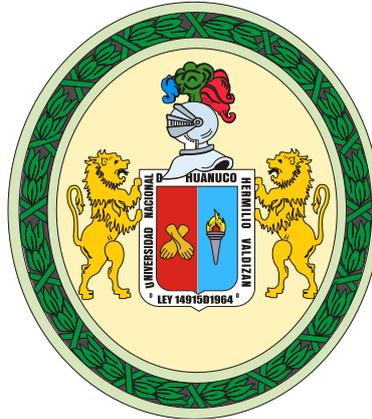


UNIVERSIDAD NACIONAL “HERMILIO VALDIZAN”

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y SISTEMAS



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA IMPRESORA 3D CON
MICROCONTROLADOR ATMEGA PARA ESTUDIANTES DE
INGENIERIA EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE
DESARROLLO TECNOLÓGICO, HUÁNUCO 2015.**

TESIS

Para Optar el Título de Ingeniero Industrial

Bach. Ing. Ind. Ronal Noel Vilca Apolin

Asesor

Dr. Guillermo Bocangel Weydert

**HUÁNUCO – PERÚ
2015**

DEDICATORIA

A mis padres, por su constante
sacrificio en pos de mi formación
profesional, y a mi pequeña hija Gia
que me impulsa para seguir creciendo
como profesional.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto consiste en construir un modelo de impresora 3D, de los que basado en el prototipo de piezas a través de la extrusión de un hilo o filamento de plástico (tipo ABS, PLA, Polímeros) y a partir de un diseño en tres dimensiones de la pieza a construir. A lo largo del proyecto podremos encontrar las instrucciones visuales que nos permitirán ensamblar la impresora, así como su extrusor; que es el dispositivo encargado de extruir el material para crear las piezas. Como también información acerca de la electrónica que necesita la máquina en cuestión; llegando a mostrar las primeras muestras de lo que la máquina es capaz de hacer. Soy Bach en Ing. Industrial, me encanta la automatización y electrónica, y esta máquina me pareció la oportunidad perfecta, creo yo que en un futuro próximo les ayudara para crear sus propias piezas, los primeros prototipos de robots que pueda llegar a diseñar en posibles trabajos de investigación en la universidad. Y lo más importante fue conseguir hacer dicha impresora a un coste muy bajo, pues armar este prototipo es barato, en relación a lo que cuesta, por ejemplo en el mercado. Permitiendo además colaborar en el desarrollo y mejora de nuestra universidad.

CONTENIDO

I.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.1	Fundamentación del problema.	7
1.2	Formulación del problema.	8
1.2.1	Problema General	8
1.2.2	Problemas Específicos	8
1.3	Objetivos: Generales y Específicos	9
1.3.1	Objetivo General	9
1.3.2	Objetivos Específicos	9
1.4	Justificación e importancia.	10
1.5	Limitaciones.	10
II.	MARCO TEÓRICO	11
2.1	Antecedentes teóricos	11
2.1.1	Internacional	11
2.1.2	Nacional	11
2.1.3	Local.....	11
2.2	Conceptos fundamentales	12
2.2.1	Impresora 3D	12
2.2.1.1	Impresora de Compactación	12
2.2.1.2	Impresora de Adición	13
2.2.2	Modelos de Impresora	13
2.2.2.1	Modelo Makerboot.....	13
2.2.2.2	Prusa Mendel	15
2.2.3	Impresión 3D una tecnología más barata y ecológica	19
2.2.8	Conversor Analógico Digital CAD	25
2.2.9	Conversión Analógica Digital	26
2.2.10	Sistemas de Control	26
2.2.10.1	Sistema de control en lazo cerrado.....	29
2.2.10.2	Sistemas de control en lazo abierto.....	30
2.2.10.3	Comparación entre los sistemas de control en lazo cerrado y los sistemas de control en lazo abierto	31
2.2.10.4	Sistemas de control lineal y no lineal.....	32
2.2.10.5	Sistemas de control en tiempo continuo y en tiempo discreto.....	32
2.2.11	Controlador Proporcional-Integral-Derivativo PID	33
2.2.11.1	Acción Proporcional.....	37
2.2.11.2	Acción Integral.....	38
2.2.11.2.1	El Efecto Anti Windup.....	39
2.2.11.3	Acción Derivativa.....	40
2.2.11.4	Sintonización de controladores PID.....	43

2.2.11.4.1	Método de curva de reacción (Ziegler & Nichols en lazo abierto).....	44
2.2.11.4.2.	Reglas de Ziegler-Nichols.....	45
2.2.11.4.2.1 Primer Método. Método de la curva de reacción	45
2.2.11.4.2.2	Segundo Método. Método de oscilación....	46
2.2.12	Atmega 2560	47
2.2.13	Atmega 644	48
2.2.14	Atmega328	49
2.2.15	Driver a4988 (pololu)	50
2.2.16	Circuito electrónico	50
2.2.17	Mosfet irfz44n	51
2.2.18	Extrusor	51
2.2.19	Cama caliente	51
2.3	Diseño y Montaje de la Impresora 3D	52
2.3.1	Diseño de la Estructura	52
2.3.2	Estructura y partes para el montaje	55
2.3.3	Montaje	61
2.3.4	Extrusor para la Impresora 3D	69
2.4	Diseño y Montaje de la Electrónica de la impresora 3D.....	71
2.4.1	Conceptos Fundamentales	71
2.4.2	Diseño del circuito electrónico	73
2.5	Sistema de Control	82
2.5.1	Calibración de los ejes “X”, “Y”, “Z”	82
2.5.2	Configuración del PID	91
2.2	Sistema de Variables-Dimensiones e Indicadores	97
III.	MARCO METODOLÓGICO.....	98
3.1	Nivel y Tipo de Investigación.....	98
3.1.1	Tipo de Investigación.....	98
3.1.2	Nivel de Investigación	98
IV.	UNIVERSO POBLACIÓN Y MUESTRA	99
4.1	Determinación del Universo Población.	99
4.2	Selección de la Muestra.	99
V.	TECNICAS DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS.	100
5.1	Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	100
5.2	Procesamiento y presentación de datos.	100
VI.	ASPECTOS ADMINISTRATIVOS Y PRESUPUESTALES.	101
6.1	Potencial humano.	101
6.2	Recursos materiales.	101

6.3	Presupuesto	102
6.4	Recursos financieros.....	103
6.5	Cronograma de Acciones.....	103
VII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
7.1	CONCLUSIONES	104
7.2	RECOMENDACIONES	105
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
	ANEXOS	109

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Fundamentación del problema.

En la actualidad, es de gran importancia contar con herramientas, equipos y maquinarias que servirán para el buen desarrollo profesional, siendo el objetivo principal el de crear ventajas competitivas, así contar con profesionales que satisfagan ciertas características de calidad exigidas y ser competitivo, son variables que influyen en este gran mercado laboral exigente.

En el transcurso del desarrollo académico el estudiante de ingeniería se encuentra con muchos obstáculos, siendo uno de ellos, no tener a disposición equipos y maquinarias que sean accesibles y que ayuden a solucionar sus problemas, como en el desarrollo de prototipos, modelado de productos, nuevas líneas de producción, en los cursos de ingeniería de métodos, diseño industrial, y muchos otros cursos que a falta de herramientas y solvencia económica no llegan a materializar sus ideas.

Con este proyecto se plantea brindar una maquina "Impresora 3D" que nos permitirá desarrollar un sin número de prototipos y de bajo costo, a diferencia del mercado. En el mercado ya existe pero con precios demasiados elevados y con software cerrados, a diferencia del proyecto de tesis planteado con recursos reciclados y software libre, no se necesita licencia para poder utilizarlo.

En esta era de la tecnología, el mercado actual requiere personal competente, que sean líderes, con visión, con creatividad y tengan la capacidad de resolver problemas, creando nuevas líneas de producción, mejorando productos, etc. Para así garantizar la calidad de los mismos.

1.2 Formulación del problema.

1.2.1 Problema General

¿Cuál es el diseño y construcción de una impresora 3D con microcontrolador ATMEGA para estudiantes de ingeniería, que nos permita imprimir con polímeros como ABS y PLA , que sirva de apoyo en el proceso de enseñanza y aprendizaje de desarrollo tecnológico, Huánuco 2015?

1.2.2 Problemas Específicos

- a) ¿Cuál es el diseño estructural de la impresora 3D para escritorio, que sirva de apoyo en el proceso de enseñanza y aprendizaje de desarrollo tecnológico, Huánuco 2015?
- b) ¿Cuál es el diseño de circuito electrónico para la impresora 3D con microcontrolador ATMEGA que controle efectivamente los elementos de potencia?
- c) ¿Cuál es el Sistema de Control que gobierne el funcionamiento de la impresora 3D con microcontrolador ATMEGA?

1.3 Objetivos: Generales y Específicos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar y construir una impresora 3D con microcontrolador ATMEGA para estudiantes de ingeniería, que nos permita imprimir con polímeros como ABS y PLA, que sirva de apoyo en el proceso de enseñanza y aprendizaje de desarrollo tecnológico, Huánuco 2015.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar el diseño estructural de la impresora 3D para escritorio, que sirva de apoyo en el proceso de enseñanza y aprendizaje de desarrollo tecnológico, Huánuco 2015.
- b) Diseñar el circuito electrónico para la impresora 3D con microcontrolador ATMEGA que controle efectivamente los elementos de potencia.
- c) Diseñar el Sistema de Control que gobierne el funcionamiento de la impresora 3D con microcontrolador ATMEGA.

1.4 Justificación e importancia.

El trabajo de investigación se justifica por su aplicación práctica en la búsqueda de soluciones y planteamiento de alternativas al proceso de conversión de diseños en 3D en formatos digitales a objetos físicos, fomentando en los estudiantes la estimulación de la creatividad y la capacidad de resolver problemas, materializando así sus ideas como también:

- ✓ Aumentan la participación: El aprendizaje se vuelve más participativo y entretenido con las impresoras 3D.
- ✓ Es de interés para los alumnos: Es interesante para los alumnos aprender a través de la práctica y ver los resultados reales de sus diseños.
- ✓ Impulsa colaboraciones entre distintas materias y departamentos.

1.5 Limitaciones.

La investigación presenta limitaciones de piezas y partes de la impresora dado que en el mercado local no cuentan con stock como: Rodamientos lineales, varillas de 8mm, extrusora y correas dentadas T2.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes teóricos

2.1.1 Internacional

Marco Esteban Illescas¹, desarrollo un trabajo de tesis, en la Universidad CARLOS III DE MADRID, que tiene como título: “Construcción de una impresora 3D open Source” cuyo objetivo ensamblado y la puesta en funcionamiento de una impresora 3D Open Source, modelo Prusa Mendel. Este trabajo se concluyó con la construcción de dicho Impresora, poniendo en funcionamiento con muy buenos resultados.

2.1.2 Nacional

En el ámbito nacional no se encontraron trabajos de investigación sobre Construcción de una Impresora 3D.

2.1.3 Local

En el ámbito local no se encontraron trabajos de investigación sobre Construcción de una Impresora 3D.

¹ Marco Esteban Illescas, Construcción de una impresora 3D open Source. [Tesis]. España: Universidad CARLOS III DE MADRID; Junio de 2012.

2.2 Conceptos fundamentales

En este capítulo se tiene como objetivo, dar a conocer los conceptos utilizados en el proyecto.

2.2.1 Impresora 3D

La impresora 3D , es una máquina mediante diversos procesos utilizados, sintetizar un objeto tridimensional. En la impresión en 3D, las sucesivas capas de material se forman bajo control por ordenador. Estos objetos pueden ser de casi cualquier forma o geometría, y se producen a partir de un modelo 3D u otra fuente de datos electrónicos. Una impresora 3D es un tipo de robot de manufactura industrial².

La impresión 3D en el sentido original del término se refiere a los procesos en los que secuencialmente se deposita material en una plataforma, con cabezal de impresión de inyección de material de aporte. Más recientemente, el significado del término se ha ampliado para abarcar una variedad más amplia de técnicas tales como polimerización, inyección de aporte, inyección de aglutinante, extrusión de material, cama de polvo, laminación de metal, depósito metálico.

2.2.1.1 Impresora de Compactación

El proceso de impresión de ésta impresora es el siguiente, una masa de polvo se compacta por estratos (capas) y dentro de este método se clasifican en 2 tipos: las que utilizan Tinta o las que utilizan Láser. Las primeras utilizan una tinta que aglomera el polvo para que sea compacto y esa tinta puede ser de diferentes colores para la impresión en diferentes colores. Las segundas utilizan un láser que le da energía al polvo

haciendo que este polvo se polimerice y luego se sumerge en un líquido que hace que se solidifique.

2.2.1.2 Impresora de Adición

El proceso empieza en el diseño del objeto en un software 3D (solidworks, Civil 3d, AutoCAD, etc.) y guardarlo en extensión STL. Se va añadiendo el material a imprimir por capas (también se llaman “de inyección de polímeros”), generalmente polímeros como (ABS, PLA).

2.2.2 Modelos de Impresora

En la actualidad existen una gran variedad de modelos de impresoras 3D la cual tomaremos como referencia.

2.2.2.1 Modelo Makerboot

2.2.2.1.1 Descripción

La Replicator es un nuevo modelo de la marca Makerbot Industries especializado en impresión de PLA. Su superficie de impresión permite realizar de una vez impresiones de 25.2 x 19.9 x 15.0 cm. Integra una serie de desarrollos que aumentan la calidad de las impresiones y facilitan el control de la impresora. Gracias a sus nuevas opciones, la Replicator da un paso más en la adopción de las impresoras 3d como verdaderas fábricas personales accesibles para la realización rápida y de calidad de producciones o prototipos.²

²Designed by **Totally** | 2014 © **Impresoras3D-CCI**.



2.2.2.1.2 Control

Un asistente de nivelación de la plataforma te ayudará para facilitar aún más la calibración si fuera necesaria. Una pantalla LCD te permite controlar directamente y enteramente tu impresora. Este panel de control te da acceso no sólo a tu propio almacén de modelos sino también a los almacenes de Makerbot (Thingiverse, Digital store). Una cámara te permite controlar el proceso de impresión y sacar fotos de tus impresiones.

2.2.2.1.3 Conectividad

Se puede conectar a internet a través de un cable Ethernet. Dentro de muy poco además, se podrá conectar a través de la wifi. Puedes cargar tus modelos por USB (cable o pendrive).

2.2.2.1.4 Movilidad

Puedes seguir en tu móvil las impresiones gracias a la información enviada por la cámara. Puedes recibir notificaciones y alertas de tu impresora.

2.2.2.1.5 Software

Con su nueva generación de impresoras 3D, Makerbot inaugura su nuevo entorno de software llamado "Makerbot Desktop". Este nuevo

entorno integra el antiguo Makerware con mejoras y una serie de servicios directamente accesible desde el escritorio Makerbot:<http://www.makerbot.com/desktop/>.³

2.2.2.2 Prusa Mendel

El Proyecto Reprap nace en el año 2.005 gracias a la idea del ingeniero Adrian Bowyer de la Universidad de Bath, en el Reino Unido. El nombre Rerprap proviene de “Replicating Rapid prototyper” y su filosofía desde el inicio estuvo basada en diseños y desarrollos Open Source, motivados por su idea de que la industria nunca desarrollará una máquina auto-replicable porque no le saldría rentable. Al cabo de tres años consiguieron desarrollar el primer modelo de impresora 3D del Proyecto Reprap, y así, en Febrero del año 2.008, crearon la primera impresora 3D, el modelo conocido como Darwin; nombre inspirado del creador de La Teoría de la Evolución, Charles Darwin, pues tenían la idea de crear una sucesión de modelos que evolucionen más rápido que las especies de seres vivos. A su vez, esta impresora consiguió crear su primera réplica en mayo de ese mismo año. El modelo Darwin que los componentes del Proyecto Reprap terminaron en el año 2.008 es una impresora como la que se muestra en la imagen de la figura 2.⁴

³Designed by **Totally** | 2014 © **Impresoras3D-CCI**.

⁴ Prusajr (diseño), Kliment (mantenimiento y documentación), Spacexula (documentación), GregFrost (ideas, refactoring), Monday, octubre 04, 2010.

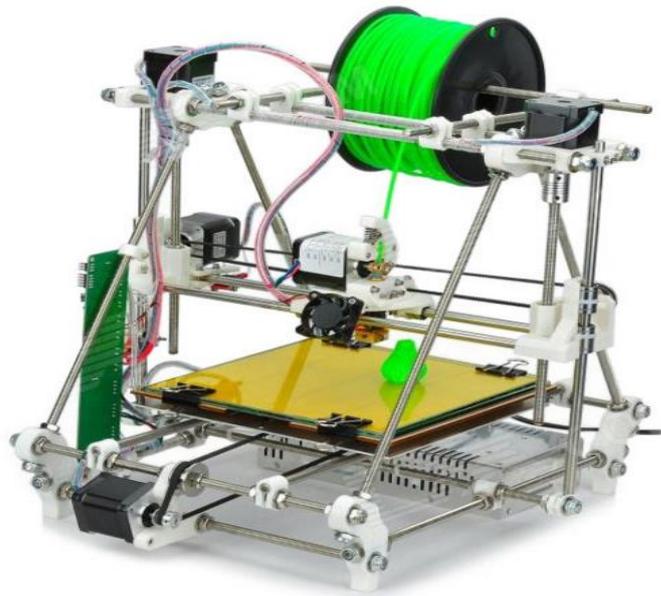
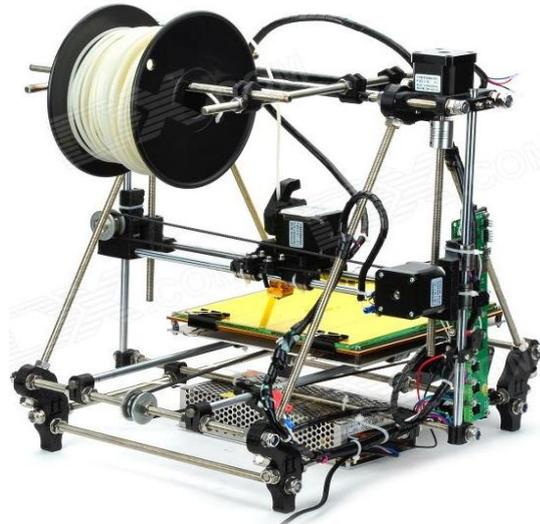


Figura 2.

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

El siguiente hecho importante del Proyecto Reprap se dio en octubre del año 2.009, cuando terminaron el diseño del modelo Mendel. Este nuevo modelo supuso el mayor avance para Reprap, pues suponía haber conseguido una impresora 3D aún más compacta y fácil de montar y replicar que las que ya existían.

Figura 3.



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

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

En noviembre del año 2011, en menos de un año y medio desde que saliera el modelo Prusa Mendel, se hizo un taller en Colonia (Alemania) dónde se expuso la iteración 2 del modelo. Esta segunda versión incorporaba mejoras, que se comentarán en este proyecto (ver Trabajos futuros y Mejoras para más información), como la

incorporación de rodamientos lineales y el rediseño de algunas piezas estructurales, entre otros. Aunque realmente no suponía una gran innovación respecto al modelo Prusa Mendel original.

Por otro lado, el ingeniero estadounidense Brook Drumm concluyó en diciembre de 2.011 un nuevo modelo de impresora 3D denominado Printrbot, que está llamado a ser la revolución de las impresoras 3D. Este modelo es aún más simple y fácil de montar que el modelo Prusa Mendel. Además es expandible a lo largo de los tres ejes de movimiento, lo que significa que el tamaño de la impresora será personalizable por parte del usuario. El problema que tuvo es que solo estaba diseñada para métrica americana por lo que los usuarios europeos tenían complicado construirla, hacerse una Printrbot que se muestra en la figura 5.

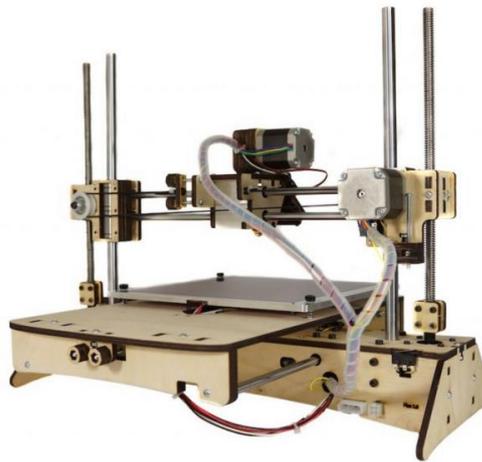


Figura 5.

El diseño de la Printrbot fue propuesto en noviembre de 2.011, con la meta propuesta: “Una impresora en cada casa y en cada colegio”.

2.2.3 Impresión 3D una tecnología más barata y ecológica

De acuerdo a una investigación realizada por la Universidad Tecnológica de Michigan en la que se realiza un análisis económico del ciclo de vida de la impresión 3D en un hogar promedio. El Análisis usa como dato principal la cantidad de energía usada para convertir la materia prima en un producto final de dos maneras distintas.

Comprar el producto en una fábrica extranjera o imprimirlo en casa. Los resultados muestran que hacer cosas en una impresora 3D toma de un 41 a 64 por ciento menos energía que hacerlos en una fábrica e importarlos. La impresión 3D puede ahorrar energía usando menos materia prima por ejemplo los juguetes de los niños son hechos de plástico o madera sólida, los juguetes impresos en 3D pueden realizar parcial o completamente huecos lo que significa menos uso de plástico. El PLA es un plástico usado en impresión 3D hecho de recursos renovables como el almidón de maíz que lo convierte en una alternativa más ecológica a los plásticos hechos en base a derivados del petróleo. La conclusión a la que el estudio llega es que se puede usar menos energía y reducir las emisiones de CO2 imprimiendo en 3D en casa, la motivación de hacer lo correcto, usar menos energía y gastar menos dinero lleva a que la impresión 3D sea más atractiva que comprar un producto en una tienda.⁵

2.2.4 Ventajas de la Impresión 3D

Destaca sobre las demás tecnologías de impresión en 3D.

⁵ M. Kreiger and J. Pearce, "Environmental life cycle analysis of distributed three-dimensional printing and conventional manufacturing of polymer products [En Línea]." Disponible en: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/sc400093k?journalCode=ascecg>, 23 Septiembre del 2013. Obtenido en Noviembre 2014.

Aumentan en la innovación: Diseños de nuevos productos, mejora de productos.

Fomentan la creatividad y la capacidad de resolver problemas:

Materializar nuestras ideas en objetos reales. Esta funcionalidad provoca un cambio de mentalidad en el alumno que debe solventar los posibles obstáculos que surjan en el mundo físico aplicando la creatividad e innovando hasta obtener el objetivo deseado *“La creatividad va a ser cada vez más demandada en los trabajos ya que la producción se está trasladando a China y otros países y en Europa nos estamos centrando más en el diseño. Además, las impresoras 3D se están introduciendo cada vez más en el ámbito profesional. En un futuro no muy lejano más del 50% de las empresas tendrán un equipo de estas características. Es importante que los alumnos estén familiarizados con sus posibilidades”, señala Marc Torras.*

Acelerar el tiempo de comercialización: Comprimir los ciclos de diseño mediante la impresión en 3D de los prototipos demandados sin salir de su oficina.

Reducir los costes de desarrollo: Recortar los costes del prototipado y las herramientas tradicionales, identificar los errores de diseño antes como también reducir los viajes a las instalaciones de producción.

2.2.5 Nivel de Apertura del Hardware

Los proyectos no solo tienen objetivos comerciales o para la producción de gadgets y proyectos de diseño interactivo, sino que pueden abarcar también proyectos de educación, cooperación y desarrollo en países del

tercer mundo. Patrick McNamara definió 4 niveles posibles de apertura en los proyectos de hardware.⁶

Cerrado: cualquier hardware que su creador no haga pública ninguna información.

Interface abierta: el usuario dispone de toda la documentación que explica cómo hacer que una pieza de hardware cumpla la función para la cual fue diseñada (mínimo nivel de apertura).

Diseño abierto: la documentación disponible es suficientemente detallada como para que un tercero pueda crear un dispositivo funcional y compatible.

Implementación abierta: está disponible la lista de todos los materiales necesarios para la construcción del dispositivo.

2.2.6 Software para el diseño en 3D

En la actualidad existen diversos software de diseños en 3D, como AutoCad, SolidWorks, Inventor, etc. El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción.

2.2.6.1 SolidWorks

Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasvasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y

⁶ Organization RepRap, "G code processing [En Línea]." Disponible en: <http://reprap.org/wiki/Repraphostsoftware>, Diciembre del 2014. Obtenido en Diciembre 2014.

ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada (Figura 6).

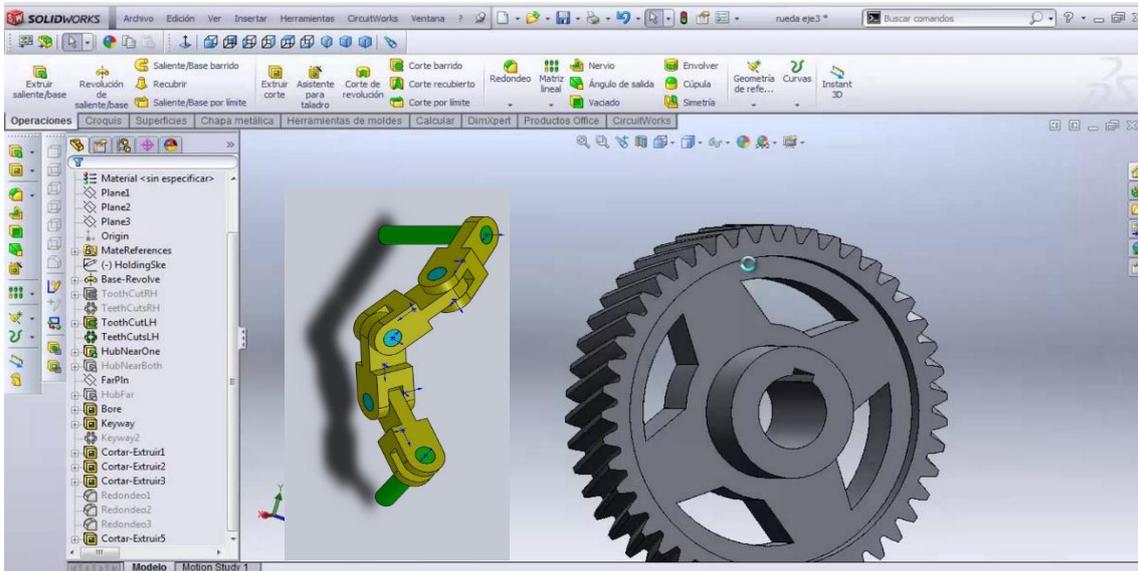


Figura 6.

