 Efectos de la delaminación.....	37
Figura 2.16 Interfaz de trabajo CURA .....	39
Figura 2.17 Interfaz de trabajo PRONTERFACE.....	40
Figura 3.1 Programación de tareas en la etapa de diseño .....	45
Figura 3.2 Programación de tareas en la etapa de construcción.....	45
Figura 3.3 Programación de tareas en la etapa de calibración.....	46
Figura 3.4 Programación de tareas en la etapa de pruebas de impresión.....	46
Figura 3.6 montaje de la base caliente.....	53
Figura 3.7 montaje del extrusor en la impresora .....	54

Figura 3.8 diagrama de conexión Driver A4988 .....	55
Figura 3.9 conexión fuente de alimentación .....	55
Figura 3.10 soporte final de carrera eje "Z" .....	56
Figura 3.11 Calibración de ejes.....	57
Figura 3.12 Resultado de impresión de prueba 1 .....	71
Figura 3.13 Resultado de prueba 2 .....	72
Figura 3.14 Resultado de prueba 3 .....	74

## INDICE DE TABLAS

Cuadro 3.1 Estructura metálica .....	47
Cuadro 3.2 Piezas impresas .....	47
Cuadro 3.3 Varilla .....	48
Cuadro 3.4 Motores .....	49
Cuadro 3.5 Cama caliente y Finales de carrera .....	49
Cuadro 3.6 Varios .....	50
Cuadro 3.7 Comparacion configuracion Marlin 1.1.9.....	57
Cuadro 3.8 Costo de materia prima .....	60
Cuadro 3.9 Costos de materia prima piezas impresas .....	64
Cuadro 3.9 Configuración prueba 1 .....	69
Cuadro 3.10 Configuración de prueba 2.....	71
Cuadro 3.11 Configuración de prueba 3.....	73

## **CAPITULO I MARCO PRELIMINAR**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

La era tecnológica ha impulsado la producción industrial automatizando procesos repetitivos o de suma precisión con máquinas controlados por la mano del hombre. Con la llegada de la electrónica digital, en 1975 se incorporó los microprocesadores dando paso a la programación de procesos bajo la terminología de CNC (Control Numérico por Computadora). En la actualidad muchos sistemas reemplazan el uso de computadoras por otras alternativas como los microcontroladores, es esta tecnología la que permite una producción masiva en la industria y que se utilizará en este proyecto.

El sistema de ejes coordenados “X”, “Y” y “Z” serán ejecutados por motores paso a paso (PAP) y controlados por el microcontrolador ATmega2560, el software de control estará basado en MARLIN 1.1.9 el cual nos permite el trabajo autónomo.

Las Bottom-Up y hardware libre harán posible el desarrollo de este prototipo sin dejar de lado el trabajo que realizarán las herramientas Pronterface, Ultimaker Cura y Arduino IDE entre otros.

El prototipo CNC mejorará los procesos productivos de objetos 3d para el prototipado rápido en áreas como arquitectura, robótica, medicina protésica o hasta metalurgia.

### **1.2 ANTECEDENTES**

#### **1.2.1 ANTECEDENTES INSTITUCIONALES**

TECHBOL forma parte del área de desarrollo tecnológico de la ciudad de El Alto, ubicada en la zona Villa Alemania, cuenta con una instalación equipada con herramientas de prototipado industrial.

#### **MISION**

Fortalecer el ecosistema empresarial, fomentando la competitividad en el marco del desarrollo tecnológico sostenible en el municipio de El Alto.

#### **VISION**

Ser la empresa líder en el rubro de emprendimientos tecnológicos y fomento industrial.

**EMPRENDIMIENTOS:** Fomentar el desarrollo de un ecosistema emprendedor y nuevos proyectos tecnológicos.

**FORTALECIMIENTO EMPRESARIAL:** Desarrollar herramientas para optimizar el trabajo de las micro, pequeña, mediana y grande empresa.

### **1.2.2 ANTECEDENTES ACADÉMICOS**

Con relación a proyectos similares, se han revisado los siguientes trabajos:

**“PROTOTIPO DE IMPRESORA 3D CON EL USO DE BOTELLAS PET COMO MATERIAL DE IMPRESIÓN Y ADAPTACION DE DESECHO ELECTRONICO (E-WASTE) PARA SU CONSTRUCCION”**

**Autor:** Paulo Roberto Loma Marconi

**Editor:** La Paz UMSA, 2015

**Contenido:** Se trata de la primera impresora 3D creada en la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). Lo diferente de este dispositivo entre los que existen en el mercado, es que está hecho a partir de material "reutilizado" (<https://es.slideshare.net/zurits/paulo-loma-marconi-proyecto-de-grado-umsa,2015>).

**“MONTAGE Y PUESTA EN MARCHA DE UNA IMPRESORA 3D MODELO PRUSA MENDEL I3 OPEN SOURCE PARA LA IMPRESIÓN DE MODELOS TRIDIMENSIONALES”**

**Autor:** Alex Flavio Guevara Alvarez

**Editor:** La Paz UMSA, 2018

**Contenido:** El proyecto consiste en montar una impresora 3D, modelo I3 Prusa Mendel del proyecto RepRap, y mostrar los objetos que pueden llegar a realizarse con la impresora. El proyecto consta de 5 capítulos y anexos (<https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/18772>, 2018).

**“IMPLEMENTACIÓN DE UNA IMPRESORA 3D Y ESCANEAMIENTO TRIDIMENSIONAL PARA LA FABRICACIÓN DE PRÓTESIS PARA ANIMAL CANINO CON PROBLEMAS DE MOVILIDAD”**

**Autor:** Elmer Maydana Huanca

**Editor:** Puno, UNA, 2019

**Contenido:** El trabajo de investigación comprende la implementación de una impresora 3D y un escáner 3D para la fabricación de prótesis para animal canino con problemas de movilidad. La impresora y escáner 3D se ha implementado a partir de materiales reciclados y usando un sensor KINECT de consola de videojuego que forma parte del escáner 3D, el cual permite obtener una imagen tridimensional de un objeto.  
(<https://repositorio.una.bo/handle/123456789/18772>, **PERU** 2019).

### **“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPRESIÓN 3D DE MODELOS ANATÓMICOS CON FINES ACADÉMICOS EN MEDELLÍN”**

**Autor:** Lina Marcela Gil Arias

**Editor:** Medellín, EAFIT, 2018

**Contenido:** El proyecto consiste en un estudio de factibilidad para conocer si modelos impresos en 3D son viables en Medellín. El desarrollo de esta propuesta se apoyó en la metodología ONUDI, en diferentes herramientas, también en una estrategia que incluye revisión de literatura y la aplicación de un cuestionario estructurado para conocer, a nivel de mercado, la aceptación de los modelos propuestos.

([https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/12977/LinaMarcela\\_Gil\\_Arias\\_2018.pdf?sequence=2](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/12977/LinaMarcela_Gil_Arias_2018.pdf?sequence=2), **COLOMBIA** 2018).

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente la empresa TECHBOL, tiene problemas al momento de construir o materialización diseños 3D, porque las piezas de tamaño reducido necesitan mucha precisión, la mano del hombre no es precisa en la construcción tridimensional de estas piezas o son piezas geométricamente complejas para producirlas en un solo proceso.

Dicho de otra forma, la predominancia de formas tradicionales de producción, falta de mecanismos de producción en serie y agotamiento de los empleados empleando mucho tiempo en la realización de proyectos con diseños 3d.

### **1.3.1 PROBLEMA PRINCIPAL**

La falta de equipamiento para el prototipado rápido de modelos 3d, genera bajo rendimiento y productividad, al consumir bastante tiempo y dinero en la construcción de piezas.

### **1.3.2 PROBLEMAS ESPECIFICOS**

1. Las impresoras 3D son muy costosas, lo que incrementa el costo y limita la calidad de diseños 3d.
2. La operación de las impresoras 3D con equipos computacionales no es adecuado, ya que puede llegar a ser inoperable si el equipo computacional llega a dañarse aumentando el costo del reemplazo.
3. El ambiente de la empresa no es adecuado para implementar maquinaria de producción en serie, lo que limita la realización constante de diseños tridimensionales.
4. El costo de adquisición de impresoras 3D no incluye la configuración adecuada, lo que genera un costo adicional de instalación.
5. Las impresoras 3D que se comercializan en el mercado nacional o internacional son privativos, imposibilitando la actualización hacia un firmware más completo.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Construir un prototipo control numérico por computadora (CNC) basado en el firmware MARLIN 1.1.9 que sea robusto, de alto tráfico, autónomo y auto replicable, para brindar mayor productividad y rendimiento en la elaboración y materialización de la producción en serie de diseños 3D de forma fácil y económica.

## **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Construir el hardware necesario del CNC para permitir elaborar diseños 3D de alta calidad y con un costo económico.
2. Instalar una interfaz gráfica individual en el CNC, para su funcionamiento autónomo.
3. Construir el prototipo con características replicables y mantenibles, para la producción masiva de diseños 3D
4. Configurar adecuadamente el prototipo de acuerdo a las características de la empresa, para el funcionamiento óptimo de la CNC reduciendo el costo de instalación.
5. Construir el prototipo con la capacidad de soportar el firmware Marlin 1.1.9, para poder configurar los requerimientos y mejoras propias de la empresa.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN**

### **1.4.3 TÉCNICA**

Se aplicarán tecnologías libres (open source) que permiten mayor control del hardware y libertad en diseño de la estructura, adicionalmente se cuenta con las siguientes ventajas:

- La electrónica aplicada es accesible localmente, lo cual garantiza la compra de repuestos y su mantenimiento correspondiente.
- La programación está basada en firmware más robusto de las impresoras 3d, cuenta con amplio soporte técnico a nivel mundial.
- El tamaño será reducido optimizando el área de trabajo y su portabilidad.

### **1.4.4 ECONÓMICA**

La estructura será de material ácido poli láctico (PLA) que es biodegradable y también se utilizará varillas roscadas. La electrónica que se utilizará es muy

comercial por su costo reducido. En cuanto al software, la adquisición de la licencia de MARLIN 1.1.9 es libre (open source) lo cual nos permite realizar modificaciones sin costo económico.

#### **1.4.5 SOCIAL**

Al ser un prototipo basado en código abierto (open source) se garantiza que los planos de construcción serán liberados y puestos a disposición en la Universidad Pública de El Alto para posteriores mejoras o actualizaciones, además de socializar este proyecto a los empleados de la empresa que poseen conocimiento básico en equipos de prototipado.

### **1.5 METODOLOGÍA**

#### **1.5.1 METODOLOGIA DE HARDWARE LIBRE**

La metodología posee tres procesos:

1. En la conceptualización se busca delimitar los alcances que se quiere para el proyecto, teniendo esta fase como objetivo principal proponer soluciones pertinentes a los problemas planteados.
2. En el proceso de administración se busca la planificación para el diseño, fabricación y pruebas del dispositivo, comprende un conjunto de actividades para coordinar y mantener el orden de un proyecto
3. Por último, el proceso de desarrollo en el cual se especifican los pasos que se deben cumplir, dependiendo de la naturaleza del dispositivo.



**Figura 1.1 Proceso de la Metodología Hardware Libre**  
**Fuente: cenditel.gob.ve**

### 1.5.2 DISEÑO BOTTOM-UP

En esta metodología de diseño las partes individuales se diseñan con detalle y luego se enlazan para formar componentes más grandes, que a su vez se enlazan hasta que se forma el sistema completo que se desea implementar.

La metodología Bottom-Up no implica una estructuración jerárquica de los elementos del sistema. Simplemente reúne componentes de bajo nivel para formar el diseño global como se muestra en la figura 1.2.

**Figura 1.2 Estructura Jerárquica de Componentes Bottom-Up**  
**Fuente: sedeci.unlp.edu.ar**

Esta metodología de diseño es útil para diseños medianamente pequeños. Para diseños mayores esta metodología resulta impráctica, debido a que el funcionamiento adecuado del producto final no está garantizado luego de unir decenas de componentes. El hecho de unir un número elevado de componentes entre sí, sin una estructura jerárquica que permita organizarlos dificulta el análisis del circuito, aumentando la posibilidad de cometer errores.

## **Metodología CAD**

El diseño asistido por ordenador (CAD) consiste en el uso de programas de ordenador para crear, modificar, analizar y documentar representaciones gráficas bidimensionales o tridimensionales (2D o 3D) de objetos físicos como una alternativa a los borradores manuales y a los prototipos de producto. El CAD se utiliza mucho en los efectos especiales en los medios y en la animación por ordenador, así como en el diseño industrial y de productos.

El CAD permite:

- Agilizar el proceso de diseño, mejorar la visualización de los subensambles, de las piezas y del producto final.
- Obtener una documentación más sólida y sencilla del diseño, que incluye geometrías, dimensiones y listas de materiales.
- Reutilizar fácilmente los datos de diseño y las mejores prácticas.
- Lograr una mayor precisión para reducir los errores.

### **1.5.3 COSTO DE PRODUCCIÓN**

Existen tres elementos clave en el costo de producción los cuales son:

**Materia prima y aprovisionamientos.** La primera son aquellos materiales que se transforman en el proceso productivo. La segunda son los que no se transforman, pero son necesarios.

**Mano de obra.** En este caso se incluye solo la mano de obra directa, es decir, aquella involucrada en el proceso productivo.

**Costes indirectos de producción.** Aquí se debe incluir la mano de obra indirecta que es la que, aun no estando implicada en el proceso, es necesaria.

### **1.5.4 FACTORES DE CALIDAD**

Para la evaluación de calidad se utilizará del hardware la norma ISO9001.

#### **Norma ISO9001**

La norma ISO 9001 son estándares de calidad enfocado a productos o servicios.

La ISO 9001 es una norma Internacional para la Estandarización (ISO) que se aplica a los Sistemas de Gestión de Calidad de organizaciones públicas y privadas, independientemente de su tamaño o actividad empresarial. Se trata de un método de trabajo excelente para la mejora de la calidad de los productos y servicios, así como de la satisfacción del cliente.

### **Pruebas de rendimiento**

- **Prueba de Carga.** Es una prueba que somete al sistema a una carga de trabajo concreta y estable durante un tiempo relativamente corto. El nivel de carga debe ser alto y continuo para verificar que el sistema soporta esa carga sin pérdidas de servicio y con un tiempo de respuesta estable y sin degradaciones.
- **Prueba de Volumen.** Este tipo de prueba tiene por objetivo verificar si el sistema es estable durante un largo periodo de tiempo. Básicamente es como una prueba de carga con una duración superior, por ejemplo 24 horas. La idea es encontrar errores acumulativos, es decir, errores que pasan una prueba de esfuerzo por que producen un daño muy pequeño y que a la larga van a terminar deteriorando o colapsando el rendimiento del sistema.

### **Calidad de impresión**

La calidad de impresión depende del material, pero también de la configuración y calibración de la impresora lo que da muchas variables que afectan en la calidad, que puede agruparse en las siguientes:

- **Resolución.** El término de la resolución en la impresión 3D se refiere a la distancia que hay entre cada capa de la fabricación. El principio de la Aditiva es colocar una capa de material sobre otra. La resolución impacta directamente en el acabado visual.
- **Precisión.** Se refiere a qué tan exacta será la pieza en dimensiones después de fabricarla, dependiendo de la configuración y el material que haya usado, qué tan cercano a lejos estará la pieza de sus dimensiones nominales a las que fue diseñada.

- **Repetibilidad.** La repetibilidad en la impresión 3D permite saber desde antes de fabricar, qué tan idéntica será una pieza con otra, al fabricarla varias veces. Lo que espero al fabricarla es que siempre mida lo mismo, pero en 3D no es así en todos los casos.
- **Dureza.** La dureza y resistencia en la impresión 3D se obtiene directamente de los materiales utilizados, pero el diseño 3D, la configuración y otros elementos pueden hacer a un material muy resistente, algo frágil o un material muy simple, en una pieza altamente resistente.
- **Materiales.** Existen diferentes materiales para la impresión 3d. Se conocerá las características generales y se dará un vistazo a materiales certificados que garantizan calidad.
- **Calibración y mantenimiento de equipos.** Como toda maquinaria, la impresión 3D debe de ser calibrada y mantenida en funcionamientos ideales. Explicare cómo el buen mantenimiento de equipos 3D y su calibración, permite fabricar piezas de alta calidad.

## 1.6 HERRAMIENTAS

- **BLENDER,** es un programa informático multiplataforma, dedicado especialmente al modelado, renderizado, animación y creación de gráficos 3D. Cuenta con las siguientes características:
  - Licencia GPL
  - Puede ser programado en C, C++ y Python
  - Sistema Operativo Windows, Mac OS u GNU Linux
  - Posibilidad de renderizado
  - Más de 25 idiomas, incluyendo español
  - Última versión Blender 2.78
- **EAGLE,** es un motor de simulación, disponible para Windows, OS X y Linux. Tiene licencias gratuito y propietario, soporta programación y virtualización en 3D, su última versión es Eagle 2.1

- **MARLIN 1.1.9**, es un firmware de código abierto (open source) para la familia RepRap de replicadores de prototipos rápidos, popularmente conocidos como "impresoras 3D". Se derivó de Sprinter y GRBL , y se convirtió en un proyecto independiente de código abierto el 12 de agosto de 2011 con su lanzamiento en Github. Marlin tiene licencia bajo la GPLv3 y es gratuita para todas las aplicaciones.
- **PRONTERFACE**, tanto Pronterface como Pronsole le permiten controlar de forma interactiva su máquina, cortar objetos directamente desde el host, imprimir objetos, cargarlos en tarjetas SD y ejecutar impresiones SD.
- **ULTIMAKER CURA**, en el corazón de Ultimaker Cura se encuentra su potente motor de corte de código abierto, creado gracias a años de desarrollo interno por parte de expertos y contribuciones de los usuarios.
- **ARDUINO IDE**, es la plataforma de programación de Arduino, basado en lenguajes C y Processing. Soporta la gran mayoría de placas Arduino, utiliza librerías para cada uno de sus módulos o shields que se incorporen.

## 1.7 LÍMITES Y ALCANCES

### 1.7.1 LIMITES

El prototipo CNC no integrara una conexión inalámbrica, debido al costo que representa y la inclusión de esta es prescindible. La placa electrónica se limita a funciones de ejecución de Gcodes. Los programas que se utilizaran en este proyecto se limitaran a la generación y diseño del prototipo. El soporte que tendrá el prototipo será provisto por la empresa TECHBOL.

### 1.7.2 ALCANCES

Será una herramienta para el desarrollo creativo en TECHBOL, estimulando la creatividad de sus operarios. La estructura incorporará un módulo de control electrónico LCD y un SD card para facilitar su uso. El prototipo funcionara de manera autónoma almacenando los Gcodes en un micro SD. La materia prima a utilizar será un termoplástico ácido poliláctico (PLA).

