



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS DE ALCOY



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ALCOY

DESARROLLO Y MONTAJE DE UNA
MÁQUINA DE CONTROL NUMÉRICO
BASADO EN LA PLATAFORMA ARDUINO

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA.

Autor: Ángel Montoya Navarro

Tutor: D. Ignacio Miró Orozco

Curso: 2018-19

RESUMEN

El presente trabajo fin de grado tiene por objeto el diseño y montaje de una máquina de control numérico (CNC) de bajo coste específicamente diseñada para el fotograbado láser en distintos materiales, tales como: PMMA, PVC, madera y cuero. Para la construcción de dicha máquina, se usarán programas de código libre, recuperación de antiguos equipos electrónicos y diferentes materiales de bajo coste.

Así, la máquina estará controlada por una placa Arduino a la que se le añadirá una placa CNC Shield V 3.00. Dispondrá de una estructura de aluminio con dos grados de libertad (X e Y), motores paso a paso Nema 17, una fuente ATX y diferentes piezas construidas a medida mediante el uso de una impresora 3D para alojar los motores y engranajes. El cabezal láser elegido tendrá una potencia de 500 mW y trabajará con una longitud de onda de 405 nm.

The purpose of this final degree project is the design and assembly of a low-cost CNC machine specifically designed for LÁSER photogravure in different materials, such as: PMMA, PVC, wood and leather. For the construction of said machine, free code programs, recovery of old electronic equipment and different low cost materials will be used.

Thus, the machine will be controlled by an Arduino board to which a CNC Shield V 3.00 will be added. It will have an aluminum structure with two degrees of freedom (X and Y), stepper motors Nema 17, an ATX source and different pieces built to measure by using a 3D printer to accommodate the motors and gears. The chosen LÁSER head will have a power of 500 mW and will work with a wavelength of 405 nm.

AGRADECIMIENTOS

Llegado a este punto, después de un largo periodo de tiempo dedicado a la formación y el aprendizaje continuo dentro del ámbito científico, me gustaría dedicar este apartado a aquellas personas que de alguna manera me ayudaron y me apoyaron constantemente. Ha sido un gran impacto a nivel personal, ya que desde el primer curso académico tuve la inquietud de llevar a cabo todos los conocimientos que se recogen en el presente proyecto.

Por ese apoyo constante día tras día y en los momentos más difíciles. Sin ellos, no hubiera sido posible llegar al fin de esta etapa universitaria, a mis padres, hermanos y sobrinos.

Agradecer también a mi primo y mi amigo, Sergio Pérez y José Ramón, que de manera directa, influyeron en mi decisión de iniciar mi trayectoria universitaria.

A dos personas las cuales les tengo un gran afecto y admiración; gracias por todo el tiempo dedicado en mi aprendizaje y por todos los conocimientos que aportasteis y seguís aportando. A Jorge Oncina y Eva Espinosa.

ÍNDICE

1. OBJETIVOS.	4
2. INTRODUCCIÓN.	7
2.1. Grabado láser.	7
2.2. Control numérico computarizado (CNC).	8
2.2.1. Interfaz de máquina a PC.	10
2.2.2. Controlador Arduino.	11
2.2.3. Drivers de control.	16
2.2.4. Motores paso a paso.	20
2.2.5. Mecánica de la CNC.	22
2.2.6. Control de posición.	23
3. DESARROLLO DE LA MÁQUINA CNC.	24
3.1. Arduino y programación.	24
3.2. Electrónica de la CNC.	26
3.2.1. CNC Shield.	26
3.2.2. Drivers.	32
3.2.3. Motores Nema.	34
3.2.4. Fuente de alimentación ATX.	36
3.2.5. Ventilación forzada y extracción de humos.	41
3.3. Estructura y mecánica de la CNC.	44
3.3.1. Mecánica de la CNC.	45
3.3.2. Estructura de los ejes.	48
3.3.3. Cabina de la CNC.	54
3.3.4. Diseño de piezas en impresión 3D.	58
3.3.5. Cableado.	64
3.4. Diodo láser y driver de control.	65
3.5. Conexión de máquina a PC.	68
4. RESULTADOS DE GRABADOS LÁSER.	73
5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.	80
6. PRESUPUESTO.	81
7. BIBLIOGRAFÍA.	82
7.1. Webgrafía.	82
7.2. Bibliografía.	82
TABLA DE ILUSTRACIONES.	83
ANEXO I. PLANO I ESQUEMA ELECTRÓNICO DE CONEXIONES.	85
ANEXO II. PLANO II ESTRUCTURA Y CABINA CNC LÁSER	85
ANEXO III. COMANDOS GRBL V 1.1.	85
ANEXO IV. DATASHEET MOTORES NEMA 17	85

1. OBJETIVOS.

El presente trabajo fin de grado tiene por objeto diseñar y montar una máquina de control numérico computarizado (CNC). Para ello, se utilizarán plataformas de código libre y materiales de bajo coste. Para desarrollar dicho proyecto se han marcado unas pautas que ayudaran a optimizar el proceso, se han dividido en seis puntos para lograr los objetivos que se plantean a continuación:

Materiales de bajo coste y dispositivos electrónicos reciclados.

Los materiales empleados en la fabricación de dicha máquina, serán de bajo coste y recuperados de viejos dispositivos electrónicos. Esto implica que, el modelo de máquina que se va a construir, cumplirá con las expectativas del proyecto y que los materiales empleados, van a garantizar el perfecto funcionamiento de éste. Con ello, se quiere dar a ver, el compromiso entre precio y resultado.

Uso de plataformas de código libre.

Para reducir, aún más el gasto económico en la construcción del proyecto, se utilizaron plataformas de código libre para el control de la CNC. Este tipo de plataformas están creadas por una comunidad de personas, que dedican su tiempo a crear este tipo de códigos, sin coste alguno y que aún, no siendo remunerados por su trabajo, actualizan y mejoran dichas plataformas, para que los demás usuarios que no tengan estos conocimientos previos de programación, puedan también sacar adelante y mejorar sus proyectos.

Diseño previo de la CNC en software CAD.

Se han utilizado softwares con licencias de estudiante para diseñar la estructura, chasis y piezas de la máquina. Los programas que se han utilizado son AutoCAD 2018 de Autodesk, el cual, ha sido muy útil a la hora del diseño previo de la estructura y chasis de la CNC. Como también, un programa de diseño en 3D llamado Tinkercad; éste es un programa de uso on-line y totalmente gratuito, mientras se tenga alguno de los productos Autodesk, se ha empleado para diseñar algunas de las piezas que se fabricaron mediante una impresora 3D. Con el uso de estos programas se pueden corregir errores a la hora de diseñar el proyecto y verificar que todas las medidas se amoldan, para posteriormente, proceder al montaje.

Montaje de la máquina en DM y perfiles de aluminio ranurado.

Para la fabricación de la cabina y el cuadro donde van ubicados los dispositivos electrónicos está fabricado en madera tipo DM (densidad media); se ha optado por este material, ya que, ofrece una gran facilidad de modelado a la hora de trabajar con él y también ofrece una reducción de gasto en el presupuesto. En cambio, para la estructura de dicha máquina donde van alojados los ejes está fabricada, con perfiles modulares de aluminio tipo B de 20 x 40 mm. Se decidió montar esta parte de la máquina en aluminio, ya que, presenta una robustez más fiable.

Implementación de la electrónica y el control de la CNC de dos ejes.

En la actualidad, las máquinas de control numérico están reemplazando a los métodos artesanales de fabricación de piezas, grabados y cortes, ya que, son mucho más precisas, fiables y rápidas, a la hora, de obtener un resultado óptimo del diseño.

Si se analizan este tipo de máquinas, se puede observar que todas son muy similares, la única diferencia que radica en cada una de ellas es el número de ejes, sensorización y herramientas que utilicen. Para recopilar las partes de nuestra CNC se ha hecho un diagrama de bloques para entender mejor su estructura.

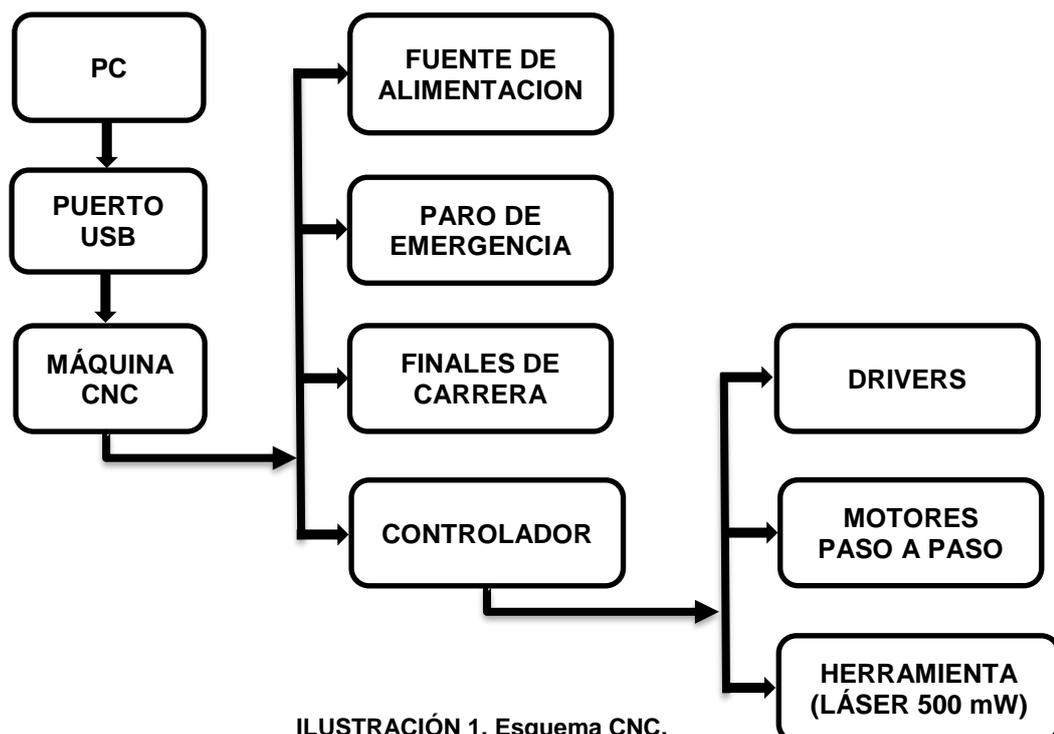


ILUSTRACIÓN 1. Esquema CNC.

El controlador empleado en nuestra máquina de control numérico se basa en el microcontrolador Arduino UNO Rev. 3, se ha optado por esta plataforma, ya que, cumple con la primera premisa de materiales de bajo coste. Además, también hay una gran comunidad detrás de este tipo de proyectos y eso ha facilitado el trabajo, a la hora, de implementar las funciones de la máquina. Mas adelante se detallarán las características de este tipo de microcontrolador.

Obtención de fotograbados láser en tres tipos materiales.

El proyecto tiene con fin obtener fotograbados láser en cuatro tipos de materiales, como demostración del buen funcionamiento de la CNC, se han adjuntado unas imágenes viéndose en cada una el fotograbado láser correspondiente, los cuatro materiales anteriormente mencionados.

El objetivo primordial de este proyecto, se basa en comprender como la herramienta puede incidir sobre materiales, no muy complejos y entender el funcionamiento del diodo láser en este tipo de materiales.

2. INTRODUCCIÓN.

2.1. Grabado láser.

El grabado láser es un proceso de fabricación por sustracción, utiliza un haz láser para modificar la superficie de un objeto. Este procedimiento, se utiliza principalmente para la creación de imágenes sobre diversos materiales que pueden verse a la altura de los ojos. Para lograrlo, el haz de luz láser genera una alta temperatura capaz de vaporizar el material y crear orificios que dan forma a la figura final. Es un método rápido, ya que, el material se elimina con cada pulsación del láser. La profundidad de las marcas se controla variando el número de pasadas del láser sobre la superficie.

En general, el grabado láser puede utilizarse sobre casi todas las superficies de metal, plástico, madera, piel y vidrio. Es mucho más efectivo que el grabado tradicional cuando se trata de pequeños objetos, como en el caso de artículos de joyería. Además, reduce el riesgo de dañar o deformar el material procesado.

Para profundizar más sobre el tema, se puede añadir que existen dos tipos de grabados láser, uno es el grabado de rasterización y otro el grabado vectorial, ambos se emplean de forma usual en la actualidad, siendo el grabado de rasterización el más estándar para grabar, ya que el gráfico formado a partir de píxeles se graba línea por línea o punto a punto. En el caso del grabado vectorial, consiste en curvas, líneas que se trazan una tras la otra mediante el láser se graban al mismo tiempo, éste último se suele conocer también como ranurado.

Las aplicaciones que tiene cada uno de los dos tipos de grabado son diferentes. En el grabado por rasterización se emplea en áreas grandes, por ejemplo: letras rellenas, imágenes, sellos o madera, siendo el más apropiado para nuestra máquina, sin embargo, si solo se necesita grabar líneas delgadas el grabado vectorial, tendrá sus ventajas y será más rápido este tipo de trabajos

2.2. Control numérico computarizado (CNC).

El concepto de control numérico se basa en la automatización de máquinas herramienta que son controladas por comandos previamente programados en un medio de almacenamiento. Las siglas CNC hacen referencia a Control Numérico Computarizado; básicamente, son máquinas capaces de realizar un gran número de tareas, que en la actualidad, han sido el fundamento básico de los sistemas robóticos más avanzados.

Este tipo de máquinas han sido la clave en el desarrollo industrial, ya que, muchos de los procesos que han llevado a la modernización en la industria actual, ha sido principalmente por la implementación de este tipo de maquinaria en los procesos, que requieren una precisión y complejidad determinada.

Los orígenes del CNC se remontan a los años 50, desarrollado por el ingeniero John T. Parsons. Se desarrollo por primera vez para la industria aeronáutica, para realizar mecanizados complejos e interpolar ejes, para conseguir superficies complejas tridimensionales en una gran variedad de materiales.

A continuación, se detallan en tres puntos el funcionamiento básico de dichas máquinas:

-La diferencia que existe entre una máquina convencional y una de control numérico es que una computadora controla la velocidad de los motores (ejes) y la posición. Debido a esto, se pueden lograr mejores resultados en base a figuras tridimensionales complejas, círculos y líneas que sigan una diagonal.

-Son capaces de mover la herramienta en coordinación con los ejes de la máquina. Con esto se consigue que las trayectorias del haz de láser consigan líneas multidimensionales complejas en comparación con los métodos manuales de grabado.

-La interfaz que gobierna ordenador/máquina, controla el movimiento de los dos ejes y el láser. Previamente programada, ejecuta todas las ordenes por sí sola, esto implica, que el operario de ésta no tiene que estar manejándola, así se puede ahorrar tiempo para realizar tareas de otro tipo.

También cabe mencionar, el desarrollo que se ha llevado a cabo en los sistemas CAD (Compute Aided Design), éste tipo de sistemas, emplean un proceso mediante ordenador para mejorar el diseño y la fabricación de un producto en concreto. Se realizan de forma más rápida, precisa y con un coste menor aplicando una tecnología informática adecuada.

Este tipo de sistemas, ofrecen unas ventajas notables frente a los métodos tradicionales de diseño, ya que, mediante una computadora se puede diseñar una pieza y analizar sus características como podrían ser: el contorno, forma y tamaño una vez ya almacenados los diseños bidimensionales o tridimensionales. Una vez realizado este proceso, el operador, puede modificar y manipular el diseño que se había hecho previamente con mayor facilidad y así acelerar en el desarrollo del producto en cuestión. Se muestra a continuación un diagrama de bloques del proceso CAD en cuestión.



ILUSTRACIÓN 2. Diagrama de proceso en CAD.

2.2.2. Controlador (Arduino).

Para el uso del código GRBL se necesita usar obligatoriamente la plataforma Arduino, ya que, dicho código está programado exclusivamente para este microcontrolador. Concretamente usaremos Arduino UNO R3.

El microcontrolador Arduino es una placa electrónica que se usa básicamente para crear prototipos, usa hardware y software fáciles de usar. Se creó en Italia en el año 2005 por un estudiante del instituto IVRAE llamado Massimo Banzi; Creado con la idea, de que todos los estudiantes que estaban aprendiendo conocimientos de electrónica y computación, tuvieran al alcance, una placa con microcontroladores asequible, tanto en precio como en soporte técnico adecuado. Lo que no se pensó por aquel entonces, es que llegara a ser una plataforma líder mundial en tecnología DIY (Do It Yourself).

Utiliza un lenguaje de programación basado en Wiring y su desarrollo está basado en Processing, esto permite, que los proyectos hechos con este dispositivo pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador, también cabe la posibilidad, de hacerlo y poder establecer una comunicación con diferentes tipos de software como, por ejemplo: Flash, Processing, etc.

Dicha placa, puede ser construida a mano (DIY) o bien compradas directamente a la marca Arduino. El software de control se puede descargar de la web original y de forma gratuita. Existen también ficheros para el diseño de referencia que están disponibles bajo licencia Open Source.

Arduino dispone de una multitud de tarjetas, según las necesidades, que se requieran para el proyecto que se desee crear. Para este proyecto, se utilizará la más genérica que existe, llamada Arduino UNO R3.

A continuación, se muestra una imagen de la placa empleada en el proyecto de la máquina CNC:

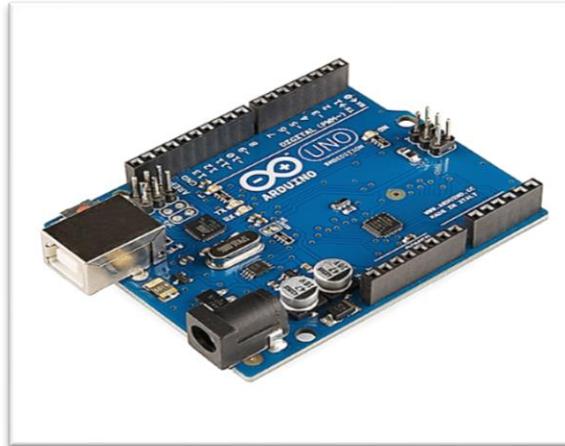


ILUSTRACIÓN 4. Arduino UNO R3.

El microcontrolador ATmega 328 dispone de 14 pines digitales con entradas y salidas, clasificadas en 6 pines con modulación PWM (Pulse with modulation) y 6 pines analógicos. También dispone de un reloj con frecuencia de respuesta de 16 MHz, un puerto USB para su conexión mediante un PC. Básicamente, es un dispositivo sencillo de utilizar y muy completo en cuanto se refiere a aplicaciones de electrónica.

Las características del dispositivo son las siguientes según el fabricante:

Microcontrolador	ATmega 328
Voltage de operación	5 V
Voltage de entrada	7 V - 12 V
Voltage máximo de entrada	6 V - 20 V
Pines digitales Entradas/Salidas	14 (6 PWM) Pines
Pines analógicos de entrada	6 Pines
Corriente pin Entradas/Salidas	40 mA
Corriente pin 3.3V	50 mA
Memoria flash	32 KB (0.5 KB bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frecuencia	16 Hz

En el mercado actual, existen muchos tipos de plataformas con microcontroladores, que realizan funciones de computación física. Los más conocidos o utilizados son: Raspberry Pi, BX 24 de Netmedia y Phidgets. Estos últimos, ofrecen las mismas funcionalidades que la

plataforma Arduino para programar un microcontrolador. A continuación, se detallan en las características más relevantes frente a otras plataformas.

- Económica, la plataforma Arduino es de los pocos microcontroladores que ofrecen características técnicas muy completas a precios bastante asequibles.

- Compatibilidad con distintos S.O., el software IDE de Arduino es compatible con los sistemas operativos más usuales: Windows, Macintosh y Linux. En comparación con las demás plataformas de microcontroladores que solo son funcionales con Windows.

- Cuenta con Hardware de código abierto disponible para los microcontroladores ATmega 168, ATmega 328 y ATmega 1280. Al ser bajo licencia de código abierto, los diseñadores de circuitos electrónicos, pueden realizar tareas de optimización e incluso, mejoras en el diseño del dispositivo. Las licencias son bajo Creative Commons.