2.2.6.2 OpenScad

OpenSCAD permite al diseñador crear modelos 3D precisos y diseños paramétricos que pueden ser fácilmente ajustados cambiando los parámetros. OpenSCAD es una aplicación de software libre para crear objetos sólidos de CAD. No es un editor interactivo sino un compilador 3D basado en un lenguaje de descripción textual. Un documento de OpenSCAD especifica primitivas geométricas y define como son modificadas y manipuladas para reproducir un modelo 3D. OpenSCAD está disponible para Windows, Linux y OS X. OpenSCAD realiza geometría constructiva de sólidos (CSG).⁷

⁷ {{subst: Aviso referencias |OpenScad}} , 13 de mayo de 2015.



Figura 8

2.2.6.3 FreeCAD

FreeCAD presenta un entorno de trabajo similar a CATIA, SolidWorks, SolidEdge, ArchiCAD o Autodesk Revit. Utiliza técnicas de modelado paramétrico y está provisto de una arquitectura de software modular, pudiendo añadir de forma sencilla funcionalidades sin tener que cambiar el núcleo del sistema.

Como muchos modernos modeladores CAD en 3D, tiene un componente para dos dimensiones para extraer un diseño detallado de un modelo 3D y con ello producir dibujos en 2D, pero el diseño directo en 2D (como el de AutoCAD LT) no es la meta, ni tampoco la animación ni formas orgánicas (como las creadas por Maya, 3ds Max o Cinema 4D) figura 9.

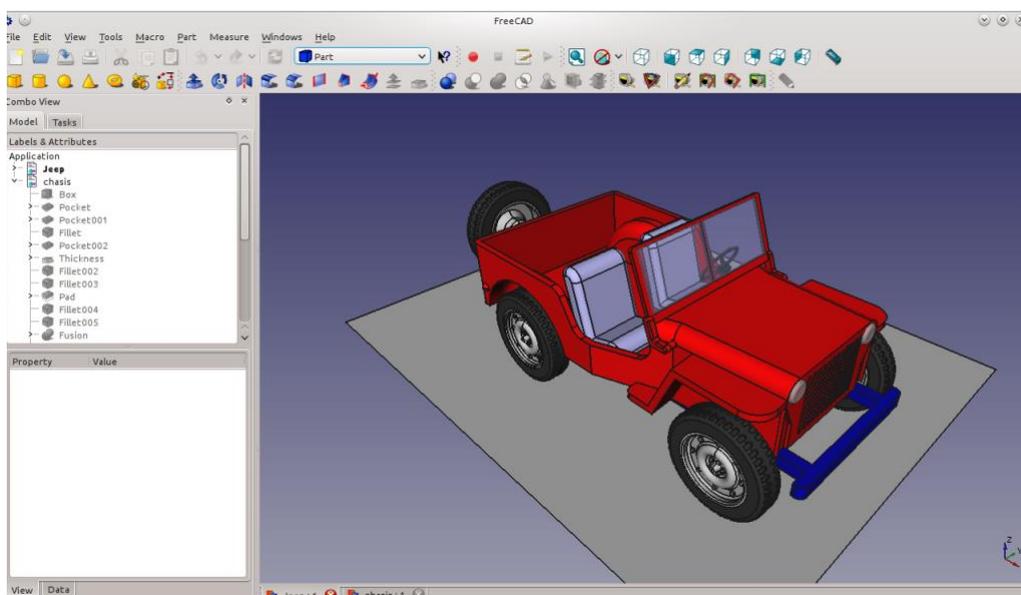


Figura 9

2.2.7 Software Repetier host

Es un software libre que nos brinda las siguientes bondades, Controla la impresora desde el computador, gestiona la importación de STL's, distribución de las piezas, rebanado y todo desde la misma pantalla, con una interfaz gráfica bien resuelta, donde nos muestra en tiempo real la temperatura del extrusor y la cama caliente. Se puede encontrar en: <http://www.imprimalia3d.com/recursos/manual-repetier-host#sthash.I2FVGFR8.dpuf>.

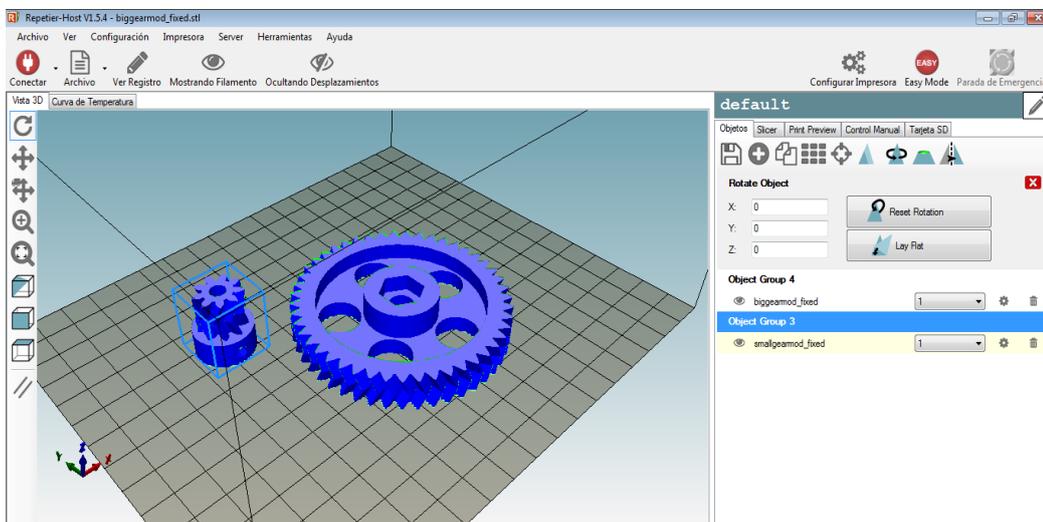


Figura 7

En el cual se importa el diseño a imprimir de cualquier software 3D en extensión STL. Para luego generar su GCODE donde nos mostrará la cantidad de filamento (ABS, PLA) que se va consumir en cm cúbicos y el tiempo que va a demorar en imprimir el objeto. Adicional a lo mencionado nos brinda la facilidad de modificar el Gcode, como también guardar en la PC o Micro SD para la impresora 3D.

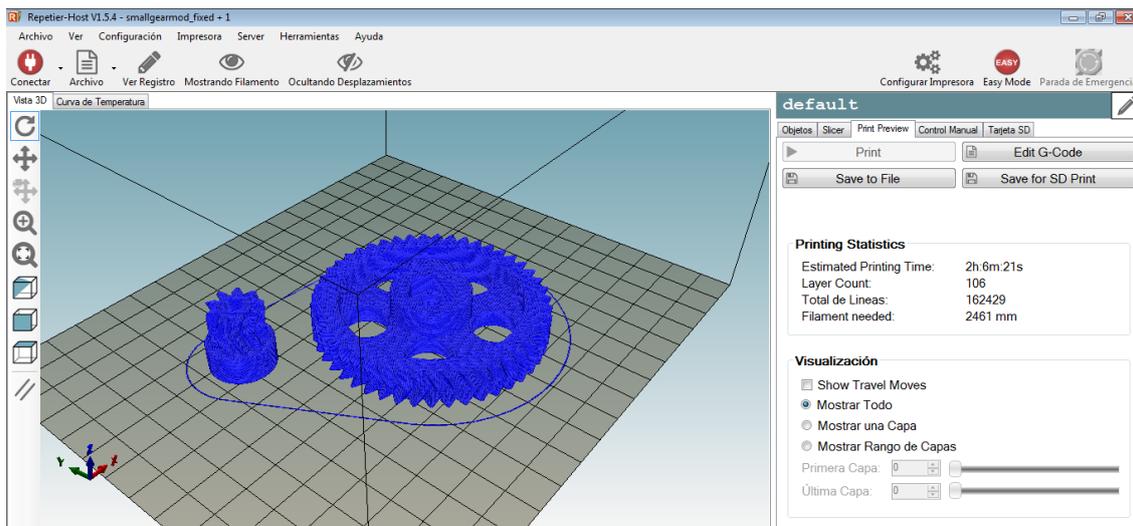
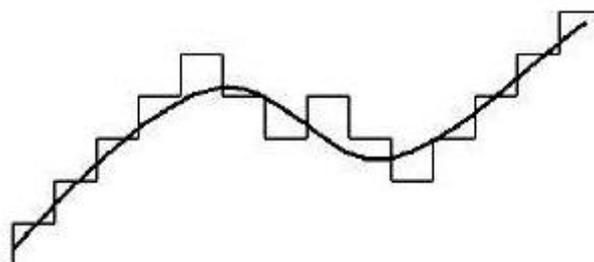


Figura 8.

2.2.8 Conversor Analógico Digital CAD

Un conversor o convertidor analógico-digital CAD, o también ADC del inglés "Analog-to-Digital Converter", es un dispositivo electrónico capaz de convertir una entrada analógica de voltaje en un valor binario, Se utiliza para captar señales analógicas de sensores. La señal analógica, que varía de forma continua en el tiempo, se conecta a la entrada del dispositivo y se somete a un muestreo a una velocidad fija, obteniéndose así una señal digital a la salida del mismo.

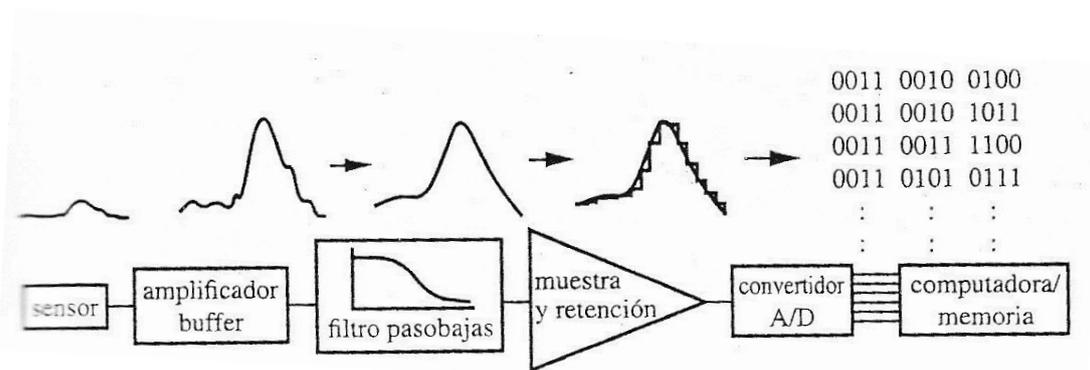


Digitalizando señal analógica

2.2.9 Conversión Analógica Digital

Los siguientes componentes deben de seleccionarse apropiadamente y aplicarse en esta secuencia para adquirir adecuadamente una señal de voltaje analógico para procesamiento digital.

- Amplificador Buffer
- Filtro paso bajas
- Amplificador de muestra y retención
- Convertidor Analógico Digital
- Computadora



Componentes usados en la conversión A/D

2.2.10 Sistemas de Control

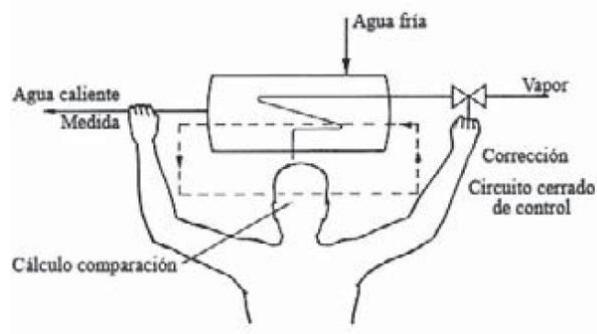
Dorf⁸, define a un sistema de control como: "...una interconexión de componentes que forman una configuración sistémica que proporcionará una respuesta deseada ante una entrada o estímulo". Además, Kuo⁹ nos dice que: "...el objetivo de un sistema de control es controlar las salidas en alguna forma mediante las entradas a través de los elementos del sistema

⁸ Sistemas de Control Moderno - Richard C. Dorf & Robert H. Bishop - 10a ed, Edit. Pearson Educación Madrid 2005, pág. 2.

⁹ Kuo, Benjamin. Sistemas de Control Automático. 7ma ed, Edit. Prentice Hall. Mexico 1996. Pag.2

de control”.

La mayoría de las actividades de nuestra vida diaria están afectadas por algún tipo de sistema de control, por ejemplo cuando palpamos la temperatura del agua de una ducha al bañarse, al cambiar la velocidad cuando corremos manteniéndola, controlamos una variable. Además, lo encontramos también en diversos sectores de la industria, tales como control de calidad de los productos manufacturados, líneas de ensamble automático, control de máquinas-herramienta, sistemas de potencia, robótica etc. La siguiente figura muestra lo anterior.



Control manual de un proceso.

Según Kuo, los componentes básicos de un sistema de control son los siguientes:

- ✓ Objetivos de control
- ✓ Componentes del sistema de control
- ✓ Resultados o salidas



Componentes básicos de un sistema de control

Además, Ogata¹⁰ hace referencia que, en un sistema de control en la que la salida es una variable como presión, temperatura, humedad, flujo, nivel de líquido, etc. se le denomina SISTEMA DE CONTROL DE PROCESO. Por tanto un sistema de control de temperatura es un sistema de regulación que tiene como salida la temperatura.

Creus¹¹, nos dice que un proceso: "... consiste en un sistema que ha sido desarrollado para llevar a cabo un objetivo determinado". Por ejemplo un tratamiento de un material mediante una serie de operaciones específicas destinadas a llevar a cabo su transformación. Los procesos existen en muchas formas, desde las más simples hasta las más complejas.

Los procesos presentan dos características principales:

1. Cambios en la variable controlada
 - ✓ Cambios en las condiciones ambientales (calor generado o absorbido por la reacción química del proceso exotérmico endotérmico, respectivamente).
 - ✓ Variaciones en la calidad del material de control.
2. El tiempo de retardo, que es el tiempo necesario para que la variable de proceso alcance un nuevo valor al ocurrir un cambio de carga. Este tiempo se debe a una o varias propiedades del proceso:

¹⁰ Ogata, Katsuhiko. Modern Control Engineering. 5ta ed. Edit Prentice Hall. USA 2002., Traducción, pág. 1.

¹¹ CREUS SOLE Antonio, Instrumentación Industrial – Edit. Marcombo. 8va ed, España 2011. pag.499.

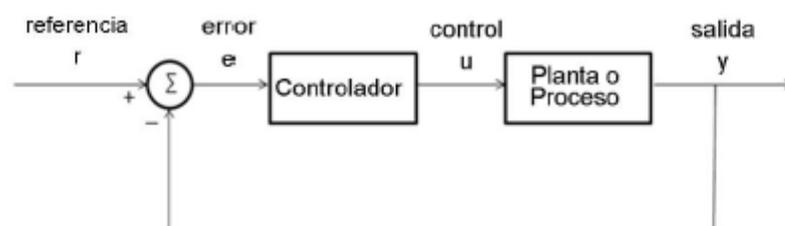
- ✓ Capacitancia (característica del proceso para mantener o transferir una determinada cantidad de energía o material).
- ✓ Resistencia (oposición a la transferencia de energía o material).
- ✓ Tiempo de transporte (tiempo necesario para transferir la energía y que esta sea detectada por el sensor).

2.2.10.1 Sistema de control en lazo cerrado

Un sistema de control en lazo cerrado es aquel en que la señal de salida tiene efecto directo sobre la acción de control, es decir, el sistema de control en lazo cerrado es un sistema de control realimentado. La señal de error, es la diferencia entre la señal de referencia y la de salida, ella reingresa (realimenta) al controlador con el fin de reducir el error llevando la salida del sistema a un valor deseado.

Ogata¹², menciona que hay numerosos sistemas de control en lazo cerrado o realimentados en la industria y en el hogar, por ejemplo, los refrigeradores domiciliarios, los calentadores de agua automáticos, los sistemas de calefacción control termostático, etc.

En la siguiente figura muestro un sistema de control en lazo cerrado.



Sistema de control en lazo cerrado

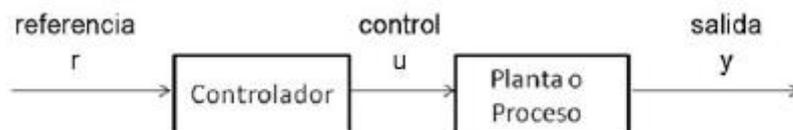
¹² Ogata, Katsuhiko. Modern Control Engineering. 5ta ed. Edit Prentice Hall. USA 2002., Traducción.

2.2.10.2 Sistemas de control en lazo abierto

Un sistema de control en lazo abierto es aquel, en la que la salida no tiene efecto sobre la acción de control, es decir; en un sistema de control en lazo abierto, no se compara la salida con la entrada de referencia; por lo que, para cada entrada de referencia le corresponde una salida determinada (una calibración realizada previamente); de lo cual, la precisión del sistema de control depende de la calibración. La lavadora eléctrica convencional es un ejemplo de un sistema de control en lazo abierto porque, generalmente, el tiempo de lavado es determinado por el juicio o estimación del operador humano.

Cuando se presentan perturbaciones, en un sistema de control en lazo abierto, este no cumple bien la función que se le asigno. Kuo, menciona que en la práctica, solo se puede usar el control en lazo abierto si la relación entre la entrada y la salida es conocida y si no hay perturbaciones internas ni externas.

La siguiente figura muestra un sistema de control en lazo abierto.



Sistema de control en lazo abierto.

2.2.10.3 Comparación entre los sistemas de control en lazo cerrado y los sistemas de control en lazo abierto

Los sistemas de control en lazo cerrado tienen la ventaja de que el uso de la realimentación en el sistema hace que la respuesta sea relativamente insensible tanto a perturbaciones externas como a las variaciones internas en los parámetros del sistema. Además, la estabilidad en un sistema de control en lazo abierto es más fácil de lograr, dado que la estabilidad del sistema no constituye un problema importante; pero, para los sistemas en lazo cerrado, la estabilidad siempre constituye un problema de importancia por la tendencia a sobre-correr errores que puedan producir oscilaciones de amplitud constante o variable.

Si las entradas son conocidas previamente en los sistemas en los que no hay perturbaciones, es preferible usar el control en lazo abierto. Los sistemas de control en lazo cerrado son muy útiles si presentan perturbaciones y/o variaciones impredecibles en los componentes del sistema, o si el sistema en lazo abierto es inestable. La cantidad de componentes requeridos en un sistema de control en lazo cerrado es mayor que en un sistema en lazo abierto, por lo que los sistemas de control en lazo cerrado suelen ser más costosos y complicados de hacer.

Kuo menciona, que los sistemas de control realimentados se pueden clasificar en diversas formas, dependiendo del propósito, pero básicamente se clasifican en:

- ✓ Lineales y no lineales.
- ✓ Variantes con el tiempo o invariantes con el tiempo.

2.2.10.4 Sistemas de control lineal y no lineal

La mayoría de sistemas físicos son no lineales en algún grado, por lo que pocas veces se encuentran en la práctica sistemas lineales.

Un sistema de control se considera lineal o no lineal en la magnitud de la señal, es decir cuando estas se encuentra limitada en intervalos, en los cuales los componentes del sistema exhiben una característica lineal; pero, cuando dichas magnitudes se extienden más allá del intervalo de linealidad, el sistema se considera no lineal.

Kuo, nos dice que para los sistemas lineales existe una gran cantidad de técnicas analíticas y gráficas para realizar diseños y análisis. En cambio para los sistemas no lineales no existen métodos generales para resolver este tipo de sistemas, por lo que su análisis matemático es complicado.

2.2.10.5 Sistemas de control en tiempo continuo y en tiempo discreto

Un sistema de control en tiempo discreto es aquel sistema en el cual una o más variables pueden cambiar solo en valores discretos de tiempo. Estos instantes, se denotan mediante kT o t_k (donde k

= 0, 1, 2,...), los cuales denotan los tiempos en los que se lleva a cabo alguna medición de tipo físico. El intervalo de tiempo entre estos dos instantes discretos es lo suficientemente corto, de modo que el dato para el tiempo entre estos se pueda aproximar mediante una sencilla interpolación.

Los sistemas de control en tiempo discreto difieren de los sistemas de control en tiempo continuo porque que las señales están en la forma de datos muestreados o en la forma digital, mientras que los sistemas en tiempo continuo, las señales son continuas en el tiempo y se pueden describir mediante ecuaciones diferenciales. Los sistemas en tiempo discreto, se describen mediante ecuaciones en diferencias después de la apropiada discretización de las señales en tiempo continuo.

2.2.11 Controlador Proporcional-Integral-Derivativo PID

Visioli¹³, dice que: "...un controlador PID (Proporcional Integral Derivativo) es un mecanismo de control por realimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener".

Astrom Hagglund¹⁴, nos menciona que en el mundo actual, a pesar de la abundancia de sofisticadas herramientas y métodos avanzados de control, el controlador Proporcional-Integral-

¹³ Practical PID Control, Antonio Visioli, Edit springer, London 2006, pag 1.(Traducción)

¹⁴ Astrom, K. and Hagglund, T. PID Controllers. 2da ed, Edit Instrument Society of America. USA 1995.

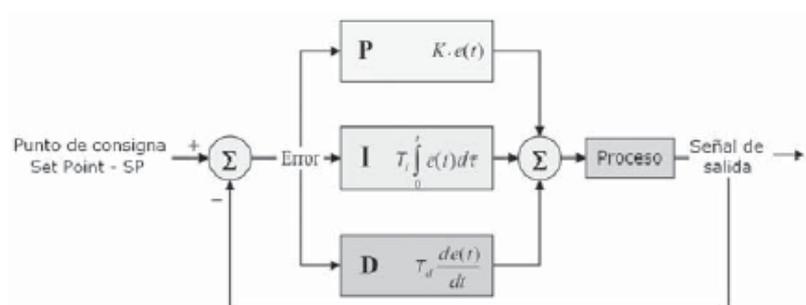
Derivativo (PID) es el más utilizado en la industria moderna, controlando más del 95% de los procesos industriales. Además, este tipo de controladores no se ha visto desplazado por los modernos algoritmos de control fruto del desarrollo de las áreas de electrónica e informática por dos grandes ventajas que posee, la robustez y las intuitivas relaciones entre sus parámetros y la respuesta del sistema.

Los controladores automáticos PID comparan el valor real de la salida de una planta o proceso con la entrada de referencia (el valor deseado), determinan el error o desviación y producen una señal de control que reducirá el error a cero o a un valor pequeño.

Un controlador PID¹⁵ en función del tiempo, está dado por la siguiente expresión:

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

La siguiente figura nos muestra el diagrama de un controlador PID.



¹⁵ Process Control: Modeling, Design, and Simulation, B. Wayne Bequette, Edit. Prentice Hall, USA 2002.pag 249.

Diagrama de un controlador PID.

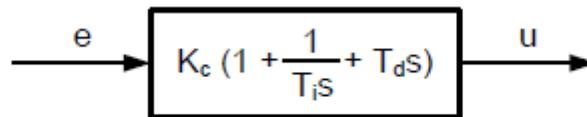


Diagrama de bloque de un controlador PID.

Donde $u(t)$, es la variable de control $e(t)$, es el error de control. El controlador PID es la suma de tres términos: el término P (que es proporcional al error), el término I (que es proporcional a la integral del error) y el término D (que es proporcional a la derivada del error).

Además, Astrom Haggund nos dice que los parámetros del controlador PID son: ganancia proporcional K_p , tiempo integral T_i y tiempo derivativo T_d .

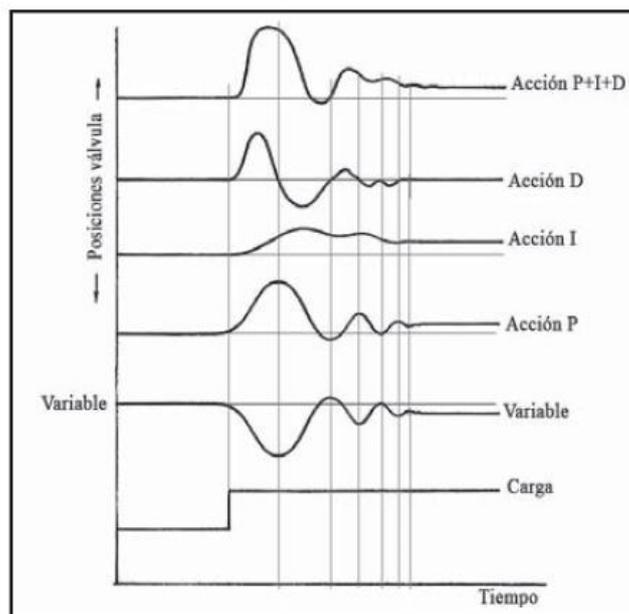
Uno de los factores más importantes a la hora de implementar un sistema de control automático es la selección del tipo de controlador que se requiere. Dado que en los sistemas industriales se emplea, básicamente, uno o una combinación de los siguientes sistemas de control:

Cuadro. Selección de sistemas de control

Lazo de control	Capacitan- cia del proceso	Resistencia del proceso	Cambio de carga del proceso	Aplicaciones
Proporcional	Pequeña a media	Pequeña	Moderada	Presión, temperatura y nivel donde el offset no es inconveniente.
Proporcional + integral	Cualquiera	Pequeña	Cualquiera	La mayor parte de aplicaciones, incluyendo el caudal.
Proporcional + derivada	Media	Pequeña	Cualquiera	Cuando es necesaria una gran estabilidad con un offset mínimo y sin necesidad de acción integral.
Proporcional + integral + derivada	Cualquiera	Grande	Rápido	Procesos con cambios rápidos y retardos apreciables (control de temperatura en intercambiador de calor).

Fuente: OGATA, Katsuhiko. Modern Control Engineering. 5ta ed. Edit Prentice Hall. USA 2002.

En la siguiente figura se muestra las acciones de cada elemento del controlador PID en un sistema de control.



Control proporcional + Integral + derivativo

2.2.11.1 Acción Proporcional

Es el tipo más simple de controlador, la acción de control produce una acción que es proporcional al error, por lo tenemos¹⁶:

$$u(t) = K_p e(t) + u_b$$

Se observa que la acción de control es simplemente proporcional al error de control. La variable u_b , es una señal de polarización o un reset. Cuando el error de control e es cero, la variable de control toma el valor $u(t) = u_b$. El valor de u_b , a menudo se fija en $(u_{max}+u_{min})/2$, pero algunas veces puede ser ajustada manualmente de forma que el error de control en estado estacionario sea cero en una referencia dada.

Si la constante K_p , es pequeña la acción proporcional será pequeña, Si, K_p es grande la acción proporcional será grande.



Control proporcional.

