

Universidad Tecnológica Nacional

Proyecto Final

MÁQUINA CNC PARA CORTE DE PIEZAS DE CARPINTERÍA

Autores:

- Coudenhove, Rubén
- Schumacher, Leandro

- Pañoni, Sergio.
- Ramos, Héctor.
- Maggiolini, Lucas.

*Proyecto final presentado para cumplimentar los requisitos
académicos*

para acceder al título de Ingeniero Electrónico

en la

Facultad Regional Paraná

Febrero 2020

Declaración de autoría:

Yo/nosotros declaro/declaramos que el Proyecto Final "Título" y el trabajo realizado son propio/s. Declaro/declaramos:

- Este trabajo fue realizado en su totalidad, o principalmente, para acceder al título de grado de Ingeniero Electrónico, en la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Paraná.
- Se establece claramente que el desarrollo realizado y el informe que lo acompaña no han sido previamente utilizados para acceder a otro título de grado o pre-grado.
- Siempre que se ha utilizado trabajo de otros autores, el mismo ha sido correctamente citado. El resto del trabajo es de autoría propia.
- Se ha indicado y agradecido correctamente a todos aquellos que han colaborado con el presente trabajo.
- Cuando el trabajo forma parte de un trabajo de mayores dimensiones donde han participado otras personas, se ha indicado claramente el alcance del trabajo realizado.

Firmas:

-
-

Fecha: FEBRERO 2020

Agradecimientos:

A nuestras familias que nos acompañaron en esta etapa de nuestra vida, a los profesores que brindaron lo mejor de si para transferirnos el conocimiento y a la institución por su apoyo para que alcancemos el objetivo.

Coudenhove, Rubén
Schumacher, Leandro

Universidad Tecnológica Nacional

Abstract

Facultad Regional Paraná

Ingeniero en Electrónica

MÁQUINA CNC PARA CORTE DE PIEZAS DE
CARPINTERÍA

Coudenhove, Rubén

Schumacher, Leandro

Abstract:

It is the design, development, manufacture and implementation of a numerical control machine operated by a Windows environment computer through an Arduino board that allows the drawing and cutting of carpentry pieces for the manufacture of toys.

The control of the machine is through the implementation of an Arduino Uno board, with the additional electronics necessary for the handling of three stepper motors, which produce bidirectional movement that allows the movement of a cutting tool, in this case a Tupi, in three directions.

These movements are controlled through the appropriate firmware and software tools, which, from a PC, allow the machine to order the plot movements.

This machine is oriented to its use in carpentry of low and high production volume.

Keywords:

Numerical control

Arduino

Stepper motor

Resumen:

Es el diseño, desarrollo, fabricación, e implementación de una máquina de control numérico manejada por una computadora de entorno Windows a través de una placa Arduino que permite el trazado y corte de piezas de carpintería para la fabricación de juguetes.

El control de la máquina es a través de la implementación de una placa Arduino Uno, con la electrónica adicional necesaria para el manejo de tres motores paso a paso, quienes generan movimiento bidireccional que permite el desplazamiento de una herramienta de corte, en este caso un tupi, en tres direcciones.

Estos movimientos se controlan a través del firmware adecuado y de herramientas de software, quienes desde una PC, permiten ordenarle a la máquina los movimientos de trazado.

Esta máquina está orientada a su uso en carpinterías de bajo y alto volumen de producción.

Palabras Clave:

Control numérico

Arduino

Motor paso a paso

Reconocimientos:

A los profesores Ing. Pañoni, Rubén Spies, Juan Carlos Canavelli, Ing. Minni, Ing. Vincitorio, Ing. Julio Mernes, por su vocación docente brindada a sus alumnos.

Índice:

Introducción	1
Desarrollo	2
Partes del sistema	3
PC.....	3
Universal GcodeSender.....	3
InkScape.....	8
Arduino.....	12
CNC Shield.....	14
Driver 8825.....	15
Conexión Arduino CNC.....	16
Firmware Arduino.....	17
Conexión Arduino.....	19
Motores pap.....	21
Unipolares.....	23
Bipolares.....	25
Máquina CNC.....	27
Partes de la máquina CNC.....	30
Parte de electrónica.....	34
Parte software y firmware.....	34
Manejo de máquina CS01.....	34
Resultados.....	35
Análisis de costo.....	36
Discusión y conclusiones.....	37
Bibliografía.....	38

Lista de figuras:

Figura 1.- Diagrama de bloques.....	3
Figura 2.- Conexión GRBL Arduino.....	4
Figura 3.- Conexión GRBL Arduino – Parámetros 1.....	4
Figura 4.- Conexión GRBL Arduino – Parámetros 2.....	5
Figura 5.- GRBL Posicionando el tupi.....	7
Figura 6.- GRBL Enviando comandos a Arduino.....	7
Figura 7.- Software InkScape inicio.....	8
Figura 8.- Software InkScape mapa de bits.....	9
Figura 9.- Software InkScape Desvío dinámico.....	9
Figura 10.- Software InkScape punto orientación.....	10
Figura 11.- Software InkScape biblioteca herramientas.....	10
Figura 12.- Software InkScape cuadro herramientas.....	11
Figura 13.- Software InkScape trayecto Gcode.....	11
Figura 14.- Placa Arduino.....	12
Figura 15.- Layout Arduino.....	12
Figura 16.- Modelos Arduino.....	13
Figura 17.- Placa CNC Shield.....	14
Figura 18.- Placa DRV8825.....	15
Figura 19.- Pin Out DRV8825.....	15
Figura 20.- Diagrama simplificado controlador cnc.....	17
Figura 21.- Software Arduino elección placa.....	18
Figura 22.- Librería Arduino.....	18
Figura 23.- Regulación DRV8825.....	21
Figura 24.- Motor pap imán permanente	22
Figura 25.- Esquema motores pap	23

Figura 26.- Motor bipolar.....	26
Figura 27.- Vista de frente máquina completa.....	30
Figura 28.- Frente máquina destapada.....	31
Figura 29.- Deslizamiento eje x.....	31
Figura 30.- Soporte eje z.....	32
Figura 31.- Vista rodamientos lineales.....	33

Tablas:

<i>Tabla1 .Micropasos motor pap</i>	19
<i>Tabla2- Pasos unipolares.....</i>	24
<i>Tabla3- Pasos unipolares doble activación.....</i>	24
<i>Tabla4- Pasos unipolares micropasos.....</i>	25
<i>Tabla 5- Pasos bipolares.....</i>	26
<i>Tabla 6- Análisis de costo.....</i>	36

Lista de Abreviaciones

mm	Milímetros
mm/min	Milímetros por minuto
USB	Universal Serial Bus
°	Grados
pasos / mm	Pasos por milímetro
mm / seg ²	Milímetros por segundo al cuadrado
Ω	Ohm
V	Tensión continua
I _{max}	Corriente máxima
V _{rot}	Tensión de referencia
R	Resistencia eléctrica
mV	MiliVoltio
CNC	Control numérico por computadora
VCC	Tensión continua
GND	Ground (masa)
MDF	Fibropanel de densidad media

Dedicado a:

Nuestras familias que nos apoyaron plenamente.

Capítulo 1: Introducción

La automatización en la industria es una realidad a la fecha que seguirá creciendo a través del tiempo. En particular, la máquina que se ha desarrollado surge ante la necesidad de automatizar el corte de piezas de carpintería para ahorrar los tiempos y costos de producción.

Consiste en una máquina de control numérico para realizar el trazado y corte de piezas de carpintería para la fabricación de juguetes para niños; esta máquina que denominaremos CNC, esta manejada por una computadora de entorno Windows el cual se comunica con la maquina a través de una placa Arduino.

Esta CNC está orientada a su uso en carpinterías de bajo y alto volumen de producción.

La fabricación de estas es por pedido puntual, lo que hace que se pueda cumplimentar con requerimientos específicos del cliente.

Esta máquina representa un gran adelanto en el corte de piezas de carpintería sin la intervención de la mano del hombre, reduciendo errores y tiempos de trabajo, permitiendo la producción de piezas en serie.

Actualmente, no hay proveedores locales conocidos que ofrezcan este producto en nuestra región y esto nos ubica en una posición más que conveniente en cuanto a costos de fletes y posteriores servicios de mantenimiento.

Los elementos que componen la máquina se consiguen en el mercado nacional, garantizando su provisión y servicio de postventa.

La competencia ofrece máquinas similares a costos considerables y tenemos un diseño que cumplimenta de igual manera a menor costo.

Se estima un ciclo de vida de 10 años para el producto descrito.

MAQUINA CNC modelo CS01

La CS01 es un prototipo de máquina de control numérico (CNC), diseñada para realizar cortes en planchas de maderas o mdf, que permite el trazado y corte de piezas de carpintería para la fabricación de juguetes.

Capítulo 2: Desarrollo

La máquina fue diseñada para el corte de piezas de carpintería y el material de trabajo elegido es MDF. El fibropanel de densidad media o MDF es un producto de madera reconstituida que se obtiene descomponiendo residuos de madera dura o blanda en fibras de madera, combinándolo con cera y un aglutinante de resina, y formando paneles mediante la aplicación de alta temperatura y presión.

Cuando se desea cumplimentar un requerimiento en este tipo de máquina, se destacan ciertos parámetros a tener en cuenta y ellos son:

- . tamaño máximo de la pieza a cortar o trazar
- . espesor de la pieza, lo cual nos indica la profundidad de corte
- . herramienta que debemos utilizar para el corte.
- . velocidad de la herramienta de corte
- . velocidad de desplazamiento y aceleración de cada eje de la máquina en vacío
- . velocidad de desplazamiento y aceleración cada eje en carga

Una vez determinado el requerimiento, se diseña la máquina.

En este caso, el requerimiento es:

- . tamaño máximo de la pieza a cortar o trazar: 350 x 570 [mm]
- . espesor de la pieza, lo cual nos indica la profundidad de corte: hasta 18 [mm]
- . tipo de fresa que debemos utilizar para el corte: fresa xxx 3mm, fresa 1,5 mm fresa 1mm
- . velocidad de la herramienta de corte: 35000 rpm dremel 3000
- . velocidad de desplazamiento de cada eje de la máquina en vacío: 500 mm/min (esta es la velocidad a la que se mueve la CNC para posicionar el tupi.
- . velocidad de desplazamiento de cada eje en carga: 400 mm/min (esta es la velocidad a la que se mueve el tupi mientras esta fresando o cortando. Esta velocidad depende del material a cortar, si es madera, mdf o metales.

PARTES DEL SISTEMA

Describiéndolo en bloques, el sistema se ilustra en el siguiente diagrama de bloques.



Figura 1.- Diagrama de bloques

Veamos en detalle cada uno.