## **1.8 APORTES**

El presente proyecto de grado, generará los siguientes aportes:

- Un prototipo funcional, tanto en estructura como en electrónica, la materialización de diseños 3d.
- Una Red de producción masiva de objetos 3d fundidas en PLA de alta calidad en un menor costo.
- Se podrá realizar el soporte técnico y la adecuación de cualquier aspecto del sistema CNC.

## CAPITULO II MARCO TEORICO

### 2.1 METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE HARDWARE LIBRE

La metodología de software libre se basa en tres procesos los cuales son:

- Proceso de conceptualización donde se busca delimitar los alcances que se quiere.
- Proceso de administración se busca la planificación para el diseño, fabricación y pruebas del hardware.
- de desarrollo en el cual se especifican los pasos que se deben cumplir a la hora de la construcción del dispositivo.

La descripción esquemática se muestra en la **Figura 1.1** Proceso de la Metodología Hardware Libre.

#### 2.1.1. PROCESO DE CONCEPTUALIZACIÓN

El proceso de conceptualización realiza un análisis de los requerimientos mínimos de desarrollo, es decir especificación de las características en base a los resultados esperados. “Quiero esto y para eso necesito que”.

Es muy importante tomar en cuenta todas las funcionalidades requeridas para poder proponer una solución y poder estimar su alcance.

Existe diferentes técnicas para poder identificar los requerimientos funcionales y no funcionales.

#### **Identificación de requerimientos Funcionales**

Los requisitos funcionales son las declaraciones que proveerá la herramienta.

Todo requerimiento relacionado con una funcionalidad del sistema que no es realizado por un microcontrolador o algún dispositivo programable, es considerado un requerimiento de hardware. Cada requerimiento debe ser especificado indicando su rango operacional y las unidades de medición.

#### **Requerimientos Mecánicos.**

Todos los requerimientos mecánicos tales como dimensión y forma. Se puede incluir un bosquejo que ayude a entender estos requerimientos. Todos estos requerimientos impactan el diseño del producto. Estos requerimientos no son testeables. Por ejemplo, tipos de conectores, dimensiones requerimientos de

fabricación, entonces podemos decir que los requerimientos mecánicos se basan en las características de la solución planteada, dimensiones, tipo de piezas, tipo de material, cables, peso, etc.

### **2.1.2. PROCESO DE ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS DE HARDWARE LIBRE**

El proceso de administración de la Metodología de Desarrollo de Hardware Libre comprende un conjunto de actividades para coordinar y mantener el orden de un proyecto de desarrollo de hardware libre. Estas actividades estarán orientadas a facilitar lo planteado en el proceso de conceptualización.

Para facilitar el control de elaboración y seguimiento de actividades existen varias herramientas o métodos el cual permite realizar esta tarea de manera fácil.

Nombraremos algunas metodologías de control de desarrollo: SCRUM, KANBAN, etc.

La aplicación de estas metodologías es importante ya que nos permitirá el desarrollo en orden tal que no se quede tareas a medias.

### **LA METODOLOGÍA KANBAN EN EL PROCESO DE ADMINISTRACIÓN**

**Kanban** es una metodología para gestionar el trabajo intelectual, con énfasis en la entrega justo a tiempo, mientras no se sobrecarguen los miembros del equipo. En el proceso, desde la definición de una tarea hasta su entrega al cliente

La metodología kanban define 4 principios básicos:

1. Comience con lo que va a hacer ahora.
2. Se acuerda perseguir el cambio incremental y evolutivo.
3. Respetar el proceso actual, roles y responsabilidades.
4. Liderazgo en todos los niveles.

Para poder realizar los procesos de administración se pueden identificar 5 características básicas en la implementación correcta de kanban.

- Visualizar: Visualizar el flujo de trabajo y hacerlo visible es la base para comprender cómo avanza el trabajo.

- Limitar el trabajo en curso: Limitar el trabajo en curso implica que un sistema de extracción se aplica en la totalidad o parte del flujo de trabajo.
- Dirigir y gestionar el flujo: Se debe supervisar, medir y reportar el flujo de trabajo a través de cada estado.
- Hacer políticas de proceso: Configure las reglas y directrices de su trabajo.
- Utilizar modelos para reconocer oportunidades de mejora: Cuando los equipos tienen un entendimiento común de las teorías sobre el trabajo, el flujo de trabajo, el proceso y el riesgo, es más probable que sea capaz de construir una comprensión compartida de un problema y proponer acciones de mejora que puedan ser aprobadas por consenso.

La aplicación y seguimiento se puede realizar en pizarras con notas adhesivas o tableros con ranuras, también existen software que provee esta herramienta Ej. TRELLO.

### **2.1.3 PROCESO DE DESARROLLO DEL PROYECTO EN HARDWARE LIBRE**

En este proceso se procede a la construcción del prototipo, el cual es luego sometido a diversas pruebas. Los resultados de las pruebas pueden revelar la necesidad de realizar una modificación en cualquiera de las partes o componentes que contiene el producto.

La liberación de los diseños del hardware, se ha considerado de varias formas, por ejemplo, las versiones preliminares llamadas de prueba tienen la finalidad de poder verificar la calidad, hasta llegar a la versión oficial, esta versión propone un producto de mayor calidad a las preliminares o de prueba.

En el proceso de construcción también intervienen metodologías las cuales van orientados al ensamblado o montaje del hardware tales como la metodología BOTTON-UP o CAD.

#### **Metodología Botton-up**

Esta metodología de diseño comprende la descripción del circuito mediante componentes que pueden agruparse en diferentes módulos, y éstos últimos a su vez en otros módulos hasta llegar a representar el sistema completo que se desea implementar.

La metodología Bottom-Up no implica una estructuración jerárquica de los elementos del sistema. Simplemente reúne componentes de bajo nivel para formar el diseño global.

En un diseño Bottom-Up se comienza realizando una descripción con esquemas de los componentes del circuito. Estos componentes se construyen normalmente a partir de otros que pertenecen a una biblioteca que contiene componentes básicos, que representan unidades funcionales con significado propio dentro del diseño. Estas unidades son denominadas primitivas, ya que no es necesario disponer de elementos de más bajo nivel para el diseño que se desea realizar.

El esquema de la metodología se describe en la **Figura 1.2** Estructura Jerárquica de Componentes Bottom-Up

Esta metodología de diseño es útil para diseños medianamente pequeños. Para diseños mayores esta metodología resulta impráctica, debido a que el funcionamiento adecuado del producto final no está garantizado luego de unir decenas de componentes. El hecho de unir un número elevado de componentes entre sí, sin una estructura jerárquica que permita organizarlos (en bloques, por ejemplo) dificulta el análisis del circuito, aumentando la posibilidad de cometer errores.

La metodología Bottom-Up es la que se utiliza desde los primeros tiempos de diseño, ya que el proceso de integración de elementos básicos se había logrado automatizar completamente. Las primeras herramientas de diseño permitían llevar a cabo una descripción sencilla a bajo nivel y posteriormente se procedía a la implementación.

Esta estrategia se asemeja al modelo semilla, en el cual se parte de algo pequeño que va creciendo hasta llegar a un sistema terminado y complejo.



**Figura 2.1 Metodología de diseño Bottom-up**  
**Fuente Elaboración propia**

Bottom-up no necesita tener una imagen clara del estado final del proyecto, sino que para empezar basta con una característica en particular. Es así como se va juntando las piezas.

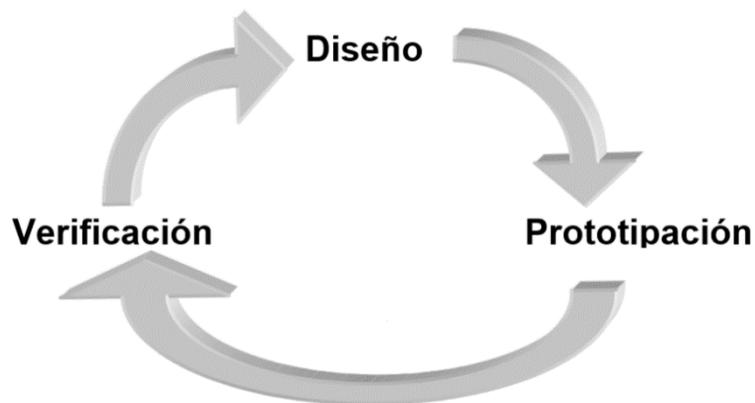
Desventajas de la metodología bottom-up:

- No apto para procesos grandes ya que suele ser muy complejo con un ensamblado grande, en el cual se debe invertir más tiempo en las revisiones.
- Una vez ensamblado el error implica rediseño de las piezas o bloques
- El número de desarrolladores es limitado por la comunicación intensiva entre diseñadores. Además, se requiere que estén en un mismo lugar.

### **Metodología CAD**

La metodología de diseño asistida por computadora (Computer Aided Design, CAD), emplea técnicas gráficas para soportar el proceso de diseño. Esta técnica es fundamental en el proceso de diseño de circuitos electrónicos ya que brinda la posibilidad de simular y verificar la descripción antes de llevar a cabo su implementación, minimizando el costo de elaborar circuitos potencialmente defectuosos y acelerando el diseño global.

El diseño de hardware tiene un problema fundamental, que no existe en el diseño de software. Este problema es el alto costo del ciclo de diseño-prototipado, ya que el costo del prototipo por lo general es bastante elevado. Por lo tanto, se busca minimizar el costo del ciclo anterior, incluyendo la fase de prototipado únicamente al final del mismo. Esto se consigue mediante la inclusión de una fase de simulación y verificación que elimina la necesidad de elaborar físicamente un prototipo, el ciclo de este método se muestra en la figura 2.2



**Figura 2.2 Ciclo del Diseño Asistido por Computadora**  
Fuente: [Electrónica para todos - WordPress.com](http://www.electronicaparatodos.com)

## 2.2 ARDUINO MEGA

Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo de software diseñada para uso en diferentes disciplinas

Arduino es una plataforma abierta que facilita la programación de un microcontrolador. Los microcontroladores nos rodean en nuestra vida diaria, usan los sensores para escuchar el mundo físico y los actuadores para interactuar con el mundo físico. Los microcontroladores leen de los sensores y escriben sobre los actuadores.

También, Arduino es una marca de microcontroladores que es conocida mundialmente por amantes de la programación, la electrónica y la robótica. Es un

proyecto Open Source (Código abierto) que pone a disposición de sus usuarios una varia gama de microcontroladores AtMega. Es de fácil acceso se puede comprar en cualquier tienda de electrónica.

La comunicación de entre la computadora y Arduino se produce a través del puerto Serie. Posee un convertidor usb-serie, por lo que solo necesita conectar la placa a la computadora por medio del USB el mismo que se utiliza para las impresoras.

Arduino mega posee las siguientes características:

- **Microcontrolador:** ATmega2560
- **Voltaje Operativo:** 5V
- **Voltaje de Entrada:** 7-12V
- **Voltaje de Entrada(límites):** 6-20V
- **Pines digitales de Entrada/Salida:** 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)
- **Pines análogos de entrada:** 16
- **Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida:** 40 mA
- **Corriente DC entregada en el Pin 3.3V:** 50 mA
- **Memoria Flash:** 256 KB (8KB usados por el bootloader)
- **SRAM:** 8KB
- **EEPROM:** 4KB
- **Clock Speed:** 16 MHz

Por otro lado Arduino nos proporciona un software consistente, un entorno de desarrollo (IDE) que implementa el lenguaje de programación de Arduino, las herramientas para transferir el firmware al microcontrolador y el boot loader(gestor de arranque) ejecutado en la placa. La principal característica del software y del lenguaje de programación es su sencillez y facilidad de uso.

### **2.2.1 APLICACIÓN DEL ARDUINO**

Arduino se puede utilizar para crear elementos autónomos, conectándose a dispositivos e interactuar tanto con el hardware como con el software. Nos sirve

tanto para controlar un elemento, pongamos por ejemplo un motor que nos suba o baje una persiana basada en la luz existente es una habitación, gracias a un sensor de luz conectado al Arduino, o bien para leer la información de una fuente, como puede ser un teclado o una página web, y convertir la información en una acción como puede ser encender una luz y escribir por un display o teclado.

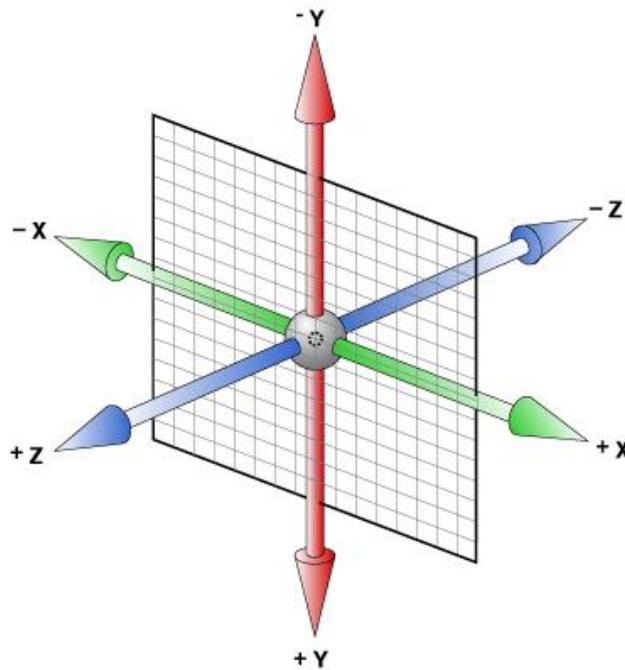


**Figura 2.3 Ilustración de la placa Arduino y sensores**  
Fuente: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/>

### 2.3 CNC (CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA)

Es un sistema que permite el control de la posición de un elemento montado en el interior de una máquina-herramienta mediante software.

Su funcionamiento está basado en el posicionamiento sobre los ejes X, Y, Z. Gracias a lo cual, a una misma pieza se la puede taladrar, cortar, roscar, fresar, o desbastar en todos sus planos de forma totalmente automática.



**Figura 2.4 ejes de un sistema CNC**  
**Fuente:** <https://www.w3.org/Talks/2013/0128-CSS-Utrecht/demo-transforms/demo-rotate3d.html>

Las instrucciones del programa CNC está escrito en un lenguaje específico y estandarizado. Su formato en código G permiten definir cada movimiento o acción de forma secuencial:

- Posicionamiento, introduciendo las coordenadas correspondientes con los puntos de trabajo de la herramienta sobre la pieza a mecanizar y su posición con respecto a la máquina-herramienta. Cada punto estará referido a su posición con respecto los ejes X, Y, Z.
- Velocidad de avance.
- Arranque o pausa.
- Variables direccionales.

La programación de cada pieza tiene una cierta complejidad, no solo se tiene que programar la posición de cada punto, sino el trabajo de la herramienta y el tipo de herramienta a usar en cada trabajo. Es necesario introducir los valores correspondientes a la velocidad de corte, rotación, avance, etc. Cada máquina-

herramienta es diferente y está diseñada para diferentes trabajos, por tanto, cada máquina tendrá su propio programa CNC.

## 2.4 IMPRESORA 3D

Es una máquina de tipo control numérico por computadora (CNC) capaz de realizar réplicas de diseños en 3D, creando piezas o maquetas volumétricas a partir de un diseño hecho por ordenador. Surgen con la idea de convertir archivos de 2D en prototipos reales o 3D. Comúnmente se ha utilizado en el prefabricado de piezas o componentes, en sectores como la arquitectura y el diseño industrial. En la actualidad se está extendiendo su uso en la fabricación de todo tipo de objetos, modelos para vaciado, piezas complicadas, alimentos, prótesis médicas, etc.

La impresión 3D en el sentido original del término se refiere a los procesos en los que secuencialmente se acumula material en una cama o plataforma por diferentes métodos de fabricación, tales como polarización, inyección de aporte, inyección de aglutinante o extrusión de material.

*“Si la revolución industrial de finales del siglo XVIII hizo posible la producción en masa de bienes de consumo, cambiando radicalmente la economía y la sociedad, ahora surge una nueva tecnología de fabricación que consigue precisamente lo contrario: la fabricación individualizada. La impresión tridimensional permite crear objetos personalizables según las necesidades y gustos de cada persona. Este nuevo sistema socava las economías de escala, cuestionando la necesidad de fabricar cientos o miles de unidades para abaratar el producto y que finalmente llegue al consumidor. El consumidor se convierte ahora en productor, el **prosumer**.”*

**Fuente:** <https://ude.edu.uy/caracteristicas-de-las-impresoras-3d/>

Cada vez es más frecuente la aparición de makers que fabrican estas CNC 3D para imprimir. La gama de estos productos está incrementando sustancialmente en los últimos tiempos gracias a la incorporación de diseños de objetos cotidianos, así

como la alta tasa de penetración de las impresoras 3D en los mercados desarrollados.

Empresas que fabrican y comercializar las CNC Impresora 3D:

- Rep Rap Project
- Maker Bot
- Objet
- Zcorp
- Stratasys
- 3D Systems
- EOS
- Dimension
- BitsfromBytes
- Ultimaker

#### **2.4.1 MODELOS FDM**

Sus siglas vienen de 'Fused Deposition Modeling' o 'Moldeado por Deposición fundida' para los hispanohablantes.

Este tipo de impresora 3D fue creada en los años 80 por Scott Crump, el cofundador de Stratasys. Consiste en depositar polímero fundido (generalmente filamento PLA o filamento ABS) sobre una base plana, capa a capa.

El plástico está almacenado en una bobina de filamento como un hilo enrollado.

Dicho hilo se empuja a través de un extrusor que lo lleva hasta una pieza denominada "hotend" que lo que hace es derretirlo y expulsarlo por una boquilla que lo transforma en un minúsculo hilo manejable que se deposita sobre la pieza formando cada capa y que se va solidificando a medida que pasa el tiempo.

En los modelos FDM, se puede encontrar varias subcategorías de impresoras 3d:

**Cartesiana:** utiliza el eje cartesiano "X", "Y" y "Z" con tres ejes perpendiculares entre sí. Su ventaja principal está en su facilidad de utilización, ya al ser el tipo de impresora con la mecánica más sencilla son las más fáciles de calibrar y corregir los errores que puedan surgir durante su uso.