El controlador proporcional tiene efecto sobre el error en estado estable sólo si el error varía con respecto al tiempo, mejora el amortiguamiento y reduce el sobrepaso máximo. La parte proporcional no considera el tiempo, por tanto la mejor manera de solucionar el error permanente y hacer que el sistema contenga alguna componente que tenga en cuenta

¹⁶ Astrom, K. and Haggund, T. PID Controllers. 2da ed, Edit Instrument Society of America. USA 1995. pag 64.

la variación con respecto al tiempo es incluyendo y configurando las acciones integral y derivativa. Pero tiene una gran desventaja, atenúa el ruido en frecuencias altas.

2.2.11.2 Acción Integral

La acción integral asegura que la salida de un proceso concuerde con la referencia en estado estacionario. Al usar un controlador proporcional, normalmente existe un error en estado estacionario. Pero con la acción integral, un pequeño error positivo siempre producirá un incremento en la señal de control y un error negativo siempre dará una señal decreciente sin importar cuán pequeño sea el error. Por lo que el error en estado estacionario siempre será cero con la acción integral.

Sabiendo que la acción integral es proporcional a la o suma del error tenemos:

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

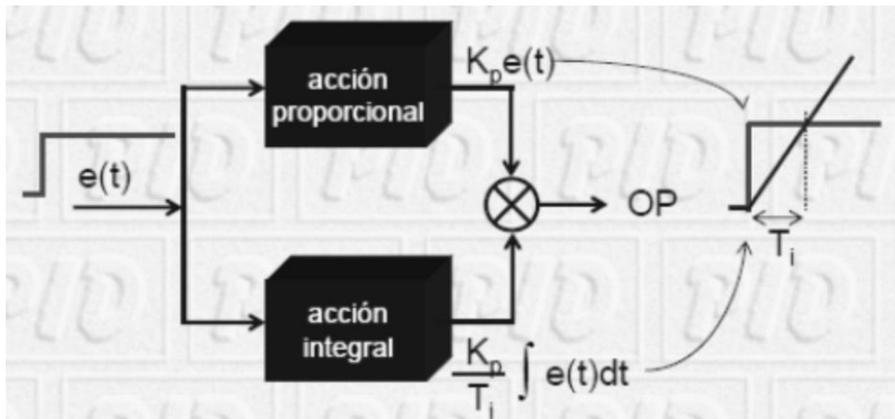
Donde K_i es la ganancia integral, la función de transferencia está dada por:

$$C(s) = \frac{K_i}{s}$$

La acción integral también puede ser vista como un dispositivo que automáticamente restablece el término u_b , dado que acción integral reduce el error en estado estacionario a un estado nulo, esta corrige el factor u_b de la acción proporcional, por lo que tenemos la siguiente

$$C(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

Astrom Hagglund menciona que el reset automático fue el que dio origen a la acción integral del controlador de tipo PI.



Control integral.

El modo de control integral tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario provocado por el modo proporcional.

El error es integrado, lo cual tiene la función de promediarlo o sumarlo por un periodo de tiempo determinado, luego es multiplicado por una constante de integración. Posteriormente, la respuesta integral es adicionada al modo Proporcional para formar el control PI con el propósito de obtener una respuesta estable del sistema sin error estacionario.

2.2.11.2.1 El Efecto Anti Windup

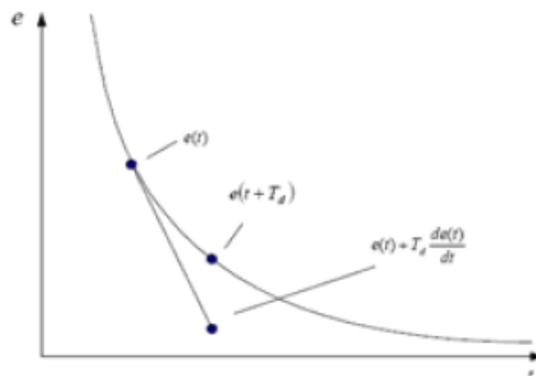
Como la integral resulta de la sumatoria de los errores de cada ciclo, se corre el riesgo de saturar la Integral para valores de error relativamente grandes, lo que trae aparejado oscilaciones bruscas y el problema de que

al tener la sumatoria un valor grande se hace mayor el tiempo necesario para reducir la suma cuando se reduce el error. Para evitar esto se hace trabajar a la integral solo dentro de valores de posición cercanos a la posición deseada de modo de integrar solo errores pequeños.

2.2.11.3 Acción Derivativa

El propósito de la acción derivativa es mejorar la estabilidad en lazo cerrado. El mecanismo de inestabilidad puede ser descrito intuitivamente como sigue. Debido a la dinámica del proceso, pasa algún tiempo antes de que un cambio en la variable de control se note en la salida del proceso. De esta manera el sistema de control tarda en corregir el error.

La acción de un controlador con acción proporcional y derivativa puede ser interpretada como si el control proporcional fuese hecho para predecir la salida del proceso, donde la predicción se hace por la extrapolación del error de control en la dirección de la tangente a su curva respectiva, como se muestra en la figura.



Interpretación geométrica de la acción derivativa como un control predictivo, donde la predicción se obtiene por extrapolación lineal.

Una de las estructuras básicas del controlador PD está dada por:

$$u(t) = K_p \left(e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

La expansión en serie de Taylor de $e(t + T_d)$ es:

$$e(t + T_d) \approx e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt}$$

De esta manera la señal de control es proporcional a un estimado del error de control en el tiempo T_d hacia adelante, donde el estimado es obtenido mediante extrapolación lineal (Astrom and Hagglund, 1995).

La función de transferencia del controlador PID correspondiente está representada por:

$$C(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Donde:

K_p : Ganancia proporcional.

T_i : Tiempo integral.

T_d : Tiempo derivativo.

La representación matemática anterior del controlador PID es equivalente a la siguiente ecuación:

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

Donde:

K_p : Ganancia proporcional.

K_i : Ganancia integral.

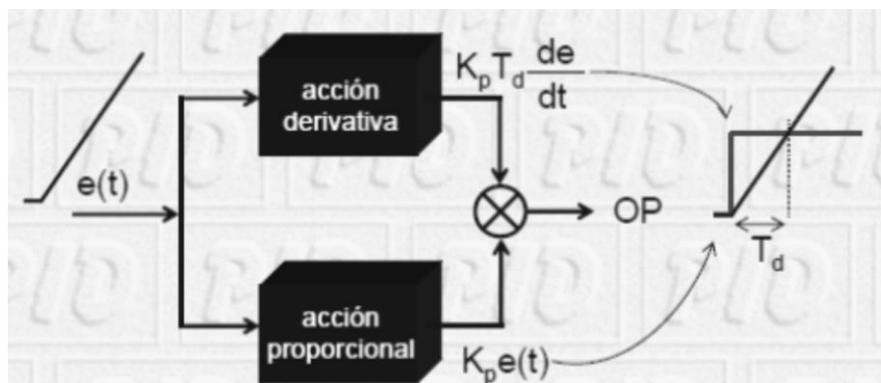
K_d : Ganancia derivativa.

Los tres parámetros que conforman el controlador se obtienen de acuerdo a las especificaciones que se deseen en un determinado proceso.

La acción derivativa se manifiesta cuando hay un cambio en el valor absoluto del error; (si el error es constante, solamente actúan los modos proporcional e integral). El error es la desviación existente entre el punto de medida y el valor asignado, o "set point".

La función de la acción derivativa, es mantener el error al mínimo corrigiéndolo proporcionalmente con la velocidad misma que se produce, de esta manera evita que el error se incremente.

Se deriva con respecto al tiempo y se multiplica por una constante D y luego se suma a las señales anteriores PI o P. Es importante controlar la respuesta de control a los cambios en el sistema, ya que una mayor acción derivativa corresponde a un cambio más rápido y el controlador puede responder adecuadamente.



Acción derivativa de un control

Cuadro. Reglas Euristicas de ajuste

	Kp	Ti	Td
Estabilidad	Se reduce	Disminuye	Aumenta
Velocidad	Aumenta	Aumenta	Aumenta
Error estacionario	No eliminado	Eliminado	No eliminado
Área de error	Se reduce	Disminuye hasta cierto punto	Se reduce
Perturbación control	Aumenta bruscamente	Aumenta gradualmente	Aumenta bruscamente
Frecuencia de lazo	No afecta hasta cierto punto	Disminuye	Aumenta

Fuente: OGATA, Katsuhiko. Modern Control Engineering. 5ta ed. Edit Prentice Hall. USA 2002.

2.2.11.4 Sintonización de controladores PID

Si se puede obtener un modelo matemático de la planta, es posible aplicar diversas técnicas de diseño con el fin de determinar los parámetros del controlador que cumpla las especificaciones en estado transitorio y en estado estacionario del sistema en lazo cerrado. Sin embargo, si la planta es tan complicada que no es fácil obtener su modelo matemático, no es posible un enfoque analítico para el diseño de un controlador PID. En este caso, debemos recurrir a los enfoques experimentales para la sintonización de estos controladores. El proceso de seleccionar los parámetros del controlador que cumplan con las especificaciones de desempeño se conoce como sintonización del controlador.

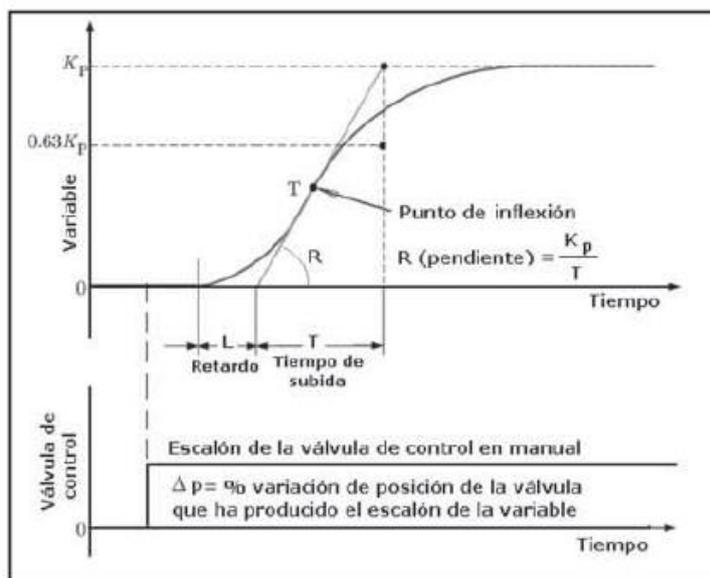
Ziegler y Nichols sugirieron reglas para sintonizar los controladores PID, en base a la respuesta experimental al escalón o en base al valor de K_p que produce estabilidad marginal cuando sólo se usa la acción de control

proporcional. Las reglas de Ziegler-Nichols, que se presentan a continuación, son muy convenientes cuando no se conocen los modelos matemáticos de las plantas. (Por supuesto, estas reglas se aplican al diseño de sistemas con modelos matemáticos conocidos).

2.2.11.4.1 Método de curva de reacción (Ziegler & Nichols en lazo abierto)

En una planta industrial no siempre es posible tolerar oscilaciones continuas, de modo que se emplea el método de lazo abierto, llamado también método de Ziegler & Nichols en lazo abierto.

El procedimiento general consiste en abrir el lazo cerrado de control antes de la válvula, es decir, operar directamente la válvula con el controlador en manual y crear un pequeño y rápido cambio en escalón en el proceso de entrada. La respuesta obtenida se graba en un ordenador de la planta, o bien se introduce en un registrador de gráfico de banda con el mayor tamaño posible del gráfico para obtener la mayor exactitud.



Método de la curva de reacción de Zeiler y Nichols.

2.2.11.4.2. Reglas de Ziegler-Nichols

Ziegler y Nichols propusieron unas reglas para determinar los valores de la ganancia proporcional K_p , del tiempo integral T_i y del tiempo derivativo T_d , con base en las características de respuesta transitoria de una planta específica. Tal determinación de los parámetros de los controladores PID o de la sintonización de los controles PID la realizan los ingenieros en el sitio mediante experimentos sobre la planta.

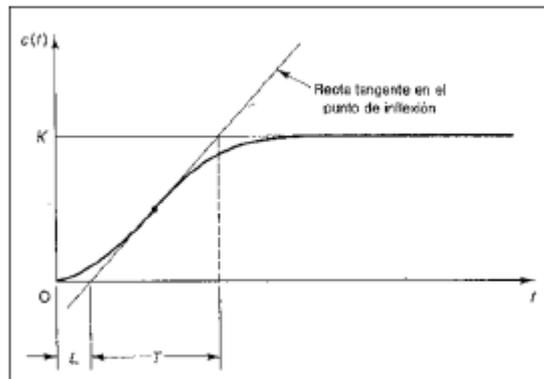
Existen dos métodos denominados reglas de sintonización de Ziegler-Nichols. En ambos se pretende obtener un 25% de sobrepaso máximo en la respuesta escalón (Ogata, 1998).

2.2.11.4.2.1 Primer Método. Método de la curva de reacción

En el primer método, la respuesta de la planta a una entrada escalón unitario se obtiene de manera experimental. Si la planta no contiene integradores ni polos dominantes complejos conjugados, la curva de respuesta escalón unitario puede tener forma de S, como se observa en la figura (Si la respuesta no exhibe una curva con forma de S, este método no es pertinente.) Tales curvas de respuesta escalón se generan experimentalmente o a partir de una simulación dinámica de la planta. La curva con forma de S se caracteriza por dos parámetros: el tiempo de retardo L y la constante de tiempo T . El tiempo de retardo y la constante de tiempo se determinan dibujando una recta tangente en el punto de inflexión de la curva con forma de S y determinando las intersecciones de esta tangente con el eje del tiempo y la línea $C(t) = K$, como se aprecia

en la figura. En este caso, la función de transferencia $C(s)/U(s)$ se aproxima mediante un sistema de primer orden con un retardo de transporte del modo siguiente:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts + 1}$$



Determinación de parámetros para el diseño del controlador.

Ziegler-Nichols sugirieron los valores de K_p , T_i y T_d de acuerdo con las formulas que aparecen en la Tabla (Ogata, 1998).

Cuadro. Regla de sintonización Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta.

Tipo de Controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2\frac{T}{L}$	2L	0.5L

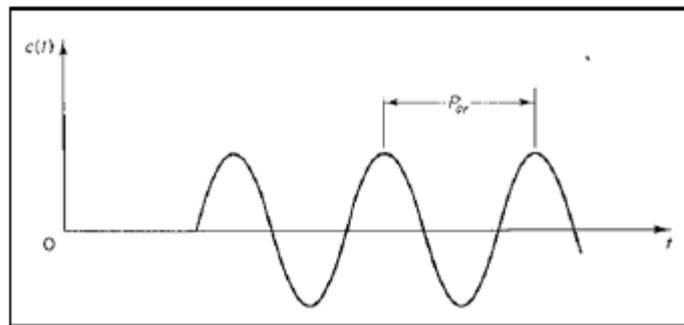
Fuente: OGATA, Katsuhiko. Modern Control Engineering. 5ta ed. Edit Prentice Hall. USA 2002.

2.2.11.4.2.2 Segundo Método. Método de oscilación

En el segundo método, primero establecemos $T_i = \infty$ y $T_d = 0$. Usando sólo la acción de control proporcional se incrementa K_p de 0 a un valor crítico K_{cr} en donde la salida exhiba primero oscilaciones sostenidas. (Si

la salida no presenta oscilaciones sostenidas para cualquier valor que pueda tomar K_p , no se aplica este método).

Por tanto, la ganancia crítica K_{cr} y el periodo P_{cr} correspondiente se determinan experimentalmente.



Oscilación sostenida con un periodo P_{cr} .

Ziegler-Nichols sugirieron que se establecieran los valores de los parámetros K_p , T_i y T_d de acuerdo con las formulas que aparecen en la Tabla 2.2 (Ogata, 1998).

2.2.12 Atmega 2560

Atmel Corp. es una compañía de semiconductores, fundada en 1984. Su línea de productos incluye microcontroladores (incluyendo derivados del 8051, el AT91SAM basados en ARM, y sus arquitecturas propias AVR y AVR32), dispositivos de radiofrecuencia, memorias EEPROM y Flash, ASICs, WiMAX, y muchas otras. También tiene capacidad de ofrecer soluciones del tipo system on chip (<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/>). Entre ellas se encuentra el Atmega 2560, que es uno de los microcontroladores con más capacidad de los que lo preceden, Posee 54 pines digitales que funcionan como entrada/salida; 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un boton de reset y una entrada para la alimentación de la placa.



2.2.13 Atmega 644

El microcontrolador de alto rendimiento, basados en RISC de bajo consumo de energía Atmel 8 bits AVR combina memoria flash 64KB ISP con capacidades de lectura, mientras que de lectura-escritura, 2 KB EEPROM, 4 KB de SRAM, líneas 32 propósito general de E / S, registros de trabajo 32 de propósito general, en tiempo real de contador, tres temporizador flexible / contadores con comparar los modos y PWM, 2 USARTs, orientado a bytes hilos 2 interfaz en serie, de 8 canales / 10 bits convertidor A / D con la etapa de entrada diferencial opcional con ganancia programable, temporizador de vigilancia programable con oscilador interno, puerto serie SPI, JTAG (IEEE 1149.1 compliant) prueba para la depuración en el chip, y los modos de ahorro de energía seleccionable de software de seis. El dispositivo opera entre 2.7-5.5 voltios (<http://www.atmel.com/devices/ATMEGA644.aspx>).

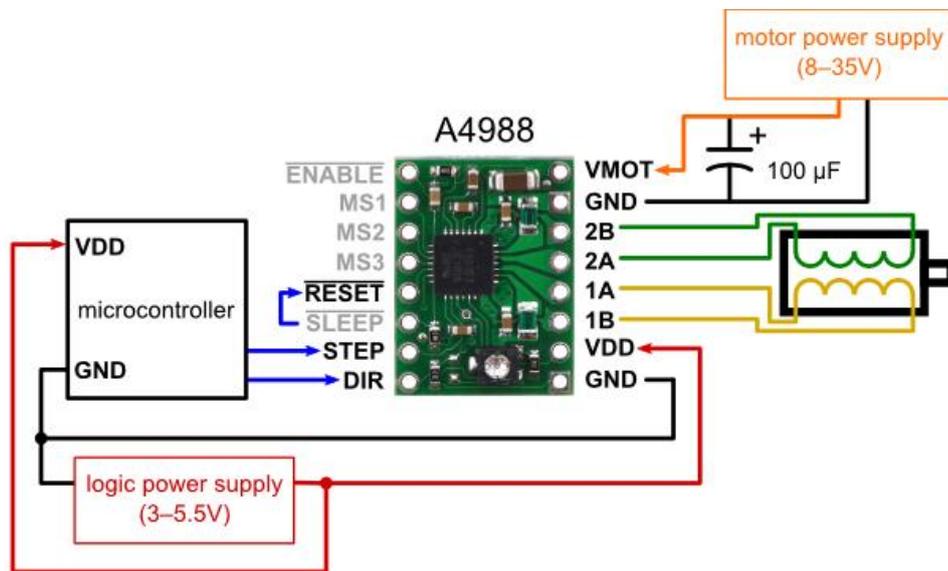


2.2.14 Atmega328

El Atmega328 AVR 8-bit es un Circuito integrado de alto rendimiento que está basado un microcontrolador RISC, combinando 32 KB ISP flash una memoria con la capacidad de leer-mientras-escribe, 1 KB de memoria EEPROM, 2 KB de SRAM, 23 líneas de E/S de propósito general, 32 registros de proceso general, tres temporizadores flexibles/contadores con modo de comparación, interrupciones internas y externas, programador de modo USART, una interface serial orientada a byte de 2 cables, SPI puerto serial, 6-canales 10-bit Conversor A/D (8-canales en TQFP y QFN/MLF packages), "watchdog timer" programable con oscilador interno, y cinco modos de ahorro de energía seleccionables por software. El dispositivo opera entre 1.8 y 5.5 voltios. Por medio de la ejecución de poderosas instrucciones en un solo ciclo de reloj, el dispositivo alcanza una respuesta de 1 MIPS, balanceando consumo de energía y velocidad de proceso (<http://www.atmel.com/devices/atmega328.aspx>).

2.2.15 Driver a4988 (pololu)

Este tablero del desbloqueo para el A4988 microstepping controlador de motor paso a paso bipolar, cuenta con límite de corriente ajustable, sobrecorriente y de la temperatura de protección, y cinco resoluciones diferentes microstep (hasta 1/16 pasos). Opera desde 8 V a 35 V y puede entregar hasta aproximadamente 1 A por fase sin un disipador de calor o el flujo de aire forzado (que tiene una capacidad de 2 A por bobina con suficiente refrigeración adicional), (<https://www.pololu.com/product/1182>).



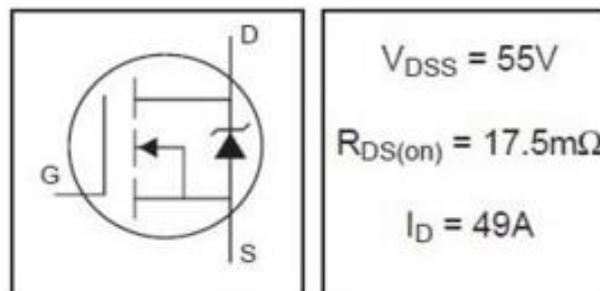
2.2.16 Circuito electrónico

Un circuito eléctrico, por lo tanto, es la interconexión de dos o más componentes que contiene una trayectoria cerrada. Dichos componentes pueden ser resistencias, fuentes, interruptores, condensadores, semiconductores o cables, por ejemplo. Cuando el circuito incluye componentes electrónicos, se habla de circuito electrónico. Entre las partes de un circuito eléctrico, se pueden distinguir los conductores (cables que unen los elementos para formar el circuito), los componentes (dispositivos que posibilitan que fluya la carga),

los nodos (puntos del circuito donde concurren dos o más conductores) y las ramas (conjunto de los elementos de un circuito comprendidos entre dos nodos consecutivos).

2.2.17 Mosfet irfz44n

El funcionamiento no se basa en uniones PN, como el transistor bipolar, ya que en éste, el movimiento de carga se produce exclusivamente por la existencia de campos eléctricos en el interior del dispositivo. Este tipo de transistores se conocen como, efecto de campo JFET (del inglés, *Juntion Field Effect Transistor*).



2.2.18 Extrusor

Es una de las partes principales de la impresora 3D, teniendo como función extruir el filamento (ABS, PLA) a temperaturas establecidas de acuerdo a las propiedades del polímero, siendo a 230°C la temperatura de fusión del ABS y 180°C la temperatura de fusión del PLA, que se utiliza para el prototipado de objetos a imprimir.

2.2.19 Cama caliente

La función que cumple en el proyecto es como soporte y base del prototipo a imprimir. Es importante ya que si se trabaja con ABS tiene que estar a un rango de temperatura de 70 a 90 °C, de ahí el nombre de cama

caliente. Mientras si se trabaja con PLA se trabaja a temperatura ambiente.

2.3 Diseño y Montaje de la Impresora 3D

Teniendo en consideración los modelos de impresoras 3D existentes, se opta por un modelo distinto y fácil de construir, más adelante se explicará el montaje con piezas existentes en el mercado.

2.3.1 Diseño de la Estructura

Es una de las partes más importantes de la impresora 3D, si bien es cierto la electrónica es la parte fundamental de la impresora, el diseño de la parte mecánica es muy importante, de ello depende si nuestros prototipos impresos tengan las medidas de diseño.

Diseño del soporte de la cama caliente.

El diseño de la estructura para el soporte de la cama caliente “heatbed”, desarrollado en Solidworks.

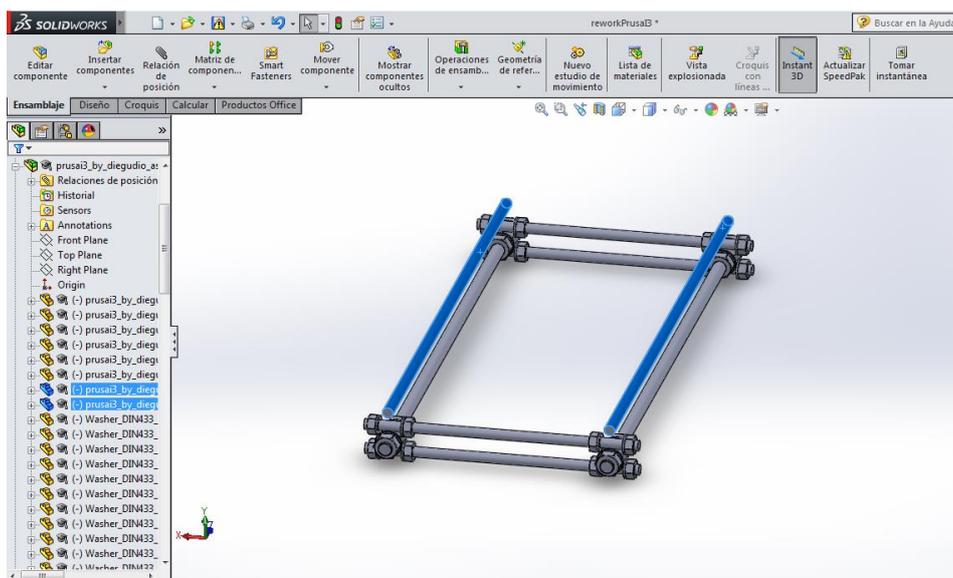


Figura 9.

Diseño de los ejes “Y”, “X” y “Z”

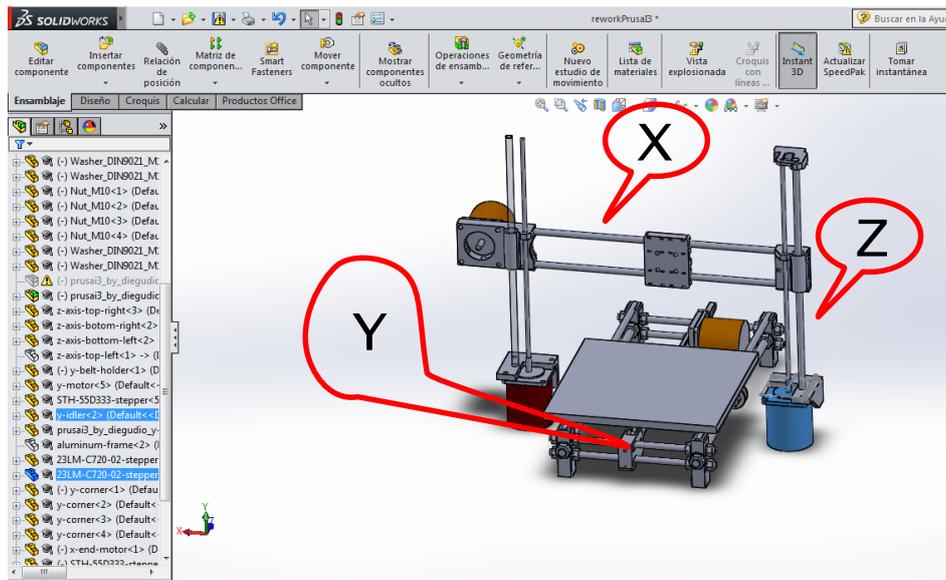


Figura 10.