- Programación fácil y sencilla, preparada para principiantes, estudiantes de ingeniería que quieran complementar su formación en el campo de la programación de microcontroladores.

- En vista al software del dispositivo es totalmente de código libre. Esto puede ser un aliciente para programadores de nivel avanzado que puedan mejorar y/o optimizar la programación de dicho microcontrolador. Está basado en el lenguaje AVR C, aunque bien se podría ampliar, mediante librerías de lenguaje C++.

Dentro de los microcontroladores de Arduino se diferencian tres tipos de memoria, cada una de ellas, cumple unos requisitos determinados. Los tres tipos son: memoria Flash, EEPROM y SRAM. Para saber más sobre el tipo de memoria de las anteriormente mencionadas y cómo funcionan, se detallan a continuación, sus principales funciones en Arduino.

- Memoria Flash, se trata de un tipo de memoria que almacena el programa en Arduino para ejecutarlo. Cuando se deja de alimentar la placa de Arduino, la memoria conserva el programa que esta lleve. Dependiendo del microcontrolador que se vaya a utilizar el espacio de almacenamiento de la memoria variará. Para el microcontrolador que vamos a utilizar en nuestro caso, es una memoria de 32 KB usándose 0.5 KB el bootloader de dicha memoria.

-EEPROM, por sus siglas en inglés: Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory. Es una memoria tipo ROM programable, reprogramable eléctricamente y borrable, a diferencia de la memoria EEPROM, tiene que ser borrada mediante rayos ultravioleta. Son memorias no volátiles, no necesitan energía para conservar la información dentro de ella. Para el microcontrolador que se va a emplear, ATmega328 tiene un tamaño de memoria EEPROM de 1 KB. La memoria que hay en Arduino es pequeña, pero admite añadir módulos de memoria externa. Tiene una vida útil de 100000 ciclos, una vez superados estos ciclos la memoria deja de funcionar.

-SRAM, Static Random-Access Memory. Es un tipo de memoria volátil, es el espacio donde los programas se ejecutan y manipulan variables, a diferencia de las dos anteriores memorias, ésta elimina la información almacenada cuando es desprovista de alimentación eléctrica. Es usada exclusivamente cuando el programa se está ejecutando. El tamaño de nuestra memoria en el chip que vamos a emplear es de 2 KB. El programa puede fallar si la memoria se quedase sin espacio, aun subiendo y compilando de forma correcta en Arduino.

Para potenciar la funcionalidad de la plataforma es posible utilizar Shields. Este tipo de dispositivos se conectan a Arduino como muestra en la siguiente ilustración:

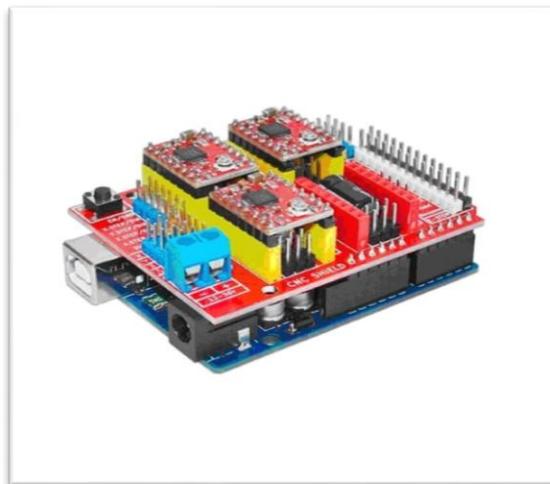


ILUSTRACIÓN 5. Arduino UNO conectado a Shield CNC.

Los aspectos más destacados de este dispositivo son la conexión ethernet y modulo SD, conexión Wi-fi, drivers para motores de C.C. o paso a paso. La que vamos a utilizar será específicamente para código GRBL, un código de uso libre y el más utilizado en este tipo de plataformas para proyectos similares.

El lenguaje empleado en Arduino es una implementación de Wiring, basada en Processing, muy parecido al lenguaje C++. Para poder ejecutar el programa se han de emplear las dos siguientes funciones:

-Void Setup: Se inicia una vez, cuando inicia el sketch. Corresponde a la etapa cuando se configura el programa.

-Void Loop: Ejecutado de forma continua. Contiene el programa principal.

Para poder insertar el programa en la placa se debe tener instalado previamente el IDE de Arduino, el cual, se puede descargar de forma gratuita en la página oficial. La interfaz incluye los drivers para controlar la Shield, esto lo hace más sencillo. Para conectar el conjunto de Arduino y Shield, se utilizará un cable USB que actuara como puerto serial.

El código GRBL va instalado en el chip ATmega 328 y permite a Arduino interpretar el código G, con ello puede mandar señales de control a los drivers. Está diseñado para trabajar con la placa Arduino UNO, pero también, puede utilizarse en otro tipo de plataformas que lleven instalado el chip ATmega328. Dicho código necesita otro software adicional para cargarlo en Arduino, más adelante se detallará las características de dicho programa.

La última actualización del código G que se ha implementado en placa de Arduino UNO para la realización de este proyecto es la versión V 1.1f, es la más reciente y se puede descargar en el siguiente enlace:

<https://github.com/gnea/grbl/releases>

2.2.3. Drivers de control.

Para la elección de los drivers que controlan los motores paso a paso de la máquina de control numérico, se ha optado por los drivers Pololu A4988. Se han escogido estos drivers ya que, son compatibles con la placa Shield CNC y el código GRBL. Existen otros tipos de drivers para el control de este tipo de motores, estos son los que mejor se adaptan al proyecto que se va a llevar a cabo.

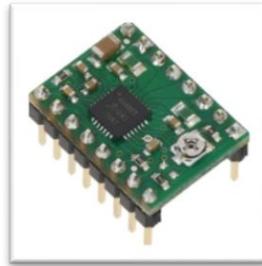


ILUSTRACIÓN 6. Driver Pololu A4988

Es un controlador muy sencillo de manejar, sirve para controlar motores paso a paso bipolares. Puede regular la intensidad de salida mediante un potenciómetro y soporta una intensidad de 2 A por fase. A continuación, se detallan en una tabla sus características principales:

Voltage de entrada (Motores pap)	8 V a 35 V
Voltage de entrada (Lógica)	3.3 V a 5 V
Intensidad de salida	2 A (Con disipador)
Temperatura de trabajo	-20°C - 35°C
Stepping (Pasos de motor)	1/6 Pasos

El dispositivo está dotado con 16 pines los cuales se pueden configurar a gusto del usuario, mientras los parámetros de trabajo sean los recomendados por el fabricante. Para ello, se ha incluido un esquema general del dispositivo y un breve resumen de las funciones que puede realizar cada pin.



ILUSTRACIÓN 7. Pines Driver Pololu A4988

- VMOT: Alimentación (Motores). Voltaje admisible entre 7 V y 12 V.
- GND: Masa.
- 1A, 1B: Entradas bobina 1 de motor.
- 2A, 2B: Entradas bobina 2 de motor.
- VDD: Alimentación (Lógica). Voltaje admisible entre 3.3 V y 5 V.
- DIR: Dirección del Sentido de giro en el eje del motor.
- STEP: Cambio de nivel bajo a nivel alto, el eje del motor gira un paso.
- SLEEP: Modo activo a nivel bajo, Driver entra en modo Standby.
- RESET: Modo activo a nivel bajo. Entradas STEP dejan de funcionar, excepto si este pin --- se encuentra en modo nivel alto.
- MS1, MS2, MS3: Stepping (Pasos de motor). Resolución.
- ENABLE: Driver en estado nivel alto, se apaga. Sí la entrada está conectada a masa, permanece encendido.

Aunque el Driver que hemos elegido para el proyecto está diseñado para controlar motores bipolares cabe la posibilidad de controlar motores unipolares. Interconectando los conductores comunes de la conexión Unipolar, podremos conseguir un motor bipolar con este cambio:

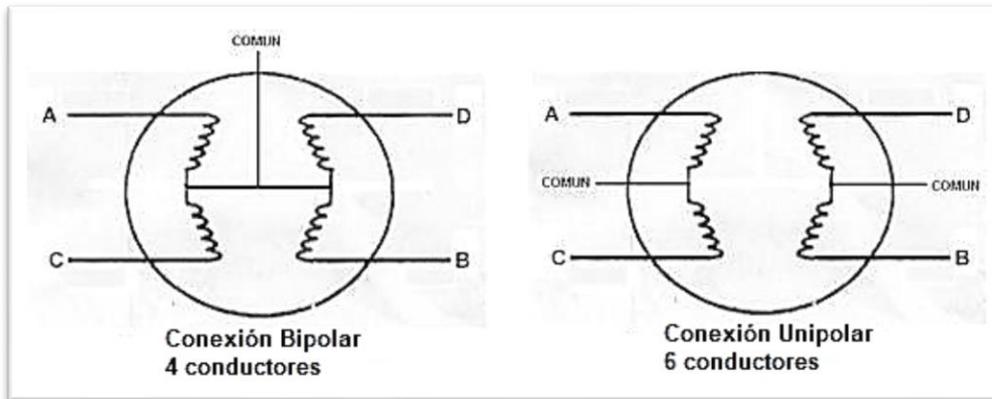


ILUSTRACIÓN 8. Conexión Bipolar y Unipolar.

Para que dicho Driver funcione correctamente, se tendrá en cuenta su ciclo de trabajo y el tiempo que deben de funcionar los pulsos. En la siguiente imagen extraída de los datos del fabricante, se puede observar: gráfica del ciclo trabajo, el tiempo de duración de cada pulso.

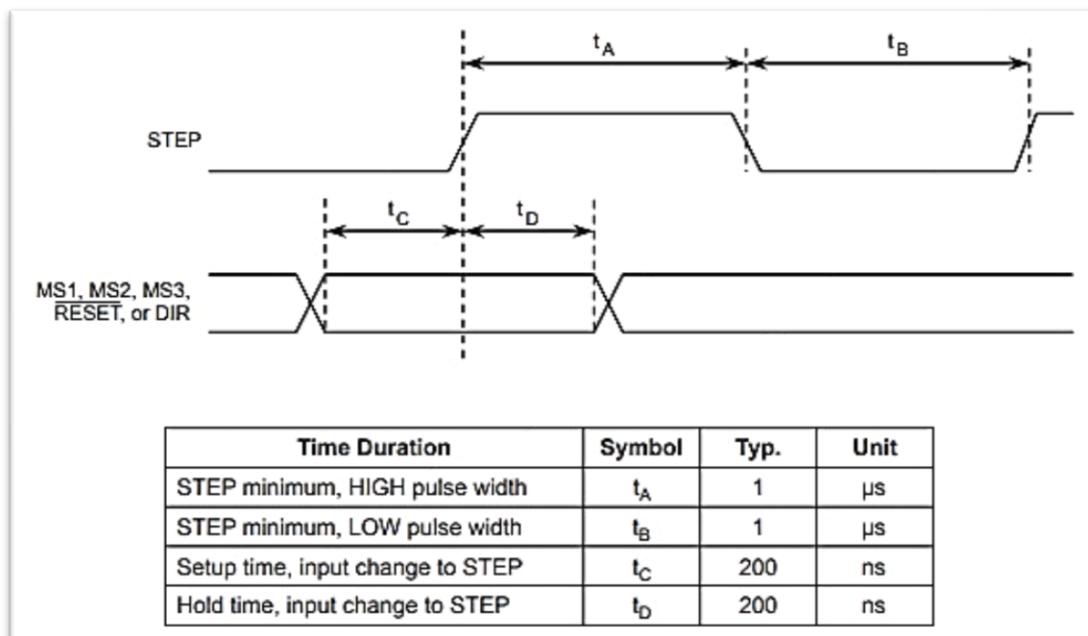


ILUSTRACIÓN 9. Ancho de pulso Driver A4988.

Para configurar la resolución de pasos que nuestros motores realizaran es necesario colocar unos jumpers o puentes en los pines MS1, MS2 y MS3. Dependiendo a que resolución se desee trabajar, se deberán colocar los puentes como se indica en la siguiente tabla:

MS1	MS2	MS3	Resolución
BAJO	BAJO	BAJO	1
ALTO	BAJO	BAJO	1/2
BAJO	ALTO	BAJO	1/4
ALTO	ALTO	BAJO	1/8
ALTO	ALTO	ALTO	1/16

En nuestro caso los pines MS1, MS2 y MS3 deben ir puenteados. De esta forma, obtendremos una resolución de 1/16 pasos cada vez que reciba un pulso de señal eléctrica.

En vista a la programación, para poder programar un giro de motor paso a paso mediante Arduino y que éste mande la orden al Driver, se ha empleado el siguiente Sketch:

```
#define DIR 3
#define STEP 6
#define RST 9

void setup () {
  pinMode (STEP, OUTPUT);
  pinMode (DIR, OUTPUT);
  pinMode (RST, OUTPUT);
  digitalWrite (RST, LOW);
}

void loop () {
  for (int i=0; i<200; i++) {
    digitalWrite (STEP, LOW);
    delayMicroseconds (30);
    digitalWrite (STEP, HIGH);
    delay (1);
  }
}
```

2.2.4. Motores paso a paso.

Para llevar a cabo este proyecto se han utilizado motores paso a paso modelo Nema 17. Este tipo de máquina electromecánica, está basada en desplazamiento angular discreto, a medida que su entrada de control reciba un pulso eléctrico, este girara en un determinado ángulo. También se han elegido debido a su par motor, unos 40 N/cm; Nuestro tipo de máquina no requiere de motores con gran par, ya que, lo que realmente necesitamos es velocidad.

Existen otros tipos de máquinas rotativas para emplear en proyectos similares. Los más empleados son: Motor Brushless y Motor de CC. Cada uno de ellos con unas características técnicas determinadas, para saber más sobre estos dos tipos de motores eléctricos se ha hecho un resumen de sus funciones y características más principales.

-Motor Brushless: es un motor de corriente continua, su principal característica es que no posee escobillas en el rotor para hacer el cambio de polaridad. Por ello, son motores que pasan casi desapercibidos al desgaste mecánico.

-Motor corriente continua: este tipo consta de dos partes, rotor y estator. El estator soporta al eje, y a su vez contiene el bobinado principal de la máquina ya sea de polos permanentes o bobinado en cobre sobre un núcleo magnético de hierro. El rotor de forma cilíndrica y bobinado sobre núcleo magnético con alimentación directa a las escobillas. El inconveniente de este tipo de motores es su mantenimiento y desgaste por parte de las escobillas cuando rozan sobre el colector de delgas.

Una vez que hemos visto los otros dos tipos de motores que también podrían emplearse pero que presentan algunos inconvenientes que nos hacen descartarlos.

Los motores por paso Nema 17 presentan unas características más notables, como por ejemplo: el mantenimiento es menos exhaustivo, las pérdidas por fricción, son ocasionadas, por los rodamientos, ya que, no posee escobillas, la precisión con la que son capaces de trabajar es muy efectiva, la velocidad de giro es más fácil de regular sin pérdida de par motor, poseen una mejor respuesta a las señales de control que se le envía y tienen una posibilidad de giro de 90° a pequeños movimientos de centésimas de grado.

Las características técnicas de dicho motor se resumen en la siguiente tabla proporcionada por el fabricante:

Ángulo de paso	1.8 °
Corriente nominal	1.7 A
Resistencia de fase	1.5 Ω
Inductancia de fase	2.8 Ω
Par de retención (Máx)	40 N/cm
Par de retención (Min)	2.2 N/cm
Inercia del rotor	54 g/cm ²
Conductores	4
Peso	200 gr



ILUSTRACIÓN 10. Motor Nema 17

El inconveniente principal que puede presentar, es que, es necesario una etapa lógica de control llamada Driver, mencionado en el anterior apartado.

Otro inconveniente, es la utilización de pares resistentes elevados para el mecanizado de piezas que pueden incurrir en la velocidad o el frenado del motor, haciendo disminuir su fiabilidad y prestaciones.

2.2.5. Mecánica de la CNC.

Debido a los objetivos para construir una máquina CNC de bajo coste, el montaje de la estructura se ha construido en perfil ranurado de aluminio. La cabina donde estará alojada la estructura y la electrónica del conjunto, propiamente dicho, máquina, está fabricada en madera tipo DM (Densidad Media). A parte, también se han diseñado e impreso piezas en material PLA (Polímero) en alta densidad, para darle una total consistencia a los dispositivos y mecanismos que conforman parte de la máquina.

Para la estructura, se va a emplear perfil ranurado de aluminio tipo B de 20 mm x 40 mm con 6 ranuras. Es un tipo de perfilería muy empleada en máquinas de control numérico profesionales. Por ello, la estructura que es la base principal de la máquina donde van alojados los ejes y herramienta (Láser) se ha optado por construirla con este material, debido a sus características.

La cabina fabricada en madera tipo DM es un tablero aglomerado de fibras y resina sintética fabricado mediante presión y calor. Esto le da una densidad muy consistente, unos 750 Kg/m³ (Medium Density Fiberboard).

En la puerta de la cabina, se han instalado dos ventanas de material PET-G para controlar visualmente el proceso de grabado; En la cajonera donde está ubicada la CPU también se ha colocado otra pequeña ventana para tener visualización de los dispositivos electrónicos y mejorar la estética de la máquina. Dicho material, es de tipo polímero, con gran resistencia química y fácil de trabajar.

Las piezas impresas en 3D han sido fabricadas en alta densidad, ya que, deberán de soportar esfuerzos dinámicos más agudos, algunas de estas piezas llevarán instalados los motores, soporte para un protector tipo oruga donde se alojan los conductores y los rodamientos revestidos en goma. Se pensó en fabricar este tipo de piezas mecanizadas en aluminio, pero ascendía el presupuesto y romperíamos con los objetivos del proyecto.

El trazado del diodo láser es accionado mediante la coordinación de los ejes. Los ejes están provistos de motores Nema 17 con par suficiente para ejercer una fuerza de translación, mediante una transmisión por poleas y correas dentadas de tipo GT2, se ha optado por este sistema porque garantiza una velocidad que es requerida en mayor medida para el tipo de herramienta que se va a emplear.

Uno de los inconvenientes principales de utilizar este sistema de transmisión es el bajo par que pueden ejercer los motores a causa de ganar más velocidad. Debido a ello, la correa no está anclada y los motores requieren un suministro de energía ininterrumpido, para que la herramienta no se mueva. Otro inconveniente, la correa debe estar siempre tensa para no perder precisión y elongación.

Para evitar pérdidas por vibración y fricción en el proceso de grabado láser, se han utilizado rodamientos revestidos en goma para garantizar que las pérdidas sean mínimas a la hora de que los ejes estén en movimiento. Con ello, también se consigue que la máquina ejecute movimientos más estables, para que puedan tener una mayor reacción a incremento y disminución de la velocidad.

2.2.6. Control de posición.

Profesionalmente las máquinas de control numérico suelen utilizar sensores para determinar la posición exacta, tanto de los ejes, como de la herramienta. Para ello, se suelen utilizar unos dispositivos llamados Encoders. Esto es un sistema de realimentación que le da a la máquina una “visión” para posicionar los ejes y la herramienta en un punto determinado.

En la siguiente ilustración se puede observar un lazo de control típico de una máquina CNC:

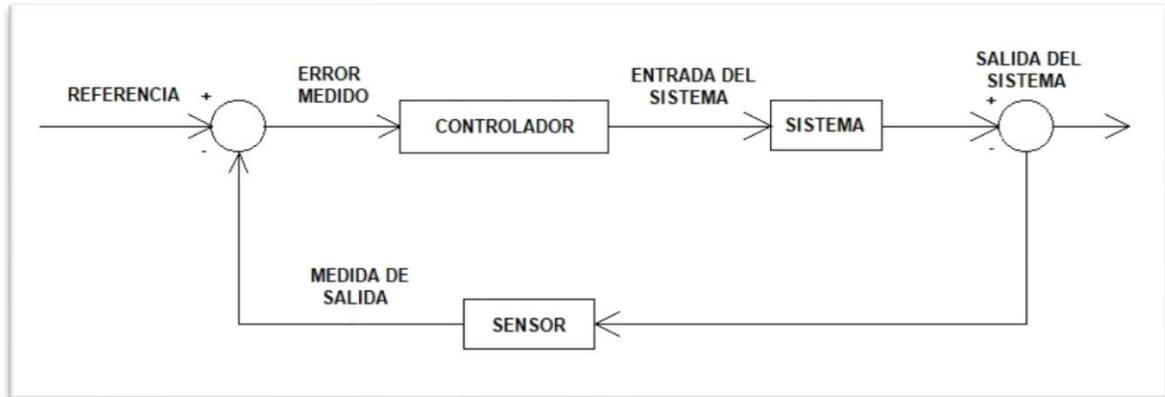


ILUSTRACIÓN 11. Sistema de lazo de control.