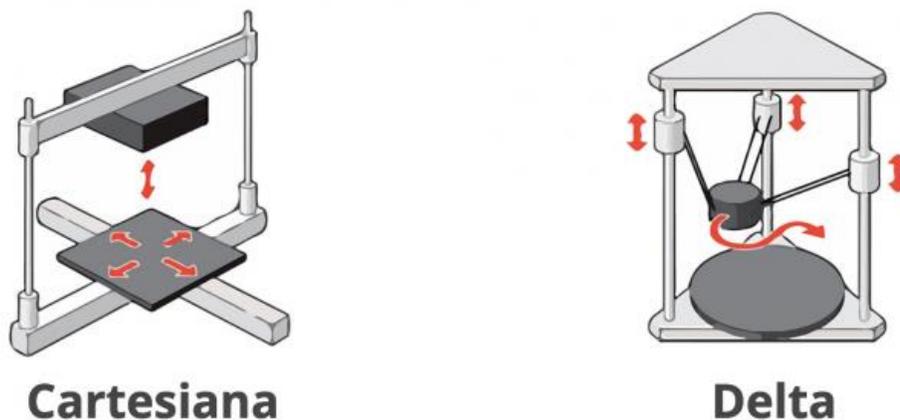
**Delta:** los robots Delta contienen una cama estática de impresión circular. Sus 3 brazos articulados en diferentes elevaciones se desplazan hacia arriba y hacia abajo para poder realizar el trabajo. Destacan su calidad de impresión a mayor velocidad y por la mayor sencillez de su mecánica, pero son más difíciles de calibrar.

**Polar:** está basado en el sistema de coordenadas polares, en el que el sistema parte de un punto para pasar por un ángulo, una recta y el eje Z. La cama de impresión gira y el extrusor y la cabeza de impresión se mueven arriba y abajo. Su mayor ventaja consiste en que funciona con solo 2 motores más el del extrusor, lo que se traduce en un abaratamiento de costes. También trabaja un volumen mayor en un espacio menor, aunque son las menos utilizadas.

**Brazo robot:** está indicado para su uso industrial y montar piezas. Entre sus características más destacadas está el seguimiento de líneas y perfiles curvilíneos, aunque no es nada rígido y no suele permitir la precisión de otras máquinas más especializadas.

**Core XY:** es de estilo cartesiano, pero su mecanismo es diferente. Es ideal para fabricar diseños propios y originales como los famosos DIY “Do It Yourself”, por su configuración mecánica permite más velocidad y reduce la inercia, al no tener la masa de los motores en movimiento.

## Impresoras 3D Deltas vs Cartesianas



**Figura 2.5 Tipos de Impresora FDM**  
Fuente: <https://bitfab.io/es/blog/tipos-de-impresoras-3d/>

## 2.4.2 PROYECTO CLON WARS

Clone Wars es un grupo dentro de la comunidad RepRap, que trata de documentar en español todo lo necesario para que pueda construir uno mismo la impresora 3D. Además, recopilan información como ubicación de comercios locales, miembros del grupo que tienen una impresora cerca de algún usuario y datos en general sobre impresoras 3d.

El proyecto Clone Wars surgió de la mano de Juan González, cuando era profesor de robótica en la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M). Juan González u Obijuan, su alias, encontró en las “impresoras 3D open source” la herramienta perfecta para que sus alumnos pudiesen obtener en muy poco tiempo los prototipos para sus robots.



**Figura 2.6 Logo proyecto COLN WARS**

**Fuente:** [https://www.reprap.org/wiki/Proyecto\\_Clone\\_Wars](https://www.reprap.org/wiki/Proyecto_Clone_Wars)

En 2010, un joven llamado Josef Prusa, presentó la que sería la impresora 3D con más repercusión, la RepRap Prusa Mendel, de nuevo una evolución basada en la Mendel, pero haciendo aún más sencillo su montaje y documentándola al detalle, lo que permitió acceder a esta tecnología a muchas más personas.

En noviembre de 2011, apenas un año después de su lanzamiento, llegó la RepRap Prusa Mendel Iteración 2. Con este proyecto se ha buscado ofrecer un diseño de impresora robusto que soluciona varias de las carencias de los diseños anteriores como por ejemplo la sujeción de los finales de carrera y el guiado de los cables.

## **2.4.3 USOS DE IMPRESORAS 3D**

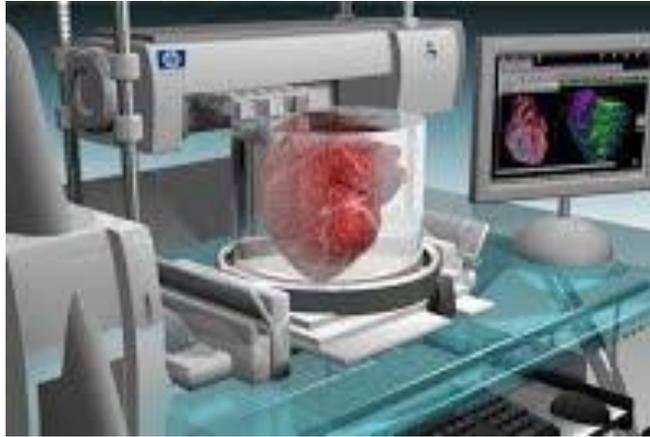
### **2.4.3.1 MEDICINA**

Es uno de los más avanzados en cuanto al uso de las impresoras 3D. En Estados Unidos, la administración de medicamentos y alimentos (FDA) aprobó en agosto de 2015 el primer medicamento que puede ser producido por impresión 3D. El medicamento se llama Spritam y se utiliza para el tratamiento de la epilepsia. La impresión 3D de medicamentos puede permitir a los médicos recetar dosis más precisas, ajustadas a las necesidades de cada paciente.

**Prótesis:** Existen impresoras que son capaces de crear guías quirúrgicas y modelos dentales. Las guías quirúrgicas se usan para que el dentista sepa exactamente dónde debe colocar un implante. Pero lo que es más sorprendente es que ya se han realizado implantes de prótesis más allá de la odontología. Un estudiante creó una prótesis robótica (brazo robótico) con una impresión 3D.

Una de las grandes ventajas que ha ofrecido la creación de prótesis con impresión 3d es que las instrucciones a seguir para crear una son públicas en Internet. Hay muchas personas que inician por su cuenta en este mundo de las impresoras 3D, como es el caso de un padre que descubrió estas máquinas gracias a la publicación en la web de dichas instrucciones para crear una mano con impresión 3d.

**Órganos:** Para crear órganos se usan células vivas como material para imprimir. Es posible generar un órgano para implantárselo a una persona. Es uno de los objetivos más esperados, ya que hay enormes colas de espera para que las personas que necesitan un órgano y a diario mueren varias de ellas debido a la espera demasiado larga. Existen varios grupos estudiando la creación de distintos órganos, siendo el corazón el gran objetivo. Su objetivo es que estos órganos sean trasplantados a seres humanos y tengan las mismas funcionalidades.



**Figura 2.7 Impresión de órganos con células madre**

**Fuente: <https://sites.google.com/site/impr3si0n3dtic02/home/usos-actuales-para-utilizar-las-impresoras-3d>**

La inmovilización de un miembro del cuerpo debido a una fractura. Córtex Exosqueleto es un proyecto que usa una impresora 3D para crear una pieza de inmovilización con la medida perfecta de cada paciente. Esta pieza es mucho más resistente y ligera que una escayola de yeso, además tiene una serie de agujeros que permiten la transpiración de la piel, impidiendo así que salgan hongos. Es mucho más estético y cómodo ya que no abulta demasiado, también se pueden imprimir muñequeras o tablillas para personas que lo necesiten.



**Figura 2.8 Soporte de brazo impreso en 3d**

**Fuente: <https://sites.google.com/site/impr3si0n3dtic02/home/usos-actuales-para-utilizar-las-impresoras-3d>**

### **2.4.3.2 EN LA INDUSTRIA**

**En automoción:** Ford lleva desde finales de los años 80 utilizando esta tecnología en el diseño de sus vehículos, concretamente en la fase de diseño de prototipos, ya que es una forma rápida y efectiva de disponer de los componentes físicamente antes de su producción final.

**En el espacio:** Tanto la agencia espacial estadounidense, la NASA ,como la europea, la ESA están trabajando en el uso de impresoras 3D en el espacio que les permitan crear componentes y herramientas que se puedan imprimir directamente en el espacio, ahorrando en espacio y peso, al tener que llevar solo el material de impresión, evitando malgastar estas valiosas capacidades en objetos o herramientas que quizás no se vayan a utilizar o que una vez utilizados se puedan volver a fundir para crear otros objetos.

**En la alimentación:** Pasando por la fabricación de pasteles de chocolate (ya que una impresora 3D por fundido no deja de ser como una manga pastelera que deposita una capa continua de crema) hasta la impresión de bases de pizzas.

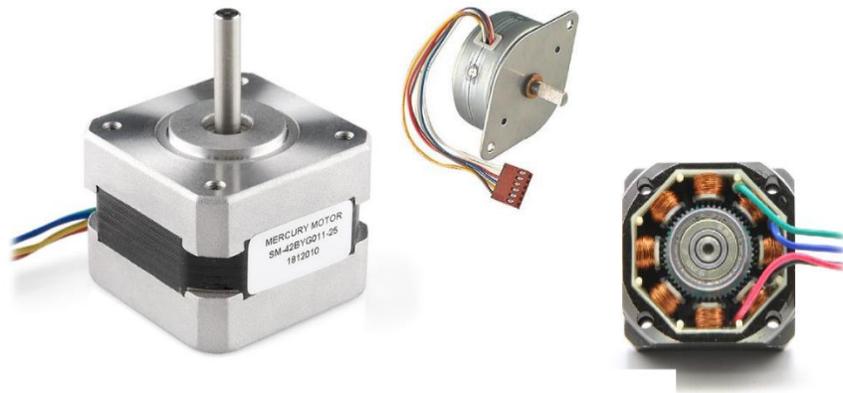
**En la robótica:** Representantes de Google sostienen la idea de que la robótica y la impresión 3D cambiará la forma en la que se adquiere la materia prima, de igual forma revolucionará la relación con los proveedores y como se desarrolla la cadena de suministros a nivel mundial. Con la ayuda de robótica y la impresión 3D se puede mejorar notablemente los procesos de producción y los tiempos de entrega, lo que sería una ventaja para las compañías.

## **2.5 MOTORES PASO A PASO P.A.P.**

Un motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de pulsos eléctricos en desplazamientos angulares, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados dependiendo de sus entradas de control.

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos CNC en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos

motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de 1.8°. El principio de funcionamiento está basado en un estator construido por varios bobinados en un material ferromagnético y un rotor que puede girar libremente en el estator. Estos diferentes bobinados son alimentados uno a continuación del otro y causan un determinado desplazamiento angular que se denomina “paso angular” y es la principal característica del motor.

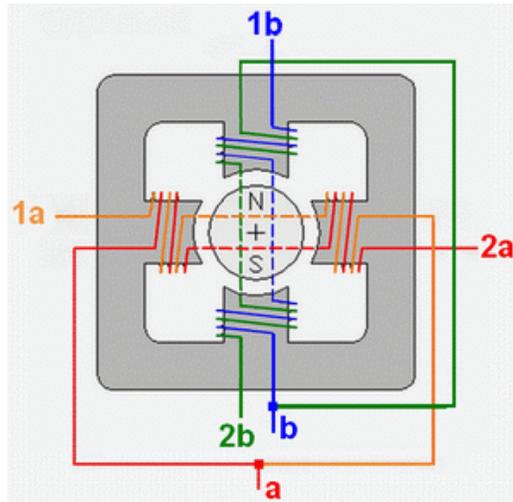


**Figura 2.9 Motor PAP (paso a paso)**

**Fuente:**<https://controlautomaticoeducacion.com/wpcontent/uploads/2015/02/Paso-a-Paso>

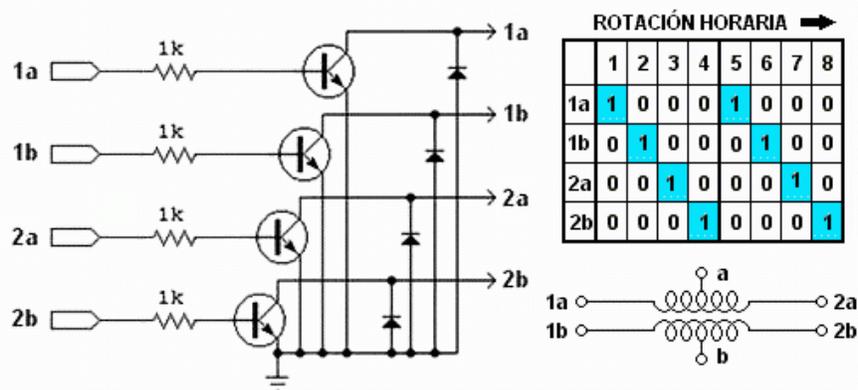
### **2.5.1 MOTOR P.A.P. UNIPOLARES**

Estos motores cuentan con dos bobinas con un punto medio de los cuales salen los cables hacia el exterior, estos cables se conectan a la fuente mientras que los extremos de las bobinas son aterrizados para cerrar el circuito, dependiendo del tipo de motor, las líneas comunes pueden ser independientes o no. Esta configuración puede ser vista de las siguientes formas: que el motor tiene dos bobinas pequeñas conectadas a un punto en común, o que una bobina está dividida en dos por medio de un punto común. Ahora, y dependiendo de qué media bobina se energice, se puede tener un polo norte o un polo sur, si se energiza la otra mitad, se obtiene un polo opuesto al otro.



**Figura 2.10 Motor PAP unipolar**  
**Fuente:** [http://robots-argentina.com.ar/MotorPP\\_basico.htm](http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm)

En el esquema más común de conexión se unen los "puntos medios" de ambos ejes (a y b en el dibujo) y se les conecta al positivo de la alimentación del motor. El circuito de control de potencia, entonces, se limita a poner a masa los bobinados de manera secuencial.



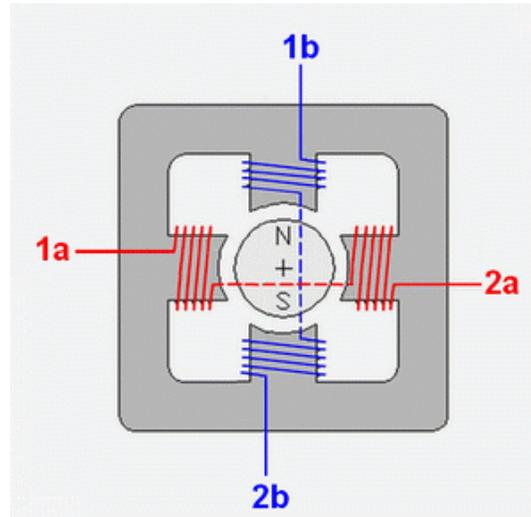
**Figura 2.11 Secuencia de giro de Motor PAP unipolar**  
**Fuente:** [http://robots-argentina.com.ar/MotorPP\\_basico.htm](http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm)

### 2.5.2 MOTOR P.A.P. BIPOLARES

Los motores bipolares requieren circuitos de control y de potencia más complejos. Pero en la actualidad esto no es problema, ya que estos circuitos se suelen implementar en un integrado, que soluciona esta complejidad en un solo

componente. Como mucho se deben agregar algunos componentes de potencia, como transistores y diodos para las contracorrientes, aunque esto no es necesario en motores pequeños y medianos.

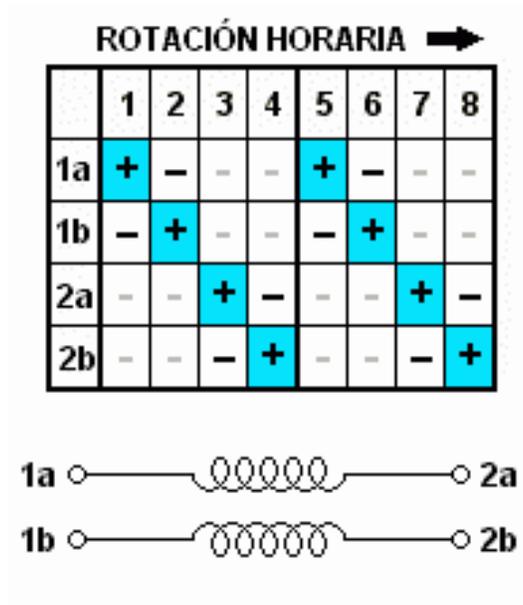
Como no tienen el doble bobinado de los unipolares, los motores bipolares ofrecen una mejor relación entre torque y tamaño/peso.



**Figura 2.12 Motor PAP bipolar**

**Fuente:** [http://robots-argentina.com.ar/MotorPP\\_basico.htm](http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm)

La configuración de los motores bipolares requiere que las bobinas reciban corriente en uno y otro sentido, y no solamente un encendido-apagado como en los unipolares. Esto hace necesario el uso de un Puente H (un circuito compuesto por al menos seis transistores) sobre cada uno de los bobinados.



**Figura 2.13 Secuencia de giro de Motor PAP bipolar**  
Fuente: [http://robots-argentina.com.ar/MotorPP\\_basico.htm](http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm)

### 2.5.3 DRIVERS PARA MOTORES P.A.P.

Son controladores que se utilizan para simplificar el uso de los motores paso a paso. Los Stepper drivers de impresora 3d permiten a la placa base, utilizar los altos voltajes e intensidades necesarias para utilizar los motores paso a paso sin dañar la electrónica de la impresora y de una manera bastante sencilla.

Los Stepper drivers tienen un chip central que traduce la información entrante que le llega de la electrónica en una serie de movimientos para cada eje. Los motores paso a paso tienen un número determinado de pasos para completar una rotación. En el caso de los Nema17 suelen tener alrededor de 200 pasos o, lo que es lo mismo 1'8 grados por cada paso. Pero, aunque es lo habitual, últimamente se están poniendo de moda los motores con 400 pasos, o 0'9 grados por paso, ya que con ellos puedes tener más precisión en los movimientos, y se consigue aumentar muchísimo la precisión de cada motor. Este movimiento se consigue magnetizando una de las bobinas, haciendo que el eje rote. Magnetizando distintas bobinas en tiempos intercalados, conseguimos hacer que el motor de vueltas.

Los drivers más utilizados son los siguientes:

**A4988:** Diseñados y fabricados originalmente por la empresa estadounidense Pololu, su uso es muy extendido en la impresión 3D. Su principal ventaja es su bajo coste, y su correcto funcionamiento en condiciones de impresión 3D. Sus principales desventajas son: el ruido, más alto que otros controladores, y que la intensidad de trabajo es relativamente baja, por lo que hay opciones con mejores rendimientos. Tienen una resolución de hasta 1/16 micro pasos, por lo que son muy adecuados para electrónica de 8 bits.

**DRV8825:** Quizás la mejor opción calidad precio, con un nivel sonoro muy inferior al A4988. Los DRV8825 además son más eficientes térmicamente, y siguen siendo muy económicos. En el lado negativo, en circunstancias muy concretas pueden añadir algo de "ruido" en ciertas impresiones 3D, en la gran mayoría de circunstancias esto es inapreciable, pero en 2018 se creó cierto revuelo al respecto, hoy siguen siendo una opción aceptable para impresoras con precio económico.

Tienen una resolución de hasta 1/32 micro pasos, sigue siendo adecuado para impresoras 3D cartesianas con electrónica de 8 bits, para otros movimientos y/o velocidades muy rápidas puede ser conveniente reducir la resolución.