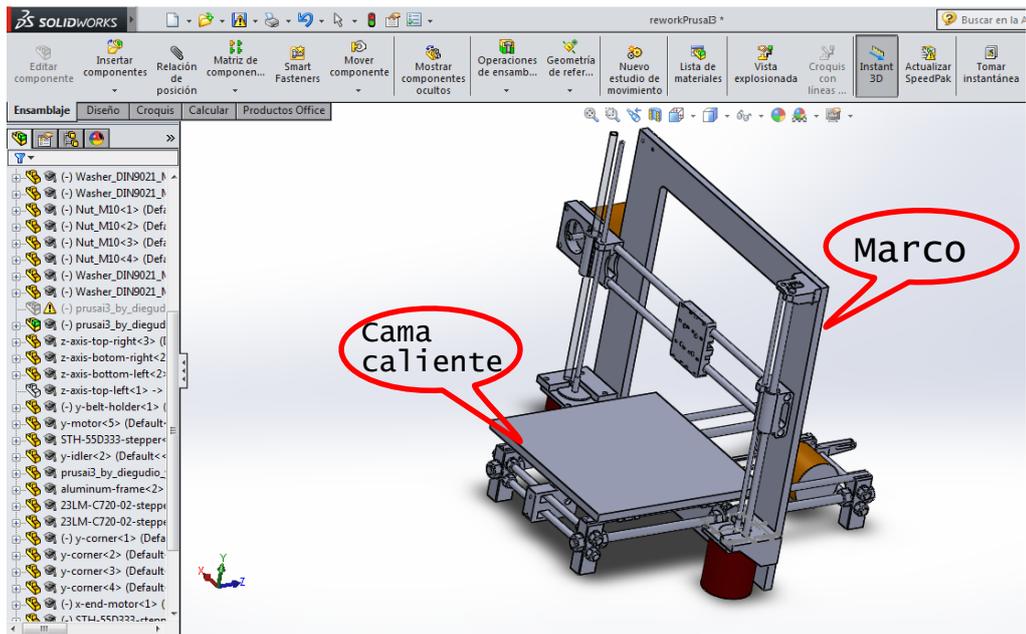
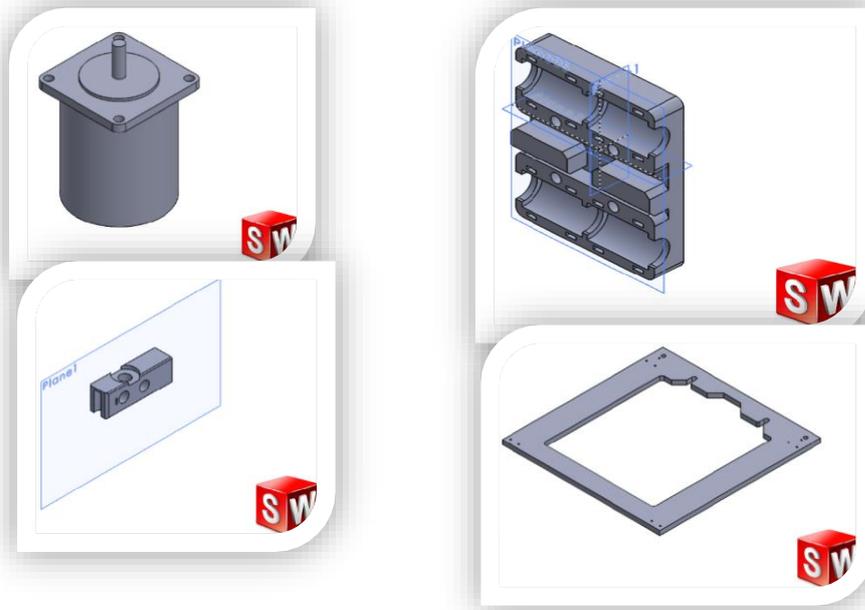


Figura 11.

Se diseñó las piezas que formaran parte de la estructura de la Impresora 3D en el Solidworks.



Quedando completa el diseño de la impresora 3D ver imagen.

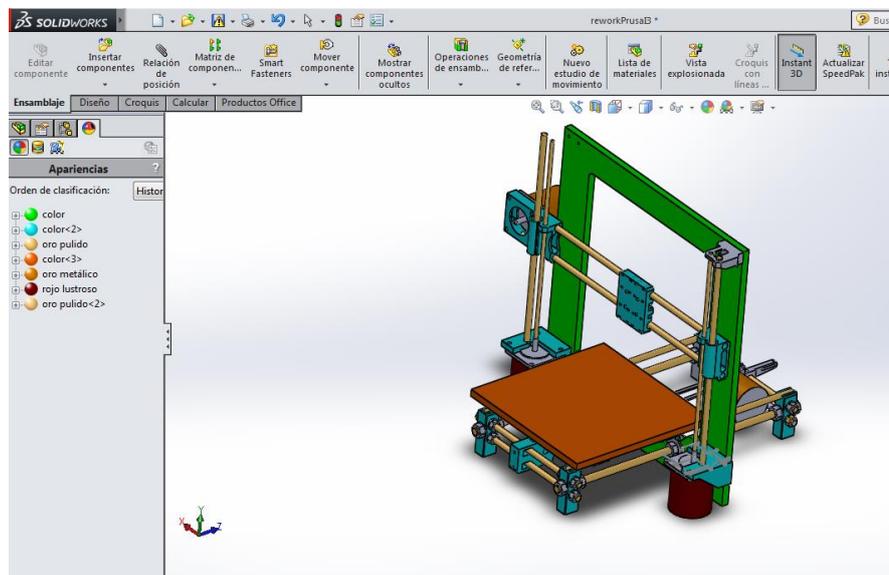


Figura 12.

Se realizó el diseño de la parte mecánica, más adelante se mencionara los diseños realizados en el Software Repetier la parte imprimible.

2.3.2 Estructura y partes para el montaje

Antes del montaje mencionaremos las piezas y partes que se utilizara para el montaje de nuestra impresora 3D, como también tener presente algunos conceptos que se mencionará más adelante. Para la realización del montaje es indispensable contar con herramientas como: Escuadras, Vernier, lápiz, etc.

2.3.2.1 Preparación de Varillas para los ejes “X, Y, Z”.

Para comenzar a ensamblar nuestra Impresora 3D, se debe cumplir con las siguientes especificaciones y medidas de varillas para los ejes “X, Y, Z” y cumplir con las medidas Tabla 1.

M5 Rosca	M8 Lisa	M8 Rosca	M10 Rosca
2 x 300mm	2 x 370mm	4 x 205mm	2 x 380
	2 x 350mm		
	2 x 320mm		
600mm	2100mm	820mm	760mm

Tabla 1. Medida de corte para las varillas

Las medidas se distribuyen de la siguiente manera:

- ✓ 2 varillas lisas M8 de 370mm, para el eje “Y”.
- ✓ 2 varillas lisas M8 de 350mm, para el eje “X”.
- ✓ 2 varillas lisas M8 de 320mm, para el eje “Z”.
- ✓ 2 varillas tipo rosca M5 de 300mm, para el eje “Z”.
- ✓ 4 varillas tipo rosca M8 de 205mm, para el eje “Y”.
- ✓ 2 varillas tipo rosca M10 de 380mm, para el eje “Y”.

Varillas M8 lisas figura 13.



Figura 13.

Varillas M10, M8 y M5 figuras 14 y figura 15.



Figuras 14. M8 y M5



Figura 15. M10

Para el montaje se necesitarán de las piezas impresas

Estructura de Melanime para el marco de la impresora 3D figura 16.



Diseño del Marco



Figura 16.

2.3.2.2 Piezas imprimibles (hechos de polímeros ABS)

El diseño de estas piezas son necesarias para las uniones de la estructura, que se desarrolló en solidwork, para que luego se importara hacia el software Repetier y luego imprimirlas según escala adecuada para la impresora 3D, estas piezas forman parte importante de la impresora 3D ya que sin ellas no sería posible armar esta máquina, debido a que forman parte de los ejes "X, Y, Z" que se mostrará más adelante Figura 17a. Se muestran las piezas ya impresas necesarias para el montaje de la impresora 3D figura 17b.

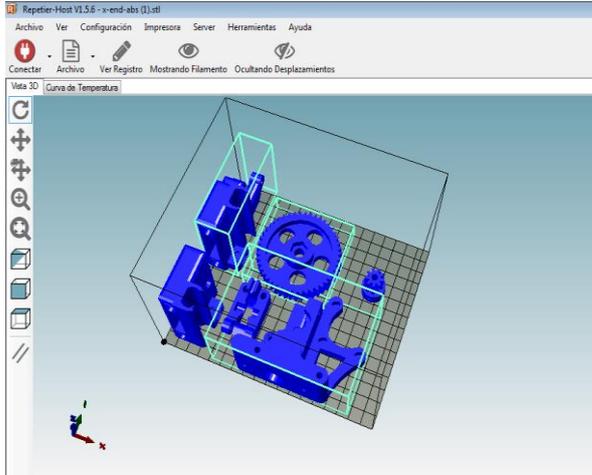


Figura 17a.

Figura 17b. Piezas impresas para la impresora 3D.

2.3.2.3 Motores

Los motores para la impresora 3D son Stepper bipolares de 2 ó 1.5 amperios, para el buen funcionamiento de la impresora 3D, estos motores tienen la particularidad de tener precisión y repetitividad en cuanto al posicionamiento. Entre sus principales aplicaciones destacan como motor de frecuencia variable, motor de corriente continua sin escobillas, servomotores y motores controlados digitalmente figura 18.



Figura 18. Motores Nema 17

2.3.2.4 Acoples, rodajes

Es necesario contar con estas piezas ya que nos brindan mayor precisión al momento de calibrar la impresora 3D. Se utilizarán rodamientos lineales, acople de M5 por M8 y rodajes pequeños.

Rodamientos Lineales

Los rodamientos lineales son elementos de rodadura para movimientos de traslación. Igual que en el caso de los rodamientos rotativos, se distingue si las fuerzas que se producen son transmitidas por elementos rotativos o por elementos de fricción.

Los requisitos para los componentes lineales son tan diferentes como las aplicaciones en las que se utilizan. En sistemas de transporte y de alimentación se requiere, sobre todo, velocidad y precisión, mientras que en aparatos de medición, por ejemplo, es más importante la precisión y la rigidez. En la impresora 3D se utilizará 3 unidades para el eje Y, 4 unidades para el eje Z y 3 unidades para el eje X figura 19.



Figura 19. Rodamientos lineales.

Rodamientos Rotativos.

Es un rodamiento, también denominado informalmente o vulgarmente, rodaje (en Perú); caja de bolas (en Cuba, República Dominicana y Puerto Rico); rol en Costa Rica o también bolillero o rodajes orulimán (en Ecuador), es un tipo de cojinete (como se le llama en Guatemala), que es un elemento mecánico que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a éste por medio de rodadura, que le sirve de apoyo y facilita su desplazamiento figura 20.



Figura 20. Rodamientos rotativos.

Acoples Flexibles

Estos tipos de acoples ayudan a compensar los posibles paralelos desalineados que podrían desarrollarse al momento de imprimir en la impresora 3d, cabe resaltar que estos acoples son fundamentales e importantes para el armado de la impresora 3D figura 21.



Figura 21. Acoples flexibles para la impresora.

2.3.3 Montaje

Teniendo todas las piezas necesarias para el montaje de la impresora 3D puedo empezar a armar la estructura que es parte muy importante de este proyecto.

2.3.3.1 CAPITULO 1

En este capítulo procederemos a armar la base de la cama caliente con 4 varillas roscadas M8, 2 varillas roscadas M10 y 2 varillas lisas M8.

Empezaremos a armar la base del motor eje "Y", cogemos dos varillas M8 sus respectivas tuercas y arandelas, y una pieza impresa para la unión del motor, figuras 22a y 22b.

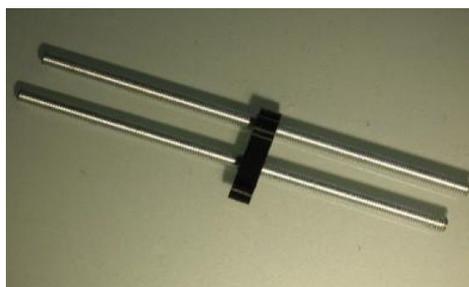


Figura 22a.

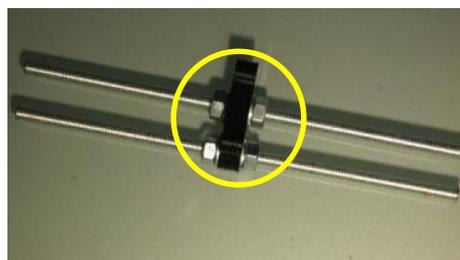


Figura 22b.

Cogemos otras dos varillas tipo rosca M8 de medidas 205mm, para la unión de la polea (polea de rodaje) Figuras 23a y 23b respectivamente.

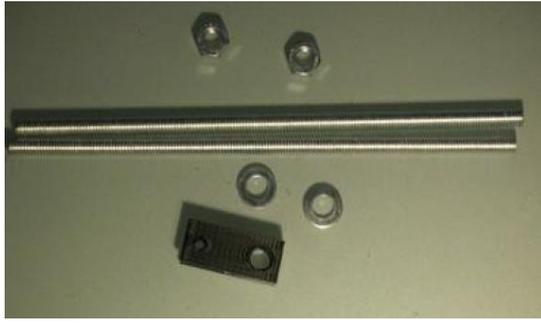


Figura 23a. Sin armar

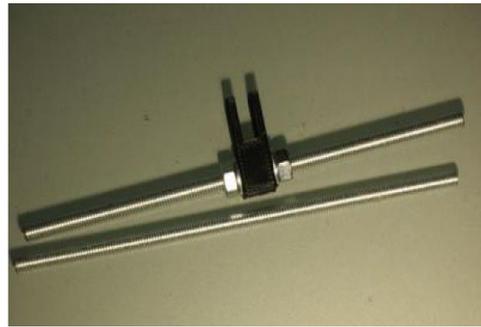
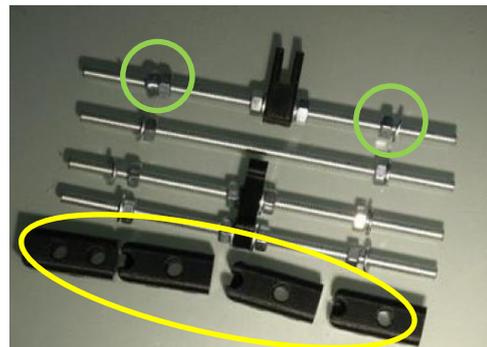


Figura 23b. Armado sin el rodaje

Luego se pone una tuerca y una arandela respectivamente como se verán en la siguiente imagen, y coger 4 soportes impresos para la las uniones entre las varillas ya mencionadas en las líneas anteriores, figura 24.



Figuras 24a y 24b respectivamente.

Cogemos dos soportes y colocamos en cada extremo de las varillas ya armadas, separamos con las arandelas y turcas que se dejaron libres, se puede ver en la figura 24b. Se debe tener cuidado en colocar los soportes ya que la orientación del agujero deben de estar en la misma dirección figura 25.

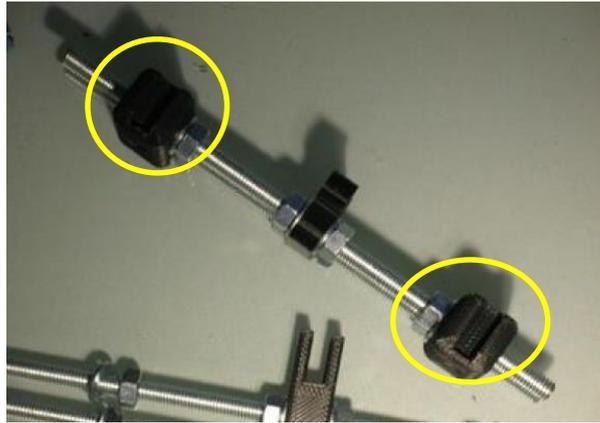


Figura 25.

Para tener listo todas las varillas M8, cerramos con una arandela y tuerca respectivamente, luego procedemos a alinear y a ajustar para que todo quede centrado figura 26.



Figura 26.

Siguiendo con el montaje de la estructura para el eje "Y" cogemos las dos varillas M10 de 380 mm, luego colocamos una tuerca y arandela en cada extremo de la varilla ubicada a unos 40 mm como en las figura 27 y 28.

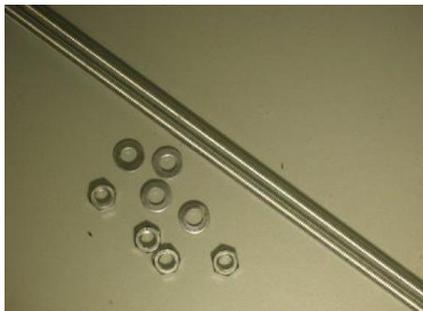


Figura 27



Figura 28

Cogemos las dos varillas M10, junto con las varillas M8 como vemos en las figuras 29, 30 y serramos con una arandela y tuerca para luego asegurar. Apretamos las tuercas interiores como exteriores para sujetar las varillas a las piezas impresas.

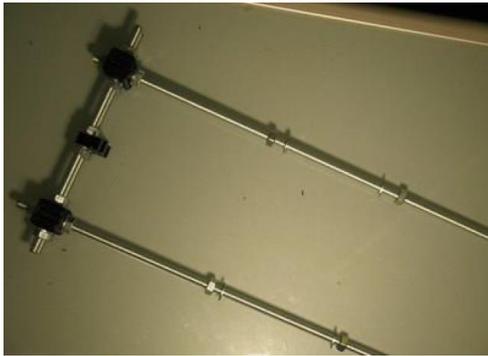
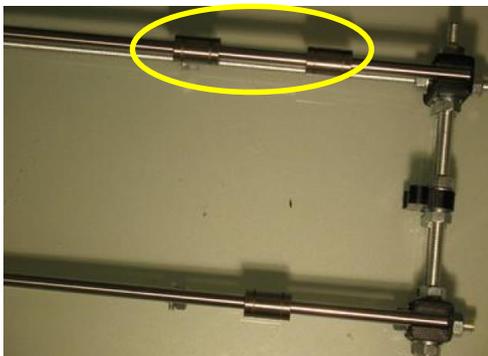


Figura 29



Figura 30

Luego cogemos las dos varillas lisa M8 y los colocamos los rodamientos lineales de los cuales 2 unidades en una varilla y 1 unidad en una varilla, que servirá para deslizar la plataforma de la cama caliente como veremos en la figuras 31.



Figuras 31a.

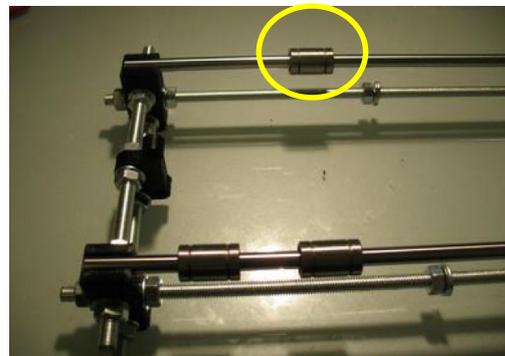
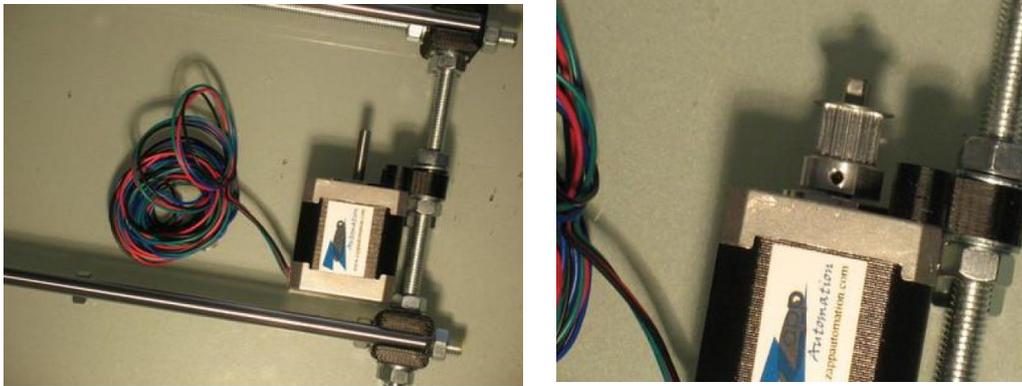


Figura 31b.

Ya con la estructura de la plataforma armada colocamos el motor y la faja respectivamente figuras 32.



Luego colocamos los rodamientos lineales en las piezas impresas que irán en el soporte de la cama caliente ubicadas adecuadamente como se puede ver en las figuras 33a, 33b respectivamente, luego serán colocados en la varilla lisa M8 figura 34.

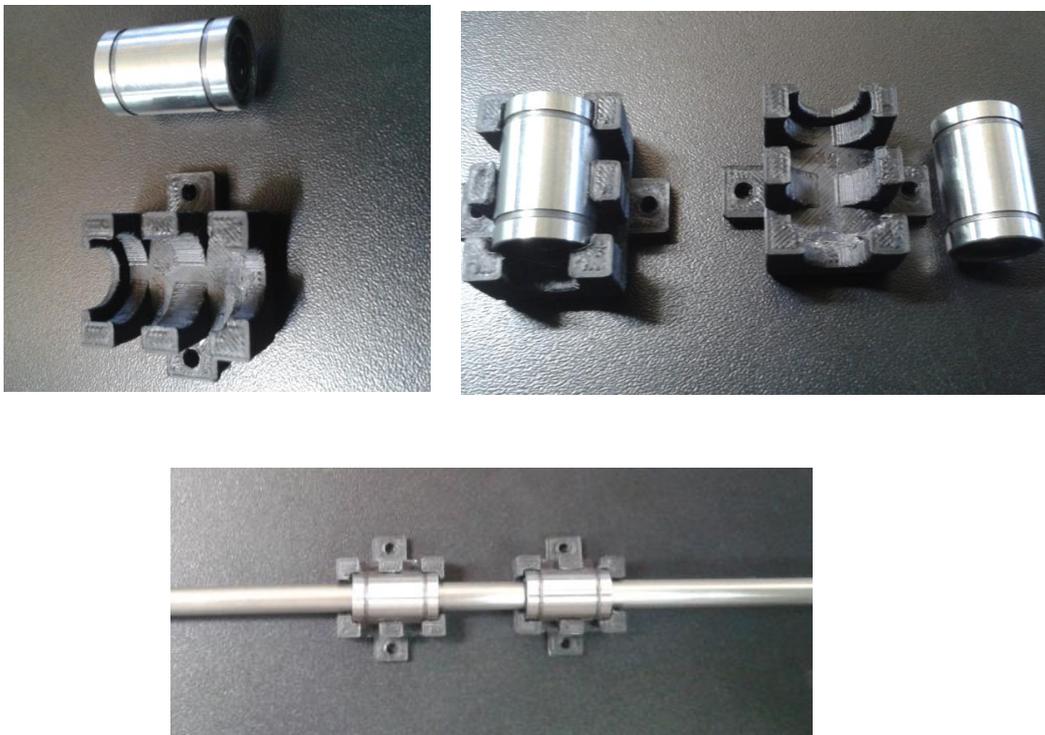
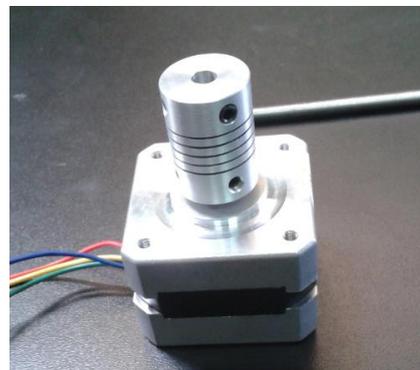


Figura 34.

Continuamos con el armado del Marco de melanime y plataforma de la cama caliente figuras 35.



Para el montaje del marco necesitaremos armar los motores del eje "Z" como también las piezas impresas que las conforman y piezas como eje sinfín de 5mm, acoples de aluminio como se ve en las figuras 36a, 36b, 36c respectivamente.

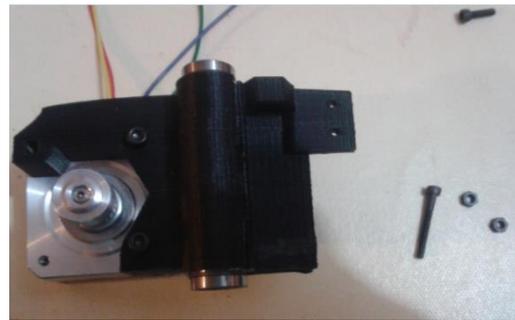


Necesitaremos también armar el eje "X" ya que es de importancia para completar con el montaje del marco, Empezaremos con el montaje de las piezas impresa con los rodamientos lineales que serán colocados 2 unidades por cada pieza, como se puede ver en la figura 37, que posteriormente se acoplará con el motor figura 38,

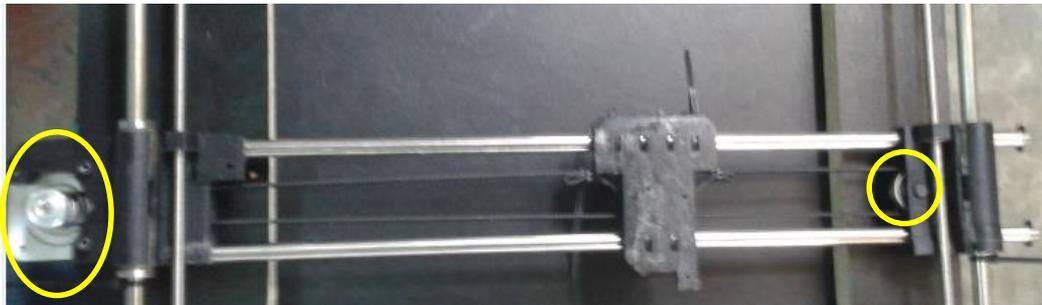
Figura 37.



Figura 38.



Cogemos dos unidades de varillas lisas M8 que se unirán a las piezas ya armadas figura 39, la ubicación será motor lado izquierdo y polea lado derecho como en la figura 40.



Juntando todas las piezas mencionadas anteriormente (motores, varillas, el eje X, etc.) el marco de melanime quedará de la siguiente manera figura 41.