PC

Para la computadora se usaron notebooks con sistema Windows 7, de todas formas el software de la máquina es bastante versátil y puede funcionar con otras plataformas de Windows tales como Windows 8 y Windows 10. Es decir que la máquina puede controlarse con cualquier computadora, ya sea pc o las computadoras hoy en día, con el software adecuado, el cual es bastante fácil de conseguir.

El arduino tiene cargado un firmware que controla eficazmente la CNC, pero a fin de mayor claridad para trabajar, conviene utilizar un software motor, y en nuestro caso usaremos el Universal Gcode Sender.

UNIVERSAL GCODE SENDER

El universal Gcode Sender es un software que al cargársele una imagen en lenguaje g; este programa la interpreta y la traduce en movimientos en la cnc.

Instrucciones de uso de Universal Gcode Sender

Antes de abrir el Universal Gcode Sender, la CNC debe estar energizada y enchufada a la computadora mediante conexión USB.

Una vez abierto el UGS (Universal Gcode Sender), se ve la siguiente imagen.

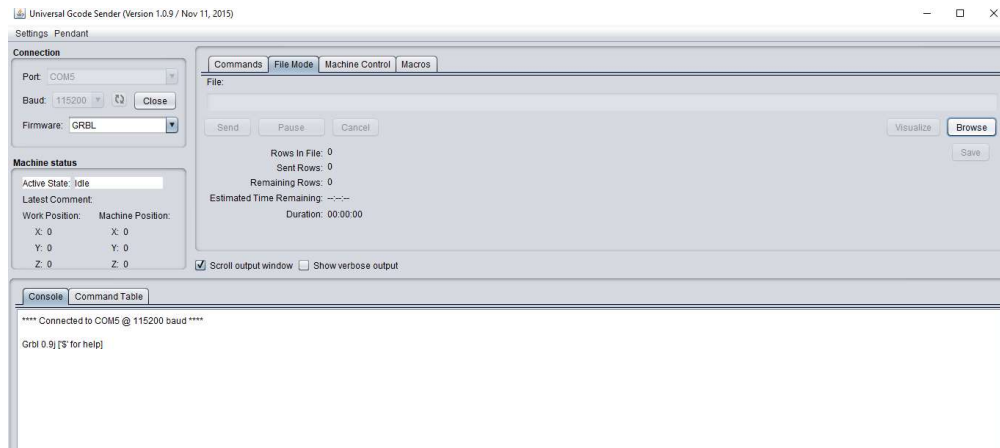


Figura 2.- Conexión GRBL Arduino

En la imagen se eligió el puerto USB donde se conectó la placa arduino que maneja la cnc. En baudios, se indica la velocidad de conexión, y en firmware, el firmware que tiene cargado el arduino, que en nuestro caso se llama GRBL.

En la parte de machine status esta la posición desde donde arranca la máquina.

Si elegimos la pestaña comando y tipeamos \$\$ y luego tecla enter, nos aparecerá lo siguiente. Este comando nos muestra cómo está configurado el firmware en el Arduino.

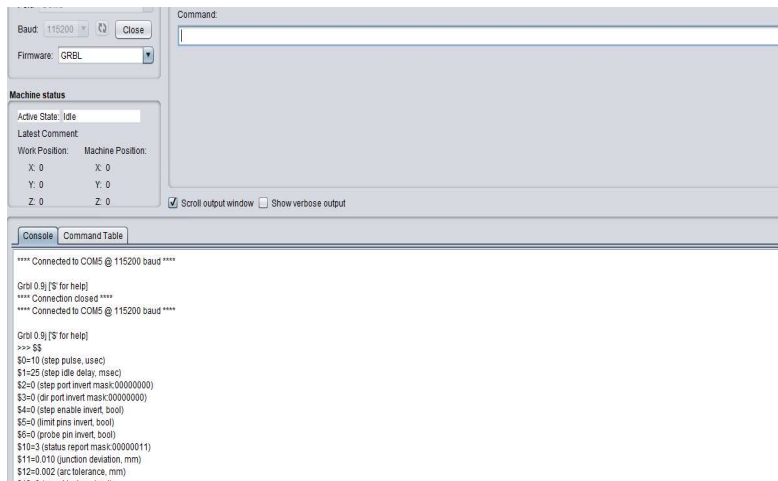


Figura 3.- Conexión GRBL Arduino – Parámetros 1


```

Console Command Table
$Z3=0 (homing dir invert mask:00000000)
$24=25.000 (homing feed, mm/min)
$25=500.000 (homing seek, mm/min)
$26=250 (homing debounce, msec)
$27=1.000 (homing pull-off, mm)
$100=10.000 (x, step/mm)
$101=10.000 (y, step/mm)
$102=284.000 (z, step/mm)
$110=4000.000 (x max rate, mm/min)
$111=4000.000 (y max rate, mm/min)
$112=500.000 (z max rate, mm/min)
$120=3000.000 (x accel, mm/sec^2)
$121=3000.000 (y accel, mm/sec^2)
$122=1000.000 (z accel, mm/sec^2)
$130=5000.000 (x max travel, mm)
$131=5000.000 (y max travel, mm)
$132=200.000 (z max travel, mm)
ok

```

Figura 4.- Conexión GRBL Arduino – Parámetros 2

En nuestro caso solo cambiaremos los comandos después del \$100.

Para saber con qué valores cargar esos comandos, comenzaremos haciendo algunos cálculos.

Sabiendo que el motor nema 17 de nuestro caso tiene 1,8°/paso, esto es

$$1,8^\circ \Rightarrow 1 \text{ paso}$$

$$1^\circ \Rightarrow \frac{1 \text{ pa}}{1,8^\circ}$$

$$360^\circ = \frac{360^\circ}{1,8^\circ} = 200 \text{ pasos}$$

Como nosotros configuramos los pasos como medio paso para este proyecto, entonces tenemos

$$360^\circ = 200 \text{ pasos} * 2 = 400 \text{ pasos}$$

O sea que para dar una vuelta completa al nema se necesitan 400 pasos.

Tanto en el eje X como en el eje Y tenemos sistema de poleas con las siguientes características.

Polea: 20 dientes

Correa GT2: correa de 6 mm de ancho y distancia de 2mm entre dientes.

Entonces tenemos para el eje X:

$$1 \text{ vuelta} = 20 \text{ dientes} * 2 \text{ mm} = 40 \text{ mm.}$$

$$\text{Movimiento en X en pasos/mm} = \frac{400 \text{ pasos}}{40 \text{ mm}} = 10$$

Entonces en gcode sender cargamos

$$\$100=10$$

Para hacer los movimientos en el eje Y los cálculos son los mismos y en el gcode sender cargamos

$$\$101=10$$

Para hacer los movimientos en el eje Z se usó una barra roscada que por cada vuelta avanza 1,41 mm.

Entonces tenemos:

$$1.41\text{mm} \text{_____} 400 \text{ pasos}$$

$$1\text{mm} \text{_____} \frac{400}{1,41} = 284 \text{ pasos/mm}$$

Entonces en UGS en la línea de comandos ponemos

$\$102=284$ y presionamos la tecla enter.

Para la velocidad en el eje X e Y, le damos un valor tentativo de 4000 para la velocidad máxima de trabajo, y de 5000 para la velocidad de posicionamiento, en tanto que para el eje Z le damos 500 y 200 respectivamente.

$$\$110=4000 \text{ mm/min (velocidad de trabajo máxima del eje x)}$$

$$\$111=4000 \text{ mm/min (velocidad de trabajo máxima del eje y)}$$

$$\$112= 500 \text{ mm/min (velocidad de trabajo máxima del eje z)}$$

$$\$130= 5000 \text{ mm/min (velocidad de posicionamiento del eje x)}$$

$$\$131= 5000 \text{ mm/min (velocidad de posicionamiento del eje y)}$$

$$\$132= 200 \text{ mm/min (velocidad de posicionamiento del eje z)}$$

En cuanto a la aceleración en los ejes les cargamos en forma tentativa 3000 en los ejes x e y, 1000 en el eje z; con estos valores por encima de la velocidad la aceleración es máxima; entonces tenemos:

$$\$120=3000 \text{ mm/s}^2 \text{ (aceleración en el eje x)}$$

$$\$121=3000 \text{ mm/s}^2 \text{ (aceleración en el eje y)}$$

$$\$122=1000 \text{ mm/s}^2 \text{ (aceleración en el eje z)}$$

Una vez cargados estos parámetros, ya podemos posicionar el tupi a la posición de inicio, para mover la máquina hacemos click en la pestaña machine control tal como se ve en la siguiente figura.

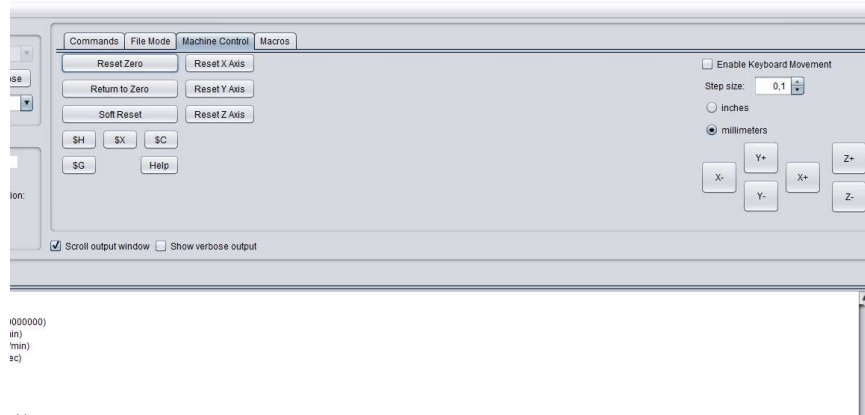


Figura 5.- GRBL Posicionando el tupi

Como se ve se pueden mover los ejes x,y y z mediante los botones x-,x+,y-,y+,z-,z+ y en step size, es la distancia que se mueve el tupi en mm o pulgadas.

Una vez posicionado el tupi, se pone a cero todos los valores de la máquina, una forma sencilla de hacer esto es apretar, close para cerrar, open para abrir, entonces todos los valores de los ejes quedan en cero.

Seguidamente, se elige la pestaña file mode y ahí se elige el ícono browse para cargar el archivo, y si se desea visualizar tal archivo se hace click en visualizate.