En nuestro proyecto llevaremos a cabo otro tipo de estructura, llamada de lazo abierto. Esto quiere decir que nuestra máquina no recibirá información sobre el estado de los dispositivos antes mencionados, simplemente ejecutará las acciones suponiendo previamente las consecuencias. Se hará de este modo, dado que los factores que pueden intervenir en el desplazamiento son depreciables. Así también, ahorramos en el presupuesto de la construcción de la máquina.

3. DESARROLLO DE LA MÁQUINA CNC.

Para llevar a cabo este proyecto, se van a explicar los diferentes pasos que se han seguido para desarrollar la máquina de control numérico. Se han dividido por orden cronológico las diferentes etapas: configuración del software, electrónica, montaje y calibración de la máquina.

3.1. Arduino y programación.

El programa que se va a introducir en la memoria de Arduino es la versión 1.1 del código GRBL, se ha decidido implementar este código, ya que, ofrece una garantía de funcionamiento perfecto. Mediante el programa IDE de Arduino se puede acceder a la configuración del código GRBL. El código se muestra como un fichero *Config.h*. Más adelante, se verá cómo podemos modificar los parámetros en la configuración del código para que nuestra máquina funcione correctamente.

Para instalar el código GBRL en Arduino es necesario descargar un programa llamado XLoader V 1.00, el cual, se utiliza para flashear el firmware sobre el microcontrolador ATmega 328. El código GRBL es un archivo de tipo hexadecimal y la IDE de Arduino no puede introducir este archivo en la memoria del microcontrolador.

A continuación, se muestra la interfaz del programa XLoader y como se debe de configurar para flashear el programa:

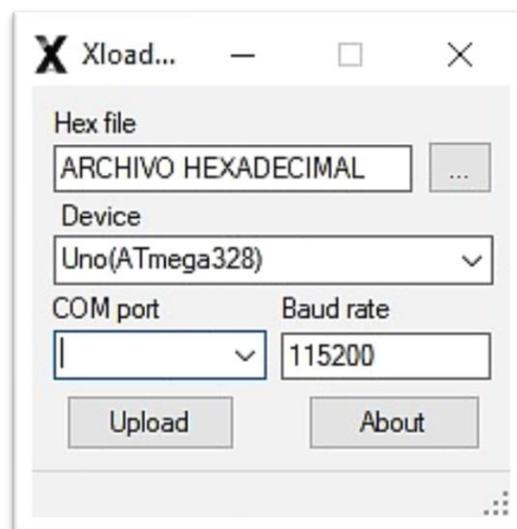


ILUSTRACIÓN 12. Interfaz XLoader V 1.00.

Desarrollo y montaje de una máquina de control numérico basado en la plataforma Arduino.
Ángel Montoya Navarro – Grado en ingeniería eléctrica – E.P.S.A.

-Apartado *Hex file*, se deberá cargar el archivo hexadecimal previamente descargado.
Podemos obtenerlo en la página web Github, totalmente actualizado.

-En *Device* debemos seleccionar nuestro tipo de plataforma, en nuestro caso, se trata de un ATmega 328.

-*COM port*, seleccionamos el puerto USB donde está conectada nuestra placa Arduino.

-*Baud rate*, velocidad para la transferencia de datos. 115200 será la velocidad en baudios para nuestra plataforma.

Una vez configurados todos los campos anteriormente mencionados, pinchamos en el icono "Upload". Si todo se ha realizado correctamente, el archivo hexadecimal empezará a flashear la memoria del microcontrolador Arduino. El proceso no suele durar mucho tiempo.

3.2. Electrónica de la CNC.

Una vez cargado el sketch en el microcontrolador, en el siguiente apartado se van a detallar los pasos para montar y configurar las diferentes partes electrónicas que componen la máquina de control numérico.

3.2.1. CNC Shield.

La posibilidad de emplear una CNC Shield en nuestro proyecto es básicamente para simplificar el montaje. Compatible con el código GRBL, se trata de un dispositivo que conecta los drivers con el controlador. Presenta el siguiente aspecto:

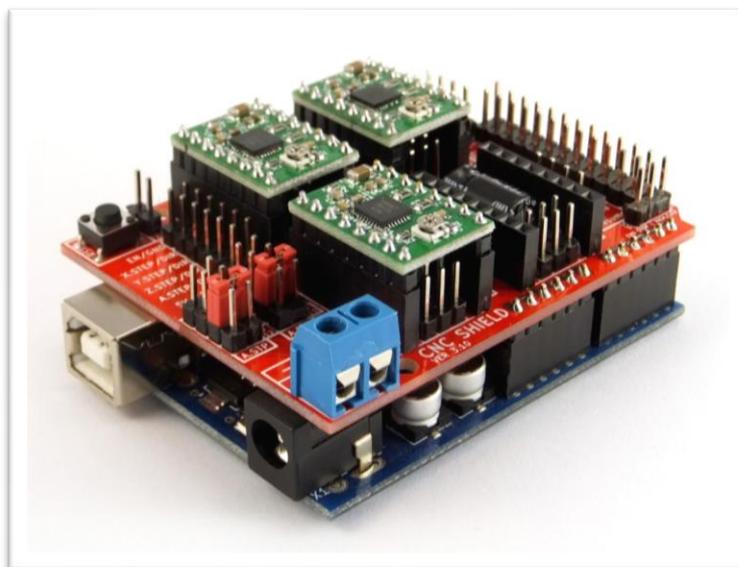


ILUSTRACIÓN 13. CNC Shield para GRBL

Es un dispositivo hardware de código libre, diseñado por Bertus Kruger de Protoneer.co.nz. En la página web del creador podemos encontrar diferentes diseños de hardware dedicados a proyectos de la misma categoría, es decir, máquinas de control numérico. Para nuestro proyecto, usaremos la versión 3.00.

Para conocer en detalle los pines de conexión que se van a utilizar, se muestra a continuación, un esquema de conexiones de la Shield:

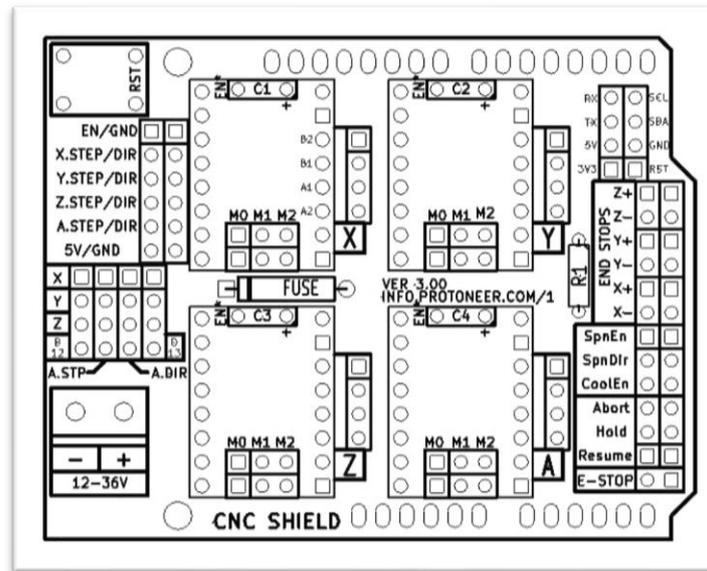


ILUSTRACIÓN 14. Esquema conexiones CNC Shield.

A la hora de alimentar la placa debemos tener en cuenta la tensión que le vamos a suministrar, ya que, nuestra placa tiene un rango de tensiones de 12 V a 36 V DC. En nuestro caso la alimentaremos con 12 V debido a que los motores trabajan con dicha tensión, si se utiliza una tensión superior a esta podríamos dañarlos.

Como se puede apreciar en la ilustración 14, la Shield solo puede integrar 3 ejes (X, Y, Z). Cabe la posibilidad, de clonar un cuarto eje (A). Éste tiene como misión principal otorgar mayor fuerza motriz a uno de los 3 ejes. En nuestro caso, utilizaremos dos ejes: X e Y. Utilizaremos un clon del eje Y.

Para configurar el clon del eje Y se conectaran unos puentes de derivación en la parte de la Shield donde se pueden apreciar los pines de configuración para: A.STP (Pasos) y A.DIR (Dirección o sentido de giro del motor). Para conseguir esta configuración, debemos de conectar en nuestra placa la siguiente combinación de pines:

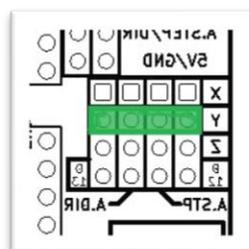


ILUSTRACIÓN 15. Puentes para clonar eje Y.

En la siguiente fase de configuración de la placa Shiled, vamos a interconectar los pines que otorgan a los motores los micropasos, que deberán entregar a los ejes a la hora de perpetrar los movimientos, para que, nuestra máquina funcione de una manera eficiente y precisa.

Este paso será muy importante, ya que, según los pasos que se configuren variará la precisión de la herramienta, en nuestro caso un láser. Para nuestro caso, se ha optado por una configuración de 1/16 pasos. Esto conlleva, que si se ajustan los ejes con este tipo de micropasos tan pequeños los drivers pueden sufrir sobrecalentamiento, debido al porcentaje de intensidad a la que están expuestos y que en algunos pasos podríamos perder fuerza motriz en los ejes.

Más adelante se hablará de cómo se puede paliar el problema del sobrecalentamiento en los drivers. Aunque la fuerza que se pueda perder en los ejes es despreciable, teniendo en cuenta, que en el caso del presente proyecto se requiera velocidad y no fuerza.

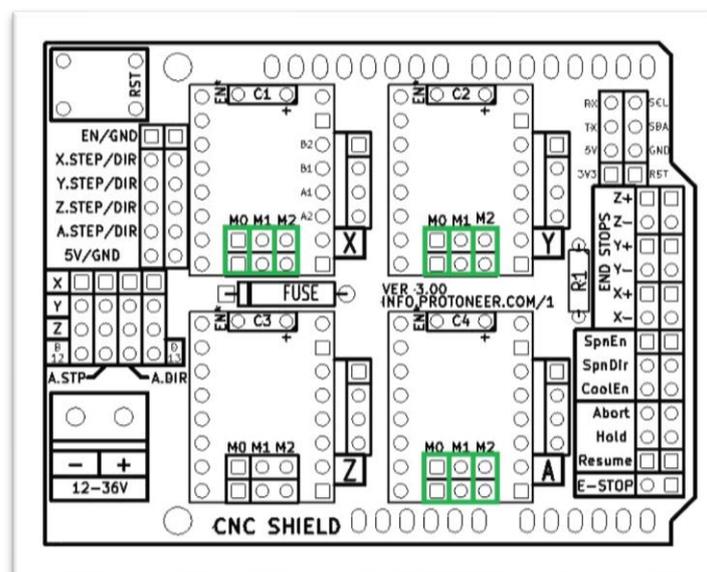


ILUSTRACIÓN 16. Configuración micropasos.

En la tabla siguiente se muestran los diferentes micropasos que podemos configurar en nuestra Shield para los drivers A4988:

MS1	MS2	MS3	Microstep Resolution	Excitation Mode
L	L	L	Full Step	2 Phase
H	L	L	Half Step	1-2 Phase
L	H	L	Quarter Step	W1-2 Phase
H	H	L	Eighth Step	2W1-2 Phase
H	H	H	Sixteenth Step	4W1-2 Phase

Existen tres dispositivos los cuales también van conectados a la Shield, tales como: finales de carrera, pulsador de emergencia y la modulación PWM para regular la potencia del láser.

En la ilustración que se muestra a continuación, se detallan los pines que se usarán en la conexión de los dispositivos anteriormente mencionados. Para aclarar donde deben de ir conectados, se han resaltado en diferentes colores los pines donde irán: finales de carrera (Rojo), pulsador de emergencia (Azul) y modulación PWM (Verde).

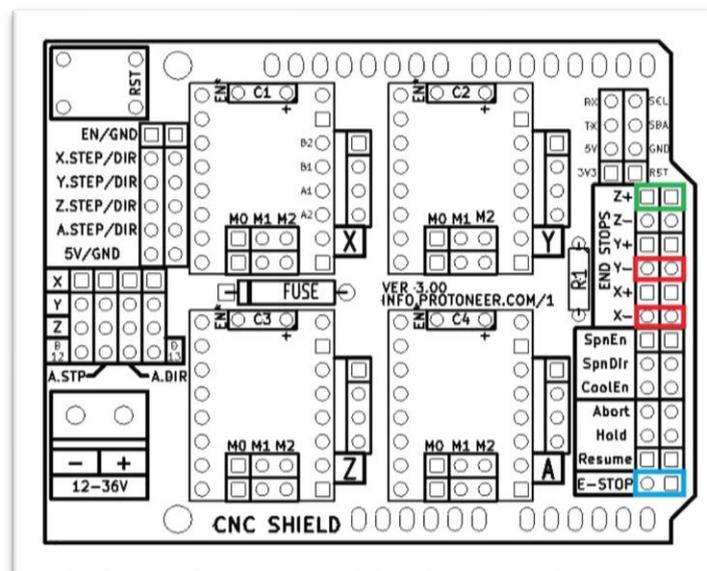


ILUSTRACIÓN 17. Conexión de finales de carrera, paro de emergencia y PWM.

Finales de carrera.

Para saber más sobre los detalles de la conexión de los dispositivos conectados a los pines de nuestra placa, se procederá, a argumentar porque razón se ha hecho de esta manera. Como también intentar imitar una máquina de control numérico profesional en algunos aspectos.

La conexión de los finales de carrera es muy sencilla, solo hemos de conectar en los pines -Z y GND, anteriormente indicados en la lustración 17. El pin -Z (Pin blanco) va directamente conectado con un contacto NC (Normalmente cerrado) del final de carrera, el pin GND (Pin negro) va conectado al COM (Común) del dispositivo.

Se ha conectado el pin -Z al contacto NC ya que en todo momento estará pasando una pequeña señal recibida por la placa, esto quiere decir, que si por alguna circunstancia el cableado desde el final de carrera a la placa tuviera algún problema de conexión, la Shield lo detectaría y el software de control nos daría un aviso de error. Este es el aspecto que presenta nuestro final de carrera:

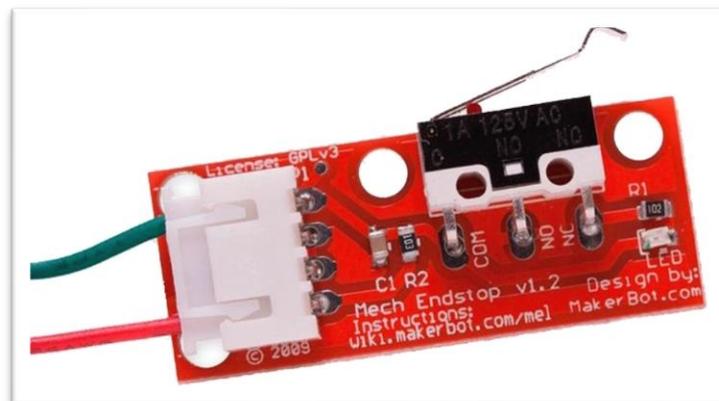


ILUSTRACIÓN 18. Final de carrera.

Cabe resaltar, que el conductor de color verde que se muestra en la ilustración es el común y el de color rojo es el contacto normalmente cerrado. Dispone de un testigo luminoso integrado en el circuito de tipo LED para mostrar cuando el dispositivo es actuado.

Se han instalado dos dispositivos por eje y conectados en paralelo entre ellos. Ubicados en los extremos de los raíles de la estructura de aluminio en eje X y otros dos en eje Y. Esto sirve, para que la máquina pueda saber cuáles son los límites de cada eje y así tener un área de trabajo segura.

Pulsador de emergencia.

El pulsador de emergencia conectado a los pines E-STOP sirve para parar la máquina repentinamente por motivos de seguridad que afecten a nuestro entorno, a usuarios o incluso a la propia máquina. Es por ello, que se ha decidido instalar este dispositivo como medida primordial de seguridad. En la siguiente imagen se muestra la utilizada.



ILUSTRACIÓN 19. Paro de emergencia.

Provisto de dos contactos, uno NC (Normalmente cerrado) y otro NO (Normalmente abierto). Se ha utilizado el contacto NO del dispositivo, ya que, los pines de la placa donde va conectado dicho pulsador son modo HIGH, esta entrada de la placa, solo actúa cuando estos pines reciben una señal.

Soporta una intensidad nominal de 10 A, suficiente para la intensidad que pasa por sus contactos. Va ubicado en el panel de control de la máquina.

Entrada PWM del driver que controla el láser.

La conexión para la entrada PWM del driver que controla el láser esta nombrada como TTL y provista de dos pines uno positivo (+) y otro negativo (-), los cuales, van conectados a los pines +Z y GND respectivamente. La entrada se conecta ahí, ya que, estos pines proporcionan una pequeña señal modulada necesaria para poder regular la potencia del diodo láser cuando sea necesario.

Más adelante, se comentará al detalle sobre este driver y sus características.

3.2.2. Drivers.

Los drivers de control para los motores nema 17 van conectados en la placa Shield en sus respectivos ejes, (X e Y) y clon de eje Y (A). Los drivers son los A4988, estos drivers disponen de un potenciómetro para regular la intensidad que suministrara a cada bobina del motor.

Para regular la intensidad máxima que deben entregar al motor, se deberá de calcular la tensión de referencia. Para ello, hemos de tener en cuenta la intensidad máxima de las bobinas del motor y la resistencia de sensado del driver de control.

Para saber la intensidad máxima que soportan por fase los motores, hemos de remitirnos a los datos técnicos proporcionados por el fabricante, en nuestro caso, es una intensidad máxima de 1,7 A por fase.

La resistencia de sensado del driver es de tipo SMD y con un valor de 100 Ω , la podemos localizar en el driver como se muestra en la ilustración:

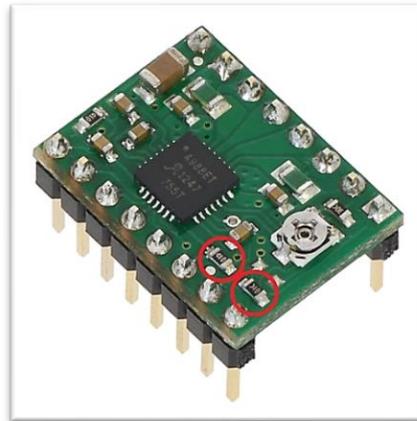


ILUSTRACIÓN 20. Resistencia de sensado del driver de control.

Obteniendo los dos valores anteriormente mencionados, aplicamos la siguiente fórmula para saber la tensión de referencia:

$$V_{REF} = I_{MAX} \cdot (8 \cdot R_S) = 1.7 \cdot (8 \cdot 100) = 1.36 V$$

Donde 8, es un valor constante.

Aplicaremos un 70% a la tensión que acabamos de calcular para prevenir posibles pérdidas por parte de los motores, esto repercutirá en la intensidad que entreguen los drivers a los motores. El valor de la tensión de referencia será de 0.95 V.

Para regular dicha tensión, necesitaremos un voltímetro para medir entre el potenciómetro que lleva integrado dicho driver y el pin de GND. Debemos ir rotando el pequeño potenciómetro hasta que leamos en el voltímetro la tensión deseada, con esto, ya tendremos los drivers preparados.

Es aconsejable, colocar unos pequeños disipadores en la parte superior del circuito integrado que lleva el driver. Según datos del fabricante, cuando se colocan estos disipadores los drivers son capaces de soportar 2 A por fase.

