



**AUTOMATIZACIÓN DE UNA FRESADORA
MANUAL MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN
DISEÑO DE CONTROL BASADO EN CNC**

**Autor:
Jiménez Álvaro
C. I: V-24.329.332**

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (máster) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**AUTOMATIZACIÓN DE UNA FRESADORA MANUAL MEDIANTE LA
UTILIZACIÓN DE UN DISEÑO DE CONTROL BASADO EN CNC**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Electrónico

Autor:
Jiménez Álvaro
C. I: V-24.329.332
Tutor: Ing. González Miguel
C. I: V-21.277.418

San Diego, abril de 2018



FI-E-067-2018-1

Valencia, 25 de Enero de 2018.

Ciudadano:

Jiménez Alvaro

C.I. 24.329.332

Presente.-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 1-2018 de fecha 25/01/2018 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado "AUTOMATIZACIÓN DE UNA FRESADORA MANUAL MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN DISEÑO DE CONTROL BASADO EN CNC." Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico.

Se ratifica la designación del Ing. Miguel González, C.I. 21.277.418 y la Ing. Alicia Yanez de Pizzella, C.I. 4.598.880 como Tutores Académicos que lo asesorarán en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

Prof. Zulay Salcedo

Decana de la Facultad de Ingeniería



c. c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

ZS/fr



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

APROBACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero MIGUEL GONZÁLEZ portador de la cédula de identidad N° V-21.277.418, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano, JIMÉNEZ MORALES ALVARO JOSE portador de la cédula de identidad N° V-24.329.332, titulado **AUTOMATIZACIÓN DE UNA FRESADORA MANUAL MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN DISEÑO DE CONTROL BASADO EN CNC**, acepto la tutoría del mencionado proyecto durante su etapa de desarrollo hasta su elaboración y evaluación; según las condiciones de la Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad José Antonio Páez y sus correspondientes reglamentos.

En San Diego, a los veinte días del mes de marzo del año dos mil dieciocho.

Ing. Miguel González

C.I.: V-21.277.418

DEDICATORIA

A mi familia, por estar siempre presente y ayudándome para hacer posible este gran logro. A mi papa, mi mama, mis hermanos y compañeros por apoyo incondicional, el cual fue vital para completar este proyecto.

A la Universidad José Antonio Páez, por impartir los conocimientos que han dejado una huella de excelencia en mi vida y en mi desarrollo personal.

A mi Tutor, por compartir su tiempo y sus conocimientos que me permiten culminar exitosamente este episodio de mi carrera.

A todas las personas que estuvieron presente en el transcurso de esta etapa y en el proyecto que me permite culminarla.

Alvaro Jose Jimenez Morales

AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento de este proyecto va dirigido especialmente a mis padres, María Patricia y José Tomas y a mis hermanos Tomas Andres y Vicente Paul, por su apoyo, su ayuda, su paciencia y por su compañía a lo largo de esta gran etapa de mi vida.

A mi tutor Miguel González, porque gracias a sus conocimientos y ayuda todo esto es posible.

Doy gracias a mis compañeros porque siempre han estado ahí y han sido muy solidarios conmigo.

Por último doy gracias a Dios, que nunca me ha faltado y ha estado conmigo ante todo momento.

ÍNDICE GENERAL

	Pp.
RESUMEN	xiii
INTRODUCCIÓN	1
 CAPÍTULO	
I. EL PROBLEMA	
1.1. Planteamiento del Problema.....	4
1.2. Formulación del Problema.....	6
1.3. Objetivos de la investigación.....	6
1.3.1. Objetivo General.....	6
1.3.2. Objetivos Específicos.....	6
1.4. Justificación del Problema.....	6
1.5. Alcance.....	7
 II. MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes.....	8
2.2 Bases Teóricas.....	9
2.2.1 HMI.....	11
2.2.2 Motor paso a paso.....	12
2.2.3 Fresadora.....	14
2.2.4 Motor DC.....	15
2.2.5 Arduino.....	15
2.2.6 Driver A4988.....	17
2.2.7 Arduino shield.....	18
2.2.8 Puente H.....	19
2.3 Definición de términos básicos.....	22
 III. MARCO METODOLÓGICO	
3.1 Tipo de Investigación.....	25
3.2 Diseño de la Investigación.....	25
3.3 Nivel de la Investigación.....	26
3.4 Población y Muestra.....	26

3.5 Técnicas e Instrumentos de investigación.....	27
3.5.1 Técnicas.....	27
3.6 Fases Metodológicas.....	28
IV. RESULTADO	
4.1 Fase I: Estudiar el funcionamiento de una maquina fresadora y del control CNC.....	30
4.2 Fase II. Establecer un software para el controlador de la máquina que interprete los datos enviados desde la computadora.....	35
4.3 Fase III. Desarrollar un circuito de control para la automatización de la maquina fresadora manual.....	45
4.3.1 Diseño y construcción de la maquina.....	46
4.3.2 Elección de los motores a utilizar en los ejes.....	47
4.3.3 Ajuste de los drivers para los motores paso a paso.....	50
4.3.4 Elección del controlador.....	54
4.3.5 Controlador de velocidad del motor DC.....	56
4.4 Fase IV: Comprobar el buen funcionamiento de la máquina mediante la realización de las pruebas pertinentes.....	59
CONCLUSION	64
RECOMENDACIONES	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS	67

INDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

	Pp.
1 Diagrama de aplicación del A4988.....	18
2 Esquema de conexión del shield CNC.....	19
3 Esquema de un Chopper cuatro cuadrantes.....	20
4 Diagrama de flujo de una maquina CNC.....	32
5 Ventana del programa HMI.....	36
6 Descarga del Arduino IDE.....	38
7 Descarga del controlador GRBL.....	39
8 Ejemplo dentro de la librería GRBL.....	39
9 Ventana serial del IDE.....	40
10 Configuración de la placa Arduino I.....	41
11 Configuración de la placa Arduino II.....	41
12 Traducción de cada uno de los valores para el reporte.....	43
13 Inicio al artCAM.....	45
14 Diseño de la maquina.....	46
15 Dimensiones de la maquina.....	47
16 Diagrama de conexión del driver A4988.....	50
17 Diagrama del driver.....	51
18 Foto del chip A4988 señalando las resistencias de sensibilidad.....	52
19 Resolución de micropasos.....	53
20 Mapa de las entradas y salidas del chip atmega328p.....	55
21 Diagrama de conexión de los motores PAP con Arduino.....	56
22 Conexión de los drivers al controlador.....	56
23 Diagrama del circuito controlador del motor DC.....	58
24 Montaje del circuito de control del motor DC.....	58
25 Trazado de dibujo en artCAM.....	59
26 Características de la fresa.....	60
27 Conversión de figura a código G.....	61
28 Cargar el código G al interfaz.....	62
29 Visualización de la figura en el interfaz.....	62
30 Resultado final.....	63
31 Diseño final de la maquina.....	63

INDICE DE CUADROS Y TABLAS

	Pp.
1 Características importantes de la tarjeta Arduino UNO.....	16
2 Instrucciones del lenguaje CNC.....	33
3 Determinación de los valores a enviar e \$2 y \$3.....	42
4 Especificación del motor paso a paso utilizado.....	49
5 Resolución de pasos del driver A4988.....	53



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

AUTOMATIZACIÓN DE UNA FRESADORA MANUAL MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN DISEÑO DE CONTROL BASADO EN CNC

Autor: Jiménez Álvaro

Tutor: Ing. Miguel González

Fecha: Octubre, 2017

RESUMEN

En este proyecto, se ha desarrollado la construcción y automatización de una fresadora manual mediante la utilización de un diseño de control numérico computarizado (CNC), con el objetivo de lograr mayor precisión en los trabajos que lo requieran, además de buscar mayor seguridad para los operadores en el manejo de la máquina automatizando la elaboración de piezas y grabados a través de la conexión entre una computadora, que contiene las imágenes y el diseño transformados en lenguaje G, y la fresadora manual. Se definió la investigación bajo los lineamientos de proyecto factible con diseño de campo y nivel explicativo y se establecieron técnicas de recolección de datos como la observación directa y la encuesta. Para alcanzar los fines propuestos se desarrollan varios modelos y pruebas que demostrarán la eficiencia de la máquina.

Descriptor: Robótica, Microcontroladores, Herramientas de programación.

INTRODUCCIÓN

Los procesos automáticos han estado en la vida cotidiana del ser humano por mucho tiempo y han ido evolucionando de modo que se requiera cada vez menos la presencia de una persona en el proceso. Antes de poder crear ambientes automáticos se tuvo que fabricar y diseñar máquinas capaces de hacer el trabajo necesario por el hombre. Una de las primeras máquinas que se creó fue para disminuir el esfuerzo al levantar objetos pesados con sistemas de poleas o con una palanca y posteriormente se pudo sustituir esa energía humana o animal en formas naturales de energías renovable. Uno de los primeros sistemas automatizados que se vio fue el sistema que se utilizaban para relojes utilizando algunas formas de fuente de poder artificiales.

En vista de la fuerte demanda del mercado, ciertas industrias han crecido cada vez más ya que necesitan mayor producción para abastecer a todas las personas. Estas industrias siempre han buscado la forma de hacer el proceso lo más simple, seguro y rápido posible, además, de tratar de disminuir el costo implementando mecanismos y sistemas capaces de cumplir con sus demandas. Anteriormente todas las industrias tenían la mayoría de los procesos hechos a mano, pero en vista de que para abastecer la demanda necesitaban mucho más personal y eso significaba un aumento de costo con un porcentaje de error elevado, estas industrias fueron empleando cada vez más procesos automatizados que les permitían aumentar la producción, les proporcionaba repetitividad, con menor error y a menor precio. Estos procesos automatizados constaban de elementos computarizados y elementos electromecánicos que se usan para controlar dichos procesos o maquinarias que intervienen en este.

Eileen Baylus (2018) en la revista Cuida tu Dinero explica: la manufactura optimizada es un proceso de producción automatizada que logra mayor eficiencia al usar robots industriales. Como los robots están programados para trabajar de forma eficiente y ahorrar tiempo y materiales éstos añaden confiabilidad al proceso de manufactura. Antes

de escoger el uso de la robótica, se deben medir los costos asociados contra los beneficios potenciales. Los costos iniciales de re-ingeniería en las líneas de producción son enormes, y probablemente, el proceso implica el despido de trabajadores. La reducción de costos e incremento en el nivel de producción aumentan el nivel de ganancias. [Versión en línea]

En este sentido, a la hora de optar por la automatización se debe hacer un estudio bastante profundo del proceso a automatizar. Como podemos ver, la automatización tiene muchas ventajas en la industria, pero también tiene sus desventajas. Dicho esto, se puede decir que unas de las desventajas son la poca flexibilidad a la hora de hacer un cambio, el requerimiento de una gran inversión inicial y el aumento del mantenimiento y reparación de equipos. Las empresas tienen que evaluar si es buena inversión automatizar ya que tienen que producir un mínimo de productos para que en realidad esta inversión sea factible. Todos los procesos necesitan de una buena precisión y exactitud, unos más que otros, para poder cumplir con las exigencias de la empresa y del producto.

El siguiente trabajo está estructurado de manera que se pueda observar paso a paso lo que se tiene que hacer y entender de manera correcta su funcionamiento y su uso. En el primer capítulo se aborda el problema y la razón por la cual se eligió este proyecto. Procediendo con el segundo capítulo, se exponen y analizan los conceptos relacionados con la estructura del mismo así proyectos similares que sirven como conocimientos a tomar en cuenta para determinar la orientación adecuada de la investigación. Durante el tercer capítulo se engloban los pasos a realizar para la culminación y se describe cada uno de ellos, para que de esta manera se pueda tener conocimiento más detallado del trabajo. Por último, el cuarto capítulo corresponde a la especificación de todos los resultados obtenidos en el proyecto así como su funcionamiento.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

A nivel internacional cada industria es única, al igual que su proceso productivo, puesto que ofrecen diferentes bienes y cada uno requiere métodos de acabados propios. Estas industrias tienen lineamientos propios que varían dependiendo del producto a fabricar. Para cumplir con estas exigencias cada uno de los procesos por el cual pasa el producto antes de terminar debe ser muy preciso. Cuando se habla de procesos industriales tiene mucho que ver con la cantidad de producción, esto se debe a que cuando tienes una industria esta característica representa un factor muy importante en ella y en la mayoría de los casos la poca productividad puede llevar a la quiebra de la empresa.

Muchas empresas fabrican piezas o tallado a partir de materiales duros tales como hierro, plástico, madera, entre otros, manipulando distintas herramientas, estas tienen límites trazados por sus métodos de producción. Alejandra Salazar (2017) en el portal web Fierros Industrial expone: “Los productos pueden hacerse a mano o mediante una combinación de métodos manuales y mecánicos.” De esta manera, se puede notar que existen dos tipos de manejos de las maquinas, herramientas importantes en muchas empresas, estos son: el manejo de forma manual y el manejo automatizado.

La fabricación de manera manual tiene varias desventajas y entre ellas se encuentra la productividad limitada y el margen de error elevado. Los métodos manuales normalmente están condicionados a la capacidad del operador, gracias a esto hay veces que la capacidad de producción está muy por debajo de la demanda lo que significaría perdida para la industria. A raíz de estos inconvenientes las empresas están optando cada vez más por la automatización debido a que esto representa una

disminución del margen de error y de riesgo considerable, además de un aumento en la rapidez de producción considerable.

La opción más común que se utiliza en las industrias para automatizar procesos de mecanizados es mediante la implementación de máquinas de control numérico computarizado (CNC). La implementación de este tipo de máquina tiene bastantes ventajas a nivel industrial, pero todo tiene su grado de complicaciones. Estas tienen varias desventajas entre ellas una de importancia como lo es la complejidad de programación. Este lenguaje de programación no es nada sencillo para un usuario cualquiera y por ello los trabajadores deben ser capacitados para poder programar la máquina CNC ya que para un simple cambio como el de un trazado se debe volver a programar. Al empezar el trabajo de programación se diseña la pieza de manera digital y se transforma en código G (lenguaje comúnmente utilizado en las máquinas CNC) con el propósito de ser enviada de manera directa e iniciar su fabricación. Sin embargo, las máquinas capaces de funcionar de esta manera tienen costos muy elevados especialmente cuando se habla de tamaños industriales.

El alto costo de producción de una pieza puede ser otro de los grandes problemas de las industrias ya que al producir una pieza es necesario construir un molde que permita observar y fabricar la pieza. Este molde puede ser hecho a mano por una persona y eso representa un gasto que aumenta el costo de la pieza. El costo de fabricación de la máquina representa también un inconveniente ya que no suelen ser económicas por no ser producidas en el país y tener que importarlas.

Muchas de estas máquinas son hechas de acuerdo a las necesidades de cada industria y por lo tanto tienen un límite de espacio en donde puede trabajar. Este límite representa el rango de trabajo y el tamaño máximo de elementos que se pueden fabricar. Gracias a esto el costo de la máquina elevaría. La manipulación de una fresadora de manera manual conlleva muchos riesgos que pueden causar graves problemas para el usuario y para la empresa. El usuario debe llevar los accesorios de protección y seguir con ciertos lineamientos que hacen que su manipulación sea más

segura, no obstante, no la hace 100% segura ya que pueden ocurrir errores en la maquina e inconvenientes imprevistos para la cual no se tomó ningún mecanismo de protección. Unos de los problemas más comunes que se presenta con la fresadora son: golpes por proyección de viruta, atascamiento por ropa holgada, heridas y quemaduras producidas por manipulación de virutas, entre otros.