**LV8729:** Controladores más avanzados que los anteriores, pueden manejar intensidades de corrientes considerablemente altas, y alcanzar resoluciones de hasta 1/128 micro pasos. Son muy eficientes, y pueden mover los motores con considerable fuerza. Pero para aprovechar todo su potencial es recomendable usar una electrónica de 32 bits, ya que los 8 bits se quedan cortos, en este caso es conveniente configurar a menor resolución.

Para 32 bits podemos usar la resolución de hasta 1/128 micro pasos, en 8 bits es conveniente configurar a 1/32 micro pasos.

**TCM:** Trinamic Motion Control, es un fabricante alemán de sistemas de control de movimiento, como controladores y otros dispositivos. Sus productos están revolucionando el movimiento de las impresoras 3D, debido a sus revolucionarias soluciones, destacan características nunca antes vistas en controladores para impresoras 3D, como:

- Detección de pérdidas de pasos
- Modo de funcionamiento silencioso

- Diferentes protocolos de funcionamiento como Transmisor-Receptor Asíncrono Universal (UART) o protocolo de árbol de expansión (STP)
- Interpolación de micro pasos.

Los más populares son los TMC2130, ya que incorporan todas estas funciones con excelente relación calidad precio, pero existen otras versiones y están apareciendo nuevos modelos que dejan obsoletos a los anteriores con relativa rapidez.

## 2.6 EXTRUSION DE FILAMENTO

La extrusión es un proceso usado para crear objetos con un perfil de sección transversal fija en donde un material es empujado o jalado a través de un dado con la sección transversal deseada. Las dos ventajas principales de este proceso sobre otros procesos de fabricación son su capacidad de crear secciones transversales muy complejas y trabajar con materiales frágiles ya que el material sólo se somete a esfuerzos de compresión y de fricción. También forma partes con un excelente acabado superficial.

El proceso de extrusión es un método eficiente de fabricación de perfiles y productos semiacabados, también conocidas como formas, con grandes espesores de pared y dimensiones. La cartera de productos semiacabados comprende barras, tubos, placas en una variedad de dimensiones y colores.



**Figura 2.14 Esquema de Extrusión**  
Fuente: <https://todoenpolimeros.com/procesos-de-extrusion/>

A la hora de imprimir en 3d, se debe tener en cuenta todas las ventajas y desventajas que ofrecen los materiales que se usan, sin olvidar las técnicas de impresión que hay que aplicar a cada material. Además de los tipos más comunes, como son el filamento ácido poliláctico (PLA) y acrilonitrilo butadieno estireno (ABS).

### **2.6.1 PLA (Poliácido Láctico)**

Este material biodegradable, es uno de los más utilizados en la impresión 3d.

#### **Ventajas**

- Facilidad de impresión.
- No necesita cama caliente con alta temperatura.
- Muy estable.
- Velocidad de impresión “más rápida” que otros materiales.
- Procede de materia orgánica (maíz, trigo, etc.), por lo que ofrece capacidad de biodegradación bajo condiciones adecuadas, es un “material ecológico”.
- Se obtiene de recursos renovables.
- Material reciclable.

Estas ventajas permiten que este material sea utilizado para aquellos que se inician en el mundo 3D.

#### **Desventajas**

- Poca resistencia térmica (se vuelve endeble a partir de los 60 °C).
- Material más frágil que otros materiales (poca resistencia mecánica).
- Sensible a la humedad (conservarlo al vacío o lejos de zonas húmedas).

### **2.6.2 ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)**

Este material plástico procedente del petróleo, es muy utilizado en la industria (ingeniería, automoción, etc.).

#### **Ventajas**

- Muy estable a altas temperaturas (Apróx. 80 °C – 90 °C).

- Conserva la tenacidad a temperaturas extremas (-40 °C hasta 90 °C). La mayoría de los plásticos no tienen esta capacidad.
- Alta capacidad de mecanizado o sea se puede lijar, perforar, pulir, etc.
- Resistente a ataques químicos.
- Muy resistente a los impactos.

### **Desventajas**

- Es necesaria cierta experiencia en impresión 3d.
- Dificultad de impresión media “dependiendo del objeto que se trate”.
- Contracción entre capas más rápida que el PLA, pudiendo resquebrajarse la pieza si las condiciones del entorno son demasiadas frías.
- Puede producirse el efecto Warping (cuando la primera capa de una pieza se deforma y se despega de la superficie de impresión) fácilmente.

### **2.6.3 ADHERENCIA DEL FILAMENTO**

La unión de capas entre capas es la capacidad de una capa de plástico extruido fundido de adherirse con otra capa de plástico. El fenómeno que provoca que estas capas se separen durante o después de la impresión es la denominada delaminación.

La delaminación en impresión 3D es un problema que se puede producir por diversos motivos, y en ocasiones se produce por la suma de varios de ellos:

Entre las causas que la pueden provocar podemos identificar:

**Tensión interna en el modelo**, debido a geometrías complejas que provocan estas tensiones.

**Dilatación térmica del material** usado para imprimir.

**Alta humedad** en el material durante la impresión.

**Reducción extrema de la temperatura de capa**, por corrientes de aire o ventiladores.

**Parámetros de impresión**, flujo, temperatura, velocidad o retracciones.

En casos severos, las capas pueden incluso desprenderse durante la impresión. Esto ocurre con mayor frecuencia cuando una capa se enfría más rápido que la capa superior, haciendo que la capa inferior se contraiga a una velocidad diferente a la capa superior. La contracción de la capa puede causar deformación, del mismo modo que puede separar la capa fría de la capa superior.



**Figura 2.15 Efectos de la delaminación**

**Fuente:** <https://www.impresoras3d.com/la-adhesion-entre-capas-problemas-soluciones-impresion-3d/>

## **2.7 MARLIN**

Es un firmware de código abierto para RepRap y otras impresoras 3D de modelado por deposición fundida (MDF) basadas en la plataforma Arduino. El firmware se ejecuta en la placa de control de la impresora 3D y administra todas las actividades en tiempo real de la máquina, incluido el movimiento a través de los controladores

paso a paso, calentadores, sensores, luces, nivelación de cama, pantallas LCD y botones. Marlin es compatible con muchas placas diferentes y muchos diseños de impresoras 3D, incluidas impresoras Cartesianas, impresoras Delta, impresoras SCARA y otros diseños menos convencionales

El firmware es desarrollado por una comunidad de colaboradores, con Scott Laheine (también conocido como Thinkyhead) como desarrollador principal. Marlin 1.1.9 tiene como características principales dar soporte a microcontroladores de 8-bits, aunque la tendencia es migrar a microcontroladores de 32-bits, la configuración de driver individual por cada eje, curvas de aceleración para mejorar la calidad de la impresión o la recuperación de la impresión tras un corte de corriente. Marlin también se utiliza para muchos otros tipos de máquinas, incluidas las impresoras 3D SLA y SLS, fresadoras CNC o los robots para pintar huevos, entre otros.

Usa una licencia GPL la cual requiere que las organizaciones y los individuos compartan su código fuente al modificarlo o expandirlo, algunos usuarios no han cumplido con la licencia, lo que ha llevado a los distribuidores a retirar sus productos.

## **2.8 HERRAMIENTAS CAD EN IMPRESORAS 3D**

### **2.8.1 SOFTWARE GENERICO ULTIMAKER CURA**

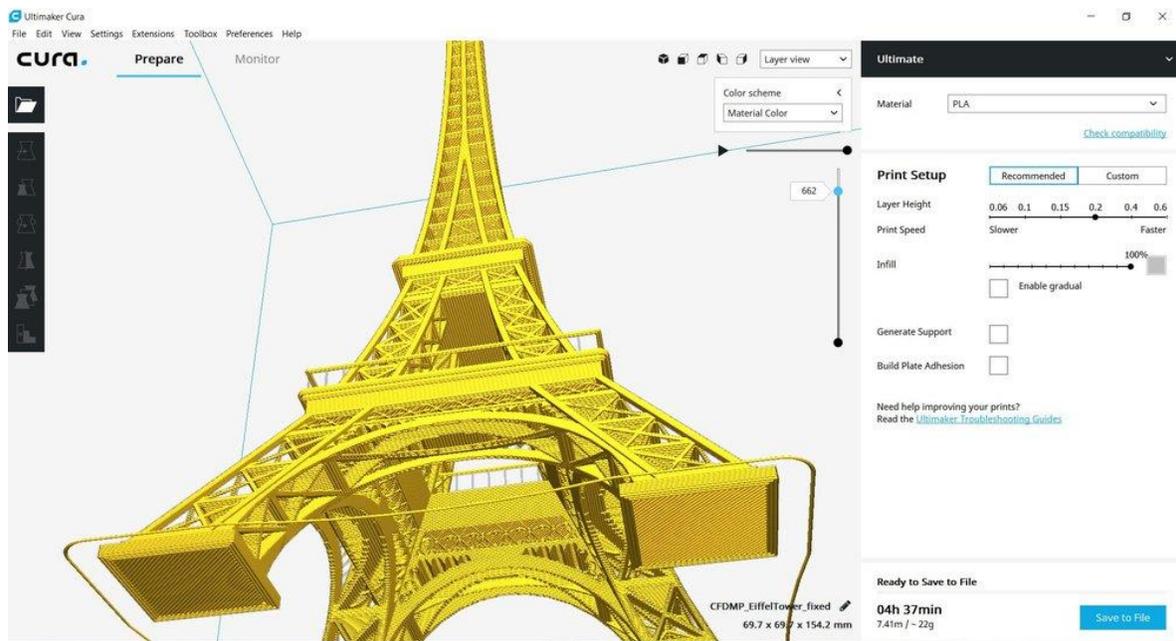
Es el programa de corte de referencia para todas las impresoras, pero también se puede usar con la mayoría de impresoras 3D. Es de código abierto y se le pueden añadir complementos.

Este programa resulta muy fácil de usar y permite administrar los ajustes de impresión 3D más importantes por su sencilla interfaz. Comienza con el modo “Recommended” (recomendado) para entrar rápido en materia. Con este se puede elegir ajustes de calidad de impresión reconfigurados. Cuando se necesite un control más preciso sobre los ajustes, se puede cambiar al modo “Custom” (personalizado”).

También se puedes utilizar Cura como programa de host de impresora 3D para controlar directamente la máquina, pero la impresora 3D deberá estar conectada al ordenador en todo momento.

La perfecta integración de diseño asistido por computadora (CAD) con productos como SolidWorks y Siemens NX demuestra que el programa de corte 3D vale la pena para aplicaciones profesionales, pero también resulta simple y accesible para la gran mayoría de usuarios no profesionales.

También puede encontrar muchos recursos educativos sobre cómo utilizar mejor las funciones más recientes de Cura, junto con un foro de la comunidad, en el sitio web de Ultimaker.



**Figura 2.16 Interfaz de trabajo CURA**

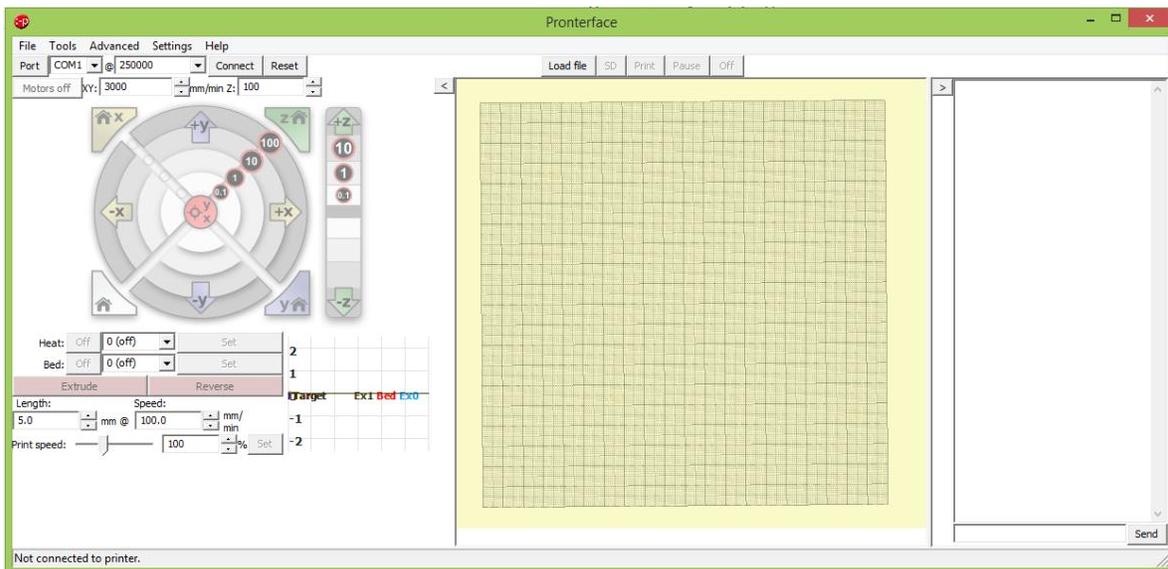
**Fuente:** <https://all3dp.com/es/1/programas-software-impresora-3d-printer-software-3d-gratis/#cura>

## 2.8.2 HERRAMIENTAS OPENSORUSE PRONTERFACE

Pronterface es un software desarrollado exclusivamente para el manejo de máquinas cartesianas, ya sean para imprimir en 3D o para tallar con una fresadora CNC. En nuestro caso no vamos a ver todas las funciones que nos brinda Pronterface, ya que se puede desde lanzar una impresión del mismo modo que lo hace Cura o Slicer, además de poder configurar, calibrar y testear todos los componentes que la incluye una máquina de este tipo.

No hace falta instalar nada, únicamente se ejecuta el icono de Pronterface y listo, se utiliza este programa para calibrar de manera muy minuciosa el control de temperatura que ejercen los componentes electrónicos sobre la impresión. Esta temperatura se ve afectada tanto por el entorno como por la pieza electrónica en sí. Ya que realmente ninguna pieza sale de fábrica 100% idéntica a ninguna otra (en cuanto a composición de partes físicas como el bloque de hierro caliente o la propia conductividad del sensor) esta configuración se recomienda hacer siempre antes de montar o lanzar la primera impresión, de lo contrario podría dar fallos subiendo o bajando la temperatura en medio del proceso de impresión.

Por el momento, como este proceso se tiene que llevar a cabo una vez montada la impresora, únicamente se va a dejar configurado el parámetro necesario para conectar Arduino con Pronterface, y más adelante se acabara de calibrar la temperatura tanto del HotEnd como de la cama caliente (HotBed).



**Figura 2.17 Interfaz de trabajo PRONTERFACE**

**Fuente: <https://electronica4all.wordpress.com/conceptos-y-guia-paso-a-paso-con-pronterface/>**

## 2.9 FACTORES DE CALIDAD

La calidad en el mundo del hardware normalmente está bajo las normas de calidad ISO 9001. La norma es internacional, es una norma que se concentra en la

satisfacción del cliente y en la capacidad de proveer productos y servicios que cumplan con las exigencias internas y externas de la organización.

La norma ISO 9001 es la base de la gestión de calidad. El objetivo de la ISO es llegar a un consenso con respecto a soluciones que cumplan con las exigencias comerciales y sociales - tanto para los clientes como para los usuarios. Estas normas se cumplen de forma voluntaria ya que la ISO, siendo una entidad no gubernamental, no cuenta con la autoridad para exigir su cumplimiento.

Para la evaluación de calidad nos regiremos al punto 9 de la norma ISO 9001 el cual se centra en la evaluación de desempeño.

### **2.9.1 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO**

**Generalidades.** La organización debe determinar:

- Que necesita seguimiento y medición.
- Medición, análisis y evaluación necesarios para resultados válidos.
- Cuando se debe llevar a cabo el seguimiento y la medición.
- Cuando se deben analizar y evaluar los resultados del seguimiento y la medición.

La organización debe evaluar el desempeño y la eficacia del sistema de gestión de la calidad la organización debe conservar la información documentada apropiada de los resultados.

**Satisfacción del cliente.** La organización debe realizar el seguimiento de las percepciones de los clientes del grado en que se cumplen sus necesidades y expectativas. La organización debe determinar los métodos para obtener, realizar el seguimiento y revisar esta información.

**Análisis y evaluación.** La organización debe analizar y evaluar los datos y la información apropiados que surgen por el seguimiento y la medición.

Los resultados del análisis deben utilizarse para evaluar.

- a) la conformidad de los productos y servicios.
- b) el grado de satisfacción del cliente.
- c) el desempeño y la eficacia del sistema de gestión de la calidad.
- d) si lo planificado se ha implementado de forma eficaz.

- e) la eficacia de las acciones tomadas para abordar los riesgos y oportunidades.
- f) el desempeño de los proveedores externos.
- g) la necesidad de mejoras en el sistema de gestión de la calidad.

## **2.10 COSTO DE PRODUCCIÓN**

Los costos de producción están relacionados con la fabricación o adquisición de bienes y servicios que generan ingresos directamente para una empresa. Se compone de costos directos y costos indirectos.

Para las empresas o negocios, conocer su costo de producción es un paso vital para crear y mantener un negocio rentable. Al conocer el costo de cada paso en la producción, la administración puede optimizar los procesos de producción, los cronogramas de entrega y las actividades comerciales generales en un esfuerzo por hacer mejores productos de manera más eficiente que en el pasado.

El costo de producción (o costo de operación) es el gasto necesario para fabricar un bien o para generar un servicio. De esta forma el costo de producción está relacionado con los gastos necesarios, como ser materia prima, aprovisionamiento, la mano de obra directa e indirecta y otros costes.

### **2.10.1 ELEMENTOS DE COSTO DE PRODUCCIÓN**

Existen 3 elementos que son clave para poder evaluar el costo de producción.

**Materia prima y aprovisionamientos.** La primera son aquellos materiales que se transforman en el proceso productivo. La segunda son los que no se transforman, pero son necesarios. Es un base a la materia prima permite la creación de un producto final, es el eslabón de una cadena de producción en sus distintas fases de proceso.

**Mano de obra.** En este caso se incluye solo la mano de obra directa, es decir, aquella involucrada en el proceso productivo. La Mano de obra es el esfuerzo físico y mental que emplea para fabricar.

La mano de obra directa está relacionada de cerca con el proceso de construcción y terminado.

Para calcularla, multiplica la tarifa total por hora de trabajo directo por el número de horas de trabajo directo necesarias para completar una unidad.

Tan simple como si la tarifa total por hora de mano de obra directa en Bolivia estaría estimada en 75 bs por hora. Si se necesitan cinco horas para completar una unidad. El costo asignable por mano de obra directa es de 75 bs multiplicado por cinco horas, resultando 375 bs por esa cantidad de horas de trabajo.