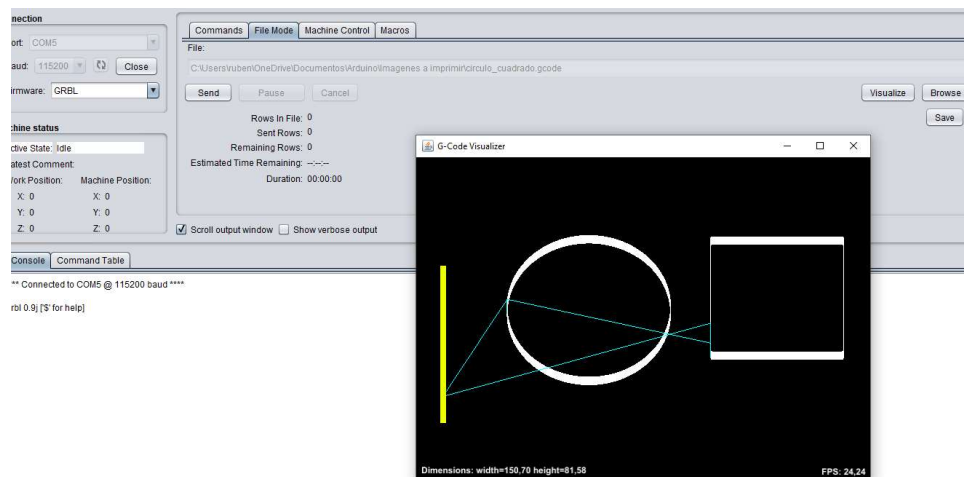


Figura 6.- GRBL Enviando comandos a Arduino

Finalmente se enciende el tupi sino estaba encendido y se hace click en send, donde mientras trabaja la máquina se observa en pantalla el movimiento de los ejes y el tiempo que resta para finalizar el trabajo.

Para crear el archivo en lenguaje G a partir de una imagen cualquiera existen varios programas tales como el aspire y el inkscape, se usara el inkscape que es software libre.

Inkscape

Seguidamente se explicaran los pasos para crear un archivo en lenguaje G que entiende la máquina, a partir de una imagen cualquiera.

Primeramente al ejecutar el programa, se debe elegir la pestaña archivo, propiedades del documento, y allí en tamaño personalizado, se cargan la medida de la tabla a cortar.

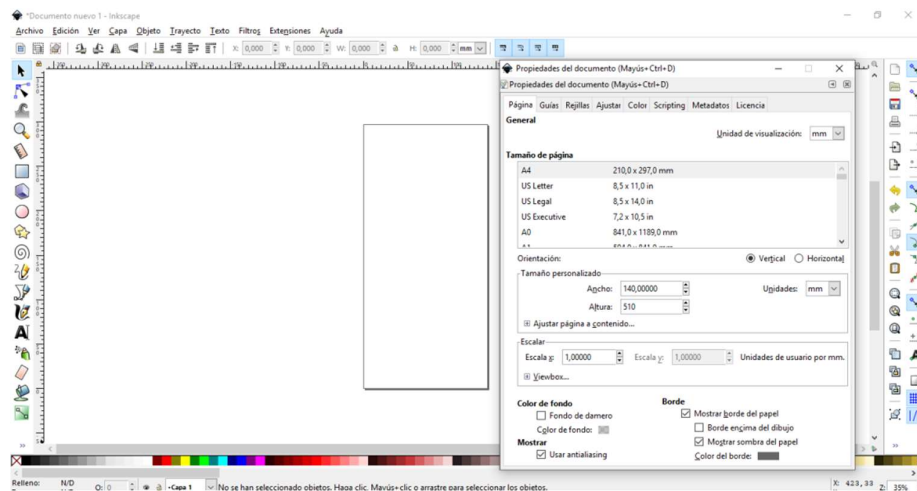


Figura 7.- Software Inkscape inicio

Seguidamente se procede a cargar la imagen a cortar, para ello se elige la pestaña archivo, ahí se debe seleccionar importar, y se elige la foto que vamos a transformar.

Seguidamente una vez ubicada la imagen en la parte donde va a estar en la tabla, pasamos a vectorizar la imagen; para ello seleccionamos la imagen y luego elegimos la pestaña trayecto, y elegimos vectorizar mapa de bits, regulamos la imagen hasta que esté de nuestro agrado, y luego se selecciona aceptar y cerrar; luego se selecciona la imagen original y se la elimina.

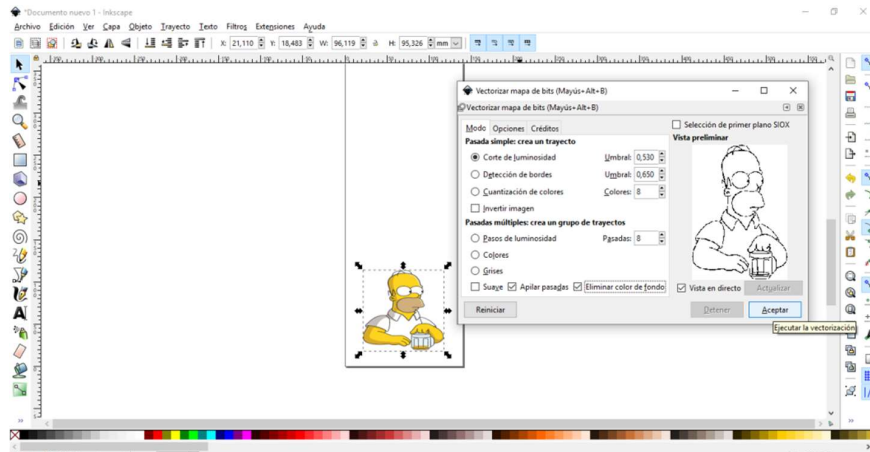


Figura 8.- Software InkScape mapa de bits

Luego se selecciona la imagen vectorizada por mapa de bits y se selecciona la pestaña trayecto y se elige objeto a trayecto, luego se elige, trayecto, desvío dinámico, al hacer esto en la parte izquierda queda seleccionado la opción desvío dinámico.

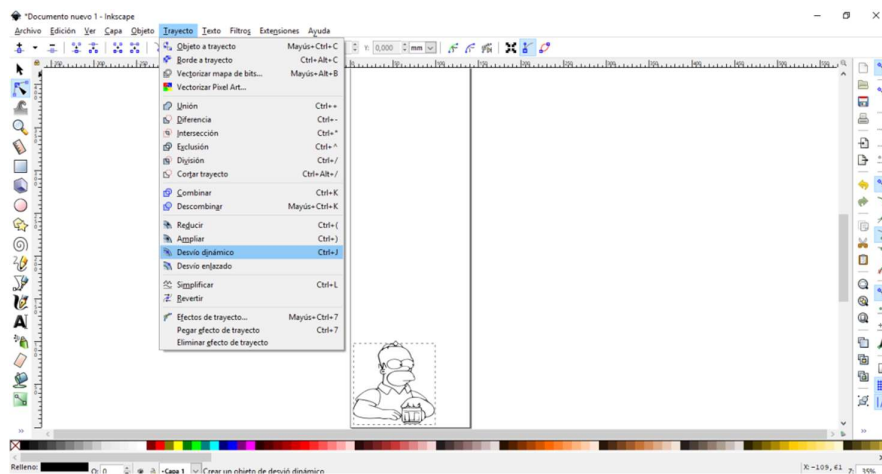


Figura 9.- Software InkScape Desvío dinámico

Luego y asegurándose que quedo seleccionado desvío dinámico, se selecciona la imagen y vamos a la pestaña extensiones, elegimos Gcode tools, puntos de orientación; aquí podemos elegir hasta qué profundidad queremos que frese la máquina, si se desea cortar, se deberá poner el espesor de la tabla, más una o dos décimas y luego elegimos aplicar y aceptar.

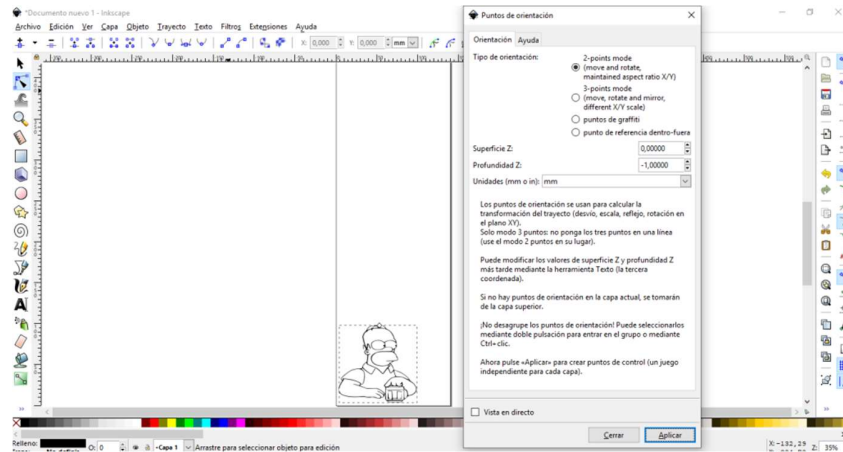


Figura 10.- Software InkScape punto orientación

El programa ya seleccionó los puntos iniciales y finales del recorrido, se clickea a la izquierda en desvío dinámico, luego se selecciona la imagen y se elige, Extensiones, Gcode Tools, Biblioteca de herramientas. Aquí seleccionamos la forma de la herramienta de corte o fresado. Para nuestros cortes elegimos cilindro, luego se pone aplicar y seguidamente cerrar.

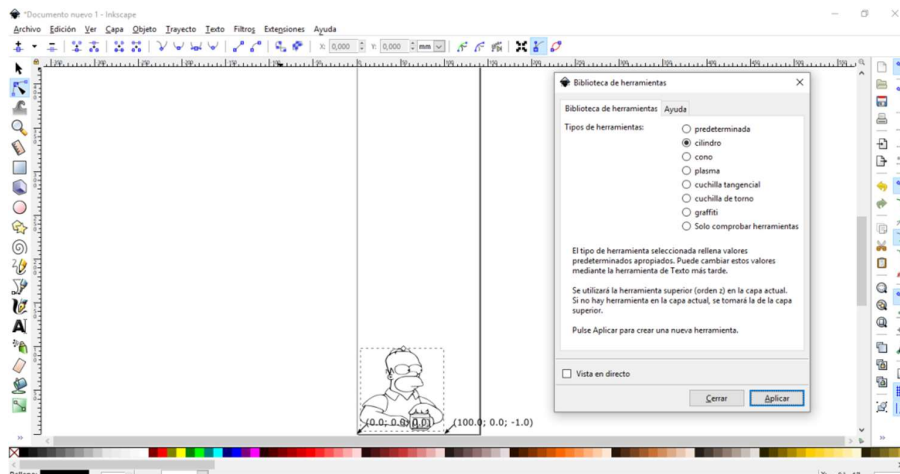


Figura 11- Software InkScape biblioteca herramientas

Luego aparece un cuadrado verde con las características del corte, y se deben elegir las que se consideren adecuadas.