1.2 Formulación del problema

Para poder llevar a cabo el proyecto planteado se tiene la siguiente interrogante:

¿Cómo implementar un control CNC en la automatización de una fresadora para optimizar el proceso de producción?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

- Diseñar un control CNC que permita la automatización de la fresadora manual para la obtención de mayor precisión a la hora de su manipulación.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudiar el funcionamiento de una maquina fresadora y del control CNC.
- Establecer un software para el controlador de la máquina que interprete los datos enviados desde la computadora.
- Desarrollar un circuito de control para la automatización de la maquina fresadora manual.
- Comprobar el buen funcionamiento de la máquina mediante la realización de las pruebas pertinentes.

1.4 Justificación

Gracias a la competitividad que hoy existe en el mercado las empresas tienen que optar por cambios para optimizar el proceso de producción que genere mayor

producción en menor tiempo y costo posible. La automatización juega un papel muy importante en esos cambios ya que hoy en día gracias al avance tecnológico que hay a nivel mundial en las industrias es indispensable automatizar las líneas de producción ya que gracias a eso se puede obtener una mayor eficiencia en la manipulación de máquinas e instrumentos, para así poder llegar a la meta que sería aumentar la producción en igual o menor tiempo a un menor costo.

La fresadora se utiliza, comúnmente, en procesos que necesitan de una muy buena precisión y exactitud para así poder obtener siempre el mejor resultado para un buen rendimiento de producción. También es un elemento muy común en las empresas y se usan para realizar distintos trabajos de mecanizados. Gracias a la incorporación del control numérico, son las máquinas-herramienta más polivalentes por la variedad de mecanizados que pueden realizar y la flexibilidad que permiten en el proceso de fabricación.

La automatización de una fresadora puede ser muy útil a lo hora de su utilización, ya que esta puede responder de manera más eficiente. A la hora de manipular una máquina de estas es indispensable la precisión, un ligero cambio o error puede dañar por completo la pieza que se está trabajando. A través de este proyecto podremos optimizar el funcionamiento de una fresadora otorgándole mayor precisión y mayor rapidez comparada con una manipulada manualmente y así poder obtener el menor margen de error posible.

1.5 Alcance

La fresadora constara de dos partes la parte tangible (hardware) y la intangible (software). Esta máquina fresadora se manejará de manera automática y se moverá en los tres ejes (x, y, z) para el mecanizado de piezas en 3D. Teniendo en cuenta la construcción es necesario la utilización de 3 motores paso a paso para su movimiento de forma precisa en cada uno de los ejes y una fresadora en el medio que es la que se moverá. La máquina será construida con la plataforma Arduino obteniendo un mayor rendimiento.

Esta máquina será diseñada para poder controlarla mediante un software HMI en la computadora y así no tener que manipularla. Será sencilla de utilizar y programar con el fin de hacerla lo más versátil posible y poder adaptarla a otros elementos de trabajo. La parte de software y hardware serán diseñados para ser capaces de hacer figuras en 3D y tallados en un material duro como la madera. Gracias al hardware a diseñar se podrán hacer los diseños en 3D a computadora y mandarlos a la máquina en lenguaje G. A través de los elementos declarados anteriormente se podrá hacer uso de este proyecto en procesos de tallados en madera de figura y mecanizado en madera, todo esto se podrá hacer desde una computadora enviando diseños hechos en la misma y convirtiéndolo en código G para su interpretación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

La investigación preliminar en documentos y material bibliográfico relacionados con el tema de estudio, permitió escoger aquellas investigaciones válidas que se encuentran en correspondencia directa o indirecta con el objetivo general que se pretendió alcanzar en este proyecto.

A continuación, se presentan los trabajos escogidos de acuerdo a su orden cronológico, desde el más reciente hasta el postrero, con una antigüedad de cinco años.

Riquelme M. (2014), en su trabajo de tesis presentado ante la Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia, titulado **“Diseño y fabricación de una fresadora CNC de 3 ejes para el mecanizado de PCB con plataformas de desarrollo abiertas”** para optar al grado en ingeniería electrónica industrial y automática, aborda el tema de diseño y fabricación de acuerdo a las buenas prácticas de la ingeniería. El autor se planteó como objetivo general crear un dispositivo de control numérico computarizado (CNC), lo cual implica su diseño previo en 3D sobre un programa CAD, su fabricación, la implementación de la electrónica y la creación de una pieza mecanizada de ejemplo. El autor concluyó la importancia de dicho tipo de máquinas para trabajos importantes en diferentes áreas y en específico el mecanizado de PCB para el montaje de circuitos electrónicos.

Por su parte, **García A. (2016)** realizó un trabajo de tesis presentado ante (¿?) en Valencia, España, titulado **“Desarrollo de la automatización de un proceso de mecanizado de piezas y de almacenamiento de las mismas”**. En el explica el diseño y creación de un sistema SCADA para implementar diversos modos de

funcionamiento coordinando los procesos entre dos autómatas permitiendo el correcto funcionamiento y control del mismo. De esta manera, el autor concluyo que para automatizar completamente un proceso se requiere el uso de diferentes herramientas y técnicas que se complementan entre si con el fin de mejorar dicho procedimiento.

Por último, **Isabel Clemente (2013)** elaboro el trabajo de grado **“Diseño y construcción de una máquina de control numérico con interfaz basada en un microcontrolador para el trazado de una imagen diseñada a computadora”** en Carabobo, Venezuela. En este trabajo se realizó un dispositivo de control numérico por computadora para poder mover un lápiz en los tres ejes de coordenadas y así poder trazar una imagen. El diseño de la imagen fue hecho en la computadora por lo tanto se tuvo que pasar al lenguaje G y así pasarlo al CNC. Este trabajo practico tiene mucho que ver con lo que se quiere hacer ya que además de usar una maquina CNC utilizó una interfaz gráfica y la comunicó con la máquina para controlarla mediante una computadora. Además, hizo uso de un CAD para diseñar los dibujos a trazar por la máquina y CAM para mandar los diseños de los dibujos a través del lenguaje G para ser interpretado por la maquina CNC construida.

2.2 Bases teóricas

Para empezar a entender un poco es necesario conocer algunos aspectos del tema que son importante para el desarrollo del proyecto propuesto, esto se debe a que el trabajo a desarrollar consta de varias partes y cada una de ellas es vital para su funcionamiento. Dicho esto se puede empezar explicando la automatización que Pérez J. y Medino M. (2016) lo define como “el sistema que permite que una máquina desarrolle ciertos procesos o realice tareas sin intervención del ser humano”. Gracias a la automatización se puede ahorrar tiempo y dinero ya que esto permite realizar el trabajo de manera más eficiente. Para automatizar un proceso es necesario tener los instrumentos y la electrónica necesaria para poder comunicar las maquinas

con la computadora a utilizar. Algunos de las ventajas que las empresas buscan a la hora de automatizar un proceso son:

- Reducción de costes de la producción: Una vez automatizado un proceso, se necesita menos personal de base en la cadena de producción. Por otra parte, la automatización aumenta la eficiencia energética y de uso de materias primas. Así, se reducen los costes asociados a suministros y stock.
- Seguridad del personal: Se incrementa la seguridad del personal, especialmente en procesos que incluyen grandes pesos, temperaturas elevadas o entornos peligrosos con productos químicos, nocivos o radioactivos)
- Mejorar los tiempos de producción: Dada la eficiencia y precisión del proceso automatizado, se reduce significativamente el tiempo de producción.
- Niveles de calidad óptimos: La automatización permite ejecutar los procesos con un nivel de precisión mucho más elevado que en un proceso manual. Las medidas se calculan con la mínima unidad. Además, no se producen tiempos muertos ni interrupciones por errores o cambios en el proceso.
- Integrar la gestión y producción: La automatización permite adaptar el producto a las características y requerimientos específicos de cada empresa.

Todo lo expuesto anteriormente aumenta la competitividad en el mercado, ya que se puede dar una mejor respuesta a las necesidades de este, ofrecer productos de mejor calidad en menor tiempo, así como reaccionar de forma más rápida y flexible a los cambios. Lo que a su vez permite el crecimiento y otorga una ventaja competitiva a la empresa que implemente un proceso automatizado en su producción.

De esta manera, se tiene como finalidad la automatización una maquina fresadora manual mediante la implementación de un sistema CNC. La implementación de un diseño de control basado en CNC ha tenido una gran importancia en la automatización de diferentes máquinas, entre estas máquinas se encuentra la fresadora que es la máquina que se va a automatizar en este caso. Este sistema CNC permite controlar la ubicación de un elemento físico. A través de un programa se controlarán sus coordenadas de posición del elemento respecto a su origen. En la parte electrónica se utilizarán varios componentes que harán posible el movimiento de la máquina y la comunicación para así poder controlar la maquina desde una computadora. Se puede decir que la parte electrónica más importante en este caso sería la tarjeta programable ya que gracias a ella vamos a poder establecer la comunicación con la computadora. Además, cuenta con tres motores paso a paso para poder hacer los movimientos de la máquina de manera precisa.

2.2.1 HMI

Para Coba R. (2010) un HMI (Human Machine Interface) es el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina. La comunicación con los dispositivos de las máquinas o proceso se realiza mediante comunicación de datos empleando las puertas disponibles para ello, tanto en los dispositivos como en las computadoras. Mediante este software a desarrollar se va a supervisar y controlar la maquina fresadora a través de una computadora. Para el funcionamiento de esta máquina de manera exitosa se debe hacer uso del programa HMI y construir la máquina de manera correcta con los equipos necesarios para poder realizar la comunicación entre los dispositivos y poder completar la automatización de la máquina. En este caso el HMI a utilizar será un programa llamado Universal Gcode Sender que a través de este programa facilitaremos el manejo de la maquina empleando el uso de una computadora. Este programa nos permitirá el envío de la imagen a la máquina para su mecanizado.

2.2.2 Motor paso a paso

Uno de los pilares más importantes de este proyecto son los motores paso a paso ya que gracias a esto es que se puede mover el instrumento de forma precisa y por ende debemos entender un poco el funcionamiento de los mismos. Para empezar, Garces J. (2013) explica motor paso a paso como “es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa es que es capaz de avanzar una serie de grados (paso) dependiendo de sus entradas de control”. Estos poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o totalmente libres y de que pueden girar en cualquiera de los dos sentidos. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas. Es muy común la utilización de estos tipos de maquina eléctrica en el área de la robótica ya que estos pueden dar movimientos angulares de distintas precisiones. Estos motores los puedes conseguir desde 90° (4 pasos por giro) por pasos hasta motores muy precisos de hasta 0.72° por paso (500 pasos por giro).

El motor paso a paso difiere de los motores DC en muchas cosas, pero una de sus grandes diferencias y virtudes es que su mayor capacidad de torque se produce a baja velocidad. Los motores paso a paso tienen una característica adicional como lo es el torque de detención o de mantenimiento que no existe en los otros. Carletti E. (2007) define torque de detención como “el torque que hace que un motor paso a paso se mantenga firmemente en su posición cuando no está girando”. Esta característica es muy útil cuando el motor deja de moverse y, mientras está detenido, la fuerza de carga permanece aplicada a su eje eliminando así la necesidad de un mecanismo de freno.

Estos motores tienen varios bobinados que, para producir el avance de ese paso, deben ser alimentados en una adecuada secuencia. Si se invierte el orden de esta

secuencia, se logra que el motor gire en sentido opuesto. Si los pulsos de alimentación no se proveen en el orden correcto, el motor no se moverá apropiadamente. El control de un motor de este tipo no es tan sencillo como el de un motor DC en el cual solo basta con entregarle una corriente continua para hacerlo girar. Para hacer avanzar un motor paso a paso se necesita un sistema de control especializado en el cual se convierta la señal recibida en secuencias de alimentación de los bobinados necesaria para el correcto avance de este motor.

Existen 3 tipos fundamentales de motores paso a paso: el motor de reluctancia variable, el motor de magnetización permanente, y el motor híbrido.

- **El motor de pasos de reluctancia variable:** Son los más simples de manejar. de láminas ferro magnéticas no imantadas, formando un cilindro alrededor del eje, estas forman ranuras de forma longitudinal, formando dientes llamados polos del rotor. Las ranuras del rotor conllevan una variación de la reluctancia en función de su posición angular. Rota cuando el diente más cercano del rotor es atraído a la bobina del estator energizada. El estator al igual que el rotor está formado por láminas de material ferro magnético no imantado con una serie de ranuras longitudinal que albergan los bobinados de las fases y forman los polos del estator. El estator normalmente está conformado por mas polos que el rotor.
- **El motor de pasos de rotor de imán permanente:** Estos están constituidos por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes. Las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Permite mantener un par diferente de cero cuando el motor no está energizado y el ángulo de rotación se mide por el número de polos. Estos son los tipos de motores más usados en robótica. Hay dos tipos de motores de imanes permanentes: Los unipolares y los bipolares.

ü **Unipolares:** Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar, estos utilizan un cable común a la fuente de alimentación y se colocan

las otras líneas a tierra en un orden específico para generar cada paso, un motor unipolar de 6 cables puede ser usado como un motor bipolar si se deja las líneas del común al aire.

Ü **Bipolares:** Cuenta con dos bobinas sin ningún cable en común entre las bobinas. La corriente en las bobinas puede fluir en dos direcciones y dependiendo de esta el sentido de giro del motor cambia. Este se denomina así porque al momento de energizar las bobinas del estator se generan simultáneamente dos polos magnéticos, uno norte y uno sur. Unas de las ventajas en comparación con los unipolares son: mayor torque, más económicos, menor tamaño y mayor anclaje debido a los bobinados.

- **Motor de paso híbrido:** Se puede decir que el motor de pasos híbrido es la unión de los dos anteriores y tiene una alta precisión y alto par con un menor tamaño, se puede configurar para suministrar un paso angular tan pequeño como 1.8° . Las diferencias de importancia se encuentran en la estructura del rotor, formado por un disco cilíndrico imantado en posición longitudinal al eje y éste está altamente magnetizado produciendo un flujo unipolar. Las líneas magnéticas que genera el imán son guiadas por dos cilindros acoplados a los extremos de cada uno de sus polos. Estos son construidos generalmente por láminas de material ferro magnético y dentados, forman los polos del rotor.

2.2.3 Fresadora

Gómez (2012) define fresadora como “una máquina herramienta utilizada para realizar mecanizados por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa”. Esta máquina hace posible varios tipos de mecanizados en distintos materiales como madera, hierro, plástico, entre otros y distintos tipos de superficie. Dicho proceso consiste en diseñar o construir una pieza cualquiera mediante la eliminación de material. Esta es una de

las maquinas con la capacidad de mecanizar. Dependiendo de la pieza a mecanizar se deberán cambiar las puntas o las fresas para obtener mayor precisión.

2.2.4 Motor DC

Hughe A. (2006) define motor DC como “Un motor de corriente directa, o motor CD, convierte la energía eléctrica en energía mecánica”. Un motor DC como las otras máquinas eléctricas giratorias está compuesto de un estator y un rotor. Esta corriente continua es suministrada al rotor por medio de las “escobillas” generalmente fabricadas de carbón. El principio en el cual se rige su funcionamiento es la ley de Lorentz que dice que una carga en movimiento dentro de un campo magnético experimenta una fuerza.