Dadas estas condiciones, te podemos resumir diciendo que el cálculo del costo por unidad es:

$(\text{Total de costos fijos} + \text{Total de costos variables}) \div \text{Total de unidades producidas}$

El costo por unidad disminuye a medida que aumenta el número de unidades producidas. Principalmente porque los costos fijos totales se repartirán entre un número mayor de unidades.

La preciada disminución se producirá, siempre que no ocurra un cambio de nivel en el costo fijo o inversión fija. Como consecuencia el costo por unidad es variable.

**Costes indirectos de producción.** Aquí se debe incluir la mano de obra indirecta que es la que, aun no estando implicada en el proceso, es necesaria. La mano de obra indirecta es consumida en las áreas administrativas, entonces no participan en los procesos.

Entonces se dice que el cálculo de producción no es más que la sumatoria de gastos realizados en materia prima, mano de obra y costos indirectos de producción.

## CAPITULO III MARCO APLICATIVO

### 3.1 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE HARDWARE LIBRE

#### 3.1.1 PROCESO DE CONCEPTUALIZACIÓN

**Requisitos funcionales.** Este proyecto tiene como objetivo el diseño y construcción de una Impresora 3D auto replicable (capaz de imprimir piezas de las que está construida) para el prototipado de piezas plásticas mediante el uso de Software Libre. Las funcionalidades indican el trabajo que debe realizar la impresora 3D:

- Transmitir movimiento lineal en los ejes cartesianos.
- Transmitir potencia a un mecanismo que permita mover linealmente el filamento sólido de polímero hacia el fundidor de la máquina.
- Calentar el polímero en el fundidor hasta llevarlo a una temperatura de fundición predeterminada para el material seleccionado.
- Calentar la base de deposición hasta una temperatura adecuada.
- Extruir el filamento como el ABS o PLA.
- Posicionamiento automático.
- Leer memorias externas SD.
- Calibración de manera óptima en los ejes X y Z

**Requerimientos mecánicos.** Para el proyecto los requerimientos mecánicos son indispensables ya que hacen una referencia del tipo de materiales a utilizar o que se pretende utilizar:

1. Varrilla lisa M8.
2. Varilla roscada M8.
3. Tornillos.
4. Juego de piezas para montaje de la impresora.

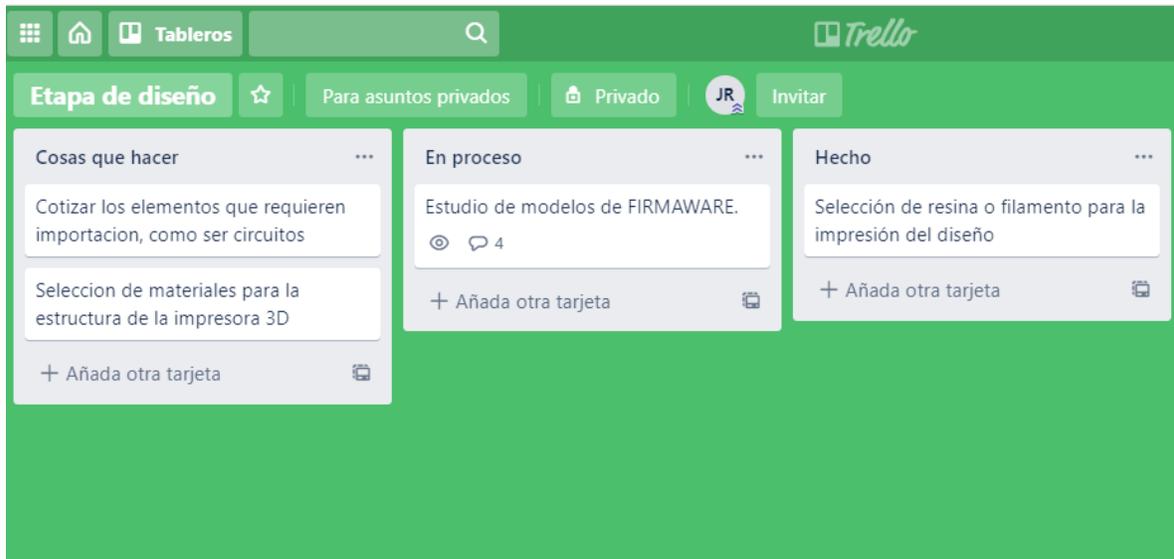
#### 3.1.2 PROCESO DE ADMINISTRACIÓN

En los procesos de administración se plantea es la metodología KANBAN el cual nos permite un flexible diseño en tableros de control.

Para el proceso de administración se presenta tres etapas que son representadas por la herramienta web TRELLO, el cual nos permite utilizar el formato KANBAN.

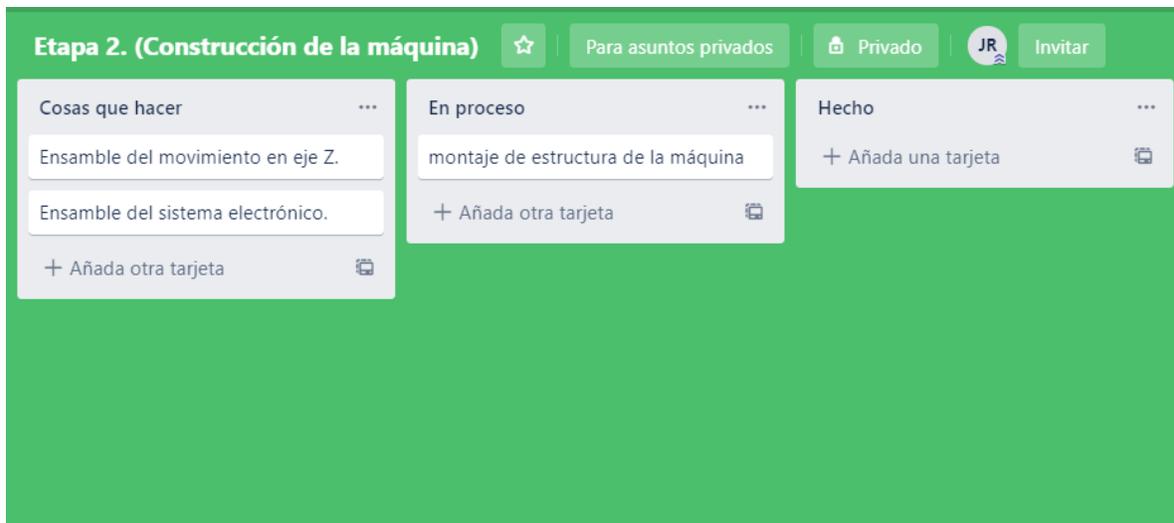
A continuación, se presentará el cronograma de actividades que se planifico al principio del proyecto con cada etapa y sus elementos.

### Fase 1 Planificación del diseño.



**Figura 3.1 Programación de tareas en la etapa de diseño**  
Fuente: Elaboración propia

### Fase 2 Construcción



**Figura 3.2 Programación de tareas en la etapa de construcción**  
Fuente: Elaboración propia

### Etapa 3. (Calibración)



**Figura 3.3 Programación de tareas en la etapa de calibración**  
Fuente: Elaboración propia

### Etapa 4. (Pruebas de impresión)



**Figura 3.4 Programación de tareas en la etapa de pruebas de impresión**  
Fuente: Elaboración propia

## 3.1.3 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

### 3.1.3.1 Aplicación de la metodología Bottom – Up

**Componentes.** Las piezas impresas son aquellas que sostienen y unen los distintos componentes de la impresora y que se pueden imprimir con otra impresora 3D. Los componentes no imprimibles son varillas roscadas, lisas, rodamientos blindados, arandelas, tuercas, componentes electrónicos, sensores, correas entre otros.

**Cuadro 3.1 Estructura metálica**

<b>NOMBRE</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
Marco	1	Marco estructural para eje Z y sujeción de la electrónica.
Perfil base motor Y	1	Perfil de la base que sujeta el motor del eje Y.
Perfil base polea Y	1	Perfil de la base que sujeta la polea del eje Y.
Perfil cama rodamientos	1	Perfil de la cama caliente que sujeta los rodamientos.
Perfil cama caliente	1	Perfil que sujeta la cama caliente.
Mounting plate	1	Perfil que se coloca sobre el level extruder.
Diagonales eje Z	2	Tensores que sujetan el marco del eje Z con la base.

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 3.2 Piezas impresas**

<b>NOMBRE</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
Bigg mearmod_fixed	1	Engranaje grande del extrusor.
Code_Clip	2	Clips para electrónica.
Code_Diagonal	4	Soportes para tensores diagonales.
Code_Level Extruder	1	Pieza de sujeción del bloque de extrusión.
Code-Pulley_623	2	Poleas para el eje X e Y.
Code_X carriage_A	1	Pieza que sujeta el bloque extrusor a través del level extruder.
Code_X carriage_B	1	Fija la correa del eje X en X carriage A.
Code_Xend_idler_B_623	1	Tensor eje X.

Code_X end_Motor	1	Soporte motor eje X.
Code_Y belt_holder_A	1	Pieza para sujetar la correa del eje Y.
Code_Y belt_holder_B	1	Pieza para sujeta la correa del eje Y.
Code_Y corner	4	Tensores de la base.
Code_Y idler_623	1	Pieza de sujeción de la polea del eje Y.
Code_Y motor	1	Pieza de sujeción del motor eje Y.
Code_Z bottom	2	Pieza de sujeción de los dos motores del eje Z.
Code_Z top	2	Pieza de sujeción de las varillas lisas del eje Z.
Extrusor_Gregs_Wade_Kueling_Code	1	Pieza de anclaje del motor del extrusor.
Finales de carrera	3	Pieza de sujeción de los finales de carrera.
Idler Jonas	1	Pieza del extrusor.
Smallgearmod_fixed	1	Engranaje pequeño del bloque extrusor.
Ventilador_extrusor	1	Anclaje para el ventilador del extrusor.

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 3.3 Varilla**

NOMBRE	UNIDADES	OBSERVACIONES
M5x300	2	Varillas roscadas para eje Z.
M8x380	4	Varillas lisas para eje X y Z.
M10x390	2	Varillas roscadas para eje Y.
M8x380	2	Varillas lisas para eje Y.

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 3.4 Motores**

<b>NOMBRE</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
Nema 17	1	Para eje X, longitud del cable 490mm.
Nema 17	1	Para eje Y, longitud del cable 400mm.
Nema 17	1	Para eje Z (izq), longitud del cable 350mm.
Nema 17	1	Para eje Z (der), longitud del cable 650mm.
Nema 17	1	Para el extrusor, longitud del cable 680mm.

**Fuente: Elaboración propia**

Para preparar los motores se necesitó estaño, cautín, termo retráctil, mechero y cinco cables de 4 pines.

**Cuadro 3.5 Cama caliente y Finales de carrera**

<b>NOMBRE</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
Cama caliente	1	-
Cable 20A 50cm	2	Para soldar a los PAD de la cama caliente.
Termistor	1	Sensor que mide la temperatura de la cama caliente.
Cable 2 pines de 52cm	1	Cable de conexión del termistor con la electrónica.
Cinta Kapton	1	Cinta para aislar las patas del termistor y fijarlo a la cama caliente.
Final de carrera	1	Cable 3 pines eje Y trenzado. Longitud del cable 30cm.
Final de carrera	1	Cable 3 pines eje X. Longitud del cable 38cm.

Final de carrera	1	Cable 3 pines eje Z trenzado. Longitud del cable 26cm.
------------------	---	--

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 3.6 Varios**

NOMBRE	UNIDADES	OBSERVACIONES
Arduino Mega y RAMPS	1	Kit de electrónica y shield RAMPS.
Z-coupling	2	Husillos para conectar el eje Z con el eje del motor.
Rodamientos lineales	10	Base de cama caliente y eje X.
Rodamientos 608ZZ	3	Para Kueling e idler-Jonas.
Bridas	4	Sujeción de rodamientos a base caliente.
Muelles espirales	4	Nivelación de la Cama Caliente
Espejo para cama caliente	1	Espejo SÖRLI 20x20 IKEA
Pinzas	4	Para sujetar el espejo a la cama caliente.
Fuente de Alimentación	1	Fuente ATX de 500w
Correa 820mm	1	Correa eje X.
Correa 650mm	1	Correa eje Y.

Fuente: Elaboración propia

### Diagrama de conexión

El esquema del RepRap Arduino Mega Pololu Shield (RAMPS) es el siguiente:

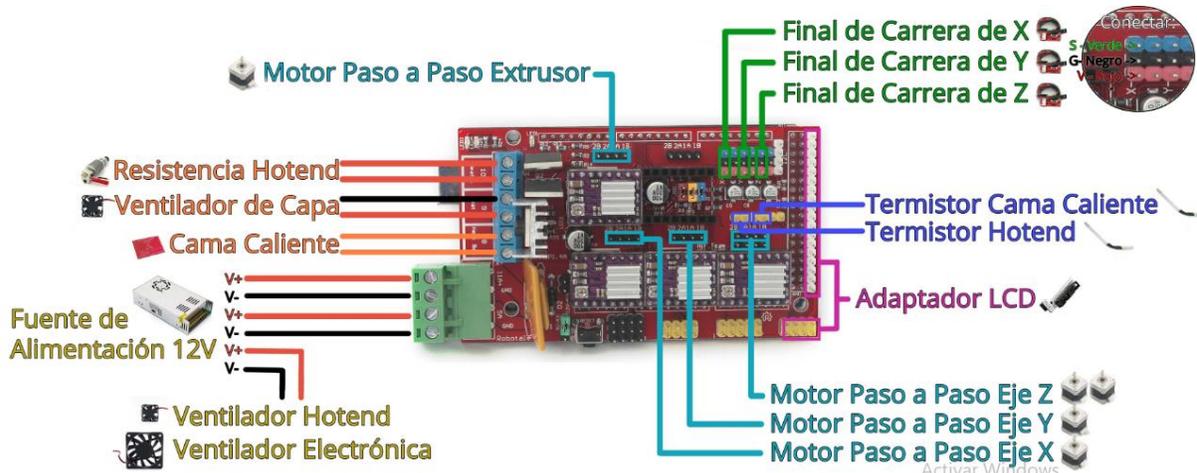
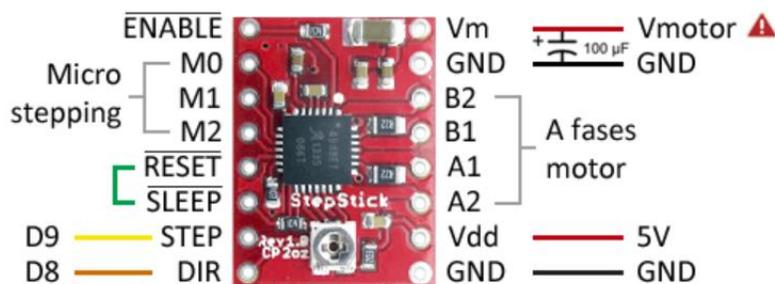


Figura 3.5 RAMPS 1.4

Fuente:

<https://www.hta3d.com/image/catalog/Impresoras/Esquemas/RAMPS-1.4-ES--sinsensor-alt.jpg>

En el caso del A4988 el esquema es el siguiente:



⚠ Vmotor entre 8 y 35V. Al usar alimentación externa SIEMPRE poner con GND común.

Figura 3.6 Driver A4988

Fuente: <https://www.luisllamas.es/motores-paso-paso-arduino-driver-a4988-drv8825/>

**MONTAJE.** Una vez avistada la diagramación, me dispongo a explicar al lector un poco de mi experiencia al montar la impresora.

Primero de todo, empecé por dos placas, un Arduino y una Ramps 1.4, la placa Arduino es la que tiene el código de programación donde reside toda la información de la impresora, que previamente se cargó. La Ramps 1.4 se colocó encima del Arduino por conexión de pines, al igual que los Drivers sobre la Ramps 1.4, como se observa en la figura 3.2, llamados Pololus, además

tienen distintas funciones, más adelante explicare con detalle sobre estos Drivers y la Ramps. Los pasos del motor están determinados por un archivo de tipo Gcode que se creó con el programa Ultimaker Cura. Los Pololus son los encargados de convertir la información del archivo Gcode en pasos para los motores, con el fin de conseguir la pieza realizada. Como el extrusor y las placas de control Arduino o Ramps se calientan a causa de impresiones largas, será conveniente disponer de disipadores y ventiladores, de esta forma me asegure de no tener problemas con el sobrecalentamiento.

### **Placa de control.**

Las placas para controlar la impresora 3D son la combinación de Arduino Mega 2560 y Ramps 1.4.

La diferencia en cuanto a función entre la placa Arduino Mega y la Ramps 1.4 es:

- La placa de Arduino Mega es un microcontrolador basado en ATmega1280, utilizado para diferentes usos gracias a su versatilidad y código abierto. Simplificándolo para mi caso, es el cerebro de la impresora, es la que alberga el firmware y la que hace de mi máquina una Impresora 3D.
- La placa RAMPS 1.4 es un escudo de conexiones, hizo posible que conecte cada componente y que reciba su función desde la placa Mega.

Todos los componentes se conectaron a la RAMPS 1.4, lo hice cuidadosamente para no cometer ningún error que pueda acabar dañando las placas, ya que son elementos sensibles.

### **La base caliente.**

Use el modelo MK2B que es un circuito integrado usado como cama caliente, fue de mucha ayuda para el PLA, ya que proporciono una adhesión extra, sus características son:

- Dimensión (mm): 214x214
- Superficie de impresión (mm): 200x200
- Peso (gr): 140
- Voltaje: 12v

- Resistencia: 1-1,2 ohmios
- Temperatura máxima: 140°C

Se encerró la cama en una estructura tipo sándwich, es decir bajo la cama coloque una lámina de madera que es un material aislante y sobre la cama caliente coloque una lámina de vidrio para protegerlo.

La resistencia de la base caliente es de 1 ohmio con una corriente de 8 amperios este dato fue importante para configurar la corriente en el firmware, se soldó cables a las terminales de la base caliente para poder conectarlo a la Ramps, también se incorporó un led indicador de funcionamiento. Los terminales de la cama caliente se conectaron en la bornera D8 de la Ramps.