Las características que se pueden cambiar son diámetro de la herramienta de corte, velocidad del tupi maquinando, profundidad de fresado en cada pasada, etc.

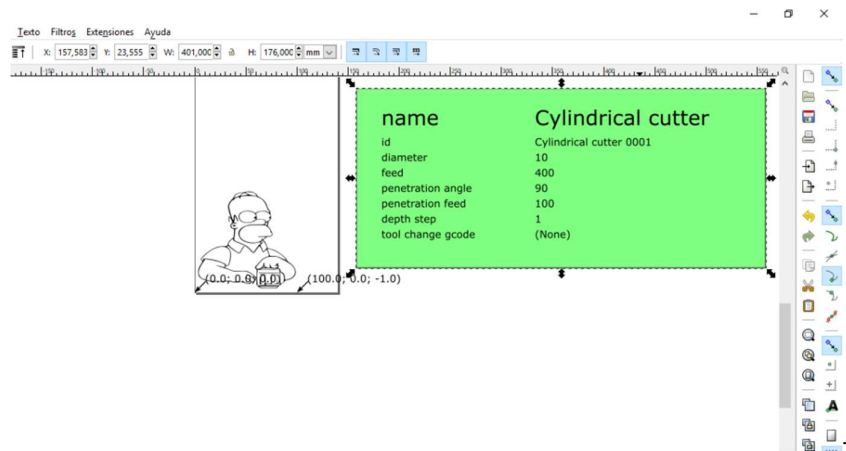


Figura 12.- Software InkScape cuadro herramientas

Finalmente se selecciona la imagen, se elige Extensiones, Gcode Tools, Trayecto a Gcode, entramos en Preferencias y elegimos el nombre y dónde vamos a guardar la imagen vectorizada en lenguaje G; luego seleccionamos Trayecto a Gcode, aplicar y cerrar.

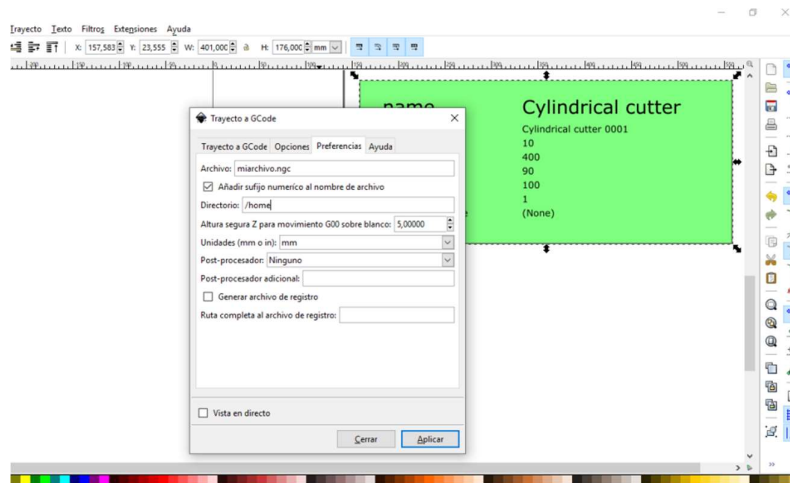


Figura 13.- Software InkScape trayecto gcode

Con estos pasos, ya se ha creado la imagen en código G, la cual se cargará en el software Universal Gcode Sender.

ARDUINO

Investigación y componentes

ARDUINO

Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines hembra. Estos permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla (principalmente con cables dupont).

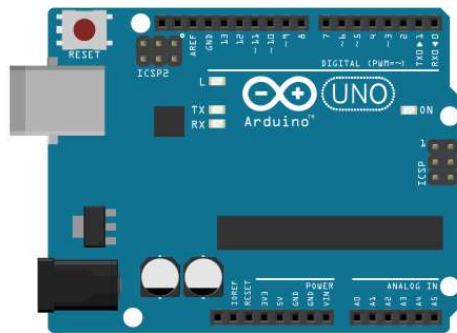


Figura 14-Placa Arduino

Una placa electrónica es una PCB (“Printed Circuit Board”, “Placa de Circuito Impreso” en español). Las PCBs superficies planas fabricadas en un material no conductor, la cual consta de distintas capas de material conductor. Una PCB es la forma más compacta y estable de construir un circuito electrónico. Por lo tanto, la placa Arduino no es más que una PCB que implementa un determinado diseño de circuitería interna. De esta forma el usuario final no se debe preocupar por las conexiones eléctricas que necesita el microcontrolador para funcionar, y puede empezar directamente a desarrollar las diferentes aplicaciones electrónicas que necesite.

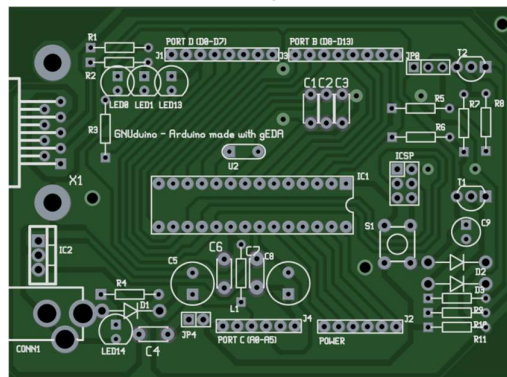


Figura 15 layout Arduino

Tipos de Arduino

Dentro de la familia arduino existen distintas placas que se diferencian por la cantidad de entradas salidas, modelo del microcontrolador, tamaño físico, etc. A pesar de la cantidad de modelos de placas todas pertenecen a la misma familia de microcontroladores AVR marca atmel. Esto significa que comparten la mayoría de las características de software como arquitectura, librerías documentación, etc.

En la siguiente figura se ven algunas de las placas arduino existentes en el mercado.

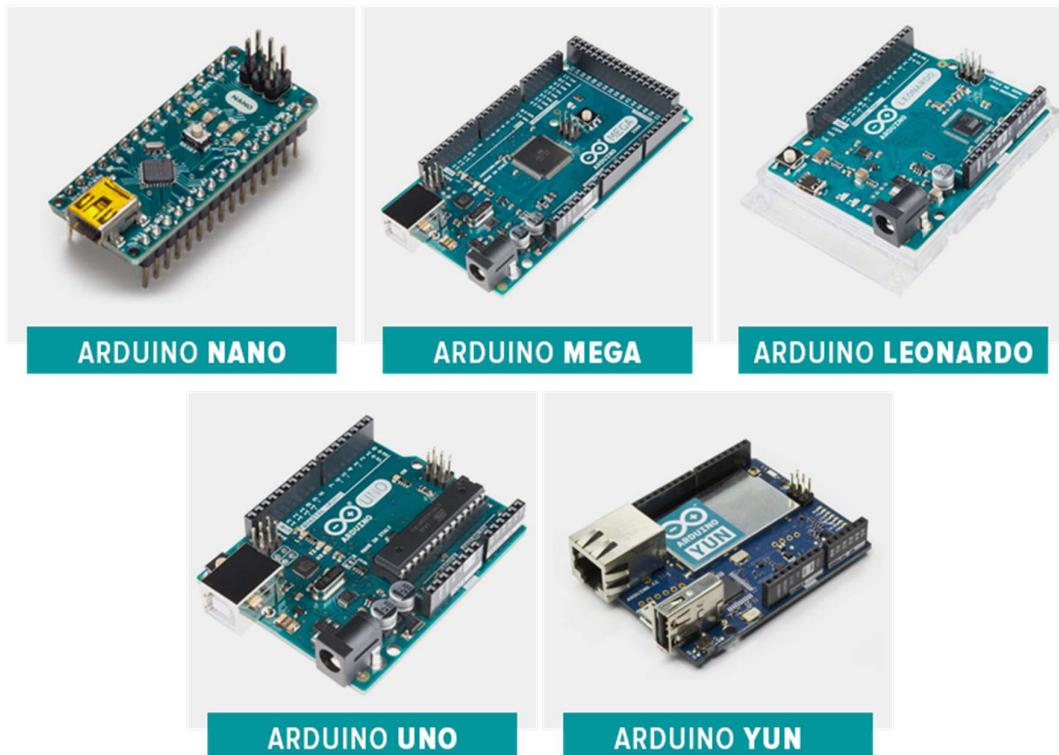


Figura 16 modelos Arduino

Compatibilidad de arduino

Arduino es libre y extensible: así cualquiera que desee ampliar y mejorar el diseño hardware de las placas como el entorno de desarrollo, puede hacerlo sin problemas. Esto permite que exista un rico ecosistema de placas electrónicas no oficiales para distintos propósitos y de librerías de software de tercero, que pueden adaptarse mejor a nuestras necesidades.

Arduino tiene una gran comunidad: Gracias a su gran alcance hay una gran comunidad trabajando con esta plataforma. Así se genera una cantidad de documentación bastante extensa, la cual abarca casi cualquier necesidad.

Su entorno de programación es multiplataforma. Se puede instalar y ejecutar en sistemas operativos Windows, Mac OS y Linux.

Lenguaje de programación de fácil comprensión. Su lenguaje de programación basado en C++ es de fácil comprensión. C++ permite una entrada sencilla a los nuevos programadores y a la vez con una capacidad tan grande, que los programadores más avanzados pueden expresar todo el potencial de su lenguaje y adaptarlo a cualquier situación.

Bajo costo. La placa Arduino estándar (Arduino UNO) tiene un valor aproximado al momento de \$ 500 pesos argentinos. Incluso uno mismo la podría construir (una gran ventaja del hardware libre), pero en realidad debido al bajo costo de la placa armada no tiene sentido construirlo uno mismo.

Re-usabilidad y versatilidad. Es re-utilizable porque una vez terminado el proyecto es muy fácil poder desmontar los componentes externos a la placa y empezar con un nuevo proyecto. De igual manera todos los pines del microcontrolador están accesibles a través de conectores hembra y esto permite sacar partido de todas las bondades del microcontrolador con un riesgo muy bajo de hacer una conexión errónea.

CNC shield

Esta placa hace de interfaz entre el arduino y los motores nema, sobre esta placa van conectados los cables de los motores nema y los driver que controlan los motores nema, asimismo se pueden configurar varias cosas tal como trabajar en pasos completos, medio paso, etc. Asimismo trabajar con un eje extra, e instalar fin de carrera. En la figura se ve una imagen de una cnc shield.

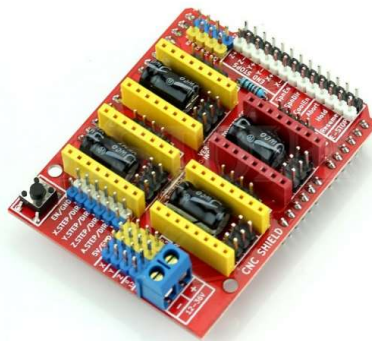


Figura 17 placa CNC Shield

Para funcionar la cnc shield se debe conectar a una fuente que entregue entre 12 y 36 v.