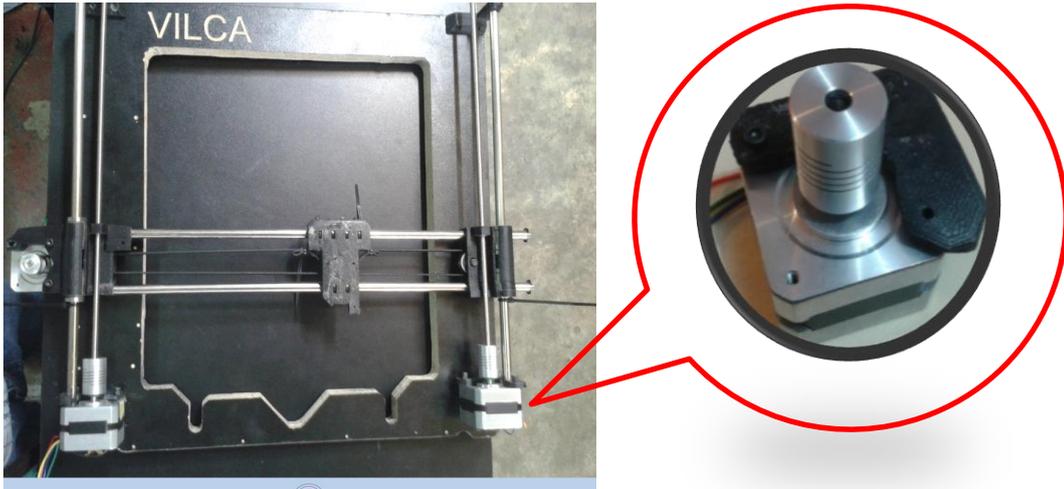


Figura 41. Marco de melanime con los 2 motores del eje "Z" y la estructura del eje "X".

Luego procedemos al montaje de la plataforma de la cama caliente y la estructura ya armada, como podemos ver en las figura 42a, 42b, quedando así la parte mecánica lista, que en sí resulta un poco tediosa pero no imposible de armar, ya que una estructura bien armada la calibración de la parte eléctrica será más fácil que en los próximos capítulos se verá.



2.3.4 Extrusor para la Impresora 3D

El montaje de la extrusora va a ser una de las partes más delicadas de la impresora 3D y seguramente una de las que más problemas nos va a dar, por lo menos hasta que no conozcas bien tu extrusor, va a ser normal encontrarse con atascos, con que patina el filamento y mil problemas más, por ello debes de familiarizarte cuanto antes con él y conocerlo, para detectar estos problemas rápidamente.

Al tener el extrusor bien calibrado y correctamente montado va a repercutir de manera muy directa sobre la calidad de la impresión, por eso vale la pena dedicarle un poco más de tiempo y realizar un buen montaje de esta parte.

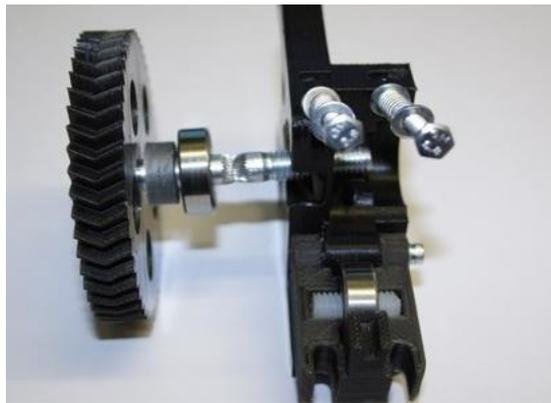
Para realizar este montaje, vamos a necesitar las siguientes piezas figuras 43:

- ✓ Las piezas de plástico necesarias, cuerpo del extrusor, engranajes
- ✓ 1 Motor NEMA 17
- ✓ 1 Tornillo dentado
- ✓ 3 Rodamientos 608zz
- ✓ 1 Trozo de varilla lisa de métrica 8 y 20mm de longitud
- ✓ Tuercas de métrica 8



Figuras 43. Piezas impresas para el extrusor, tornillos y motor.

Cogemos las piezas impresas y tornillos mencionados en la viñeta anterior y procedemos a ensamblar todas las piezas, para así tener un buen extrusor figura 44 y 45.



Figuras 44 y 45. Ensamblando del extrusor.

2.4 Diseño y Montaje de la Electrónica de la impresora 3D

2.4.1 Conceptos Fundamentales

Entre estas posibilidades encontraremos microcontroladores tan conocidos como los Arduino, entre ellos modelos como el Mega 2560, el Mega (o ATmega) 1280, Atmega 328p, etc.; que deberán ir con un circuito integrado como, por ejemplo, el modelo denominado Ramps; que será objeto de estudio en este proyecto, También encontraremos otros modelos como el denominado Gen. Y encontraremos otras placas, como los modelo Sanguinololu, que incorporan tanto el micro controlador como el circuito integrado en una sola placa.

Estos circuitos integrados pueden desarrollarse teniendo los componentes por un lado y el circuito impreso por otro, en mi caso tomaré la opción de desarrollarles tres tarjetas como son: con Atmega 2560p, Atmega 644P y el Atmega 328pe.

Escojamos la opción que escojamos en cuanto a electrónica, el circuito estará compuesto por una series de componentes como resistencias, condensadores, pines, etc.

En este apartado del proyecto se quiere describir los componentes más significativos de la placa electrónica, como son el conector USB, el botón de reset, los drivers de los motores (Pololus/Stepstick), los jumpers, o los mosfet.

Además se describirán otros componentes electrónicos que forman parte de la estructura de la impresora. Se concluirá con una breve descripción de los requisitos de la fuente de alimentación que debemos usar para nuestra impresora.

Conector USB

El conector USB, como se verá más adelante, que se mostrara las placas Arduino Mega 2560 con Ramps y la Sanguinololu 1.3a respectivamente y Atmega 328p, deben ser de tipo B. Nos servirá para conectar la electrónica a un ordenador desde el que controlaremos la impresora. Esta conexión USB servirá por tanto para comunicación de datos entres el ordenador y la impresora, pero además nos servirá para suministrar una alimentación de 5 V DC a nuestro microcontrolador. Marco Esteban Illescas Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática Trabajo Fin de Grado: Construcción de una impresora 3D Open Source Junio de 2.012

Botón de Reset

El botón de reset no es un elemento crítico para la electrónica, aunque puede sernos tremendamente útil, sobre todo en la etapa de calibración o pruebas, para reiniciar la impresora rápidamente, sin tener que cortar la alimentación a la misma, en caso de tener algún problema. Este botón es más accesible en los modelos de Atmega 2560 que en Atmega 644p,

Drivers para los motores

Los drivers para controlar los motores paso a paso son unos microcontroladores, más pequeños, que conectamos a la placa electrónica, tanto al Atmega 644p, como al Atmega 2560 (en el caso de Arduino + Ramps). En concreto, se usan los del modelo Pololu A4988,

que es el modelo de la figura 46.

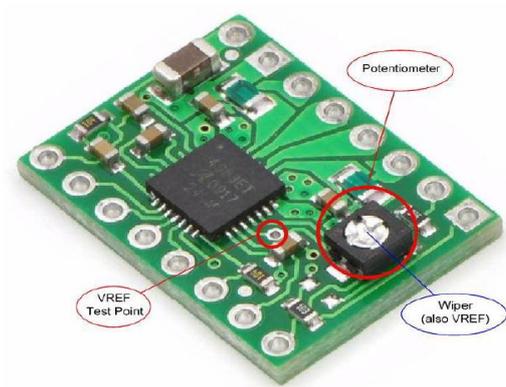


Figura 46. Driver A49988.

2.4.2 Diseño del circuito electrónico

El diseño del circuito es muy importante, existen una variedad de software en mi caso utilizo el Proteus, Eagle, KiCad, mostraremos los diseños realizados en el Software Eagle, ya que es uno de las partes más importantes de la Impresora 3D, pasaremos a mencionar los componentes electrónicos para la tarjeta electrónica de la impresora 3D. Componentes electrónicos que serán necesarios para el armado de la tarjeta Cuadro 01.

J1	USB	USBPTH
C7	0.1uF	CAPPTH2
C8	0.1uF	CAPPTH2
C11	0.1uF	CAPPTH2
C15	0.1uF	CAPPTH2
C16	4.7uF	CAP_POLPTH2
R1	1k (1.5k)	RESISTORPTH1
R2	100k	RESISTORPTH1
R3	100k	RESISTORPTH1
R4	100k	RESISTORPTH1
R5	100k	RESISTORPTH1
C1	100uf	CAP_POLPTH1
C2	100uf	CAP_POLPTH1

C3	100uf	CAP_POLPTH1
C4	100uf	CAP_POLPTH1
R6	10k	RESISTORPTH1
R11	10k	RESISTORPTH1
R7	100k - 1.3a unicamente!	RESISTORPTH1
R8	100k - 1.3a unicamente!	RESISTORPTH1
C9	10uF	CAP_POLPTH2
C10	10uF	CAP_POLPTH2
R9	4.7k	RESISTORPTH1
R10	4.7k	RESISTORPTH1
DIP-40	SOCKET	
Y1	16MHz 22pF	RESONATORPTH
Q1	RFP30N06LE	MOSFET-NCHANNELPTH2
Q2	RFP30N06LE	MOSFET-NCHANNELPTH2
C12	1000uF	CAP_POLPTH4
S1	RESET	TAC_SWITCHPTH
LED1	POWER	LED3MM
IC1	LM7805	VREG
C5	0.33uF	CAPPTH2
C6	0.1uF	CAPPTH2
JP23	SCREW	M025MM

Cuadro 01. Lista de componentes.

Es importante realizar el diseño de la tarjeta, en mi caso se realizó en el software Eagle para el Atmega 644p, como se ve en la figura 47.

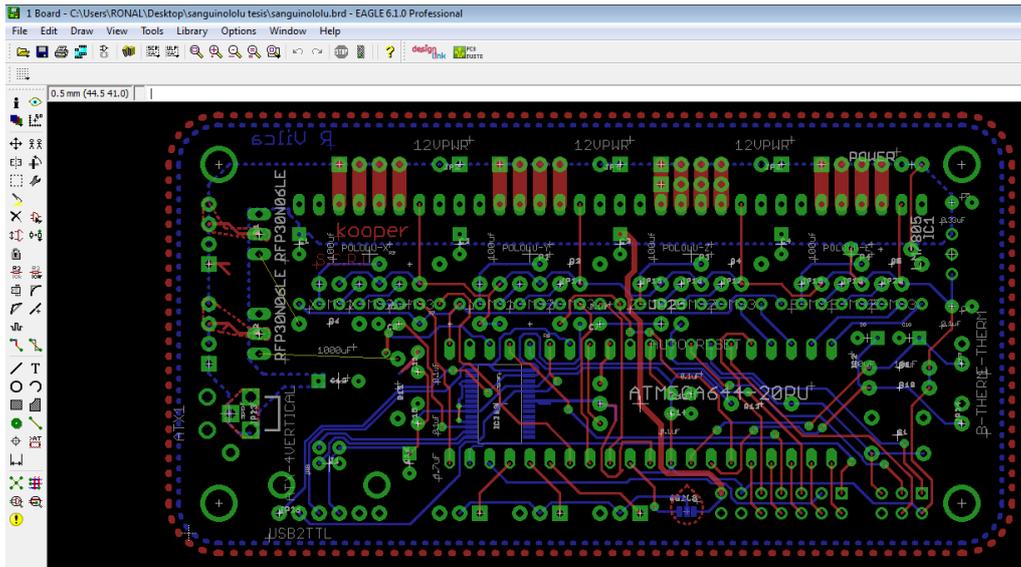


Figura 47. Diseño de la tarjeta en dos capas.

El resultado del circuito podremos ver en la siguiente figura 48, donde se verá el quemado de la placa, como también el montaje de todos los componentes necesarios.

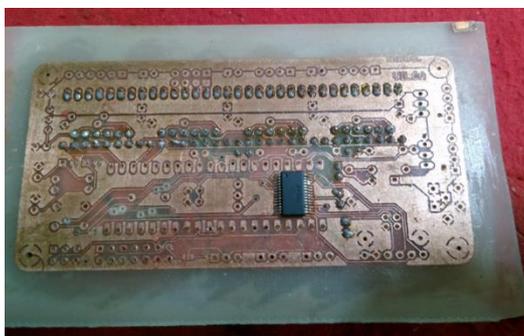


Figura 48.

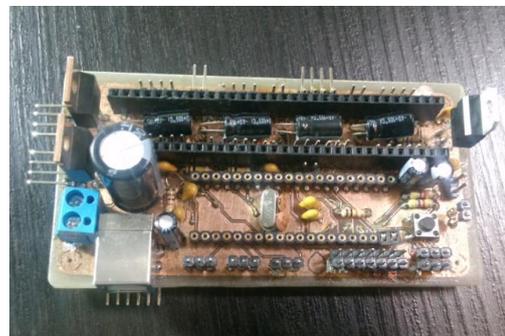


Figura 49.

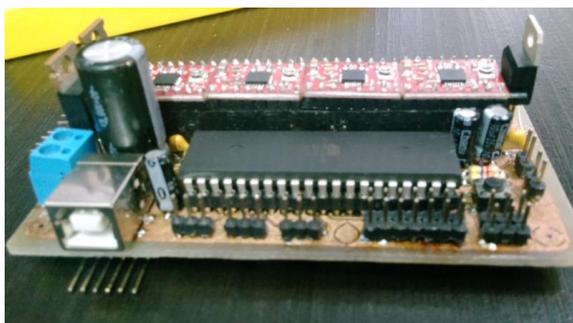


Figura 50.

Figura 48. Componente FT232 de comunicación soldada a la tarjeta.

Figura 49. Componentes soldadas a la tarjeta.

Figura 50. Placa terminada con el Atmega 644p.

Como también se desarrolló otra tarjeta con un Atmega 328p que mostraremos a continuación, el diseño de la tarjeta se desarrolló en el software Eagle figura 51.

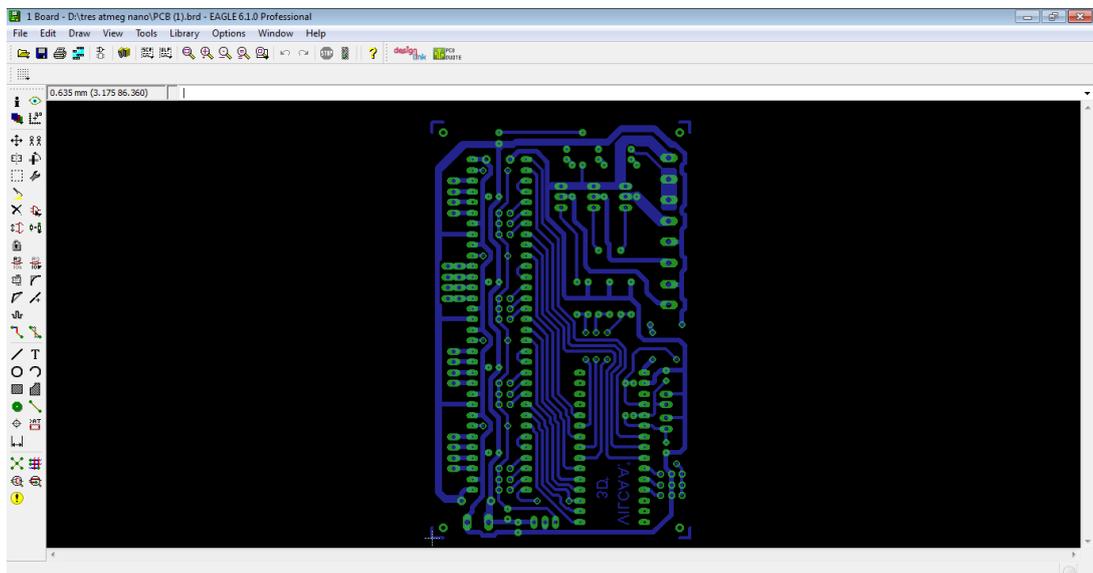


Figura 51. Diseño de la tarjeta con Atmega 328p.

A continuación mostraremos la tarjeta electrónica con el Atmega 328p Figura 52, como también la tarjeta para prueba con el Atmega 328p y un driver de motor de pasos figura 46.

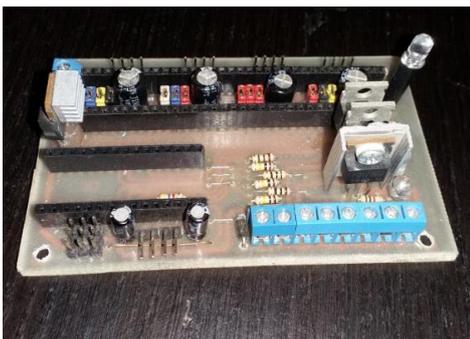


Figura 52. Tarjeta electrónica con los componentes ya montados.

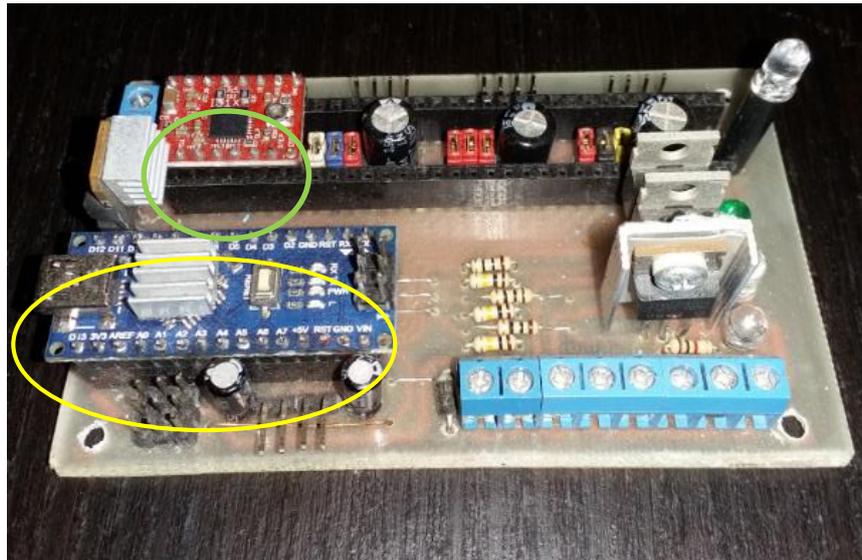


Figura 53. Tarjeta electrónica con un driver A4988 para motor de pasos bipolar, y Atmega 328p, “reprap.org”.

El desarrollo del circuito electrónico en el software Eagle Shiel Atmega 2560p, distribución de componentes en el software Eagle figura 54, y componentes PCB para impresión de la tarjeta figura 55.

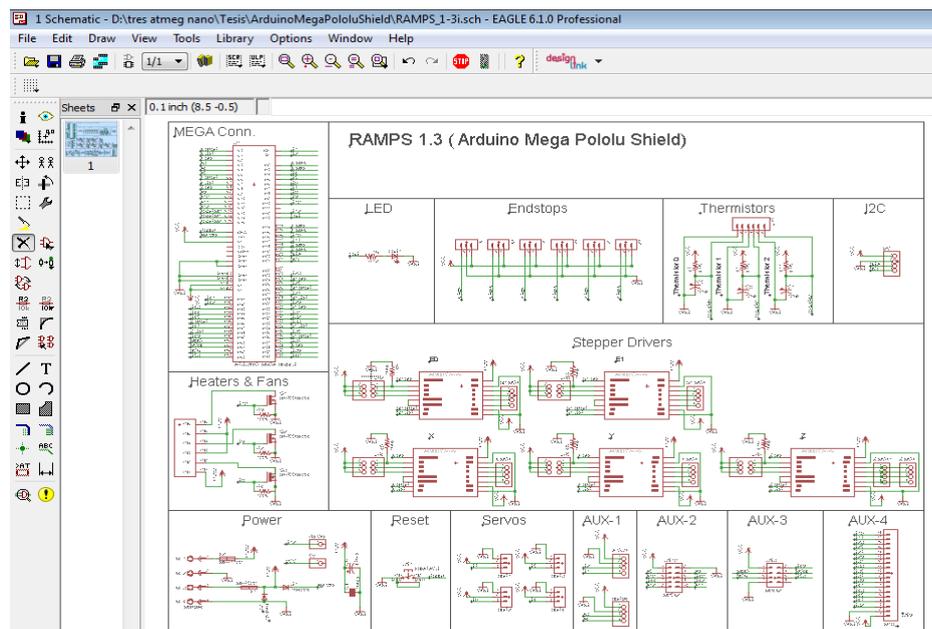


Figura 54. Shiel para el Mega 2560.

La distribución de los componentes para el circuito impreso es muy importante, ya que de ello dependerá el tamaño del circuito electrónico.

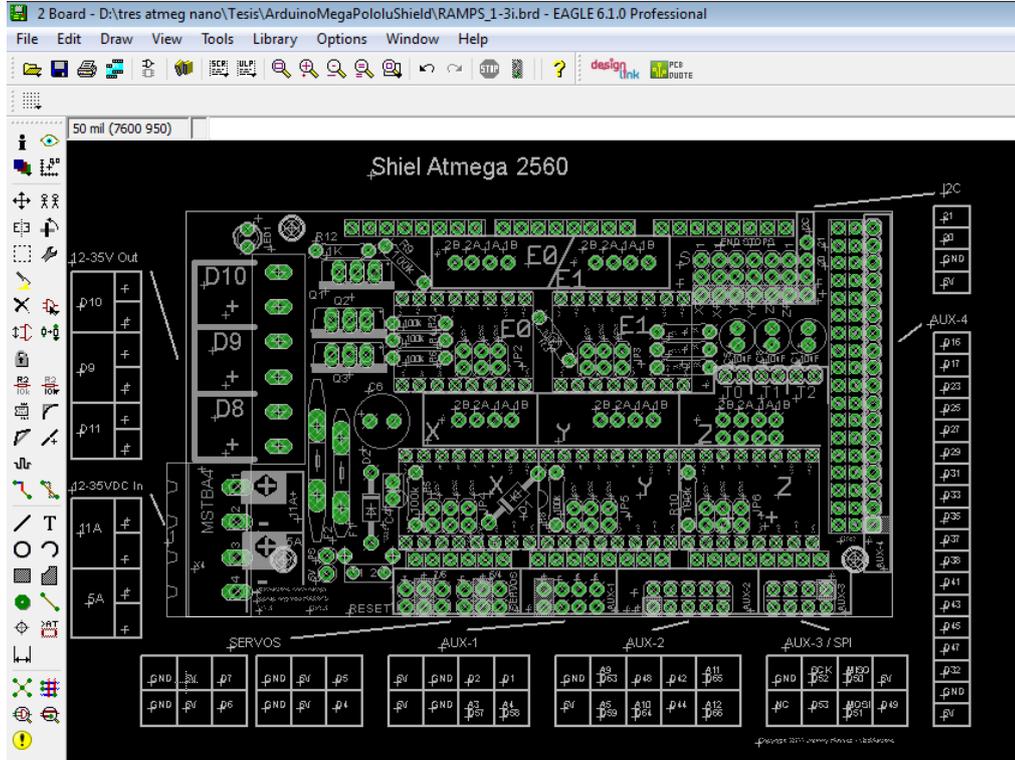


Figura 55. Lado de componentes del circuito Shiel Atmega 2560.

En la figura 56, se puede ver la capa N° 2 del PCB para el circuito a imprimir, “reprap.org”.

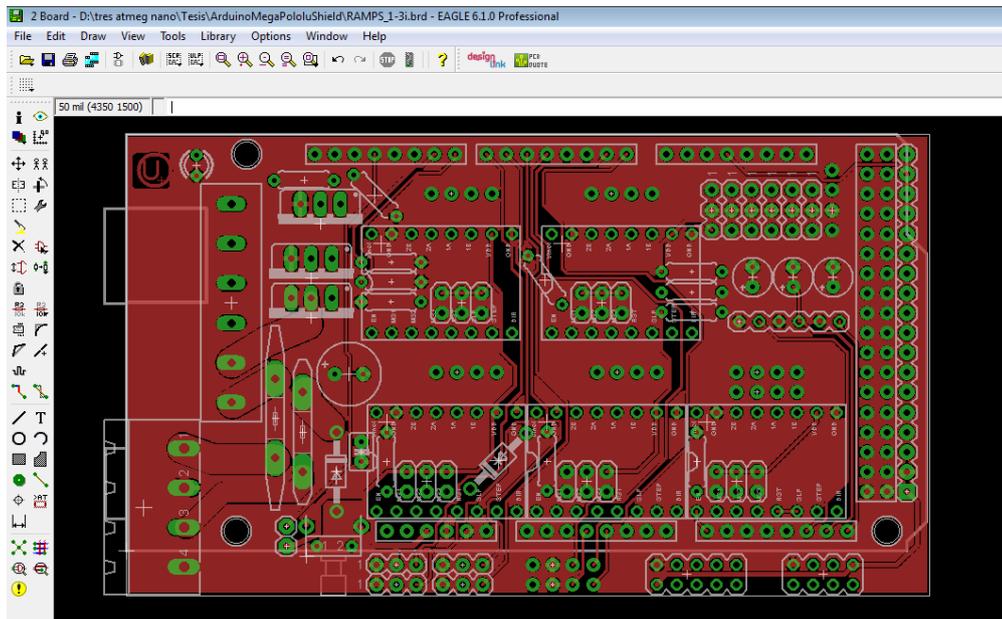


Figura 56. PCB lado 2 para circuito a imprimir.

También se puede ver el diseño del circuito a imprimir Shiel Atmega 2560
Capa del PCB N° 1, Figura 57.