**Figura 3.6 montaje de la base caliente**  
Fuente: Elaboración propia

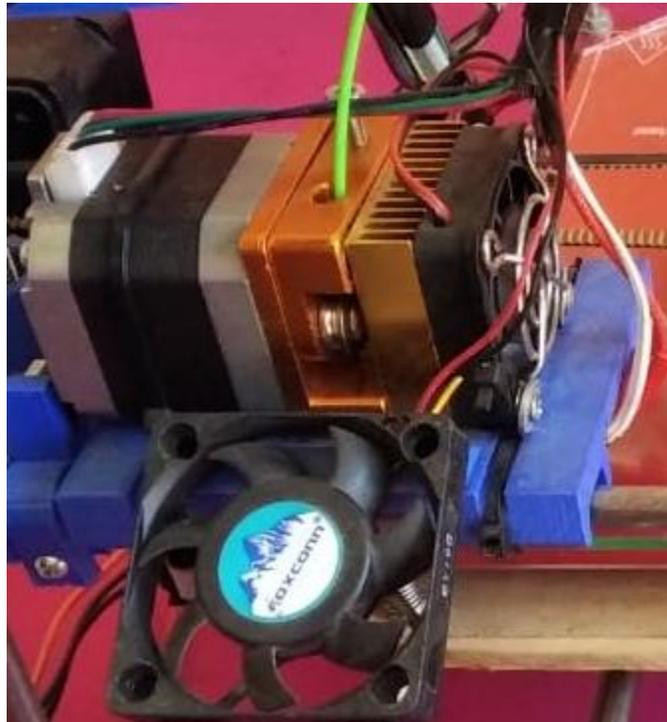
### **El extrusor**

Modelo MK8 es el más óptimo para este prototipo 3d, ya que viene completamente montado, listo para imprimir y con mejores características:

- Boquilla: 0,3mm
- Imprime: ABS/PLA
- Extruye: 24cm<sup>3</sup>/h
- Voltaje del cartucho: 12V / 6mm / 30W
- Resistencia del termistor: 100K Ohm
- Voltaje del ventilador: 12V

- Peso: 425gr.
- Temperatura máxima: 280°C
- Longitud del cableado: 70cm
- Un paso entero equivale a: 1,8 grados

El motor Kysan estuvo incluido y funciono correctamente con los drivers A4988, también se colocó un ventilador extra en paralelo con el que viene para enfriar la pieza en impresión. Se sujeto el extrusor con bridas y tornillos.

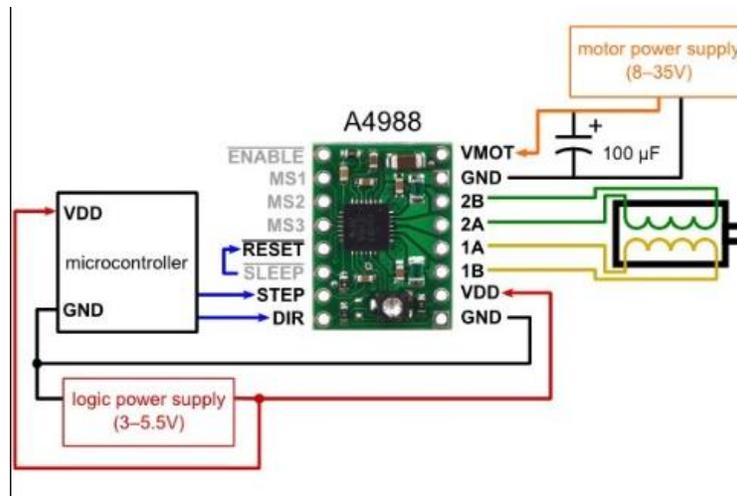


**Figura 3.7 montaje del extrusor en la impresora**  
**Fuente: Elaboración propia**

### **Los Drivers**

La electrónica del prototipo requirió cuatro Drivers, siendo tres para cada uno de los tres ejes de la impresora y otro para el extrusor, en el caso del eje Z existen dos conectores ya que este eje se usó para dos motores.

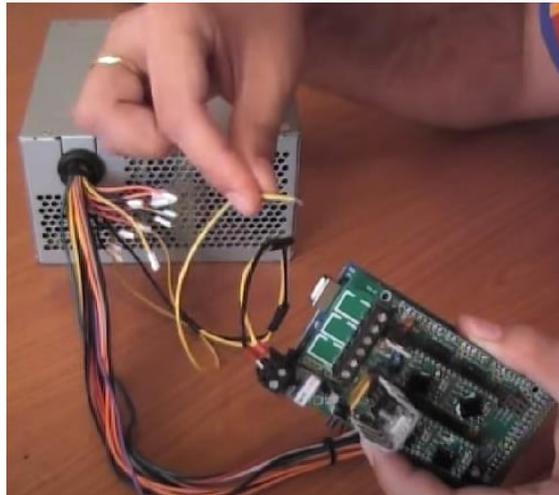
La corriente de los Drivers A4988 para los motores PaP del eje "X" y "Y" se regularon a 210mA, mientras que del eje "Z" se regulo a 420mA porque usa dos motores y para el extrusor se regulo a 420mA por el alto consumo del Hotend.



**Figura 3.8 diagrama de conexión Driver A4988**  
Fuente: <https://www.google.com/search?q=a4988&tbm=isch&client=opera#imgsrc=5czwhnpCm5X1nM>

### La fuente de alimentación

Una de las líneas alimenta a la RAMPS con 8A y la otra con 4A. La línea de 8A proporciona la intensidad a la Cama Caliente, y la línea de 4A a todo lo demás: las funciones lógicas de la electrónica, el hotend, el ventilador de capa, etc. Estas conexiones se aprecian mejor en la figura 3.2

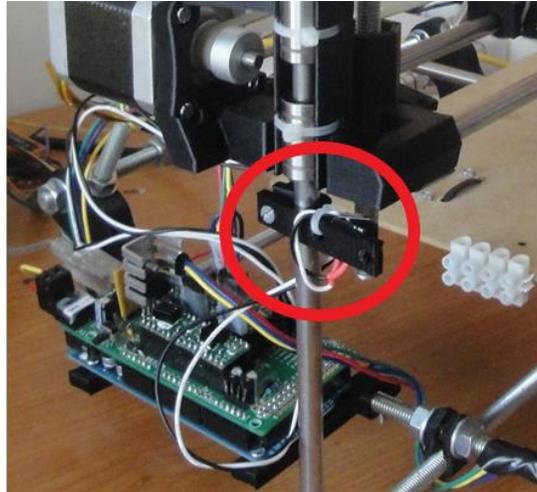


**Figura 3.9 conexión fuente de alimentación**  
Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=cwf2Lswwzow>

## Los sensores

Uní el termistor a la cama caliente con cinta kapton, también conecté el termistor a T1 de la Ramps. Se debe tomar en cuenta que esta parte de la impresora también lo configure en el firmware.

Los finales de carrera o End Stops son sensores electromecánicos que fueron conectados para los ejes "X", "Y" y "Z", como también a la placa Ramps.



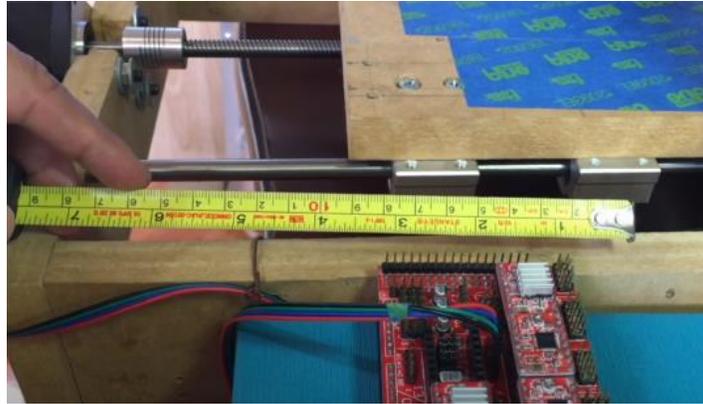
**Figura 3.10 soporte final de carrera eje "Z"**  
**Fuente: Elaboración propia**

## La Calibración

Los ejes del prototipo CNC esta compuesto por diferentes correas dentadas, y aun mas el eje Z utiliza una varilla roscada calibre 8, es por esta varianza que es muy importante el calibrado por separado de todos los ejes para que la impresora de los pasos exactos al momento de imprimir la pieza.

Esto se realiza midiendo la diferencia de pasos cuando se le ordena dar una cantidad especifica de pasos, es decir tendremos la media ideal y la medida real, esto en milímetros. Aplicando una formula de tres simple se llega a obtener la configuración de pasos que debe tener cada eje.

$$\text{Pasos} = (\text{pasos} * \text{medida ideal}) / \text{medida real}$$



**Figura 3.11 Calibración de ejes**  
**Fuente: Elaboración propia**

Con esto queda lista la calibración para poder configurar el Marlin.

### El firmware

La impresora tiene el firmware Marlin 1.1.9, el cual brinda toda la lógica de programación necesaria para que la placa de control realice impresiones 3d, la carga se realizó de la misma forma que un programa simple, conectando a la computadora el Arduino y dando clic a cargar. A continuación, se detalla la configuración del firmware para este prototipo en particular.

**Cuadro 3.7 Comparación configuración Marlin 1.1.9**

Marlin 1.1.9	Marlin 1.1.9 para el prototipo	Obs.
<b>#define BAUDRATE 250000</b>	#define BAUDRATE 115200	
<b>//#define CUSTOM_MACHINE_NAME "3D Printer"</b>	#define CUSTOM_MACHINE_NAME "3D TECHBOL:"	
<b>#define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT _DIA 3.0</b>	#define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT _DIA 1.75	
<b>#define TEMP_SENSOR_0 1</b>	#define TEMP_SENSOR_0 5	'5':"10 OK
<b>#define TEMP_SENSOR_BED 0</b>	#define TEMP_SENSOR_BED 4	'4':"10 k
<b>#define DEFAULT_Kp 22.2</b>	#define DEFAULT_Kp 14.75	

<b>#define DEFAULT_Ki 1.08</b>	<b>#define DEFAULT_Ki 0.61</b>	
<b>#define DEFAULT_Kd 114</b>	<b>#define DEFAULT_Kd 88.80</b>	
<b>#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING false</b>	<b>#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING true</b>	
<b>#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING false</b>	<b>#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING true</b>	
<b>#define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING false</b>	<b>#define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING true</b>	
<b>#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 80, 80, 4000, 500 }</b>	<b>#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 80.6, 80.6, 2600, 95 }</b>	N=(N*Mi)/Mr
<b>#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION { 3000, 3000, 100, 10000 }</b>	<b>#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION { 2000, 2000, 90, 10000 }</b>	
<b>#define DEFAULT_XJERK 10.0</b>	<b>#define DEFAULT_XJERK 8.0</b>	
<b>#define DEFAULT_YJERK 10.0</b>	<b>#define DEFAULT_YJERK 8.0</b>	
<b>#define DEFAULT_ZJERK 0.3</b>	<b>#define DEFAULT_ZJERK 0.5</b>	
<b>#define DEFAULT_EJERK 5.0</b>	<b>#define DEFAULT_EJERK 6.0</b>	
<b>//#define S_CURVE_ACCELERATION</b>	<b>#define S_CURVE_ACCELERATION</b>	No hay notori a diferencia

<code>#define Z_MAX_POS 200</code>	<code>#define Z_MAX_POS 120</code>	
<code>#define LCD_LANGUAGE en</code>	<code>#define LCD_LANGUAGE es</code>	'en': 'Español'
<code>//#define SDSUPPORT</code>	<code>#define SDSUPPORT</code>	
<code>//#define REPRAP_DISCOUNT_FULL_GRAPHIC_SMART_CONTROLLER</code>	<code>#define REPRAP_DISCOUNT_FULL_GRAPHIC_SMART_CONTROLLER</code>	El modelo del LCD lo permite
ninguno	<code>#include &lt;U8glib.h&gt;</code>	Descargar e importar la librería
<code>#define THERMAL_PROTECTION_PERIOD 40</code>	<code>#define THERMAL_PROTECTION_PERIOD 70</code>	segundos
<code>#define THERMAL_PROTECTION_HYSTeresis 4</code>	<code>#define THERMAL_PROTECTION_HYSTeresis 10</code>	Grados Celsius

Fuente: Elaboración propia

### 3.2 COSTOS DE PRODUCCION

Para la estimación de costo de materia prima se evaluará el costo unitario de cada producto adquirido, ya que estos materiales para este proyecto son la materia prima.

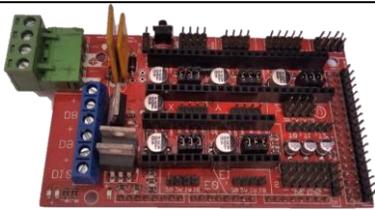
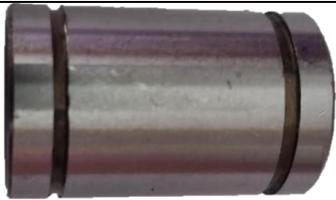
#### 3.3.1 EL COSTO DE MATERIA PRIMA

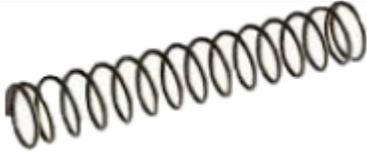
Se basa en la suma de todos los componentes adquiridos.

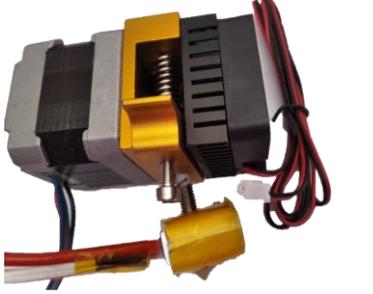
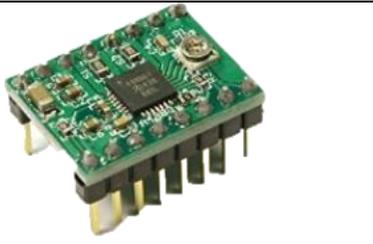
El detalle de productos y costo se refleja en la siguiente tabla.

**Cuadro 3.8 Costo de materia prima**

UNIT	IMAGEN	DETALLE PRODUCTO	PRECIO UNITARIO	TOTAL BS
6		Varilla roscada M8 1 metro de largo	12	72
3		Varilla lisa para el eje M8 1 metro de largo	90	270
5		Motor nema 17 - 1 eje X - 1 eje Y, - 2 eje Z - 1 E0	90	450
1		Cama caliente - MK2B - 12 v	80	80
5		Cable RGB - 4 hilos - 20 Amp - 1 metro	8	40
1		Termistor 10K Para MK2B	3	3

1		Cable 2 pines de 52cm	1	1
1		Cinta Kapton - Aislante térmico - 5 cm ancho	56	56
3		Final de carrera para los ejes "X", "Y" y "Z"	5	15
1		Arduino mega	95	95
1		RAMP 1.4	65	65
12		Rodamientos lineales	12	144

3		Rodamientos 608zz	5	15
4		Bridas de sujeción	1	4
4		Muelles espirales	8	40
1		Espejo para cama caliente	20	20
4		Pinzas para sujetar el espejo con la cama caliente	2	8
1		Fuente de alimentación ATX 500w	120	120

2		Correa dentada para el eje X T22 por metro	16	32
1		Modulo LCD para RAMPS 1.4 y memoria micro SD	155	155
1		Extrusor MK8	250	250
4		Drivers A4988	15	60
<b>Total</b>				<b>1995</b>

**Fuente: Elaboración propia**

Para el cálculo del costo total usaremos la siguiente formula:

$$\text{Componente} = \text{CostoUnitario} \times \text{cantidadProducto}$$

$$\text{Costo\_sub\_total} = \sum \text{Componente}$$

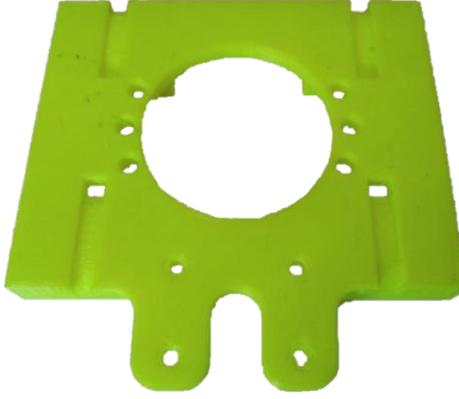
Si reemplazamos los datos con datos generados tenemos que el costo subtotal es de:

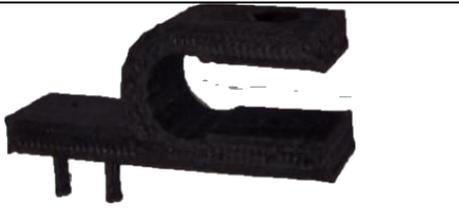
$$\text{Costo\_sub\_total} = \mathbf{1995} \text{ bolivianos.}$$

**Cuadro 3.9 Costos de materia prima piezas impresas**

UNIT	IMAGEN	DETALLE	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
4		Vertex inferior	40	120
2		Vertex superior	38	76
2		Sujetador de Filamento	15	30
4		Base para rodamiento lineal LM8UU	15	60
4		Fijador de carrera	7	28

1		Base motor eje Y	30	30
1		Base para polea eje X	50	50
1		Base para motor eje X	50	50
2		Base para motor eje Z	43	86

1		Carro eje X	45	45
3		Soporte poleas para rodamiento	10	30
4		Rodamiento lineal LM8UU	10	40
2		Cuplas 5 a 8mm para eje Z	15	30
8		Barclamp	7	56

1		Base para placa electronica	20	20
2		Base para filamento	15	30
2		Base final de carrera eje X y Z	7	14
1		Base final de carrera eje Y	7	7
<b>TOTAL</b>				<b>802</b>

**Fuente: Elaboración propia**

Para el cálculo del costo total usaremos la siguiente formula:

$$\text{Componente} = \text{CostoUnitario} \times \text{cantidadProducto}$$

$$\text{Costo\_sub\_total2} = \sum \text{Componente}$$

Si reemplazamos los datos con datos generados tenemos que el costo subtotal es de:

$$\text{Costo\_subtotal2} = 802 \text{ bolivianos}$$

Entonces para calcular el costo total de la materia prima realizamos la suma de los dos datos generados:

$$\text{Costo\_Total} = \text{Costo\_subtotal2} + \text{Costo\_subtotal2}$$

$$\text{Costo total} = 2797 \text{ bolivianos}$$

### **3.3.2 CALCULO DEL COSTO DE MANO DE OBRA**

El cálculo de la mano de obra se logra a partir del cálculo de las horas de esfuerzo por el valor monetario del tiempo invertido.

Para el cálculo del costo de mano de obra evaluaremos el costo en base al salario mensual mínimo en Bolivia que es de un valor de 2122 bolivianos.

Si lo dividimos en los días hábiles de trabajo que serían 28 tenemos que el costo de esfuerzo o mano de obra es de 75.7 bolivianos.

Si queremos calcular el valor de la mano de obra por hora entonces dividimos el costo de valor día por las cantidades de horas hábiles de trabajo.

Entonces el valor de la hora es de 9.46 bolivianos.

En base a estos datos se calcula el valor de la mano de obra el cual toma como punto muy importante el tiempo de que se invirtió a la producción de la impresora 3D.

Tiempo invertido en el desarrollo del proyecto es de: 4 meses.

Entonces tenemos un costo de mano de obra de: 8828 bs.