Driver 8825 pololu

El DRV8825 son controladores (drivers) que **simplifican el manejo de motores paso a paso** desde un autómata o procesador como Arduino.

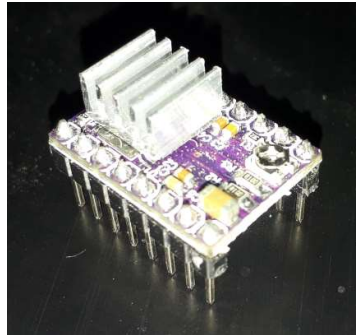
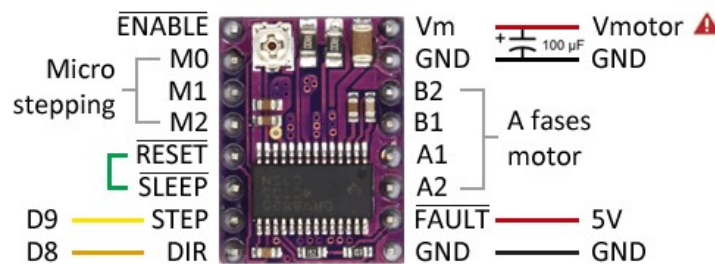


Figura 18 placa DRV8825

Estos controladores nos permiten manejar los altos voltajes e intensidades que requieren estos motores, limitar la corriente que circula por el motor, y proporcionan las protecciones para evitar que la electrónica pueda resultar dañada.



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

Figura 19 Pin Out DRV8825

Para su control **únicamente requieren dos salidas digitales**, una para indicar el sentido de giro y otra para comunicar que queremos que el motor avance un

paso. Además, permiten realizar microstepping, una técnica para conseguir mayor cantidad de pasos en los motores, a estos pasos se los denomina, medio paso, cuarto paso, etc. Disponen de protecciones contra sobreintensidad, cortocircuito, sobretensión y sobretemperatura. En general, **son dispositivos robustos y fiables** siempre que realicemos la conexión correctamente, e incorporemos disipación de calor si es necesario.

Limitación de intensidad de corriente

Ambos controladores disponen de **reguladores de intensidad incorporados**. El motivo es que los motores paso a paso de cierto tamaño y potencia, como por ejemplo los NEMA 17 o NEMA 23, necesitan tensiones superiores a las que podrían soportar las bobinas por su corriente nominal.

Por ejemplo, supongamos que tenemos un motor NEMA 17 con 1.2A de intensidad nominal y 1.5 Ohm de resistencia por fase. Según la ley de Ohm deberíamos aplicar 1.8V a cada bobina para que circule la intensidad nominal de 1.2A. Sin embargo, **con esa tensión el motor ni se movería**.

Para el que el motor funcione correctamente **necesitamos aplicar una tensión superior**. En este ejemplo, la tensión nominal podría ser 12V. Pero si aplicáramos 12V directamente, nuevamente por la ley de Ohm, pasarían 8A por la bobina, lo cual destruiría el motor en poco tiempo.

Por este motivo, los controladores incorporan un limitador de intensidad, que permiten alimentar el motor a tensiones nominales superiores a las que es posible por su resistencia e intensidad máxima admisible.

Por supuesto, la ley de Ohm debe cumplirse en todo momento por lo que, continuando con nuestro ejemplo, cuando alimentemos el motor a 12V por la bobina pasará inevitablemente 8A.

El limitador **interrumpe la señal proporcionando una señal pulsada PWM** de forma que el valor promedio de la intensidad que atraviesa la bobina es la intensidad nominal del motor. Terminando nuestro ejemplo, el limitador de tensión aplicaría el pulso durante el 15% del tiempo y mantendrá el motor apagado el 85% restante. Para regular la intensidad que proporcionara el limitador y ajustarlo al valor del motor que vayamos a emplear **ambas placas disponen de un potenciómetro** que regula la intensidad del limitador.

Conexión del arduino a la cnc

Para la comunicación de la computadora con la máquina y a modo de interfaz se usó una placa arduino UNO. Se utilizó esta placa debido al bajo costo y versatilidad que tienen estas placas.

Para conectar la placa arduino a los motores paso a paso, se uso una interfaz

que se llama CNC shield, la cual se adapta perfectamente a arduino, esta placa a su vez tiene conectados los drivers de cada motor, denominados pololu DRV 8825.

Para la comunicación de la computadora con la máquina y a modo de interfaz se usó una placa arduino UNO. Se utilizó esta placa debido al bajo costo y versatilidad que tienen estas placas.

Para conectar la placa arduino a los motores paso a paso, se usó una interfaz que se llama CNC shield, la cual se adapta perfectamente a arduino, esta placa a su vez tiene conectados los drivers de cada motor, denominados pololu DRV 8825.

Se observa a continuación un esquema descriptivo de conexión.

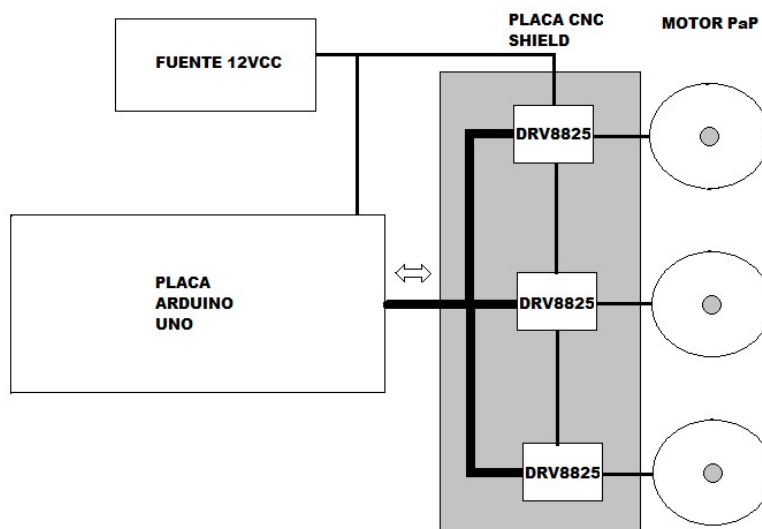


Figura 20 Diagrama simplificado controlador cnc

Carga del firmware en arduino.

Antes de conectar cualquier cosa se le debe cargar el firmware al arduino; para eso se conecta el arduino solo, con un cable usb de bajo ruido a la computadora.

Seguidamente se debe abrir el programa arduino genuino, que es un software libre suministrado por el fabricante de Arduino.

Dentro del programa se debe elegir qué tipo de placa arduino se está usando, en nuestro caso arduino uno.

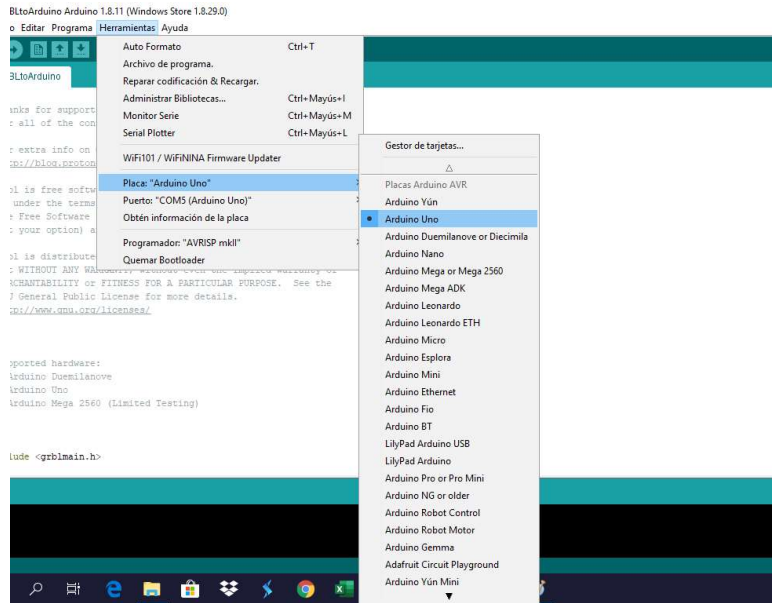


Figura 21 software Arduino elección placa

Luego se debe cargar la librería de grbl que es el firmware que hace funcionar la cnc.

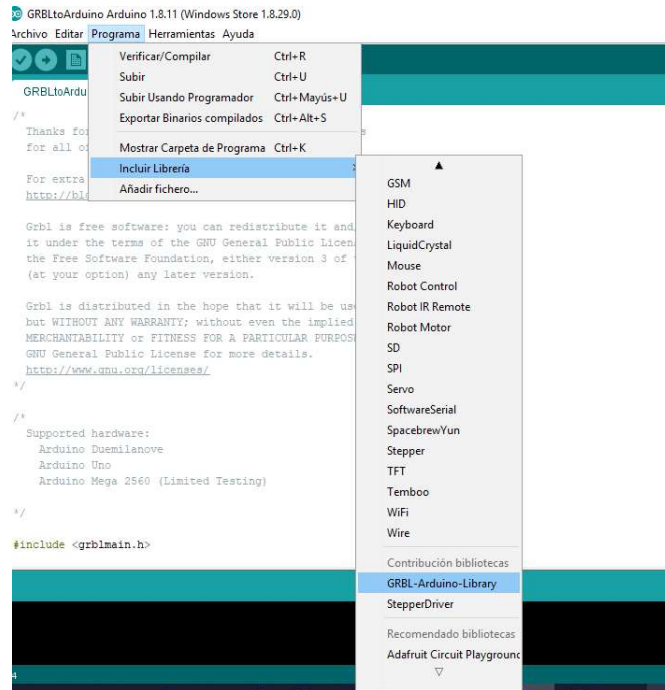


Figura 22 Librería Arduino

Una vez elegida la librería, se debe cargar este firmware en el arduino, para eso se hace click en la flechita que dice subir; se espera que se cargue el archivo en el arduino y ya estamos listos para proseguir.

Una vez cargado el arduino con el programa ya podemos conectarlo a la cnc shield.

Conexión arduino

Una vez cargado el firmware en arduino procedemos a conectar el arduino a la placa cnc shield.

La placa cnc shield se conecta sobre la de arduino de manera que la salida de arduino a la computadora y la conexión de la fuente de la cnc shield queden hacia el mismo lado.

En la cnc shield, mediante jumper se pueden configurar varias cosas, sobre la cnc shield hay 4 zócalos en cada uno de los cuales ira conectado un driver para los motores paso a paso llamado pololu drv 8825.

Debajo de cada zócalo hay unos jumpers que sirven para elegir si vamos a trabajar con pasos completos, medio pasos, cuarto paso, etc.