3.2.3. Motores Nema 17.

En este paso vamos a conectar los motores Nema 17. Para ello, hemos de fijarnos en la identificación de las fases de los conductores que nos proporciona el fabricante. Identificando las bobinas del motor sabremos como hay que conectar nuestros motores a la placa Shield.

Según datos del fabricante, indica que nuestro motor sigue el siguiente patrón de colores para la identificación de las fases del motor:

Colores	Bobinas	Fases
Negro	1A	1
Verde	1B	1
Rojo	2A	2
Azul	2B	2

Para conectar en la placa solo debemos seguir la nomenclatura. Hay que tener en cuenta las fases del motor, ya que, podemos cambiar el sentido de giro motor. Aunque no es problema, porque podemos hacerlo mediante el software de control de la máquina mediante una opción llamada “inversión de ejes”.

El movimiento que otorgan los motores a los ejes mediante una translación por poleas y correas viene definido por una respuesta de mayor velocidad a cambio de perder fuerza. En nuestro caso no influye nada la fuerza que se pueda perder, a cambio de ganar más velocidad.

Los Nema 17 son unos motores que emplean 200 pulsos para dar un giro completo de eje, cada uno de esos pulsos hace un movimiento angular de $1,8^\circ$.

Para determinar la velocidad angular a la cual girará nuestro motor la podemos averiguar mediante la siguiente fórmula, donde (f) representa la frecuencia del tren de pulsos:

$$\omega = 2\pi \cdot f$$

En la siguiente gráfica se puede observar la relación que existe entre ambas:

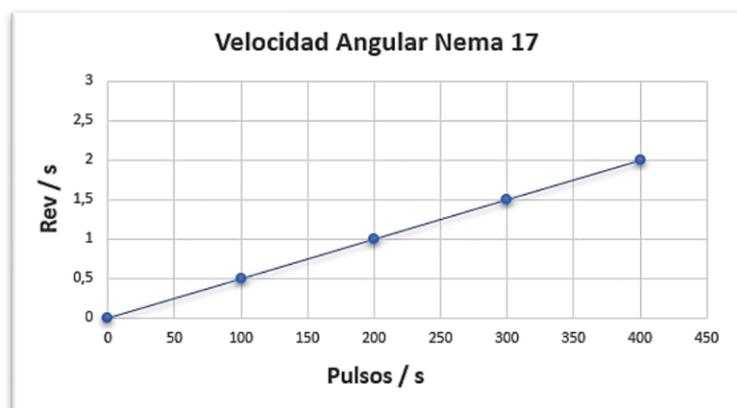


ILUSTRACIÓN 21. Velocidad angular Nema 17.

Se puede expresar si se desea en términos de periodo (T). En la siguiente expresión se puede determinar el tiempo que pasa de un pulso a otro:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

El inconveniente que presentan, es la frecuencia de pulsos que pueden otorgar en máximos y mínimos. Es decir, dichos motores tienen una respuesta en frecuencia de unos 630 Hz. Si el motor supera estos valores tendrá consecuencias negativas, tales como, que no exista giro de motor, vibraciones, giro erróneo y pérdida de potencia.

Para el tipo de correas (GT2) y las poleas (16 dientes) que se van a emplear, la velocidad máxima que podrá alcanzar nuestra máquina es de 250 mm/min, teniendo en cuenta, que nuestra máquina está configurada en 200 mm/min como parámetro de velocidad óptimo.

3.2.4. Fuente de alimentación ATX.

Para la alimentación de la máquina se ha utilizado una fuente conmutada tipo ATX, recuperada de un antiguo ordenador de sobremesa. Cumpliendo así, uno de los objetivos, reciclaje de antiguos equipos electrónicos.

El modelo de la fuente es HIPRO D250AA0, capaz de entregar hasta 250 W de potencia. Para saber más sobre los datos técnicos de la etapa de potencia se han resumido en una tabla los valores con los que trabaja.

Valores de entrada (AC)		Valores de Salida (DC)	
Voltaje	220 - 240 V	+12 V 14 A	
Amperaje	3.15 A	+5 V 12 A	
Frecuencia	47 - 63 Hz	+3.3 V 12 A	
Potencia	250 W	-12 V 0.3 A	

Será necesario adaptar la etapa para su correcto funcionamiento. Para ello, hemos de saber cuales son los conductores que vamos a emplear. A continuación, se muestra una ilustración con los 20 pines principales de la etapa:

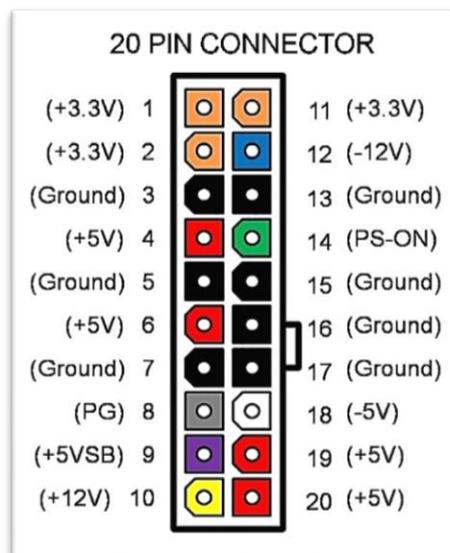


ILUSTRACIÓN 22. Conector ATX de 20 pines.

Los conductores que se van han emplear a la salida de la etapa de potencia son:

-PS-ON: Este conductor junto con otro GND se utilizará para poder encender la fuente mediante un contacto normalmente abierto de un conmutador tipo “Key switch” o tipo llave.

Desarrollo y montaje de una máquina de control numérico basado en la plataforma Arduino.
Ángel Montoya Navarro – Grado en ingeniería eléctrica – E.P.S.A.

-5 VSB: Se utilizará con un diodo led de color verde y una resistencia de 220Ω , junto con GND. Así podremos saber si está llegando tensión a la entrada de la fuente (AC), modo Standby. Irá instalado en un zócalo de la CPU de la máquina el cual está impreso en 3D.

-5 V: Conectado con un diodo led de color amarillo y una resistencia de 220Ω , junto con GND. Este irá instalado junto con el anteriormente mencionado. Su función es avisar que en nuestra etapa existe tensión en sus diferentes salidas (DC).

-12 V: Alimentación de la CNC Shield, testigo luminoso (marcha DC), Driver de control del láser, ventilador 1 (refrigeración CPU), ventilador 2 (extracción de aire CPU) y ventilador 3 (extracción de humo).

Una vez que se han detectado aquellos conductores que vamos a necesitar, ha sido necesario sanear la fuente de aquellos conductores que no nos harán falta, ya que, este tipo de fuentes vienen provistas de multitud de conductores con el mismo tipo de tensiones. Una vez hecho este paso, la etapa de potencia presenta el siguiente aspecto:

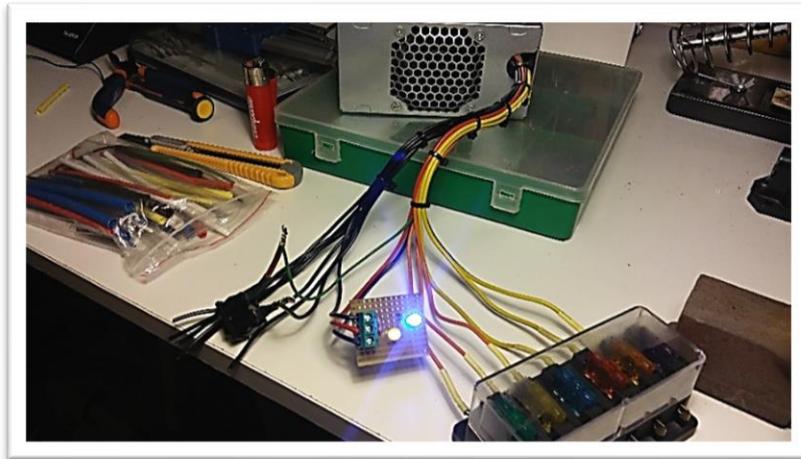


ILUSTRACIÓN 23. Fuente de alimentación ATX.

Entrada AC

Para abastecer de energía eléctrica a la etapa, se ha instalado un interruptor principal con protección y un voltímetro a la entrada (AC). También se ha provisto de un voltímetro que irá instalado en el panel frontal de control de la máquina. El interruptor principal y el voltímetro presentan este aspecto:

Interruptor principal



ILUSTRACIÓN 24. Interruptor principal.

Es un interruptor basculante modelo AS-10 con tensión e intensidad nominal de: 250 V 6 A. Provisto con fusible de protección de 10 A. Irá empotrado en la parte trasera de la máquina, sus medidas son: 47 x 27 x 18 mm (para el orificio donde este irá ubicado) y 50 x 30 x 32 mm (medidas exteriores del marco).

Voltímetro AC



ILUSTRACIÓN 25. Voltímetro AC

El voltímetro que también irá conectado a la entrada de la etapa de potencia se conectará a fase con X1 y neutro con X2 a 230 V 50 Hz. Es un modelo AD16-22DS y tiene las siguientes características: tensión nominal de 60 V hasta 500 V, con 1 millón de maniobras. Las medidas del dispositivo son: 28.5 x 22 x 50.5 mm.

Salida DC

En la salida de la parte de corriente continua de la etapa de potencia, se ha instalado un conmutador tipo llave normalmente abierto (Contacto ON/OFF) para encender o apagar la fuente. Como también se ha dotado de un testigo luminoso de color verde (Marcha DC), para avisar de presencia de tensión. A parte de estos dos dispositivos de maniobra y aviso, también se han dotado a las salidas de las que vamos a requerir una base de fusibles tipo cuchilla para proteger y dividir los diferentes circuitos

Conmutador tipo llave



ILUSTRACIÓN 26. Conmutador tipo llave ON/OFF.

El dispositivo es un modelo PM192F-11Y/21, se ha instalado para dar un toque estético a la máquina. Su tensión e intensidad nominal es de 250 V 3A. Se trata de un conmutador, en este caso, es accionado cuando la llave es introducida en la cerradura y se gira. Es de dos posiciones, es decir, tiene un contacto común (C), uno normalmente abierto (NO) y otro normalmente cerrado (NC). El contacto común ira conectado con el conductor PS-ON de la fuente y el contacto, normalmente abierto, irá conectado a GND. Las medidas del conmutador son: 22 x 19 x 39 mm

Testigo luminoso



ILUSTRACIÓN 27. Testigo luminoso, marcha DC.

Montado en el panel frontal, ira conectado con uno de los conductores de 12 V al borne X1 y con GND al borne X2. Es un modelo AD16-22, funciona a 12 V en corriente continua y su función será, la de avisar visualmente cuando todas las salidas de la etapa están en tensión. Las medidas del dispositivo son: 27 x 20 x 51 mm.

Base de fusibles



ILUSTRACIÓN 28. Base de fusibles.

La función principal es dividir los diferentes circuitos y proteger los receptores. Según datos del fabricante, aguanta hasta 30 V en DC de voltaje nominal, provisto de 6 vías para fusibles de tipo cuchilla de 6.3 mm. Sus medidas son: 115 x 53 x 42 mm.

En la tabla que se muestra a continuación, se han resumido todos los circuitos que componen la electrónica de la máquina de control numérico:

Circuitos	Voltaje	Fusibles	Receptores
C1	12 V	5 A	Marcha DC
C2	12 V	10 A	CNC Shield
C3	12 V	5 A	Driver láser
C4	12 V	5 A	Ventilador 1
C5	12 V	5 A	Ventilador 2
C6	12 V	5 A	Ventilador 3

Se adjunta a la memoria un esquema electrónico de conexiones en el apartado de anexos.

3.2.5. Ventilación forzada y extracción de humos.

Para que los drivers de los motores y el de control del diodo láser no sufran sobrecalentamiento, se ha implementado un ventilador en la parte superior de estos. Con ello, se consigue que estén rondando unas temperaturas optimas de funcionamiento. Además de este ventilador existen otros dos, uno tiene la función de la extracción de humos de la cabina láser y otro para la extracción de aire caliente originado por los dispositivos electrónicos ubicados en una caja cerrada donde se ubica la fuente ATX y la CPU de la máquina.

Ventilador 1

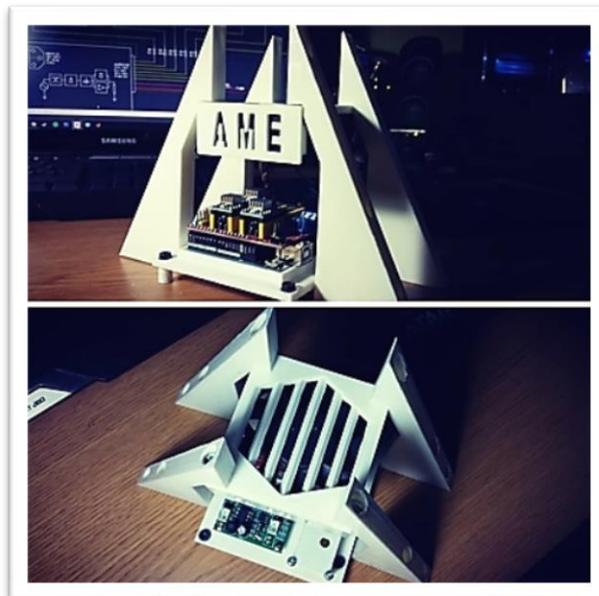


ILUSTRACIÓN 29. Ventilador 1.

El ventilador va montado sobre una estructura diseñada e impresa en 3D. El ventilador marca y modelo Sunson PF7025 funciona con una tensión de 12 V en DC, y una potencia de 3.7 W. Sus medidas son de 70 x 70 x 25 mm. Recuperado de un antiguo ordenador de sobremesa.

Desarrollo y montaje de una máquina de control numérico basado en la plataforma Arduino.
Ángel Montoya Navarro – Grado en ingeniería eléctrica – E.P.S.A.

Los drivers que controlan los motores Nema 17 se han equipado con un disipador de aluminio de 13 x 13 x 7 mm con un adhesivo termoconductor. Ofreciendo el siguiente aspecto:

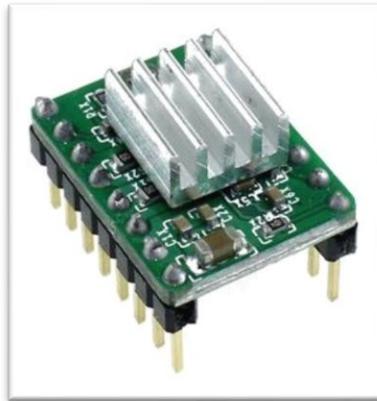


ILUSTRACIÓN 30. Disipadores de aluminio para drivers A4988.

Ventilador 2

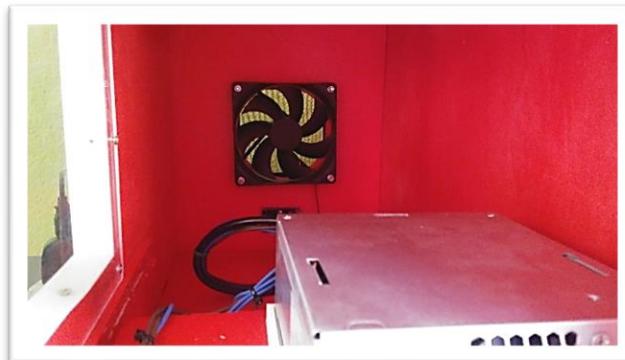


ILUSTRACIÓN 31. Ventilador 2.

El ventilador es de la marca Binmer que funciona a 12 V en DC con un consumo de 0.22 A. Las medidas son: 120 x 120 x 25 mm. Se ha instalado en el habitáculo donde ira toda la parte de electrónica de la máquina, su función será, la de extraer el aire caliente que se origine por el funcionamiento de la CPU y la etapa de potencia ATX.

Ventilador 3

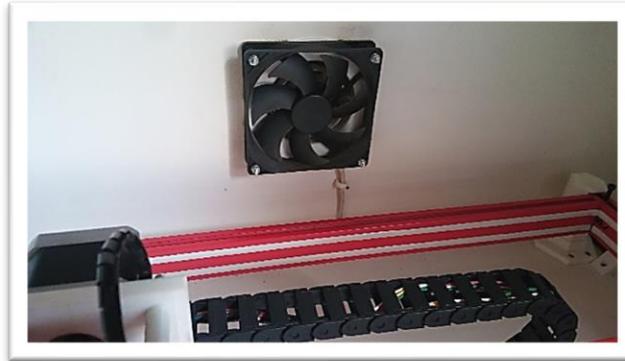


ILUSTRACIÓN 32. Ventilador 3.

Este ventilador recoge las mismas características técnicas que el mencionado anteriormente. Su función es la de extraer el humo provocado por el diodo láser cuando volatiliza un determinado material, expulsándolo a la atmosfera, para que, no existan riesgos de intoxicación por inhalación de humos.

3.3. Estructura y mecánica de la CNC.

En este apartado se detallarán los pasos que se han seguido para poder diseñar y montar la máquina de control numérico. Para ello ha sido necesario la utilización de AutoCAD, un software de diseño para la estructura y la cabina; también las piezas fabricadas mediante una impresora 3D que conforman algunas de las partes más importantes, mediante un programa de diseño e impresión 3D on-line, llamado Tinkercad.

En cuanto a la estructura donde están conformados los ejes. Se han fabricado sobre perfiles modulares de aluminio, ya que, presentan una mayor rigidez, fáciles de montar y sus railes son idóneos para que los ejes no sufran a la hora del movimiento.

La cabina de la máquina ha sido montada en madera de densidad media o DM, este tipo de material resulta ser muy económico y fácil de trabajar. Ha sido necesaria su construcción por el tipo de herramienta que utiliza, el láser genera humos y quedan dentro de la cabina; un extractor y un tubo flexible de aluminio los expulsa a la atmósfera.

La variedad de piezas fabricadas en impresión 3D han sido vitales para conformar muchas de las partes de la CNC. Pudiendo adaptar muchos de los dispositivos electrónicos y mecánicos a las necesidades de la construcción del proyecto.

Para englobar las partes en que se ha dividido este apartado, se muestra una imagen del ensamblaje general de la máquina de control numérico.



ILUSTRACIÓN 33. Ensamblaje general de la máquina.

3.3.1. Mecánica de la CNC.

Los dispositivos mecánicos que conforman la máquina son de fácil montaje y de coste bastante reducido, en comparación con otro tipo de mecanismos. En este, se ha optado por un sistema de transmisión por correas y poleas dentadas; este sistema es el más económico que existe frente a los de usillos calibrados, también son empleados en este tipo de máquinas. Para explicar con detalles las diferentes partes del sistema de transmisión, se han dividido en tres partes: poleas, correas y rodamientos.

Poleas.

Las poleas van insertadas y sujetas mediante un pasador en cada uno de los ejes de cada motor, son de 16 dientes y están preparadas para el montaje en motores Nema 17. Presentan este aspecto:



ILUSTRACIÓN 34. Polea 16 dientes.

Están preparadas, especialmente, para correas tipo GT2 de 6 mm de anchura, ya que el paso de diente en la correa es totalmente simétrico al paso de las poleas en cuestión. Fabricadas en aluminio, le otorgan una buena robustez al conjunto mecánico. Se han empleado 3 tipos de poleas iguales, una para cada eje y eje clon.

Correas.

En cuanto a las correas empleadas, se ha de decir que es de los materiales más económicos de todos. A parte de ello, se han instalado en nuestra máquina, porque este tipo de transmisión es de las más viables para los trabajos de fotograbado láser. El material del cual están fabricadas es de goma con refuerzo interior de fibra de vidrio y tienen una anchura de 6 mm para ajustar en las poleas que se van a emplear. Están diseñadas para soportar la tensión y el movimiento de los ejes.



ILUSTRACIÓN 35. Correa GT2.

Cabe decir que, la transmisión por correas tiene un Backslash bastante reducido. Este fenómeno aparece cuando existen cambios de sentido de giro de los motores; en caso de que la correa este poco tensa, es cuando se puede originar este tipo de perturbación.