### **3.3.3 COSTOS INDIRECTOS DE PRODUCCIÓN**

No se evalúa en el proyecto actual los costos indirectos de producción. Ya que no se necesitó la intervención de estos mismos factores.

## **3.4 CALIDAD DEL PRODUCTO**

En cuanto a la calidad del producto, la norma ISO9001 indica criterios que se debe evaluar para poder definir si el producto cuenta con las características definidas para el producto. La norma ISO9001 indica que la institución debe plantear la calidad de acuerdo a las necesidades del requerimiento del producto.

Como base de criterios para la calidad se debe poner énfasis a la medición, análisis y evaluación.

### **Evaluación del desempeño**

En la evaluación de desempeño se presentan y analizan los resultados obtenidos en dos tipos de pruebas realizadas. Por un lado, se ha realizado una prueba de calibración de la impresión. Se han realizado varias impresiones de una misma

pieza donde se han variado varios parámetros que se han considerado relevantes en la calidad de la impresión. Por otro lado, se han puesto a prueba los límites de la impresora probando las capacidades dimensionales, de movimientos y calidades que puede ofrecer la impresora 3D.

Para las pruebas de impresión se ha utilizado el software Cura, versión 4.6, para laminar el objeto en capas. Se ha considerado que el recorrido del cabezal generado por este software es óptimo y ha sido el factor determinante para su elección. Se ha elegido una pieza pequeña imprimible para la realización de las pruebas.

Debido a que la pieza tiene dimensiones pequeñas no es fácil imprimirla sola ya que no se enfría lo suficiente la última capa impresa antes de comenzar con la siguiente. Se imprimen, por tanto, varias copias de la misma pieza en cada prueba.

Los resultados de las pruebas realizadas se muestran en imágenes junto con las configuraciones aplicadas al software Cura.

Los parámetros que se ha considerado que influyen en mayor medida en la calidad de la impresión son los que se muestran en las tablas.

Las diferentes pruebas que se han realizado modifican estos parámetros para mejorar el acabado de la impresión. Los parámetros modificados en cada prueba son los que se muestran en sus respectivas tablas de configuración y no se mencionan los que permanezcan constantes. El material utilizado para la impresión de estas pruebas es PLA. La temperatura recomendada por el fabricante y distribuidor de la bobina que se va a utilizar es de 220°C y para la base 70°C. En pruebas anteriores se ha constatado que la temperatura óptima es de 190°C y para la base es de 45°C. Mejora la adherencia de la primera capa si sobre el espejo se aplica una fina capa de laca, como la utilizada en peluquería.

### Caso de prueba 1

**Cuadro 3.10 Configuración prueba 1**  
**CONFIGURACION BASICA (BASE)**

Calidad (quality):		
Altura de capa (Layer Height)	0.25	mm
Grosor de la cascara (Shell thickness)	1.2	mm
Habilitar retracción (Enable retraction)	Si (yes)	
Relleno(fill):		

<b>Espesor inferior/superior (botton/top thickness)</b>	1.2	mm
<b>Densidad de relleno (fill desitiv)</b>	100	%
Velocidad y temperatura (Speed and Temperature):		
<b>Velocidad de impresión (print speed)</b>	30	mm/s
<b>Temperatura de impresión (printing temperature)</b>	220	°C
<b>Temperatura base ( bed temperature)</b>	70	°C
Filamento (filament)		
<b>Diametro (diameter)</b>	1.71	mm
<b>Flujo (flow)</b>	100	%
<b>CONFIGURACION AVANZADA (ADVANCED)</b>		
Retraccion (Retraction)		
<b>Velocidad (speed)</b>	30	mm/s
<b>Distancia (distance)</b>	5	mm
Velocidad (speed)		
<b>Velocidad de desplazamiento (travel speed)</b>	60	mm/s
<b>Velocidad capa inferior (Botton layer speed)</b>	15	mm/s
<b>Velocidad relleno (infill speed)</b>	40	mm/s
<b>Velocidad perimetro externo (outer shell speed) (0=velocidad)</b>	0	mm/s
<b>Velocidad perimetro inferior (inner shell speed)</b>	0	mm/s
<b>CONFIGURACION EXPERTO (EXPERT CONFIG)</b>		
Retraccion (retraction)		
<b>Aumento de Z sin retraso (z hop when retracting)</b>	3	mm

**Fuente: Elaboración propia**

se observa el resultado de esta prueba. Las zonas que requieren un acabado más fino no se han formado correctamente. Zonas como son el taladro interior que permite la fijación de la varilla tiene rebabas de manera que no llega a formar un círculo. Las dos orejetas que formarían el eje de rotación no se han construido las capas perfectamente verticales. Esto es debido en gran parte a la retracción que no ha cumplido la función que se esperaba formando hilos en los desplazamientos.



**Figura 3.12 Resultado de impresión de prueba 1**  
**Fuente: Elaboración propia**

**Caso de prueba 2**

**Cuadro 3.11 Configuración de prueba 2**  
**CONFIGURACION BASICA (BASE)**

Filamento (filament)		
<b>Flujo (Flow)</b>	92	%

**Fuente: Elaboración propia**

En esta prueba se ha disminuido el flujo de material plástico fundido para intentar eliminar los excesos de material que forman las rebabas. En las primeras capas se

ha disminuido el flujo al 90% aumentándolo hasta el 92% una vez asentada la base de la pieza. Como se puede observar en la Figura 174, las capas superiores no han tenido el material suficiente debido a esta disminución del flujo.

Las últimas capas deben dejar una superficie acabada cerrando el diámetro donde se inserta la varilla. Este diámetro, sin embargo, tiene en este caso una forma cilíndrica más definida, aunque siguen apareciendo rebabas. En todo caso el acabado obtenido es considerablemente mejor que en los casos anteriores.



**Figura 3.13 Resultado de prueba 2**  
**Fuente: Elaboración propia**

### Caso de prueba 3

#### Cuatro 3.12 Configuración de prueba 3

CONFIGURACION BASICA (BASE)		
Velocidad y temperatura ( <b>Speed and temperature</b> )		
<b>Velocidad de impresión (print speed)</b>	30	mm/s
Filamento (Filament)		
<b>Diametro (diameter)</b>	1.745	mm
CONFIGURACION AVANZADA (ADVANCED)		
Velocidad ( <b>speed</b> )		
<b>Velocidad de desplazamiento (travel speed)</b>	120	mm/s
<b>Velocidad capa inferior (bottom layer speed)</b>	15	mm/s

**Fuente: Elaboracion propia**

En esta prueba se aplica laca de peluquería a la base para asegurar una correcta adhesión de la capa inferior. Además, se disminuye la velocidad para esta primera capa impresa hasta los 15 mm/s como se observa en la Tabla. En esta ocasión se ha disminuido la velocidad de impresión hasta 30 mm/s manteniendo alta la velocidad de desplazamiento. Se ha modificado el diámetro del filamento poniendo el valor que aporta el fabricante en lugar del fijado previamente obtenido mediante varias mediciones en distintos puntos del plástico.

El resultado es el mejor que se ha obtenido. Se hace evidente que si la velocidad de desplazamiento es alta no va a influir en la precisión del cabezal.

La velocidad de impresión tan baja hace que todas las capas se asienten correctamente y no se produzcan “arrastres” de material recién depositado por el cabezal.

En cuanto al acabado, el cilindro de diámetro 5 mm aparece perfectamente estructurado, la superficie no presenta prácticamente rebabas ni huecos en las capas superiores.



**Figura 3.14 Resultado de prueba 3**  
**Fuente: Elaboración propia**

La empresa TECHBOL debe evaluar el desempeño y la eficacia del sistema de gestión de la calidad la organización debe conservar la información documentada apropiada de los resultados.

#### **Satisfacción del cliente**

La empresa TECHBOL debe realizar el seguimiento de las percepciones de los clientes es decir si el cliente está satisfecho con el producto final.

## **CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1 CONCLUSIONES**

Con la construcción del prototipo control numérico por computadora se logró cumplir con los objetivos planteados por lo tanto se concluye lo siguiente:

1. Se construyo la impresora 3D tomando en cuenta las piezas físicas, los circuitos de control y el firmware para su soporte lógico, quedando conforme la empresa Techbol con las piezas impresas en cuanto calidad y precio.
2. Se acoplo una pantalla LCD "Full Graphic" tanto en el hardware como en el software para mejorar la interfaz gráfica de la CNC con el control inteligente al momento de imprimir diseños 3D logrando autonomía en su funcionamiento.
3. Se logro construir una CNC auto replicable y mantenible ya que los diseños de las piezas son de código libre, los componentes electrónicos están disponible en el mercado local y el firmware tiene soporte mundial.
4. No solamente se logró construir la CNC, sino también configurarla tomando en cuenta los componentes utilizados, la temperatura del ambiente y la alta calidad en la impresión principalmente.
5. El prototipo CNC es capaz de soportar el firmware Marlin 1.1.9, mediante la utilización de Arduino mega, Ramps 1.4 y Drivers A4988 entre otros, haciendo posible la configuración de la protección térmica y la fuerza de cambio de sentido de giro de los motores.

Por último, se concluye haciendo énfasis a la producción de diseños 3d que realiza el prototipo CNC, utilizado en la realización del prototipo de cafetera automática controlada inalámbricamente, los cuales necesitara engranes, tanques de almacenaje, boquillas depositadores o rodamientos.

### **4.2 RECOMENDACIONES**

En la construcción del prototipo control numérico por computadora recomiendo lo siguiente:

- Tener mucho cuidado en la calibración de los ejes “X”, “Y” y “Z”, ya que el mal calibrado del mismo representa hasta un 50% de fallas en la impresión. Se debe manipular con mucho cuidado el calibrador, mucho mejor si es digital.
- La solución con el que se cubre la cama caliente debe ser viscosa, no obligatorio usar laca de cabello, con hacer una mezcla de agua con azúcar será reemplazable
- Para abaratar aún más los costos, recomiendo comprar usados algunos materiales como los motores Nema 17, que también se los puede encontrar en la feria 16 de julio a un precio menor y de industria japonesa (Fuji)
- El diagrama del circuito RAMPS está disponible en la web, con lo que anima a construirlo desde cero comprando los componentes individualmente, pero no lo recomiendo ya que es más costoso.
- Tomar muy en cuenta la temperatura de la ciudad de El Alto, ya que pude descender hasta 10 grados Celsius y retardar el proceso de la resistencia del extrusor o de la cama caliente.
- Recomiendo usar el extrusor Mk8 al tener el engrane, rodamiento y motor incluidos facilita el montaje en el CNC, por lo contrario, el extrusor Budas requiere el armado de todas sus partes y suele haber dificultades al imprimir con el filamento.

En la manipulación del CNC recomiendo:

- No mover constantemente de un lado a otro ya que una de sus debilidades es la descalibrarse.
- Leer el manual de usuario antes de manipularlo, ya que indica paso a paso como se debe realizar la correcta impresión de los diseños.
- Mantenimiento preventivo en los diferentes componentes mecánicos y electrónicos.

## BIBLIOGRAFIA

Lauren Setar y Matthew MacFarland, 2012. Top 10 Fastest-Growing Industries.  
Recuperado de: [www.ibisworld.com/Common/20Growing%20Industries.pdf](http://www.ibisworld.com/Common/20Growing%20Industries.pdf).

James Manyika y col. Disruptive technologies, 2013. Advances that will transform life, business and the global economy.

Recuperado de:  
[www.mckinsey.com/MGI\\_Disruptive\\_technologies\\_Full\\_report\\_May2013.ashx](http://www.mckinsey.com/MGI_Disruptive_technologies_Full_report_May2013.ashx)

Adrian Bowyer, 2019. The RepRap Project.

Recuperado de: <http://reprap.org/>

Bre Pettis, Adam Mayer y Zach Smith, 2019. MakerBot Industries.

Recuperado de: <http://www.makerbot.com/>

David Bourell, Ming Leu y David Rosen, 2009. "Roadmap for Additive Manufacturing Identifying the Future of Freeform Processing".

Recuperado de: <http://wohlersassociates.com/roadmap2009.pdf>

Enrique Canessa, Carlo Fonda y Marco Zennaro 2013. Lowcost 3D Printing for Science, Education and Sustainable Development

Recuperado de: [http://sdu.ictp.it/3d/book/Low-cost\\_3D\\_printing\\_screen](http://sdu.ictp.it/3d/book/Low-cost_3D_printing_screen).

Adrian Bowyer, 2019. Granule Extruder.

Recuperado de: <http://reprap.org/wiki/GranuleExtruder>

Jo Geraedts y col, 2012. "Three view on Additive Manufacturing: Business, Research and Education".

Recuperado de: [http://www.researchgate.net/publication/235725722\\_Three\\_Views\\_on\\_Additive\\_Manufacturing\\_Business\\_Research\\_and\\_Education](http://www.researchgate.net/publication/235725722_Three_Views_on_Additive_Manufacturing_Business_Research_and_Education)

Sawers, 2012. Sawers 3D.

Recuperado de: [www.sawers.com](http://www.sawers.com)

Jan Eite Bullema, 2013. 3d printing to realize innovative electronic products. Presentation.

Recuperado de:  
[http://industrialelektronika.fhi.nl/images/stories/devclub/3d\\_printing\\_to\\_realize\\_innovative\\_electronic\\_products.pdf](http://industrialelektronika.fhi.nl/images/stories/devclub/3d_printing_to_realize_innovative_electronic_products.pdf)

Pierre Lafleur y Bruno Vergnes, 2014. Polymer Extrusion.

Recuperado de: <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-1848216505.html>

J. M. Selig, 1992. Introductory Robotics. Prentice Hall

Sherry Huss, 2013. Ultimate Guide to 3D Printing

Eduardo Carletti, 2014. Motores paso a paso Características básicas.

Recuperado de: [http://robots-argentina.com.ar/MotorPP\\_basico.htm](http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm)

ST SGS-Thomson Microelectronics, 1995. The L297 Stepper Motor Controller.

Recuperado de: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/22436/STMICROELECTRONICS/L297.html>

## ANEXOS

### 1. MANUAL DE USUARIO

#### IMPRESORA 3D

Ítem	Detalle
<b>Título del Documento</b>	Manual de Usuario –IMPRESORA 3D
<b>Nombre Archivo</b>	MU – Version 1_0.docx
<b>Propiedad</b>	TECHBOL
<b>Fecha Creación</b>	15/07/2020
<b>Última Modificación</b>	

#### 1.1. INTRODUCCIÓN

El presente documento pretende servir de guía para el uso adecuado de los de la impresora 3D considerando como puntos importantes la elaboración y construcción de piezas. Se debe seguir el manual hasta lograr comprender su funcionamiento, de esa manera aseguramos su durabilidad, y podemos evitar errores o impresiones erróneas.

#### 1.2. OBJETIVO

El objetivo de la empresa, es permitir al personal manejar los procesos que implica desde el diseño 3D, la carga de diseño a la impresora y su construcción en la impresora 3D.

#### 1.3. GUIA DE USO

##### Requisitos para el uso de la impresora 3D

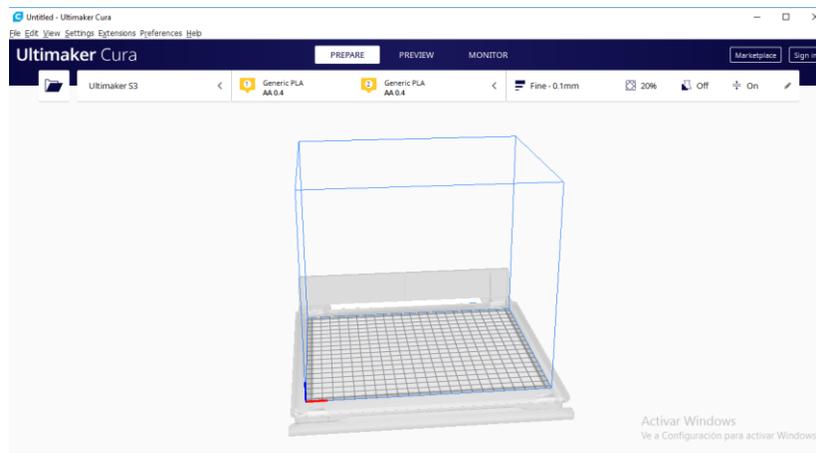
- 1) Contar con herramientas de diseño 3D como AutoCad, Solidwork o en su defecto el modelo tridimensional imprimible.
- 2) Contar con el software Ultimaker Cura el cual permite la segmentación del diseño en capas.
- 3) Menoría SDcard para almacenar el diseño.
- 4) Conocimientos de manejo de formatos “.stl” y archivos “.gcode”.
- 5) Contar con suficiente filamento (PLA) material que permitirá la construcción de la pieza.

## TRANSFORMACION DE FORMATO DE DISEÑO

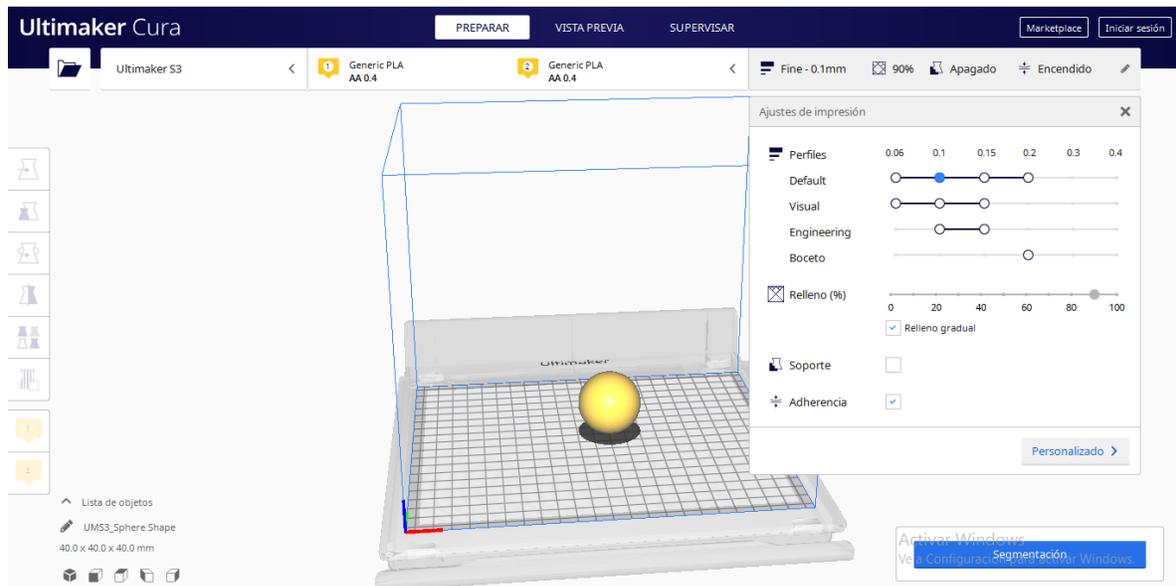
Si bien no es necesario tener conocimientos sobre la elaboración de diseños 3D ya que se puede obtener por diferentes medios, es necesario saber operar el programa Ultimaker Cura ya que configura el diseño 3D en capas para su impresión.