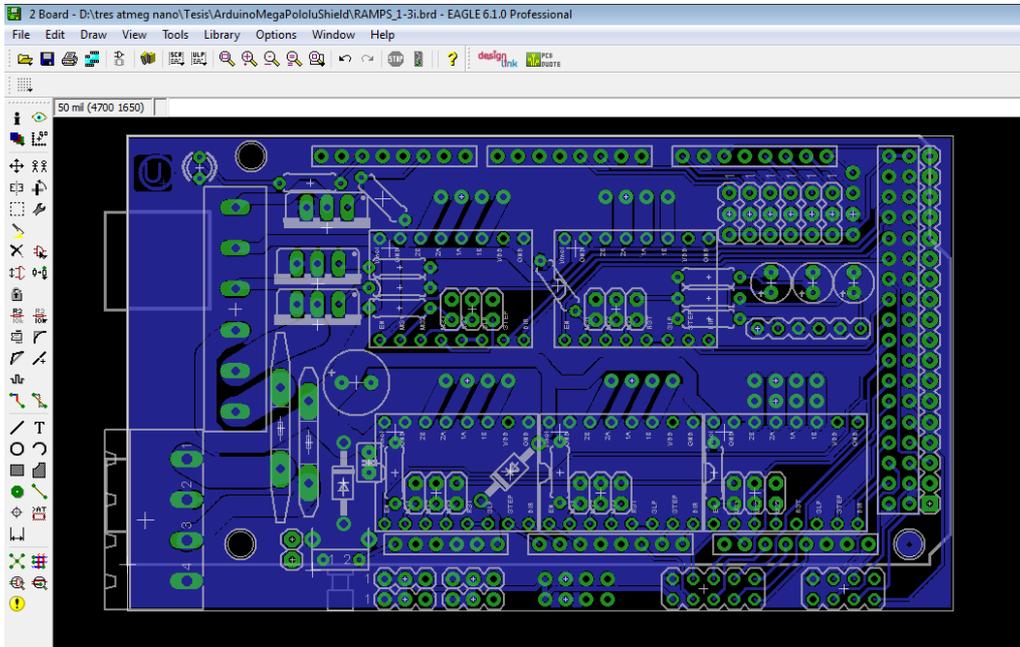
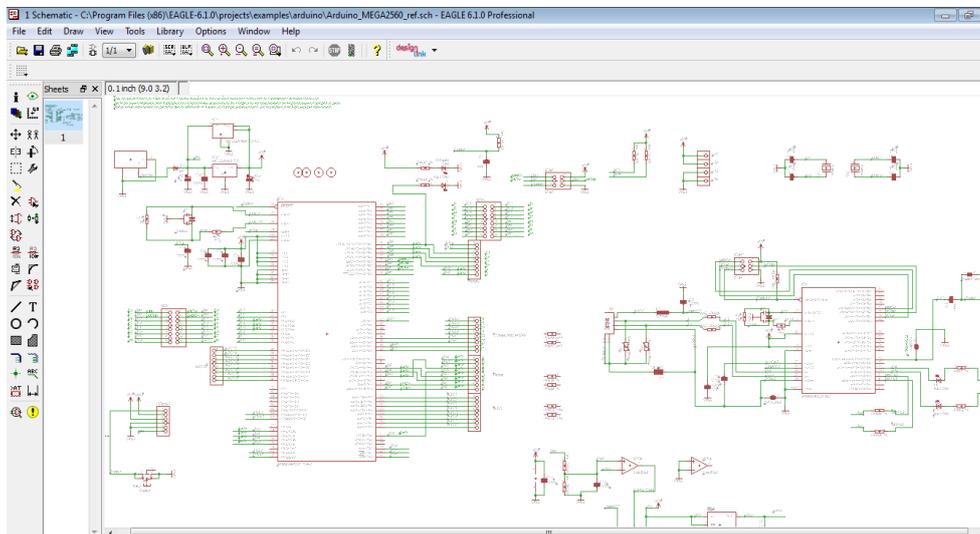


Figura 57. PCB lado N° 1 Shiel Circuito Atmega 2560.

Diseño del circuito Atmega 2560p, es el que gobierna la impresora 3D, donde contiene todo lo necesario como protocolo de comunicación USB, Serial que son necesarios para el control de la impresora 3D.



Diseño del circuito del Atmega 2560 en dos capas y la distribución de componentes para el circuito impreso, como podemos ver en la figura 58, “reprap.org”.

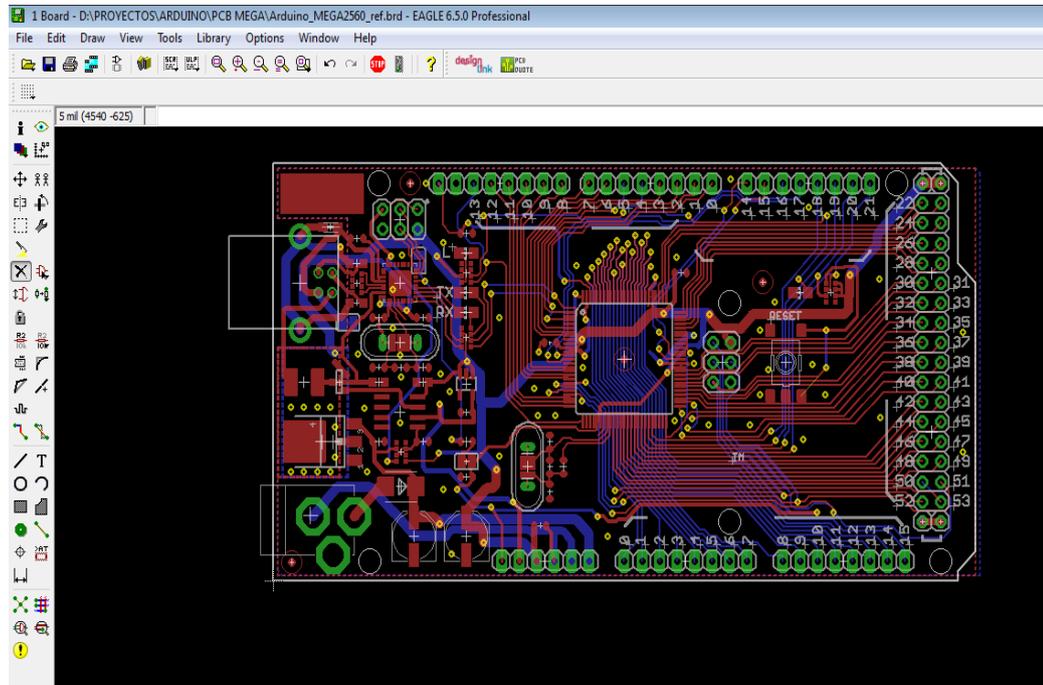
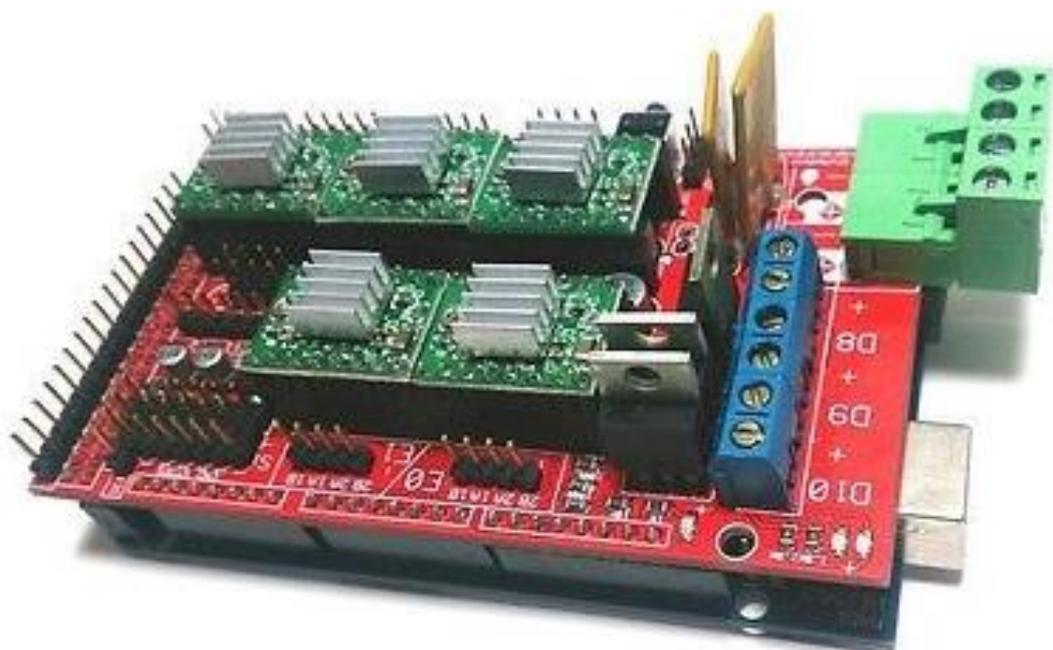


Figura 58. PCB del circuito impreso del Atmega 2560.

Circuito electrónico Atmega 2560, Shiel y driver A4988 Figura 59.



Otra parte importante de la impresora 3D es el LCD 12864 que sirva para mostrar en tiempo real la temperatura del Extrusor como también la temperatura de la cama caliente, además de ello nos permite seleccionar la pieza a imprimir, también nos muestra el avance de la impresión y los minutos transcurridos figura 60.



Figura 60. LCD 12864

Fuente de alimentación

Y el otro sería la fuente de alimentación. De este dispositivo, no es crítico el modelo en concreto, pero sí que debe darnos una salida con 12 V DC y unos 16 A en la misma, pues necesitamos entre 11 y 12 amperios para la base, 2,5 A para el hot-end y, aproximadamente unos 230 mA por motor para el movimiento de los ejes y del filamento de plástico por el extrusor. Esto significa que nuestra fuente debe ser, como mínimo, de 200 W, en mi caso la fuente es de 400 W, ya que es una fuente de alimentación de una PC. Todo funciona muy bien hasta ahora.

2.5 Sistema de Control

El sistema de control de la Impresora 3D con microcontrolador Atmega es muy importante y es la parte fundamental de nuestra maquina ya que en ella se realizara las configuraciones y lecturas de temperatura con un control PID de la Cama caliente como también del Extrusor, además de ello se tiene un control de velocidad y giro del motor Stepper bipolar, lectura de SD, control de LCD12864.

2.5.1 Calibración de los ejes “X”, “Y”, “Z”

Para la calibración es muy importante tener presente ciertos criterios. Ya que tenemos todos los elementos de la electrónica conectados, ahora podemos pasar a cargarle el firmware definitivo a nuestra impresora, este firmware para el Atmega 2560.

Ahora, como ya tenemos todo conectado, le vamos a cargar el Firmware, para ello vamos a necesitar el entorno de programación de Arduino en una versión más actual.

Una vez que se tiene tanto el entorno de Arduino en una versión actual como el Firmware empecemos con lo que queremos. Abrir el entorno de Arduino, conectad la electrónica y seleccionar tanto la tarjeta que estáis usando (Atmega) como el puerto al que está conectado figura 61.

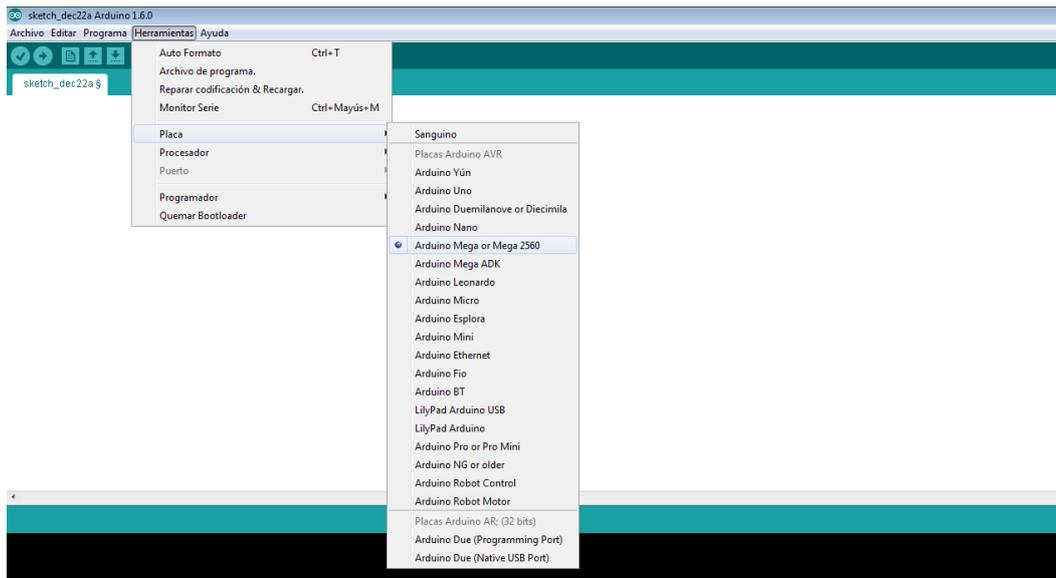


Figura 61. Entorno de arduino para selección de la tarjeta.

Una vez configurada la tarjeta y el puerto, vamos a abrir el Firmware de la Impresora 3D, para ello en la barra de herramientas le damos a archivo/abrir dentro de la carpeta que hemos guardado el firmware, lo abrimos y aparecerá una nueva ventana Figura 62.

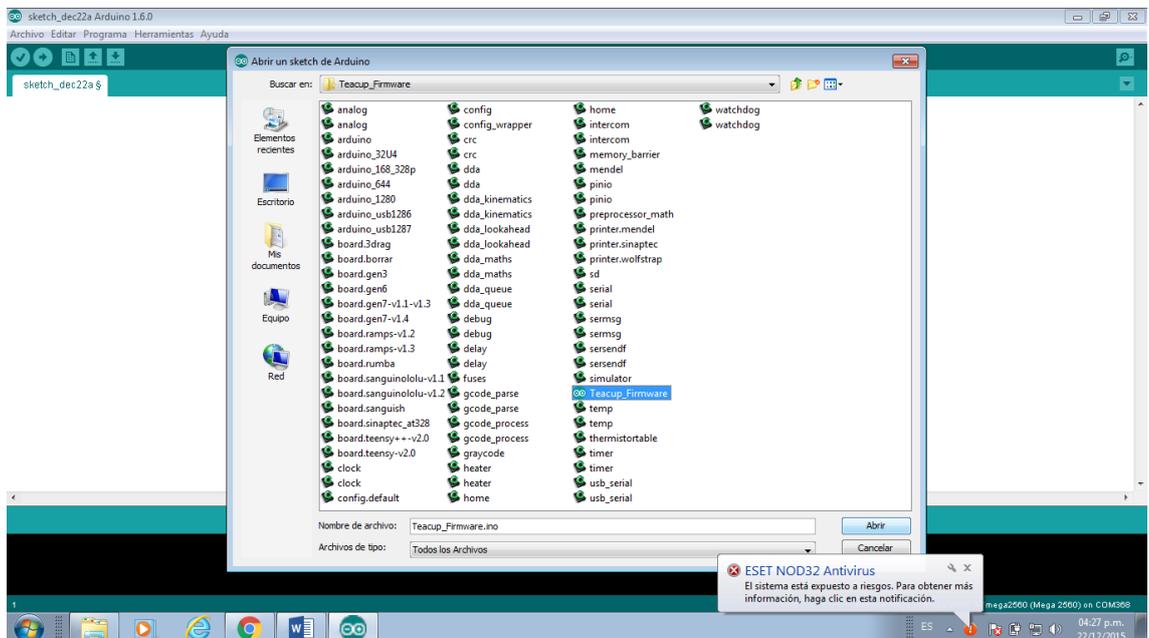


Figura 62. Direccionando el Firmware.

Luego tenemos que ir a la pestaña de configuración, que es donde vamos a encontrar todos los parámetros que debemos de configurar. Los primeros parámetros que nos vamos a encontrar van a ser el tipo de placa que tenemos y el número de extrusores de nuestra máquina, en mi caso, como estoy usando un Atmega 2560 asignarle el número correspondiente (que es el número que me indica la lista de tarjetas), y en el número de extrusores le pondré "1", ya que mi maquina tan solo cuenta con 1 extrusor

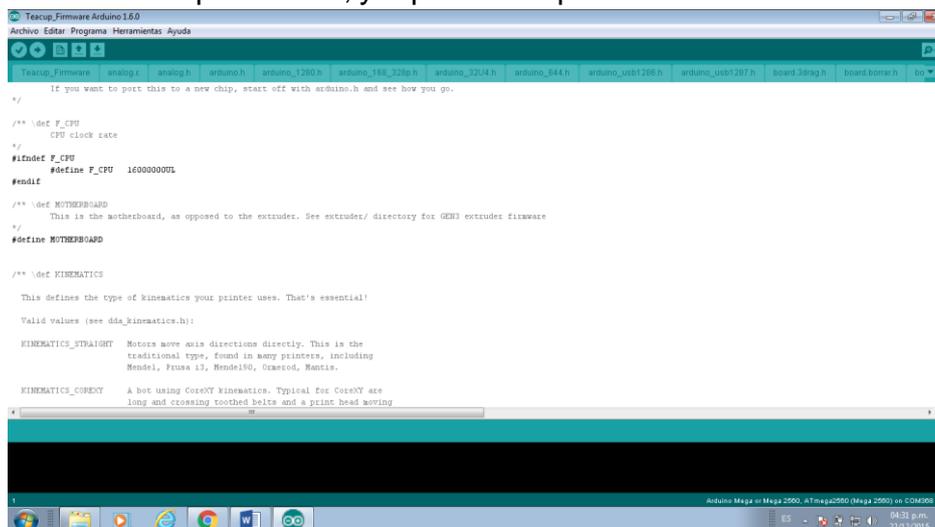
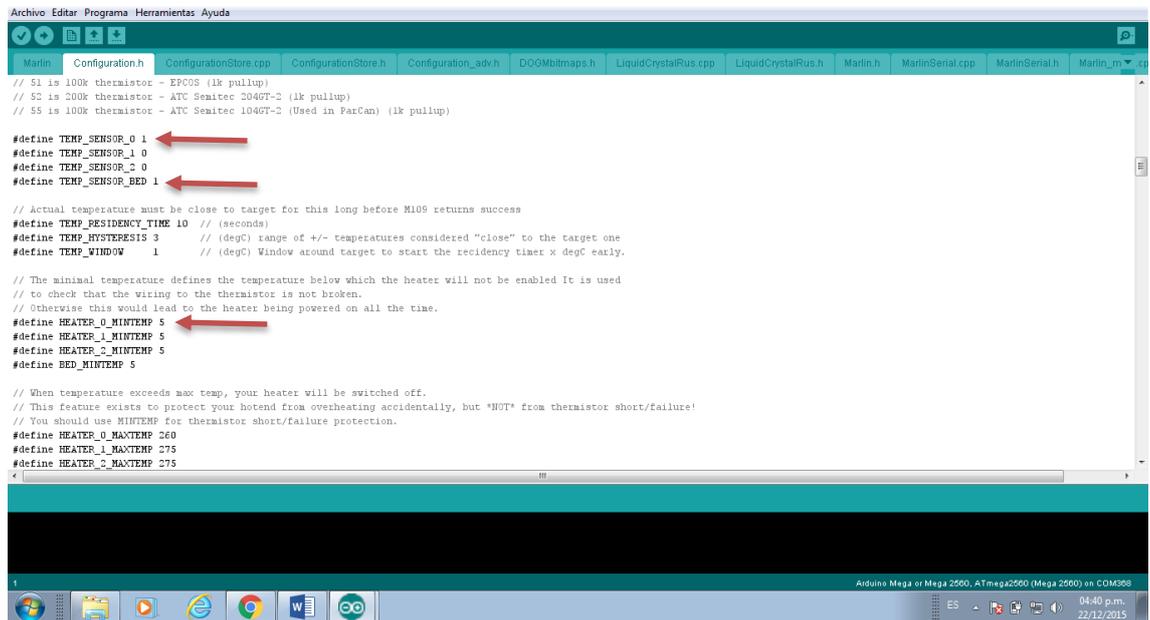


figura 63.

Figura 63. Configurando el tipo de tarjeta.

Luego encontraremos parámetros relacionados tanto con los termistores como con la temperatura, en el parámetro de poner "#define TEMP_SENSOR", tenemos que indicarle que tipo de sensor estamos usando, en mi caso estoy usando un termistor de 100K, por lo que tengo que asignarle el número "1", como puede ver, hay posibilidad de asignar hasta 3 tipos de sensores para 3 posibles HotEnds, (en mi caso como solo tengo un HotEnd con un termistor, tan solo es necesario que configure el primero. Seguido a este parámetro, podemos ver otro que pone "#define TEMP_SENSOR_BED", que será el que defina el tipo de termistor que

usamos en la cama caliente figura 64.



```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Marlin Configuration.h ConfigurationStore.cpp ConfigurationStore.h Configuration_adv.h DOOMbitmaps.h LiquidCrystalRus.cpp LiquidCrystalRus.h Marlin.h MarlinSerial.cpp MarlinSerial.h Marlin_m...
// S1 is 100k thermistor - EPCOS (1k pullup)
// S2 is 200k thermistor - ATC Semitec 204GT-2 (1k pullup)
// S5 is 100k thermistor - ATC Semitec 104GT-2 (Used in ParCan) (1k pullup)

#define TEMP_SENSOR_0 1
#define TEMP_SENSOR_1 0
#define TEMP_SENSOR_2 0
#define TEMP_SENSOR_BED 1

// Actual temperature must be close to target for this long before M109 returns success
#define TEMP_RESIDENCY_TIME 10 // (seconds)
#define TEMP_HYSTERESIS 3 // (degC) range of +/- temperatures considered "close" to the target one
#define TEMP_WINDOW 1 // (degC) Window around target to start the residency timer x degC early.

// The minimal temperature defines the temperature below which the heater will not be enabled It is used
// to check that the wiring to the thermistor is not broken.
// Otherwise this would lead to the heater being powered on all the time.
#define HEATER_0_MINTEMP 5
#define HEATER_1_MINTEMP 5
#define HEATER_2_MINTEMP 5
#define BED_MINTEMP 5

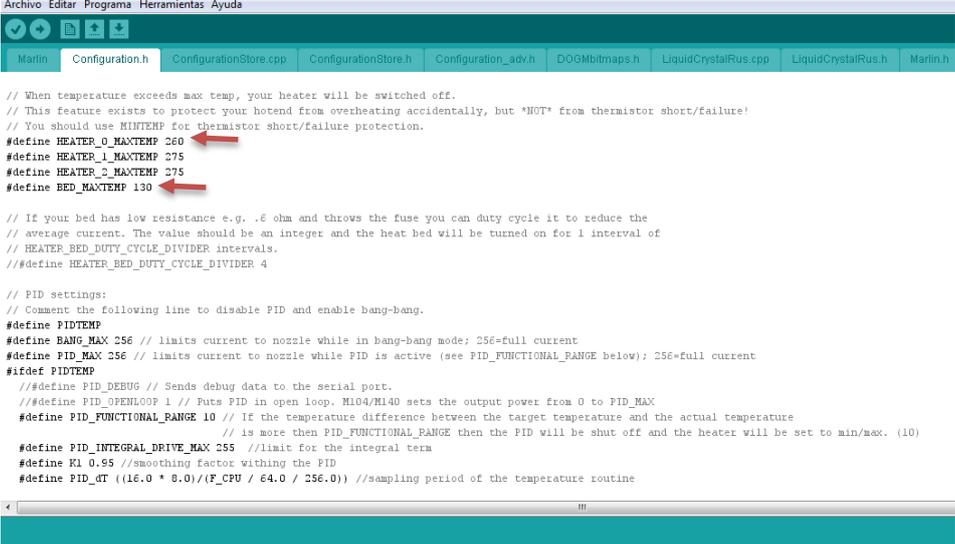
// When temperature exceeds max temp, your heater will be switched off.
// This feature exists to protect your hotend from overheating accidentally, but "NOT" from thermistor short/failure!
// You should use MINTEMP for thermistor short/failure protection.
#define HEATER_0_MAXTEMP 260
#define HEATER_1_MAXTEMP 275
#define HEATER_2_MAXTEMP 275
```

Figura 64. Definición de parámetros

Un parámetro que debemos conocer es el "#define HEATER_MINTEMP", este es un parámetro que no alteraremos, pero hay que saber lo que hace, y es que si intentamos calentar tanto el HotEnd como la cama caliente cuando el sensor registra una temperatura inferior a la que indica aquí, la impresora nos va a dar un error que dirá "ERROR_MIN_TEMP", y no calentará, por ello la habitación o entorno donde este la impresora deberá de estar a una temperatura adecuada.

Otro parámetro MUY IMPORTANTE referente a la temperatura, es el que va a fijar el límite de temperatura tanto del HotEnd como de la cama caliente. El de la cama quizás no sea muy relevante, pero el del HotEnd si, ya que si tenemos un HotEnd que no sea "All Metal", y superamos

los 250°, es muy posible que fundamos alguna de las partes del propio HotEnd, por ello hay que ponerle un límite, Figura 65.



```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Configuration.h ConfigurationStore.cpp ConfigurationStore.h Configuration_adv.h DOGMbitmaps.h LiquidCrystalRus.cpp LiquidCrystalRus.h Martin.h

// When temperature exceeds max temp, your heater will be switched off.
// This feature exists to protect your hotend from overheating accidentally, but *NOT* from thermistor short/failure!
// You should use MINTEMP for thermistor short/failure protection.
#define HEATER_0_MAXTEMP 260
#define HEATER_1_MAXTEMP 275
#define HEATER_2_MAXTEMP 275
#define BED_MAXTEMP 130

// If your bed has low resistance e.g. .6 ohm and throws the fuse you can duty cycle it to reduce the
// average current. The value should be an integer and the heat bed will be turned on for 1 interval of
// HEATER_BED_DUTY_CYCLE_DIVIDER intervals.
// #define HEATER_BED_DUTY_CYCLE_DIVIDER 4

// PID settings:
// Comment the following line to disable PID and enable bang-bang.
#define PIDTEMP
#define BANG_MAX 256 // limits current to nozzle while in bang-bang mode; 256=full current
#define PID_MAX 256 // limits current to nozzle while PID is active (see PID_FUNCTIONAL_RANGE below); 256=full current
#ifdef PIDTEMP
  // #define PID_DEBUG // Sends debug data to the serial port.
  // #define PID_OPENLOOP 1 // Puts PID in open loop. M104/M140 sets the output power from 0 to PID_MAX
  #define PID_FUNCTIONAL_RANGE 10 // If the temperature difference between the target temperature and the actual temperature
  // is more then PID_FUNCTIONAL_RANGE then the PID will be shut off and the heater will be set to min/max. (10)
  #define PID_INTEGRAL_DRIVE_MAX 255 //limit for the integral term
  #define K1 0.95 //smoothing factor within the PID
  #define PID_dT ((16.0 * 0.0)/(F_CPU / 64.0 / 256.0)) //sampling period of the temperature routine
#endif
```

Figura 65. Definición de parámetros del HotEnd.