Otros tipos de máquinas que su movimiento se perpetua por usillos helicoidales no calibrados, es más favorable que pueda existir este fenómeno, ya que, entre el paso de la rosca del usillo y la tuerca de transmisión pueden existir huecos que hagan hacer un movimiento en sentido contrario al de las coordenadas que se estén ejecutando en ese momento y perder precisión.

En conclusión, estas correas presentan unas mejores condiciones para el tipo de máquina que se ha desarrollado. Ganando terreno en velocidad y reducción de coste en materiales.

Rodamientos.

La función de los rodamientos es la de anclar los ejes a los raíles de los perfiles modulares, permitiendo así, un movimiento rectilíneo con escasa perdida de fricción. Están revestidos en goma para que cuando se ejecute el movimiento no existan vibraciones y no repercuta en la precisión. En la siguiente imagen se pueden apreciar:



ILUSTRACIÓN 36. Rodamientos revestidos en goma.

Desarrollo y montaje de una máquina de control numérico basado en la plataforma Arduino.
Ángel Montoya Navarro – Grado en ingeniería eléctrica – E.P.S.A.

Están fabricados en metal y son de tipo NSK modelo 625ZZ y recubiertos con goma de alta densidad. El perfil de estos cojinetes es de 6 mm, medida exacta para encajar en los raíles por donde han de anclarse y hacer el movimiento. De los perfiles se darán detalles en el siguiente apartado. Se han utilizado 5 unidades por eje.

En la siguiente fotografía se puede apreciar con más claridad el sistema de transmisión que se ha empleado para otorgar el movimiento a los ejes:



ILUSTRACIÓN 37. Sistema de transmisión.

3.3.2. Estructura de los ejes.

La estructura está fabricada con perfilera modular de aluminio de 2040 tipo B. Se ha decidido que la estructura sea de esta manera es porque, con este tipo de material se consigue una mayor robustez y de fácil montaje a la hora de encajar los perfiles que conforman la estructura.

En esta ilustración se muestra la estructura una vez montada:



ILUSTRACIÓN 38. Estructura en perfilera modular de aluminio.

Los perfiles empleados tienen las siguientes dimensiones, son medidas universales para poder adaptarlos a diferentes aplicaciones.

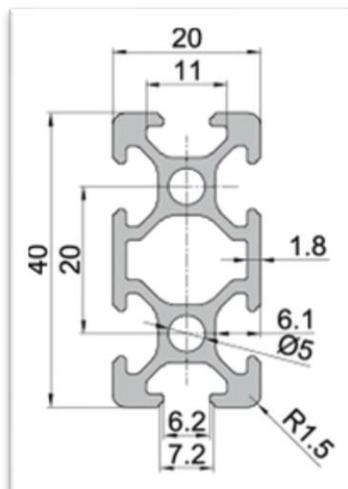


ILUSTRACIÓN 39. Medidas perfil 2040 tipo B.

El conjunto que conforma la estructura está constituido por 5 perfiles de diferentes medidas. El puente donde se ubica el eje X, tiene una longitud de 70 cm. El rectángulo donde se ubicará el eje Y sus perfiles tienen una longitud de 50 cm, el ancho que otorga al rectángulo, viene dado, por otros dos perfiles de 65 cm. En la siguiente imagen se indican los ejes de la estructura.

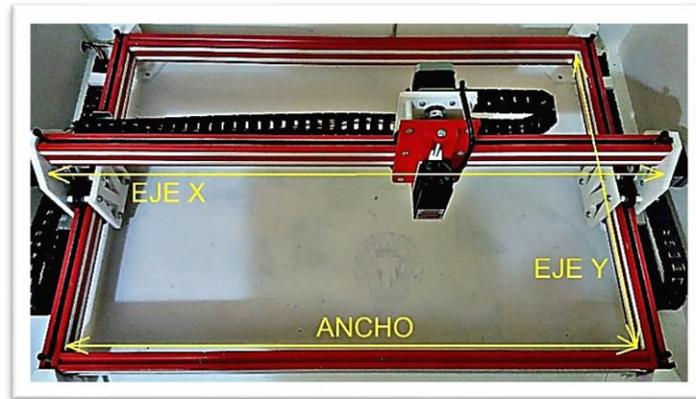


ILUSTRACIÓN 40. Ejes de la estructura.

En cuanto a los perfiles del eje X, ha sido necesario mecanizar una rosca de tipo M6 en dos orificios de cada extremo del perfil ranurado. Irá sujeto a dos pletinas en cada extremidad con todo el sistema de transmisión, mediante dos tornillos de cabeza hexagonal de M6 y 50 mm de longitud.

Para el eje Y, también se hará el mismo proceso de mecanizado y el uso de la misma tornillería. La única diferencia es que estos perfiles se atornillaran a sus extremos dos patas fabricadas en impresión 3D. En la siguiente fotografía se muestra el mecanizado de estos orificios:



ILUSTRACIÓN 41. Mecanizado para M6.

Para anclar los perfiles entre sí, se han empleado unos apliques especiales para este tipo de perfilería industrial. Han ayudado bastante a calibrar la estructura, una vez montados los perfiles otorgan con este aplique una robustez bastante considerable.



ILUSTRACIÓN 42. Ensamblajes para perfiles modulares.

Una vez montada la estructura con perfiles de aluminio se le ha aplicado una capa de pintura spray de color rojo cereza para darle un toque más estético. También se le ha insertado en las ranuras una tira de goma para evitar que se introduzca polvo a la hora del fotograbado de materiales. Otra medida de precaución ha sido absorber posibles vibraciones provocadas por el movimiento de los ejes.

Montaje del eje X.

Se muestra a continuación una fotografía correspondiente al eje X una vez montado en la estructura:



ILUSTRACIÓN 43. Eje X.

El dispositivo de transmisión esta constituido por dos pletinas fabricadas mediante impresión 3D, parte posterior y parte delantera. En la pletina de la parte posterior donde irá montado el motor Nema 17 sujeto con 4 tornillos de M3 y 15 mm de longitud, en el eje de dicho motor, irá insertada una pulea de 16 dientes.

En la parte delantera se instalarán los 5 rodamientos revestidos, mediante 2 casquillos de plástico para hacer tope y un tornillo pasante con su respectiva tuerca de presión por cada rodamiento. Además, el diodo irá montado sobre una cola de milano; este dispositivo mecánico está provisto de un tornillo que gira sobre una tuerca insertada en la pletina y lo que hace es empujar la base del zócalo láser para regular su altura según se conveniente.

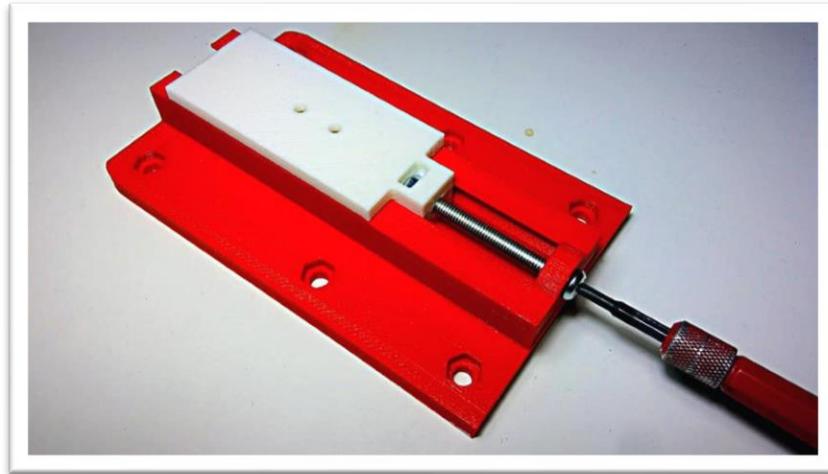


ILUSTRACIÓN 44. Cola de milano en eje X.

En la siguiente ilustración se puede visualizar en detalle la vista de perfil del sistema de transmisión, pudiendo apreciarse el motor, pulea, rodamientos y correa de distribución.

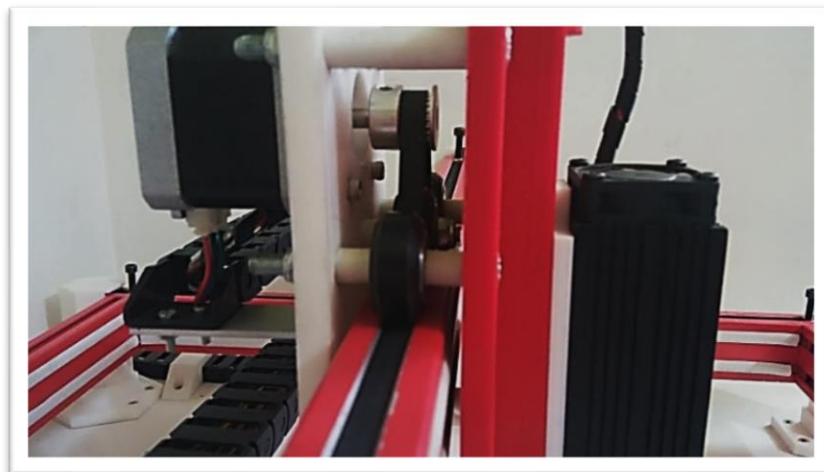


ILUSTRACIÓN 45. Vista de perfil eje X.

En cuanto al perfil ranurado donde se desplazará el eje de transmisión. Irá atornillado a las dos pletinas que constituyen los dos ejes Y.

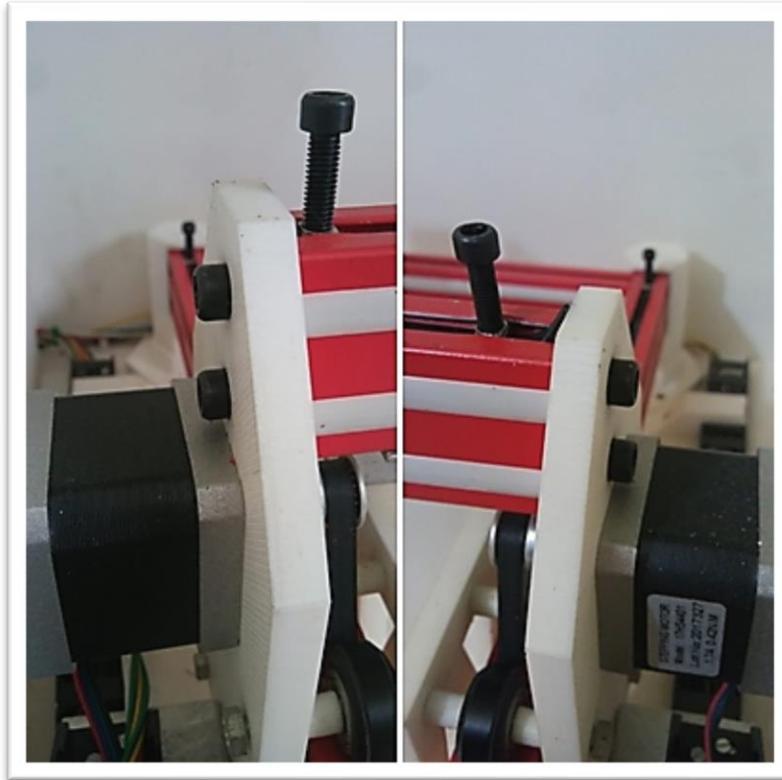


ILUSTRACIÓN 46. Sujeción perfil modular en eje X.

Montaje del eje Y

El eje Y cuenta con dos sistemas de transmisión, uno para cada lado; ambos lados son simétricos a la hora de montar los dispositivos. Están constituidos por dos pletinas, una para alojar los dispositivos mecánicos y otra para sujetar firmemente los rodamientos con su respectivo tornillo de M5 55 mm de longitud, así el conjunto de motor reductor quedara mejor adherido a los raíles.

Los materiales empleados son los mismos que los anteriormente mencionados para montaje del eje X. En cuanto se refiere a tornillería, motor, rodamientos y correa de distribución.

En la siguiente imagen se pueden apreciar las dos pletinas que constituyen el tren de transmisión, dando una visión general de todo el conjunto una vez montado



ILUSTRACIÓN 47. Eje Y.

En los extremos de los perfiles en los que actúa el eje Y se han colocado un total de cuatro soportes a modo de pata, impresos en 3D. Estos soportes van atornillados en los orificios de los perfiles mediante dos tornillos de cabeza hexagonal. También, dispone de unos zócalos atornillados a la base de la cabina láser mediante cuatro tirafondos para evitar que la estructura pueda moverse.

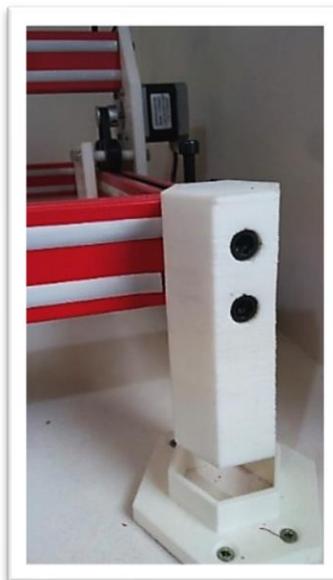


ILUSTRACIÓN 48. Soporte y zócalo para estructura.

3.3.3. Cabina de la CNC.

La cabina tiene unas dimensiones de 117 cm de largo, 63 cm el ancho y 31 cm de alto. Se puede observar en ilustración 48 que la cabina esta dividida en dos partes, una zona donde irán ubicados los dispositivos electrónicos de control y la cabina láser donde está ubicada la estructura.

Fabricada con tableros de madera de tipo DM con una densidad de $\rho=750 \text{ Kg/m}^3$. Se utilizó un tablero de 120 x 60 cm y 1.5 cm de espesor, para reforzar la parte trasera de la cabina y los dos laterales. Otros dos de 120 x 60 cm y 1 cm de espesor, utilizado para dividir la cabina del nicho donde irá la electrónica de control, la bandeja extraible, la tapa de la parte superior del cuadro eléctrico y la puerta de la cabina láser.



ILUSTRACIÓN 49. Cabina.

En Primer lugar, se ubicaron en los diferentes tableros las medidas de cada pieza. Una vez hecho esto, se procedió a cortar las diferentes piezas de madera con una sierra caladora. Acto seguido, se eliminaron las posibles impurezas que se produjeron en el corte y se ordenaron según un orden de montaje preestablecido.

A continuación, se puede observar el primer ensamble, de la parte posterior, laterales, divisor de zonas y tapa del cuadro eléctrico.



ILUSTRACIÓN 50. Primer ensamble.

Una vez realizado el ensamblaje anterior, se dispuso a montar la puerta de la cabina láser. Para su montaje se dispuso de dos tableros de DM con unas medidas de 90 x 60 cm para la parte superior y en su interior un hueco para la ventanilla de 61.5 x 36 cm; las medidas del tablero frontal son, 85 x 29 cm y 73 x 15 cm para el hueco central donde va la ventanilla. Las piezas serán ensambladas mediante tirafondos de 3 x 25 mm.

La puerta será instalada en el panel posterior de la máquina mediante cuatro bisagras de seis orificios.

Las ventanillas instaladas son de material PET, la parte superior tiene unas medidas de 67 x 42 cm, provista de dieciséis orificios para tornillos de cabeza hexagonal de M4 para su montaje en panel DM; en la parte frontal las medidas son 78 x 20 cm y 12 orificios para atornillar en el panel de madera.



ILUSTRACIÓN 51. Puerta de la cabina láser.

La zona donde va ubicada la parte electrónica de control de la máquina dispone de una bandeja extraíble para tener un mejor acceso a los diferentes dispositivos electrónicos; se pensó en que era buena idea poder abrir mediante una cerradura la bandeja y tener acceso a la CPU, fuente ATX o para reemplazar algún dispositivo que hubiera sido dañado.

La bandeja fue montada en unos railes atornillados en los laterales del interior del nicho. La bandeja tiene unas dimensiones de 50 x 23 cm y 1 cm de espesor. Con un panel frontal de 31 x 27 cm y 1 mm de espesor. Ambas piezas fueron ensambladas con dos ángulos metálicos perforados de 30 x 30 x 20 mm.



ILUSTRACIÓN 52. Cajón extraíble.

Se añadió otra pequeña ventanilla en el lateral izquierdo a modo estético para visualizar la CPU de la máquina, fuente ATX y los demás dispositivos desde el exterior. Las medidas del orificio en forma de rectángulo del lateral izquierdo son de 23 x 13 cm y las de la placa de material PET son de 27 x 18 cm con 8 orificios para atornillar con tirafondos al panel de madera.

Una vez completados los pasos de ensamblaje de los paneles de DM. Se procedió a perforar 2 de orificios de 10 cm de diámetro en la parte posterior de la cabina para los ventiladores de extracción de humos y extracción de aire caliente de la parte electrónica, también se perforaron los 4 orificios de cada ventilador para su sujeción. Los orificios se hicieron lo más centrados a la zona en la cual iban instalados. También se perforó, un pequeño orificio, en forma de rectángulo para empotrar un interruptor general de alimentación.

Desarrollo y montaje de una máquina de control numérico basado en la plataforma Arduino.
Ángel Montoya Navarro – Grado en ingeniería eléctrica – E.P.S.A.

Posteriormente, se lijó toda la superficie de la cabina con lija de grano medio seguidamente, se dio una capa de pintura Spray de dos colores distintos, rojo cereza y blanco mate. Este fue el resultado:



ILUSTRACIÓN 53. Pintura de cabina parte posterior.

En el orificio donde va ubicado uno de los ventiladores, se decidió instalar una tobera especial para empalmar tubo flexible de aluminio; esto servirá para extraer el posible humo que se produzca mientras el láser este trabajando. Para el otro orificio, una rejilla exterior, para evitar que entren partículas de polvo dentro de la CPU y la fuente de alimentación de la máquina.

Para rematar el proceso de montaje de la cabina, se instalaron dos tiradores, uno en la puerta y otro en la bandeja extraíble para tener un mejor agarre. Como también, en la ventanilla del lateral izquierdo se monto un marco impreso en 3D a modo de embellecedor.

3.3.4. Diseño de piezas en Impresión 3D.

En este proyecto se han diseñado 17 piezas mediante un software de diseño llamado Tinkercad, es totalmente gratuito y on-line. El software no requiere grandes conocimientos de diseño, ya que, es muy intuitivo y fácil de manejar; además, los diseños que se puedan crear los renderiza automáticamente y proporciona varias opciones para guardar en distintos formatos, en nuestro caso, fueron guardados en formato STL, es el más compatible.

A la hora de imprimir las piezas, los parámetros de impresión han sido los mismos para todos los modelos que constituyen las partes impresas de la CNC láser. Los parámetros más significativos son: La velocidad (58 mm/s), densidad de relleno (90 %), calidad (0.2 mm, boquilla del extrusor).

Se declinó por el proceso de impresión 3D, ya que, muchas de las piezas fabricadas hubieran supuesto un alto coste en el presupuesto. La impresora marca Zonestar i3, modelo P802QS es una impresora tipo RepRap (autorreplicable), la podemos encontrar en sitios web como Aliexpress por unos 250 € aproximadamente.

El filamento que se usó es de una bobina de 1 Kg de peso y 1.75 mm de sección, de color blanco de la marca Bq, calidad media-alta. Para la fabricación de todas las piezas con una bobina hubo más que suficiente, incluyendo algunas que no quedaron como se esperaba.

A continuación, se muestran algunos modelos más significativos que conforman la máquina. En anteriores apartados se mencionaron algunos de ellos, explicando donde iban ubicados y la función que cumplían.

Desarrollo y montaje de una máquina de control numérico basado en la plataforma Arduino.
Ángel Montoya Navarro – Grado en ingeniería eléctrica – E.P.S.A.

En la imagen que se muestra se puede observar el diseño en el programa CAD y una vez impreso en 3D.