Entonces es necesario que se tenga instalado el software adecuado, en este caso utilizaremos Ultimaker Cura.

- 1) Una vez que tengamos el archivo que contiene la pieza en diseño 3D, procedemos a abrirlo con el Ultimaker Cura.

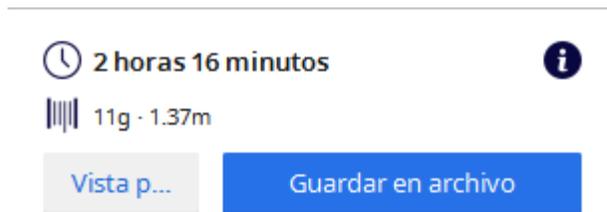


En la interfaz se puede observar la interfaz de Ultimaker Cura. Entonces procedemos a abrir el archivo con el diseño 3D.



En las opciones del panel derecho se pueden efectuar varias configuraciones como el tamaño, calidad de la impresión o la temperatura.

Una vez fijado el diseño procedemos a realizar la laminación del diseño dar clic en la opción de . Una vez ejecutada la segmentación el diseño ya estará listo para poder ser imprimido, nos mostrara la opción de guardar con la descripción del tiempo de demora en cuanto a la impresión del objeto.

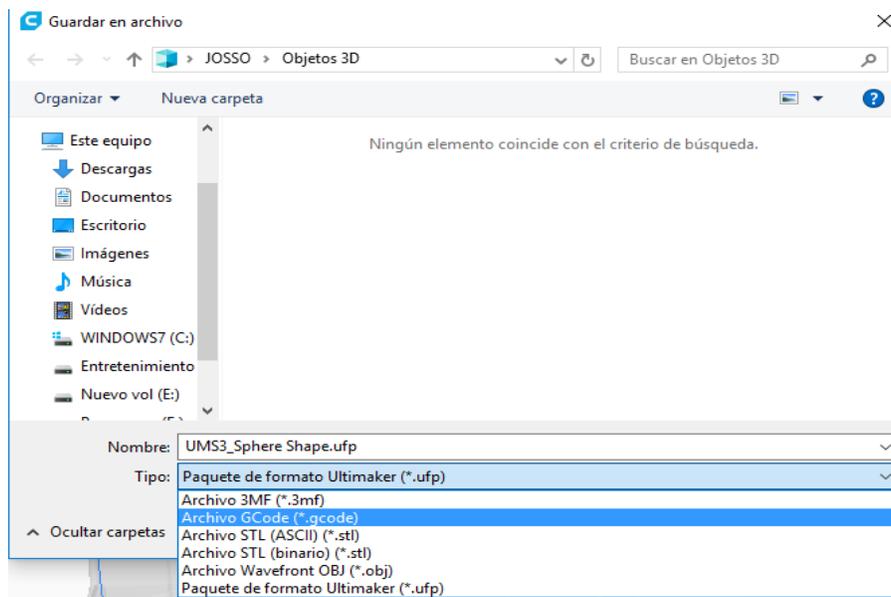


Guardar el archivo con extensión “.gcode”.

### Traspaso de archivo a la memoria extraíble SDcard

Ya teniendo el archivo con el diseño segmentado está listo para ser trasladado a la impresora 3D.

Dar clic en la opción guardar archivo se abrirá una ventana para dar una ubicación al archivo, verificar que la extensión con la que se vaya a guardar sea “.gcode”.



Colocar la memoria SDcard a la ranura del interfaz LCD de la impresora.

### **Colocado del filamento al extrusor de la impresora.**

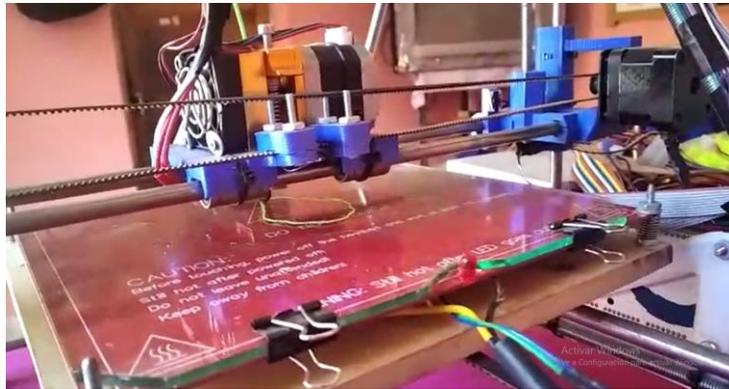
El colocado del filamento se debe realizar una vez calentando el extrusor lo suficiente para que pueda salir por la boquilla, alojar el extrusor la parte superior de la impresora.



Hecho la operación entonces procedemos a buscar el archivo desde el micro SDcard operando desde el display.



Seleccionamos el archivo de tipo Gcode que se encuentra en la tarjeta SDcard, entonces procedemos a realizar la impresión de la pieza respectiva.

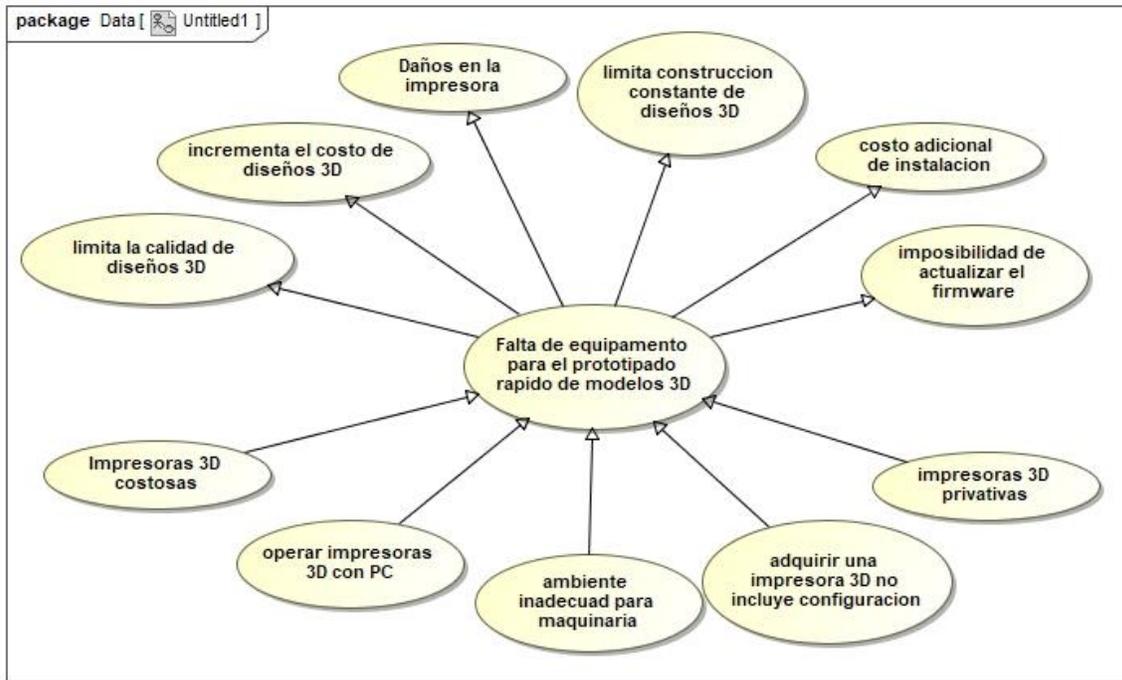


Cuando el proceso de impresión inicie verificar la adhesión en la base para que la impresión salga bien.

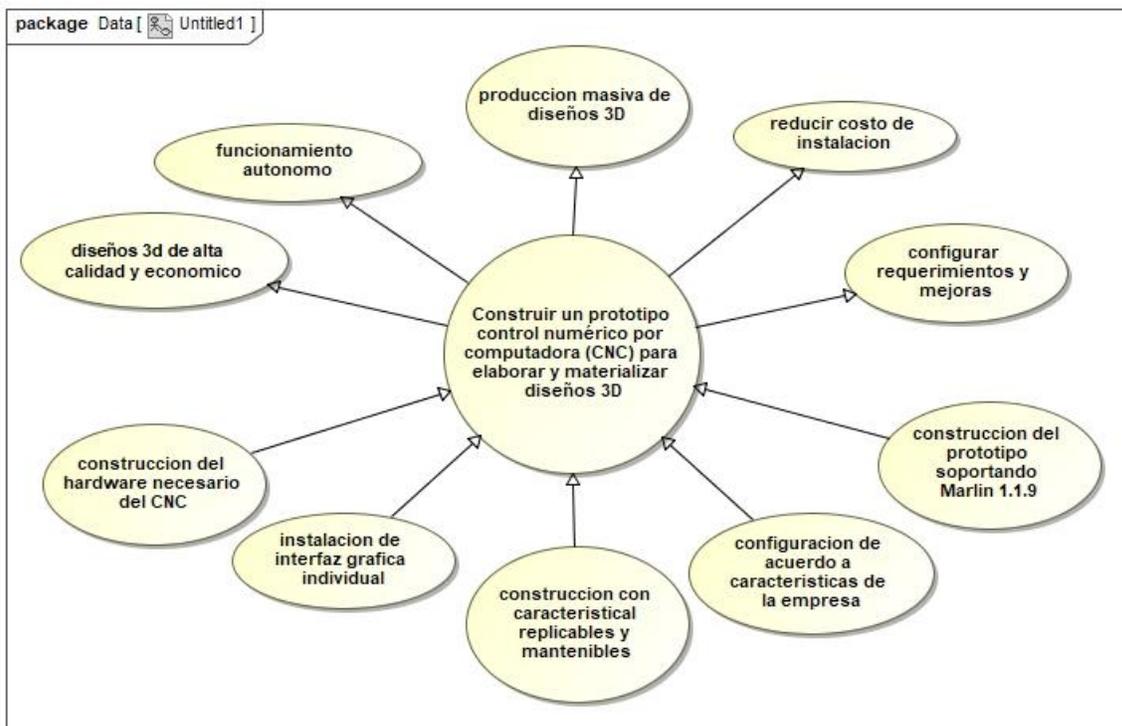
Monitorizar de forma regular el proceso de impresión, esperamos a que enfríe un poco y despegamos la pieza.



## 2. ARBOL DE PROBLEMAS



## 3. ARBOL DE OBJETIVOS



## 4. MODELOS STL

STL es una sigla proveniente del inglés "STereoLithography" es un formato de archivo informático de diseño asistido por computadora (CAD) que define geometría de objetos 3D, excluyendo información como color, texturas o propiedades físicas que sí incluyen otros formatos CAD.

Fue creado por la empresa 3D Systems, concebido para su uso en la industria del prototipado rápido y sistemas de fabricación asistida por ordenador. En especial desde los años 2011-2012 con la aparición en el mercado de impresoras 3D de extrusión de plástico termofusible (personales y asequibles), el formato STL está siendo utilizado ampliamente por el software de control de estas máquinas.

Casi todos los sistemas de CAD actuales pueden generar un archivo STL. Para el usuario, el proceso a menudo es tan simple como seleccionar Archivo, Guardar como y STL. En todos los casos, debe exportar el archivo STL como un archivo binario. Esto permite ahorrar tiempo y disminuir el tamaño del archivo.

Como regla general, al cambiar ciertas opciones, como la tolerancia de la cuerda o el control angular, se modificará la resolución del archivo STL. Cuanto mayor sea el archivo STL, más triángulos se generarán en la superficie del modelo. Para geometrías simples (con pocas curvas), es posible que el archivo sea de tan solo algunos cientos de kilobytes. Para modelos complejos, los archivos de tamaño entre 1 y 5 MB generarán piezas de buena calidad

### 3 sitios web para descargar archivos STL gratis

A continuación, presento las webs más importantes:

**Cults** es uno de los principales sitios web para descargar archivos STL gratuitos. El sitio web es un mercado digital donde podemos encontrar miles de modelos 3D relacionados con moda, joyería, arquitectura y más. Cults también es una

comunidad que permite a las personas discutir sus intereses y compartir su pasión por la impresión 3D, conectando diseñadores, fabricantes y otros creadores. Organizan concursos, publican en su blog y regularmente crean contenido para su comunidad.

**Free3D** es otro mercado que ofrece una amplia gama de modelos 3D. No todos son archivos STL, sin embargo, muchos son OBJ, que también funcionan para la impresión 3D. Se puede encontrar muchos modelos de software como Blender, Cinema 4D o 3ds Max. La plataforma está disponible en 14 idiomas.

**GrabCAD** es una de las bibliotecas en línea más grandes de modelos CAD. La comunidad que usa GrabCAD está compuesta principalmente por ingenieros profesionales, diseñadores, fabricantes y estudiantes. Además, la compañía asegura que casi 6 millones de miembros usan su plataforma para compartir archivos, pero también reciben consejos sobre desafíos de diseño y trabajan juntos para mejorar los modelos. Hoy, GrabCAD tiene alrededor de 4 millones de archivos gratuitos a los que se puede acceder y descargar, lo que la convierte en la biblioteca profesional más grande de modelos 3D.

El Alto, julio 2020

Señor:  
**HONORABLE CONSEJO DE CARRERA  
INGENIERÍA DE SISTEMAS  
UNIVERSIDAD PUBLICA DE EL ALTO**  
Presente.-

**Ref.: AVAL DE CONFORMIDAD**

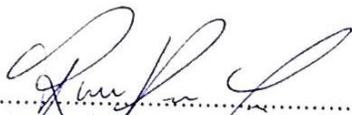
De mi mayor consideración Honorable Consejo:

Por intermedio de la presente hago llegar un saludo cordial y deseándole éxitos en sus labores cotidianas.

Mediante la presente tengo a bien comunicarle mi conformidad del proyecto de grado **“Prototipo control numérico por computadora para la elaboración de diseños 3d basado en el firmware Marlin. Caso TECHBOL”** que propone el postulante: Univ. Mary Patricia Mayta Aliaga con cédula de identidad 9177333 L.P. para su defensa pública, evaluación correspondiente a la materia Taller de Licenciatura II, de acuerdo a reglamento vigente de la Carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Pública de El Alto.

Sin otro particular y a la espera de una respuesta positiva, me despido muy cordialmente con las consideraciones del caso.

Atentamente:

  
.....  
**Lic. Rosa Patricia Nina Chura**  
**TUTOR: REVISOR**

El Alto, 10 de julio de 2020

Señores:

**HONORABLE CONSEJO DE CARRERA  
INGENIERIA DE SISTEMAS**  
Presente. –

**REF: AVAL DE CONFORMIDAD**

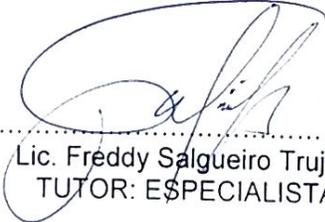
De mi mayor consideración Honorable consejo:

Por intermedio de la presente hago llegar un saludo cordial y deseándole éxitos en sus labores cotidianas.

Mediante la presente tengo a bien comunicarles mi conformidad a la realización del proyecto de grado "PROTOTIPO CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA LA ELABORACION DE DISEÑOS 3D BASADO EN EL FIRMWARE MARLIN. CASO: TECHBOL" que propone la postulante: Univ. Mary Patricia Mayta Aliaga, con cedula de identidad 9177333 LP. Para su evaluación correspondiente a la materia Taller de licenciatura II de acuerdo al reglamento vigente de la carrera de Ingeniería de Sistemas de la casa superior de estudios Universidad Pública de EL Alto.

Sin otro particular, reciba saludos cordiales.

Atentamente:



.....  
Lic. Freddy Salgueiro Trujillo  
TUTOR: ESPECIALISTA



Tecnología Bolivia  
Matricula: 393574  
TEL.: 2829198  
Email:  
techbo.engineer@gmail.com

El Alto, 3 julio de 2020

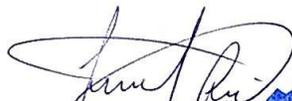
Señor:  
Mary Patricia Mayta Aliaga

De: Lic. Rolando Tola Ticona  
GERENTE GENERAL TECHBO

La empresa Tecnología Bolivia se complace en extender su aval a la solicitud del Sr. Mary Patricia Mayta Aliaga con CI: 9177333 LP que realizar el proyecto: "PROTOTIPO CNC PARA LA ELABORACIÓN DE DISEÑOS 3D BASADO EN EL FIRMWARE MARLIN 1.1.9 EN LA EMPRESA TECHBOL", en fechas 12 de marzo del 2020 al 25 de junio de 2020. Cumpliendo satisfactoriamente el proceso de construcción y ejecución del mismo, cabe resaltar que se cubrió las expectativas y con este proyecto se espera implementarlo en los puestos de procesado de nuestra empresa.

Brindamos este certificado a pedido del interesado, deseando éxitos en los proyectos que realice posteriormente, nuestra empresa está a disposición si se quiere actualizar o contribuir con otro proyecto en bien de nuestra sociedad.

Su participación nos compromete a multiplicar y aplicar en nuestra empresa con las que colaboramos, los conocimientos adquiridos en este proyecto, además de brindar el apoyo necesario a nuestra sociedad brindando nuevas tecnologías y herramientas las cuales están enmarcadas en nuestro objetivo como empresa.

  
Lic. Rolando Tola Ticona  
GERENTE GENERAL  
TECHBO



c.c/Arch.  
secr. AC-2018/348

Dirección (Cantón)  
El Alto - Bolivia  
Correo Central  
techbo.engineer@gmail.com

Dirección (Villas)  
El Alto - Bolivia  
Villa Alemania Calle 22  
N° 1564

El Alto, 09 de julio de 2020

Señores:

**HONORABLE CONSEJO DE CARRERA  
INGENIERIA DE SISTEMAS**  
Presente. –

**REF: AVAL DE CONFORMIDAD**

De mi mayor consideración Honorable consejo:

Por intermedio de la presente hago llegar un saludo cordial y deseándole éxitos en sus labores cotidianas.

Mediante la presente tengo a bien comunicarles mi conformidad a la realización del proyecto de grado "PROTOTIPO CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA LA ELABORACION DE DISEÑOS 3D BASADO EN EL FIRMWARE MARLIN. CASO: TECHBOL" que propone la postulante: Univ. Mary Patricia Mayta Aliaga, con cedula de identidad 9177333 LP. Para su evaluación correspondiente a la materia Taller de licenciatura II de acuerdo al reglamento vigente de la carrera de Ingeniería de Sistemas de la casa superior de estudios Universidad Pública de EL Alto.

Sin otro particular, reciba saludos cordiales.

Atentamente:

  
Ing. Marisol Arguedas Balladares  
TUTOR: METODOLOGICO