En este caso el campo se le hace pasar una corriente por los devanados de los polos del estator para así crear un campo magnético perpendicular a los conductores. Esta corriente que circula por los devanados del estator se le llama corriente de excitación. Para crear el movimiento se induce una corriente a los devanados del rotor a través de las escobillas esto causa que circule una corriente por el rotor y este experimente una fuerza que genera el giro del rotor.

2.2.5 Arduino

Según el cofundador de Arduino David Cuartielles (2011) “es el hardware cuyas fuentes quedan abiertas para su uso por otras personas y entidades”. Es una de las plataformas de código abierto y basados en un hardware y software sencillo con salidas y entradas, analógicas y digitales. Hay muchas otras estructuras similares a este tipo de controlador que toman todos los detalles de la programación de microcontroladores y los unen en un paquete fácil de usar.

Esta plataforma tiene muchas ventajas que simplifican tanto su uso como la elección del dispositivo. Unas de estas ventajas son:

- **Costo:** Estas placas son relativamente económicas comparadas con otras plataformas microcontroladoras.
- **Multiplataforma:** El software se ejecuta en sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux, mientras la mayoría de los sistemas microcontroladores están limitados a Windows.
- **Sencillez en la programación:** El entorno de programación es fácil de usar para principiantes, pero suficientemente flexible para que usuarios avanzados puedan aprovecharlo también.
- **Código abierto:** Se puede implementar las librerías C++ para expandir el lenguaje. Su diseño puede utilizarse para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto sin necesidad de licencia.
- **Hardware extensible:** Está basado en los microcontroladores de la compañía Atmel y los planos de los módulos están publicados de modo que sea posible hacer una versión propia sin ningún problema. Ver tabla 1.

Características	Arduino UNO
Microcontrolador	ATmega328p
Voltaje de alimentación (recomendada)	7-12 V
Voltaje de alimentación (máxima)	6-20 V
Voltaje de pines	5 V
Numero de I/O digitales	14 (6 son de salida PWM)
Numero de pines analógicos	6
Corriente DC en las I/O digitales	20 mA
Corriente DC en el pin de 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB
Memoria de datos SRAM	2 KB
Memoria de datos EEPROM	1 KB
Velocidad de reloj	16MHz

Tabla 1. Características importantes de la tarjeta Arduino UNO

Fuente: <https://www.arduino.cc/> (2018)

Como podemos ver en la tabla hay un rango de voltaje de alimentación recomendada y máxima esto quiere decir que esta tarjeta podría trabajar con una alimentación entre el rango de 6 a 20 V pero en trabaja de manera más eficiente entre los 7 y 12 V ya que si superamos los 12 esta se puede recalentar y ocasionar daños, pero si lo alimentas con 6 V o menos la salida de los pines no sería de 5V y podría causar inestabilidad. Una de las razones por la cual se eligió esta plataforma fue por la versatilidad que tiene dicho dispositivo y entre todos los modelos se escogió el UNO por el número de entradas y salidas que tiene.

2.2.6 Driver A4988

Allegro microsystems, LLC (2018) define el driver A4988 como “Un circuito controlador bipolar de motores paso a paso que permite manejar un motor paso a paso bipolar de hasta 2A de corriente desde cualquier microcontrolador”. Este driver para motores paso a paso cuenta con un limitador de corriente, y protección de sobre calentamiento y de exceso de consumo para garantizar un funcionamiento correcto cuando lo utilice en sus proyectos.

El circuito opera en un rango de hasta 35V con una corriente de 1A por fase y tiene capacidad para soportar hasta 2A por bobina si hubiera suficiente refrigeración adicional. Tiene una interface tipo paso y dirección, cuenta con micro pasos hasta 1/16, control inteligente del consumo cuando el motor está parado y control ajustable de la corriente, todo ello en un pequeño circuito que podemos incorporar fácilmente en nuestros circuitos. Este incorpora cinco posibilidades de movimiento: paso completo, medio paso, un cuarto de paso, un octavo de paso y la decimosexta parte de paso, por lo que resulta muy versátil a la hora de utilizarlo en diferentes proyectos o necesidades específicas de movimiento. En la siguiente figura se puede apreciar el diagrama de aplicación del driver A4988. Ver figura 1.

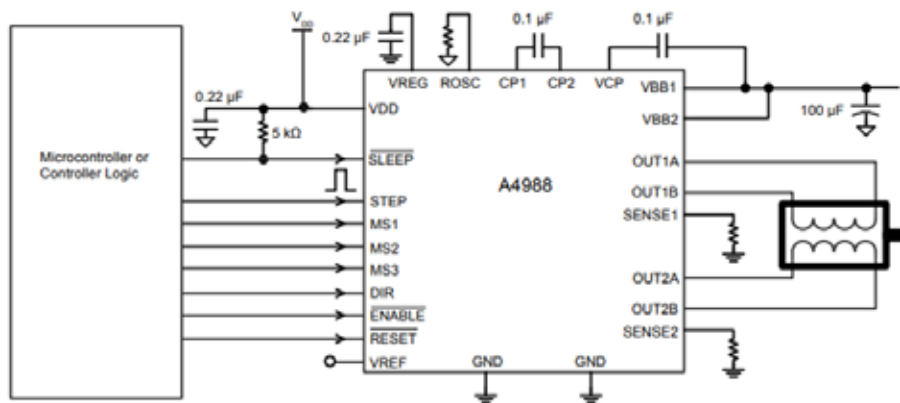


Figura 1. Diagrama de aplicación del A4988.

Fuente: <https://www.allegromicro.com/SearchResults.aspx?q=A4988&x=0&y=0> (2018).

Para la selección de la resolución de los micropasos debemos activar y desactivar los puertos MS1, MS2 y MS3, haciendo una combinación dependiendo de la necesidad de cada una de las personas que utilicen dicho dispositivo. Esta resolución varía según las necesidades de cada proyecto. En este proyecto se decidió utilizarlos con paso completo ya que al cambiar eso nos podría afectar la velocidad de la máquina. Al activar y desactivar la entrada DIR se estaría cambiando la dirección en la cual giraría el motor, con la posibilidad de cambiar esto se puede incrementar la eficiencia de la maquina al colocar dos motores en un eje.

2.2.7 Arduino shield

La página oficial de Arduino (2018) define los shield como “placas que se pueden enchufar en la parte superior de la PCB de Arduino y que amplían sus capacidades. Los diferentes shields siguen la misma filosofía que el kit de herramientas original: son fáciles de montar y baratos de producir”. Estas pueden ser extensiones para poderlas utilizar en el controlador ya que facilitan el trabajo de montaje ahorrando dinero y tiempo en la realización de proyectos en el área.

Existen muchas opciones y se decidió por el shield para CNC ya que son específicos para este tipo de trabajos. Incluye 4 entradas en las cuales se pudieran colocar drivers a utilizar con el fin de obtener movimiento en 4 ejes de la máquina y la posibilidad de colocar finales de carrera con los cuales se puede prevenir futuros danos a la maquina por si se pasa de los limites. Estas y otras características como la posibilidad de colocar un ventilador para la refrigeracion hacen que esta shield sea ideal en el proyecto.

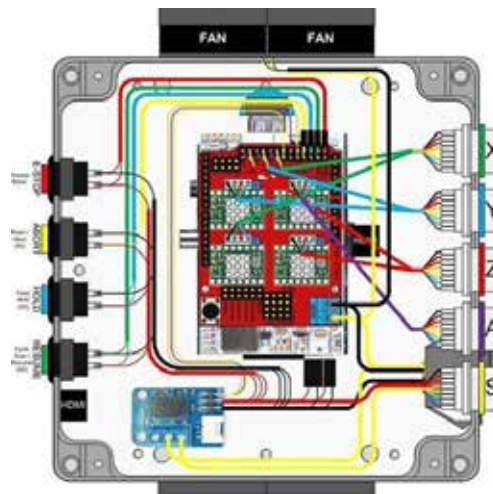


Figura 2. Esquema de conexión del shield CNC.

Fuente: <https://www.carrod.mx/products/cnc-shield-v3> (2018)

2.2.8 Chopper cuatro cuadrantes

En la parte de electrónica orientada a la robótica y maquinas se requieren generar controladores para el movimiento. Si bien el chopper cuatro cuadrantes sirve para controlar motores paso a paso en este caso lo utilizaremos para el control de un motor DC. Para cambiar la dirección de un motor se debe cambiar el sentido de la corriente que se suministra en dicho motor, para ello se puede invertir la fuente o se colocan 4 interruptores para regular el paso de dicha corriente, es decir, este circuito no es más que uno basado en transistores o interruptores que controlan el giro y la parada de una maquina giratoria de corriente continua. Dependiendo de las

necesidades del circuito a realizar se pueden utilizar distintos tipos de transistores como NPN, PNP o transistores de potencia MOSFET. Ver figura 3.

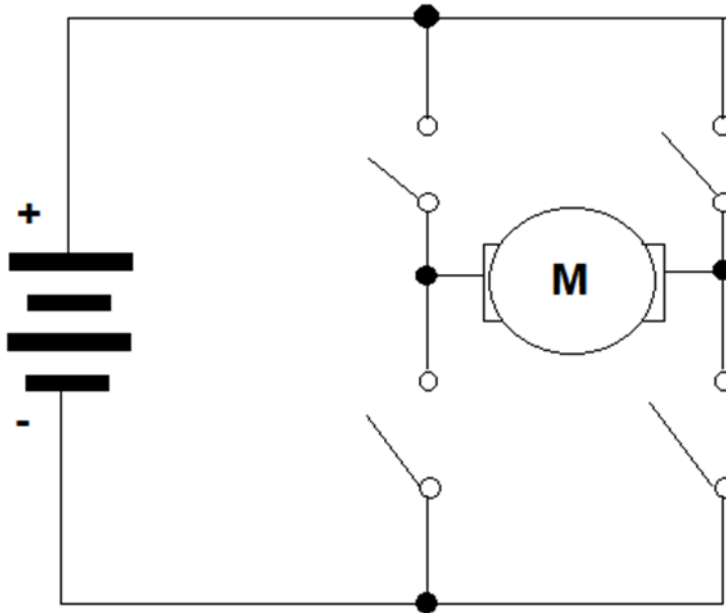


Figura 3. Esquema de un Chopper cuatro cuadrantes con interruptores

Fuente: Jiménez (2018).

2.2.9 Control Numerico Computarizado (CNC)

Bolivar F. (2012, p.9) describe la maquina CNC como todo aquel dispositivo que pueda contar con la capacidad de dirigir el posicionamiento en diferentes planos de un dispositivo mecánico, que resulta ser móvil por medio de órdenes elaboradas y predeterminadas para cumplir un trabajo específico por medio de la interacción de un lenguaje de programación y un ordenador o computador.

A través de esta definición se puede describir de manera sencilla y puntual dichas maquinas. Con la finalidad de cumplir este objetivo se comenzará con el comienzo de este tipo de dispositivo. En los años 50 en el Instituto Tecnológico de Massachusets (MIT) se realizó la primera automatización de una fresadora, pero tenía un inconveniente que era el espacio utilizado por la misma ya que se tenía que disponer de una habitación más grande incluso que el de la máquina. Hoy en día las

computadoras se hicieron cada vez más potentes y los componentes más pequeños ayudando al crecimiento de manera exponencial de la aplicación de dicho tipo de control gracias a la utilización de la menor cantidad de espacio posible.

El CNC se volvió tan útil debido a que a través de ella es posible el movimiento de una herramienta en los tres ejes de manera simultánea. Se dice que es un control numérico puesto a que las órdenes dadas son enviadas mediante códigos numéricos en sí, que representan las coordenadas de movimiento de la herramienta a utilizar. Este conjunto de mandatos sigue una secuencia lógica con la finalidad de obtener las instrucciones adecuadas a la máquina y de esta manera mecanizar un material de manera efectiva.

Muchas de las veces se emplean sistemas CAD/CAM para la utilización de estos controles. Gracias a estos sistemas se pueden generar los códigos de programación en la computadora a través de una imagen cualquiera. Las instrucciones son dadas mediante bloques y cada uno de estos contiene las características necesarias de una orden específica, por lo que cada uno tiene una estructura similar en el cual se debe resaltar el número de bloque o línea de programa, función de maquinado, parámetros de la función a ejercer y los comentarios que se le agregaría a la línea.

El proceso para llevar a una pieza a su maquinado final cuenta con varias etapas cada una imprescindible en dicho procedimiento ya que todas dependen entre sí con el propósito de llegar al resultado final esperado, estos pasos o etapas son:

- Diseño asistido por computadora (CAD)
- Manufactura asistida por computadora (CAM)
- Envío de código G hacia la máquina
- Controlador CNC
- Movimiento de ejes (Motores paso a paso)

En el sistema de diseño asistido por computadora (CAD) la pieza que se desea obtener se dibuja en la computadora a través de programas especializados. Estos modelos se guardan en un formato especial para empezar con la fabricación asistida por computadora (CAM) en el cual se marca la ruta a realizar por la maquina (en este caso una fresadora) y convertirlo en código G para ser enviado al controlador mediante un interface hombre-máquina HMI que comunica el controlador con la computadora y el operador permitiendo así la visualización de la trayectoria de la herramienta y el manejo de forma manual de la máquina.

Esta comunicación se puede hacer a través de un puerto serial, puerto paralelo o USB, siendo este último el más utilizado. Por ultimo tenemos el controlador que es el que hace posible el procesamiento de información enviada y, además, el envío de las instrucciones hacia los drivers y estos a su vez a los motores paso a paso con el fin de realizar los movimientos pertinentes.

2.3 Definición de términos básicos

Microcontrolador: Es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: CPU, Memoria y Unidades de E/S, es decir, se trata de una computadora completa en un solo circuito integrado programable y se destina a gobernar una sola tarea con el programa que reside en su memoria.

Mecanizado: Es un proceso de fabricación que comprende un conjunto de operaciones de conformación de piezas mediante remoción de material, ya sea por arranque de viruta o por abrasión.

Circuito impreso o PCB: Es una tarjeta o placa utilizada para realizar el emplazamiento de los distintos elementos que conforman el circuito y las interconexiones eléctricas entre ellos.

SCADA: Son las siglas de Supervisión Control y Adquisición de Datos. También algunos autores lo definen como la tecnología que habilita la colección de datos de locaciones remotas, así como el envío de información a estas locaciones.

Estator: Parte fija de la máquina eléctrica en la que se desarrolla la función de crear un campo magnético o de recoger sobre una bobina los fenómenos provocados por un campo magnético móvil.

Rotor: Parte móvil de una máquina eléctrica. Se mueve como consecuencia de la aplicación de energía eléctrica a los devanados del estator.

Reluctancia: Es la resistencia que éste posee al paso de un flujo magnético cuando es influenciado por un campo magnético. Se define como la relación entre la fuerza magneto motriz y el flujo magnético.

CAD: Es el acrónimo utilizado para referirse a Computer Aided Design o en español Diseño Asistido por Computadora. Es todo aquel dispositivo diseñado en computadora.