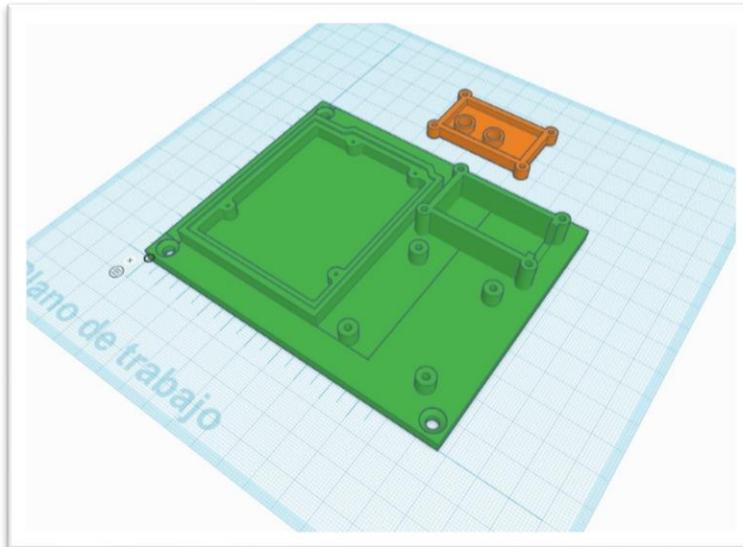


ILUSTRACIÓN 54. Diseño de base para CPU.

Se trata de la base de la CPU, donde va ubicado el microcontrolador ATmega 328, Shield CNC, driver de control para el láser y los testigos luminosos LED de la fuente ATX.

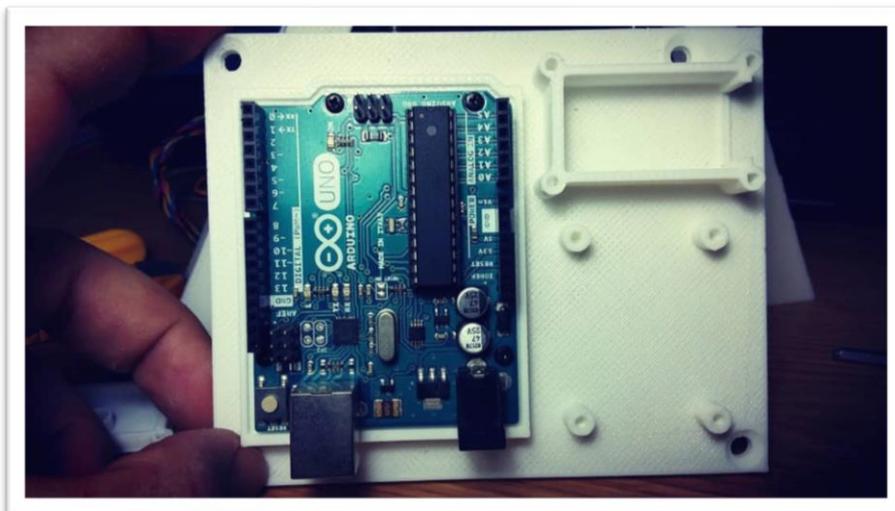


ILUSTRACIÓN 55. Base para CPU en impresión 3D.

Otra de las piezas más significativas ha sido el panel frontal de control presenta el siguiente aspecto dentro del Software de diseño, añadiéndose también una fotografía de su acabado final.

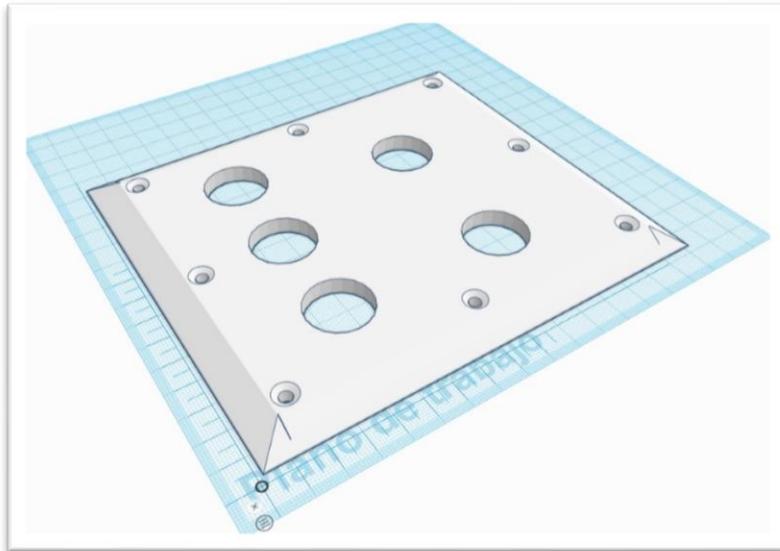


ILUSTRACIÓN 56. Diseño de panel frontal.

Presenta el siguiente aspecto una vez impreso en 3D, con todos los dispositivos electrónicos instalados en él.



ILUSTRACIÓN 57. Panel frontal impreso en 3D.

Para la sujeción de la fuente ATX a la bandeja extraíble se diseñó un zócalo donde ésta, iría ubicada. Se presenta su imagen de diseño y una vez montada:

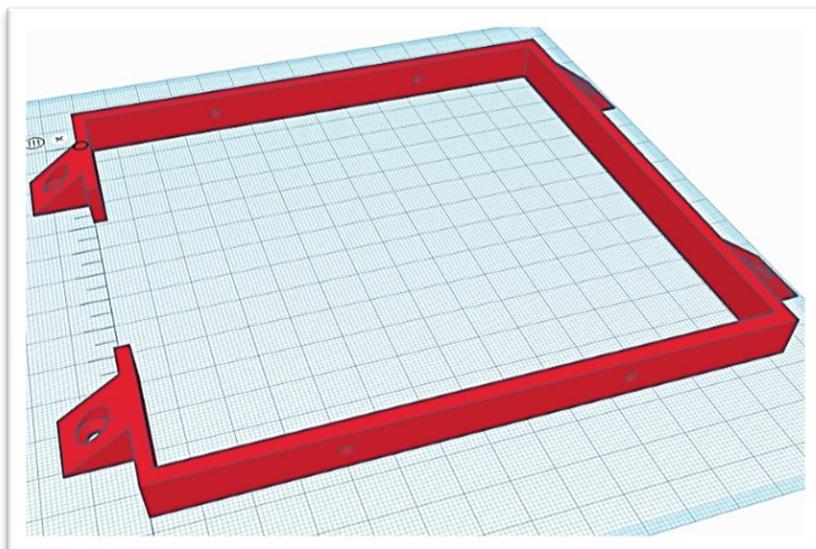


ILUSTRACIÓN 58. Anclaje de fuente ATX impreso en 3D.

Una vez montado en la bandeja extraíble presenta el siguiente aspecto:

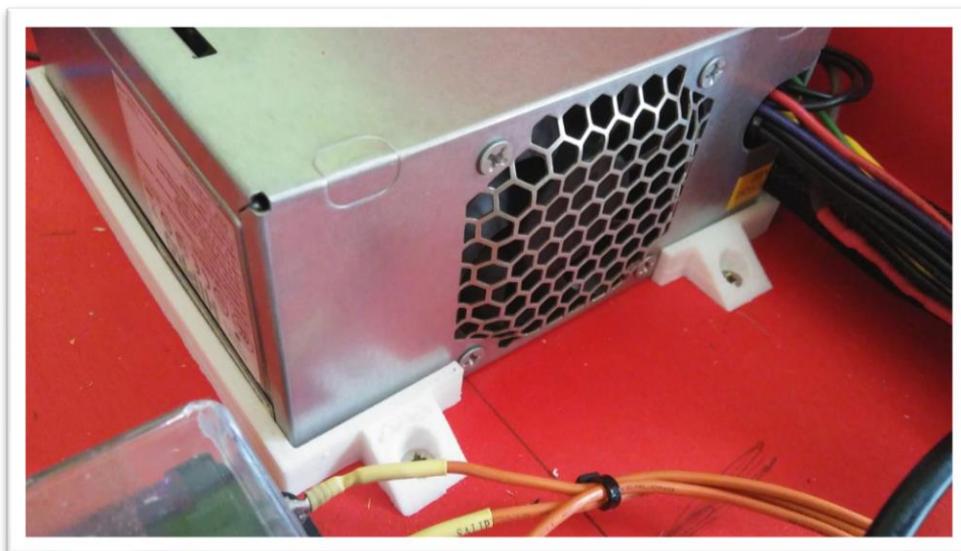


ILUSTRACIÓN 59. Anclaje de fuente ATX.

Para sujetar las cadenas portacables donde pasaran los conductores que van desde la CPU hasta cada receptor, se diseñaron unas grapas para anclar las cadenas a la base de la cabina y que estas estuvieran inamovibles.

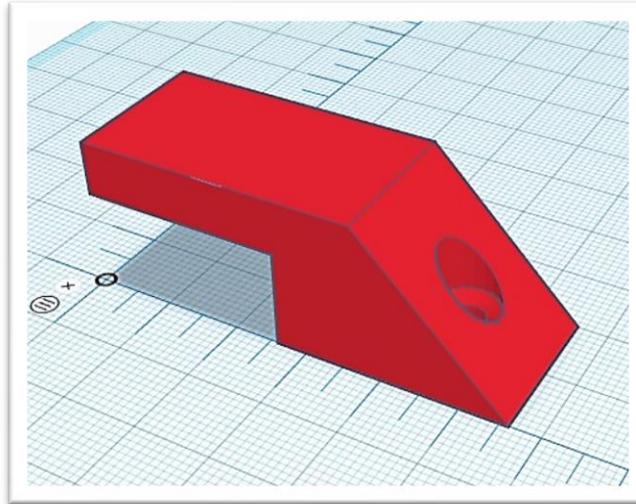


ILUSTRACIÓN 60. Sistema de anclaje para cadenas.

Una vez impresas en 3D, presentan el siguiente aspecto montadas en las dos cadenas de los correspondientes ejes y atornilladas a la base de la cabina láser mediante tirafondos.

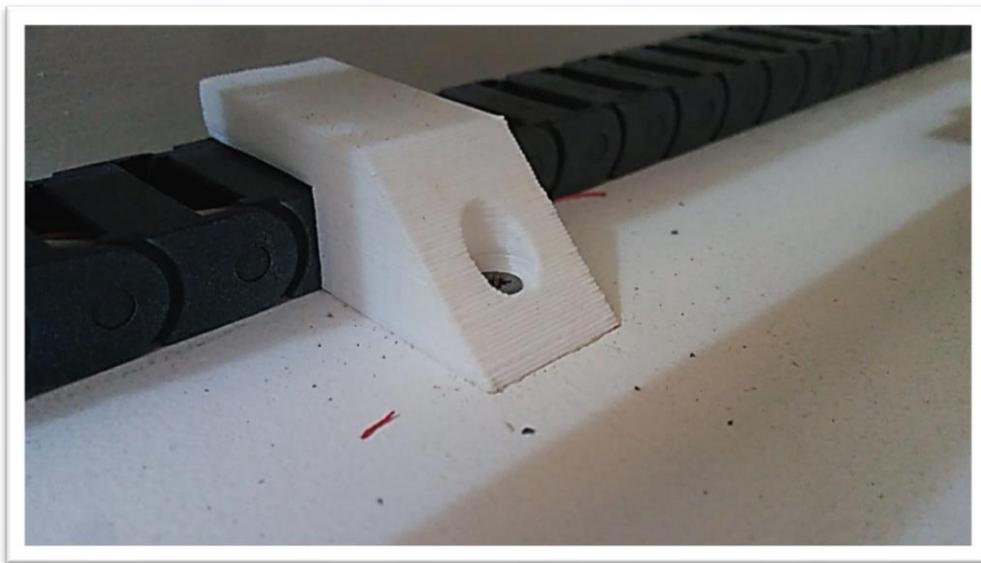


ILUSTRACIÓN 61. Grapas para sujeción de cadenas.

Todas las piezas que han sido necesarias para montar la máquina de control numérico se pueden descargar o disponer de ellas en el programa web Tinkercad. Será necesario registrarse como usuario en página para poder acceder a todo el contenido, que esta almacenado en la nube.

En el apartado 7 Bibliografía, se puede obtener el enlace para descargar los archivos STL de cada pieza con sus respectivas medidas; se ha hecho de esta manera, para que otros usuarios puedan descargar los archivos para promover los diseños para impresión 3D de código libre.

3.3.5. Cableado.

La conexión de los diferentes receptores mediante conductores, ha sido una tarea bastante difícil, ya que, han tenido que alojar una multitud de hilos. Estas conexiones unen los motores, diodo láser y finales de carrera desde los respectivos ejes hasta la CPU.

Para que el cableado no sufriera ningún tipo de desperfecto o entorpeciera al movimiento de los ejes, se decidió instalar en cada uno una cadena portacables para guiarlos y protegerlos. En la siguiente imagen se puede observar la cadena empleada:



ILUSTRACIÓN 62. Cadena portacables.

La cadena esta fabricada en material plástico, sus dimensiones son 20 x 10 mm (interior de la cadena). Una vez instalada, otorga un buen aspecto a todo el conjunto de la cabina láser; aunque la finalidad primordial sea la de mantener todos los conductores protegidos y guiados hasta su conexión.

En la siguiente tabla se recogen los conductores que se han empleado. Además, se detallan sus respectivas secciones el número de hilos por receptor y la longitud empleada.

Dispositivo	Sección	Nº de hilos	Longitud
Motor eje X	1.04 mm ²	4 hilos	200 cm
Motor eje Y1	1.04 mm ²	4 hilos	130 cm
Motor eje Y2	1.04 mm ²	4 hilos	210 cm
Final de carrera -X	1.04 mm ²	2 hilos	140 cm
Final de carrera +X	1.04 mm ²	2 hilos	210 cm
Final de carrera -Y	1.04 mm ²	2 hilos	140 cm
Final de carrera +Y	1.04 mm ²	2 hilos	75 cm
Diodo láser	1.04 mm ²	2 hilos	200 cm
Ventilador diodo láser	0.8 mm ²	2 hilos	200 cm

El tipo de conductor empleado es AWG 17 y 18, es una nomenclatura de origen norteamericano. Donde AWG es la sección exacta en mm² y E en mm.

3.4. Diodo láser y driver de control.

El presente apartado, está dedicado a la herramienta que utiliza la CNC, un diodo láser de estado sólido. Es un dispositivo que emplea la emisión estimulada de un haz luminoso de alta potencia, para incidir sobre un material determinado y volatilizarlo por capas, dándole forma geométrica en la zona por la que incida el haz de luz.

Para que el diodo láser funcione correctamente, será necesario la aplicación de un driver de control. La función principal del dispositivo es regular la intensidad máxima y mantenerla constante a la salida; otra función que dispone, es la de variar la potencia del láser mediante la modulación PWM (Power with modulation), con esto se consigue, que el diodo pueda variar su potencia para incidir con su haz de luz de modo gradual sobre el material que vaya a ser volatilizado, consiguiendo así, dar forma geométrica a las distintas capas.

En cuanto se refiere a la seguridad, el diodo láser es una herramienta en la que hay que tener especial cuidado. Puede causar daños oculares causados por su intensidad en cuanto se refiere al haz de luz emitido y su longitud de onda entre 400 y 700 nm. Para ello, cada vez que se vaya a manipular dicha herramienta habrá que equiparse con gafas especiales. En el caso de nuestro diodo láser se trata de un dispositivo de clase II, según la norma UNE EN 60825-1/A2: *Podría causar daños oculares. A priori los mecanismos de aversión como el “reflejo palpebral” son suficientes (Normalmente) como protección. El riesgo de padecer daño ocular aumenta si el operador emplea algún tipo de instrumento óptico (por ejemplo: lente de aumento) de visión directa.*

Diodo láser.

El diodo que se va a utilizar recoge las siguientes características técnicas proporcionadas por el fabricante:

Potencia	500 mW
Intensidad nominal	260 mA
Voltage	5 V
Longitud de onda	405 nm
Color	Azul
Clase	II



ILUSTRACIÓN 63. Diodo láser.

Algunas de las ventajas del láser son: Se pueden mecanizar muchos tipos de materiales (teniendo en cuenta su potencia y su longitud de onda), no producen residuos, son rápidos a la hora de trabajar, precisión, y no es necesario ningún cambio de herramienta a la hora de mecanizar

También presentan algunos inconvenientes: Tecnología de coste elevado, riesgos de incendio o daños personales, algunos materiales de alta reflectividad y conductividad térmica son más difíciles de mecanizar.

En la actualidad, es muy común la utilización de este tipo de herramienta, ya que, son muy versátiles frente a otros mecanismos de corte o grabado, en lo que se refiere a la industria. En el campo de la medicina, se utilizan cada vez más, ya que, poseen una gran precisión y es una característica muy importante dentro de este campo.

Driver de control.

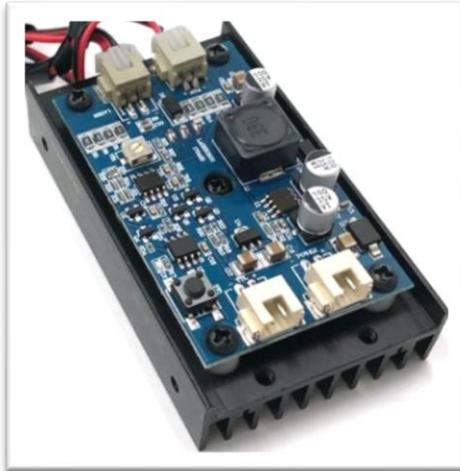


ILUSTRACIÓN 64. Driver de control para diodo láser.

Este dispositivo se encarga de regular la intensidad en la salida donde se conectará el diodo láser. Mediante un potenciómetro integrado en el circuito podemos regular su intensidad; conectando una carga que no supere 5 V (voltaje que soporta nuestro diodo) y en serie con un amperímetro para leer la intensidad que se está entregando a la salida; una vez alcanzado el valor de intensidad máxima que soporta el láser (260 mA), el diodo podrá ser utilizado sin riesgo a romperlo. En nuestro caso, el diodo láser y el driver de control venían configurados de fábrica.

En una de las salidas del controlador donde se puede leer PWM, irá conectado a la placa Shield en los pines de +Z respetando la polaridad. En la versión de GRBL 1.1 que hay instalada en el microcontrolador, podemos conectar la señal PWM a dicho pin, ya que, está configurada con la última actualización del código y este dispone de nuevas opciones para el uso de diodos láser. El pin varía su voltaje de 0 V a 5 V, con esto se variará la potencia del diodo láser y que a la hora de fotografiar, puede incidir más o menos su haz de luz sobre una superficie determinada. En el siguiente apartado, se explicará como se ha de configurar en los parámetros de la máquina.

Dispone de un conector de alimentación donde aplicaremos una tensión de 12 V en DC desde la fuente ATX. El driver estará protegido a su entrada mediante un fusible de 5 A.

El ventilador que disipa el calor cuando el láser está en funcionamiento también irá conectado en su respectiva conexión.

Dispone de un pequeño switch que tiene la función de atenuar el haz de luz del diodo láser, para poder ajustar el punto 0 de la máquina.

3.5. Conexión de máquina a PC.

El software utilizado para el control de la máquina es Láser GRBL. Compatible con código GRBL, es un programa que podemos descargar gratuitamente en la página web del creador, su función es la de enviar código G a la CNC. Es de los programas más completos y fáciles de utilizar que existen para el fotograbado láser; también cabe decir, que está en continuo desarrollo y actualización, introduciendo mejoras en la interfaz del programa. Otra de las características más notables que lo hacen más significativo frente a otros programas, es que no necesitamos otro software suplementario para renderizar imágenes y crear el código G que enviaremos a la máquina. Las características son las siguientes:

- Cargar código G con vista previa del trabajo.
- Grabado de imágenes con conversión en escala de grises, dithering y vectorización.
- Botones personalizados para el usuario dentro del programa.
- Configuración GRBL, importar y/o exportar código fuente de la máquina.
- Botón de inicio, retención de alimentación, reanudación y reinicio de GRBL.
- Vista previa en tiempo real del trabajo y proyección del tiempo.
- Regulación de potencia y velocidad mediante un slider en la interfaz.
- Compatibilidad con Windows 10 y Linux.

A continuación, se detallan los pasos para ejecutar el programa y la conexión con la máquina de control numérico.