Seguimos con otro parámetro que nos va a definir la temperatura mínima de extrusión, "#define EXTRUDE_MINTEMP", este es un parámetro de seguridad, que va a impedir que extruyamos nada si el HotEnd no está a la temperatura que indicamos aquí, esto se hace para proteger el extrusor e impedir extruir en frío, claro que dependerá del tipo de polímero a extruir figura 66.


```

Main | Arduino 1.05.2
Archivo Editor: Sketch Herramientas Ayuda

Configuración

// The pullups are needed if you connect a mechanical endswitch between the signal and ground pins.
#define bool X_ENDSTOP_INVERTING  false // set to true to invert the logic of the endstops.
#define bool Y_ENDSTOP_INVERTING  false // set to true to invert the logic of the endstops.
#define bool Z_ENDSTOP_INVERTING  false // set to true to invert the logic of the endstops.
// #define DISABLE_MAX_ENDSTOP

// For Inverting Stepper Enable Pins (Active Low) use 0, Non Inverting (Active High) use 1
#define X_ENABLE_ON 0
#define Y_ENABLE_ON 0
#define Z_ENABLE_ON 0
#define E_ENABLE_ON 0 // For all extruders

// Disable x-axis if not being used.
#define DISABLE_X false
#define DISABLE_Y false
#define DISABLE_Z true
#define DISABLE_E false // For all extruders

#define INVERT_X_DIR false // for Mendel set to false, for Duet set to true
#define INVERT_Y_DIR false // for Mendel set to true, for Duet set to false
#define INVERT_Z_DIR true // for Mendel set to false, for Duet set to true
#define INVERT_E0_DIR false // for direct drive extruder v0 set to true, for geared extruder set to false
#define INVERT_E1_DIR false // for direct drive extruder v1 set to true, for geared extruder set to false
#define INVERT_E2_DIR false // for direct drive extruder v2 set to true, for geared extruder set to false

```

Figura 67. Parámetros para finales de carrera.

Otro de los valores que vamos a configurar antes de cargar el firmware, son los que se puede ver en la imagen figura 68, el primero va a delimitar el área de impresión, y el segundo va a configurar los pasos que deben de dar los motores para moverse una unidad.

```

Main | Arduino 1.05.2
Archivo Editor: Sketch Herramientas Ayuda

Configuración

#define bool software_endstops true // If true, axis won't move to coordinates greater than the defined lengths below.
// Travel limits after homing
#define X_MAX_POS 150
#define X_MIN_POS 0
#define Y_MAX_POS 150
#define Y_MIN_POS 0
#define Z_MAX_POS 150
#define Z_MIN_POS 0

#define X_MAX_LENGTH (X_MAX_POS - X_MIN_POS)
#define Y_MAX_LENGTH (Y_MAX_POS - Y_MIN_POS)
#define Z_MAX_LENGTH (Z_MAX_POS - Z_MIN_POS)

// The position of the homing switches
// #define MANUAL_HOME_POSITIONS // If defined, MANUAL_*_HOME_POS below will be used.
// #define BED_CENTER_AT_0_0 // If defined, the center of the bed is at (0,0).

// Manual homing switch locations:
#define MANUAL_X_HOME_POS 0
#define MANUAL_Y_HOME_POS 0
#define MANUAL_Z_HOME_POS 0

// MOVEMENT SETTINGS
#define NUM_AXIS 4 // The axis order in all axis related arrays is X, Y, Z, E
#define HOMING_FEEDRATE {3000, 2000, 100, 0} // set the homing speeds (mm/min) {X,Y,Z,E}

// default settings
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT {80,80,4000,726.7} // default steps per unit for ultimaker

```

Figura 68. Parámetros área de impresión.

Para configurar el primer valor es tan sencillo como medir físicamente el recorrido de los ejes, desde que tocan el final de carrera, hasta el otro extremo, que nos podemos ayudar con un Vernier.

Para el eje Z, los pasos por milímetro van a depender de los pasos del motor, la resolución que le indiquemos a los pololus con los "jumpers" y el paso de rosca de la varilla.

La fórmula es la siguiente.

$$\text{Steps_per_mm} = (\text{motor_steps_per_rev} * \text{Driver_microstep}) * (\text{big_gear_teeth} / \text{small_gear_teeth}) / (\text{hob_effective_diameter} * \text{pi})$$

e_steps_per_mm = número de pasos por unidad de filamento, en milímetros.

motor_steps_per_rev = número de pasos para dar una vuelta, 200 paso, paso de 1.8°.

driver_microstep = valor de microstepping Del driver de motor.

big_gear_teeth = número de dientes del engranaje.

small_gear_teeth = nombre de dents du petit engranaje.

hob_effective_diameter = diámetro del filamento

pi = 3.14159

Si usa un motor del tipo NEMA 17, tendrá 200 pasos por vuelta, la resolución del pololu o micro pasos del pololu con los 4 "jumpers" será de 16 y los pasos de una varilla de métrica 5 es de 0.8mm, por lo que el resultado de la ecuación es:

$$\text{Pasos_por_mm} = 200 * 16 / 0.8 = 4000$$

Para el Eje X e Y, vamos a abrir software Repetier para ayudarnos con la calibración, le diremos que se mueva 10mm, y mediremos la distancia real que se ha movido, el valor que nos dé, se lo vamos a dividir al valor que

aparece en la casilla del eje X o Y, lo multiplicaremos por el valor que le hemos ordenado moverse, dando como resultado el número que debemos de colocar en la configuración de estos ejes. Vamos a repetir varias veces para ver nuestros resultados Tabla 2.

Pruebas en el eje Z		
Valor Inicial	Valor final	Resto /10mm
70	60.22	9.78
70.06	60.11	9.95
49.99	40.2	9.79
40.02	30.62	9.4
130.03	120.28	9.75
120.02	110.27	9.75
110	100.15	9.85
100.07	90.26	9.81

Tabla 2. Valores iniciales medidos con el Vernier.

Como podemos ver el “Resto” son valores diferentes a 10 mm que debería salir, luego de los cálculos se pudo calibrar teniendo como valor final o resto 10mm con un valor en eje “Z” un valor de 3904000. También se hizo las mediciones para el eje “X” tabla 3.

Pruebas en el eje X		
Valor Inicial	Valor final	Resto /10mm
70	60.3	9.7
80	70.28	9.72
70	60.01	9.99
79.99	70.02	9.97
70.02	60.05	9.97
79.99	70.09	9.9
70	60.03	9.97
59.99	50.06	9.93

Tabla 3. Valores iniciales medidos con el Vernier.

Los valores obtenidos no son los adecuados ya que el valor requerido es de 10mm, se hizo los cálculos y el valor para el eje "X" dio como resultado de 79150. Los cálculos para el eje "Y", no se hicieron ya que los valores obtenidos fueron lo que se requirió.

2.5.2 Configuración del PID

El PID es un controlador que está programado en el propio Arduino y que debemos de configurar para que la regulación de la temperatura sea lo más precisa posible, para ello vamos a abrir el Pronterface y vamos a ejecutar el comando "m303" (escribiendo este comando directamente sobre la consola del pronterface y dándole a ejecutar) figura 69.

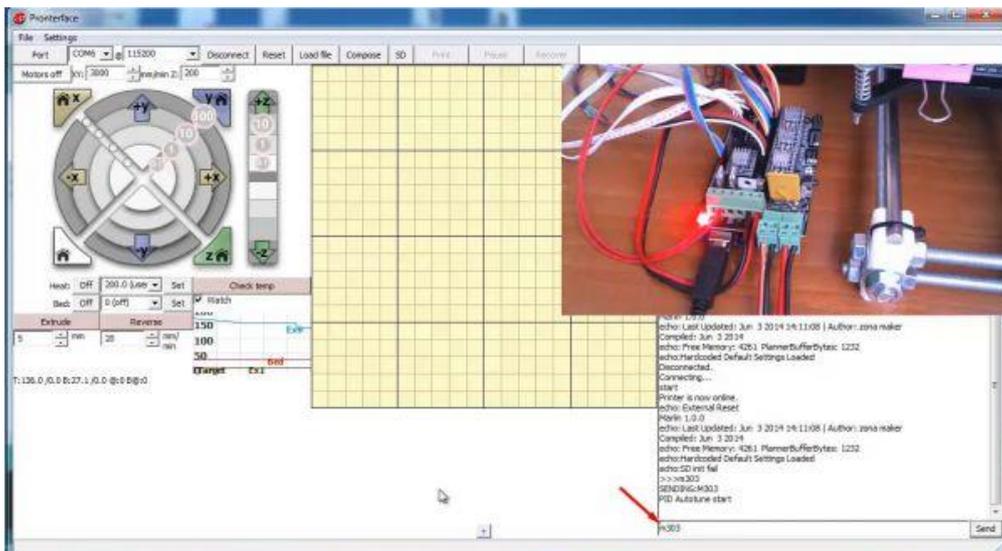


Figura 69. Realizando la prueba para el PID.

Una vez lo ejecutemos, veremos cómo empieza a subir la temperatura del HotEnd y de manera automática el programa empezará a activar y desactivar la alimentación viendo cómo evoluciona la temperatura. De

esta forma el programa va a comprobar la inercia térmica de nuestro HotEnd y después de un tiempo, nos va a dar unos valores (Kp, Ki y Kd), estos valores son los que debemos de poner en el firmware para asegurarnos que nuestro HotEnd calienta de manera adecuada y no sufre oscilaciones de temperatura, figura 70 .

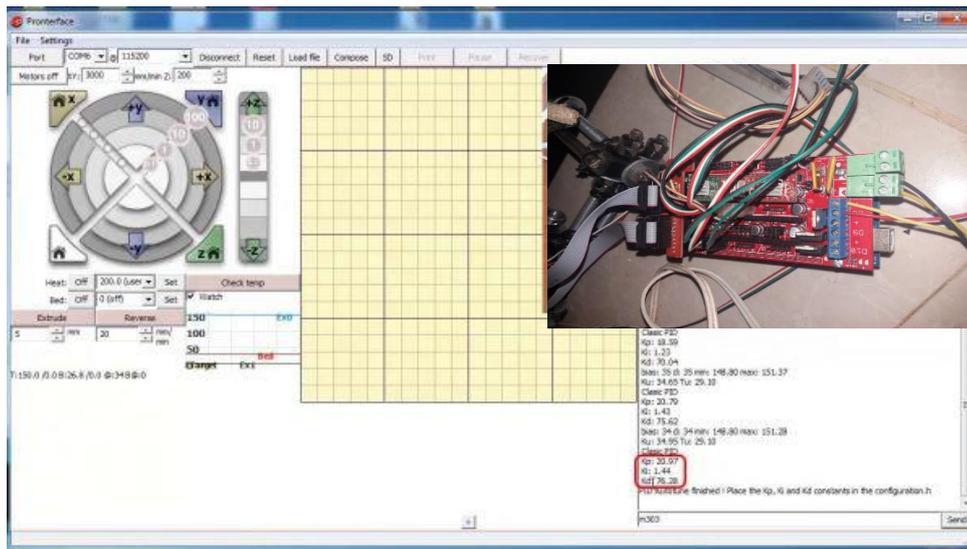


Figura 70. Valores de obtenidos de (Kp Ki y Kd).

Luego de realizar las pruebas cogemos los valores de (Kp Ki y Kd), y lo cambiamos en nuestro Firmware como en la figura 71.

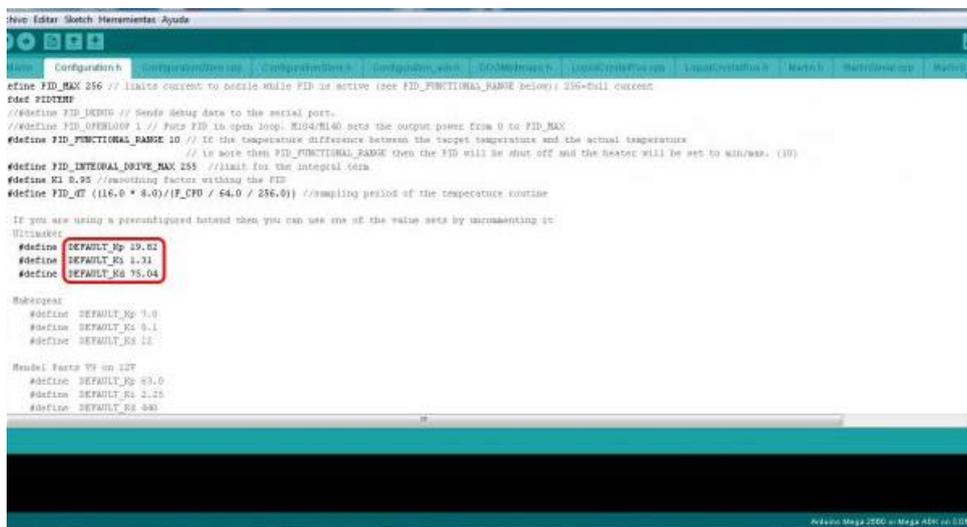


Figura 71. Parámetros a cambiar PID.

Primeras pruebas

Con toda la impresora 3D construida y los programas necesarios instalados y configurados debidamente, podemos comenzar a hacer nuestras primeras pruebas. Hacer una buena calibración y configuración de la impresora, se quiere destacar que los parámetros que inicialmente configuraremos las mismas versiones de los mismos, en funcionamiento óptimo con esos parámetros, no nos permitirán imprimir las piezas que deseemos con la calidad que nos gustaría. Hay que ir haciendo sucesivas pruebas y en función de los resultados que vayamos obteniendo ir modificando unos parámetros u otros.

Para hacer una primera impresión se deben seguir los siguientes pasos.

- 1.- Encendemos el ordenador y no arrancamos aún ningún programa. Ya debemos tener el firmware cargado en el microcontrolador y el Repetier con unos parámetros adecuados para que la impresora imprima.
- 2.- Conectamos la fuente de alimentación a la placa electrónica (en la que deben estar conectados todos los componentes), y un terminal positivo de la fuente de alimentación a un terminal de la heated bed.
- 3.- Encendemos la fuente de alimentación.
- 4.- Conectamos el cable USB, a la electrónica y al ordenador.
- 5.- Arrancamos el Repetier.
- 6.- Hacemos click en el icono "Conect" y vemos como, en la consola, aparece el mensaje que indica que la impresora está lista. Si esto no ocurriera, comprobar que el puerto USB seleccionado es en el que está conectada la impresora.
- 7.- Seleccionamos la opción "Control Manual".

8.- Seleccionamos las temperaturas de trabajo para el hot-end y la heated bed y hacemos click en los iconos “Set” de cada una. Marco Esteban Illescas Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática Trabajo Fin de Grado: Construcción de una impresora 3D Open Source Junio de 2.012.

9.- Hacemos click en archivo ya en formato Gcode, o bien uno en formato stl; en cuyo caso, en Repetier, se generará previamente el Gcode. Vemos como una vez cargado el Gcode, la consola del programa nos informa de las dimensiones de la pieza y de su tiempo de impresión; mientras que en la ventana central aparece la propia pieza en dos dimensiones. Si hacemos click en esa ventana podemos ver el desarrollo capa a capa de la pieza, figura 67.

10.- Alcanzadas las temperaturas hacemos click en el icono “Print”, y al cabo del tiempo determinado para la impresión de la pieza habremos conseguido imprimir el objeto seleccionado figura 73.

11.- Antes de quitar la pieza de la base se recomienda disminuir la temperatura de la heated bed hasta estar en torno a los 80 y 85 °C, para el caso de usar ABS, y una temperatura 55 a 60 °C para PLA.

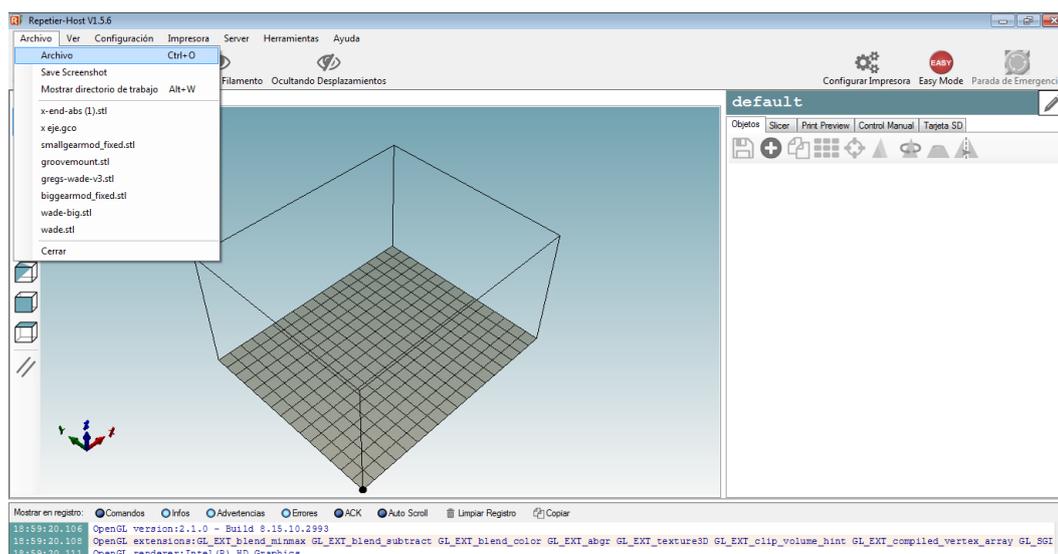


Figura 72. Abriendo un archivo para imprimir

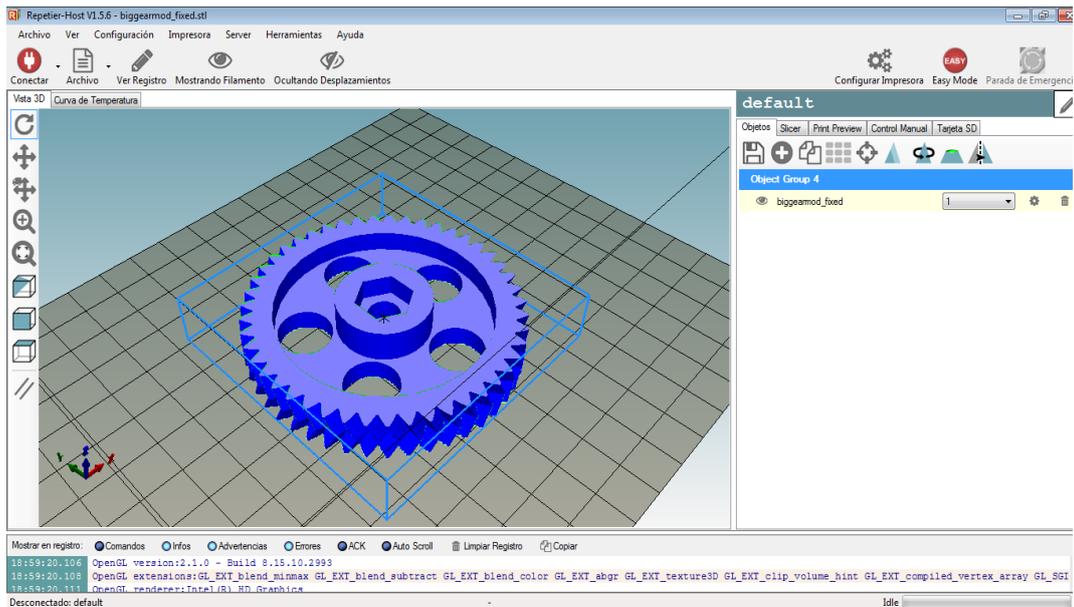


Figura 73. Pieza extraída de Solidwork.

Resultados obtenidos

A continuación se dan muestras de los resultados obtenidos en las primeras impresiones luego de la calibración con muy buenos resultados, como se puede ver se muestra un engranaje que es parte del extrusor figura 69, se muestra piezas impresas del eje "X" figura 74.



Figura 74. Pieza impresa "Engranaje del extrusor"

Se puede ver las piezas que fueron realizadas con la Impresora 3D que fue armada en este proyecto, figura 75.

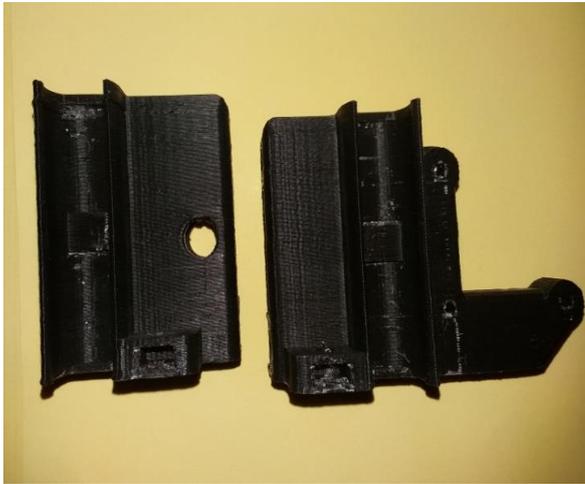


Figura 75. Pieza impresa Eje "X"



Figura 76. Pieza parte Extrusor

2.2 Sistema de Variables-Dimensiones e Indicadores

TABLA N° 4 Matriz de Selección de Dimensiones

Tabla 4: Matriz de Selección de Dimensiones

TESIS	Impresora 3D con Microcontrolador Atmega (X) DIMENSIONES:				
	Diseño de la Impresora 3D	Sistema de control	Impresión 3D	Diseño Electrónico	Diagrama y selección de Mecanismo
T1 (Toapanta, Navarrete , Hernán, 2014)	x	x		x	x
T2 (Luis Arráez & , Elena Arráez, 2014)	x	x	X	x	x
T3 (Collantes, Sánchez, Gualberto, 2015)	x	x	X	x	
T4 (Moreno, Mauricio, 2014)		x	X		x
T5 (Martínez, Abel, 2015)	x	x		x	
TOTAL	4	5	3	4	3

Fuente: Elaboración propia

Matriz de Operacionalización de Variables e Indicadores

Tabla 5: Matriz de Operacionalización de variable e indicadores

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
Impresora 3D con micro controlador Atmega: La impresora 3d es una máquina que realiza impresiones, creando piezas o maquetas volumétricas, seccionado en capas de hasta 0.1 mm de espesor, por lo que la impresión se realiza capa por capa, a partir de diseños realizadas en el ordenador, mediante la extrusión de polímeros como: ABS, PLA, resina, plástico transparente, etc.	Diseño de la Impresora Diseño Electrónico Sistema de Control	X1.1. Dimensiones de la Impresora X1.2. Modelo de la Impresora X2.1. Corriente consumida X2.2. Calidad de señal X3.1: Temperatura constante X3.2. Dosificación de ABS, PLA eficiente X3.3. Calidad de Impresión

III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Nivel y Tipo de Investigación.

3.1.1 Tipo de Investigación

El presente trabajo a desarrollar es de tipo Aplicada y tecnológica.¹⁷ Aplicada, dado que la investigación utiliza los conocimientos, descubrimientos y conclusiones de la investigación básica, para solucionar un problema concreto. (Cegarra 2004: 41) y tecnológica, porque "... la investigación tecnológica designa un ámbito de producción de conocimiento tecnológico validado, que incluye el producto cognitivo, - descripciones, técnicas, tecnologías, maquinarias, patentes, etc.-como las actividades que se desarrollan para producir y validar dichos productos y conocimientos" (Hashimoto2010:292).

3.1.2 Nivel de Investigación

Teniendo en cuenta la naturaleza del estudio de investigación, no reúne las características de una investigación de tipo social, pero presenta las características de los niveles descriptivo y exploratorio.

¹⁷ Landeau, *Elaboración de trabajos de investigación, Edit Alfa, Venezuela 2007*, "Es un tipo de estudio que se emplea con frecuencia en el contexto industrial, orientado a la producción de materiales, instrumentos, métodos, procedimientos y modelos.

IV.UNIVERSO POBLACIÓN Y MUESTRA

4.1 Determinación del Universo Población.

Teniendo en cuenta las características y el tipo de investigación de este proyecto, nuestra unidad de análisis estará basada en: “Diseño y desarrollo de una impresora 3d con microcontrolador Atmega para estudiantes de ingeniería en el proceso de enseñanza y aprendizaje de desarrollo tecnológico, Huánuco 2015”.

4.2 Selección de la Muestra.

Como se determinó que la naturaleza del proyecto de investigación es tecnológica, esta no presenta población y muestra.

V. TECNICAS DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS.

5.1 Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Cuadro Nº 6: Relación de técnicas e instrumentos para el proceso de recopilación de datos

TECNICAS	INSTRUMENTOS
✓ Medición	✓ Registro de pruebas
✓ Control	✓ Registro de Cálculos
✓ Análisis Bibliográfico	✓ Fichas bibliográficas.
	✓ Ficha de resúmenes
	✓ Anotaciones

Fuente: Elaboración propia

5.2 Procesamiento y presentación de datos.

Para la etapa del procesamiento, análisis y presentación de datos, se desarrollara mediante prueba-error, a través del diseño y reprogramación del microcontrolador Atmega, así mismo el diseño del circuito electrónico como también calibración del de la impresora. Así mismo se utilizará la técnica de la informática, con el uso del software, detallado en el cuadro siguiente, nos permitirán presentar el informe final del trabajo de investigación.

CUADRO Nº 7 Relación de técnicas e instrumentos para el proceso de análisis e interpretación

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
<ul style="list-style-type: none">• Informática	<ul style="list-style-type: none">• Gráficos de control.• Software como: Eagle, Proteus, entorno Arduino, Pronterface, Repetier Host, Solidwork.

Fuente: Elaboración propia

VI. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS Y PRESUPUESTALES.