CAM: Es el acrónimo utilizado para Computer Aided Manufacturing o en español Fabricación Asistida por Computadora. Es todo dispositivo en el cual su funcionamiento sea asistido por una computadora. Hace uso del diseño asistido por computadora y el lenguaje de programación para su funcionamiento.

SRAM: Viene del acrónimo Static Random Access Memory o en español memoria estática de acceso aleatorio (RAM estática). Es un tipo de tecnología de memoria RAM basada en semiconductores, capaz de mantener los datos, mientras siga alimentada, sin necesidad de circuito de refresco.

EEPROM: Erasable Programmable Read-Only Memory (ROM programable borrable). Es un tipo de chip de memoria ROM no volátil inventado por el ingeniero Dov Frohman de Intel. Está formada por transistores de puerta flotante, cada uno de los cuales viene de fábrica sin carga.

Lenguaje G: Es un lenguaje mediante el cual las personas pueden decir a máquinas herramienta controladas por computadora qué hacer y cómo hacerlo. Esos

"qué" y "cómo" están definidos mayormente por instrucciones sobre a dónde moverse, cuán rápido moverse y qué trayectoria seguir.

C++: Es un lenguaje de programación diseñado a mediados de los años 1980 por Bjarne Stroustrup. La intención de su creación fue el extender al lenguaje de programación C mecanismos que permiten la manipulación de objetos. En ese sentido, desde el punto de vista de los lenguajes orientados a objetos, el C++ es un lenguaje híbrido.

MOSFET: Se puede decir que un MOSFET es un dispositivo semiconductor utilizado para la conmutación y amplificación de señales. El nombre completo, Transistor de Efecto de Campo de Metal-Óxido-Semiconductor se debe a la constitución del propio transistor

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipos de investigación

Según el Manual de Trabajo de Grado de Especialización, Maestrías y Tesis Doctorales de la UPEL (2016, p.13) define proyecto factible como “una proposición sustentada en un modelo operativo factible, orientado a resolver un problema planteado o a satisfacer necesidades en una institución o campo de interés nacional”. Esto se debe a que se plantea la automatización de una fresadora manual que reducirían muchos aspectos que podrían causar problemas a futuros dentro de una empresa. La automatización de este tipo de máquinas puede ser muy beneficiosa tanto para el usuario como para la empresa ya que se reduciría el contacto directo con la máquina y se manejaría a través de una computadora. Tomando en cuenta esto se podría decir que a través de este método se puede aumentar la eficiencia en el proceso gracias a que se reduciría el margen de error de la producción y, además, el riesgo para los empleados sería menor.

3.2 Diseño de la investigación

Arias F. (2006) define “la investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de todos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variables alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes”.

A través de esta definición podemos observar que, en la parte del diseño de la investigación, la presente concuerda con las características de un diseño de una investigación de campo, esto se debe a que con el fin de cumplir con los objetivos propuesto y llegar a la meta establecida se debe estar en contacto directo con todos los elementos a utilizar para así poder obtener el resultado esperado. Para llegar a

realizar lo antes dicho se tiene que investigar todo lo necesario con respecto al proyecto y aplicarlo en los distintos procedimientos a ejecutar en el proyecto, como lo son la construcción, el ensamblaje y la puesta en marcha de lo que se piensa construir.

3.3 Nivel de la investigación

Ferrer J. (2010) definió la investigación explicativa como “el tipo de estudio que busca el porqué de los hechos, estableciendo relaciones de causa- efecto”. Basándose en esa definición se puede concluir que este trabajo es explicativo. Esto es gracias a que se busca investigar cada uno de los componentes y procedimiento a realizar. Para ello se ha propuesto una serie de objetivo con el fin de automatizar, pero para llegar al paso de automatización se debe primero diseñar y construir la máquina de control, que a su vez necesita de componentes. Uno de los de los pasos más importantes en esta investigación es comprender a fondo cada uno de los componentes a utilizar para así poder entender porque están ahí y generar un sistema con la capacidad para manipular a cada uno de estos componentes.

3.4 Población y Muestra

Balestrini (2006), “Población es un conjunto finito o infinito de personas, casos o elementos, que presentan características comunes y una muestra es una parte representativa de una población, cuyas características deben producirse en ella, lo más exactamente posible”. Con el objetivo de poder tener el mayor alcance posible y la población y muestra adecuada al tema, se tomará como población la Universidad José Antonio Páez con el fin de agarrar de muestra los alumnos de ingeniería mecánica, electrónica y computación a partir del 8vo semestre de la carrera. Esto con el propósito de que las personas tengan un nivel adecuado para la comprensión del tema.

3.5 Técnicas e Instrumentos de investigación

Para Bizquera R. (1990) las técnicas de investigación son “aquellos medios técnicos que se utilizan para registrar observaciones y facilitar el tratamiento de las mismas”. Del mismo modo, Arias F. (2006) define los instrumentos de investigación como “son los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información”. Después de haber aclarado el significado de técnicas e instrumentos de investigación se procederá a especificar cada una de estas.

3.5.1 Técnicas de investigación

Analizando el proyecto se puede concluir que la técnica apropiada a utilizar para su correcto desarrollo es la observación directa y la encuesta. Para Hurtado J. (2000) la observación es “la primera forma de contacto o de relación con los objetos que van a ser estudiados. Constituye un proceso de atención, recopilación y registro de información, para la cual el investigador se apoya en sus sentidos”. Así mismo, según Tamayo y Tamayo. (2003) la encuesta “es aquella que permite dar respuesta a problemas en términos descriptivos como de relación variables, tras la recogida sistemática de información según un diseño previamente establecido que asegure el rigor de la información obtenida”.

A través de la ejecución de estas técnicas se puede obtener información importante que ayude en este trabajo de investigación. La observación directa se utilizará para analizar algunas necesidades de importancia en el tema para poder adaptar el proyecto a esos distintos casos y resolver una problemática. Además, se complementará con el desarrollo de una encuesta en el cual podremos obtener datos que sean útiles en la investigación. Esto se hará con el fin de buscar sugerencias y posibles errores o inconvenientes, con el fin de ejecutar de manera eficiente el presente trabajo en distintos escenarios y poder mejorar progresivamente su funcionamiento con ideas aportadas de parte de las personas.

3.5 Fases Metodológicas

Con el fin de cumplir los objetivos propuestos en el presente trabajo se presentarán cada uno de los pasos o fases a seguir.

Fase I: Estudiar el funcionamiento de una maquina fresadora y del control CNC.

En primer lugar, se realizará una investigación para obtener más información de lo que se quiere lograr. Uno de los métodos a usar será la revisión de proyectos realizados que se relacionen y, así, utilizarlos como ayuda para empezar. Esto se hará debido a que al realizar un proyecto en específico se tiene que hacer un estudio que ayude a la obtención de recursos intelectuales con el fin de prevenir futuros incidentes u obstáculos. Además, se debe de entender muy bien el funcionamiento o la parte teórica del tema para desarrollarlo, aun cuando, el proyecto es práctico.

Fase II: Establecer un software para el controlador de la máquina que interprete los datos enviados desde la computadora.

En segundo lugar, se establecerá un HMI para controlar dicha máquina mediante la utilización de una computadora. Se utilizará un HMI programado en un software libre llamado Universal G code Sender. Gracias a ese programa a desarrollar se podrá realizar diseños por computadora y mandarlos mediante código a la fresadora para su fabricación. Para lograrlo se tuvo que hacer diferentes tipos de pruebas de comunicación entre el Arduino y la computadora, además de instalar el driver necesario. El correcto funcionamiento de este paso es vital para la culminación del proyecto ya que es el mecanismo de control de la fresadora.

Fase III: Desarrollar un circuito de control para la automatización de la maquina fresadora manual.

Además de estudiar las partes y realizar el software de control, hay una parte muy importante que es toda la parte electrónica y mecánica que tiene la máquina. Se plantea construir la maquina basada en una tarjeta programable y para ello se deben elegir los componentes claves para poder enlazar la tarjeta a los demás componentes necesarios como lo son los motores paso a paso y la fresadora. Sin embargo, a la hora de desarrollar el circuito se debe programar la tarjeta con el fin de trabajar con ella de manera correcta. Esta programación se hace en lenguaje C++ por lo tanto se deberá estudiar los códigos y la estructura utilizada en ese lenguaje de programación. Todas estas características necesarias se deben acoplar al modelo de controlador a utilizar.

Fase IV: Comprobar el buen funcionamiento de la máquina mediante la realización de las pruebas pertinentes.

Por último, se elaborarán diseños a computadora para poder ser realizados en la fresadora. Esto se hará con la finalidad de comprobar el funcionamiento de la máquina y demostrar sus cualidades como una herramienta automatizada. A través de estas pruebas se podrán observar la manera en que los distintos componentes trabajan en conjunto mediante el control por computadora utilizando el HMI a utilizar.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Las siguientes fases describen el procedimiento que se llevó a cabo para la realización del proyecto:

4.1 Fase I: Estudiar el funcionamiento de una maquina fresadora y del control CNC.

En esta etapa se buscó investigar más a fondo sobre la utilización de las maquinas herramientas en las industrias y se investigó sobre el funcionamiento de una de las más utilizadas a nivel industrial como lo es la fresadora. Dependiendo de lo que se necesiten estas máquinas pueden ser manejadas de forma manual o por un mecanismo empleando CNC, por lo tanto, se investigó las diferencias de una maquina manejada de forma manual y otra con CNC. Estas máquinas tienen una función en la cual se necesita una buena repetividad y un buen rendimiento con bajas tolerancias.

A nivel industrial se ha demostrado un interés bastante amplio de la utilización de una maquina fresadora ya que muchas de estas tienen la necesidad de producir piezas de diferentes materiales y a través de esta se les facilita de manera significativa el procedimiento a la hora de la fabricación. La primera máquina que se realizó, con el nombre de fresadora, fue en 1818 cuando se intentaba abastecer un encargo de 10mil rifles para Estados Unidos de manera masiva y a un bajo precio. Esta evoluciono para hacer distintas clases de mecanizado y en consecuencias se crearon distintos tipos de fresadora para abastecer las necesidades crecientes.

Con el fin de poder cubrir la mayoría de las demandas estas se ramifican en diferentes familias de fresadoras. Dentro de estas se distinguen las siguientes:

- Por orientación de la fresa
- Por el número de eje.

- Especiales

Dentro de las fresadoras por orientación de la fresa se pueden encontrar las horizontales, que son aquellas que se utilizan para la creación de ranuras de diferentes grosores, las verticales, aquellas que se caracterizan por poder movilizarse verticalmente y la fresa gira sobre su eje horizontal y perpendicular a la pieza, y las universales, que tienen dos porta herramienta y es muy versátil.

Si hablamos de la ramificación de las fresadoras por número de ejes estaremos hablando de las fresadoras de 3, 4 y 5 ejes. Las fresadoras de 3 ejes son las que poseen los ejes convencionales “X”, “Y” y “Z”. El 4to eje vendría siendo un eje circular desde el centro del cabezal con la fresa trabajando en vertical y para completar los 5 ejes la maquina tendría que incluir un movimiento rotatorio horizontal de la pieza y así ser combinado con los anteriores y crear piezas más complejas.

Por ultimo hablaremos de las especiales entre las que se encuentran las fresadoras de madera, las copiadoras (se caracteriza por tener dos lados en uno se posiciona un modelo y el palpeador para contornear el modelo y en el otro la pieza a mecanizar y la fresa), las giratorias y las fresadoras de control numérico por computadora en las que se copia en la pieza un modelo diseñado digitalmente. Esta última es la que se realizó en el proyecto.

Antes de entrar en las fresadoras CNC empezaremos explicando el funcionamiento del CNC. El control numérico computarizado es el uso de una computadora para controlar y monitorear los movimientos de una máquina herramienta. Estas máquinas las conforman 6 elementos vitales los cuales son:

- Dispositivo de entrada
- Unidad de control o controlador
- Máquina herramienta
- Sistema de accionamiento
- Dispositivos de realimentación

- Monitor

Con el fin de apreciar de manera amigable el funcionamiento de este sistema se tiene un diagrama de bloques. Ver figura 4.

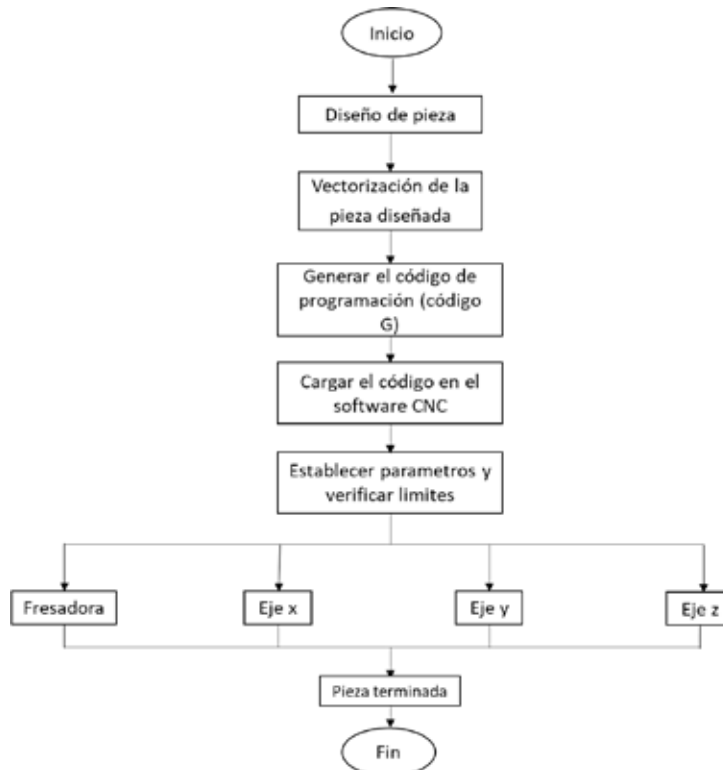


Figura 4. Diagrama de flujo de una máquina CNC.

Fuente: Jimenez (2018).

Para poder utilizar la fresadora con un CNC se debe de integrar cada una de las partes del sistema de manera armónica para que cada una de las partes trabajen en conjunto y para mejorar el rendimiento de la máquina, este paso se hace creando un circuito que a su vez es manejado por un software mediante una computadora para la utilización de la fresadora. Unas de las ventajas que tiene una máquina de control numérico computarizado a diferencia de una convencional es que tiene mayor repetitividad, a la hora de la fabricación en masa de una pieza en específico, y mejor rendimiento a la hora de trabajar con menor tolerancia. No todo es perfecto por lo que estas también tienen desventajas como el mayor tiempo de preparación de la máquina

como también la preparación del personal que se encargara de su manipulación en el proceso. El mayor aprovechamiento de la utilización de estas está a nivel industrial y por ende, esas características son claves a la hora de decidir qué es lo mejor para un proceso en específico.

El sistema CNC tiene su propia lista de códigos que son compatibles para la máquina, estos códigos son necesarios para el movimiento de la herramienta. Por lo tanto, es necesario explicar los tipos de comandos o instrucciones. A continuación, se mostrará la tabla con cada uno de estos. Ver tabla 2.

Comando	Descripción
N	Numero de secuencias
G	Funciones preparatorias
X	Movimiento en eje X
Y	Movimiento en eje Y
Z	Movimiento en eje Z
R	Radio desde el centro especificado
A	Angulo contra el reloj desde el vector +X
I	Desplazamiento del centro del arco del eje X
J	Desplazamiento del centro del arco del eje Y
K	Desplazamiento del centro del arco del eje Z
F	Tasa de alimentación
S	Velocidad de giro
T	Tipo de herramienta
M	Funciones misceláneas

Tabla 2. Instrucciones del lenguaje CNC.