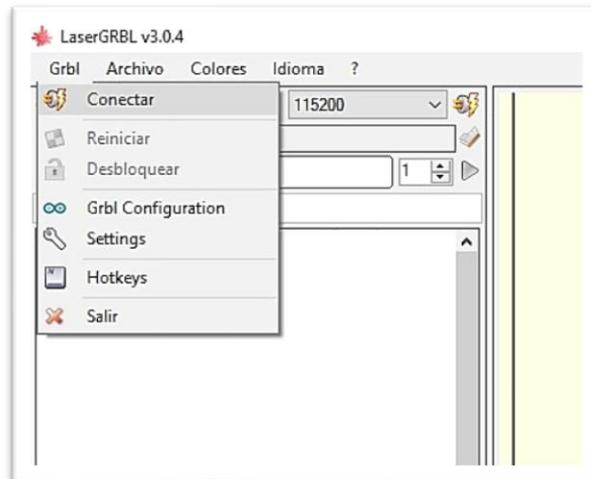
Paso 1

En el primer paso ejecutaremos el software Láser GRBL en nuestro ordenador. Seguidamente conectaremos la máquina mediante el puerto USB al PC; sin conectar la alimentación de la CNC. Este paso es muy importante, si la máquina está conectada a la corriente eléctrica el láser se encenderá por un momento y podrá dañar el material con el cual vayamos a trabajar.

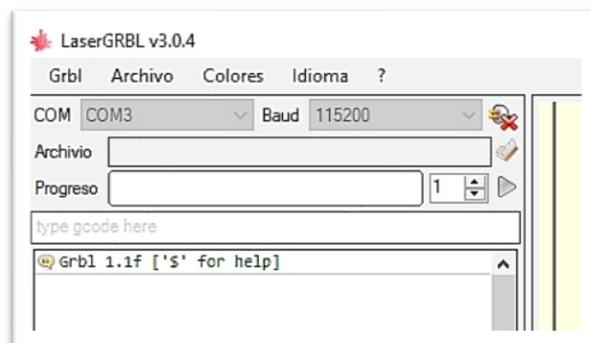
Una vez hecho esto y con la interfaz del programa abierta, podemos observar que en puerto COM estará definido cual es el puerto USB con el cual la máquina mantendrá comunicación con el software. Justo al lado, aparece la casilla de Baud, donde estará definida la velocidad en baudios que nuestra máquina es capaz de ejecutar.

En la misma zona de la interfaz, pero más arriba, aparecen cuatro opciones: GRBL, Archivo, Colores e Idioma. Pincharemos sobre la opción de GRBL y Conectar, como se muestra en la siguiente imagen.

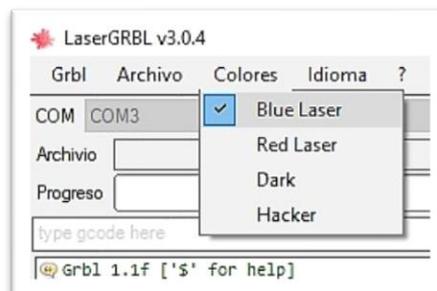
Desarrollo y montaje de una máquina de control numérico basado en la plataforma Arduino.
Ángel Montoya Navarro – Grado en ingeniería eléctrica – E.P.S.A.



Si el código cargado en el microcontrolador es el adecuado y todas las conexiones de los dispositivos electrónicos están conectadas correctamente. En la lista de comandos que hay más abajo, aparecerá la versión del código GRBL, que previamente flasheamos en la memoria de Arduino.

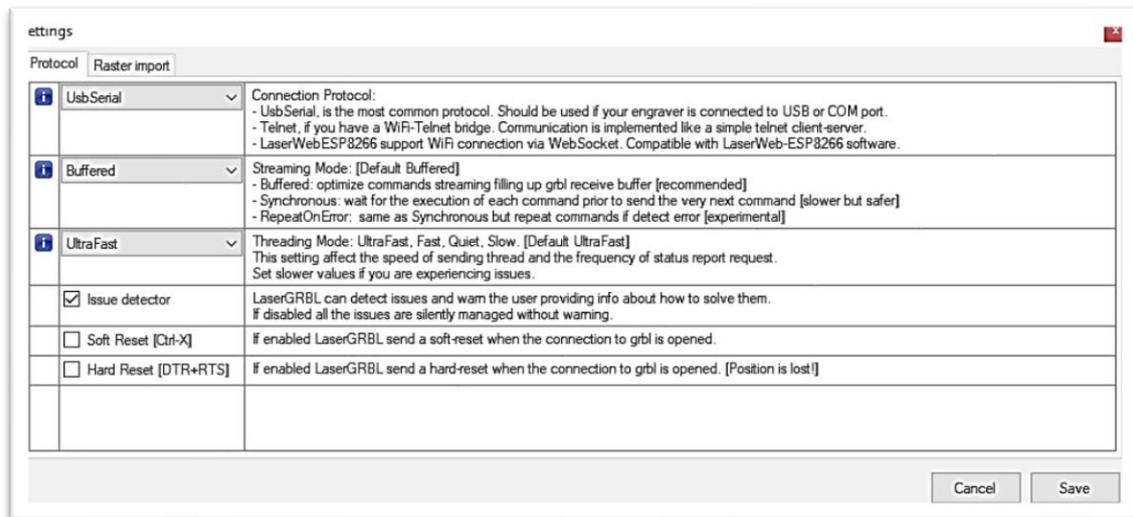


Una vez hecho esto, debemos configurar el color del diodo láser. En nuestro caso se trata de un color azul. Esta configuración será muy importante, ya que, a la hora de renderizar las imágenes el software lo tendrá en cuenta para crear el código G, así no tendremos problemas de definición y precisión a la hora de grabar el material que vaya a ser tratado.



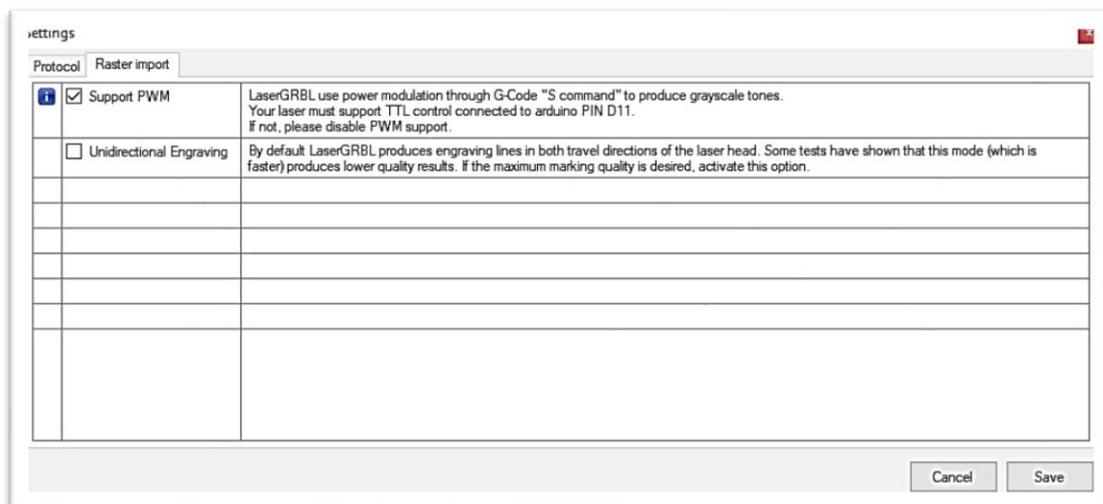
Paso 2

Ahora configuremos dentro de la opción GRBL, Settings, Protocol las diferentes opciones que nos ofrece. En la siguiente imagen se muestran estas opciones, vienen configuradas por defecto, pero son las que hemos configurado en nuestra máquina.



En la primera opción nos aparece el protocolo de conexión, en nuestro caso será USB port. En la segunda Buffered, la dejaremos tal y como viene predefinida al igual que en la tercera opción; Ultra-fast será la recomendada. Vemos que el software nos ofrece una explicación de cada una de las opciones indicándonos cual es la recomendada según las necesidades del usuario.

Dentro de Settings, el apartado de Raster import. Debemos seleccionar la opción de Support PWM. Esto será un paso importante, ya que sino el diodo láser no funcionará.



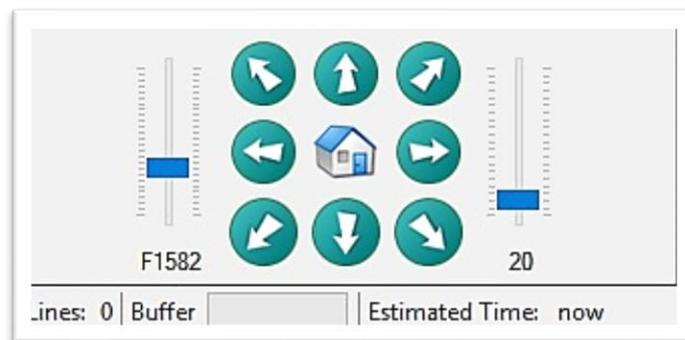
Paso 3

Para los parámetros de funcionamiento de la CNC debemos pinchar en el apartado de GRBL, Configuración. Nos saldrá una ventana donde, podemos observar todos los parámetros predefinidos y que debemos cambiar para el correcto funcionamiento de la máquina. Los comandos que se han utilizado para nuestro caso son los siguientes, después de varias pruebas de funcionamiento estos son los que mejor se adecuan.

GRBL → CONFIGURATION				
	#	Parameter	Value	Unit
▶	\$0	Step pulse time	10	microseconds
	\$1	Step idle delay	100	milliseconds
	\$2	Step pulse invert	0	mask
	\$3	Step direction invert	0	mask
	\$4	Invert step enable pin	0	boolean
	\$5	Invert limit pins	0	boolean
	\$6	Invert probe pin	0	boolean
	\$10	Status report options	6	mask
	\$11	Junction deviation	0,020	millimeters
	\$12	Arc tolerance	0,010	millimeters
	\$13	Report in inches	0	boolean
	\$20	Soft limits enable	0	boolean
	\$21	Hard limits enable	0	boolean
	\$22	Homing cycle enable	0	boolean
	\$23	Homing direction invert	0	mask
	\$24	Homing locate feed rate	200,000	mm/min
	\$25	Homing search seek rate	4000,000	mm/min
	\$26	Homing switch debounce delay	0	milliseconds
	\$27	Homing switch pull-off distance	0,000	millimeters
	\$30	Maximum spindle speed	255	RPM
	\$31	Minimum spindle speed	0	RPM
	\$32	Laser-mode enable	1	boolean
	\$100	X-axis travel resolution	80,000	step/mm
	\$101	Y-axis travel resolution	80,000	step/mm
	\$102	Z-axis travel resolution	0,001	step/mm
	\$110	X-axis maximum rate	5000,000	mm/min
	\$111	Y-axis maximum rate	5000,000	mm/min
	\$112	Z-axis maximum rate	12000,000	mm/min
	\$120	X-axis acceleration	2500,000	mm/sec^2
	\$121	Y-axis acceleration	2500,000	mm/sec^2
	\$122	Z-axis acceleration	12000,000	mm/sec^2
	\$130	X-axis maximum travel	300,000	millimeters
	\$131	Y-axis maximum travel	300,000	millimeters
	\$132	Z-axis maximum travel	10000,000	millimeters

En el apartado Anexos, se adjuntará una tabla con todos los comandos y su explicación de funcionamiento de cada uno de ellos.

Si todo se ha configurado como se ha indicado anteriormente, se procederá a probar el movimiento de los ejes mediante unos botones que se muestran a continuación.

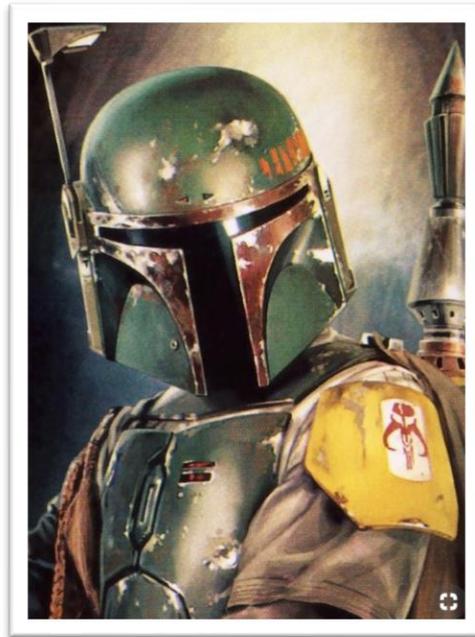


En este apartado de la interfaz del Software podemos variar la velocidad (slider izquierda) y la potencia (slider derecha) de la máquina y el diodo láser respectivamente. Incluyendo el poder definir el punto de origen (icono casa) desde donde partirá la máquina para hacer el grabado láser. Además de mostrarnos en tiempo real el número de líneas trazadas con el diodo láser y el tiempo estimado del trabajo que estemos llevando a cabo.

Como se puede apreciar, es un programa muy intuitivo y perfectamente dedicado a la función de grabado y corte mediante diodos láser. Existe otro tipo de programas para máquinas de control numérico de hasta 3 ejes, como puede ser Universal G-code Sender; Pero se prescindí de él, ya que, no ofrece tantas opciones para el grabado y corte por láser.

4. RESULTADOS DE GRABADOS LÁSER.

Como ejemplo de demostración del correcto funcionamiento de la máquina de control numérico, se han realizado cuatro grabados en diferentes tipos de materiales. Para procesar la imagen que se pretenda grabar, se van a puntualizar los pasos a seguir para este procedimiento. Valga el ejemplo, la siguiente imagen, fotografiada en tres tipos de madera.

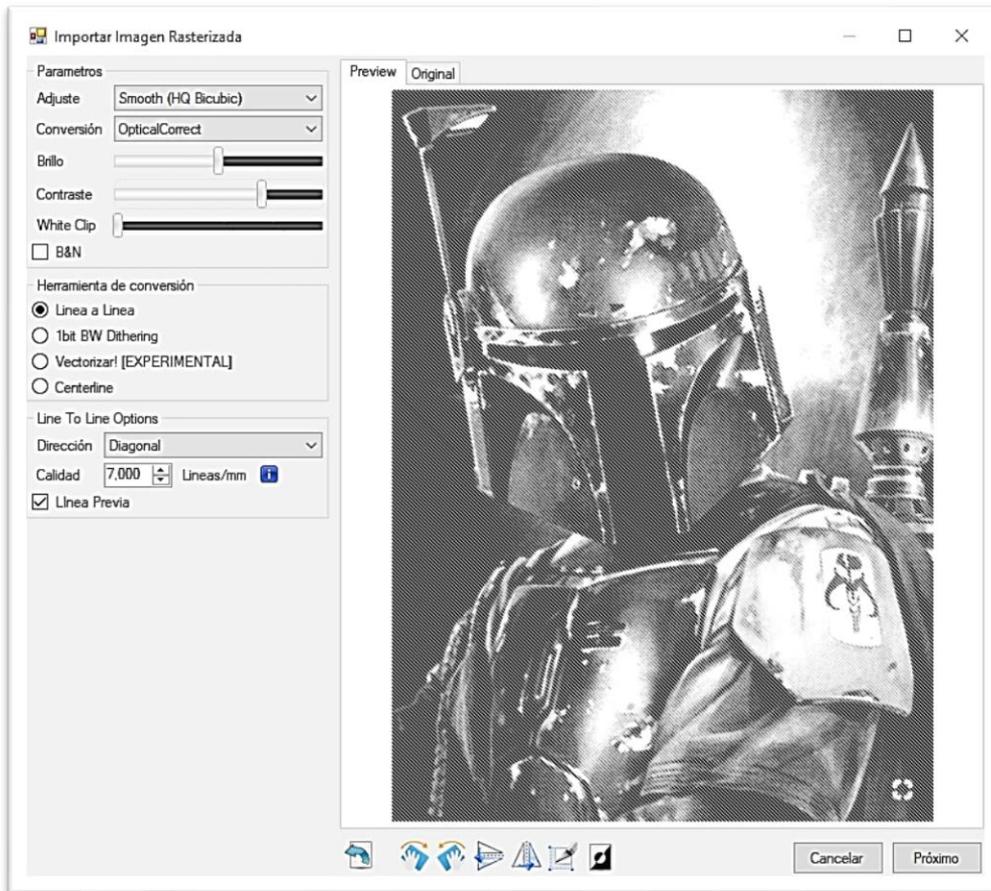


Paso 1

Para que nuestro trabajo tenga resultados favorables, se deberá escoger una imagen con una calidad media-alta. En el ejemplo se ha escogido una imagen con una calidad bastante notable para que se pueda observar el resultado en los tres tipos de madera, los parámetros de renderización de la imagen han sido los mismos para los tres ejemplos de fotografiado láser.

Previamente escogida la imagen que se desee fotografiar, ejecutamos el software Láser GRBL. Una vez abierto, nos dirigimos a la parte superior izquierda en opciones, archivo; nos aparecerá un desplegable con las diferentes opciones de las que dispone. Pinchamos en abrir archivo y se nos abrirá una ventada donde buscaremos en nuestro almacenamiento del PC la imagen que vaya a ser procesada mediante el software de control de la máquina.

Una vez escogida, le damos a aceptar y se nos abrirá una nueva ventana llamada importar imagen rasterizada. Se puede apreciar la vista previa de la imagen, esto será el resultado una vez acabado el trabajo de grabado láser.



Se pueden observar las diferentes opciones de las que dispone. En ajuste se ha escogido la opción *Smooth (HQ Bicubic)*, esta opción, sirve para los grabados de fotografías mediante la modulación de la potencia del diodo láser. En Conversión, se ha escogido *Optical correct*, ya que, esta opción es la que mejores resultados ha proporcionado a los diferentes trabajos anteriormente hechos.

Los dos slider, Brillo y Contraste. Con ellos podemos ir variando los valores para observar una estimación del proceso final de la fotografía.

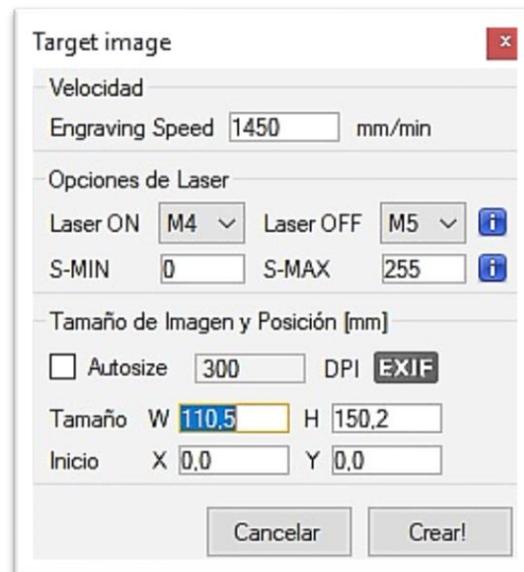
En herramienta de conversión se escogerá la opción de línea a línea, ya que, en el trazado de una línea en un material específico el láser irá variando su potencia para incidir en mayor o menor grado con su haz de luz.

En dirección, se han conseguido mejores resultados con la opción Diagonal. En lo que se refiere a calidad, son las líneas/min que ira trazando el diodo, en este punto, hay que tener cierta precaución, ya que, si aumentamos el grado de calidad la máquina ejecutara más líneas; en consecuencia, el diodo ejecutará todas las líneas y quedaran superpuestas entre si dando lugar a un fotograbado borroso a simple vista.

Una vez hemos decidido como queremos que nuestra imagen quede, le damos al botón próximo y se nos abrirá una segunda ventana

Paso 2

En la ventana que aparece una vez finalizado el paso se muestran los parámetros de velocidad, opciones de láser y tamaño de imagen.



Engraving speed es la velocidad de grabado en mm/min. Esta velocidad, variará dependiendo del material que vaya a ser tratado, ya que, no todos los materiales tienen la misma dureza. En nuestro caso que emplearemos madera hemos aplicado una velocidad de 1450 mm/min. En adelante, veremos en los diferentes ejemplos de grabado láser, como irá variando este parámetro, en medida del material utilizado.

Opciones de láser, aquí se define el encendido o apagado del diodo. En el caso de este proyecto hemos escogido en el apartado Láser OFF la opción M5. Esta opción, hace que nuestro diodo nunca se apague; es decir, el código generado por el software de control regulará su potencia para generar distintas tonalidades a la hora de volatilizar el material. En el apartado S-MIN y S-MAX, se definirá el rango con el cual variará la potencia del diodo.