Para ello se deben jumpear (puentear los pines, M0, M1 y M2), teniendo en cuenta que si se jumpea corresponde a un nivel lógico alto (uno), y si no se jumpea corresponde a un nivel lógico bajo (cero).

Al nivel lógico bajo lo llamaremos L, por low en inglés y al nivel lógico alto lo llamaremos H por high, alto en inglés.

M0	M1	M2	resolución
L	L	L	Full step (paso completo)
H	L	L	Half step (1/2 paso)
L	H	L	Quarter step (1/4 paso)
H	H	L	Eighteen step (1/8 paso)
H	H	H	Sixteen step(1/16)

Tabla1 .Micropasos motor pap.

Cabe aclarar que en el caso de full step, la corriente aplicada en los bobinados del motor, es del 70 por ciento, no del 100 por lo que tiene menor fuerza.

Cuanto más micropasos tenga más suaves son los movimientos del motor. Para nuestra cnc elegimos la opción half step y colocamos los jumpers correspondientes.

Luego de esto se deben colocar los drv 8825, para el eje x, y y z, la cnc shield brinda la posibilidad de colocar un cuarto pololu denominado auxiliar, el cual puede ser usado como un eje más, o cuando se desea poner dos motores en un solo eje. En nuestro caso, al ser un prototipo, solo usamos tres drv 8825.

A los drv8825 se les debe colocar el disipador suministrado a tal fin y luego colocarlos en los zócalos correspondientes.

Los drv 8825 deben conectarse de manera que el potenciómetro quede del lado contrario a la alimentación de la cnc shield.

Una vez conectados los drv y aun sin conectar los motores procederemos a regular la I_{max} que pasa por cada bobinado de los motores nema.

Para ello hacemos uso de la formula suministrada por el fabricante del drv 8825.

$$I_{max} = \frac{V_{Ref}}{5 * R_{Isense}}$$

Para nuestro caso de esa fórmula despejamos V_{Ref} , y nos queda.

$$V_{Ref} = I_{max} * 5 * R_{Isense}$$

Y tenemos, de la tabla del nema 17, que

$$I_{max} = 1,7^a$$

La resistencia R_{Isense} , es la que está en el DRV 8825, y en nuestro caso tiene un valor de:

$$R_{Isense} = R100 = 0,1\Omega$$

Reemplazando en la fórmula tenemos:

$$V_{Ref} = 1,7A * 5 * 0,1\Omega = 0,85 V = 850 mV$$

Seguidamente se debe conectar el arduino al pc, la fuente a la cnc shield, y sin conectar los motores procedemos a regular la tensión.

Para regular la V_{Ref} se debe conectar el negativo del tester al GND del CNC SHIELD, que es también el negativo de la fuente, para regular se utilizará un destornillador metálico con un mango aislante a fin de no modificar la lectura, a este destornillador se conectará el positivo del tester, acto seguido se procederá a regular cada uno de los potenciómetros de los DRV 8825 a 0,85 V tal como se ve en la figura.

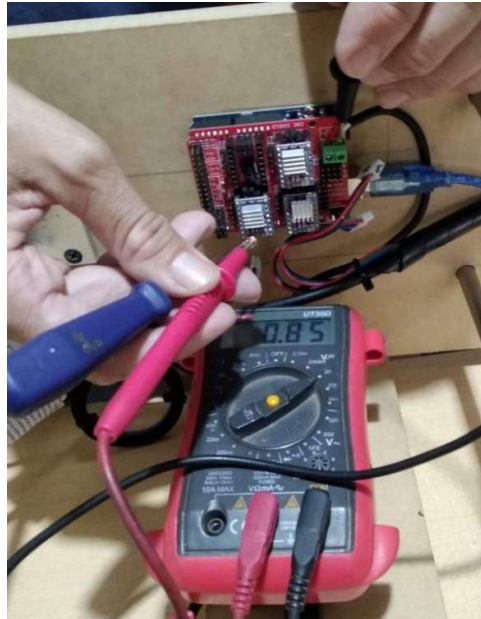


Figura 23 Regulación DRV8825

Recién una vez que se hizo esto, se pueden conectar los motores al arduino.

MOTORES PASO A PASO

El motor paso a paso se encarga de convertir energía eléctrica en una energía mecánica y una información de posición. Está constituido por un estator cuyos devanados se llaman fases y un rotor de un elevado número de polos. Su funcionamiento es síncrono y la alimentación cíclica de sus fases debe originar en cambio de configuración un giro elemental del rotor, constante, llamado paso. Existe una gran diversidad de modelos de estos motores dependiendo del número de fases de su estator, de si la alimentación de estas es unipolar o bipolar, del número de paso por vuelta y de si su rotor es de reluctancia variable, imanes permanentes o híbridos. En cuanto al control, existen tres modos de realizarlos, paso entero, medio paso y micropaso. En el paso entero, cada vez que se modifica la alimentación de las fases del estator se avanza un paso disponiendo de par nominal del rotor. En el medio paso se avanza sólo medio paso con lo que se dispone de mejor resolución, pero el par en las posiciones situadas entre pasos regulares se reduce a la mitad. Estos dos tipos

de funcionamiento disponen en el mercado de gran variedad de integrados para su control. El funcionamiento en micropaso consiste en alimentar al mismo tiempo varias fases a la vez con corrientes medias distintas, de modo que la posición media del flujo en el entrehierro se puede fijar en cualquier posición. Con este funcionamiento se consigue una resolución inmejorable y existen en el mercado distintas tarjetas de control basadas en microprocesador. Merece la pena comentar que el motor paso a paso es la primera de las máquinas eléctricas que sin el uso de la electrónica no tiene razón de ser.

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. • La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. • Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8° , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360°

TIPOS DE MOTORES PASO A PASO

Los motores PAP se presentan básicamente en dos variedades: de imán permanente y de reluctancia variable, aunque también existe un tipo de motor llamado híbrido cuyo funcionamiento se basa en los dos tipos citados anteriormente.

IMAN PERMANENTE

Se denominan así los motores paso a paso que poseen un imán como rotor. En la figura siguiente se representa un motor paso a paso de imán permanente de cuatro fases.

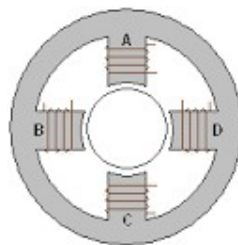


Figura 24 Motor pap imán permanente

El imán cilíndrico se utiliza como rotor. El estator, por el contrario, está formado por cuatro polos bobinados constituyendo cada uno de ellos una fase diferente. Cuatro interruptores conectando cada fase con una fuente de potencia DC completan el esquema de control del motor. Si las fases se excitan con la secuencia Fase 1-> 2-> 3-> 4 el motor girará en sentido horario girando en cada paso 90°. Para disminuir el ángulo de paso es necesario aumentar los polos del estator y los polos magnéticos del rotor. Una característica destacable de este tipo de motores es que el rotor permanece en posiciones fijas aunque se desconecte la fuente de potencia. Estas posiciones coinciden con las posiciones que va alcanzando el motor si es excitado con una secuencia tal que en todos los casos es una sola fase la que está excitada.

Dentro de los motores de imán permanente, existen dos variedades: los unipolares y los bipolares.

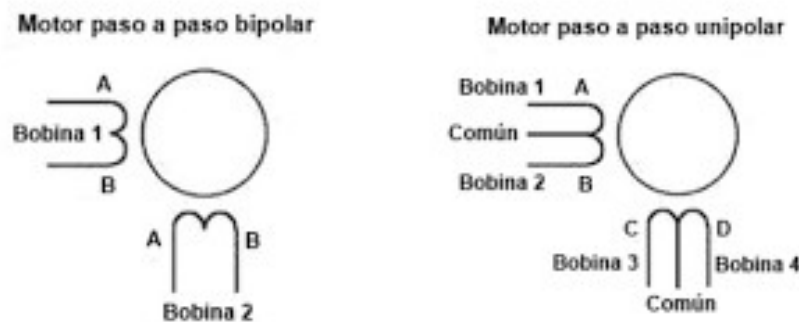


Figura 25 Esquema motores pap

MOTOR UNIPOLAR

Los motores paso a paso unipolares, básicamente, se componen de dos bobinas, cada una con una derivación en el centro. Las derivaciones del centro son llevadas fuera del motor como dos cables separados (como se muestra en la Figura anterior) o conectados entre sí internamente y llevados fuera del motor como uno de los cables. Como resultado, los motores unipolares tienen 5 o 6 cables. Independientemente del número de cables, los motores unipolares son manejados de la misma manera. El cable de toma central (s) está ligado a una fuente de alimentación y los extremos de las bobinas son llevados alternativamente a tierra.

Estos motores funcionan mediante la atracción de los polos norte o sur permanentemente el rotor magnetizando a los polos del estator. Así, en estos motores, la dirección de la corriente a través de las bobinas del estator determina que, los polos del rotor se sentirán atraídos por los polos del estator. La orientación de corriente en los motores unipolares depende de que la mitad de una bobina se energiza. Físicamente, las dos mitades de las bobinas se enrollan paralelas entre sí. Por lo tanto, una de las partes o devanado, ya sea polo norte o sur, dependiendo de cuál es la mitad que se alimenta.

A continuación se puede ver la tabla con la secuencia necesaria para controlar motores paso a paso del tipo Unipolares.

N° DE PASOS	A	B	C	D
PASO 1	1	0	0	0
PASO 2	0	1	0	0
PASO 3	0	0	1	0
PASO 4	0	0	0	1

Tabla2- Pasos unipolares.

Con esta secuencia sería suficiente, pero al trabajar con una sola bobina se pierde un poco el torque del motor.

Una opción es activar las bobinas de a dos. Esto permite que el campo magnético se duplique, con lo cual el motor tiene mayor fuerza de giro y retención, y la secuencia sería la que se ve a continuación.

N° DE PASOS	A	B	C	D
PASO 1	1	1	0	0
PASO 2	0	1	1	0
PASO 3	0	0	1	1
PASO 4	1	0	0	1

Tabla3- Pasos unipolares doble activación.

Si se combinan las secuencias anteriores, el resultado que se obtiene es un paso más corto, que es conocido como de medio paso, y se sitúa el motor en todas las posiciones de las mismas. Para ello se activan primero 2 bobinas y luego sólo 1, y así sucesivamente. Como vemos en la tabla, la secuencia completa consta de 8 movimientos en lugar de 4.

Nº DE PASOS	A	B	C	D
PASO 1	1	0	0	0
PASO 2	1	1	0	0
PASO 3	0	1	0	0
PASO 4	0	1	1	0
PASO 5	0	0	1	0
PASO 6	0	0	1	1
PASO 7	0	0	0	1
PASO 8	1	0	0	1

Tabla 4- Pasos unipolares micropasos.