6.1 Potencial humano.

Cuadro nº 8 Potencial humano

RECURSOS	CANT.	DENOMINACION
Humanos	01	Investigador
	01	Colaboradores
	01	Personal de apoyo
Total		01

Fuente: Elaboración propia

6.2 Recursos materiales.

Cuadro nº 9 Recursos materiales

RECURSOS	CANT.	DENOMINACION
Equipos	01	Laptop
	01	Celular
	500	Hojas de papel bond A4
	01	Tinta en polvo de Tóner negro
	1000	Horas de internet
	5	Lápiz
	4	Plumón Indeleble
Materiales	1	Atmega 2560
	1	Atmega 328
	4	Atmega 644p
	1	Placa de baquelita 0.3mxm
	1	20 metros de Estaño para soldar
	2	Cautín con punta de plata
	1	Taladro de mano de 24V
	5	1 Broca 1/32"
	1	Impresora láser
	48	Tuercas con su arandela M8
	1	De 820 de varilla Rosca M8
	1	De 2100 mm de varilla lisa M8
	1	50*50 de melanime
	4	Termistor 100K
	20	Papel Térmico
12	Borneras de terminal 3*2, 2*2	
5	Leds	

Fuente: Elaboración propia

6.3 Presupuesto

Cuadro nº 10: Presupuesto

DESCRIPCION	P.UNITARIO	CANTIDAD	P.TOTAL
Melanime	S/. 20,00	1	S/. 20,00
Varillas Roscadas M8	S/. 25,00	4	S/. 100,00
Varillas lisas M8	S/. 25,01	6	S/. 150,00
Tuercas M8	S/. 0,1	72	S/.7,20
Atmega 644	S/. 50,00	4	S/. 200,00
Driver A4988	S/.30,00	4	S/. 120,00
Shiel atmega 2560	S/.100,00	1	S/.100,00
Atmega 328	S/. 40,00	1	S/. 40,00
Atmega 2560	S/.200,00	1	S/.200,00
Lcd 12864	S/.150,00	1	S/.150,00
Bornera de 9v	S/. 2,50	15	S/. 35,00
Regulador 7805	S/. 2,00	1	S/. 2,00
Transistores Mozfet ZN44	S/. 4,00	4	S/. 16,00
Diodos switch 1n4148	S/. 0,30	2	S/. 0,60
Zócalo de 18 pines Macho	S/. 0,80	4	S/. 3,20
Pomo ácido férrico	S/. 3,00	3	S/. 9,00
Polímero ABS	S/.100,00	1	S/.100,00
Extrusora	S/.200,00	1	S/.200,00
Motores Stepper Bipolar	S/. 60	5	S/.300,00
Finales de carrera	S/.1,00	3	S/. 3,00
zócalos 18 pines Hembra	S/. 0,80	4	S/. 3,20
plug batería	S/. 0,80	1	S/. 0,80
Condensadores 104 cerámicos	S/. 0,20	6	S/. 1,20
Condensador 100uF-25V	S/. 0,50	4	S/. 2,00
Termistor 100K	S/. 10,00	2	S/. 20,00
Fuente de alimentación	S/.25,00	2	S/. 50,00
Switchs borneras de 3 azul	S/. 1,50	1	S/. 6,00
Papel couche delgado	S/. 3,00	1	S/. 3,00
Relés de 12V	S/. 4,00	2	S/. 8,00
Cable de poder 220V	S/. 5,00	1	S/. 5,00
Cable tipo IDE	S/. 10,00	1	S/. 10,00
Cargadores de celular 5V	S/. 8,00	2	S/. 16,00
Cable USB	S/. 10,00	1	S/. 10,00
Microcontrolador 16F877A	S/. 18,00	1	S/. 18,00
Bornera de 3 terminales verde	S/. 1,50	1	S/. 1,50
Borneras de 2 terminales verde	S/. 1,00	1	S/. 1,00

Cristal 16Mhz	S/. 2,50	2	S/. 5,00
Botella ácido férrico 500ml	S/. 8,00	1	S/. 8,00
Mica de polipropileno	S/. 10,00	1	S/. 10,00
Pernos M5	S/. 1,80	15	S/. 27,00
Pernos M3	S/. 2,00	20	S/. 40,00
1/2 plancha de triplay 4 mm	S/. 13,00	1	S/. 13,00
10m de cable RJ-45	S/. 1,00	1	S/. 1,00
Broca 1/32"	S/. 3,00	1	S/. 3,00
Terminal tipo DIL de 40 contactos	S/. 1,00	1	S/. 1,00
Zócalos 40 pines	S/. 1,00	1	S/. 1,00
Led de 5mm	S/. 0,30	3	S/. 0,90
Zócalos USB	S/. 2,00	1	S/. 2,00
500 hojas de papel Bond A4	S/. 11,50	1	S/. 11,50
			S/. 2035,10

Fuente: Elaboración propia

6.4 Recursos financieros.

El presente estudio de investigación será financiado con recursos propios del tesista.

6.5 Cronograma de Acciones.

Cuadro nº 11: Cronograma de Actividades

	ACTIVIDAD	RESPONSABLES	2015												
			En	Fe	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic	
1	Elaboración del Plan de Investigación	Tesista	X												
2	Desarrollo del estado del arte	Tesista	X	X											
3	Prueba del sensor	Tesista	X	X											
4	Diseño de la estructura	Tesista		X	X										
5	Diseño de los circuitos	Tesista		X	X	X									
6	Prueba de los circuitos	Tesista				X	X								
7	Programación del Atmega 644	Tesista				X	X	X							
8	Programación del Atmega 328	Tesista					X	X	X	X					
9	Programación del Atmega 2560	Tesista								X	X				
10	Instalación de los motores y Sensores	Tesista				X	X		X						
11	Calibración de La Impresora 3D	Tesista				X	X			X	X				
12	Pruebas de impresión 3D	Tesista									X	X			
13	Análisis de la información	Tesista										X	X		
14	Elaboración de las conclusiones	Tesista													X
15	Elaboración del Informe final	Tesista													X

Fuente: Elaboración propia

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- Se construyó una impresora 3D con microcontrolador ATMEGA capaz de generar un objeto sólido tridimensional mediante adición de polímeros como por ejemplo (ABS y PLA), a partir de un modelo, es decir de una representación gráfica digital de lo que vamos a imprimir mediante algún software de modelado. Tomando como referencia los modelos de máquinas 3D existentes en el mercado, se desarrolló una Impresora 3D que tiene las mismas bondades y a menor precio, los resultados obtenidos se ve en los anexos 5 y 6.
- Se realizó el diseño de la impresora 3D de escritorio en el software Solidworks, con dimensiones de 37 cm cúbicos y con impresión de 185 mm cúbicos.
- Se diseñó y construyó los circuitos electrónicos que gobiernan a la impresora 3D, con los microcontroladores Atmega 328p, Atmega 644p, y Atmega 2560p, que son los tres modelos de circuito diferentes que se desarrolló para el control de la impresora.
- Se realizó el sistema de control PID para el control de temperatura de la cama caliente y el extrusor, este método de control es el más eficiente para mantener una variable de temperatura constante.
- Finalmente se puede concluir con el desarrollo de este proyecto nos deja claro los objetivos planteados, el proyecto es una maquina CNC basado en un robot cartesiano.

7.2 RECOMENDACIONES

- Para experimentar con nuevas formas de impresión y parámetros de impresión de nuevos objetos complejos y materiales diferentes, se recomienda consultar experiencias de otros usuarios, esto ayudara a obtener buenos resultados.
- Si trabajamos con polímeros como ABS se recomienda realizar la impresión del prototipo en un ambiente cerrado ya que al estar expuesto al ambiente corre el riesgo que nuestros prototipos se estropeen, debido a que se genera aberturas y burbujas en el objeto impreso por su propiedad del mismo material.
- Al trabajar con polímero como el ABS para extraer el prototipo impreso de la cama caliente se recomienda esperar a que se enfríe, ya que no hacerlo puede estropear nuestro modelo impreso.
- Finalmente con este proyecto se pretende ayudar al lector, brindándoles una herramienta fácil y accesible y su puesta en marcha de la impresora 3D sea sencilla con plataforma libre.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **ARDUINO, Fernando Reyes Cortés., Jaime Cid Monjaraz.** Aplicaciones en Robótica Mecatrónica e Ingenierías, Edit. S.A. de C.V., México.
2. **CONTROL DE PROCESOS PRÁCTICO Y AVANZADO., Arturo Rojas Moreno., PH. D.,** Modelo de procesos, Sistemas de medición y Estrategias de control PID, Edit. Universitaria Eduni., Perú
3. **INCROPERA Frank P., Dewitt David P.,** Fundamentos de transferencia de calor, Edit. Pearson Educación, México 1999.
4. **PALLÁS ARENI Ramón,** Sensores y acondicionadores de señal, Ed. Marcombo 4ª edición, España, 2005.
5. **ACEDO SÁNCHEZ José,** Instrumentación y control de avanzado de procesos, Edit. Díaz de Santos S.A., España 2006.
6. **ENRÍQUEZ HARPER Gilberto,** El ABC del control electrónico de las máquinas eléctricas, Editorial Limusa, México, 2003.
7. **REYES Carlos A,** Microcontroladores PIC Programación en Basic, tercera Edición Carlos Reyes, Edit.RISPERGRAF, Mexico.
8. **DONATE Antonio Hermosa,** Electrónica Aplicada, Ed Marcombo, España 2011.
9. **ALCIATORE David G, B HISTAND,** Introducción a la Mecatronica y los sistemas de medición, Tercera Edición, Colorado State University Edt . McGraw-Hill, USA 2008.
10. **GRACI BREIJO Eduardo,** Compilador CCS y Simulador Proteus para Microcontroladores PIC, Edit. AlfaOmega - Barcelona España 2008.
11. **DRISCOLL Couhling,** Amplificadores Operacionales Y Circuitos Lineales, Pearson Educación, México 1999.
12. **HERMOSA DONATE Antonio,** Principios de Electricidad y Electrónica III 2aEd., Volumen 3., Marcombo, España 2010.
13. **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN, LARA MEDINA,** Investigación científica E Investigación Tecnológica. 2013
14. **MALVINO Albert, BATES David,** Principios de Electrónica sexta Edición, Western Winconsin Technicall College Edt. McGraw-Hill, Mexico 2007.
15. **CREUS SOLE Antonio,** Instrumentacion Industrial – Edit Marcombo. 8a ed, España 2011.

16. **CÁNOVA LÓPEZ Andrés**, Manual de Usuario del Compilador PCW de CCS, Microchip, España 2000.
17. **KUMAR A. anand** Fundamentals Of Digital Circuits, Edit. PHI Learning Pvt. Ltd.,USA 2009, traducción.
18. **DORF Richard C. & BISHOP Robert H.** - Sistemas de Control Moderno. 10a edición, Edit. Pearson Educación Madrid 2005.
19. **KUO, Benjamin.** Sistemas de Control Automático. 7ma ed, Edit. Prentice Hall. México 1996.
20. **OGATA, Katsuhiko.** Modern Control Engineering. 5ta ed. Edit Prentice Hall. USA 2002. Traducción.
21. **CREUS SOLE Antonio**, Instrumentación Industrial – Edit. Marcombo. 8va edición, España 2011.
22. **VISIOLI antonio** - Practical PID Control, Edit springer, London 2006, (Traducción).
23. **ASTROM, K. AND HAGGLUND, T.** PID Controllers. 2da ed,Edit Instrument Society of America. USA 1995.
24. **BEQUETTE B. Wayne** Process Control: Modeling, Design, and Simulation, Edit. Prentice Hall, USA 2002.
25. **HERMOSA DONATE Antonio** - Principios de Electricidad y Electrónica III 2aEd., Volumen 3, Marcombo, España 2010.
26. **SÁNCHEZ LÓPEZ Juan de Dios**, Dispositivos electrónicos de potencia, Edit. UABC,Mexico 2002.
27. **CREUS SOLE Antonio**, Instrumentacion Industrial - 8a edicion.Edit Marcomo, España.
28. **CARRETERO MONTERO Alfonso**, Electrónica, Editorial Editex, S.A.España 2004.
29. **TEDESCO Carlos Francisco**, Ascensores electrónicos y variadores de velocidad, LIBRERÍA Y EDITORIAL ALSINA, Buenos Aires 2010.
30. **LILEN Henri**, Tiristores y triacs: principios y aplicaciones de los tiristores, triacs, diacs, SBS, fototiristores, etc. con esquemas de aplicación, Edit Marcombo, España 1988.
31. **GEANKOPLIS Chistie John**, Procesos de transporte y principios de procesos de separación, 4ta edición, Edit CECSA, Minnesota University,

traducción México 2006.

32. **KERN Donald Q.**, Procesos de transferencia de calor, Edit McGraw Hill
New york, 17va impresión traducción Mexico 1984.

33. **SCHULE Charles A.**, Electrónica, principios y aplicaciones, Edit McGraw-
Hill, New York, USA.1986.

ANEXOS

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA IMPRESORA 3D CON MICROCONTROLADOR ATMEGA PARA ESTUDIANTES DE INGENIERIA EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE DESARROLLO TECNOLÓGICO, HUÁNUCO 2015.

PROBLEMA PRINCIPAL	OBJETIVO PRINCIPAL	JUSTIFICACIÓN	VARIABLES	INDICADORES	TIPO Y DISEÑO
¿De qué ¿Cuál es el diseño y construcción de una impresora 3D con microcontrolador ATMEGA para estudiantes de ingeniería, que nos permita imprimir con polímeros como ABS y PLA , que sirva de apoyo en el proceso de enseñanza y aprendizaje de desarrollo tecnológico, Huánuco 2015?	Diseñar y construir una impresora 3D con microcontrolador ATMEGA para estudiantes de ingeniería, que nos permita imprimir con polímeros como ABS y PLA, que sirva de apoyo en el proceso de enseñanza y aprendizaje de desarrollo tecnológico, Huánuco 2015.	<p>El trabajo de investigación se justifica por su aplicación práctica en la búsqueda de soluciones y planteamiento de alternativas al proceso de conversión de diseños en 3D en formatos digitales a objetos físicos, fomentando en los estudiantes la estimulación de la creatividad y la capacidad de resolver problemas, materializando así sus ideas como también:</p> <p>Aumentan la participación: La labor del profesor se facilita. Impulsa colaboraciones entre distintas materias y departamentos</p>	<p>Impresora 3D con micro controlador ATMEGA</p> <p>DIMENSIONES X1: Diseño de la impresora X2: Diseño Electrónico X3: Sistema de control</p>	X1.1. Dimensiones de la Impresora	<p>TIPO: Aplicada y tecnológica, dado que la investigación utiliza los conocimientos, descubrimientos y conclusiones de la investigación básica, para solucionar un problema concreto, y la investigación tecnológica designa un ámbito de producción de conocimiento tecnológico validado, que incluye el producto cognitivo, - descripciones, técnicas, tecnologías, maquinarias, patentes, etc. NIVEL: Descriptivo y exploratorio.</p>
Problemas Específicos	Objetivos Específicos			X1.2. Modelo de la Impresora	
¿Cuál es el diseño estructural de la impresora 3D para escritorio, que sirva de apoyo en el proceso de enseñanza y aprendizaje de desarrollo tecnológico, Huánuco 2015?	Realizar el diseño estructural de la impresora 3D para escritorio, que sirva de apoyo en el proceso de enseñanza y aprendizaje de desarrollo tecnológico, Huánuco 2015.			X2.1. Corriente consumida	
¿Cuál es el diseño de circuito electrónico para la impresora 3D con microcontrolador ATMEGA que controle efectivamente los elementos de potencia?	Diseñar el circuito electrónico para la impresora 3D con microcontrolador ATMEGA que controle efectivamente los elementos de potencia.			X2.2. Calidad de señal	
¿Cuál es el Sistema de Control que gobierne el funcionamiento de la impresora 3D con microcontrolador ATMEGA?	Diseñar el Sistema de Control que gobierne el funcionamiento de la impresora 3D con microcontrolador ATMEGA.	X3.1: Temperatura constante	X3.2. Dosificación de ABS, PLA eficiente	X3.3. Calidad de Impresión	

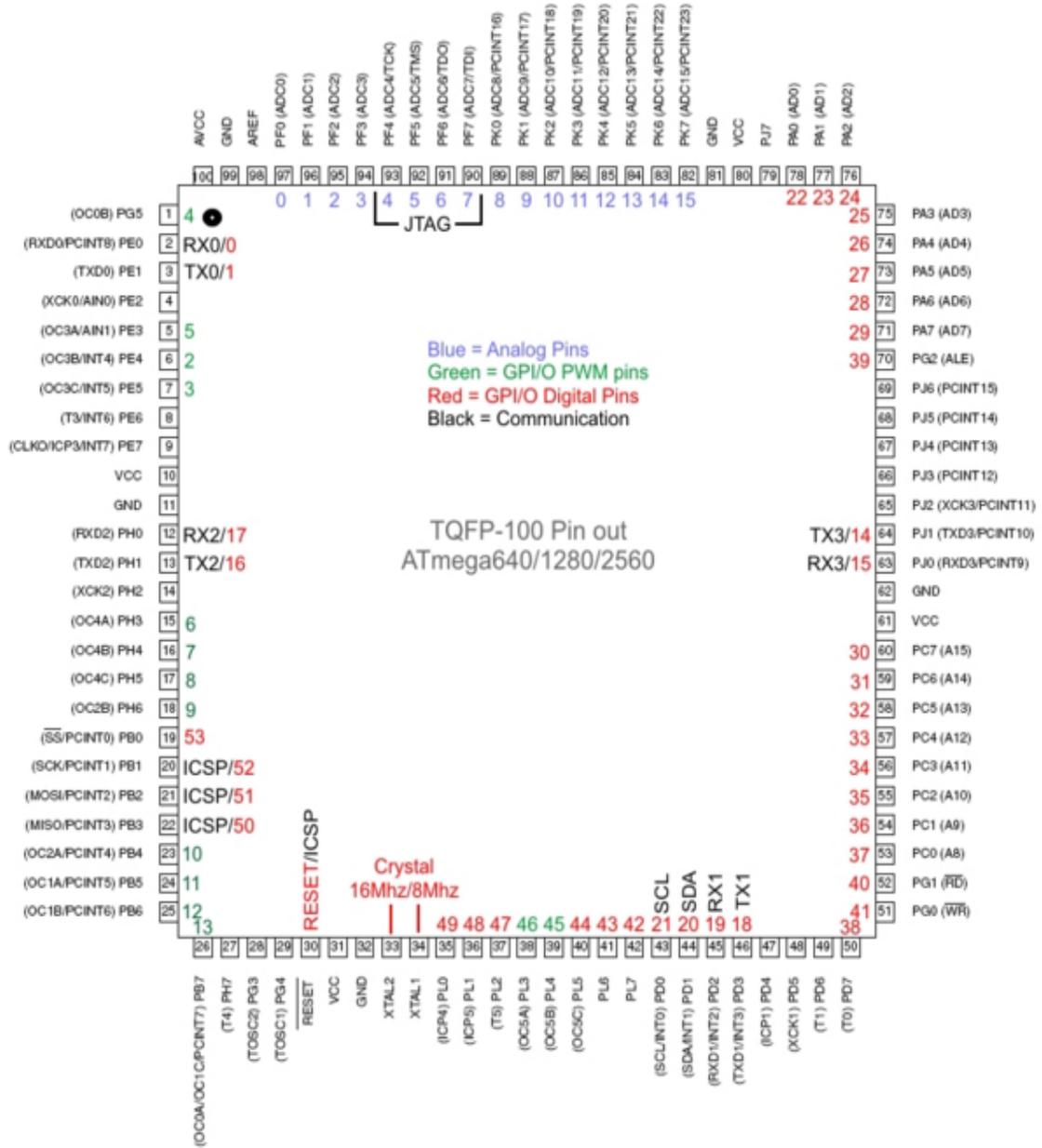
ANEXO 2: Matriz de Selección de Dimensiones

Tabla 4:

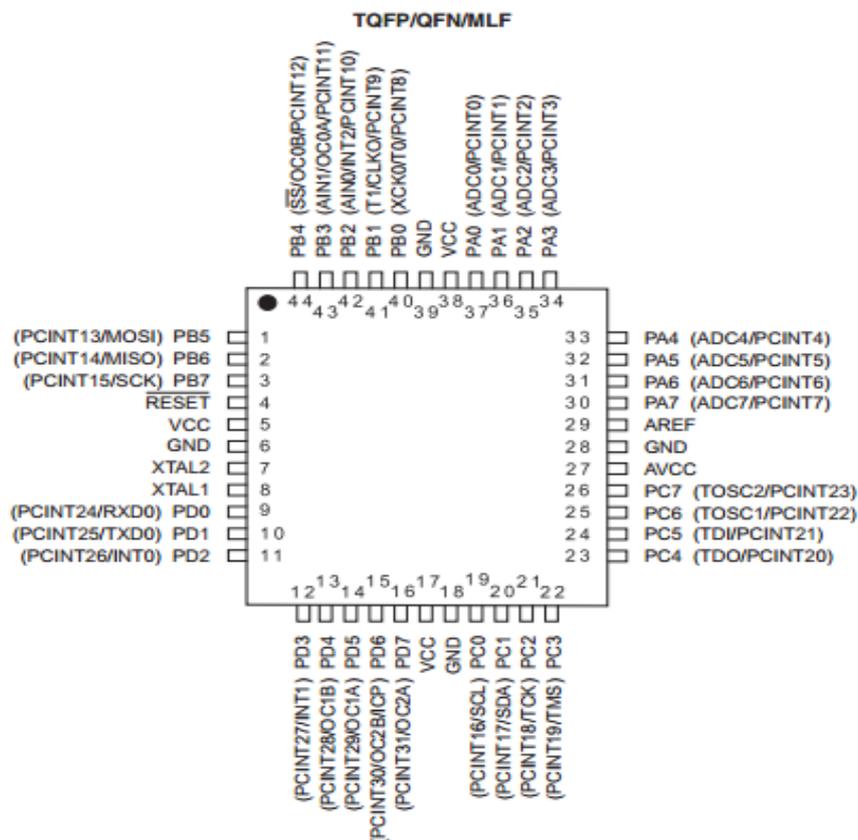
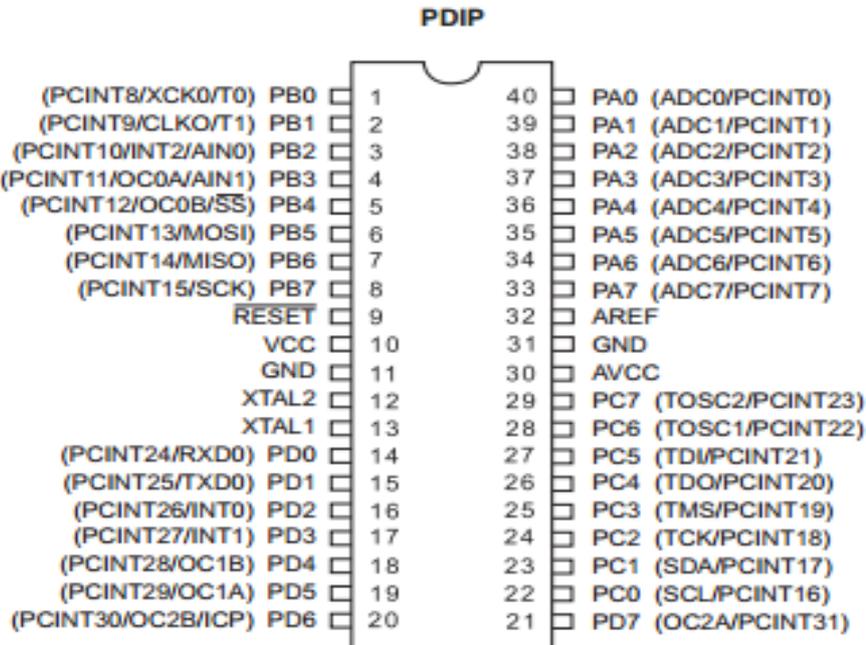
TESIS	Impresora 3D con Microcontrolador Atmega (X) DIMENSIONES:				
	Diseño de la Impresora 3D	Sistema de control	Impresión 3D	Diseño Electrónico	Diagrama y selección de Mecanismo
T1 (Toapanta, Navarrete , Hernán, 2014)	X	X		X	X
T2 (Luis Arráez & , Elena Arráez, 2014)	X	X	X	X	X
T3 (Collantes, Sánchez, Gualberto, 2015)	X	X	X	X	
T4 (Moreno, Mauricio, 2014)		X	X		X
T5 (Martínez, Abel, 2015)	X	X		X	
TOTAL	4	5	3	4	3

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 3: DISTRIBUCIÓN DE PINES DEL ATMEGA 2560

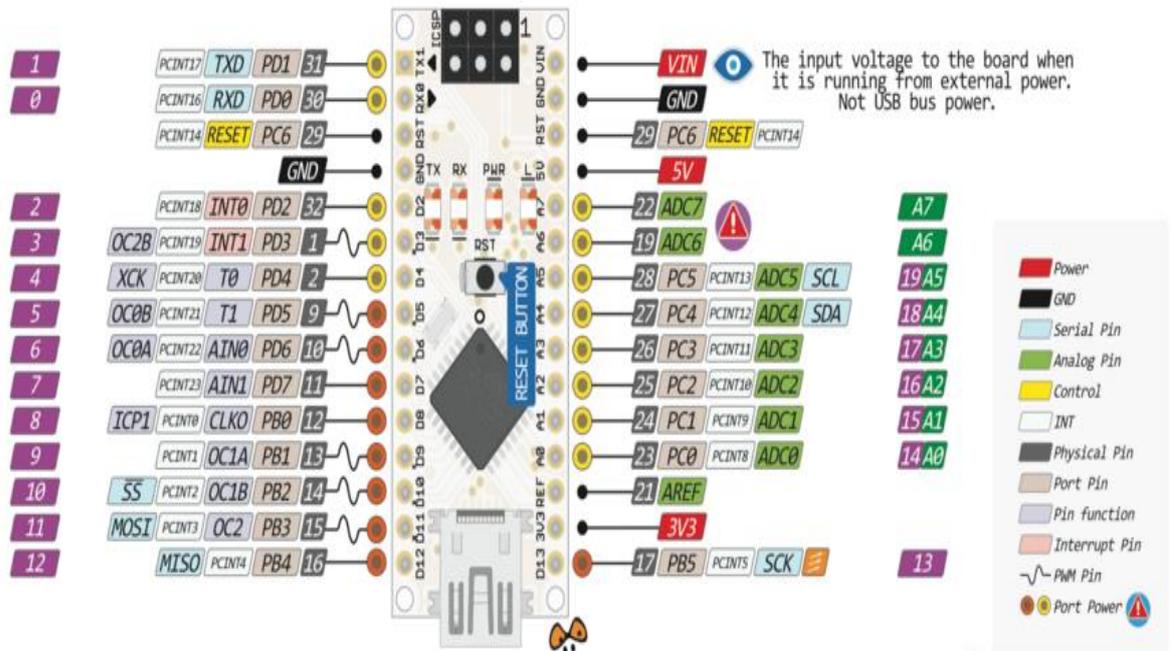
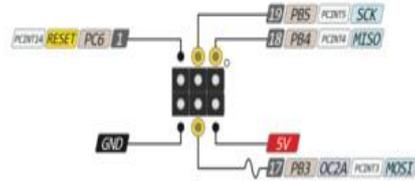


ANEXO 4: DISTRIBUCIÓN DE PINES DEL ATMEGA 644



ANEXO 5: DISTRIBUCIÓN DE PINES DEL ATMEGA 328

NANO PINOUT



! Absolute MAX per pin 40mA recommended 20mA

! Absolute MAX 200mA for entire package

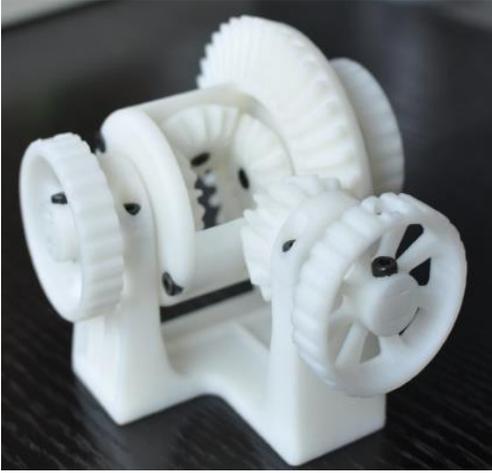
USB JACK Mini Type B



! Analog exclusively Pins



**ANEXO 5: IMÁGENES DE PIEZAS IMPRESAS CON UNA IMPRESORA 3D
EXISTENTES EN EL MERCADO**



**ANEXO 6: IMÁGENES DE PIEZAS IMPRESAS CON IMPRESORA 3D
DESARROLLADO POR EL TESISISTA**