Fuente: Jimenez (2018).

- Numero de secuencia: Esta función nos permite identificar en que línea de código se encuentra una instrucción específica en caso de que este sea muy

extenso. También se puede utilizar como un puntero y, así, poder especificar el punto de partida.

- Funciones preparatorias: Estas son el pilar de las maquinas CNC, ya que controlan el modo en que la maquina realizara el trazado o en que va a desplazarse sobre la superficie de la pieza en la que está trabajando. También son llamadas código G.
- Movimiento en los ejes X, Y, Z: estos declaran los movimientos en cualquiera de los ejes, poniendo primero la letra de cualquiera de los ejes seguido de la cantidad de puntos a desplazarse.
- Radio desde centro especificado: Esta acción permite especificar un centro para trazar una curva. El programa dibuja una línea imaginaria y dependiendo si R es negativo o positivo y la dirección del trazado esta sitúa el radio a la izquierda o derecha de la línea.
- Desplazamiento del centro del arco del eje X: La ubicación del centro está dada por coordenadas I, J y K (X, Y, Z respectivamente). Esta opción es más utilizada que trazar la curva desde el centro ya que se estaría ahorrando el cálculo para hallar el centro de la curva.
- Tasa de alimentación: Se usa para mantener la velocidad en que la maquina recorre la pieza a mecanizar, es decir, la velocidad de los ejes.
- Velocidad de giro: Gracias a este comando se puede configurar la velocidad de giro de la herramienta (fresadora). Esto debe variar según el material que se desea fresar.
- Tipo de herramienta: El tipo de herramienta indica con qué tipo de fresa se desea trabajar, esto significa el diámetro de la misma. Este valor se podría expresar en pulgadas o milímetro dependiendo de la configuración del programa.

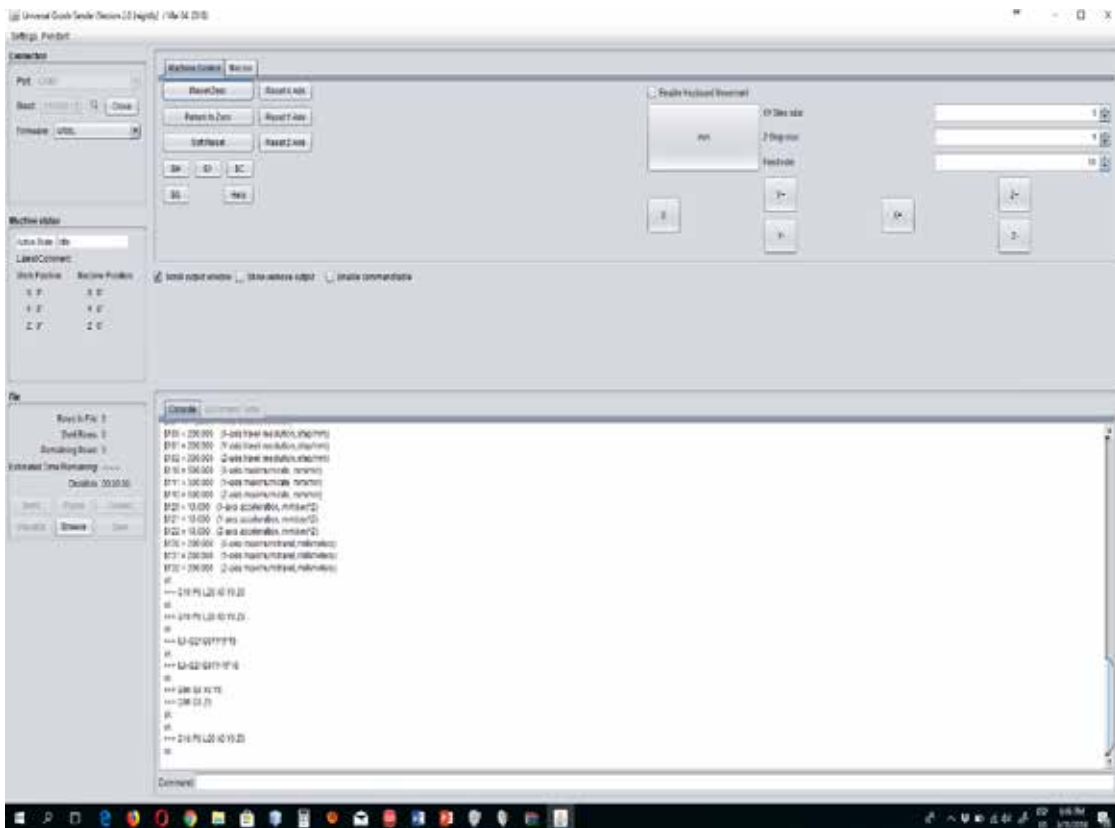
- Funciones misceláneas: Esto es para todos aquellos comandos que no se han tenido en cuenta. Algunos son funciones especiales como el encendido de la máquina, el calibrado cuando esta se enciende.

4.2 Fase II. Establecer un software para el controlador de la máquina que interprete los datos enviados desde la computadora.

Para poder elegir el software necesario para el control de la maquina se debe conocer el dispositivo con el cual se va a trabajar. Tomando en cuenta que se está trabajando con la plataforma arduino se tuvo que ir a la página oficial de la plataforma para leer un poco sobre el tema y descargar el software necesario para la utilización de dicha plataforma. Además, se escogió e instalo las herramientas digitales necesarias para la culminación del proyecto.

A través de una investigación llevada a cabo en el proyecto, se estudiaron diferentes métodos y programas que podrían usarse en este. En la cual se llegó a la conclusión de que existen muchos que se pudieran emplear y se escogió el más apto para la tarea a realizarse en esta máquina. El programa que se estableció fue el Universal Gcode Sender que es un software libre capaz de leer el lenguaje en código G para posteriormente ser enviada a la placa arduino. Este es un programa bastante amigable y útil para la utilización de una maquina CNC puesto a que no se necesita de mucho conocimiento para su manipulación.

Con el propósito de poder utilizar todos los mecanismos necesarios para el funcionamiento de la CNC se escogió trabajar con arduino dado a que es útil y muy sencillo su utilización. Se descargó el programa principal de arduino para proceder con su programación, este no fue lo único que se tuvo que instalar en la plataforma arduino ya que para su manipulación se tuvo que instalar los paquetes y las librerías pertinentes a utilizar en dicha plataforma, todo esto con el fin de aprovechar al máximo las cualidades de la tarjeta programable. Ver figura 5.



una interface muy amigable a la hora de programar por lo que facilita el proceso de generación de códigos en el proyecto.

Por otra parte, también tenemos la necesidad de programas pertinentes en el diseño de la piza a mecanizar además del programa necesario para pasar la figura a lenguaje de código G. Primero se necesitaría el software de diseño y fabricación asistida por computadora (CAD/CAM), que en este caso haremos uso del programa ArtCAM. Este último es un programa con el cual se puede dibujar y enviarlo directamente a la máquina en código G.

Para la elección del software de control se tuvo que tomar en cuenta la importancia de los siguientes componentes:

- Comunicación PC-Maquina: Esta se hace a través del programa HMI establecido.
- Controlador: Vendría siendo en este caso la placa arduino en conjunto con los drivers de los motores paso a paso y cuya función es la de recibir las señales digitales enviadas por el computador para su interpretación en coordenadas de posición y velocidad.
- Motores: Los motores paso a paso que serían muy importantes ya que de estos dependerían el movimiento en los ejes X, Y, Z.

Para la comunicación PC-Maquina se tuvo que preparar los dispositivos de control con el propósito de poder establecer comunicación entre ambos por vía USB.

Para poder preparar la placa arduino se tuvo que descargar el entorno para desarrollar arduino (IDE de arduino) y así poderle instalar las librerías pertinentes en el área a desarrollar, esto con el fin de poder poner a trabajar todo el mecanismo eficientemente y de forma conjunta. Para descargar el IDE de arduino recurrimos a la página oficial y se escogió la última versión del mismo. En este caso la versión sería a 1.8.5. Ver figura 6.



Figura 6. Descarga del arduino IDE

Fuente: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software> (2018)

Después de haber descargado el entorno de programación para la plataforma se procederá a añadir las librerías que se necesitan para poder trabajar en código G en dicha tarjeta. Esta librería llamada GRBL que es de código abierto y es un controlador para la fresadora ejecutable en arduino.

Los usuarios que manejan este controlador son aquellos que realizan trabajos de fresado y que necesitan de un controlador simple y amigable, con el fin de poder manejarlo desde una interfaz gráfica de forma rápida y sencilla. Se procedió a descargar la versión 1.1 del GRBL disponible. Ver figura 7.

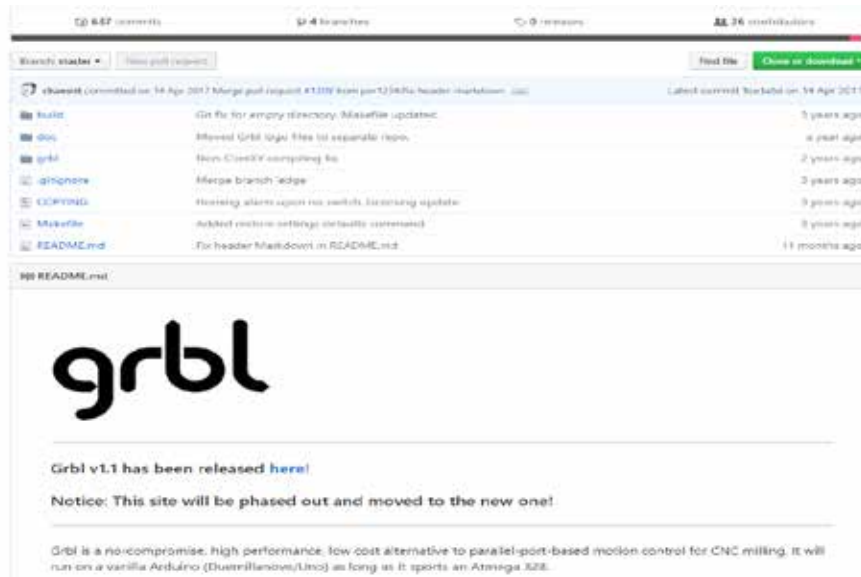


Figura 7. Descarga del controlador GRBL.

Fuente: <https://github.com/grbl/grbl> (2018)

Al culminar la descarga del controlador se procederá a añadirlo en la librería del IDE para poder programarlo dentro de la plataforma arduino. Para insertar el programador a la placa después de haber añadido la librería se tuvo que ejecutar un ejemplo de esta y al conectar la placa se programa. Ver figuras 8 y 9.



Figura 8. Ejemplo dentro de la librería GRBL

Fuente: Jimenez (2018)

Figura 9. Ventana serial del IDE.

Fuente: Jimenez (2018).

En la ventana serial de arduino se pueden ver las características y configurar el arduino dependiendo de las especificaciones de la máquina. Estas características que se modificarían sería la resolución de cada uno de los motores en los diferentes ejes, la velocidad y la aceleración de los mismos.

Para poder observar las características predeterminadas se escribe el comando “\$\$” y se mostrara la lista de todas las características y para modificarlos se pone el signo “\$” seguido del número de identificación y el igual “=” y se pone el valor. La resolución de los motores se puede saber mediante la medición de la tolerancia de cada eje y la resolución del motor, en este caso se tienen barras de tornillos sin fin con una tolerancia de 1mm por vuelta y los motores giran 1.8

```

**** Connected to COM7 @ 115200 baud ****
Gbrl 1.1f ['$' for help]
>>> $$
$0 = 10 (Step pulse time, microseconds)
$1 = 25 (Step idle delay, milliseconds)
$2 = 0 (Step pulse invert, mask)
$3 = 0 (Step direction invert, mask)
$4 = 0 (Invert step enable pin, boolean)
$5 = 0 (Invert limit pins, boolean)
$6 = 0 (Invert probe pin, boolean)
$10 = 1 (Status report options, mask)
$11 = 0.010 (Junction deviation, millimeters)
$12 = 0.002 (Arc tolerance, millimeters)
$13 = 1 (Report in inches, boolean)
$20 = 0 (Soft limits enable, boolean)
$21 = 0 (Hard limits enable, boolean)
$22 = 0 (Homing cycle enable, boolean)
$23 = 0 (Homing direction invert, mask)
$24 = 25.000 (Homing locate feed rate, mm/min)
$25 = 500.000 (Homing search seek rate, mm/min)
$26 = 250 (Homing switch debounce delay, milliseconds)
$27 = 1.000 (Homing switch pull-off distance, millimeters)
$30 = 1000 (Maximum spindle speed, RPM)
$31 = 0 (Minimum spindle speed, RPM)
$32 = 0 (Laser-mode enable, boolean)
$100 = 200.000 (X-axis travel resolution, step/mm)
$101 = 200.000 (Y-axis travel resolution, step/mm)
$102 = 200.000 (Z-axis travel resolution, step/mm)

```

Figura 10. Configuración de la placa arduino I

Fuente: Jimenez (2018).

```

$102 = 200.000 (Z-axis travel resolution, step/mm)
$110 = 500.000 (X-axis maximum rate, mm/min)
$111 = 500.000 (Y-axis maximum rate, mm/min)
$112 = 500.000 (Z-axis maximum rate, mm/min)
$120 = 10.000 (X-axis acceleration, mm/sec^2)
$121 = 10.000 (Y-axis acceleration, mm/sec^2)
$122 = 10.000 (Z-axis acceleration, mm/sec^2)
$130 = 200.000 (X-axis maximum travel, millimeters)
$131 = 200.000 (Y-axis maximum travel, millimeters)
$132 = 200.000 (Z-axis maximum travel, millimeters)
ok

```

Figura 11. Configuración de la placa arduino II

Fuente: Jimenez (2018).

Los parámetros de la configuración de cada uno de los ejes son:

- \$0: A través de esta función se controla la longitud de cada uno del pulso, visto a que si los pulsos son muy largos y se manejan altas velocidades estos se pueden solapar, por lo que lo recomendable es ponerle un valor bajo aproximado a 10 microsegundos.

- \$1: Mediante este parámetro se configura el retraso después de que los motores paso a paso completen un movimiento. Es el tiempo en que los motores se encontraran deshabilitados por el GRBL después de la acción.
- \$2: Su función es invertir la señal de pulso hacia el driver. Ver tabla 3.

Valor	Código	X	Y	Z
0	00000000	No Inv.	No inv.	No inv.
1	00000001	Invertido	No inv.	No inv.
2	00000010	No inv.	Invertido	No inv.
3	00000011	Invertido	Invertido	No inv.
4	00000100	No inv.	No inv.	Invertido
5	00000101	Invertido	No inv.	Invertido
6	00000110	No inv.	Invertido	Invertido
7	00000111	Invertido	Invertido	Invertido

Tabla 3. Determinación de los valores a enviar en \$2 y \$3.

Fuente: Jimenez (2018).