MOTOR BIPOLAR.

Para hacer girar un motor paso a paso bipolar, se aplican impulsos en secuencia los devanados, la secuencia de estos impulsos, se aplican externamente con un controlador electrónico. Dichos controladores, se diseñan de manera que el motor se pueda mantener en una posición fija y también para que se le pueda hacer girar en ambos sentidos. Con un controlador apropiado, se les puede hacer arrancar y detenerse en cualquier instante y en una posición determinada.

Estos motores, tienen varios bobinados que, para producir el avance de un paso, deben ser alimentados en una secuencia adecuada. Al invertir el orden de esta secuencia, se logra que el motor gire en sentido opuesto. El torque de detención, hace que un motor paso a paso (esto vale para los bipolares y unipolares) se mantenga firmemente en su posición, estando alimentado aun cuando no esté girando.



Figura 26-Motor bipolar

Los cuatro cables se corresponden a los cuatro terminales, dos de cada devanado, aunque internamente pueden contener varios pares de bobinas, como se aprecia en la imagen anterior. Los motores paso a paso, difieren de los motores de CC, en la relación entre velocidad y torque o “par motor”. Su mayor capacidad de torque se produce a baja velocidad.

Los motores bipolares requieren circuitos de control y de potencia más complejos que los unipolares.

Secuencia para manejar motores paso a paso Bipolares

Como se dijo anteriormente, estos motores necesitan la inversión de la corriente que circula en sus bobinas en una secuencia determinada. Cada inversión de la polaridad provoca el movimiento del eje en un paso, cuyo sentido de giro está determinado por la secuencia seguida. A continuación se puede ver la tabla con la secuencia necesaria para controlar motores paso a paso del tipo Bipolares.

N° DE PASOS	1A	1B	2A	2B
PASO 1	VCC	GND	VCC	GND
PASO 2	VCC	GND	GND	VCC
PASO 3	GND	VCC	GND	VCC
PASO 4	GND	VCC	VCC	GND

Tabla 5- Pasos bipolares.

Cabe destacar que debido a que los motores paso a paso son dispositivos mecánicos, y como tal deben vencer ciertas inercias, el tiempo de duración y la frecuencia de los pulsos aplicados es un punto muy importante a tener en cuenta. En tal sentido, el motor debe alcanzar el paso antes de que la próxima secuencia de pulsos comience. Si la frecuencia de pulsos es muy elevada, el motor puede reaccionar en alguna de las siguientes formas:

- Puede que no realice ningún movimiento en absoluto.
- Puede comenzar a vibrar, pero sin llegar a girar.
- Puede girar erráticamente.
- O puede llegar a girar en sentido opuesto.

Para obtener un arranque suave y preciso, es recomendable comenzar con una frecuencia de pulso baja y gradualmente ir aumentándola hasta la velocidad deseada sin superar la máxima tolerada. El giro en inversa debería también ser realizado previamente bajando la velocidad de giro y luego cambiar el sentido de rotación.

Hay tres características que, son comunes a los motores paso a paso:

- Voltaje. Los motores paso a paso tienen una tensión eléctrica de trabajo. Este valor viene impreso en su carcasa o por lo menos se especifica en su hoja de datos.
- Resistencia eléctrica. La resistencia de los bobinados, esta resistencia determinará la corriente que consumirá el motor y su valor afecta la curva de torque del motor y su velocidad máxima de operación.
- Grados por paso. Generalmente, este es el factor más importante al elegir un motor paso a paso para un uso determinado. Este factor define la cantidad de grados que rotará el eje para cada paso completo. Una operación de medio-paso o semi-paso (half step) del motor duplicará la cantidad de pasos por revolución al reducir la cantidad de grados por paso.

CNC

Materiales y dispositivos

Para la fabricación de la máquina, se buscaron distintas opciones en materiales y dispositivos que pueden ser utilizados.

Para la parte estructural, se evaluó el uso de caños de hierro, de aluminio, maderas duras, MDF, crillón en algunos casos, y perfilierías de aleaciones

especiales. Después de haber buscado diferentes materiales y herramientas en distintos proveedores, y teniendo en cuenta que se trata de un prototipo, se eligió el MDF para la construcción de la estructura completa, dado que es un material que se consigue y que es de bajo costo.

En la construcción se descartó el uso del hierro debido al peso que tienen las estructuras fabricadas con este material, asimismo se descartó el aluminio debido al alto costo que tiene en la actualidad este material, de todas maneras, si el cliente lo pide se le realizara la estructura en este material con el consiguiente aumento del costo de esta.

Para los deslizamientos, se evaluó el uso de rulemanes sobre vías de aluminio o hierro, rodamientos lineales de diferentes tipos y medidas, y finalmente se eligió realizarlas con barras de acero y rodamientos lineales cilíndricos, este tipo de rodamientos son de costo más bajo que los que vienen con un empaque plástico y de perfil cuadrado; con medidas suficientes y de bajo costo; estos son suficiente para esta aplicación, y en los tres ejes el mismo modelo, lo cual hace a la estandarización de los elementos utilizados. Permiten deslizamiento con bajo nivel de rozamiento

El inconveniente surgió al montar dichos rodamientos lineales, ya que se debió construir un soporte por cada rodamiento, considerando no solo sus medidas sino también de qué manera se fijarían y ajustarían en su disposición física a fin de que trabajen sin frenar los movimientos o reduciéndolos a su mínima expresión.

Para generar los movimientos de los ejes, se apuntó directamente al uso de motores paso a paso, a cuyo eje se haría solidario mediante alguna sujeción la pieza a deslizar. De lo investigado, surgió la idea de utilizar barras roscadas, correas dentadas o los llamados gusanos. Estos últimos se descartaron por una cuestión del muy alto costo de los mismos y su dificultad para conseguirlos; también se descartó usar sistemas de cremalleras ya que estas están pensadas para mucho peso, aparte de no ser muy precisas y además son caras, también se descartó usar cadenas metálicas debido al peso y a la poca precisión de estas.

Para los ejes x y e y en una primera instancia se intentó experimentar con el uso de barras roscadas milimétricas y withworth, los resultados fueron bastante malos, ya que las barras roscadas tienen despareja la superficie, y a de que las tuercas cuando enroscan en las barras tienen mucho juego, lo que provoca muchas vibraciones, las cuales se magnifican debido al largo y ancho de la máquina. Otro problema que tenían las barras roscadas era que la maquina se movía demasiado lenta.

Fracasadas las pruebas con varillas roscadas, se implementó el uso de correas dentadas que mediante poleas se hace solidaria la pieza a deslizar de manera lineal con el movimiento rotatorio del motor paso a paso. Desde el principio dio resultados satisfactorios, otorgando mayor velocidad de desplazamiento, por lo cual se siguió trabajando con este sistema mecánico de tracción. Además de ir mejorando el montaje y sujeción del mismo, a la par se fue cambiando la configuración en el firmware para ir adaptando la velocidad y fuerza aplicada en el motor al requerimiento de la máquina.

En cuanto al eje z se usó el sistema de barras roscadas withworth, ya que en este eje no se necesitaba mucha velocidad; aparte al ser reducidos los movimientos de este eje, no se experimentaron los problemas de vibraciones que se presentaron en los otros ejes. Finalmente, se usaron barras witworth, ya que dentro de la pobre rectificación de las barras roscadas, las witworth son un poco mejores que las barras milimétricas.

Para generar el movimiento, previo análisis costo/beneficio se decidió utilizar el motor paso a paso NEMA17 de alto torque, suficiente para esta aplicación, y en los tres ejes el mismo, lo cual hace a la estandarización de los elementos utilizados.

Medidas de las partes estructurales

Para cumplimentar el primer ítem, que tiene injerencia en los desplazamientos en X e Y, se cortaron placas de MDF 18 [mm] de las siguientes medidas:

- . bancada o superficie de trabajo en MDF: 530 mm x 850 mm, que ya es parte de la estructura
- . frente y fondo estructural en MDF: 200 x 650 mm
- . apoyo inferior en MDF: listones de 850 mm x 100 mm

Esta estructura permite el montaje de los deslizamientos para el movimiento horizontal del eje Y.

Para el movimiento en sentido del eje X, se armó el denominado puente, cuyas medidas son:

- . paredes laterales en MDF: 530 mm x 125 mm
- . travesaño inferior en MDF: 570 mm x 125 mm

Esta estructura permite el montaje de los deslizamientos para el movimiento horizontal del eje X.

Para el movimiento en sentido del eje Z, se armó una estructura que sostenga el tupi, compuesto por varias piezas en MDF, y que permita su deslizamiento sobre el eje X y sobre el mencionado Z.

En cuanto a la sujeción del tupi en sí, en este caso un DREMEL 3000 , usamos mariposas, tornillos largos y precintos.

PARTES DE LA MAQUINA CNC

Parte estructural y mecánica.



Figura 27 Vista de frente maquina completa

El sistema se basa en el control de los movimientos de sus partes con relación a los ejes de coordenadas de la máquina, usando un programa informático ejecutado por un ordenador. Se controlan los movimientos de la herramienta que ejecutará el trabajo en tres ejes de coordenadas: el eje de las X para los desplazamientos laterales, el eje Y para los longitudinales y el eje de las Z para

los desplazamientos verticales. Para ello se incorporaron motores eléctricos de tipo paso a paso en los mecanismos de desplazamiento. La máquina, al ser un prototipo, está construida en mdf. Consta de dos soportes rectangulares sobre los que está apoyado un tablero de mdf que junto con largueros inferiores constituyen la estructura de la máquina.

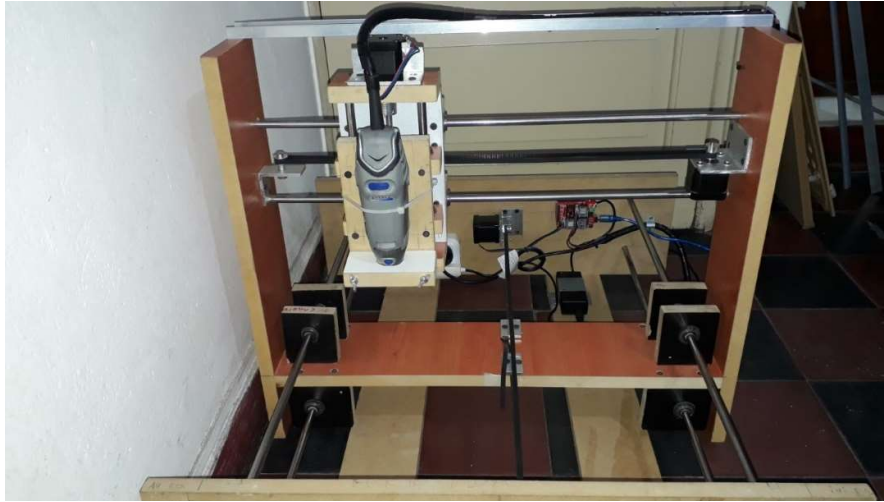


Figura 28 Frente maquina destapada

Sobre esta estructura se mueve el puente, que está formado por dos parantes de mdf, unidos en su parte inferior por una plancha de mdf y en su parte superior por un perfil de aluminio con forma de u; este perfil de aluminio, aparte de ser más ligero que el mdf, le otorga una mayor resistencia mecánica al conjunto.