En tamaño de imagen y posición, se definirán las dimensiones del trabajo que se llevará a cabo y la posición exacta, desde donde se empezarán a trazar líneas. Además, también se podrá definir los DPI para la calidad del fotograbado; se recomienda no sobrepasar los 300 DPI, ya que, nos podría quedar una imagen muy tenue.

Una vez que se ha procesado este paso, pincharemos en crear y nuestro programa empezará a generar un código G de nuestra imagen.

El procedimiento se puede observar en la siguiente imagen, donde se pueden apreciar los tres tipos de madera. De izquierda a derecha, madera de pino, aglomerado y madera de chopo.

Los resultados son bastante buenos, teniendo en cuenta, la calidad de la herramienta láser. También, se puede observar como actúa el haz de luz según la rugosidad del material; ya que, en madera de chopo al ser más rugosa, el láser no llega a incidir en algunas zonas. Sin embargo, en madera de pino el resultado es mucho mejor, pero las betas de la madera impiden que la potencia del haz no llegue a incidir tanto.

El mejor de los tres resultados, ha sido en aglomerado, ya que, es un material uniforme y liso en textura.

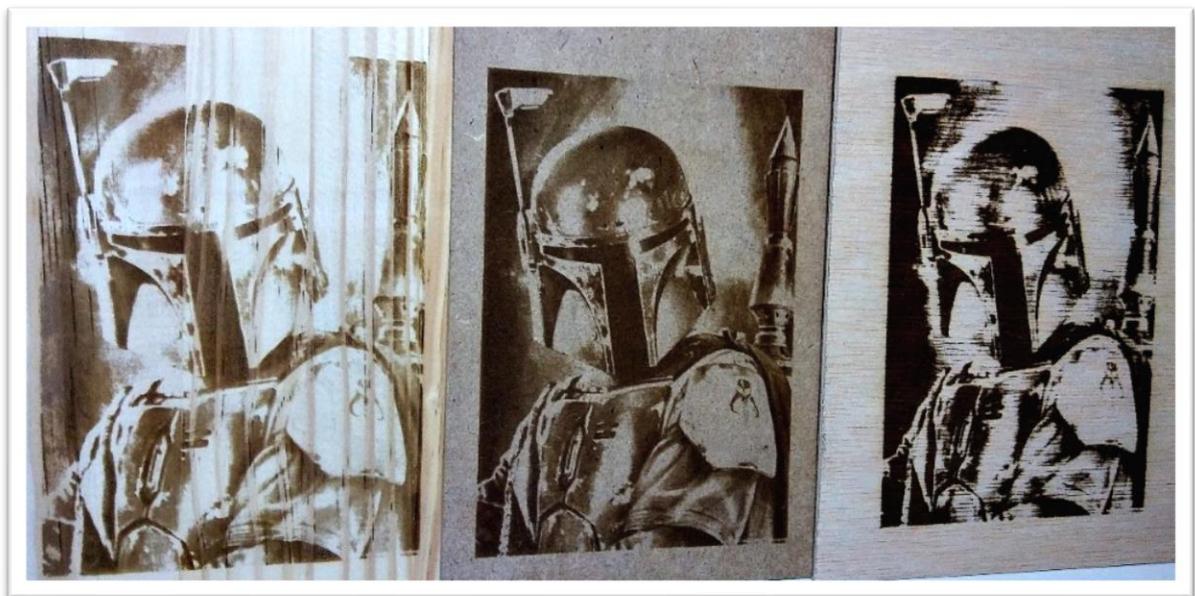


ILUSTRACIÓN 65. Ejemplo de fotograbado láser en 3 tipos de madera.

La efectividad del grabado en materiales viene dada por unos determinados factores, los cuales son muy importantes a la hora de trabajar. En cuanto se refiere a la herramienta láser, su potencia y su longitud de onda son esenciales, estos dos factores determinarán si el grabado en un determinado material, será óptimo dependiendo de la reflectividad y conductividad térmica del material en cuestión.

En cuanto se refiere al material, su textura será una de las claves para obtener mejores resultados. Si estamos trabajando con un material con bastante porosidad, el resultado de trazar líneas mediante la focalización del haz de luz, éste se verá afectado negativamente por la geometría del material.

A continuación, se muestra el siguiente ejemplo de grabado hecho en metacrilato o PMMA de color verde. Este material presenta una textura muy lisa, se trata de un material sintético en el cual, el fotograbado ofrece unos buenos resultados.

El inconveniente que puede presentar es su reflectividad, ya que, al ser transparente el láser no llega a incidir tanto en su superficie; para ello, es necesario regular la velocidad de trazado.



ILUSTRACIÓN 66. Grabado láser en PMMA.

Para distinguir las diferencias de la reflectividad que puedan existir en los materiales, el siguiente ejemplo, es una lámina de PMMA totalmente transparente. Los parámetros de trabajo de la máquina son los mismos tanto para la ilustración 65 como la que se mostrará a continuación.

Como se trata del mismo material (PMMA) pero su reflectividad es mucho más baja, debido al color, el diodo no llegará a incidir en la superficie. Para ello, se ha repasado con un rotulador permanente de color negro para elevar su reflectividad y que pueda incidir en su superficie.



ILUSTRACIÓN 67. Grabado láser en PMMA, muy baja reflectividad.

El resultado a simple vista no es muy bueno, ya que, al incidir sobre la capa donde se ha rotulado con el permanente, ha quedado una capa del color utilizado. Pero la conclusión a la que se ha llegado, es que a pesar de la baja reflectividad del material se puede modificar su superficie para poder fotografiar. Ha sido una prueba bastante instructiva, ya que, con este mecanismo, se ha llegado a entender el concepto de reflectividad en los materiales.

En el siguiente ejemplo se muestra un fotograbado en cuero.

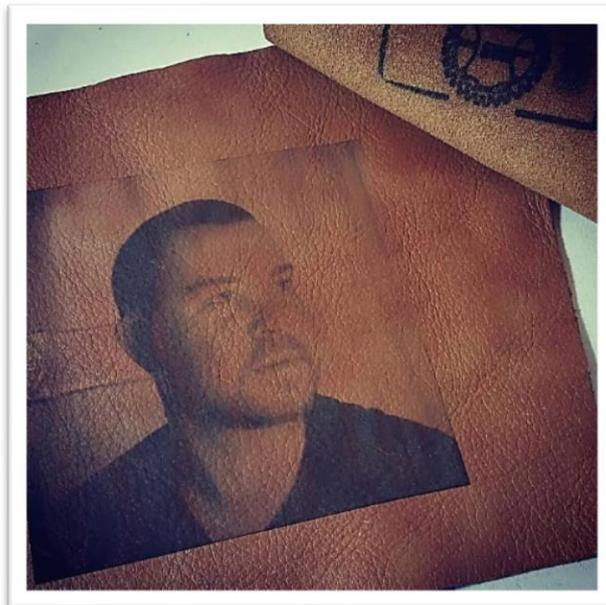


ILUSTRACIÓN 68. Fotograbado en cuero.

El grabado en este material ha sido muy satisfactorio, ya que, elevando la velocidad de trazado se ha conseguido este resultado bastante notable. Hay que tener en cuenta que su estructura es piel y el trazado del diodo, aunque se haga a baja potencia incide sobre la superficie sin ningún problema. Por ello, se ha tenido que calibrar en el software de control a media potencia y alta velocidad de trazado.

En este ultimo ejemplo se ha empleado un material llamado policarbonato. Se trata de una funda para teléfonos móviles; Como con el ejemplo del fotograbado en PMMA, se ha tenido en cuenta su reflectividad, que en este caso, es de color naranja y no totalmente transparente. Para obtener un buen resultado y definición se ha elevado la velocidad ya que el material en si es bastante blando.

En apartados anteriores se menciona la posibilidad de elevar o reducir la calidad en cuanto se refiere al número de líneas que se trazaran en el proceso. Para obtener el siguiente resultado se redujo dicha calidad, para que a la hora del grabado láser, éste no superpusiera las líneas trazadas.



ILUSTRACIÓN 69. Fotograbado en policarbonato.

5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.

Una vez concluido el trabajo, es cuando realmente, se pueden valorar todos los factores que han conformado el proyecto en sí. En base al trabajo realizado en esta memoria, se puede concluir, que todos los conocimientos adquiridos mediante mecanismos de búsqueda y aprendizaje han sido muy favorables a nivel personal.

A medida que se ha ido procesando dicho trabajo, han ido surgiendo ideas para en un futuro mejorar el proyecto que se ha llevado a cabo. También, cabe decir, que aún teniendo algunos fallos estos se han valorado y se podrían atenuar mejorándolos, con la implementación de dispositivos y materiales de mejor calidad.

Las mejoras que se prevén en un futuro son las siguientes:

-Implementar un lector de tarjetas para cargar directamente los proyectos en la máquina de control numérico sin la necesidad de un PC.

-Aumentar la calidad y potencia del dispositivo láser.

-Fabricar una cabina en chapa de acero y PET para otorgar más robustez a la máquina.

-Mejorar el diseño para reducir las dimensiones y ahorrar en espacio.

-Cambiar el sistema de transmisión por usillos e implementar un tercer eje Z.

-Aumentar la potencia de la fuente de alimentación ATX.

Como ya se tiene un estudio basado en este tipo de maquinaria, será posible en un futuro diseñar y fabricar una con mejores características.

6 PRESUPUESTO.

Algunos de los materiales empleados en la construcción de la máquina no se han tenido en cuenta en él presupuesto, ya que, algunos de ellos han sido donados o ya se tenían.

LISTA DE MATERIALES	CANTIDAD	PROVEEDOR	PRECIO/UD.	COSTE ENVÍO	TOTAL
Arduino UNO Rev 3	1	Bricogeeek	19,95 €	4,87	24,82 €
CNC shield V3 compatible GRBL	1	Aliexpress	6,99 €	0	6,99 €
Drivers A4988	3	Aliexpress	0,63 €	1,08	2,97 €
Kit diodo Láser 500 mW 405 nm	1	Aliexpress	34,60 €	0	34,60 €
Testigo luminoso 12 V DC verde	1	Aliexpress	1,08 €	0	1,08 €
Voltímetro 500 V AC	1	Aliexpress	1,87 €	0	1,87 €
Contactador tipo llave 2 posiciones	1	Aliexpress	4,97 €	0	4,97 €
Pulsador emergencia	1	Aliexpress	0,95 €	0	0,95 €
Puerto USB 2.0 empotrable	1	Aliexpress	3,52 €	0	3,52 €
Motor Nema 17	3	Aliexpress	7,12 €	0	21,36 €
Base de fusibles 6 canales	1	Aliexpress	3,44 €	0	3,44 €
Ventilador 120x120 12 V DC	2	Aliexpress	2,21 €	0	4,42 €
Finales de carrera	4	Aliexpress	0,93 €	0	3,72 €
Manguera 4 hilos AWG 17 (1 metro)	14	Aliexpress	1,32 €	0	18,48 €
Manguera 4 hilos AWG 18 (1 metro)	2	Aliexpress	1,64 €	0	3,28 €
Interruptor 250 V AC con fusible 10 A	1	Aliexpress	0,77 €	0	0,77 €
LED color verde	1	Local comercial	0,25 €	0	0,25 €
LED color amarillo	1	Local comercial	0,25 €	0	0,25 €
Resistencia 220 Ω	2	Local comercial	0,20 €	0	0,40 €
Fusible cuchilla 12 V 10 A	1	Local comercial	0,35 €	0	0,35 €
Fusible cuchilla 12 V 5 A	5	Local comercial	0,25 €	0	1,25 €
Conductor 1,5 mm ² XLPE Negro (1 metro)	1	Local comercial	1,75 €	0	1,75 €
Conductor 1,5 mm ² XLPE Azul (1 metro)	1	Local comercial	1,75 €	0	1,75 €
Tablero DM 120 x 60 x 1.5 cm	1	Local comercial	11,95 €	0	11,95 €
Tablero DM 120 x 60 x 1 cm	2	Local comercial	9,95 €	0	19,90 €
Perfil modular aluminio 2040 tipo B (1 metro)	3	Motedis	10,11 €	13,68	44,01 €
Ensamble para perfil modular tipo B	8	Aliexpress	0,32 €	0	2,56 €
Cadena portacables 20 x 10 x 10 mm (1metro)	2	Aliexpress	3,09 €	2,52	8,70 €
Correa distribución GT2 6 mm (1 metro)	4	Aliexpress	1,35 €	0	5,40 €
Polea 16 dientes	3	Aliexpress	1,18 €	0	3,54 €
Rodamientos NSK 20 revestidos goma	15	Aliexpress	0,48 €	0	7,20 €
Tornillo M3 12 mm	12	Local comercial	0,15 €	0	1,80 €
Tornillo M4 20 mm	36	Local comercial	0,25 €	0	9,00 €
Tornillo M5 50 mm	15	Local comercial	0,35 €	0	5,25 €
Tornillo M6 60 mm	12	Local comercial	0,45 €	0	5,40 €
Tirafondos 15 mm (1 Caja)	1	Local comercial	1,85 €	0	1,85 €
Tirafondos 25 mm (1 Caja)	1	Local comercial	2,05 €	0	2,05 €
Aplique tubo aluminio Ø 100 mm	1	Local comercial	3,25 €	0	3,25 €
Tubo extensible aluminio 3 m Ø 100 mm	1	Local comercial	4,50 €	0	4,50 €
				TOTAL	279,60 €

7. BIBLIOGRAFÍA.

7.1. Webgrafía.

<http://lásergrbl.com/en/>

<https://www.pololu.com/>

<https://blog.protoneer.co.nz/>

<http://srferrete.es/>

<https://www.arduino.cc/>

<https://github.com/gnea/grbl/releases>

<http://www.hobbytronics.co.uk/arduino-xloader>

<https://proprojects.wordpress.com/2011/11/17/como-convertir-una-fuente-de-poder-en-una-de-laboratorio/>

<https://www.tinkercad.com/dashboard?type=all&collection=projects&id=IngoYkf3QZB>

https://www.trotecLÁSER.com/fileadmin/content/images/Contact_Support/Manuals/Manual-para-el-grabado-LÁSER.pdf

7.2. Bibliografía.

-Francisco Cruz Teruel. CONTROL NUMÉRICO Y PROGRAMACIÓN: SISTEMAS DE FABRICACIÓN DE MÁQUINAS. ISBN: 978-84-267-1359-9.

-Manuel Reche Perea. Elaboración de programas de CNC para la fabricación de piezas por corte y conformado. ISBN: 978-84-16629-73-2.

-Miguel Riquelme García. TFG: Diseño y fabricación de una fresadora CNC de 3 ejes para el mecanizado de PCB con plataformas de desarrollo abiertas. Universidad Politécnica de Cartagena.

TABLA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. Esquema CNC.	5
ILUSTRACIÓN 2. Diagrama de proceso en CAD.	9
ILUSTRACIÓN 3. Interfaz láser GRBL.	10
ILUSTRACIÓN 4. Arduino UNO R3.	12
ILUSTRACIÓN 5. Arduino UNO conectado a Shield CNC.	14
ILUSTRACIÓN 6. Driver Pololu A4988.	16
ILUSTRACIÓN 7. Pines driver Pololu A4988.	17
ILUSTRACIÓN 8. Conexión bipolar y unipolar.	18
ILUSTRACIÓN 9. Ancho de pulso driver A4988.	18
ILUSTRACIÓN 10. Motor Nema 17.	21
ILUSTRACIÓN 11. Sistema de lazo de control.	23
ILUSTRACIÓN 12. Interfaz XLoader V 1.00	24
ILUSTRACIÓN 13. CNC Shield para GRBL.	26
ILUSTRACIÓN 14. Esquema conexiones CNC Shield.	27
ILUSTRACIÓN 15. Puentes para clonar eje Y.	27
ILUSTRACIÓN 16. Configuración micropasos.	28
ILUSTRACIÓN 17. Conexión de finales de carrera, paro de emergencia y PWM	29
ILUSTRACIÓN 18. Final de carrera.	30
ILUSTRACIÓN 19. Paro de emergencia.	31
ILUSTRACIÓN 20. Resistencia de sensado del driver de control.	32
ILUSTRACIÓN 21. Velocidad angular Nema 17.	34
ILUSTRACIÓN 22. Conector ATX de 20 pines	36
ILUSTRACIÓN 23. Fuente de alimentación ATX.	37
ILUSTRACIÓN 24. Interruptor principal.	38
ILUSTRACIÓN 25. Voltímetro AC.	38
ILUSTRACIÓN 26. Conmutador tipo llave ON/OFF.	39
ILUSTRACIÓN 27. Testigo luminoso, marcha DC.	39
ILUSTRACIÓN 28. Base de fusibles.	40
ILUSTRACIÓN 29. Ventilador 1.	41
ILUSTRACIÓN 30. Disipadores de aluminio para drivers A4988.	42
ILUSTRACIÓN 31. Ventilador 2.	42
ILUSTRACIÓN 32. Ventilador 3.	43
ILUSTRACIÓN 33. Ensamblaje general de la máquina.	44
ILUSTRACIÓN 34. Polea de 16 dientes.	45
ILUSTRACIÓN 35. Correa GT2	46
ILUSTRACIÓN 36. Rodamientos revestidos en goma.	46
ILUSTRACIÓN 37. Sistema de transmisión.	47
ILUSTRACIÓN 38. Estructura en perfil modular de aluminio.	48
ILUSTRACIÓN 39. Medidas perfil 2040 tipo B.	48
ILUSTRACIÓN 40. Ejes de la estructura.	49
ILUSTRACIÓN 41. Mecanizado para M6.	49
ILUSTRACIÓN 42. Ensamblajes para perfiles modulares.	50
ILUSTRACIÓN 43. Eje X.	50
ILUSTRACIÓN 44. Cola de milano en eje X.	51
ILUSTRACIÓN 45. Vista de perfil eje X.	51
ILUSTRACIÓN 46. Sujeción perfil modular en eje X.	52

ILUSTRACIÓN 47. Eje Y.	53
ILUSTRACIÓN 48. Soporte y zócalo para estructura.	53
ILUSTRACIÓN 49. Cabina.	54
ILUSTRACIÓN 50. Primer ensamble	55
ILUSTRACIÓN 51. Puerta de la cabina láser.	55
ILUSTRACIÓN 52. Cajón extraíble.	56
ILUSTRACIÓN 53. Pintura de cabina parte posterior.	57
ILUSTRACIÓN 54. Diseño de base para CPU.	59
ILUSTRACIÓN 55. Base para CPU en impresión 3D.	59
ILUSTRACIÓN 56. Diseño de panel frontal.	60
ILUSTRACIÓN 57. Panel frontal impreso en 3D.	60
ILUSTRACIÓN 58. Anclaje de fuente ATX impreso en 3D.	61
ILUSTRACIÓN 59. Anclaje de fuente ATX.	61
ILUSTRACIÓN 60. Sistema de anclaje para cadenas.	62
ILUSTRACIÓN 61. Grapas para sujeción de cadenas.	62
ILUSTRACIÓN 62. Cadena portacables.	64
ILUSTRACIÓN 63. Diodo láser.	66
ILUSTRACIÓN 64. Driver de control para diodo láser.	67
ILUSTRACIÓN 65. Ejemplo de fotograbado láser en 3 tipos de madera.	76
ILUSTRACIÓN 66. Grabado láser en PMMA.	77
ILUSTRACIÓN 67. Grabado láser en PMMA, muy baja reflectividad.	78
ILUSTRACIÓN 68. Fotograbado en cuero.	78
ILUSTRACIÓN 69. Fotograbado en Policarbonato.	79

Desarrollo y montaje de una máquina de control numérico basado en la plataforma Arduino.
Ángel Montoya Navarro – Grado en ingeniería eléctrica – E.P.S.A.

ANEXO I. PLANO I ESQUEMA ELECTRÓNICO DE CONEXIONES.

ANEXO II. PLANO II ESTRUCTURA Y CABINA CNC LÁSER.

ANEXO III. COMANDOS GRBL.

ANEXO IV. DATASHEET MOTORES NEMA 17.