- \$3: Se puede invertir la dirección de giro de cada eje que, por defecto, se moverían de manera positiva con una señal baja y negativa con una señal alta. Ver tabla 2.
- \$4: A través de esto se puede invertir el pin de habilitación simplemente cambiando el valor a 1.
- \$5: Se puede invertir los pines de límites y normalmente están compuesto por un pulsador y una resistencia pull-down.
- \$6: Activar o desactivar pin de prueba.
- \$10: Determina la data que se le entregara al usuario en un reporte. En esta se puede encontrar la posición de trabajo o la posición de la máquina, pero no pueden aparecer las dos juntas, también se puede

mostrar los datos de uso del planificador y los buffers RX seriales. Ver Figura 10.

- \$11: Determina que tan rápido se puede mover la maquina en una curva determinada, si el valor es muy alto puede ocasionar la perdida de pasos y posicionamientos. Ver figura 12.

Report Type	Value	Description
Position Type	0	Enable WPos: Disable MPos: .
Position Type	1	Enable MPos: . Disable WPos: .
Buffer Data	2	Enabled buf: field appears with planner and serial RX available buffer.

Figura 12. Traducción de cada uno de los valores para el reporte.

Fuente: <https://github.com/gnea/grbl/wiki/Grbl-v1.1-Configuration#10---status-report-mask> (2018).

- \$12: Es la tolerancia que tiene el circuito para hacer arcos, círculos y hélices dividiéndolas en líneas muy pequeñas con el valor puesto a este parámetro.
- \$13: Este parámetro cambia la unidad para el reporte de posicionamiento al darle valor 0 este reportará en mm y si se le da valor 1 será en pulgadas.
- \$20: Se activará para prevenir que la maquina se mueva fuera de los límites de trabajo.
- \$21: Para programar finales de carrera en la fresadora.
- \$22: Este se usa para programar a la maquina una posición inicial de tal forma que siempre que inicie empiece en esas coordenadas.
- \$23: Para invertir la posición de los finales de carrera.

- \$24: Es la velocidad máxima que tomara al momento de tener que retornar al punto de origen.
- \$25: Velocidad a la que primero trata de buscar el punto limite.
- \$26: Disminución de ruido proporcionado por la activación de un interruptor mediante la configuración de un retraso.
- \$27: Ayuda a prevenir la activación accidental de uno de los límites físicos después de un ciclo.
- \$100, \$101, \$102: Resolución en cada uno de los ejes (X, Y, Z). Pasos por milímetro.
- \$110, \$111, \$112: Velocidad máxima n la que se puede mover cada eje. Esto se puede saber mediante la prueba de cada uno de los motores para saber cuánto es la velocidad que soporta cada uno y así evitar la pérdida de pasos.
- \$120, \$121, \$122: Aceleración en cada uno de los ejes.
- \$130, \$131, \$132: Aquí se establece la distancia máxima que se puede recorrer en X, Y, Z.

Después de configurar todos estos parámetros en el universal Gcode sender se procederá al diseño de la pieza a mecanizar o tallar en el programa artCAM, el cual nos permite hacer el diseño y la fabricación asistida por computadora. Ver figura 13.

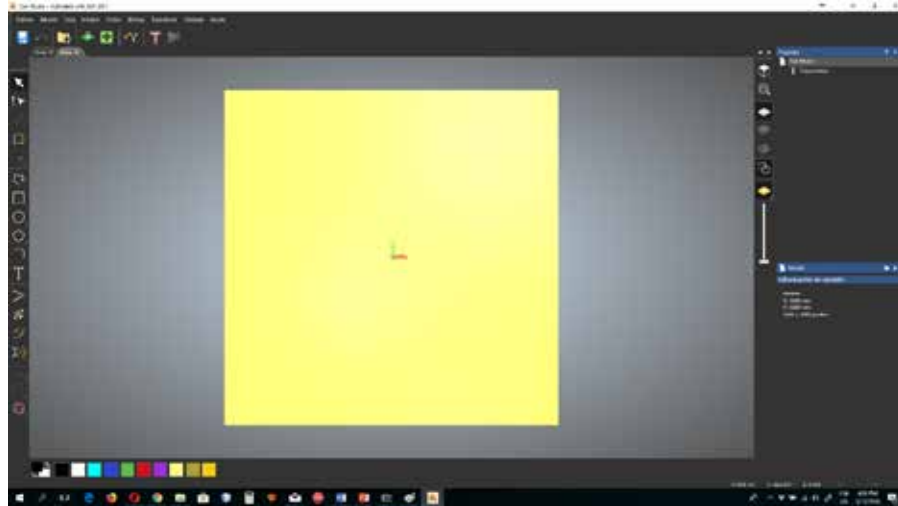


Figura 13. Inicio al ArtCAM.

Fuente: Jimenez (2018).

4.3 Fase III. Desarrollar un circuito de control para la automatización de la maquina fresadora manual.

Después de haber elegido los programas pertinentes para establecer el control de la maquina empleando el uso de una computadora, se procedió a investigar sobre los componentes electrónicos necesario para la utilización del mismo. El componente principal que se eligió fue la placa arduino. A través de este componente pudimos conectar todos los demás instrumentos necesario en este proyecto y, así, ponerlos a funcionar de forma correcta y eficientemente. Es importante destacar que la placa se conectó por vía USB a la computadora.

4.3.1 Diseño y construcción de la máquina.

Para empezar primero se tuvo que hacer un diseño en computadora para poder ajustar las medidas, con el fin de poder tener un mejor funcionamiento y rendimiento de la misma. Este diseño se hizo en el programa de AutoCAD tomando en cuenta varios diseños encontrados en internet por personas que hicieron proyectos parecidos. Ver figura 14.



Figura 14. Diseño de la máquina.

Fuente: Jimenez (2018).

En vista de la situación del país, se adaptó el diseño para poder realizarlos con los materiales que tuviésemos en la mano o que se pudieron encontrar en el país, esto es ya que hubo materiales que no se encontraron o que se salían del presupuesto. Tomando en cuenta esta problemática se procedió a usar el programa para el diseño y luego cortar las piezas en madera necesarias para su construcción. Este diseño fue realizado con el propósito de poder demostrar que si se puede hacer una maquina como esta con un presupuesto bajo y materiales limitados.

Fijados los materiales de construcción y el diseño final, se procedió a realizar los cortes con las medidas necesarias para su construcción. Dicha maquina se estableció con unas dimensiones de 0.38 m x 0.4 m x 0.57 m como se puede observar en las figuras 15.

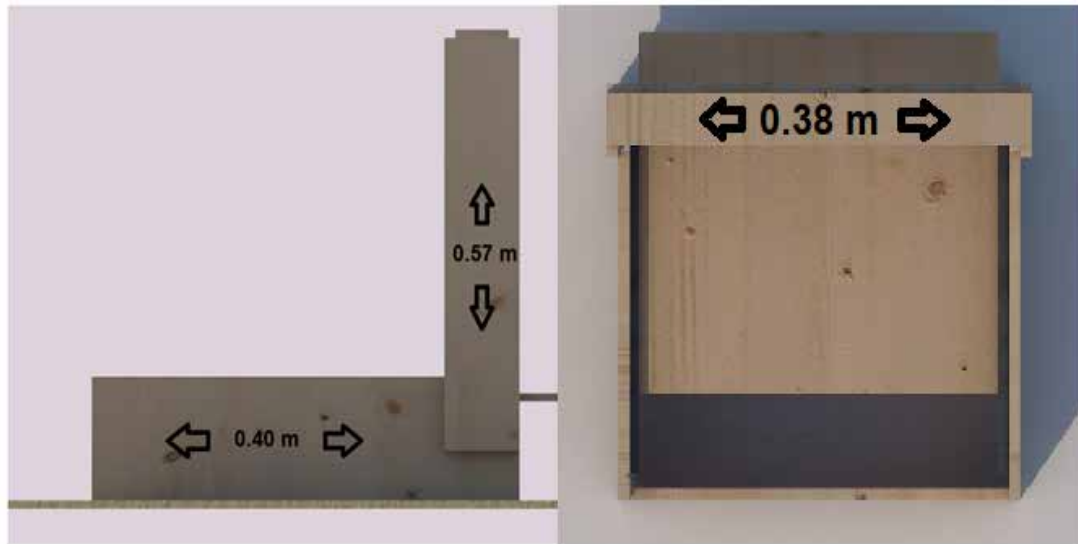


Figura 15. Dimensiones de la maquina.

Fuente: Jimenez (2018).

También se estableció el rango máximo de cada uno de los ejes, es decir, lo máximo que se puede mover la fresadora en X, Y, Z. Esto con el fin de poder determinar el área de trabajo. El eje X tiene una movilidad de 0.16 m, el eje Y tiene una capacidad máxima de 0.33 m y el z de 0.30 m.

4.3.2 Elección de los motores a utilizar en los ejes.

Uno de los pilares más importantes en este proyecto son los motores que moverán cada uno de los ejes y, para ello, se tuvo que hacer una comparación entre distintos motores que existen en el mercado capaces de realizar dicho trabajo, entre ellos están los motores DC, los motores paso a paso y el servo motor. El motor DC tiene un costo bajo y proporciona buen torque y la posibilidad de trabajar a altas velocidades, pero no me proporciona la precisión

necesaria en el proyecto. El paso a paso con su capacidad de generar micro pasos, nos genera un torque bajo, pero a una muy alta precisión con un buen sistema de control para generar esos pasos y capaz de aumentar su efectividad. El servo motor genera un buen torque a una velocidad mayor a la del paso a paso, con la excepción de tener un costo mayor y un sistema de control que se maneja mediante un ancho de pulso.

Analizando toda la información y las características pertinentes a estos motores se procedió a la conclusión para así escoger el más apto para la máquina, de las características dichas anteriormente la más importante es la capacidad de micropasos. Ya que para poder hacer un trabajo de fresado se necesitan de movimientos pequeños en espacios reducidos. Esta característica en conjunto con el torque de retención, con el que podemos dejar la maquina en una posición sin moverse, llevó a la elección del motor paso a paso como los necesarios en cada uno de los ejes.

Estos micropasos pueden variar dependiendo del motor desde 0.7 grados por paso y en vista de los requerimientos de este proyecto se utilizó uno de 200 pasos por vueltas, es decir, 1.8 grados por paso. En vista de que existen motores paso a paso unipolares y bipolares, se encontró que los motores bipolares gracias a que manejan dos tensiones una positiva y otra negativa puede generar un mayor torque y mejor precisión.

Al elegir el tipo de motor a utilizar se tuvo que escoger el que tuviera las especificaciones correctas y para ello se usó el siguiente criterio de selección:

- Torque necesario: Este trabajo es con el fin de poder mecanizar una pieza y por lo tanto se eligió la madera como material a mecanizar. El motor escogido para el trabajo a realizar (fresado en materiales blandos como la madrera) tiene un torque igual a 59Ncm.

- Numero de pasos por vueltas: Gracias a esto podemos obtener la precisión de los movimientos de la fresadora. En este motor tenemos G_p grados por paso se utilizó la fórmula:

$$G_p = \frac{360}{P_v}$$

Donde G_p =grados por pasos y P_v = pasos por vuelta.

$$P_v = \frac{360}{G_p}$$

El motor seleccionado para la realización del proyecto fue:

- NEMA 17 bipolar, 1.7 A, 59 Ncm. Ver tabla 4.

Numero de fases	2
Angulo de paso	1.8
Precisión de paso	5%
Torque	59 Ncm
Máxima corriente	1.7 A
Tensión utilizada	3.06 V
Resistencia de fase	1.8 ohms
Peso	406 g
Inductancia	3.8 mH +/-20%

Tabla 4. Especificación del motor paso a paso utilizado.

Fuente:https://www.zyltech.com/store/p61/Nema_17_Stepper_Motor_1.7_A%2C_0.59_Nm%2C_84_ozin_-_1-%2C_3-%2C_or_5-pack.html (2018).

Cabe destacar que la estandarización NEMA 17 significa que el área transversal del motor paso a paso es de 1.7 x 1.7 pulgadas.

4.3.3 Ajuste de los drivers para los motores paso a paso.

Para poder aprovechar al máximo la capacidad de los motores paso a paso se escogieron los drivers A4988 en el cual se puede trabajar con una corriente máxima de 2 A. Esta corriente es la ideal ya que los motores utilizados son de 1.7 A. Para entrar con la selección de los drivers primero se debió investigar un poco sobre cada uno de estos y es que la función principal de estos es la de separar la alimentación del arduino y la de los motores. Por lo cual se requiere dos fuentes de alimentación, una para la tarjeta programable (5v) y una para los motores (12v). Esto es debido a que se están usando motores paso a paso bipolares estos drivers tienen que ser los adecuados porque estos motores funcionarían con la corriente en cualquier sentido y una de sus funciones es enviar la dirección de la corriente de manera correcta. Para poder hacer el cambio de sentido de los motores dicho driver tiene integrado unos transistores que formando una configuración denominada puente H. Cada driver posee dos puentes uno para cada bobina del motor. Con el propósito de poder usar este dispositivo sin causar ningún daño al motor se debe conocer como conectar cada uno de los dispositivos a los motores a usar. Ver figura 16 y 17.

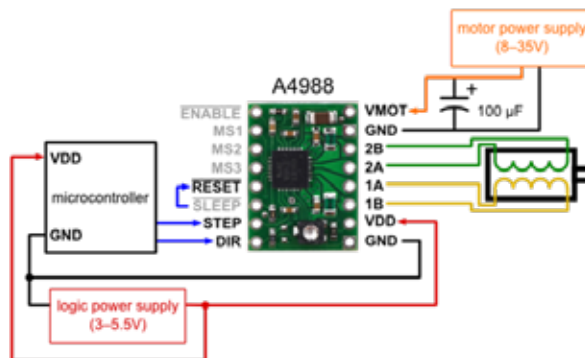


Figura 16. Diagrama de conexión del driver A4988.

Fuente: <https://www.pololu.com/product/1182/pictures> (2018).

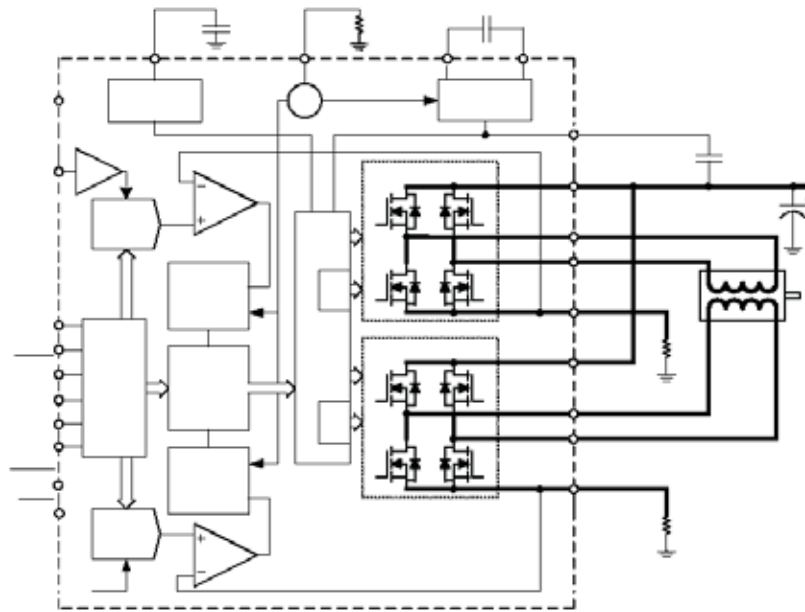


Figura 17. Diagrama del driver.