Figura 29 Deslizamiento eje x

Sobre el puente se desliza de lado a lado el soporte del tupi que está compuesto de una parte fija y una móvil. La parte fija del tupi se mueve de lado a lado de manera horizontal, mientras que la parte móvil que es la que contiene el tupi se mueve en dirección vertical.



Figura 30 -Soporte eje z

Para realizar los movimientos en forma horizontal del puente sobre el tablero se utilizaron 4 varillas de acero inoxidable de 10 mm de diámetro y 800 mm de longitud de forma circular. Estas varillas están colocadas dos de cada lado del tablero y fijas a los soportes del mismo que le confiere mayor rigidez al conjunto. Sobre estas varillas se desliza de manera horizontal el puente, que tiene adherido 8 rodamientos lineales del tipo LM10UU. Estos rodamientos están ubicados 4 en cada uno de los dos parantes que forman el puente, de tal forma que cada parante tiene dos rodamientos para la barra superior y dos rodamientos para la barra inferior. Esto debido a que estos rodamientos deben soportar el peso del puente.



Figura 31- vista rodamientos lineales

En la parte superior de los parantes que forman el puente, se ubican 2 varillas cilíndricas de acero inoxidable de 10 mm de diámetro y 600 mm de longitud; sobre los que se desliza el soporte del tupi, el cual tiene cuatro rodamientos lineales LM10UU, dos para la barra superior y dos para la barra inferior. Estos rodamientos están ubicados en la parte posterior del soporte del tupi.

En la parte anterior del soporte del tupi se encuentran dos barras cilíndricas de acero de 10 mm de diámetro y 200 mm de largo ubicadas en forma vertical; sobre estas barras se desliza la parte móvil del soporte del tupi a través de cuatro rodamientos lineales LM10UU, dos por cada barra ubicados en la parte posterior de la parte móvil del soporte. Finalmente en la parte delantera del soporte está ubicado el tupi, que en nuestro caso consta de un Dremel modelo 3000.

Desplazamientos sobre los ejes

Tanto los desplazamientos del puente sobre el tablero, (eje y), y del tupi sobre el puente, eje x, se realizan con el sistema de correa dentada, el cual consta de una polea dentada de 20 dientes conectada al eje del motor paso a paso, y opuesto a esta polea dentada se encuentra una polea lisa; todo este conjunto es unido por una correa del tipo GT2 de 6 mm de ancho que es la que convierte el movimiento rotativo del motor en movimiento lineal.

El desplazamiento de la parte móvil del tupi, sobre la parte fija, eje z, se realiza por el método de barra roscada, y para ello se utilizó una barra roscada de 5/16 pulgadas de diámetro y paso 1,411. Se utilizó una barra roscada en pulgadas debido a la mala calidad de las roscas de las barras milimétricas.

Para unir la barra roscada al motor paso a paso se utilizó un acople flexible que evita cualquier inconveniente debido a la mala alineación del motor sobre el eje roscado

Para realizar los movimientos se montaron motores paso a paso bipolares del tipo NEMA 17 de alto torque, que otorgan una fuerza suficiente con poco consumo de corriente.

Parte electrónica

La parte electrónica que comanda la máquina consta de una placa Arduino UNO, conectada a una placa denominada CNC SHIELD, donde esta última tiene conectados los pololu DRV8825, que son los drivers de los motores nema.

La placa Arduino está conectada y manejada por una computadora a través de un cable USB de alta aislación parásita.

Parte Software y Firmware

El firmware que tiene cargada la placa Arduino es el programa GRBL, quien se encarga de controlar los motores de la CNC.

Este firmware está controlado por el software de computadora llamado Universal Gcode Sender, el cual permite configurar parámetros de los ejes, tales como desplazamientos y velocidades aceleración, y también permite realizar movimientos sobre cada uno de los ejes a modo de prueba.

Asimismo, a este programa se le carga un archivo en lenguaje G que contiene el modelo de lo que se quiere cortar.

Para crear el archivo de lenguaje G se utiliza el software Aspire 9.0, el cual permite configurar lugar de trazado, profundidad del trazado, profundidad en cada pasada, tipo de herramienta a utilizar, etc.

Manejo de la máquina CS01

El trazado a realizar con la máquina tiene como principio un archivo con formato gráfico, que es asimilado por el software Aspire y transformado mediante opciones a un formato que entiende la placa Arduino UNO, en nuestro caso lenguaje G, a través del firmware y del lenguaje ya citado.

El equipo se energiza mediante una llave de encendido y se conecta la placa Arduino a la computadora que tenga el software necesario. Una vez situado el material a ser trazado, se debe posicionar el tupi en algún punto conveniente del mismo y darle la orden desde el software a que comience la tarea.

RESULTADOS

El proyecto se logró concretar en una máquina que brinda resultados suficientes. Se implementó con los elementos y materiales disponibles en el mercado y las herramientas de software accesibles.

Las pruebas de funcionamiento arrojaron resultados positivos en el trazado y corte sobre el material elegido, en este caso MDF, logrando que la imagen ingresada a una PC pueda ser transformada en información que pueda interpretar Arduino y ordenarle a la máquina los movimientos necesarios para su realización.

La herramienta de corte compuesta por una fresa en movimiento generado por un DREMEL 3000, fue satisfactoria. Para arribar a buenos resultados de trazado y corte, se probaron varios tipos de fresas y de distintos diámetros. En todos los casos se terminó trabajando a la máxima velocidad del Dremel.

Se observó que cuando el desplazamiento es solo en el eje X o Y, como es cuando las formas son rectangulares, la máquina traba bien aliviada y a pesar de que el eje Y tiene un solo motor. En el caso de las curvas, donde el motor que genera el desplazamiento en X está en marcha al igual que el del eje Y, se nota que el esfuerzo es mayor y que la estructura lo siente.

No se presentaron problemas de ruido, salvo en el uso de cable USB distinto al provisto con la placa Arduino.

Las dimensiones de la máquina implementada superan las que hemos visto en el mercado, con costos similares. Por la finalidad de la máquina, se cortó mayormente MDF de 6mm.

Las interfaces de software son simples de utilizar para la conversión de imágenes a lenguaje G, aunque los pasos son varios y quien los realice debe tener una mínima experiencia para llevarlo a cabo.

ANÁLISIS DE COSTO (en pesos argentinos)

Se aprecia en la siguiente tabla los costos de diseño, desarrollo, fabricación e implementación de la máquina con las debidas pruebas.

CANT	DETALLE	COSTO \$
3	MOTOR PAP	3750
2	POLEA LISA	190
2	POLEA DENTADA	180
2	CORREA GT2 (4 M)	400
1	BARRA ROSCADA	100
1	ACOPLE FLEXIBLE	180
1	JUEGO DE SOPORTE MOTOR/POLEAS	500
1	BARRA ACERO RODAMIENTO LINEAL (5 M)	2590
16	RODAMIENTO LINEAL	3312
1	JUEGO DE PLANCHAS MDF ESTRUCTURAL	2000
1	PLACA ARDUINO + CNC SHIELD + 3 DRV8825	1420
1	FUENTE DE ALIMENTACIÓN 12VCC-3A	980
1	RULEMAN	170
1	VARIOS	550
384	HORAS HOMBRE	16000
	TOTAL	32322

Tabla 6- Análisis de costo

El costo obtenido es para una máquina de las dimensiones propias de este proyecto, pero puede ser de otras medidas totalmente a pedido del usuario final, con el uso de otra herramienta de corte y otras características de rendimiento por hora; por estos motivos el costo de cada máquina variará en función del requerimiento.

La estrategia de venta es ofrecer este modelo C01 como inicial, y con la posibilidad de medidas superiores e inferiores.

No se contemplan en los cálculos ni impuestos ni fletes a su destino final.

Tampoco están contemplados posibles gastos de visita previa a la planta donde podría utilizarse la máquina, ni posteriores costos por la puesta en marcha y capacitación de uso de la misma.

Para las dimensiones de este proyecto, la máquina se debe entregar armada completamente, ya que tiene los ajustes propios de la mecánica y debe salir terminada y probada en fábrica.

DISCUSION Y CONCLUSION

Se alcanzó el objetivo de lograr una máquina que trazara y cortara MDF para realizar juguetes, ofreciendo la posibilidad de su fabricación en serie y lotes de ciertas cantidades en función de las dimensiones de la máquina y de las piezas a cortar o trazar sobre el material de trabajo, donde el operario solo se encarga de iniciar la tarea a través de las herramientas de software y luego la máquina ejecuta el trabajo dejándolo terminado. Esto permite que el operario utilice el tiempo de trabajo de la máquina en otras tareas mientras la máquina está mecánicamente activa y luego solo resta separar las piezas fabricadas del material sobrante, con la limpieza de la zona de trabajo y demás partes según sea necesario.

El modelo es suficiente y se pretende mejorar en los materiales utilizados para la estructura, cambiando algunas partes en MDF por piezas en aleaciones livianas o materiales similares al plástico; también el agregado de un motor más al eje Y para que trabaje más aliviado ese desplazamiento, y con correas de 10mm en lugar de las de 6mm, para el mismo eje ya citado, que se replicaría en el eje X para estandarizar los elementos a utilizar. En el caso de máquinas mucho más grandes, se reemplazarán partes en MDF directamente por piezas de aluminio o hierro y se implementarán motores más robustos, con los cambios que se necesiten en la interfaz electrónica de comando de cada motor.

Comparando con lo que ofrece el mercado, se logró una muy buena relación prestación precio, resultando en una buena alternativa para la industria de los juguetes en MDF.

BIBLIOGRAFIA

<https://arduino.cl/que-es-arduino/>

<https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/motores-bipolares>

http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/sistema/motores_p-p.htm

<https://www.forosdeelectronica.com/threads/motores-paso-a-paso-unipolares-y-bipolares-tutorial.13284/>

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

http://www1.frm.utn.edu.ar/mielectricas/docs2/PaP/MOTOR_PaP_FINAL.pdf

<http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/3547/577435.pdf?sequence=1>