Fuente: Allegro microsystem LLC (2018)

Antes conectar los motores y la fuente de poder se debe ajustar el limitador de corriente ya que sin este paso se puede quemar el chip o los motores. Esta corriente máxima se fija variando el valor del V_{ref} en el driver y llevándolo al valor correspondiente a la corriente máxima de cada motor. Para calcular la V_{ref} correcta se emplea la siguiente formula:

Siendo I_{MAXM} la corriente máxima que soporta cada motor y que en este caso es 1,7 A y la R_s es la resistencia de sensibilidad puesta en el driver y que para este directamente al chip como se puede observar en la siguiente imagen. Ver figura 18

de micropasos que puede soportar y para ello se ajustan las entradas de digitales de los pines MS1, MS2 y MS3, dependiendo de la combinación se estaría seleccionando una de estas modalidades. En el siguiente cuadro se especifica las modalidades disponibles y cuáles son las entradas que hay que tener. Ver tabla 4.

MS1	MS2	MS3	Resolución
0	0	0	Paso full
1	0	0	Paso medio
0	1	0	1/4 de paso
1	1	0	1/8 de paso
1	1	1	1/16 de paso

Tabla 5. Resolución de pasos del driver A4988.

Fuente: Jimenez (2018).

Cuando se habla de paso full es que la señal recibida se divide en un solo paso para ser enviada al motor, el paso medio es que se divide en 2 partes la señal y así sucesivamente. Para poder observarlo mejor se muestran las gráficas a continuación de cada una de las resoluciones de micropasos. Ver figura 19.

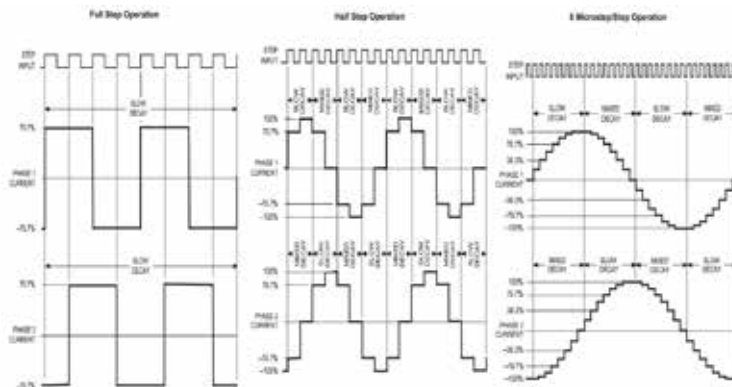


Figura 19. Resolución de micropasos.

Fuente: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/motor-paso-a-paso/> (2018).

En este caso se configuro este chip para que sea paso full ya que con los demás se puede perder velocidad de trabajo y puede haber perdida de paso. Esta resolución ayuda mucho cuando tienes un trabajo en el cual se permita un margen de error ajustado, pero se puede realizar a una velocidad moderada.

4.3.4 Elección del controlador.

Para el nombrado trabajo se seleccionó el controlador que se ajustara mejor a las necesidades requeridas por la máquina y el más versátil. Por ello se escogió la plataforma arduino UNO como su controlador principal. Esto es debido a su gran versatilidad e inmensas aplicaciones en el área. Este controlador además contiene 14 entradas y salidas y entre ellas se encuentran 6 pwm la cual fue de mucha importancia para el control de velocidad del motor DC. También, tiene una corriente de salida máxima para cada puerto de 40 mA.

Una de las características más importantes en dicha tarjeta es que gracias a su diseño es muy amigable a la hora de programar y se puede hacer a través del IDE específico de la marca, que, a su vez es un software libre. Uno de las ventajas es su puerto USB para su programación y su alimentación. Todo esto gracias a su procesador Atmega328p.

Entre una de las opciones viables que se podían implementar era la tarjeta raspberry pi ya que a simple vista las dos placas son muy parecidas, pero a la vez tienen diferentes funciones. Para esta elección se tomó en cuenta las siguientes diferencias entre cada una de dichas plataformas programable:

- La placa arduino es básicamente un microcontrolador programable mientras que el raspberry es un microprocesador que dispone de 512mb de memoria RAM.
- El arduino dispone de suficientes entradas y salidas por lo que lo hace perfecto para realizar proyectos de robótica, en cambio el

raspberry no posee tantas entradas y salidas a menos que se le coloque un módulo extra.

- El raspberry cuenta con una velocidad de 7000 MHz y el arduino apenas con 16MHz.

Cualquiera de estos dos dispositivos hubiera sido ideal para la utilización en este proyecto ya que cada uno tiene sus distintas cualidades por lo tanto no se pudiera comparar entre uno y otro por estar fabricados para distintos fines. La placa usada es ideal para proyectos como el que estamos implementando mientras que la otra tarjeta es ideal para proyectos más adentrados a la programación. Ver figura 20, 21 y 22.

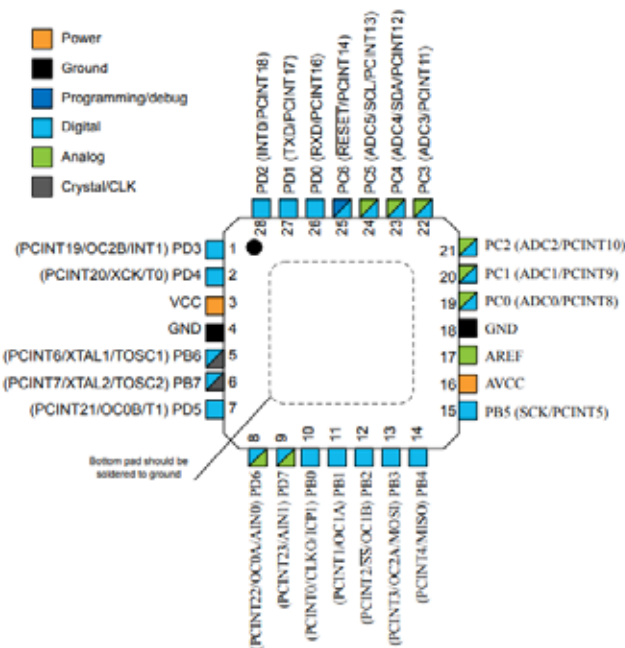


Figura 20. Mapa de las entradas y salidas del chip atmega328p.

Fuente: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf (2018).

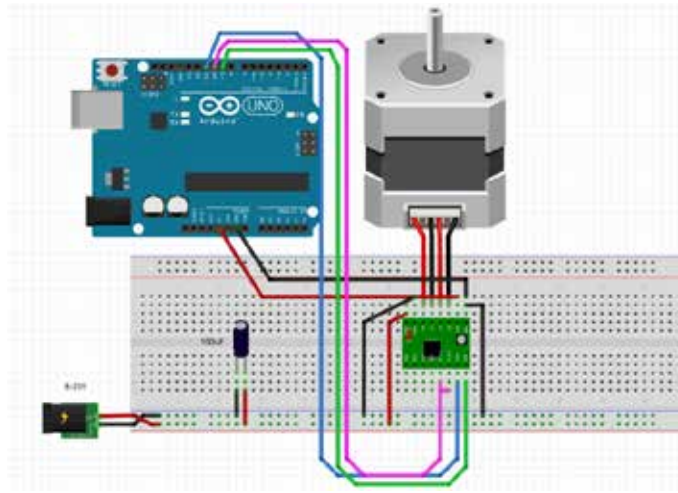


Figura 21. Diagrama de conexión de los motores PAP con arduino.

Fuente: Jimenez (2018).



Figura 22. Conexión de los drivers al controlador.

Fuente: Jimenez (2018)

4.3.5 Controlador de velocidad del motor DC.

Para poder encender y apagar el motor DC que hará la función de fresadora se tuvo que hacer un circuito simple con un transistor. El tipo de transistor se escogió según las características y se eligió el que mejor se adaptara al motor utilizado para ello se necesitó un dispositivo que pueda aguantar hasta 5 A ya que el motor DC trabaja con corrientes de entre 3 y 5 A. En vista a estos requerimientos se hizo una especie de comparativas entre los

dispositivos capaces de realizar dicha tarea entre ellos estaban los transistores bipolares o BJT y los MOSFET. Cabe destacar que los dos dispositivos son casi iguales y comparten las siguientes características como: Los dos dispositivos son transistores, Los dos tienen 3 terminales y se pueden utilizar como interruptores o amplificadores.

Dicho esto, se puede decir que los BJT revolucionaron el mundo de la electrónica en su momento. El MOSFET está desplazando cada vez más a los BJT en la electrónica. Esto se debe a una de sus principales diferencias con respecto a los BJT, la cual es que se manejan por tensión mientras que los otros se manejan por corriente. Gracias a este manejo por corriente, los últimos necesitarían una intensidad bastante elevada en comparación con la placa arduino que es capaz de entregar una corriente máxima de 40. El funcionamiento es básicamente el mismo se hace circular una corriente en la base en el caso del BJT y en la compuerta en el caso de mosfet para llevarlo a estado de saturación o conducción, de lo contrario estos permanecerán abiertos.

A través de las características ya dichas se pudo comparar un circuito de control para un motor DC con cada uno de estos, concluyendo que la corriente de base necesaria en el bjt es muy alta, tomando en cuenta la capacidad del arduino, para casos con cargas que necesitan de más de 1.5 A para trabajar. Además, estos solo pueden trabajar con un máximo de 2 A lo que los deja descartado de la selección puesto a que la maquina con la cual se va a trabajar necesitara hasta 5 A para su funcionamiento. También, el MOSFET por ser un dispositivo conmutado por tensión este utiliza una corriente de compuerta mucho más baja que la de los conmutados por corriente.

Habiendo elegido el dispositivo principal para el circuito de control se procedió a dibujarlo. Ver figura 23 y 24.

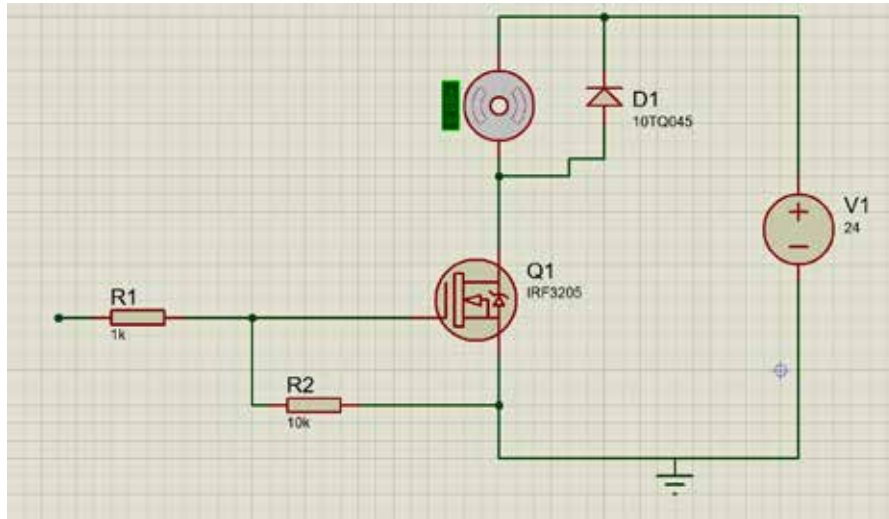


Figura 23. Diagrama del circuito controlador del motor DC.

Fuente: Jimenez (2018).

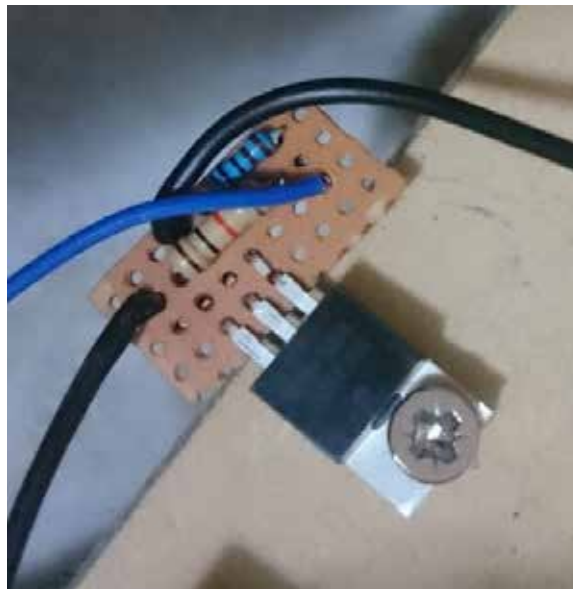


Figura 24. Montaje del circuito de control del motor DC.

Fuente: Jimenez (2018).

Cabe destacar que R1 ira conectado a un pin PWM de la tarjeta y R2 es una resistencia pull-down que hace que el circuito sea más eficiente desperdiciando menos corriente. Mientras dicho componente tenga mayor valor

es mejor. La poca corriente entregada por el arduino se va a través de R2 a tierra por ser este tipo de transistor uno conmutado por voltaje.

4.4 Fase IV: Comprobar el buen funcionamiento de la máquina mediante la realización de las pruebas pertinentes.

Después de haber realizado los pasos anteriores se procedió a investigar sobre pruebas de funcionamiento. Antes de mandar una imagen por la computadora se procedió a probar la movilidad de cada uno de los ejes, esto se hizo estableciendo la conexión de la computadora a la placa y así poder moverla. Gracias a esto se pudo conocer los distintos fallos en los ejes bien sea vibración o fallos en la mecánica en general. Estos distintos fallos pueden ser en los tornillos sin fin acoplados a cada uno de los motores PAP, bien sea por estar doblados o mal acoplados causando vibración en las bases móviles.

A través de pruebas se establecieron otros parámetros muy importantes como la velocidad de los ejes y la aceleración. Esto se hace poniéndole valores bajos e ir aumentando progresivamente con carga en cada eje para poder obtener el valor con la mejor eficiencia, gracias a esto se pudo establecer una velocidad de 500 mm por minuto en cada uno. Ver figura 25.

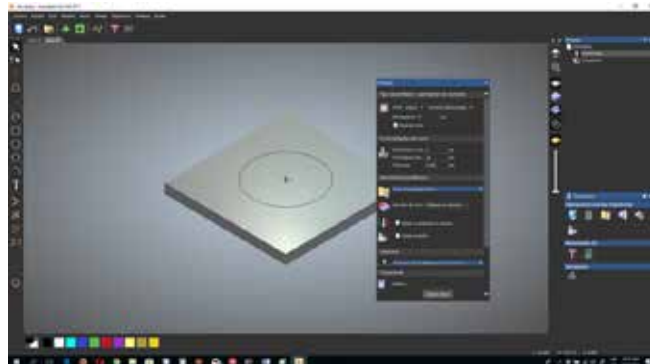


Figura 25. Trazado de dibujo en artCAM.

Fuente: Jimenez (2018).

Antes de comenzar las pruebas es muy importante establecer el punto $X=0$, $Y=0$ y $Z=0$, esto es con la finalidad de que no se sobrepase los límites o no mandar movimientos fuera del rango y prevenir un posible daño en la estructura o en los motores.

Seguido de las pruebas de prevención se procedió a diseñar un dibujo en artcam para poder ser fresado en madera. Para ello se agarró un dibujo simple como lo es un círculo y se le agrego profundidad aplicando la función de trazado de la figura para mecanizado en 2D. Ver figura 20.

Para dicho trazado se deberá especificar las características de la herramienta a utilizar y el espacio de trabajo en el cual se trabajará. Para se hizo uso de una fresa de 3,2 mm de espesor como se indicó en la figura 26.

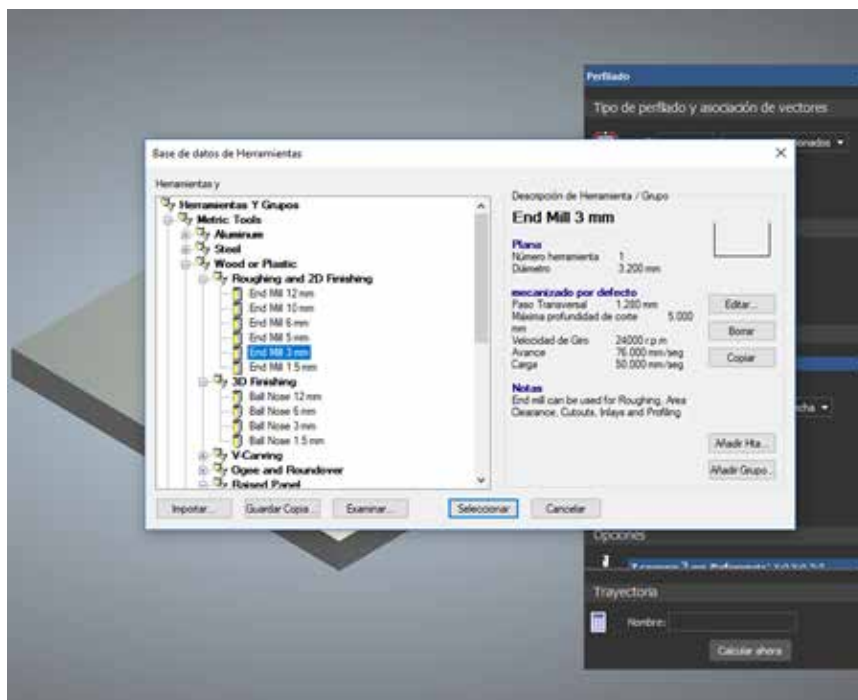


Figura 26. Características de la fresa.

Fuente: Jimenez (2018).

Habiendo hecho los pasos anteriores se procedió a simular y transformar la imagen a código G. Cabe destacar que si hay más de dos figuras se deberá guardar cada una de las trayectorias hechas en el programa. Se guarda la trayectoria del círculo en la opción de guardado y se escoge el formato a guardar que en este caso se escogió el archivo .TAP pero puede haber otros programas que los guardan en .ngc. Ver figura 27.

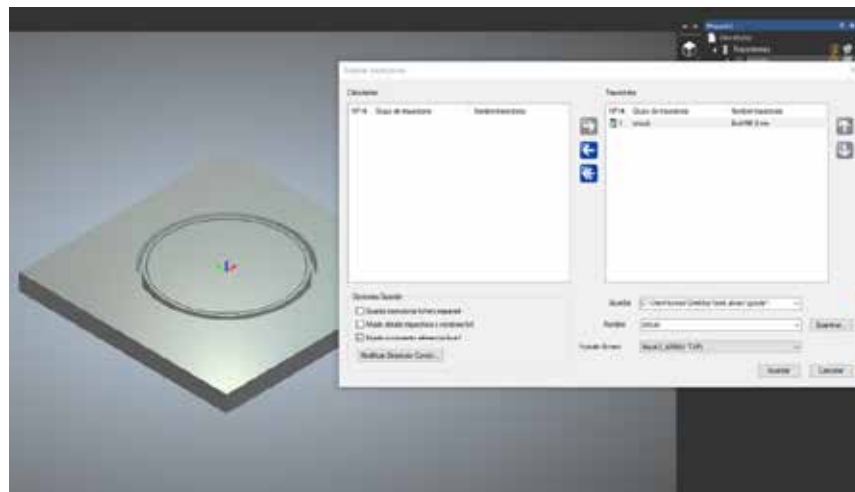


Figura27. Conversión de figura a código G.

Fuente: Jimenez (2018).

Ya teniendo el código G listo se abrirá el programa que establece conexión con la tarjeta arduino para el envío de dichas instrucciones para el mecanizado de la pieza. Para cargar el archivo se procederá a darle a la opción de buscar y se escoge el archivo guardado por artCAM. Dicho esto, se procederá a visualizarlo en el programa, a conectar el controlador y enviarlo para la realización del mismo. Ver figura 28, 29, 30 y 31.

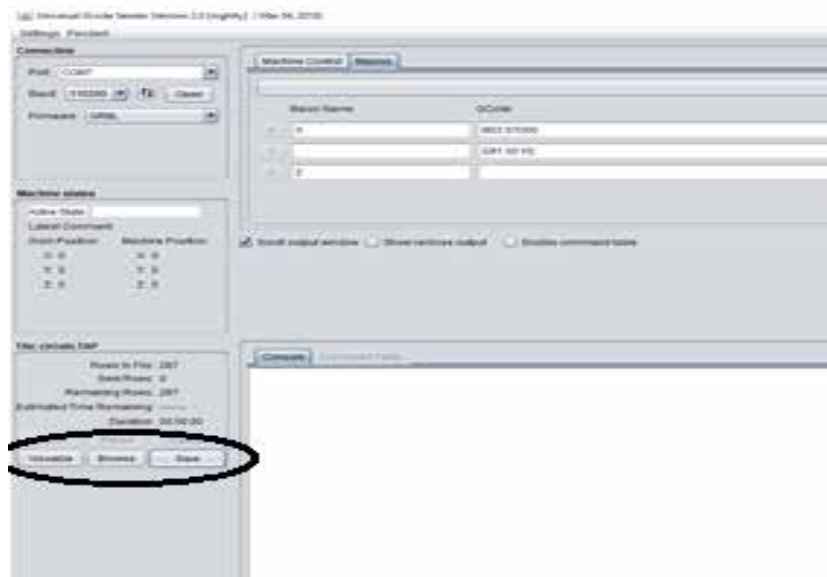


Figura 28. Cargar el código G al interfaz.

Fuente: Jimenez (2018).

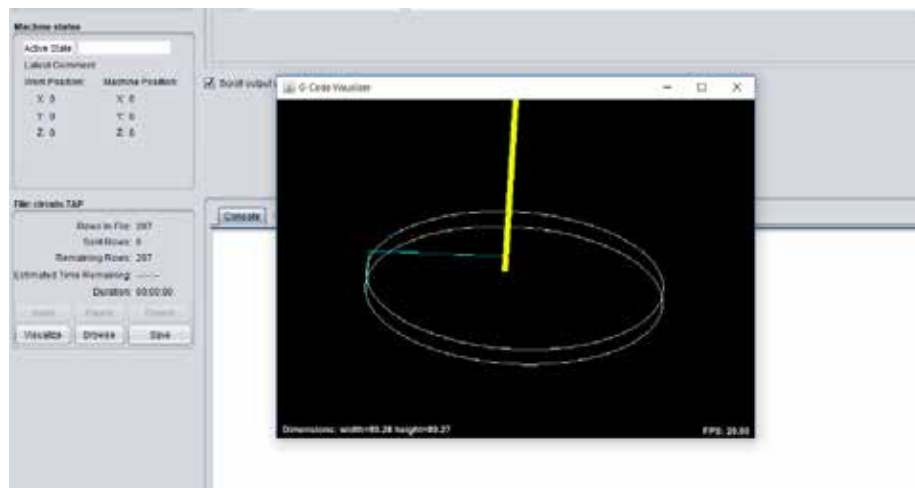


Figura 29. Visualización de la figura en el interfaz.

Fuente: Jimenez (2018).aq



Figura 30. Resultado final.

Fuente: Jimenez (2018).



Figura 31. Diseño final de la máquina.

Fuente: Jimenez (2018).

CONCLUSIÓN

Se realizó una investigación a fondo sobre distintos proyectos realizados en el área de automatización y maquinas CNC. Gracias a esto se pudo conocer que tan grande es el desarrollo de esta área a nivel nacional. A través de esta investigación se obtuvieron datos de suma importancia para el proyecto y se pudo observar como muchas industrias a nivel nacional utilizan distintas máquinas herramientas que hacen uso de CNC en el proceso.

Se hizo el estudio pertinente para poder obtener mayor información sobre las maquinas herramientas y específicamente sobre la fresadora. En este estudio se pudo corroborar la importancia de dicha maquina a nivel industrial con el fin de recoger la cantidad máxima de información importante que hizo posible la identificación de cada uno de los componentes necesarios para la mejora y automatización de una de estas.

Después de haber recaudado toda la información pertinente en el área de CNC y las maquinas herramientas se pudo hacer una comparativa entre las que se emplean manualmente y las que usan el CNC como mecanismo de control llegando así a la conclusión de que la elección entre uno de estos diferentes modelos depende del trabajo a realizar y las necesidades de cada persona de acuerdo al mismo. Sin poder decir que una es mejor que otra se pudo concordar que las segundas se emplean cuando el proyecto requiere de una repetitividad elevada y tolerancia bastante baja, como cuando se produce en serie.

Se identificó el programa en el cual se desarrollará el HMI, gracias a una exploración y comparación de cada uno de ellos, ya que existe una gran variedad de software que pueden ser utilizados. Al haber seleccionado el software se procedió con la programación e instalación en la máquina y conjuntamente a esto se fueron

seleccionando cada uno de los componentes necesarios para la puesta en marcha de la máquina, con el fin de elegir los mejores componentes de acuerdo a las exigencias. Gracias a la elección de dichos componentes se realizó la configuración del interfaz con el fin de obtener el mayor rendimiento en cada uno de los componentes utilizados e instalados.

Tomando en cuenta el factor económico y la situación que se está viviendo dentro del país en la parte de la compra de materiales, se tuvo que adaptar el diseño con el fin de no excedernos del presupuesto disponible. En comparación con muchos modelos parecidos encontrados en internet este es relativamente económico y accesible en vista que un modelo industrial te puede costar miles de dólares y un modelo para trabajos pequeños puede costar hasta cientos de dólares. No obstante, también se tomó en cuenta el tiempo que se tardó en realizar dicho proyecto el cual fue de un aproximado de 40 horas de ingeniería o entre 2 y 3 días de trabajo.

Por último, se realizaron los distintos pasos propuestos, desde la fase de la investigación de esta hasta la elaboración de la máquina, con la finalidad de demostrar las aplicaciones y los beneficios que tiene el automatizar una máquina herramienta como lo es una fresadora con un software y hardware trabajando en conjunto eficientemente.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere hacer las respectivas mejoras del dispositivo para poder hacer trabajos más complicados y en otros tipos de materiales.
- Cambiar el material con el cual fue construida la maquina ya que le pudiera dar más durabilidad y estabilidad. Esto se haría haciendo las bases en materiales como aluminio o un material mecánico con la suficiente rigidez.
- Buscar otras vías de conexión para la alimentación así como también para establecer la conexión entre la computadora y el controlador, con la finalidad de no depender de una computadora cerca.
- Mejorar los sistemas de movimiento de cada uno de los ejes para mayor potencia y mejor rendimiento de los motores. Esto se pudiera hacer a través de la implementación de tornillos sin fin especializados para este tipo de máquinas con un menor roce que el utilizado y más resistente.
- Montar motores paso a paso con mayor torque y mayor número de pasos por vueltas, que permita el mecanizado en otros tipos de materiales, además de mayor velocidad en el trabajo, y se tuviera que cambiar el motor DC.
- Mejorar el circuito controlador con la instalación de finales de carrera que permitan mayor protección en los ejes gracias a la limitación de movimiento de cada uno de ellos de manera precisa.
- A la hora de una posible adaptación se recomienda hacer los ajustes necesarios para disminuir el porcentaje de riesgo en el proceso.
- Así mismo se quiere recalcar que en el presente trabajo de grado se pudo materializar un proyecto con una utilidad muy grande en todos los aspectos con una capacidad de mejora bastante prometedora y accesibles para todos. Demostrando que si se puede hacer este tipo de proyectos en nuestro país para impulsar el crecimiento industrial y académico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. (2.006). **El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica**, Caracas: Editorial Episteme.
- Balestrini, M. (2006). **Como se elabora el proyecto de investigación (séptima edición)**. Caracas: BL consultores asociados.
- Bizquera R (1990). **Métodos de Investigación Educativa**. España: Editorial CEAC.
- Cerda, H. (2003). **Como elaborar proyectos (cuarta edición)**. Bogotá: Cooperativa editorial magisterio.
- Clemente, Isabel (2013). **Diseño y construcción de una máquina de control numérico con interfaz basada en un microcontrolador para el trazado de una imagen diseñada en computadora**. San Diego, Venezuela.
- Hurtado, J. (2.000). **Metodología de Investigación Holística (tercera edición)**. Caracas: Editorial Sypal.
- Robert H. Bishop (2002). **The mechatronic handbook**. Texas: Editorial CRC
- Stephen J. Chapman (2000). **Maquinas eléctricas (tercera edición)**. Caracas: Editorial Mc Graw Hill.
- Tamayo y Tamayo, M. (2003). **El proceso de la investigación científica (cuarta edición)**. Venezuela: Editorial limusa S.A.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- <https://www.roboticaacademica.com/>, última visita: 21 de septiembre de 2017 a las 3:20 PM.
- <http://www.instructables.com/technology/>, última visita: 10 de octubre de 2017 a las 11:00 AM.

<http://metodologia02.blogspot.com/2010/07/la-metodologia.html>, última visita: 10 de octubre de 2017 a las 2:00 PM.

<https://definicion.de/automatizacion/>, última visita: 11 de octubre de 2017 a las 10:00 AM.

<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>, última visita: 11 de octubre de 2017 a la 1:00 PM.

<http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/lсед/2002-03/MotoresPasoPaso/Motorespasoapaso.pdf>, última visita: 20 de enero de 2018 a las 3:00 PM.

<http://html.alldatasheet.com/html-pdf/338780/ALLEGRO/A4988/888/3/A4988.html>, última visita: 20 de enero de 2018 a las 5:00 PM.

<https://www.staticboards.es/blog/drv8825-vs-a4988/>, última visita: 24 de enero del 2018 a las 10:00 AM.

<https://www.allegromicro.com/en/Products/Motor-Driver-And-Interface-ICs/Bipolar-Stepper-Motor-Drivers/A4988.aspx>, última visita: 25 de enero del 2018 a las 12:00 PM.

<https://github.com/gnea/grbl/wiki/Grbl-v1.1-Configuration>, última visita: 1 de febrero del 2018 a las 2:00 PM.

<https://www.inventable.eu/2017/05/26/funciona-puente-motores-corriente-continua/>, última visita: 2 de febrero del 2018 a las 9:00 AM

http://wiki.ead.pucv.cl/Desarrollo_Electr%C3%B3nica_DIYLILCNC, última visita: 2 de febrero del 2018 a las 2:00 PM

<https://alltransistors.com/es/mosfet/transistor.php?transistor=2363>, última visita: 10 de febrero del 2018 a las 3:00PM

<https://hetpro-store.com/nema-17/>, última visita: 16 de febrero el 2018 a las 10:00 PM.

**<http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-mosfet/>, última visita:
20 de febrero del 2018 a las 8:00 PM.**